



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EUDES DE ARIMATÉA ROCHA

**PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE
AZULEJOS PORTUGUESES EM MONUMENTOS HISTÓRICOS**

Recife

2023

EUDES DE ARIMATÉA ROCHA

**PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE
AZULEJOS PORTUGUESES EM MONUMENTOS HISTÓRICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro.

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Martin Souto Maior.

Recife

2023

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

R672p Rocha, Eudes de Arimatéa.
Proposição de um método para estudo da degradação de azulejos portugueses em monumentos históricos / Eudes de Arimatéa Rocha. 2022.
186 f: il.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro.
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Martin Souto Maior.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2022.
Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia civil. 2. Azulejo português. 3. Patologia. 4. Caracterização químico-mineralógica. 5. Técnicas de reprodução. I. Carneiro, Arnaldo Manoel Pereira (Orientador). II. Souto Maior, Paulo Martin (Coorientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG / 2023 - 32

EUDES DE ARIMATÉA ROCHA

PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE AZULEJOS PORTUGUESES EM MONUMENTOS HISTÓRICOS

Tese em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Área de Concentração Estruturas.

Aprovada em 26/01/2023

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência
Prof. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira (examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência
Prof.^a Dr.^a Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa (examinadora externa)
Universidade de Aveiro

participação por videoconferência
Prof.^a Dr.^a Thaís Alessandra Bastos Caminha Sanjad (examinadora externa)
Universidade Federal do Pará

participação por videoconferência
Prof. Dr. Marcos Alyssandro Soares dos Anjos (examinador externo)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

participação por videoconferência
Prof.^a Dr.^a Aline Figueirêdo da Nóbrega (examinadora externa)
Universidade Federal de Campina Grande

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de um sonho, um objetivo particular e confesso que não foi das tarefas mais fáceis que já desenvolvi. Enfrentamos uma pandemia onde perdemos entes queridos, presenciamos cenas desoladoras, vivenciamos um período de menosprezo pela ciência e dificuldades outras que retardaram a conclusão deste sonho. Entretanto hoje estamos aqui, apresentando esta tese, tentando alcançar mais um objetivo de vida, e não poderia deixar de agradecer àqueles que colaboraram de forma direta ou indiretamente para a construção deste sonho.

Assim agradeço ao meu orientador, o professor Arnaldo Carneiro, por toda disponibilidade, paciência, apoio e compreensão ao longo destes cinco anos, assim como tenho gratidão e profunda admiração por meu coorientador Paulo Martins, por acolher no grupo de pesquisa e despertar meu interesse pela arqueometria, assim como pelas valorosas contribuições para conclusão desta pesquisa.

Teço meus agradecimentos aos professores membros da banca, Ana Velosa (Universidade do Aveiro), Thais Sanjad (UFPA), Aline Nóbrega (UFCG), Marcos Alyssandro (IFPB) e Tiago Ancelmo (UFPE) pelas indicações e todo contributo para aperfeiçoamento deste trabalho.

Agradeço também aos novos amigos que fiz no LAPET, Maurílio Moraes e Pablo Goes, muito obrigado pela colaboração e discussões teóricas que tanto enriqueceram esta tese.

Não poderia deixar de agradecer a professora Leda Silva, do departamento de química da UPE, por toda dedicação e ajuda, graças a você e sua rede de amigos, conseguimos os reagentes necessários. Agradeço também a Ana Maria do DEQ/ LAMSA e a Eliete do DQF, ambos da UFPE.

Agradeço imensamente ao Eng^a Daniel do LETMACC/ SENAI PE por todo o suporte e por ceder o maquinário para realização dos ensaios de flexão das peças.

Agradeço a artesã Márcia Terra, por todos os ensinamentos na arte de “modelar” placas cerâmicas e ao FUNDHAM e LAPET por toda a estrutura cedida para o desenvolvimento de técnicas tão importantes para a caracterização das nossas matérias primas.

Gostaria de agradecer a toda a equipe da PROPEGE, técnicos, docentes e discentes pelos momentos vivenciados, seja durante as exposições nas aulas, seja no momento de realização dos ensaios no galpão do CTG, enfim cada momento foi importante para o amadurecimento desta pesquisa.

Agradeço a Universidade Federal de Pernambuco pelo programa de doutoramento, por todo apoio ofertado no LABTAG e LAPET e agradeço à Universidade de Pernambuco por também ceder os laboratórios para realização dos estudos.

Também queria agradecer aos meus amigos que me apoiaram em todos os momentos que precisei, aos amigos Clayton Gomes, Victor Estolano, Camila Dourado, Kátia Ramos, Nara Almeida, Fábria Kamyllle, Adolpho Guido, entre tantos outros que torceram e acreditaram em mim! Obrigado, especial, à Mariella Falcão por toda sua positividade e orações!

Não poderia jamais deixar de agradecer a minha família, meus queridos pais Ari e Áurea por todo exemplo de vida, por me criarem em um ambiente amável e que sempre incentivou a busca por conhecimento. Aos meus irmãos Cristiane e Vitor Hugo, por toda ajuda, sempre tão necessária, e pelos momentos de descontração.

Por fim, gostaria de agradecer ao apoio espiritual, infelizmente uma voz tão esquecida no meio acadêmico! Agradeço a Deus por permitir a realização deste sonho e dedico este estudo à Mãe Rainha, foi através de minha fé e admiração dos painéis azulejares religiosos, muitos deles que “contam” cenas da virgem Maria, que despertei o interesse em estudá-los e ajudar a conservá-los.

A todos vocês, meu muito obrigado!

O azulejo português, em sua simplicidade e ingenuidade, guarda o encanto de uma mensagem de alegria capaz de transformar interiores pobres, fachadas sem interesse em ambiências e lugares em que se sente o gosto de viver.

(CAVALCANTI; CRUZ, 2002, p. 21).

RESUMO

A preservação de azulejaria portuguesa remete a conservação do patrimônio histórico brasileiro e português. Neste sentido, estudos que desenvolvam estratégias de manutenção ou caracterização destes elementos com características singulares devem ser incentivados. A pesquisa propõe um método de estudo para investigação das tendências de azulejos portugueses desenvolverem problemas patológicos. Para isto, se reproduz chacotas com composições química e mineralógica semelhantes a fragmentos azulejares dos séculos XVII e XVIII, obtidos de igrejas pernambucanas. Na avaliação das tendências de se desenvolverem manifestações patológicas, as chacotas reproduzidas foram analisadas utilizando técnicas de FRX, DRX e ensaios de caráter destrutivo (ruptura a flexão, ataques químicos e teor de absorção), nos quais as compilações dos dados obtidos trazem informações sobre o comportamento das diferentes misturas estudadas. Os dados encontrados na metodologia de reprodução das peças foram coerentes com as composições químicas e mineralógicas estimadas, indicando a possibilidade de se desenvolver estudos de azulejos a partir de reproduções técnicas. As análises mostraram que as composições das misturas reproduzidas interferem nas propriedades de resistência mecânica e química dos materiais e que diferentes percentuais de absorção podem contribuir para uma peça com maior ou menor tendência de desenvolver anomalias ao longo dos anos. Quando se compara os resultados de resistência à flexão com os ensaios de absorção percebe-se uma relação inversa, na qual quanto mais resistente for a chacota, menor será sua porosidade aparente e seu percentual de absorção enquanto a relação entre os teores de absorção e ataques químicos é direta, onde quanto maior a porosidade e absorção do material, maior será a degradação por ataques químicos. Por fim, o estudo identificou que as misturas com maiores composições de sílica e ferro associados a menores quantitativos de cálcio produzem peças mais íntegras, resistentes e com menor tendência ao desenvolvimento de problemas patológicos.

Palavras-chave: azulejo português; patologia; caracterização químico-mineralógica; técnicas de reprodução.

ABSTRACT

The preservation of Portuguese tiles refers to the conservation of Brazilian and Portuguese historical heritage. Therefore, studies that develop strategies for maintenance or characterization of these elements with unique characteristics should be encouraged. In this study, technical samples were reproduced in laboratory, from fragments of Portuguese tiles from the 17th and the 18th centuries, all extracted from existing churches located in the State of Pernambuco, Brazil. Through destructive testing methods, the mechanical response, the resistance to chemical attacks, and the absorption levels of these samples were analyzed, in order to estimate the tiles' tendency to develop pathological issues. The data obtained from the reproduced samples were coherent with the estimated chemical and mineralogical compositions of the tiles, indicating the possible development of further studies of ancient tiles from lab reproductions. The analyses have shown that the mixture composition of the samples influence the mechanical and chemical properties of the material. Results also indicate that the difference in levels of absorption contributes to the tendency of the tiles to develop anomalies over the years. The flexural strength and the absorption tests suggested an inverse correlation between both. In other words, the greater the flexural strength of the sample, the lower its porosity and its percentage of absorption. On the other hand, the correlation between the absorption levels and the risk of chemical attacks seemed to be direct, thus the higher the porosity and the absorption level of the material, the greater the risk of its degradation by chemical attacks. Lastly, the study identified that lab mixtures with larger amounts of silica and iron, which are also associated with lower amounts of calcium, tend to produce stronger and more robust samples, also with a lower tendency to develop pathological issues.

Keywords: Portuguese tiles; pathology; chemical-mineralogical characterization; reproduction techniques.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fluorescência por Raio X dos 10 fragmentos azulejares da Igreja de Nossa Senhora do Pilar (1ª fase estética).....	85
Gráfico 2 - Fluorescência por Raio X dos 16 fragmentos azulejares no Convento e Igreja de Santo Antônio - Igarassu (2ª fase estética).....	87
Gráfico 3 - Fluorescência por Raio X dos 2 fragmentos azulejares da Igreja de Santa Tereza (3ª fase estética).....	88
Gráfico 4 - Curva granulométrica da Argila 1.....	128
Gráfico 5 - Curva granulométrica da Argila 2.....	129
Gráfico 6 - Curva granulométrica da Argila 3.....	131
Gráfico 7 - Curva granulométrica da Argila 4.....	132
Gráfico 8 - Curva granulométrica do Feldspato.....	135
Gráfico 9 - Curva granulométrica da Calcita.....	136
Gráfico 10 - Curva granulométrica do Diopsído.....	138
Gráfico 11 - Curva granulométrica da Areia Caxitu.....	140
Gráfico 12 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 1, amostras do final do século XVII, Capela Nossa Senhora do Pilar, com os obtidos nas reproduções.....	142
Gráfico 13 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 6, amostras do final do século XVII, Capela Nossa Senhora do Pilar, com os obtidos nas reproduções.....	142
Gráfico 14 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 2, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.....	143
Gráfico 15 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 3, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.....	144
Gráfico 16 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 4, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.....	145
Gráfico 17 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 5, Século XVIII, (2ª metade), Igreja Santa Tereza, em Olinda, com os obtidos nas reproduções.....	145

Gráfico 18 - Teores de Absorção (Ev) e Porosidade Aparente (P) das Misturas	152
Gráfico 19 - Relação entre Módulo de Ruptura e Teores de Absorção das Reproduções.....	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais produtores mundiais de materiais cerâmicos	35
Figura 2 - Principais consumidores de materiais cerâmicos no mundo.	35
Figura 3 - Friso dos arqueiros (510 a.C.).....	36
Figura 4 - Campos de estudo superpostos nos quais as argilas são materiais importantes.	46
Figura 5 - Diagrama de Barker	49
Figura 6 - Danos em azulejos de fachadas em edificações do São Luís do Maranhão - MA.....	55
Figura 7 - Claustro do Convento de São Francisco e Painel de azulejaria portuguesa - Olinda PE.....	56
Figura 8 - Painéis de azulejaria Portuguesa no Convento de São Francisco – Olinda PE.	56
Figura 9 - Painéis de azulejaria Portuguesa no Convento de São Francisco – Olinda PE.	56
Figura 10 - Painéis de azulejaria portuguesa na Capela da Jaqueira – Recife PE.	57
Figura 11 - Padrão de <i>craquelé</i> em azulejos de fachadas.....	59
Figura 12 - Azulejos de ambiente interno do Museu Gilberto Freyre apresentando gretamento.	60
Figura 13 - Detalhe do azulejo de ambiente interno do Museu Gilberto Freyre apresentando gretamento.	60
Figura 14 - Manchas de umidade nos azulejos com dissolução dos desenhos do vidrado.	61
Figura 15 - Manchas com alteração cromática em função da utilização de produtos químicos.....	61
Figura 16 - Alteração cromática em azulejos de fachada de uma edificação situada em Olinda – PE.....	63
Figura 17 - Revestimento azulejar apresentando perda da camada de esmalte (vidrado) – Fachada de imóvel situado na Rua 15 de nov. - Olinda.	65
Figura 18 - Revestimento azulejar com trechos de lascamento e perda do vidrado – Fachada de imóvel situado na Rua 15 de nov. - Olinda.	65
Figura 19 - Painel de azulejo português do Museu Gilberto Freyre – Recife com lascamento e perda do vidrado	66

Figura 20 - Detalhe dos pontos de lascamento e da perda do vidro do painel de azulejaria portuguesa do Museu Gilberto Freyre - Recife.....	66
Figura 21 - Casario situado na Rua 15 de novembro – Olinda com deslocamento dos revestimentos azulejares.....	67
Figura 22 - Detalhe do deslocamento dos revestimentos azulejares próximos aos embasamentos.....	67
Figura 23 - Remoção de peças cerâmicas gerando lacunas na fachada do edifício.	67
Figura 24 - Presença de lacunas no painel de azulejaria da Igreja da Sé em Olinda PE.....	67
Figura 25 - Concreção de azulejo do Museu da Abolição.....	68
Figura 26 - Desagregação de azulejo do Museu da Abolição.	68
Figura 27 - Assentamento desordenado dos azulejos no Museu da Abolição – Recife – PE.....	70
Figura 28 - Assentamento caótico do painel de azulejaria.	70
Figura 29 - Observações macroscópicas da chacota.	74
Figura 30 - Dez fragmentos azulejares do final da 1ª metade do Século XVII, provenientes da Igreja Nossa Senhora do Pilar, Recife, referentes a 1ª fase estética e produtiva.	83
Figura 31 - Dezesesseis fragmentos azulejares da 1ª metade do Século XVIII, coletados no Convento e Igreja de Santo Antônio, Igarassu, referentes a 2ª fase estética e produtiva.	83
Figura 32 - Dois fragmentos azulejares da 2ª metade do Século XVIII, coletados na Igreja de Santa Tereza, Olinda, referente a 3ª fase estética e produtiva.	84
Figura 33 - Difratoograma das amostras azupi 0651 e azupi 2260 (Igreja de Nossa Senhora do Pilar).	89
Figura 34 - Difratoograma das amostras Azumo 10, Azumo 18 e Azumo 24 (Convento e Igreja de Santo Antônio).	90
Figura 35 - Difratoograma do fragmento Azust 2 (Igreja de Santa Tereza).	90
Figura 36 - Moinho de Bolas: esquema técnico e fotografia do equipamento utilizado.	97
Figura 37 - Matérias primas utilizadas.	98
Figura 38 - Processo de Apodrecimento da Argila (fase inicial).	99
Figura 39 - Processo de Amadurecimento da Argila (fase final).	99
Figura 40 - Peneiramento da matéria prima (#100mm).	100
Figura 41 - Matérias primas homogeneizadas.....	100

Figura 42 - Adição da água à matéria prima.	100
Figura 43 - Adensamento manual (fase seca).....	101
Figura 44 - Adensamento manual (fase úmida).	101
Figura 45 - Adensamento manual (batimento da argila).	101
Figura 46 - Fase plástica do material (ponto de liga).	101
Figura 47 - Fase plástica do material (ponto de liga).	101
Figura 48 - Fase plástica do material (ponto de liga).	101
Figura 49 - Rolos de argilas impróprios para modelagem (ver rachaduras).	102
Figura 50 - Rolos de argilas indicados para modelagem.....	102
Figura 51 - Moldagem das peças: aplicação do gabarito e tecido para absorção.	103
Figura 52 - Sobreposição de TNT para alisamento das superfícies das placas.	103
Figura 53 - Alisamento das peças com rolo compactador.....	103
Figura 54 - Peça moldada em processo de secagem natural.	103
Figura 55 - Visão externa do forno elétrico utilizado.....	105
Figura 56 - Visão interna do forno elétrico utilizado.	105
Figura 57 - Placas das reproduções após secagem natural sendo submetidas a primeira queima do processo de cozedura.....	105
Figura 58 - Placas das reproduções após p processo de cozedura completo (duas fases).	105
Figura 59 - Empenamento da peça.	106
Figura 60 - Umidade na placa de vidro referente a condensação do material.....	106
Figura 61 - Leitura da dimensão Y da chacota da moldagem experimental.	107
Figura 62 - Leitura da dimensão X da chacota da moldagem experimental.	107
Figura 63 - Retração natural das peças em relação às fôrmas.....	107
Figura 64 -Fôrmas desenvolvidas em marcenaria.....	107
Figura 65 - Peças da moldagem experimental (ver chacotas referentes às receitas 1, 2, 4 e 5).	109
Figura 66 - Efeito da redução de calcita na composição da mistura 4.	110
Figura 67 - Preenchimento da fôrma com cordões de pasta.....	112
Figura 68 - Preenchimento da fôrma com a pasta compactada.	112
Figura 69 - Esquema de execução do ensaio de resistência à ruptura por flexão.	113
Figura 70 - Ensaio de Resistência a Ruptura por Flexão.....	114
Figura 71 - Rompimento Correto da Placa Cerâmica	114
Figura 72 - Determinação m1	115

Figura 73 - Determinação m2.....	115
Figura 74 - Determinação m3.....	115
Figura 75 - Fluxograma das análises para interpretações das tendências ao desenvolvimento de problemas patológicos.	118
Figura 76 - Equipamento de FRX utilizado – modelo Met 5100.	123
Figura 77 - Difrator de Raios X utilizado.....	124
Figura 78 - Amostras das argilas analisadas.....	124
Figura 79 - Destorroamento argila 1	125
Figura 80 - Destorroamento argila 2	125
Figura 81 - Destorroamento argila 3	125
Figura 82 - Destorroamento argila 4	125
Figura 83 - Peneiramento argila 1	125
Figura 84 - Peneiramento argila 2	125
Figura 85 - Peneiramento argila 3	125
Figura 86 - Peneiramento argila 4	125
Figura 87 - Amostras de argilas submersas em defloculante (dexametafosfato de sódio).....	125
Figura 88 - Argilas na proveta com defloculante e água destilada.....	126
Figura 89 - Dispersão das amostras.....	126
Figura 90 - Leitura com densímetro.	126
Figura 91 - Aferição das temperaturas.	126
Figura 92 - Difratoograma da Argila 1.....	127
Figura 93 - Difratoograma da Argila 2.....	129
Figura 94 - Difratoograma da Argila 3.....	130
Figura 95 - Difratoograma da Argila 4.....	131
Figura 96 - Colocação da amostra para execução do DRX.....	133
Figura 97 - Amostras dos fundentes analisados.	133
Figura 98 - Difratoograma do Felspato.	134
Figura 99 - Difratoograma da Calcita.....	136
Figura 100 - Difratoograma do Diopsído.	137
Figura 101 - Difratoograma da Areia Caxitu.	139
Figura 102 - Difratoograma da reprodução (misturas 1 e 6, século XVII, Igreja Nossa Senhora do Pilar, em Recife).....	147

Figura 103 - Difratoograma da reprodução (misturas 2, 3 e 4, século XVIII – 1ª metade, Convento de Santo Antônio em Igarassu).	148
Figura 104 - Difratoograma da reprodução (mistura 5, século XVIII – 2ª metade, Igreja de Santa Tereza em Olinda).	148
Figura 105 - Placas das Misturas 1, 4 e 5 após o cozimento.	150
Figura 106 - Perfis das misturas submetidos a impregnação de corante fluorescente e a luz negra.	154
Figura 107 - Mistura 2 Ataque HCl.	156
Figura 108 - Mistura 3 Ataque HCl.	156
Figura 109 - Mistura 6 Ataque HCl.	156
Figura 110 - Mistura 2 Ataque KOH.	157
Figura 111 - Mistura 3 Ataque KOH.	157
Figura 112 - Mistura 6 Ataque KOH.	157
Figura 113 - Mistura 2 Ataque NH ₄ Cl.	158
Figura 114 - Mistura 3 Ataque NH ₄ Cl.	158
Figura 115 - Mistura 6 Ataque NH ₄ Cl.	158
Figura 116 - Mistura 2 Ataque NaClO.	159
Figura 117 - Mistura 3 Ataque NaClO.	159
Figura 118 - Mistura 6 Ataque NaClO.	159
Figura 119 - Mistura 2 Ataque NaCl.	160
Figura 120 - Mistura 3 Ataque NaCl.	160
Figura 121 - Mistura 4 Ataque NaCl.	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Composição dos elementos químicos presentes nas amostras analisadas por FRX.	72
Tabela 2 -	Análise semi-quantitativa dos minerais obtida por DRX.	73
Tabela 3 -	Relações das amostras coletadas com suas respectivas fases históricas de produção.	82
Tabela 4 -	Identificação de perfis tecnológicos dos fragmentos dos azulejos em função das fases históricas.	85
Tabela 5 -	Percentuais dos principais elementos químicos por amostra “azupi” da Igreja de Nossa Senhora do Pilar - Recife (1ª fase estética).	86
Tabela 6 -	Percentuais dos principais elementos químicos por amostra “azumo” da Igreja e Convento de Santo Antônio (2ª fase estética).	87
Tabela 7 -	Percentuais dos principais elementos químicos por amostra “azust” da Igreja de Santa Tereza – Olinda (3ª fase estética).	88
Tabela 8 -	Composições das matérias primas, em percentuais, dos perfis tecnológicos.	93
Tabela 9 -	Resumo das Massas das Reproduções por Matéria Prima.	96
Tabela 10 -	Resumo dos Quantitativos em relação as receitas propostas.	96
Tabela 11 -	Síntese dos Ensaios de Resistência a Ataques Químicos.	117
Tabela 12 -	Resumo do Programa de Ensaios de Caracterização das Amostras.	118
Tabela 13 -	Combinação do programa experimental com análises dos problemas patológicos.	119
Tabela 14 -	Percentuais dos elementos químicos presentes na Argila 1 obtidos a partir do FRX.	128
Tabela 15 -	Percentuais dos elementos químicos presentes na Argila 2 obtidos a partir do FRX.	128
Tabela 16 -	Percentuais dos elementos químicos presentes na Argila 3 obtidos a partir do FRX.	130
Tabela 17 -	Percentuais dos elementos químicos presentes na Argila 4 obtidos a partir do FRX.	132
Tabela 18 -	Percentuais dos elementos químicos presentes no Feldspato obtidos a partir do FRX.	134

Tabela 19 -	Percentuais dos elementos químicos presentes na Calcita obtidos a partir do FRX.	135
Tabela 20 -	Percentuais dos elementos químicos presentes no Diopsído obtidos a partir do FRX.	138
Tabela 21 -	Percentuais dos elementos químicos presentes na Areia Caxitu obtidos a partir do FRX.	139
Tabela 22 -	Comparativo dos elementos químicos da mistura 1, amostras do final do século XVII, Capela Nossa Senhora do Pilar, com os obtidos nas reproduções.	142
Tabela 23 -	Comparativo dos elementos químicos da mistura 6, amostras do final do século XVII, Capela Nossa Senhora do Pilar, com os obtidos nas reproduções.	142
Tabela 24 -	Comparativo dos elementos químicos da mistura 2, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.	143
Tabela 25 -	Comparativo dos elementos químicos da mistura 3, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.	144
Tabela 26 -	Comparativo dos elementos químicos da mistura 4, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.	144
Tabela 27 -	Comparativo dos elementos químicos da mistura 5, Século XVIII, (2ª metade), Igreja Santa Tereza, em Olinda, com os obtidos nas reproduções.	145
Tabela 28 -	Resumo comparativo entre os minerais dos fragmentos históricos, Azupi 0651, Azupi 2260, e das reproduções, a partir dos dados dos difratogramas das Figura 33 e Figura 100.	147
Tabela 29 -	Resumo comparativo entre os minerais dos fragmentos históricos, azumo 10, azumo 18, azumo 24 e das reproduções 2, 3 e 4, a partir dos dados dos difratogramas das Figura 34 e Figura 101.	148
Tabela 30 -	Resumo comparativo entre os minerais do fragmento histórico, azust 2 e da reprodução 5, a partir dos dados dos difratogramas das Figura 35 e Figura 102.	149

Tabela 31 -	Valores médios de Carga de Ruptura (S) e Módulo de Ruptura (R) das Reproduções	150
Tabela 32 -	Síntese dos dados considerados para cada mistura estudada.	163
Tabela 33 -	Síntese dos dados considerados para cada mistura estudada.	167

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	22
1.2	JUSTIFICATIVA	25
1.3	PROBLEMATIZAÇÕES CIENTÍFICAS	27
1.4	OBJETIVOS	30
1.4.1	Objetivo Geral	30
1.4.2	Objetivos Específicos	30
1.5	ESTRUTURA DA TESE	31
2	REFERENCIAL TEÓRICO	32
2.1	SISTEMAS DE REVESTIMENTOS PARIETAIS EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS	32
2.1.1	Definições de Revestimentos Azulejares	33
2.2	BREVE HISTÓRICO SOBRE AZULEJOS PORTUGUESES	36
2.2.1	Azulejos Portugueses no Brasil	42
2.3	MATÉRIAS PRIMAS PARA FABRICAÇÃO DE AZULEJOS HISTÓRICOS	45
2.4	MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO EM AZULEJOS HISTÓRICOS	50
2.5	PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS	58
2.5.1	Gretamento	58
2.5.2	Manchas e Eflorescências	60
2.5.3	Alteração Cromática	62
2.5.4	Lascamento e Perda do Vidrado	63
2.5.5	Desplacamento e Lacunas	66
2.5.6	Concreção e Desagregação	68
2.5.7	Desordem	69
2.6	ESTUDOS SOBRE CARACTERIZAÇÃO DE AZULEJOS HISTÓRICOS	70
2.7	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS FRAGMENTOS DE AZULEJOS PORTUGUESES EM PERNAMBUCO	81
2.7.1	Técnica de Fluorescência de Raios X (FRX)	84
2.7.2	Ensaio de DRX	88
2.8	DEFINIÇÃO DAS MISTURAS PARA AS REPRODUÇÕES	92
3	METODOLOGIA	94

3.1	A DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS PARA AS REPRODUÇÕES.....	95
3.2	A REPRODUÇÃO DAS PEÇAS	97
3.2.1	Preparação das Matérias-Primas para as Reproduções	97
3.2.2	Homogeneização, Adensamento e Moldagem das Reproduções	100
3.2.3	Secagem, Calcinação e Resfriamento das Reproduções	103
3.2.4	Lições aprendidas com a primeira reprodução.....	105
3.2.4.1	O Ambiente do Laboratório e a Secagem das Peças após Moldagem... 	106
3.2.4.2	A Fôrma Adotada	107
3.2.4.3	Fissuração das Peças e Dosagem das Misturas	108
3.2.4.4	A Moldagem das Peças	111
3.3	O PROGRAMA EXPERIMENTAL	112
3.3.1	Resistência a Ruptura por Flexão	112
3.3.2	Determinação de Absorção de Água e Porosidade Aparente	114
3.3.3	Resistência ao Ataque Químico	115
3.3.4	Interpretações das Análises para Incorrências de Problemas Patológicos	118
4	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS ADOTADAS	122
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGILAS	122
4.1.1	Argila 01.....	127
4.1.2	Argila 02.....	128
4.1.3	Argila 03.....	130
4.1.4	Argila 04.....	131
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS FUNDENTES	133
4.2.1	Feldspato	133
4.2.2	Calcita	135
4.2.3	Diopsído	136
4.2.4	Areia	138
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	141
5.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DAS REPRODUÇÕES.....	141
5.2	ENSAIOS DAS REPRODUÇÕES.....	149
5.2.1	Resistência à Flexão	149
5.2.2	Teores de Absorção e Porosidade Aparente	151
5.2.3	Resistência aos Ataques Químicos.....	154

5.2.3.1	Ácido Hidroclorídrico (HCl na concentração de 18%):.....	155
5.2.3.2	Hidróxido de Potássio (KOH em 100 g/L):.....	156
5.2.3.3	Cloreto de Amônio (NH ₄ Cl a 100 g/L):	157
5.2.3.4	Hipoclorito de Sódio (NaClO a 20mg/L):	158
5.2.3.5	Cloreto de Sódio (NaCl a 30g/L):	159
5.3	DESENVOLVIMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS NAS REPRODUÇÕES.....	160
5.3.1	Tendência ao Gretamento, Lascamento, Perda do Vidrado, Desplacamento e Lacunas	161
5.3.2	Tendência ao Manchamento, Eflorescências e Desagregação	166
6	CONCLUSÕES	168
6.1	SOBRE A COMPOSIÇÃO DAS MATERIAIS PRIMAS	169
6.2	SOBRE O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DAS REPRODUÇÕES.....	170
6.3	SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS	171
6.4	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	172
	REFERÊNCIAS	174
	APÊNDICE A - TESTES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO	183
	APÊNDICE B - TEORES DE ABSORÇÃO E POROSIDADE APARENTE.....	184
	APÊNDICE C - RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DOS ATAQUES QUÍMICOS	186

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O estudo da preservação de edificações históricas é uma temática crescente no meio acadêmico e que cada vez mais exige uma abordagem multidisciplinar para a construção de um conhecimento científico e consolidado. Jukka Jokilehto (2017), em seu livro *History of Architectural Conservation* salienta que a discussão de conservação e preservação do patrimônio edificado não é um assunto novo e que já estaria presente nos escritos de Vitruvius sendo sistematizado, em 1817, na SPAB (*Society for the Protection of Ancient Buildings*) com as contribuições de John Ruskin e William Morris.

A abordagem preventiva para o cuidado dos edifícios históricos é importante, pois além de transmitir os monumentos para gerações futuras, assegurando a preservação da identidade cultural, histórica e artística de um povo, também contribui para o desenvolvimento tecnológico das ações de manutenção colaborando para a modernização ou evolução das técnicas e procedimentos adotados nos serviços de conservação.

De acordo com Carvalho (2015), à medida que a conservação preventiva é entendida como uma filosofia proativa que tem como objetivo garantir a longevidade do patrimônio construído, desperta-se o interesse dos profissionais da preservação, aumentando a busca por informação que propicie o desenvolvimento de instrumentos legais, políticas, aplicações de campo e ferramentas e técnicas apropriadas que garantam a sua implementação.

Neste sentido, a preservação dos monumentos e edificações históricas entra como uma contraposição às restaurações, pois se entende a restauração como uma ação que ocorre de forma corretiva, muito mais que preventiva. Assim, pode-se inferir que a conservação preventiva dos edifícios antigos é menos onerosa que o restauro, uma vez que os serviços de restauração geralmente ocorrem quando o bem necessita de uma intervenção corretiva, tendo o dano já se instalado no monumento.

Esta contextualização inicial é importante para que se possa compreender a problemática em que esta pesquisa se insere. Em função da ineficiência, ou mesmo ausência de políticas que estimulem as práticas de conservação preventiva e da presença de uma cultura muito mais focada em tratar o dano do que evitá-lo, identifica-se uma grande quantidade de edifícios com interesse especial de preservação ou tombados por órgãos de proteção patrimonial que se encontra em elevado estado de degradação.

A Região Metropolitana do Recife – PE apresenta um acervo rico e diversificado de monumentos históricos que necessitam de manutenções preventivas e corretivas. As igrejas pernambucanas, campo desta pesquisa, são remanescentes do período colonial brasileiro e foram erigidas ao longo dos séculos XVII e XVIII, são exemplos de construções que apesar de serem regidas por legislações específicas e protecionistas, ou até mesmo já iniciaram com seus respectivos processos de tombamento, apresentam-se muitas vezes com acelerados processos de degradação, interferindo na conservação do patrimônio histórico pernambucano.

Entre outros elementos presentes nestas edificações destaca-se aqui os painéis de azulejos portugueses que perduram ao longo dos anos, retratando a cultura e história de um período importante em nossa formação como sociedade. Os azulejos históricos, e mais precisamente, a azulejaria portuguesa são bastante estudados internacionalmente. Entretanto as capitais brasileiras mais antigas e que foram colonizadas por Portugal, apresentam exemplares merecedores de estudos técnicos que permitam sua caracterização, manutenção e, conseqüentemente, preservação.

Neste sentido, existem diversos estudos no campo da conservação e restauração de azulejos históricos, entretanto muitos destes são desenvolvidos sem, propriamente incentivar o embasamento científico, revelando estudos demasiadamente teóricos ou focados unicamente na análise gráfica e artística dos acabamentos.

De acordo com Costa (2013) a produção de azulejos portugueses iniciou em Portugal no Séc. XVI, sendo inicialmente um material bastante oneroso e restrito apenas ao clero, à nobreza e à realeza. Posteriormente os azulejos começaram a ser mais difundidos, evoluindo suas técnicas de produção e encontrando em solo brasileiro um grande campo favorável a sua utilização.

Considerando as classificações estéticas e históricas destes materiais, a literatura disponível, a exemplo de Santos (1975), aponta para três períodos de produção da azulejaria portuguesa: uma primeira fase, ao final do Séc. XVII, que incluía a produção artesanal de azulejos policromos com temas geométricos; uma segunda fase composta por pinturas com temática religiosa e tons de azul e branco desenvolvida na primeira metade do Séc. XVIII e uma terceira fase, na segunda metade do Séc. XVIII, que trouxe produtos manufaturados policromáticos, ainda com temáticas religiosas, mas também pagãs.

Nos registros históricos da produção azulejar portuguesa verifica-se que a utilização de revestimentos azulejados cresce à medida que os antigos construtores entendem que estes

materiais são fáceis de serem trabalhados e que encontram em terras do nordeste brasileiro, um local perfeito para sua aplicação, pois a parte esmaltada do revestimento, além de cumprir com sua função térmica, assegurando um conforto térmico para as edificações inseridas em um clima tropical úmido, ainda garante a higiene dos ambientes vistos que são materiais de fácil limpeza e sanitização.

No entanto a fabricação destes materiais, apesar de ser submetida a certo domínio português, poderia ser produzida das mais variadas formas e com diversas matérias primas. A pesquisa de Moraes, Goes e Maior (2021) analisou 28 amostras de azulejos portugueses presentes em 3 igrejas situadas na Região Metropolitana do Recife e identificou perfis tecnológicos com diferentes composições químicas e mineralógicas.

Este achado permitiu a quebra de um paradigma no qual acreditava-se que as composições dos azulejos portugueses poderiam ser semelhantes, desde que pertencentes a mesma fase histórica. Entretanto o que se verificou é que azulejos produzidos na mesma fase histórica apresentam composições químicas e mineralógicas diferentes, o que, por sua vez, implica em comportamentos físico-químicos distintos e processos de degradação em ritmos também diferenciados.

Assim a pesquisa em tela objetiva a reprodução de peças com as características químicas e mineralógicas dos 6 perfis tecnológicos encontrados nos estudos de Morais *et al.* (2021) e caracterizá-las tecnologicamente, identificando aspectos de resistência mecânica, resistência a ataques químicos e absorção de umidade. Acredita-se que a aquisição desses dados poderá auxiliar na compreensão dos mecanismos deteriorantes e na caracterização dos azulejos para futuras reproduções, contribuindo para processos de restauração de painéis de azulejos portugueses.

Neste sentido, visando dar continuidade aos estudos ora apresentados, é necessário se caracterizar tecnologicamente azulejos históricos, para que se possa compreender seu comportamento perante os esforços mecânicos, seu nível de absorção de fluidos e sua resistência aos ataques químicos sob a ação de produtos comumente utilizados na manutenção destes elementos. Esta caracterização buscou compreender as ações de alguns mecanismos de degradação típicos a estes materiais, bem como colaborar para a manutenção preventiva e corretiva de azulejos históricos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Em estudos anteriormente realizados por Rocha (2017) constatou-se que a Região Metropolitana do Recife (PE) apresenta um vasto acervo de edificações históricas remanescentes do período colonial brasileiro e que se apresentam em elevados processos de degradação.

No tópico anterior já foi discutida a necessidade da conservação desses bens sob a ótica cultural tendo como interesse a preservação destes patrimônios para as gerações vindouras, contudo, observa-se que, apesar de esforços para manutenções corretivas e criação de políticas educacionais para conscientizar a população sobre a importância da preservação de monumentos históricos, muitas vezes os órgãos e setores de administração e gestão destas edificações se deparam com diversos problemas que dificultam as manutenções e consequentemente a salvaguarda destes bens.

Ademais muitas das tratativas de conservação do acervo patrimonial podem ser conduzidas de forma capciosa ou com materiais que não sanam os problemas, postergando-os para etapas futuras, contribuindo assim para o desenvolvimento de anomalias estéticas e estruturais, para a sensação de descaso e abandono e até mesmo para a ruína das edificações históricas.

Outro condicionante que contribui ativamente para este cenário relaciona-se às diretrizes dos tratamentos dos danos nos monumentos históricos que ora oferecem pouca flexibilidade para adoção de medidas mitigadoras para o desenvolvimento de problemas patológicos e ora necessitam de informações mais precisas e científicas que conduzam a uma tratativa para assegurar uma solução durável e eficaz.

Quando se considera a preservação dos acervos em museus, por exemplo, Carvalho (2015) e Guinchen (2013) salientam que muitos protocolos já estão estabelecidos visando o controle ambiental, o controle integrado de pestes e a implantação de planos de emergências. Como também foram desenvolvidas ferramentas de identificação e gerenciamento de riscos que possam danificar as peças.

Contudo, no caso dos bens imóveis (edificações e sítios históricos) a relação é outra. Devido as suas dimensões, escala, funções e usos, a preservação baseada na abordagem preventiva comporta desafios conceituais e técnicos (CARVALHO, 2015).

Assim a conservação preventiva em edificações patrimoniais enfrenta barreiras, pois são necessárias mudanças tanto nas abordagens quanto nas vistorias e tratamentos, buscando cada vez mais ações interdisciplinares, inspeções rotineiras, intervenções mínimas e soluções que sejam duráveis e minimizem riscos de ruínas ou acidentes.

Tomando como exemplo os painéis de azulejaria histórica, a ausência de um protocolo que instrua como abordar tecnicamente um serviço de manutenção nestes materiais, necessariamente, conduz a uma dificuldade em sua preservação. A falta de informações sobre as características físico-química e mineralógica dos materiais, bem como a dificuldade de acesso a exemplares que permitam sua caracterização, induz a correção de problemas pontuais apenas quando estes são necessários, dificultando ações preventivas.

Uma vez que a degradação de azulejos históricos ocorre em função dos diversos agentes de degradação, seja a ação dos intemperismos, de aspectos biológicos, físicos ou químicos, bem como a própria intervenção humana, torna-se difícil precisar qual(is) o(s) mecanismo(s) que promoveram a degradação dos azulejos.

Por isso um estudo científico que busque analisar as características físico-químicas e mineralógicas dos azulejos portugueses deve ser incentivado. Entretanto a execução de ensaios tecnológicos de ação destrutiva, apesar de trazer informações precisas, não é indicada ou permitida, uma vez que a execução de tais procedimentos irá deteriorar aquele bem que se deseja proteger, desviando-se, portanto, do objetivo principal ao qual se propõe este estudo.

Assim esta tese se fundamenta em reproduções técnicas de “biscoitos cerâmicos (chacotas)” com características químicas e mineralógicas semelhantes às peças originais, muito embora se conheça certas limitações relacionadas às matérias primas que por mais que sejam próximas ao material adotado originalmente, nunca serão iguais tendo em vista que os fragmentos estudados têm cerca de 300 anos de existência.

Contudo, uma vez analisadas as constituições químicas e mineralógicas dos azulejos históricos, pode-se criar estratégias de conservação preventiva destes materiais e permitir a criação de réplicas nas quais poderão ser interpretados comportamentos semelhantes às peças existentes, permitindo a criação de dados que possa contribuir para tratamentos mais eficazes no restauro e na conservação dos painéis de azulejaria portuguesa presentes no estado de Pernambuco.

1.3 PROBLEMATIZAÇÕES CIENTÍFICAS

Os estudos desenvolvidos na área de preservação de azulejaria portuguesa possuem abordagens diversificadas. Alguns, como Veloso e Almasqué (1990), Alcântara (2001) ou Terol (2002), analisam a representação dos grafismos presentes no vidrado, outros, a exemplo de Muniz (2017) e Menegáz (2014), classificam sua cronologia no intuito de estabelecer um inventário sobre as peças e várias pesquisas, como a de Mimoso e Esteves (2016), procuram compreender os processos de degradação desses elementos visando sua respectiva preservação e conservação.

Outros estudos, como os desenvolvidos por Mercury *et al.* (2010), Mercury *et al.* (2013), Costa Sanjad e Paiva (2013) ou Agua *et al.* (2022), também se utilizam de ferramentas tecnológicas para a caracterização dos revestimentos parietais, pois uma vez compreendendo sua composição química e mineralógica pode-se investigar suas propriedades mecânicas, por exemplo.

Entretanto a caracterização de tais peças históricas esbarram em duas principais dificuldades. A primeira tem relação com a área de estudo pois toda e qualquer investigação de elementos construtivos históricos requer uma atenção especial, uma vez que a adoção de técnicas e práticas construtivas utilizadas no passado, hoje, muitas vezes são consideradas empíricas ou mesmo não usuais ou inexistentes.

A segunda dificuldade relaciona-se ao problema do pouco acesso a elementos que possam validar os estudos realizados tornando-os credibilizados. No caso dos estudos executados com azulejos portugueses, muitos desses elementos são tombados ou estão em processo de tombamentos o que dificulta o acesso para testagens ou execução de ensaios que possibilitem a sua caracterização.

Através do departamento de arqueologia da Universidade Federal de Pernambuco e de pesquisas previamente realizadas, obteve-se 28 fragmentos de azulejos portugueses com mais de 300 anos de fabricação pertencentes a igrejas pernambucanas. E a partir destes fragmentos e das características químicas e mineralógicas identificadas em Moraes *et al.* (2021) busca-se caracterizar tecnologicamente os biscoitos cerâmicos (chacotas), reproduzindo as composições das matérias primas e analisando-as perante a ação de alguns agentes de degradação.

Para isto é necessário inicialmente compreender aspectos das construções antigas. Segundo Colin (2010) as construções erigidas no período colonial brasileiro foram muito influenciadas

por técnicas portuguesas, de sorte que nos edifícios remanescentes deste período, constata-se bastante uso de pedra calcária e arenítica na fabricação de cantarias e embasamentos estruturais, a utilização de alvenarias mistas aparelhadas para composição das paredes e o emprego de madeira para telhados e divisórias além de barro e a cal de ostras na composição das argamassas.

Estes materiais quando extraídos dos mares e quando não suficientemente bem lavados, poderiam adquirir propriedades higroscópicas tornando as estruturas excessivamente úmidas, especialmente as paredes.

As argamassas de revestimento destas paredes apresentavam um papel importante na conservação e refrigeração da edificação, de forma que o sistema de argamassas a base de cal funciona como uma membrana articulada de juntas de dilatação e deformação capaz de absorver tensões e umidade atuando como um elemento de sacrifício, em outras palavras permitindo a parede “respirar” (KANAN, 2008).

Tal condição configura um dos mais importantes aspectos inerentes às edificações históricas; a questão da constante umidade presente através de mecanismos de capilaridades muito comuns em construções porosas e com dificuldades de proporcionar a estanqueidade necessária para a estrutura e a sua relação com a impermeabilização.

Este problema pode ser intensificado quando impermeabilizamos as alvenarias, seja por utilização de argamassas de substituição com propriedades diferentes das originais, seja pela aplicação de painéis azulejares sobre as paredes.

Um estudo realizado no Sítio Histórico do município de Olinda - PE por Rocha (2017) identificou que a maioria dos problemas patológicos das edificações inspecionadas tem sua origem na presença de umidade, seja ela ascensional (por mecanismos capilares) ou devida a falhas construtivas, e degradação natural do elemento construtivo a partir da ação do intemperismo nas construções.

A partir do exposto, propõem-se uma das hipóteses que estruturam a pesquisa: ***será que a excessiva porosidade presente nas paredes das construções coloniais brasileiras contribui para a degradação de painéis azulejares?*** Neste caso, busca-se investigar se as características de absorção dos biscoitos (chacotas) produzidos, confirmam ou não esta hipótese.

Em seguida, de acordo com Moraes *et al.* (2021), através da caracterização química e mineralógica realizada sobre os fragmentos azulejares pertencentes às igrejas pernambucanas

dos séculos XVI e XVII observou-se a formação de 6 perfis com caracterizações tecnológicas diferenciadas, indicando variabilidade de composições e rompendo a classificação literária proposta para a produção de azulejarias portuguesas.

Diante destas constatações e considerando as diferenças químicas e mineralógicas entre os perfis tecnológicos encontrados, insere-se a segunda hipótese: ***será que estas diferenças persistem na resistência a flexão das peças reproduzidas?***

No sentido de se caracterizar fisicamente as reproduções dos “biscoitos cerâmicos” (chacotas), busca-se identificar as resistências à flexão destes elementos, visando estabelecer comparativos de resistências entre os perfis tecnológicos apresentados por Moraes *et al.* (2021).

E finalmente, como terceira hipótese busca-se responder de que forma os “biscoitos cerâmicos” (chacotas) atuam perante a ação de agentes químicos. Estes agentes químicos são produtos definidos pela norma NBR 10.545-13 (ABNT, 2021) para estudo da resistência químicas de placas cerâmicas recém-fabricadas, mas também podem ser utilizados na manutenção e restauro das peças azulejares antigas. Assim a terceira hipótese questiona: ***será que a reação dos biscoitos cerâmicos (chacotas), quando submetidos a ação de agentes químicos, utilizados nas manutenções dos azulejos, afeta seu desempenho, facilitando a absorção de água e outros mecanismos que favorecem a degradação do material?*** Esta última hipótese tem a intenção de apresentar mais uma informação para caracterização dos materiais estudados.

Diante do exposto a pesquisa pretende compreender como se dá a interação destrutiva dos agentes levantados nas hipóteses. Nesse sentido, alguns questionamentos servirão de aporte para tal, são eles:

- Os perfis tecnológicos apresentados diferem quimicamente e mineralógicamente, mas será que também são diferenciados em termos de características físicas e mecânicas?
- A resistência à flexão varia de acordo com os perfis tecnológicos dos biscoitos (chacotas) dos azulejos históricos?
- Como estes elementos se comportam perante a absorção de umidade e se ela representa um risco para degradação para os azulejos históricos?
- Como estes elementos se comportam perante a ação de agentes químicos?

Acredita-se que nas respostas para estes questionamentos está o caráter inovador dessa pesquisa, posto que ela se constitui em um processo de compreensão de como se configura os

perfis tecnológicos¹ dos azulejos históricos e seu comportamento em relação ao ambiente² ao qual ele está inserido. Espera-se ainda contribuir para a construção do conhecimento na área de preservação e compreensão de problemas que tanto afligem os estudiosos e profissionais comprometidos com a preservação de patrimônios históricos.

Assim entende-se que a presente pesquisa estuda os problemas patológicos que interferem na durabilidade dos azulejos históricos, voltando sua análise para os mecanismos de degradação que atuam em azulejarias localizadas em regiões internas e protegidas da ação do clima.

Neste sentido, não é objetivo deste estudo analisar os mecanismos de degradação atuantes em azulejos históricos aplicados em fachadas, que são zonas de maior incidência de mecanismos de intemperismo e agentes de degradação, visto que todos os fragmentos azulejares disponibilizados foram obtidos de regiões internas das igrejas, não sofrendo ações diretas dos agentes de intemperismo.

Também não é objeto de estudo desta pesquisa, a camada esmaltada (vitrificado ou vidrado) dos revestimentos, restringindo-se as observações a camada não vitrificada (chacota).

Por fim, as informações aqui propostas restringem-se a uma amostragem não probabilística, visto que o processo de seleção das amostras dos azulejos estudados não foi aleatório e sim, decorre de extratos que se encontravam disponíveis ao pesquisador.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral propor um método para estudo da degradação de azulejos portugueses dos séculos XVII e XVIII a partir das caracterizações tecnológicas dos fragmentos históricos.

1.4.2 Objetivos Específicos

O alcance do objetivo geral se dá através dos seguintes objetivos específicos:

¹ Considerando as várias interpretações e denominações aplicadas ao termo “perfil tecnológico”, nesta tese considera-se perfil tecnológico como sendo as quantificações de minerais e elementos químicos presentes nas amostras analisadas.

² Uma vez que as análises obtidas foram realizadas em azulejos coletados nos interiores das igrejas, entende-se aqui, como alterações promovidas pelo ambiente, as ações ou mecanismos que alteram a estanqueidade e as resistências mecânicas e químicas.

- Determinar a constituição dos azulejos portugueses dos séculos XVII e XVIII, a partir dos fragmentos de azulejaria portuguesa obtidos em diferentes igrejas de Pernambuco;
- Reproduzir “biscoitos cerâmicos” (chacotas) a partir da determinação das constituições químicas e mineralógicas semelhantes aos fragmentos de azulejaria portuguesa obtidos;
- Executar ensaios de caracterização tecnológica das matérias primas e reconstituições dos “biscoitos cerâmicos” (chacotas) produzidos;
- Estabelecer parâmetros para definição de ensaios destrutivos aplicados às patologias relacionadas a azulejos portugueses históricos;
- Analisar a tendência a degradação das peças de azulejaria a partir das constatações dos ensaios tecnológicos realizados;

1.5 ESTRUTURA DA TESE

A presente pesquisa divide-se em seis capítulos orientados a fim de melhor coordenar a compreensão do tema aqui discutido. Deste modo no Capítulo 1 apresentou-se a introdução contextualizada com justificativa e objetivos definidos sobre a problemática estudada, levantando-se hipóteses a serem analisadas e delimitando a amplitude do tema.

O segundo Capítulo apresenta o referencial teórico para aporte das teorias sobre azulejos portugueses, discutindo definições, funções das matérias primas e relações com agentes deteriorantes dos sistemas de revestimentos parietais.

O Capítulo 3 classifica metodologicamente a pesquisa e apresenta o método de programa experimental proposto e a reprodução das peças. Também se comenta sobre as dificuldades e detalhes importantes no processo de moldagem das placas cerâmicas.

No Capítulo 4 são apresentadas as caracterizações das matérias primas adotadas para a fabricação das reproduções dos perfis tecnológicos.

No quinto Capítulo discute-se os resultados encontrados através da realização dos ensaios propostos nesta pesquisa, bem como são apresentadas as comparações entre as reproduções e as peças históricas.

Por fim, no Capítulo 6 apresenta-se as conclusões obtidas neste estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo organiza-se em cinco subcapítulos que tratam dos principais revestimentos parietais utilizados nas edificações históricas alicerçando-se nas tipologias, funções dos revestimentos e mecanismos de degradação e danos mais frequentes nestes elementos.

A revisão da literatura proposta apresenta inicialmente um resumo dos revestimentos utilizados em edificações históricas remanescentes do período colonial brasileiro, focando principalmente, nos revestimentos de azulejos portugueses. Em seguida propõem-se um estudo sobre o histórico de produção da azulejaria portuguesa, elencando as características básicas de cada período, apresentam-se definições tecnológicas dos revestimentos, funções das matérias primas utilizadas e discorre-se sobre a atuação dos mecanismos de degradação e como se desenvolvem anomalias e problemas patológicos típicos neste material.

Por fim, visando embasar tecnicamente os estudos de caracterização de azulejos históricos apresenta-se um panorama com uma síntese dos principais estudos realizados, com esta temática, em âmbito internacional e nacional.

2.1 SISTEMAS DE REVESTIMENTOS PARIETAIS EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS

O termo parietal deriva do latim “*parietale*” ou “*paries*” que significa parede, logo os sistemas de revestimentos aqui apresentados são aplicados nas paredes dos edifícios (ALCÂNTARA, 1997). Contudo dentro desta classificação, há os revestimentos argamassados (chapisco, emboço, reboco, massa única, granilite, argamassa raspada, pedra fingida, entre outros) e há os revestimentos não argamassados, que por sua vez, englobam àqueles que são constituídos por elementos outros que não seja a própria argamassa, como por exemplo, os revestimentos de azulejo, pastilhas, pedras naturais, madeiras etc.

No entanto uma vez que o tópico aborda os sistemas de revestimentos parietais é necessário considerar muito mais que apenas o material utilizado. Quando nos referimos ao termo sistema de revestimentos é importante analisar o conjunto dos materiais utilizados bem como as paredes e de que forma estes elementos se comportam perante agentes agressivos e se asseguram as condições de estanqueidade necessárias para cada situação.

Na maioria dos casos, a adoção de sistemas de revestimentos nas paredes é pensada, primeiramente, em termos de contribuição estética e valorização do imóvel. No entanto, as funções associadas a um sistema de revestimento, vão muito além de contribuir para a

segurança das paredes, abrigando e protegendo suas alvenarias, mas também atuam como isolantes térmicos, acústicos e com a função básica de estabelecer condições satisfatórias de estanqueidade à umidade e higiene.

2.1.1 Definições de Revestimentos Azulejares

O azulejo é um material construtivo de revestimento e decorativo composto basicamente por dois tipos de materiais: uma base cerâmica geralmente espessa (biscoito) e a parte fina que recobre as faces do biscoito, comumente conhecida por vidrado ou esmalte. Devido a presença desse vidrado, que assegura a camada impermeabilizante, este tipo de revestimento parietal é muito durável e requer baixa manutenção (COSTA, 2013).

Entretanto esta afirmação merece uma contestação. Será que a durabilidade dos azulejos portugueses é realmente muito alta? E ainda, será que este material requer baixa manutenção? Tais questionamentos são levantados para que se possa refletir sobre estes materiais, visto que são elementos únicos, que podem se comportar diferentemente, a partir do ambiente em que estejam dispostos e, portanto, devem-se evitar generalizações. Nos tópicos seguintes explana-se sobre as constituições, processos de fabricação e principais processos de degradação atuantes sobre os azulejos.

Tinoco (2007) alerta para a nomenclatura que também pode ser utilizada em referência ao biscoito da peça podendo ser chamada de “chacota” em referência a espessura da placa do biscoito e “tardoz”, que seria a superfície posterior (verso) ao vidrado, que geralmente apresenta ranhuras para melhorar a aderência do revestimento a sua base de assentamento.

Em Portugal também ocorre uma diferenciação acerca da base cerâmica dos azulejos portugueses. Incorre-se que azulejos com base em pó de pedra, recebem o nome de biscoitos e àqueles com composições cerâmicas são denominados por chacota. Assim, a fim de padronizar os estudos de caracterização tecnológica dos azulejos portugueses, desenvolvidos no Brasil e em Portugal, adota-se aqui a nomenclatura de chacota para designar o corpo cerâmico dos azulejos estudados.

Eládio Petrucci (1987), por sua vez, explica que os azulejos podem ser produzidos por processos de dupla queima, na qual inicialmente o corpo cerâmico (chacota) é moldado e prensado e, após secagem natural ou artificiais, é queimado em forno com temperatura média de 950°C. Posteriormente, é aplicado o esmalte e depois o material é recozido, espalhando-se o esmalte, ao fundir uniformemente ao azulejo.

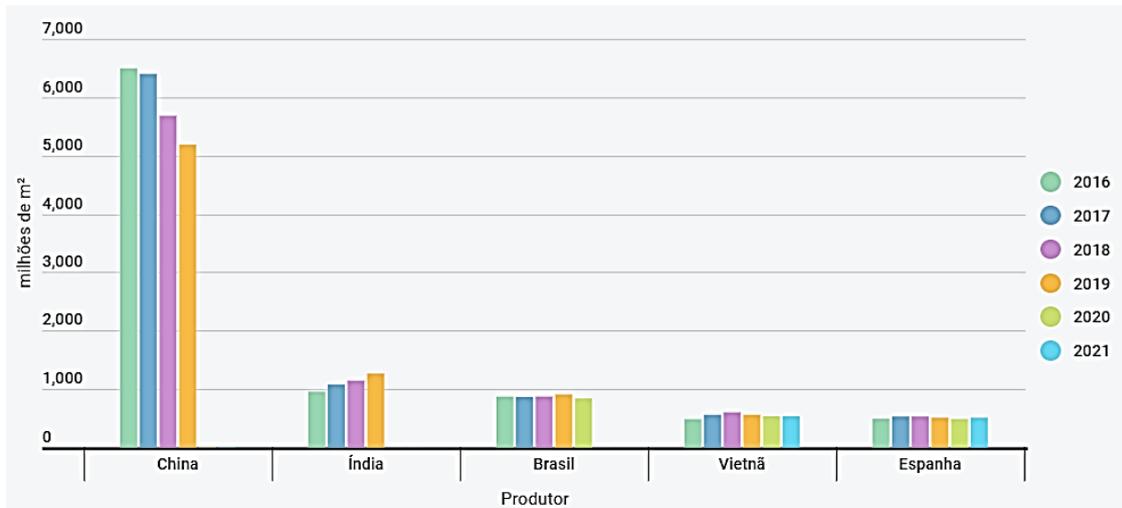
Segundo Costa (2013) a primeira queima é feita para promover liberações gasosas associadas à decomposição das matérias primas dos componentes do corpo cerâmico, a fim de reduzir a quantidades de defeitos no vitrificado, em particular o surgimento de bolhas e a falta de brilho e fornecer a resistência mecânica e a porosidade necessária para a aplicação do esmalte. Já a segunda queima, tem uma temperatura mais baixa e promove a aderência do esmalte à base cerâmica, assegurando a tonalidade das cores existentes.

A camada de esmalte ou o vidrado é a parte que fica visível do revestimento, geralmente composta por chumbo, estanho e diversos óxidos que conferem as pigmentações da camada. Entre suas principais características, esta camada deve apresentar alta resistência às variações de temperatura e umidade além de possuir uma boa resistência aos ataques químicos (PETRUCCI, 1987).

Por ser um material de revestimento, o azulejo deve, sobretudo, revestir outro material assegurando a proteção e o bom acabamento da superfície. Assim a camada esmaltada, deve ainda facilitar a limpeza e garantir a planicidade da superfície, sem empenos ou arestas vivas. Enquanto o tardo precisa garantir a aderência ao paramento que reveste e, portanto, deve ter reentrâncias e saliências para evitar deslizamentos ou escorregamentos durante sua aplicação, melhorando sua fixação (AMBROZEWICZ, 2012).

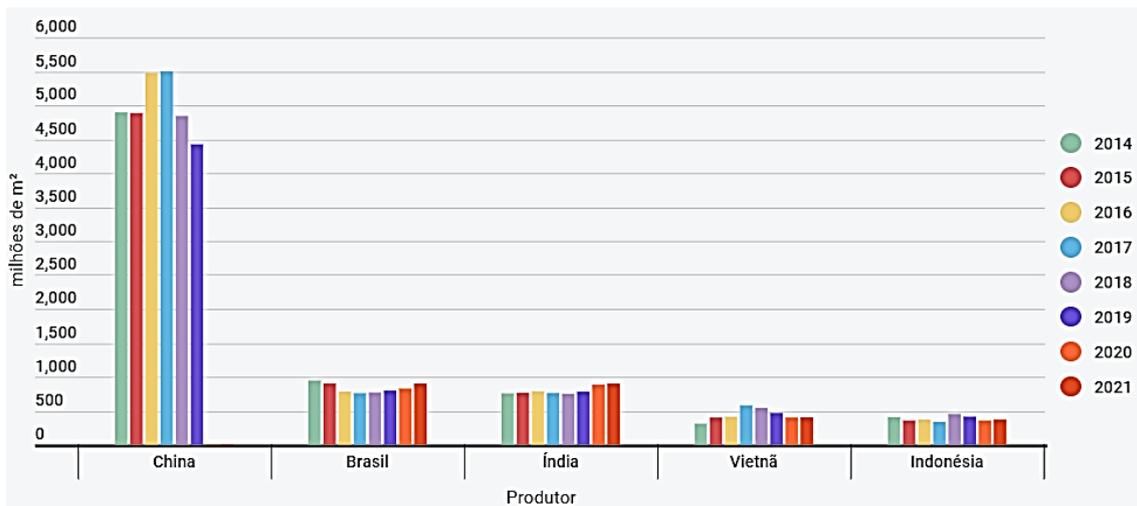
Em termos de produção, segundo a Anfacer (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres), no ano de 2020, o Brasil ocupava a terceira posição mundial na produção de materiais cerâmicos tendo produzido cerca de 909 milhões de metros quadrados perdendo apenas para China e a Índia. Já em 2021, o país ocupava o segundo lugar no ranking mundial de consumo desses materiais, lembrando que não estamos nos referindo apenas aos azulejos, mas a todos os materiais cerâmicos. As Figuras 1 e 2 a seguir situam o Brasil entre os países mais produtores e consumidores de materiais cerâmicos no mundo.

Figura 1 - Principais produtores mundiais de materiais cerâmicos



Fonte: Anfacer (2022)

Figura 2 - Principais consumidores de materiais cerâmicos no mundo



Fonte: Anfacer (2022)

Estes dados apresentam uma tendência crescente do uso de revestimentos cerâmicos nas edificações brasileiras já que o Brasil é o terceiro produtor mundial de materiais cerâmicos e o segundo país do mundo mais consumidor destes materiais. Seja por questões estéticas ou culturais, por questões sanitárias e facilidades de manutenção ou mesmo por conforto térmico em ambientes mais quentes, os revestimentos cerâmicos têm uso frequente no Brasil, desde sua introdução como azulejos, pastilhas ou ladrilhos.

Toda esta produção cerâmica reflete economicamente, pois ainda de acordo com a Anfacer (2022), o Brasil situa-se como quinto maior exportador mundial, tendo exportado 130 milhões

de metros quadrados de materiais cerâmicos, apenas no último ano. Para a 12ª maior economia do planeta, segundo informações do Fundo Monetário Internacional (FMI, 2020), este dado representa cerca de 6% do PIB da indústria de materiais de construção, revelando um mercado bastante lucrativo e promissor (ANFACER, 2022).

Apesar de possuímos vários exemplares de edificações históricas com azulejos importados da França, Holanda e Inglaterra, é a azulejaria portuguesa que, indiscutivelmente, apresenta um maior acervo de exemplares, fato que mostra a necessidade de se detalhar melhor a inserção destes azulejos no Brasil assim como a sua fabricação.

2.2 BREVE HISTÓRICO SOBRE AZULEJOS PORTUGUESES

Inicialmente ao longo da história do desenvolvimento das civilizações, verifica-se que o emprego dos produtos cerâmicos teve início nos locais onde a pedra era de difícil acesso ou escassa e os materiais argilosos abundantes. Assim as regiões da Mesopotâmia e dos povos babilônicos, entre eles os caldeus e assírios desenvolveram várias técnicas de produção de materiais cerâmicos (PETRUCCI, 1987).

Para Simões (1969) os exemplares mais antigos de cerâmica esmaltada são os frisos monumentais de Susa (atual Irã), pertencentes ao antigo palácio do imperador persa Dario I que subjuguou seus domínios sobre os povos caldeus e babilônicos no oriente. Atualmente este painel, também conhecido como friso dos arqueiros, tem 4,75 metros de comprimento por 3,75 metros de altura e está exposto no museu do Louvre em Paris (ver Figura 3).

Figura 3 - Friso dos arqueiros (510 a.C.)



Fonte: Louvre, 2022

A história geral mostra que nos impérios Egípcios e Persas, as grandes construções, pirâmides, palácios e templos eram erigidos com uso da pedra, mas as construções populares e menos imponentes, como pequenas residências e construções gerais, utilizavam tijolos de barro em sua construção.

De acordo com Assunção (2019), escavações arqueológicas recentes, realizadas no Egito têm recuperado azulejos de cerâmicas esmaltadas, produzidas através de técnicas artesanais que misturavam diferentes tipos de argilas e que datam do séc. IV a.C.

Petrucci (1987) também alerta que em vários pontos da Bíblia cristã há referências da utilização de materiais cerâmicos. Em Gênesis, capítulo 11, versículos 3 a 4 vê-se uma referência a construção da Torre de Babel no qual lê-se:

E disseram uns aos outros – Vamos, façamos tijolos e cozamo-los ao fogo, serviram-se de tijolos em vez de pedras e de betume em lugar de argamassa. Depois disseram – Vamos façamos para nós uma cidade e uma torre cujo cimo atinja os céus. (BÍBLIA, Gênesis, 11, 3-4).

No livro de Êxodo, capítulo 1, durante os versículos 13 e 14 constata-se a pena que o faraó instituiu sobre os israelitas como forma de opressão:

Impunham-lhes a mais dura servidão, e amarguravam-lhes a vida com trabalhos duros na argamassa e na fabricação de tijolos, bem como toda a sorte de trabalhos nos campos e todas as tarefas que se lhes impunham tiranicamente. (BÍBLIA, Êxodo, 1, 13-14).

Nesta época os materiais cerâmicos e, neste caso os tijolos, eram moldados e secos ao sol, indicando um processo artesanal e bastante trabalhoso de produção.

Ainda na Antiguidade Clássica, durante a expansão do Império Romano, que em sua fase áurea, ocupou várias regiões da Europa, Ásia e África, pôde-se difundir os conhecimentos construtivos da cerâmica, de sorte que muitas construções datadas desta época apresentam alvenarias de tijolos cerâmicos recobertas por gesso ou pedra.

Contudo ficou a cargo do povo árabe a revalorização dos materiais e aplicá-los extraordinariamente na arquitetura maometana (PETRUCCI, 1987). Durante o período de ocupação árabe na península Ibérica, entre os séculos VI a XIV d.C., foram construídos os mais belos exemplos de construções com uso dos materiais cerâmicos, não apenas como materiais estruturantes, mas também como elementos decorativos e com funções de revestimentos. O castelo de Alambra em Granada, a Mesquita de Córdoba e a Porta de Bisagra em Toledo são alguns bons exemplos de boas aplicações dos materiais cerâmicos, tanto em termos de

aplicações para fins estruturantes, quanto para utilização como revestimentos dos paramentos e ornamentação.

Entretanto definir a origem do azulejo ainda é uma incógnita. De acordo com Vieira (2014), acredita-se que ele tenha surgido com sua aplicação como elemento decorativo, muito provavelmente em civilizações bastante antigas da Índia, China ou mesmo da Mesopotâmia e Egito aproximadamente nos anos 5.000 a.C.

O termo azulejo deriva do árabe “*al zuleyche*” que significa pedra lisa e polida e, segundo Cavalcanti e Cruz (2002), foi originado na antiga região da Pérsia, posteriormente trazido pelos árabes para o continente europeu, inicialmente, para a Itália e, posteriormente, Espanha, onde estabeleceu-se na região da Andaluzia, um grande centro de produção de azulejaria.

Durante o período de ocupação árabe na península Ibérica (Séc. VI a Séc. XIV d.C.), o azulejo ganhou destaque nas construções, prosperando em Portugal sendo largamente empregados nas paredes, pisos e tetos das edificações espanholas e portuguesas. Em seguida verifica-se a utilização de azulejos na Holanda, França e Inglaterra.

De acordo com Henriques (2005) *apud* Menegaz (2014), a chegada dos azulejos em Portugal ocorreu em meados de 1508, quando o então rei Dom Manuel I em uma das visitas ao reino de Castela (Espanha) ficou encantado com a beleza dos revestimentos azulejares, encomendando 10.146 peças para a decoração do Palácio da Vila de Sintra.

Em seguida, o azulejo adquiriu gosto popular em Portugal e desenvolveu-se utilizando-se primeiramente da técnica de produção espanhola e a arte mudéjar, mas adquirindo uma beleza única e originalidade incomparável revestindo murais, tapetes e paredes das fachadas, sobretudo de igrejas (CAVALCANTI; CRUZ, 2002).

Um detalhe sobre os painéis de azulejos, especialmente os portugueses é que além das funções estéticas e utilitárias, eles também apresentavam, num primeiro momento, a função didática de ilustrar visualmente temas da iconografia cristã utilizados na catequese. Por isto, muitos dos painéis de azulejaria portuguesas presentes em sobrados, palácios e, principalmente, igrejas continham cenas religiosas (OLIVEIRA; RIBEIRO, 2015).

Segundo pesquisas do núcleo de Materiais Pétreos e Cerâmicos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa – LNEC, inicialmente, em uma fase que antecede a industrialização das técnicas, a utilização dos azulejos no exterior das edificações restringia-se aos coruchéus

das igrejas, jardins, fontanários e pequenos painéis, de sorte que, o primeiro registro oficial referindo-se a fachadas totalmente azulejadas é de 1845, quando se verifica o trabalho de revestimento de prédios, provavelmente com o intuito de se evitar custos com as limpezas e pinturas que periodicamente eram exigidas às fachadas antes rebocadas (LNEC – Procº 0205/11).

Os principais detalhes e motivos adotados na decoração bem como a aplicação dos revestimentos parietais em Portugal, é assim dividido no Quadro 1, embasado em Santos Simões (1965) e Cavalcanti e Cruz (2002):

Quadro 1 - Divisão histórica da produção de azulejos em Portugal	
Período/ Reinado	Descrição
<p>Século XVI</p> <p>Reinado de Felipe I (1581-1598) Reinado de Felipe II (1598-1621) Reinado de Felipe III (1621-1640)</p>	<p>Tentativa de reprodução em Lisboa dos primeiros ladrilhos vidrados, resultando nos primeiros azulejos lisos, esmaltados e pintados de verde-cobre.</p> <p>Destaca-se os grafismos enxadrezados e enxaquetados (brasões).</p> <p>Nesta fase instalam-se em Lisboa os primeiros fornos do tipo Veneza que são capazes de cozer o esmalte estanífero.</p>
<p>Século XVI</p> <p>Reinado de D. João IV (1640-1656)</p>	<p>Nesta época desenvolveu-se o azulejo tipo maiólica³ com padronagem policromada e influências mudéjar, ítalo-flamenga e indiana. Sendo também desenvolvidos painéis ornamentais e de brutescos.</p> <p>Neste mesmo período (1630-1654) houve a invasão holandesa em Pernambuco que possibilitou a entrada de azulejos holandeses no Brasil, consequentemente influenciando as características de produção da azulejaria portuguesa.</p> <p>Os azulejos holandeses tinham dimensões ligeiramente maiores, eram mais bem acabados e suas bordas eram simples e delicadas. As peças geralmente traziam desenhos finos, labirintos chineses, flores-de-lis, pétalas simples, estrelinhas ou temas populares presentes no cotidiano da época.</p>
<p>Século XVI</p> <p>Reinado de D. Afonso VI (1656-1683)</p>	<p>Época dos painéis figurativos e policromados e dos frontais de altar com motivos adamascados, de brocado, de ramagens, entre outros.</p>
<p>Século XVI e XVII</p> <p>Reinado de D. Pedro II (1683-1706)</p>	<p>Incentivo ao uso do azul-de-cobalto, por influência das porcelanas chinesas e redução gradual da policromia. Nesta fase o azulejo português se destaca, especialmente como revestimento parietal nas fachadas de igrejas e templos através das pinturas com motivos religiosos sendo utilizado nesta composição até o final do Séc. XVII.</p>
<p>Século XVIII</p> <p>Primeiro quarto do Reinado de D. João V (1700-1725)</p>	<p>Período de produção artesanal de grandes mestres da azulejaria portuguesa. Utilização predominante das cores azul e branco com motivos florais, figuras de santos ou ex-votos.</p> <p>É nesta fase que aparece o desenho em que participam os elementos arquitetônicos (cornijas, capiteis, arquivadas, colunas, frontões, etc) incorporando vãos reais.</p>

³ Maiólica ou majólica é a faiança italiana do Renascimento, inspirada em tradições hispano-mourisca. De acordo com McNeB, J. (2009), o termo é proveniente da ilha de Maiorca no Mar Mediterrâneo e resultante da confecção de cerâmicas com dimensões, formas e pesos bastante variados, porosas e, geralmente coloridas, de revestimento transparente ou opaco decorado com reflexos metálicos. A opacidade decorre da presença do estanho na camada de esmalte. Após a camada de pintura, eram revestidas por vernizes à base de chumbo, capazes de suportar altas temperaturas.

<p>Século XVIII</p> <p>Segunda metade do Reinado de D. João V (1725-1750)</p>	<p>Período de ampla produção de azulejos em Portugal e período de grandes exportações destes materiais para o Brasil.</p> <p>Ainda utilizando o azul de cobalto como substituto para policromia, os azulejos desta fase eram utilizados para composições de painéis que ocupavam as fachadas das edificações portuguesas, mas também eram produzidas peças em série com ornamentação mais modesta, figuras avulsas com temas náuticos como sereias e golfinhos e temas religiosos como, por exemplo, cenas da via sacra.</p>
<p>Século XVIII</p> <p>Reinado de D. José (1750-1777) e de Dona Maria I (1777-1792)</p>	<p>Nesta fase verifica-se um regresso ao cromatismo, admitindo-se cores como amarelo, verde e roxo na paleta. O azul mantém-se, porém em menor quantidade, sendo destinado a recortes ou detalhes nas molduras dos painéis.</p> <p>Na decoração das peças observa-se uma tendência ao abstrato, onde a assimetria e arritmia são finalmente admitidas nas representações dos revestimentos.</p>
<p>Século XVIII</p> <p>Reinado de Dona Maria I (1777-1792) e D. João VI (1798-1825)</p>	<p>No início desta época aparecem as molduras concheadas com decorações marmoreadas contrapondo-se as curvas e desequilíbrios estéticos do rococó das fases anteriores.</p> <p>São comuns desta fase azulejos com desenhos leves e delicados com representações de medalhões, aves orientais, laços em fitas ondulantes emoldurando paisagens bucólicas. Também se verifica o retorno a policromia.</p>
<p>Séculos XIX E XX</p>	<p>Em Portugal houve uma série de acontecimentos que levaram a modificação dos processos de fabricação, a industrialização trouxe a produção em série destes materiais transformando o país em um dos maiores produtores e exportadores da Europa, até a Primeira Guerra Mundial.</p> <p>Em paralelo, os diversos movimentos artísticos e culturais associados com a abertura dos portos e um maior contato com países de fora da Península Ibérica influenciaram os padrões e decorações dos azulejos portugueses apresentando estilos que variavam do neoclássico, do neo-românico, do art-nouveau, do art-déco até o eclético.</p>

Adaptado de Cavalcanti e Cruz (2002) e Santos Simões (1969).

Durante o período Pombalino Português (1750-1777), o fabrico de azulejos iniciado nas oficinas portuguesas teve a primeira linha de produção na Fábrica Real do Rato, em Lisboa, que funcionou até meados de 1836. Em seguida outras oficinas, trabalharam no mesmo ofício, algumas trazendo inovações na técnica de produção, como a fábrica de Massarelos no Porto que produzia azulejos em relevo e a fábrica de Vila Nova de Gaia que executava peças por prensagem do molde (CAVALVANTI; CRUZ, 2002).

Com a implantação de programas de industrialização manufatureira dos azulejos portugueses, os produtos continuam a serem produzidos através de processos artesanais, porém sistematizados, assegurando um aumento de produção e certo controle de qualidade (ALCÂNTARA, 1997).

Para Alcântara (2001) o processo de industrialização da azulejaria portuguesa possibilitou não apenas a agilidade da produção destes materiais, como também tornou o preço do azulejo mais competitivo e acessível a um público maior, sendo inclusive muito importado para o Brasil, sobretudo na primeira metade do século XVIII.

Neste sentido, percebia-se nesta fase de industrialização, uma preocupação das escalas de representação e certa tendência de simplificação das cenas e mosaicos, pois os tapetes ou painéis das composições precisavam de maior agilidade de aplicação. O emprego do cobalto, como corante que produz as tonalidades azuis, era também muito utilizado, visto que este material era mais fácil de ser obtido que as demais cores, bem como, o seu comportamento nas operações de queima era mais fácil de ser controlado, caracterizando assim uma predominância de peças na cor azul (ALCÂNTARA; BRITO; SANJAD, 2016).

2.2.1 Azulejos Portugueses no Brasil

No Brasil a aplicação de revestimentos parietais teve grande influência portuguesa, apesar de se presenciar contribuições de outros países como a Holanda, Espanha, França e Inglaterra que após a abertura dos portos para as nações amigas de Portugal e da Proclamação da Independência do Brasil, tornou-se mais presente, influenciando nas características das edificações brasileiras.

Acredita-se que os primeiros azulejos portugueses chegaram ao Brasil no séc. XVII. Segundo Simões (1969), o primeiro registro no país de aplicações de revestimentos azulejares ocorreu no ano de 1620 para ornamentar o antigo Convento de Santo Amaro de Água Fria, no município de Olinda. No entanto estes azulejos foram destruídos juntamente com as demais instalações do antigo convento restando apenas ruínas. Atualmente no local, foi erigido um santuário em homenagem a Nossa Senhora onde podem ser observadas as ruínas desta edificação, porém sem sinais dos azulejos.

Algumas outras cidades brasileiras como São Luís do Maranhão, Belém do Pará, Recife, Salvador e Rio de Janeiro também apresentam diversos exemplares de revestimentos de

azulejaria portuguesa que configuram uma memória de uma época e, sobretudo, constituem documentações históricas dos séculos XVII, XVIII e XIX.

Diversas pesquisas brasileiras estudam as aplicações e características da azulejaria portuguesa no Brasil, contudo aqui se apresenta a proposta de classificação cronológica de Suely Cisneiros Muniz principalmente por focar em um estudo no estado de Pernambuco. Em sua dissertação, Muniz (2009) relaciona a procedência do revestimento, o processo de manufatura e a tipologia das peças em templos religiosos de Pernambuco. Assim cria-se uma espécie de inventário cronológico sobre o uso do azulejo no estado (ver Quadro 2 – p. 42) no qual estabelece-se três fases de produção de azulejaria portuguesa, a saber:

- Fase 1 – produção no final século XVII: incluía a produção artesanal de azulejos policromos com temática geométrica;
- Fase 2 – produção na primeira metade do século XVIII: fase composta por pinturas com temas religiosos com grande destaque da utilização de tons de azul e branco. De acordo com Cavalcanti e Cruz (2002), o fabrico do material passa a transitar entre produção artesanal e produção em larga escala;
- Fase 3 – produção na segunda metade do século XVIII: a produção sistemática e manufaturada trouxe produtos policromáticos, representando cenas religiosas, mas também elementos da natureza, arabescos ou mesmo temáticas pagãs;

A representação das temáticas religiosas nos azulejos portugueses foi bastante utilizada nas igrejas, templos ou mesmo residências cristãs com o intuito de catequizar os fiéis sendo utilizado, sobretudo, como um instrumento de comunicação (OLIVEIRA; RIBEIRO, 2015).

Muniz (2009) declara que durante todo o período colonial brasileiro, uma época em que apenas uma pequena parcela da população tinha acesso a leitura, os painéis figurativos, além de enriquecer os interiores dos templos, funcionavam como uma narração figurativa de contos bíblicos que incentivava os fiéis à meditação, contemplação e adoração.

Quadro 2 - Síntese do inventário das fases históricas de classificação das produções dos azulejos portugueses em Pernambuco

IGREJA/ LOCAL	1ª FASE Séc. XVII 	2ª FASE 1ª metade do Séc. XVIII 	3ª FASE 2ª metade do Séc. XVIII 
Igreja de Nossa Senhora das Neves Olinda		X	
Convento de São Francisco Olinda	X	X	
Convento de Sto. Antônio e Ordem Terceira de São Francisco (Capela Dourada) Recife		X	X
Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres Jab. dos Guararapes	X		
Capela de Nossa Senhora da Piedade Jab. dos Guararapes	X		
Seminário de Olinda Olinda	X		
Museu Regional Olinda		X	
Igreja de Nossa Senhora da Misericórdia Olinda		X	
Igreja de Nossa Senhora do Amparo Olinda	X		
Museu de Arte Sacra Olinda		X	
Igreja de Santa Tereza Olinda			X
Igreja de São Salvador do Mundo (Sé) Olinda	X	X	
Convento do Carmo Recife		X	
Capela de Nossa Senhora da Conceição Recife			X
Capela de Nossa Senhora do Pilar (cúpula interna) Recife	X		X
Ordem Terceira do Carmo Recife			X
Convento de Santo Antônio Igarassu		X	
Convento de Santo Antônio Sirinhaém		X	
Total de Edificações por Fase	7	10	5

Fonte: Adaptado de Muniz (2009).

Outros fatores também contribuíram para a popularização dos azulejos no Brasil, além da evidente questão da aquisição de resistências mecânicas e químicas, Menezes (2015) aponta

um incremento na durabilidade dos materiais, pois se assegura a proteção contra intempéries e, simultaneamente, um meio de suprir a carência por materiais nobres para o embelezamento da arquitetura.

O fato de também se acreditar na época, que os revestimentos parietais demandavam um custo menor de manutenções quando comparados às pinturas das paredes executadas, especialmente quando se analisa as fachadas das construções. As questões de limpeza e higienizações atribuídas a presença do material e o conforto térmico assegurado pelo material, principalmente nas regiões mais quentes do Brasil tornaram a aplicação de revestimentos parietais bastante presente nas construções coloniais brasileiras.

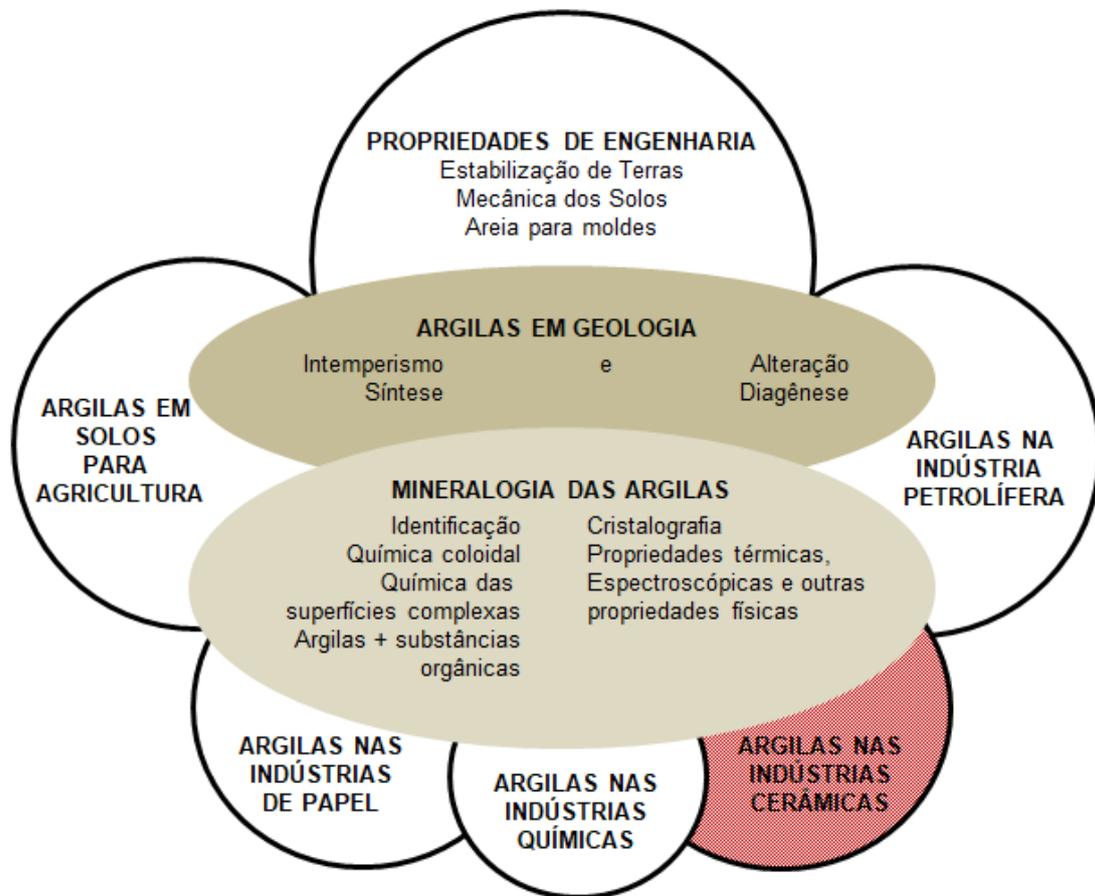
Assim os revestimentos azulejares encontraram condições extremamente favoráveis para sua utilização, extravasando sua aplicação, antes restrita ao interior de edificações religiosas, para o exterior também, revestindo, inclusive fachadas de edificações civis que era uma prática pouco utilizada em Portugal. Para Aguiar (1995), isto permitiu novas possibilidades de expressões arquitetônicas, como também a reabilitação de edificações já construídas pela aplicação destes revestimentos parietais.

2.3 MATÉRIAS PRIMAS PARA FABRICAÇÃO DE AZULEJOS HISTÓRICOS

Conforme previamente comentado, quando se fala em cerâmicas utilizadas na construção, deve-se considerar que são materiais obtidos pela secagem e cozimento ou calcinação de materiais argilosos. Assim, de forma bastante simplificada, pode-se afirmar que a matéria prima empregada na fabricação de produtos cerâmicos são as argilas e os materiais desengordurantes e fundentes, sendo as primeiras a matéria ativa, e os segundos os materiais inertes que diminuem a plasticidade.

A Figura 4 apresenta os diferentes campos de estudo das argilas com suas respectivas aplicações. As argilas para serem utilizadas na indústria da cerâmica precisam apresentar certas características, entre elas citam-se plasticidade, por isso a dosagem das composições para materiais cerâmicos busca o equilíbrio entre teores de materiais argilosos e teores de fundentes.

Figura 4 - Campos de estudo superpostos nos quais as argilas são materiais importantes.



Fonte: Santos (1975) – adaptado.

Meunier, Bortoluzzi e Mexias (2016) em sua conceituada publicação “*Le Monde des Argiles*” (O mundo das argilas), introduzem um ditado popular francês “*Le colosse aux pieds d’argile!*” que em tradução livre seria algo como “O colosso e seus pés de argila”, enfatizando a relação entre a fraqueza daquele que é grande. Entretanto, os materiais argilosos merecem realmente carregar este estigma? Elas são materiais fracos e pouco resistentes?

Segundo o investigador escocês Robert Mackenzie, a argila é tão indefinível como a verdade, permitindo vários conceitos subjetivos e interpretativos. E esta afirmação é alicerçada nos dizeres de Pêrsio de Souza Santos em sua clássica publicação “Tecnologias das argilas aplicadas às argilas brasileiras” de 1975, quando o autor afirma que não há nenhuma argila igual à outra, pois cada uma obteve uma formação particular.

De fato, a definição de materiais argilosos é bastante complexa, pois pode necessitar de aprofundamentos nas áreas de mineralogia, geologia ou mesmo pedologia, a depender da interpretação adotada. Gomes (1986) apresenta que:

[...] para o ceramista, a argila é um material natural que quando misturado com água em quantidade adequada se converte numa pasta plástica; para o sedimentologista, a argila é um termo granulométrico abrangendo todo o sedimento em que dominam partículas com d.e.e. (diâmetro esférico equivalente) $\leq 2\mu\text{m}$; para o petrologista, argila é uma rocha, isto é, um agregado quase sempre friável de partículas minerais muito finas não identificáveis à vista desarmada ou com lupa de mão; para o mineralogista, argila designa mineral ou mistura de minerais em que dominam os chamados minerais argilosos que são silicatos hidratados em que podem participar cátions tais como Al, Fe, Mg, K e outros, que apresentam estrutura essencialmente filitosa e granulometria muito fina; para o pedologista, argila é a fracção que compreende partículas de dimensão coloidal ($< 0,1\mu\text{m}$) e mais activa de um solo, responsável pela fixação reversível dos cátions e ânions, tais como: NH_4^+ , K^+ , PO_4^{3-} , NO_3^- , etc; finalmente para um leigo, argila ou barro é um material natural onde, quando húmido, a bota se enterra e agarra ou onde a bota escorrega.

Importa referir ainda pela sua validade actual o conceito de argila divulgado por Gorgius Agrícola em 1546 – corpo mineral que pode ser trabalhado pelas mãos quando umedecido e com o qual pode formar-se lama quando saturado com água. Para ele as “Terras” que incluíam solos e argilas eram distinguidas pelo tacto, porosidade, dureza, cor, gosto, cheiro e pelo modo de jazida tabular ou não.

O termo argila não tem significado genético. É usado para os materiais que resultam directamente da acção da meteorização e/ou acção hidrotermal ou que se depositaram como sedimentos fluviais, marinhos, lacustres ou eólicos. (GOMES, 1986. p.7-8)

Um termo mais generalista, porém, bastante completo talvez, é apresentado por Santos (1975). Para o autor a argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade. Sob o ponto de vista químico são formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio.

Segundo Verçosa citado em Bauer (2016), as argilas são constituídas essencialmente de partículas cristalinas extremamente pequenas, formada por um número restrito de argilominerais, que se forem analisados quimicamente, revelam, de um modo geral, a presença de sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido férrico (Fe_2O_3), cal (CaO), magnésia (MgO), álcalis (K_2O ; Na_2O), anidrido carbônico (CO_2) e anidrido sulfúrico (SO_3). Cada um desses elementos possui uma função diferente, de forma que quantidades diferenciadas destes compostos poderão atribuir características particulares a certos tipos de argila.

Para Petrucci (1987) a sílica em geral forma de 40% a 80% do total da matéria prima e, apesar de que uma grande percentagem de areia com sílica não ser muitas vezes, desejável, é importante ser adicionada para aumentar a refratariedade e reduzir os efeitos da retração do material, principalmente no momento da queima. Já a alumina aparece com composições entre 10% a 40% e o óxido férrico, o responsável pela coloração do material e por baixar o ponto de fusão da argila, não ultrapassa, usualmente, teores acima de 7%.

Petrucci (1987) ainda complementa que a cal tem percentuais geralmente abaixo de 10%, enquanto a magnésia, também devido ao seu comportamento expansivo, não deve ultrapassar 1%. O teor de álcalis geralmente adotado para produtos cerâmicos é de 10%.

Assim esses componentes químicos poderão trabalhar, de modo intrínseco, cada um da sua forma, melhorando ou não as propriedades dos materiais argilosos, de sorte que os quantitativos dos componentes acima citados poderão destacar ou reduzir propriedades mecânicas ou mesmos características físicas dos materiais cerâmicos (porosidade, dureza, etc).

Os materiais fundentes, geralmente são utilizados em menores quantidades na dosagem das pastas cerâmicas. São substâncias (geralmente óxidos) que reduzem a temperatura de vitrificação ou a fusão de um material, especialmente da sílica, convertendo-a em verniz ou vidro. Além da função citada, os fundentes também podem provocar a fusão de outros ingredientes constituintes de um corpo argiloso (FREITAS, 2015).

Entretanto Borba (1996) salienta que as matérias primas fundentes também têm como função básica aumentar a cinética de sinterização através da formação de fase líquida viscosa, de modo a adequar as características finais do produto (porosidade, contração linear e resistência mecânica) a um ciclo de queima industrial.

Sales Júnior (2012), em sua tese de doutoramento indica que:

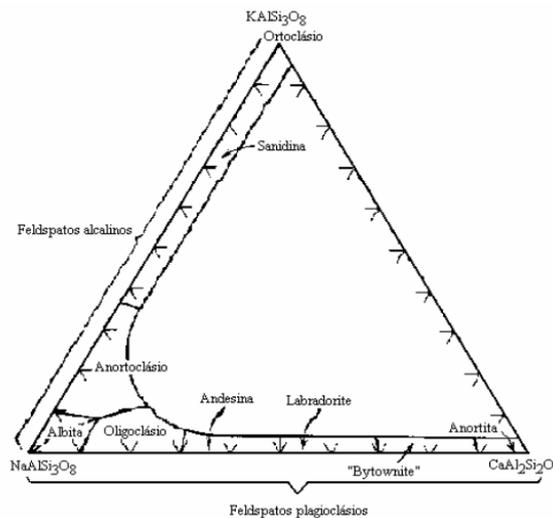
[...] as argilas *in natura* possuem componentes que atuam como fundentes na sua própria composição. Porém, por vezes, a quantidade desses constituintes na argila é insuficiente para obtenção de uma microestrutura adequada durante a queima. A solução passa então por utilizar matérias primas que atribuam à massa cerâmica a fusibilidade necessária ao seu processamento, assegurando às matérias primas fundentes um importante papel. (SALES JUNIOR, 2012 p. 40).

Assim as matérias-primas fundentes são essenciais para assegurar as propriedades mecânicas dos materiais bem como trabalhar nas questões de vitrificação das chacotas. Para Freitas (2015), cada óxido fundente pode ter um ponto de fusão alto ou baixo, entretanto é a reação entre os óxidos que interessa à produção de cerâmicas, uma vez que os óxidos fundentes se combinam perfeitamente com a sílica, reduzindo o ponto de fusão e formando com esta uma massa vítrea transparente.

De acordo com Motta *et al.* (2001), as matérias-primas fundentes que são utilizadas pela indústria cerâmica podem ser divididas em três principais grupos, a saber:

- Feldspatos e rochas feldspáticas – são os fundentes mais utilizados, provavelmente devido a suas variações e grande disponibilidade na natureza. Sob o ponto de vista mineralógico, os feldspatos classificam-se sinteticamente em calco-sódicos (plagioclásios), sódico-potássicos (feldspatos alcalinos). A Figura 5 apresenta o diagrama de Barker que apresenta os principais tipos de feldspatos;
- Carbonatos e rochas carbonáticas – neste grupo os principais compostos são a calcita e a dolomita. Segundo o autor supracitado a aplicação da calcita e dolomita nas composições das massas cerâmicas para revestimento pode chegar a 20%;
- Silicatos de metais alcalinos terrosos – fazem parte deste grupo o talco (sendo um dos mais utilizados pelo setor cerâmico na atualidade), mas também, a wollastonita e o diopsído;

Figura 5 - Diagrama de Barker



Fonte: Lengler (2006).

Através das composições entre materiais argilosos e materiais fundentes pode-se formar a pasta cerâmica, com características e propriedades que dependem da composição das matérias primas e do processo de fabricação.

Para a fase não industrializada de produção dos azulejos portugueses, percebe-se uma produção manual e um tanto rudimentar. Para Santos (1969 – p. 87) “no século XVII os azulejos portugueses eram produzidos em oficinas, por artífices com formação prática e pouca experiência artística.” Em muitos casos não havia queimas uniformes dos materiais ou homogeneização adequada das misturas (LNEC, 2011 – p.8).

De acordo com Panozzo (1984), o processo de produção dos azulejos portugueses era controlado por corporações de ofício, como a Casa dos Vinte e Quatro, que monopolizava o processo de fabricação dos azulejos, mas com o intuito de obter controle do processo administrativo do que suprir o processo de fabricação com padronizações das técnicas e controle tecnológico.

Assim, as produções de azulejos portugueses incluíam processos empíricos e rudimentares com aplicações de misturas obtidas por tentativas e com materiais que estivessem próximos aos locais de produção. Estas condições contribuem para que o azulejo histórico português seja um objeto de estudo único e particular, que embora possa apresentar composições semelhantes, as generalizações devem ser evitadas, sobretudo no que concerne as suas características de durabilidade e resistência aos mecanismos de degradação.

2.4 MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO EM AZULEJOS HISTÓRICOS

Segundo Brito (2017), pouco se sabe sobre o comportamento dos azulejos face aos diferentes fatores de degradação e as intervenções, com vista à sua conservação, pautam-se frequentemente pela repetição das mesmas metodologias, nem sempre acompanhadas por um correto diagnóstico das causas da degradação.

Isto porque a degradação dos revestimentos cerâmicos em edifícios históricos ocorre por variados fatores que podem atuar de maneira individual ou através de mecanismos de degradação que trabalham de forma combinada, acelerando os processos de degradação dos revestimentos parietais.

Antes de se discutir sobre as principais anomalias que acometem os azulejos históricos, convém inicialmente discorrer sobre as estruturas que recebem estes materiais.

Em edificações antigas e aqui sugerem-se inicialmente as construções erigidas antes do século XIX no Brasil, podia-se utilizar como revestimentos parietais os painéis de azulejaria, geralmente de origem portuguesa, ou então, revestimentos argamassados, muito mais frequentes nas primeiras décadas do período colonial brasileiro.

Um estudo de Ribeiro (2004) classificou as argamassas utilizadas nas construções antigas com as funções de (i) assentamento e preenchimento de alvenaria, (ii) revestimento da alvenaria e (iii) produção de arabescos e elementos arquitetônicos para decoração das fachadas. Ainda de acordo com o autor supracitado, sua composição dependia dos materiais existentes no local da

construção e envolvia saibro, areia e cal, havendo indícios do uso de outros materiais orgânicos, em pequenas quantidades, como sangue e esterco de animais, açúcar, queijo, palha e até mesmo óleo de baleia que, segundo a tradição oral, cogitava-se ser utilizado para aumentar a resistência das argamassas, contudo esta última afirmação foi invalidada a partir de estudos mais recentes de Comerlato (2010) e Tinoco (2022).

Segundo Mendes, Veríssimo e Bittar (2011) até o Séc. XVIII, quando ocorreram grandes transformações nos acabamentos das edificações no Brasil, pouco se alterou nos revestimentos parietais. Exceto quando se queria utilizar algo mais rebuscado, quando se aplicava painéis de azulejaria, a prática comum era aplicar um emboço de barro, seguido por um reboco de cal e areia que seria finalizado com um processo de caiação, com a cal proveniente da incineração de conchas e mariscos.

No Brasil, utilizou-se a cal de conchas marinhas desde os primeiros tempos de colonização, nas argamassas e revestimentos das construções, fortificações e casarios ao longo de todo litoral brasileiro. Mais tarde, fabricou-se também, cal extraídas de calcários ou dolomitos, bem como foram importados aglomerantes hidráulicos, “até que no Séc. XX a partir de 1950, surge a indústria da cal e do cimento e desaparecem as antigas fábricas de cal de conchas, tradicionalmente conhecidas por caieiras”. (KANAN, 2008, p. 15).

Assim verifica-se que as paredes dos edifícios antigos, construídos com argamassas a base de cal e alvenarias de tijolos cerâmicos maciços ou embrechamento de pedras, eram normalmente constituídas por materiais muito porosos com resistências mecânicas muitas vezes inferiores às atuais e com certa dificuldade em barrar os mecanismos de capilaridade. Uma vez que era a partir de uma seção espessa que conseguiam cumprir as funções estruturais, de proteção térmica, à água e ao ar (SANTOS; VEIGA, 2012).

No entanto, apesar de muitas construções antigas apresentarem permeabilidade à água e pontos de infiltrações, as soluções de revestimentos utilizadas na época funcionavam bem, pois favoreciam a secagem rápida desta água, visto que as argamassas de revestimento a base de cal permitiam que umidade absorvida por capilaridade fossem evaporadas, obtendo assim um equilíbrio hídrico satisfatório, e, conseqüentemente, favorecendo a conservação da alvenaria (SOUZA; SILVA; CARNEIRO, 2012).

Kanan (2008) explica que as argamassas antigas guardam evidências sobre os métodos construtivos do edifício e dos materiais e quando estes são utilizados na função de revestimento

da alvenaria apresentam um importante papel na conservação e refrigeração da edificação, de forma que no sistema de argamassas a base de cal funciona como uma membrana articulada de juntas de dilatação e deformação capaz de absorver tensões e umidade atuando como um elemento de sacrifício, absorvendo agressões atmosféricas e permitindo a evaporação da umidade.

Também ao longo do tempo, os ciclos contínuos de umedecimento pelas chuvas e posterior secagem provocam a dissolução e precipitação do carbonato de cálcio presente, que se deposita nas microfissuras da estrutura interna dos materiais e atua na sua recristalização (KANAN, 2008).

Entretanto, quando estas superfícies recebem camadas de azulejos ou revestimentos impermeáveis, sejam paredes internas ou paredes de fachadas, o processo de evaporação desta umidade presente pode ficar comprometido, assegurando uma condição que pode agravar o teor de umidade nas paredes, provocando manchamentos, fissurações ou mesmo destacamentos das placas cerâmicas.

A porosidade das alvenarias e argamassas históricas a base de cal são, portanto, importantes parâmetros a serem considerados na conservação dos revestimentos parietais, já que incide no comportamento higroscópico (transferência de água em estado líquido e gasoso), nos mecanismos de desgaste (pressão e cristalização dos sais precipitados), na resistência (a compressão e a flexão) e na durabilidade dos materiais utilizados. A porosidade características destes materiais controla o conteúdo e fluxo de água (retenção e evaporação da umidade), a penetração do ar na estrutura das paredes e a carbonatação do hidróxido de cálcio (HUGHES *et al.* 2001; VAN BALEN; VAN GEMERT 1994).

Para Botas *et al.* (2020) a ligação entre os azulejos e a base de assentamento é um dos parâmetros que deve ser considerado no estudo dos mecanismos de degradação de azulejos históricos, especialmente no que se refere aos deslocamentos das peças azulejares e na intervenção com novas réplicas para serviços de restauro. Da mesma forma Carasek *et al.* (2014) enfatizam que a aderência é uma propriedade complexa, pois depende da interação de dois materiais distintos (base de assentamento e placa cerâmica) e que pode ser influenciada por diversos fatores.

De maneira resumida e, de acordo com os autores acima citados, a ligação entre o suporte e a placa pode ser afetada por diversos fatores, a saber: a quantidade de ar dentro das argamassas,

a retenção de água e fluidez das argamassas de assentamento, a composição (ou seja, o tamanho de grãos de partícula agregada), o encolhimento e as adições aplicadas às argamassas, as condições de envelhecimento do material e a exposição do material a diferentes condições climáticas.

Quando a análise da degradação parte para a investigação pormenorizada do revestimento azulejar, verifica-se que o teor de absorção de água, a textura da superfície, as características físicas da placa e a forma de aplicação das placas interferem na ligação com as bases de suporte e contribuem para os fenômenos de degradação (BOTAS *et al.* 2020).

Segundo o Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa – LNEC, a degradação física dos azulejos resulta da ocorrência simultânea de uma ou mais agressões externas (ação antrópica, incidência solar, ciclos de molhagem ou ações de intemperismo, entre outras) e da fragilidade dos azulejos decorrente de sua fabricação (LNEC, 2011).

Assim, pode-se concluir que na ausência de agressões e, em particular, se a chacota se mantiver seca, ou na ausência de defeitos de fabricação relevantes face ao tipo de agressão, o azulejo não sofre degradação física (LNEC, 2011).

Outro problema relacionado à presença da umidade nas estruturas tem relação com o fenômeno da expansão por umidade, mais conhecido pela sigla EPU. De acordo com Chiari *et al.* (1996) e Bauer e Rago (2000), EPU é o termo técnico utilizado para designar a expansão sofrida por alguns materiais cerâmicos quando em contato com a água na forma líquida ou de vapor, também chamada de dilatação higroscópica.

A EPU geralmente é um processo lento e relativamente pequeno, sendo geralmente negligenciável, contudo, quando seus valores forem superiores a 0,6mm/m e quando não sanada ou evitada, pode comprometer a aderência das placas cerâmicas, provocando o deslocamento do revestimento, uma situação de fissuração na camada de esmalte (gretamento) e ainda desenvolver trincas e fissuras em tijolos (MENDONÇA *et al.* 2012).

Isto posto, observa-se que as superfícies de assentamento de revestimentos cerâmicos geralmente configuram-se como o primeiro agente de agressividade para as peças cerâmicas. A umidade retida nas paredes, em função da aplicação de um material impermeabilizante como o azulejo, mas ao mesmo tempo de elevada porosidade, pode provocar infiltrações, manchas no vidrado e descolamento das peças cerâmicas.

As condições de exposição aos agentes do intemperismo ou outras condições que favoreçam a presença de umidade nos suportes das peças cerâmicas, também configuram agentes de degradação. Curval *et al.* (2012) avaliaram a degradação de azulejos históricos de Lisboa e algumas cidades do sul do Brasil (Jaguarão, Rio Grande e Porto Alegre) e identificaram que todas as degradações encontradas nos revestimentos analisados são ocasionadas por processos de umidificação do corpo cerâmico cozido, que podem surgir por condições de fortes chuvas, a partir de ascensões capilares ou, por tubulações danificadas e drenagens dos telhados deficientes. Para os revestimentos analisados nas cidades brasileiras as paredes de suporte dos revestimentos são menos espessas que as das edificações de Lisboa, o que conduz a uma evaporação mais rápida, favorecendo a preservação dos azulejos. Os autores finalizam afirmando que a conservação dos azulejos de Portugal e do Brasil dependem da existência de paramentos sem acúmulo de umidade.

Oliveira e Matsuy (2013) destacam ainda outros problemas patológicos atuantes em painéis de azulejaria históricos que são as sujidades, as manchas de infiltração e biofilme, as fissuras, os lascamentos, as perdas, o desbotamento do esmalte ou perda de coloração das peças e o gretamento do vidro.

Verifica-se que quanto mais exposto a ambientes agressivos, maior será a degradação destes elementos, de forma que os painéis azulejares presentes em fachadas tende a evidenciar maiores danos que os painéis localizados em ambientes internos, geralmente protegidos dos ciclos de molhagem de águas pluviais, atmosfera poluída e dilatação térmica em função da insolação.

Brito (2017) salienta a ação da salinidade sobre os painéis azulejares e assim sintetiza os mecanismos de degradação dos conjuntos azulejares:

Uma característica relevante de alguns sais é a sua capacidade de absorção da umidade (higroscopicidade) podendo dissolver-se apenas por absorção da umidade do ar (deliquescência), recristalizando quando a umidade ambiente desce. Este fenómeno implica que uma vez o sal transportado para uma área de risco (por exemplo, para as juntas entre os azulejos onde tem acesso ao ambiente com o qual pode trocar umidade) pode ir sofrendo sucessivos ciclos de dissolução e recristalização mesmo na ausência de transporte de água pelas alvenarias, impondo dano contínuo.

A localização geográfica do imóvel, os aerossóis marítimos e a presença de água, vinda por ascensão capilar, infiltrações ou condensação, e a ocorrência de variações acentuadas de umidade ou temperatura, influenciam a contaminação e os efeitos dos sais nos azulejos. Além dos aerossóis, a circulação da água líquida nas alvenarias implica que os solos e os próprios materiais de construção possam também constituir fontes de sais solúveis, frequentemente de difícil verificação pela sua inacessibilidade imediata. A porosidade da chacota, características químicas decorrentes da fabricação ou da história dos materiais e as eventuais fragilidades causadas pelo estado de

conservação, são outros parâmetros que poderão influenciar a resistência dos azulejos aos efeitos dos sais. São assim vários os fatores que poderão estar associados ou relacionados com a degradação dos azulejos. (BRITO, 2017, p. 8.)

Esta declaração atesta que para um diagnóstico preciso sobre a degradação dos azulejos é necessária uma investigação que considere os diversos mecanismos de degradação que podem acometer os painéis de azulejos históricos. A seguir apresentam-se algumas figuras que demonstram as condições de conservação de azulejos portugueses instalados em fachadas de edificações e em seus interiores.

Figura 6 - Danos em azulejos de fachadas em edificações do São Luís do Maranhão - MA



a. lascamento e danos ao vidrado; **b.** desbotamento do esmalte e lascamento; **c.** lascamento e manchas de umidade; **d.** lascamento, danos ao vidrado e biofilme.

Fonte: O autor (2022).

Como pode ser visto na Figura 6, os azulejos das fachadas, embora característicos de vários períodos construtivos e diferentes fases históricas, apresentam diversos tipos de danos que atuaram desde a camada mais superficial (vidrado) até as camadas mais internas como a chacota.

Em contrapartida nas Figuras 7, 8, 9 e 10 a seguir apresentam-se cenas extraídas do Convento de São Francisco, Igreja de Nossa Senhora das Neves e Capela de Santana. Este complexo religioso está localizado no Sítio Histórico de Olinda, Pernambuco, e apresenta uma sequência de painéis de azulejaria portuguesa datadas do período áureo do estilo rococó português (1750 – 1760).

Figura 7 - Claustro do Convento de São Francisco e Painel de azulejaria portuguesa – Olinda|PE



a. Claustro franciscano que abrigam os painéis de azulejaria com dezesseis cenas da vida de São Francisco; **b.** Detalhe dos painéis com perdas de peças pontuais.

Fonte: O autor (2022).

Figura 8 - Painéis de azulejaria Portuguesa no Convento de São Francisco – Olinda|PE.



a. Sacristia do convento com paredes e tetos revestidos em azulejos portugueses; **b.** Capela de Santana, na parede ao fundo está um pequeno retábulo com a imagem de Santana, cuja vida é contada na sequência de painéis de azulejos portugueses.

Fonte: O autor (2022).

Figura 9 - Painéis de azulejaria Portuguesa no Convento de São Francisco – Olinda|PE.



a. Igreja de Nossa Senhora das Neves com painéis de azulejaria que narram a história da Virgem Maria; **b.** Azulejos do tipo “tapete” presentes na antiga sala do Capítulo Franciscano.

Fonte: O autor (2022).

Figura 10 - Painéis de azulejaria portuguesa na Capela da Jaqueira – Recife|PE



a. Capela de Nossa Senhora da Conceição no bairro da Jaqueira com painéis de azulejaria que remontam do Séc. XVIII; **b.** Painel de azulejos portugueses com cenas religiosas de São José do Egito.

Fonte: O autor (2022).

Nas Figuras 7, 8, 9 e 10 percebe-se um melhor estado de conservação dos elementos, pois todos os painéis apresentados encontram-se abrigados e protegidos dos fenômenos do intemperismo, assim verifica-se uma maior incidência de danos nos azulejos de fachadas (ver Figura 6) indicando uma maior ocorrência de danos nas peças mais sujeitas a ação do intemperismo e a ação antrópica e presença de umidade nas paredes (proveniente da porosidade e higroscopicidade natural dos elementos construtivos utilizados) que ocasionam deslocamentos dos revestimentos, lascamentos e manchas dos vidrados.

Ainda comparando o conjunto religioso das edificações do Convento de São Francisco em Olinda – PE com as edificações de sobrados localizados no sítio histórico de São Luis do Maranhão – MA, verifica-se que ambos se encontram tombados sobre a tutela dos mecanismos de proteção patrimonial do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), no qual se subentende a aplicação de manutenções preventivas nas edificações.

Portanto entende-se que o ambiente e a relação de exposição a mecanismos de degradação, assim como a rotina de manutenção preventiva ou corretiva nas edificações influenciam indiretamente seu estado de conservação. E, sobretudo, as matérias primas, a fabricação e os métodos construtivos utilizados nos revestimentos azulejares atuam diretamente na sua durabilidade e desempenho da construção, contribuindo para uma maior ou menor necessidade de manutenção.

Diante do exposto pode-se sintetizar os agentes de degradações que atuam sobre os revestimentos azulejares, classificando-os como:

- Agentes Físicos: incluem os mecanismos que envolvem agressões provocadas por choques mecânicos, pela ação da umidade, pela ação das temperaturas ou pela própria fragilidade decorrente de falhas de produção e da falta de aderência entre as diferentes camadas (vidrado/ chacota; chacota/ base, etc);
- Agentes Químicos: englobam os mecanismos de dissolução, transporte ou recombinações de íons presentes na camada de vidro e os ataques ao corpo cerâmico proveniente de sais, ácidos ou soluções alcalinas;
- Agentes Biológicos: contemplam os mecanismos provenientes de colonizações de fungos, algas, microalgas ou bactérias que geralmente se desenvolvem em ambientes com alta umidade;

A seguir apresentam-se os principais problemas patológicos que acometem os revestimentos parietais, enfatizando os azulejos portugueses.

2.5 PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Os problemas patológicos que acometem os revestimentos cerâmicos podem acontecer através de uma sucessão de fatores, principalmente quando os mecanismos de degradação anteriormente citados, atuam no corpo cerâmico ou na camada esmaltada. Assim, para a identificação dos danos e correto diagnóstico e tratamento, é de fundamental importância identificar os mecanismos deteriorantes que atuam no elemento; conhecer os aspectos construtivos das estruturas que são revestidas e analisar em que locais ocorrem as manifestações patológicas.

Sahade *et al.* (2013), afirma que a maioria dos problemas patológicos em placas cerâmicas ocorrem em função de falhas nas argamassas colantes ou por superfícies defeituosas.

Diante do exposto apresentam-se a seguir a conceituação das principais anomalias que acometem azulejos e revestimentos cerâmicos no estado de Pernambuco.

2.5.1 Gretamento

A NBR 10.545 (ABNT, 2020) em sua parte 11 define o gretamento como uma trinca, semelhante a fios de cabelo, limitada à superfície esmaltada da placa. Essas microfissuras geralmente têm formatos circulares ou espirais, ou ainda, em formato de teia de aranha, conforme aponta Freitas (2015).

No âmbito dos trabalhos de restauração, ou na elaboração de mapas de danos para a identificação de problemas patológicos em painéis azulejares, é comum a identificação de fissuras por gretamento serem identificadas como fissuras padrão “*craquelé*”, um padrão fissuratório poliédrico regular, como o apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Padrão de *craquelé* em azulejos de fachadas



Fonte: LNEC (2011).

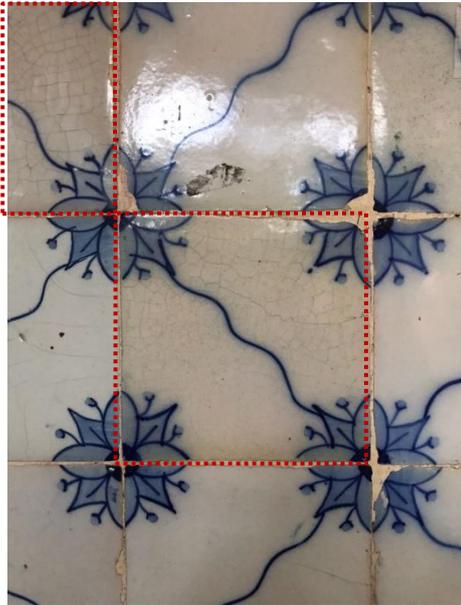
As fissuras por gretamento podem ser originadas a partir das expansões por umidade (EPU) sofrida por alguns materiais cerâmicos quando em contato com a água na forma líquida ou em vapor. A interação da água, promovendo a expansão da base cerâmica, associada à baixa resistência superficial da camada de assentamento, promove um ciclo contínuo de retração e expansão, promovendo a formação do processo fissuratório.

O relatório 303/2011 do departamento de materiais do LNEC assim descreve o fenômeno da fissuração do vidrado dos azulejos históricos:

[...] costuma ser associada a uma incompatibilidade das expansões térmicas da chacota e do vidrado que se manifesta durante o arrefecimento após a cozedura. Quando o vidrado contrai mais rapidamente do que a chacota, é colocado num estado que se aproxima da tracção plana homogênea a que, dada a sua pouca ductilidade, não pode resistir, fissurando então com uma geometria característica. O mesmo fenómeno ocorre em qualquer circunstância se, após a segunda cozedura, o azulejo for arrefecido com demasiada rapidez. O vidrado, fino, retrai rapidamente enquanto a chacota, com uma inércia térmica muito maior, tem uma retracção retardada, originando o *craquelé*. (LNEC, 2011, p. 17).

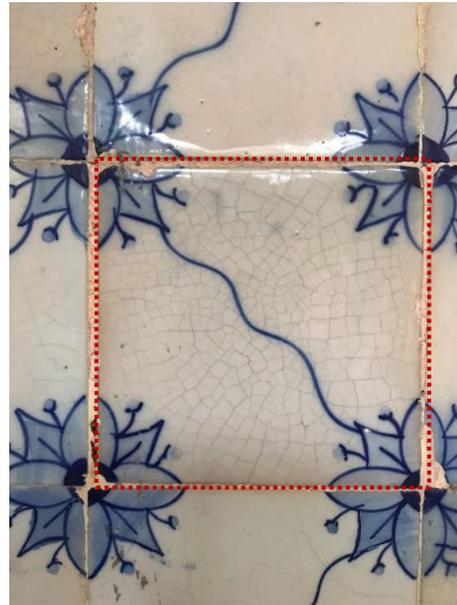
As Figuras 12 e 13 a seguir apresentam os danos provocados pelo gretamento nos azulejos presentes na Casa-museu de Gilberto Freyre, localizada no bairro de Apipucos – Recife.

Figura 12 - Azulejos de ambiente interno do Museu Gilberto Freyre apresentando gretamento.



Fonte: O autor (2022).

Figura 13 - Detalhe do azulejo de ambiente interno do Museu Gilberto Freyre apresentando gretamento.



Fonte: O autor (2022).

2.5.2 Manchas e Eflorescências

As manchas correspondem a um dos danos mais comuns que acometem os revestimentos cerâmicos, especialmente as camadas esmaltadas dos azulejos. Tem origem nas mais diversas causas, desde a utilização de produtos químicos sobre as superfícies azulejares, quanto a formação de manchas, geralmente insolúveis, originada por meio da dissolução de sais e consequente evaporação da umidade proveniente das paredes excessivamente porosas.

De acordo com Muniz (2009), as manchas provocadas nos azulejos surgem em função de uma má utilização dos ambientes com azulejaria, de uma deficiente conservação dos elementos e na falta de proteção ou prevenção nas intervenções anteriormente realizadas.

Um exemplo da formação de manchas insolúveis nas camadas esmaltadas dos revestimentos cerâmicos é destacado por Brito (2017). Quando se tem manchas d'água nas extremidades dos revestimentos cerâmicos tem-se um indicativo de infiltração de água na peça cerâmica por falhas de execução do rejuntamento das peças.

De acordo com a autora, a água pode infiltrar pelas extremidades que não são devidamente vedadas com o rejuntamento e, uma vez que as laterais das peças cerâmicas não recebem

camadas esmaltadas, a entrada de água pelas laterais permite a formação de eflorescências e manchamentos nas pinturas do vidrado.

Em alguns casos as manchas podem ser originadas a partir da ação de agentes biológicos, que se desenvolvem em ambientes úmidos e com pouca iluminação e ventilação natural (SILVA *et al.*, 2013). As manchas provenientes da biodeterioração geralmente apresentam cores castanhas ou negras sob o vidrado e, por vezes, com desenvolvimento dendrítico, que obscurecem ou ocultam a decoração dos azulejos (LNEC, 2011). Alguns autores separam esta forma de manchamento, identificando-o como biofilme ou simplesmente colonização biológica.

As Figuras 14 e 15 a seguir apresentam manchamentos dos azulejos por meio de infiltração de água e manchamentos provocados pelo ataque químico da camada esmaltada proveniente da utilização de materiais ácidos utilizados para limpeza em edificações situadas no sítio histórico de São Luís do Maranhão - MA.

As eflorescências também correspondem a processos de manchamento bastante comuns nos azulejos antigos. Segundo Brito (2017) as eflorescências podem resultar da secagem dos corpos cerâmicos molhados por soluções provenientes dos suportes. Tais soluções geralmente são sais solúveis que conduzem a formação de manchas esbranquiçadas nas superfícies das placas cerâmicas e, em alguns casos, acelerar os processos de queda do vidrado e perda do material cerâmico (MIMOSO; ESTEVES, 2016).

Figura 14 - Manchas de umidade nos azulejos com dissolução dos desenhos do vidrado.



Fonte: O autor (2022).

Figura 15 - Manchas com alteração cromática em função da utilização de produtos químicos.



Fonte: O autor (2022).

Na condução dos estudos para conservação do patrimônio azulejar é uma tendência identificar os tipos de sais presentes nas estruturas de suporte, ou, na maioria dos casos no próprio azulejo. Brito (2017, p. 8) enfatiza que quando o assunto é “sais solúveis em edificações antigas” o principal responsável é o cloreto de sódio, entretanto quando se percebe a presença de argamassas de cimento Portland, destacam-se os sulfatos.

2.5.3 Alteração Cromática

Esta anomalia é caracterizada pela mudança na tonalidade dos revestimentos azulejares em relação a sua coloração original, desenvolvendo um aspecto opaco e, geralmente, sem brilho nas camadas esmaltadas dos azulejos (ver Figura 16). Pode referir-se a uma zona ampla ou localizada, neste caso é preferível utilizar a terminologia “mancha” ou “manchamento” (Normal 1/88, 1990).

Tinoco (2007) aponta que as prováveis causas para a ocorrência das alterações cromáticas em revestimentos azulejares estão relacionadas à exposição dos revestimentos a ação de intempéries, sobretudo a incidência de raios UV ao longo dos anos. Neste caso, este dano é mais constatado em azulejos que revestem fachadas das edificações, principalmente àqueles que não estão situados em zonas sombreadas ou livres de gotejamentos ou escorrimento de águas das chuvas.

Coutinho *et al.* (2019) corrobora Tinoco (2007) quando diz que a alteração cromática envolve reações químicas nos elementos constitutivos do azulejo (vidrado e chacota) ocasionadas por exposições prolongadas aos raios UV, mas complementa esta afirmação indicando que a alteração cromática também pode ocorrer por oxidação dos vernizes de proteção, ou por difusão das tintas adjacentes aos painéis azulejares.

Entretanto, Assunção (2019) especifica que, em alguns casos, a composição química e mineralógica dos azulejos, ou mesmo dos materiais de limpeza utilizados ao longo dos anos, pode danificar o vidrado reagindo quimicamente e provocando a descoloração de azulejos também situados no interior das edificações ou em zonas protegidas do intemperismo.

Figura 16 - Alteração cromática em azulejos de fachada de uma edificação situada em Olinda – PE.



Fonte: O autor (2022).

Coutinho *et al.* (2019) alerta para a possibilidade da alteração cromática também ser provocada por ação da biodeterioração. Segundo Coutinho *et al.* (2015) nos materiais cerâmicos, os principais danos biológicos são causados por: (i) biodeterioração estética devido à produção de pigmentos orgânicos e cobertura da superfície por biofilmes coloridos (pátinas biológicas); ii) biodeterioração física resultante de forças mecânicas produzidas por organismos no interior de poros, fissuração e problemas na interface cerâmica-esmalte que provoquem a desintegração dos materiais, e (iii) biodeterioração química devido à ação direta de produtos metabólicos excretados por microrganismos.

Machado (2012) salienta que as pátinas de biofilme são sujidades e, por serem superficiais, dificilmente alteram a coloração do vidro, contudo quanto a ação envolve a metabolização de produtos excretados pelos microrganismos há alteração cromática das superfícies, sobretudo em elementos cerâmicos e pétreos.

Neste caso, a presença deste problema patológico provoca alterações, muitas vezes, irreversíveis nas camadas de vidro, que pode dificultar processos de restauro e preservação dos painéis de azulejaria.

2.5.4 Lascamento e Perda do Vidrado

A perda do vidro é um problema patológico que ocorre em função do destacamento de uma parte ou de toda a camada esmaltada (vidrado) do azulejo, no entanto, sem afetar a parte do corpo cerâmico (FREITAS, 2015). Este destacamento pode ser acelerado pela cristalização de sais trazidos pela umidade que promovem a perda da resistência mecânica interferindo na

aderência entre o vidrado e a chacota, contudo, a principal causa da queda do vidrado nos azulejos históricos, está relacionada com deficiências na aderência entre as camadas do vidrado e o corpo cerâmico.

O relatório da degradação dos azulejos de fachada de Lisboa (LNEC, 2011) alerta que a “fragilidade” do vidrado ocorre principalmente pela aderência insuficiente entre a camada esmaltada e o corpo cerâmico. Esta “*insuficiente aderência*” pode ser interpretada como um conjunto de situações de origem e natureza diversas que podem ser ativadas em momentos diferentes, através de um único fator ou por agentes de degradação diversos, trazendo como consequência da degradação a queda do vidrado.

O processo de fabricação do azulejo também é uma variável a ser considerada, pois de acordo com o LNEC (2011):

Os defeitos de aderência que podem, ou não, conduzir à degradação num prazo mais ou menos longo são regulados por muitos factores da fabricação, incluindo as composições químicas e mineralógicas das matérias primas e as respectivas técnicas de preparação e incorporação, a tecnologia da cozedura (incluindo factores aleatórios que individualizam cada azulejo, tais como a heterogeneidade da temperatura dentro do forno) e até o processo de arrefecimento. (LNEC, 2011, p. 10).

Para Muniz (2009), a perda do vidrado e, principalmente, o lascamento podem ainda ocorrer em função da ação antrópica, por meio de choques mecânicos que promovem esfoliações, impactos externos superficiais e lascamentos das peças.

É uma tendência que os lascamentos se originem nas extremidades dos azulejos e podem levar a situação de perda do vidrado, no entanto quando o dano se refere unicamente a perda da camada esmaltada, este dano pode ocorrer:

- Nos centros das peças com características circulares que poderão progredir para as extremidades (ver Figura 17). Geralmente este dano ocorre em função de uma má aderência da camada do vidrado ao corpo cerâmico da peça que remonta, possivelmente sua fabricação (LNEC, 2011);
- A partir das arestas dos azulejos quando se desenvolve um destacamento com aspecto característico de alargamento das extremidades que progride para o interior da peça (ver Figuras 18, 19 e 20). Este problema está associado a penetração de umidade entre o vidrado e a chacota através de poros ou má formação das extremidades dos azulejos e que, quando não tratado, poderá conduzir a perda de toda a camada esmaltada;

- Nas partes salientes, em alto relevo, para peças mais rebuscadas. De acordo com o LNEC (2011), este dano pode ocorrer diretamente nas regiões salientes do vidrado em função de ação mecânica, que vão produzir um dano local, ou em função de expansões volumétricas produzidas pela entrada de umidade na peça e que vão provocar tensões que tendem a separar o vidrado, da chacota;
- De forma pontual nos pigmentos específicos utilizados em técnicas de esmaltação não condizentes com as técnicas originais. Neste caso, segundo Mimoso e Esteves (2016), quando os pigmentos do vidrado invadem o corpo cerâmico, ocorre uma redução na capacidade de absorção e expansão hídrica da peça, criando uma zona de fissuração e ruptura da peça, conduzindo não só ao deslocamento do vidrado, mas também do corpo cerâmico.

Assim pode-se inferir que a anomalia de perda do vidrado é um dano específico e que pode ocorrer em função da ação de vários mecanismos, devendo ser analisado cada caso de forma singular, considerando aspectos relacionados ao ambiente, a base de assentamento, a compatibilidade entre vidrado e chacota e, ainda, as técnicas de produção dos materiais.

Figura 17 - Revestimento azulejar apresentando perda da camada de esmalte (vidrado) – Fachada de imóvel situado na Rua 15 de nov. - Olinda.



Fonte: O autor (2022).

Figura 18 - Revestimento azulejar com trechos de lascamento e perda do vidrado – Fachada de imóvel situado na Rua 15 de nov. - Olinda.



Fonte: O autor (2022).

Figura 19 - Painel de azulejo português do Museu Gilberto Freyre – Recife com lascamento e perda do vidrado



Fonte: O autor (2022).

Figura 20 - Detalhe dos pontos de lascamento e da perda do vidrado do painel de azulejaria portuguesa do Museu Gilberto Freyre - Recife



Fonte: O autor (2022).

2.5.5 Desplacamento e Lacunas

O deslocamento é uma ação que envolve a queda ou descolamento das peças cerâmicas gerando perdas ou lacunas nos revestimentos parietais. Geralmente ocorre em função de problemas no assentamento das peças ou mesmo na base de assentamento que se encontra excessivamente porosa ou úmida.

As figuras a seguir apresentam um casario situado na rua quinze de novembro em Olinda, onde pode se constatar diversos pontos de desprendimento dos revestimentos cerâmicos. Verifica-se certa tendência do descolamento de azulejos nas regiões com maior concentração de umidade, geralmente nas regiões mais próximas aos embasamentos da edificação, que recebem mecanismos de umidade ascendente, e nas zonas próximas às cobertas que recebem maior incidência de chuvas e ciclos de molhagem.

Muniz (2009), no entanto, aponta dois outros agentes que contribuem para o deslocamento dos azulejos. O primeiro tem relação com o processo de fabricação das placas cerâmicas, quando durante a queima das peças, formam-se poros ou cavidades que facilitam a percolação de água ou outras substâncias fluidas no interior da peça, promovendo a precipitação de sais na chacota e enfraquecendo sua resistência, tornando-a quebradiça ou desagregável.

O segundo ocorre em função do assentamento das peças, na fase construtiva. De acordo com a autora supracitada, para atender a uma demanda de composição dos painéis azulejares, adotavam-se juntas muito próximas das peças, com espaçamentos muitas vezes ineficientes para assegurar as movimentações provocadas pelas dilatações térmicas das peças. Somado a

isto, a prática ordinária de aplicação de argamassas apenas na parte central das peças, conduzia ao acúmulo de sujidades, fragmentos que poderiam gerar fraturas nas extremidades dos azulejos, colaborando para seu deslocamento.

Outro fator que contribui para a formação de perdas ou lacunas dos painéis azulejares, infelizmente, tem relação com ação de vândalos que se aproveitam de peças de azulejos que estejam frágeis para arrancá-las e comercializá-las em antiquários ou colecionadores. Esta prática deve ser repudiada e fiscalizada a fim de evitá-la. A seguir apresenta-se uma edificação localizada na rua 15 de novembro (Figura 21 e 22), outra edificação localizada na rua de São Bento (Figura 23) e painéis azulejares da Igreja da Sé (Figura 24), as três edificações situadas em Olinda – PE.

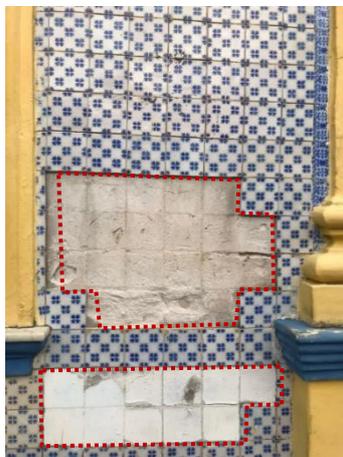
Figura 21 - Casario situado na Rua 15 de novembro – Olinda com deslocamento dos revestimentos azulejares



Ver Detalhe na Fig. 22

Fonte: O autor (2022).

Figura 23 - Remoção de peças cerâmicas gerando lacunas na fachada do edifício.



Fonte: O autor (2022).

Figura 22 - Detalhe do deslocamento dos revestimentos azulejares próximos aos embasamentos.



Fonte: O autor (2022).

Figura 24 - Presença de lacunas no painel de azulejaria da Igreja da Sé em Olinda – PE.



O autor (2022).

2.5.6 Concreção e Desagregação

De acordo com Muniz *et al.* (2017) a concreção é uma massa endurecida, formada pela precipitação ou exsudações magnesianas ou calcárias, sucessivas. Tem um processo de formação semelhante as estalactites ou estalagmites formadas pelas lixiviações de produtos cálcicos no concreto, e pode ser ativada pela absorção ou percolação de água no interior da camada da chacota. Em alguns casos, a concreção rompe a camada do vidrado, formando uma massa insolúvel e de difícil remoção. As Figuras 25 e 26 a seguir apresentam o problema da concreção nos azulejos do Museu da Abolição, em Recife – PE.

Figura 25 - Concreção de azulejo do Museu da Abolição



Fonte: Muniz *et al.* (2017).

Figura 26 - Desagregação de azulejo do Museu da Abolição



Fonte: Muniz *et al.* (2017).

A desagregação das chacotas é uma anomalia decorrente de uma reação física de esfacelamento e dissolução entre o corpo cerâmico (chacota) e vidrado, decorrentes de ações físico-químicas deletérias que promove a perda de resistência do material (MUNIZ *et al.* 2017).

De acordo com Mimoso e Esteves (2016) a desagregação da chacota é geralmente provocada pela cristalização de sais solúveis provenientes de processos de evaporação ou sobressaturação de sais cuja solubilidade varia de acordo com a temperatura. E segundo os autores, o dano provocado pela cristalização dos sais atua de forma oportunista, aproveitando áreas de evaporação provocadas por outros mecanismos de degradação que nem sempre são evidentes.

Desse modo, quanto mais exposta estiver a peça cerâmica à umidade (fachadas, regiões próximas às pingadeiras, beirais e embasamentos muito próximos ao terreno) maior a probabilidade de o azulejo desenvolver concreção ou desagregação.

Os danos decorrentes da cristalização dos sais solúveis podem apresentar diversas morfologias que vão desde processos de arenização da chacota (desagregação em fragmentos muito pequenos) a desagregação folhosa (tipo escamas) decorrente da estratificação do material cerâmico que teve uma má homogeneização da pasta durante o processo de fabricação (MIMOSO; ESTEVES, 2016).

A concreção e a desagregação são problemas patológicos com origens diferenciadas e que podem acometer os azulejos de forma isolada ou em conjunto, sendo que ambas podem condenar a azulejaria impossibilitando um restauro. Na maioria dos casos, geralmente procede-se a remoção da peça e uso de próteses para substituições.

2.5.7 Desordem

A desordem está muito mais relacionada a um problema executivo do que propriamente um problema patológico. Contudo, uma vez que apresenta danos estéticos aos painéis azulejares contribuindo para sua desvalorização, cabe aqui sua discussão.

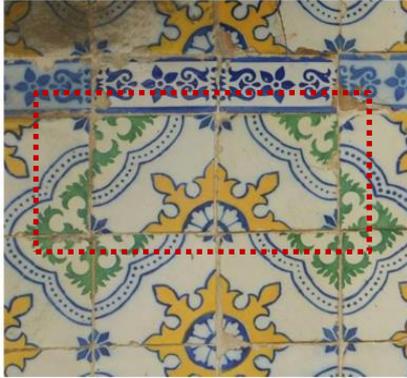
A desordem é ocasionada por falhas no assentamento dos azulejos, seja na fase de construção ou na fase de manutenção, na ocorrência de uma possível reposição das peças. Esta desordem provoca uma confusão na paginação dos revestimentos azulejares, dificultando a visualização ou representação do painel azulejar e tem origem na execução de assentamentos do revestimento realizado por profissionais inexperientes ou inabilitados.

Tal problema se intensifica, pois, uma vez que a placa cerâmica for fixada e a argamassa de assentamento finalizar sua cura, o revestimento histórico fica inviável de remover, visto que sua remoção poderá levar a sua quebra ou fissuração.

De acordo com Tinoco (2007), algumas vezes a desordem nos painéis de revestimentos parietais é feita de forma proposital, na tentativa de preenchimento das lacunas, ocasionadas por deslocamentos dos revestimentos, através da mimetização da forma do silhar com peças aleatórias. Entretanto, na maioria dos casos, esta mimetização remete a um caos estético, devendo, portanto, ser evitada.

A seguir apresenta-se as Figuras 27 e 28 com registros de desordem em painéis azulejares.

Figura 27 - Assentamento desordenado dos azulejos no Museu da Abolição – Recife – PE



Fonte: Muniz *et al.* (2017)

Figura 28 - Assentamento caótico do painel de azulejaria.



Fonte: Tinoco (2007).

2.6 ESTUDOS SOBRE CARACTERIZAÇÃO DE AZULEJOS HISTÓRICOS

Embora a temática de azulejos portugueses se constituir em um campo de estudos bastante interessante, a maioria dos estudos desenvolvidos são voltados para a análise dos aspectos voltados à historicidade e a tipologia azulejar, buscando identificar as fases produtivas ou investigar os aspectos históricos relacionados a estes materiais, ou ainda protocolar cronologias ou criar inventários sobre azulejaria histórica. Pesquisas com tais finalidades podem ser encontradas nos estudos de Simões Santos (1969), Veloso e Almasqué (1990), Alcântara (2001), Terol (2002), Curval (2008), Muniz (2009), Menegaz (2014) entre outras.

Outras pesquisas se debruçam no estudo da conservação dos azulejos históricos, abordando os problemas patológicos mais frequentes em revestimentos azulejares. Estes estudos são mais recentes e buscam compreender a atuação dos agentes de degradação sobre estes elementos ou mesmo catalogar as anomalias através de registros em inventários, check-list ou mapas de danos.

Pode-se citar como exemplos desses estudos os trabalhos de Muniz *et al.* (2017) que elaborou mapas de danos dos azulejos da fachada do Museu da Abolição em Pernambuco, a pesquisa de Assunção (2019) que registrou danos nos azulejos de edificações históricas em Estância (SE) ou mesmo as contribuições de Costa, Cachim e Velosa (2012) no entendimento da umidade como agente deteriorante dos azulejos.

Entretanto, quando a intenção é obter a caracterização tecnológica dos azulejos históricos ainda se observam poucas referências. Uma das primeiras tentativas, no âmbito internacional, de se

caracterizar azulejos históricos portugueses, partiu dos estudos de Paul Charles Lepierre. O estudo publicado em 1912, foi executado no laboratório químico da Escola Industrial Brotero em Coimbra e baseou-se em análises químicas e tecnológicas de cerâmicas portuguesas modernas.

Já Antunes (1992) analisou azulejos datados de 1670, pertencentes ao Palácio de São Bento em Lisboa e trouxe informações científicas valiosas, sobre os perfis tecnológicos da azulejaria portuguesa pertencentes ao século XVII, fundamentando diversas explicações sobre composições mineralógicas e, principalmente, a relação entre temperaturas de cozimento das peças cerâmicas e proporções de cal (CaO).

Em 2009, o laboratório de arqueologia e história das artes da Universidade de Oxford, utilizou técnicas de microscopia eletrônica para analisar a microestrutura e as composições químicas de 50 fragmentos de cerâmicas maiólicas italianas dos séculos XIII ao início do século XVII e pode estabelecer as mudanças na produção tecnológica desses materiais que ocorreu durante este período.

Este estudo ainda revelou que a matéria prima utilizada era a base de argilas calcáreas, além de adicionar areia no processo de vitrificação, sugerindo que tais incorporações poderiam facilitar a produção das peças e melhorar a qualidade do produto final (TITE, 2009).

Pereira, Mimoso e Silva (2011) no relatório *Physical-Chemical Characterization of Historic Portuguese Tiles*, do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa, identificou, com o auxílio das técnicas do DRX, FRX e análises termogravimétricas e térmica diferencial, as matérias primas pertencentes às chacotas dos azulejos, sendo estes formados a partir da mistura de minerais cristalinos com diversas granulometrias, tais como argila, quartzo, feldspato, calcita e dolomita, mas ainda outros compostos de natureza orgânica, como óxidos de ferro e titânio.

As caracterizações químicas das chacotas analisadas pelos autores quantificaram os principais elementos químicos, indicando o CaO como principal elemento presente nas amostras analisadas. A tabela a seguir apresenta as composições das amostras (% de peso) obtidas pelo FRX.

Tabela 1 - Composição dos elementos químicos presentes nas amostras analisadas por FRX

Oxides	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	CuO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MnO	NiO	PbO	SiO ₂	SrO	TiO ₂	ZnO
Samples	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SP1-A1	13.4	35.5	0.01	0.01	5.4	1.3	0.03	0.01	.0002	43.5	0.05	0.8	0.02
STD	0.5	0.5	0.001	0.001	0.1	0.3	0.003	.002	.0001	1.3	.0002	0.2	.001
SP1-A2	12.1	39.0	0.01	0.01	4.9	1.9	0.04	0.01	0.07	41.3	0.05	0.7	0.02
STD	1.1	2.3	0.001	0.001	1.2	0.4	0.008	.001	0.003	3.9	0.004	0.1	.003
SP1-A3	12.5	38.2	0.01	0.01	5.2	1.8	0.04	0.01	0.002	41.6	0.06	0.6	0.03
STD	0.5	1.3	0.006	0.003	0.3	0.2	0.002	.002	.0004	1.6	.0004	0.06	0.5
SP1-A5	14.6	36.4	0.01	0.01	5.4	1.6	0.04	0.01	0.05	41.0	0.05	0.8	0.02
STD	0.8	0.5	0.001	.0001	0.4	0.3	0.005	.002	0.06	1.5	0.003	0.03	0.8
SP1-A6	12.5	37.2	0.01	0.01	4.8	1.2	0.05	0.01	0.03	42.9	0.06	1.1	0.02
STD	0.7	2.5	0.004	0.002	0.2	0.1	0.008	.001	0.06	2.7	0.001	0.52	0.7
SP1-A7	12.1	41.3	0.01	0.02	5.1	1.5	0.05	0.01	0.002	39.0	0.06	0.9	0.02
STD	1.0	1.3	0.001	0.004	0.4	0.1	0.004	.001	.0001	1.9	0.005	0.25	1.0
SP1-A8	13.7	35.2	0.01	0.01	6.6	2.4	0.04	0.01	0.09	40.9	0.04	0.9	0.02
STD	0.5	1.5	0.000	0.003	1.0	0.4	0.003	.003	0.003	0.9	0.002	0.16	0.5

Fonte: Pereira *et al.* (2011, p.14).

A análise da DRX dos estudos de Pereira *et al.* (2011) também identificou a presença de minerais, concluindo que o quartzo é o principal componente das composições dos corpos cerâmicos atuando como material de enchimento e contribuindo para a estabilidade dimensional da peça. Mas também pode participar em conjunto com outros minerais como a wollastonita e ghelenita, formados em temperaturas superiores a 800 °C, ou mesmo cristobalita, calcita, hematita, feldspatos e analcime.

Outra conclusão da pesquisa indica que a presença da calcita, identificada nas análises de DRX, poderiam estar relacionadas com eventuais contaminações das argamassas de assentamento dos azulejos ou mesmo devido ao processo de reidratação do CaO. A Tabela 2 a seguir apresenta a relação dos principais minerais encontrados nas análises de Pereira *et al.* (2011).

Tabela 2 - Análise semi-quantitativa dos minerais obtida por DRX.

Mineral name	Quartz (Q)	Cristobalite (Cr)	Calcite (C)	Gehlenite (G)	Wollastonite (W)	K-Feldspars (F)	Hematite (H)	Analcime (A)
Chemical formula	SiO ₂	SiO ₂	CaCO ₃	Ca ₂ Al[AISiO ₇]	CaSiO ₃	KAlSi ₃ O ₈	Fe ₂ O ₃	NaAlSi ₃ O ₈ ·H ₂ O
Samples	Q	Cr	C	G	W	F	H	A
SP1-A1	++/+++	-	-	++	++/+++	+	+	Tr/+
SP1-A2	+ /++	Tr	++	++	+	+	Tr	Tr
SP1-A3	++/+++	-	+ /++	++	++	+	Tr/+	-
SP1-A5	+ /++	Tr	+	++	++	+	Tr/+	+
SP1-A6	++/+++	+	++	++/+++	Tr	++	Tr/+	+ /++
SP1-A7	++	-	++	++/+++	Tr/+	+	Tr/+	-
SP1-A8	++/+++	-	+ /++	++	++	+ /++	Tr/+	Tr

Considerar (+++) alta concentração; (++) média concentração; (+) baixa concentração; (-) não detectados e (Tr) vestígios.

Fonte: Pereira *et al.* (2011, p.16).

Pereira *et al.* (2011) ainda apresentou considerações sobre as caracterizações físicas das chacotas cerâmicas relacionando-as com o comportamento higroscópico. Para a autora supracitada, a porosidade, a densidade e a capacidade de absorção de água estão diretamente relacionadas com as matérias primas utilizadas.

Ainda neste estudo, constata-se por meio de observações macroscópicas a existência de heterogeneidade na matriz cerâmica condizentes com mistura de pastas cerâmicas ou argilas e a presença de poros alongados, provavelmente resultantes dos procedimentos de moldagem dos azulejos. Estes poros, segundo Pereira *et al.* (2011), têm suas dimensões paralelas à superfície da peça cerâmica e dispersos na matriz.

A Figura 29 a seguir apresenta, em livre tradução, as caracterizações físicas realizadas por Pereira *et al.* (2011).

Figura 29 - Observações macroscópicas da chacota

Amostras	Figura	Espessura	Observações
SP1-A1		11-12mm	Cor amarelada com poros pequenos circulares e alongados.
SP1-A2		14mm	Cor amarelada com poros pequenos circulares e alongados.
SP1-A3		11mm	Cor amarelo-alaranjado com poros pequenos circulares e alongados.
SP1-A5		11-12mm	Cor amarelada com pequenos e grandes poros alongados. Grandes “bolsões” de ar resultantes da conformação plástica da pasta cerâmica usada na moldagem das chacotas.
SP1-A6		15mm	Cor amarelada com pequenos poros circulares e alongados. A matriz cerâmica apresenta-se menos consistente.
SP1-A7		13mm	Cor amarelo-alaranjado com pequenos poros circulares e alongados.
SP1-A8		10mm	Corpo principal rosa-amarelado abaixo do vidrado. Poros alongados.

Fonte: Pereira *et al.* (2011, p.11) – tradução livre.

Esta análise foi importante pois contribuiu para a compreensão sobre o comportamento higroscópico das peças cerâmicas. Através dos estudos de porosidade e capacidade de absorção da água, Pereira *et al.* (2011) puderam afirmar que a estrutura da massa cerâmica é formada por uniões irregulares entre grãos finos das argilas com maiores, dos quartzos. Esta formação cria na matriz cerâmica, uma estrutura de numerosos poros finos e cavidades com diferentes dimensões preenchidas com ar, resultantes do processo de moldagem e preparação da pasta cerâmica.

Os autores também alertam para a possibilidade de formação dos poros, a partir da perda de água estrutural dos minerais presentes na argila, mas também da expansão volumétrica e liberação do CO₂ a partir dos materiais de carbonato, que ocorre durante os processos de

queima. A porosidade média das amostras analisadas, é de aproximadamente 40%, e os valores de absorção de água obtidos variam entre 20-28%.

Os estudos de Pereira *et al.* (2011) também contribuíram significativamente para a construção do conhecimento na área de caracterização dos azulejos históricos, principalmente porque constitui-se em um trabalho pioneiro apresentando características físicas, químicas e mineralógicas. A autora enfatiza que tais características variam entre as amostras azulejares portuguesas dos séculos XVII a XIX e que estudos complementares são necessários para uma melhor compreensão sobre a composição destes materiais e sobre seu comportamento ao longo do tempo.

Outra pesquisa desenvolvida por Leal *et al.* (2017), corrobora a necessidade de maiores estudos sobre a caracterização analítica dos azulejos históricos portugueses do Séc. XVIII e se detém as análises químicas, físicas e mineralógicas dos azulejos hispano-mouriscos do Museu de Lisboa – Teatro Romano. Este estudo desenvolveu caracterizações mineralógicas do corpo cerâmico, mas também focou nas análises químicas e morfológicas dos vidrados.

Para os autores, os vidrados dos elementos estudados são plúmbicos, sendo que os de cor branca e azul apresentam teores de SnO_2 entre 4 a 11%, enquanto os demais com outras cores, teriam composições de SnO_2 inferiores a 2%. Já para as chacotas, os autores concluíram que sua composição química é típica de pastas cálcicas, sendo os teores de CaO de 16-28% e de Fe_2O_3 de 4-5%, este último sendo responsável pela cor creme/ rosada.

O estudo mineralógico realizado por Leal *et al.* (2018) identificou teores de wollastonita, calcita, diopsído e plagioclases cálcicas, indicando temperaturas de cozimento das peças próximas a 1000 °C, sendo alguns casos indicando uma probabilidade de não ultrapassarem 900 °C.

A caracterização física dos azulejos hispano-mouriscos, por sua vez, revelou valores de 30-42% para porosidade aberta, distribuição de tamanho de poros bimodal, absorção de água por capilaridade de 1,5 a 6,1 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$ (LEAL *et al.* 2018).

Costa (2013) em sua tese de doutoramento pela Universidade de Aveiro, em Portugal, propôs um estudo de caracterização físico-química dos azulejos do século XIX para o desenvolvimento de réplicas e conservação das fachadas azulejares da cidade de Ovar.

Costa (2013) utilizou as técnicas de DRX, FRX, Termogravimetria, Espectrografia de infravermelhos – Fourier, entre outras, para caracterização dos corpos cerâmicos originais e, em seguida, sugere matérias-primas e grau de moagem, pressão de prensagem, ciclo e temperaturas máximas de cozimento para réplicas destes materiais, para serem utilizados em intervenções de restauro bem-sucedidas.

A dissertação proposta por Almeida (2011), apesar de voltada para a área de museologia, propôs a caracterização química dos compostos e pigmentos presentes no vidro de um painel de azulejaria portuguesa do século XVII pertencente ao Ecomuseu do Seixal em Portugal.

Por não ser possível a extração de peças históricas, a autora ainda tentou analisar a chacota por meio de espectrometria de fluorescência de raios x, realizadas diretamente sobre trechos fraturados do painel, no entanto obteve-se grande dispersão dos resultados. Daí concluiu que para a obtenção de resultados válidos sobre o corpo cerâmico, seria necessário a reprodução de peças ou placas com composições obtidas a partir de comparações com o corpo cerâmico moído, resumindo seu estudo apenas a camada do vidro.

Embora o estudo não tenha conseguido caracterizar o corpo cerâmico, aplicou técnicas de microscopia e colorimetria para identificar os compostos utilizados nos vidrados trazendo proposições sobre intervenções anteriormente realizadas e condições para restaurações futuras das peças, auxiliando nos processos de conservação.

Coentro *et al.* (2014) caracterizou química e morfológicamente os azulejos do século XV e início do XVI, provenientes do Monastério de Santa Clara a Velha em Coimbra (Portugal). O estudo comparou as composições dos azulejos do Monastério com produções hispânico-mouriscas apresentando semelhanças com as tecnologias de produção de azulejos islâmicos. De acordo com os autores, a composição química dos azulejos indica uma natureza puramente calcárea da pasta cerâmica e sugere temperaturas de queima entre 950°C e 1000°C.

Coentro *et al.* (2020) também caracterizou e comparou os azulejos decorados com pigmentos de cobalto e manganês das províncias de Valência e Sevilha, na Espanha. Apesar deste estudo ser focado na análise dos vidrados, o que se destaca são as técnicas utilizadas para as caracterizações, também utilizadas para caracterização das chacotas citadas por Coentro *et al.* (2014). A caracterização química e morfológica dos esmaltes foi realizada pelas técnicas de microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de raios-x

por energia dispersiva (SEM-EDS), espectroscopia μ -Raman e a emissão de raios-x induzida por partículas μ (μ -PIXE).

Rodríguez *et al.* (2021) fez a caracterização físico-química e microestrutural de azulejos datados do século XIV do palácio Mudèjar, em Sevilha também na Espanha. A caracterização dos materiais foi feita *in loco*, por meio de técnicas não destrutivas (FRX e DRX) e, além das indicações das composições de pastas cerâmicas cálcicas e da temperatura da queima ser de 900°C, os autores concluíram não haver homogeneidade entre as peças cerâmicas dos diversos painéis analisados e, entre as prováveis causas para esta condição, é apontado os serviços de restaurações ocorridos durante os anos.

Agua *et al.* (2022) pesquisou a caracterização das cerâmicas presentes no Monastério do El Escorial na Espanha a partir de 19 fragmentos cerâmicos datados do século XVI e XVII. Foi determinado a composição química média das amostras, juntamente com as características da microestrutura das chacotas e, foram estabelecidas as prováveis temperaturas de cozimento das matérias primas e informações sobre composições mineralógicas das chacotas e do vidrado.

Os testes utilizados por Agua *et al.* (2022) seguiram as propostas dos demais estudos referenciados, ou seja, FRX, DRX, petrografia, entre outros, indicando a presença de minerais como gehlenita, diopsído e anortita.

Já na esfera nacional, as pesquisas voltadas para caracterizações tecnológicas de azulejos históricos vêm ganhando destaque, apesar de ainda se verificar poucos estudos.

Sanjad *et al.* (2004) apresentaram a composição mineralógica dos azulejos de Salvador e Belém pertencentes aos séculos XVI, XVII e XIX, identificando sua provável matéria-prima e a possível temperatura de queima. Os autores dividiram as amostras analisadas em três grupos, evidenciando a provável temperatura de queima e matéria-prima e esta análise é apresentada no Quadro 3 a seguir.

As análises dos minerais formados identificaram composições distintas ou características das matérias primas, que ocorre em função das diferentes fases cronológicas de produção, assim como dos diferentes métodos de fabricação. Os autores puderam inferir, a partir dos minerais presentes, as temperaturas de cozimento das peças, indicando temperaturas diferenciadas para cada grupo.

Entretanto Sanjad *et al.* (2004) propõem que certos minerais, como a calcita, podem ter formação a partir do processo de carbonatação do hidróxido de cálcio existente nas argamassas de cal utilizadas no assentamento dos azulejos, que pode ter migrado para a chacota através dos poros existentes no material.

Quadro 3 - Agrupamento de amostras de acordo com sua mineralogia

Grupos	Amostras	Características da matéria-prima (argila)	Temperatura de queima
1	B2-A, B2-B, B3	Mineralogia básica: argilomineral (provavelmente caulinita) e quartzo. Na amostra B1-A houve adição de carbonato (fundente), conforme indica a anortita, que resulta da reação entre a caulinita e a calcita. A calcita (B4, S6-C e B1-A) pode resultar da migração pelos poros do material do hidróxido de cálcio da argamassa de assentamento, ou da carbonatação do CaO não combinado durante a cozedura.	1200 - 1728°C
	B4, S6-C		
	B1-A		
2	B5, B6, B7	Mineralogia variada, formada principalmente por argilominerais (provavelmente a caulinita), quartzo, calcita e/ou dolomita, e hematita ou goethita.	900 - 1200°C
	S1-A, S1-C, S5		
	S6-B		
	S2		
	S3		
	S4		
3	S1-B	Mineralogia variada, com argilomineral (provavelmente a caulinita), quartzo, calcita e/ou dolomita e hematita ou goethita.	1200 - 1565°C

* considerar B – para azulejos de Belém e S – para azulejos de Salvador.

Fonte: Sanjad *et al.* (2004, p. 258).

Posteriormente, Angélica (2005) estudou os azulejos das fachadas de edifícios maranhenses do século XIX, identificando os processos de degradação oriundos da biodeterioração e da ação degradante do tempo. Entretanto o estudo, para compreender o processo de degradação, precisou identificar os materiais usados na produção dos azulejos. Para isto, Angélica (2005) se referendou nos ensaios da fluorescência de raios x, difração de raios x e microscopia óptica, analisando a composição química e mineralógica de 12 amostras de azulejos portugueses.

Após a execução dos ensaios nas amostras de azulejos portugueses presentes em São Luís do Maranhão, o autor evidenciou a presença dos seguintes minerais: quartzos, calcita, wollastonita, ghelenita e perovskita, indicando que a matéria prima utilizada na produção das peças envolvia mais de um tipo de argila, enriquecidas com carbonato de cálcio e caulinita, com adições de calcita.

Além disso, a partir da presença de minerais termômetros como a ghehlenita, pôde-se concluir que a temperatura de cozimento das peças não ultrapassou 950 °C.

Mercury *et al.* (2013) trabalharam na caracterização mineralógica de azulejos portugueses do centro histórico de São Luís do Maranhão apoiando-se nos estudos de Angélica (2005) e na execução de difração de raios X nas amostras azulejares cedidas pelo centro de criatividade Odylo Costa Filho.

Este estudo identificou que os azulejos portugueses do centro histórico de São Luis – Maranhão apresentam uma constituição mineralógica constituída por quartzo, gehlenita, wallastonite e calcita, indicando que a matéria prima original esteve constituída por mistura de argilas caulínicas, ricas em carbonatos de cálcio, provavelmente sendo submetidas a uma temperatura de cozimento inferiores a 950 °C.

Costa, Sanjad e Paiva (2013) caracterizaram química e mineralogicamente azulejos históricos portugueses e alemães do século XIX do Palacete Pinho, prédio histórico da região do Amazonas. Os azulejos portugueses, originários da cidade do Porto, apresentaram em sua composição química SiO_2 , Al_2O_3 e CaO , enquanto sua mineralogia indicou quartzos, gehlenita, diopsído, calcita e feldspatos, coincidindo com dados levantados em pesquisas de azulejos portugueses ainda mais antigos. Os azulejos alemães apresentaram matérias primas diferentes, bem como processos termais distintos.

O estudo também relacionou o desenvolvimento de problemas patológicos dos azulejos históricos perante a ação da degradação originada pelo clima do Amazonas, identificando, entre outros problemas, a perda de seção das chacoas cerâmicas portuguesas em função da ação de microorganismos e processos de dilatação térmica.

Os estudos de Gasparetto e Sanjad (2018) realizaram a caracterização microestrutural, física e mineralógica dos azulejos do século XIX do Cemitério de Nossa Senhora da Soledade no Norte do Brasil. Além dos ensaios de absorção de água, FRX e DRX, o estudo também contou com a microscopia óptica, a microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia dispersiva de energia. Este estudo enfatizou a necessidade do conhecimento dos materiais de composição antes de proceder os serviços de restauração das peças, pois apesar dos azulejos analisados pertencerem ao mesmo país de origem (Portugal), mesmo período de construção e técnica decorativa (*stamping*), e, aproximadamente, mesmas temperaturas de cozimento, os azulejos apresentaram variações nas suas características microestruturais e mineralógicas.

Os autores apontam que essas variações estão relacionadas a diferenças inerentes às matérias-primas utilizadas e às variações nas temperaturas de queimas resultante de processos de queimas rudimentares. Por fim, os autores ainda indicam que as diferenças nos resultados obtidos na caracterização das peças podem influenciar na escolha de técnicas, processos e produtos de conservação e restauração a serem utilizados, e ainda, eles incentivam a caracterização tecnológica dos azulejos pois esta ação contribui no controle da qualidade das matérias-primas e temperaturas de cozimentos.

Outro estudo desenvolvido por Curval (2015) analisou características de estanqueidade dos vidrados de azulejos históricos de mesma cronologia (século XIX), porém pertencentes as cidades do Porto (Portugal) e de duas cidades brasileiras, Belém do Pará (PA) e Rio Grande (RS). Apesar do objeto do estudo ser as superfícies dos vidrados, a pesquisa também precisou se aprofundar nas técnicas de investigação das constituições químicas e mineralógicas, bem como microestrutura das peças estudadas.

Por fim, a autora concluiu que através da aplicação de organossilanos, nas superfícies esmaltadas (vítreas) dos azulejos, é possível tornar as superfícies hidrofóbicas, assegurando uma certa condição estanque à peça, reduzindo o processo de degradação física atribuído à umidade e contribuindo para a preservação e conservação do patrimônio azulejar.

Na busca por estudos de caracterização de azulejos históricos em Pernambuco, destaca-se aqui, inicialmente, dois estudos: Freitas (2015) e Sullasi *et al.* (2016), propuseram desenvolver reproduções de azulejos do século XVIII, baseadas em análises químicas obtidas a partir dos fragmentos de azulejos portugueses pertencentes a edificações históricas pernambucanas. O objetivo foi analisar problemas patológicos nas réplicas e verificar o seu desempenho em termos físicos, entretanto o estudo não considerou aspectos de composição mineralógica e temperaturas do cozimento apresentando resultados empíricos e que necessitam de análises aprofundadas.

Posteriormente foi proposto por Moraes *et al.* (2021) uma das referências essenciais ao desenvolvimento desta tese. Este estudo caracterizou química e mineralogicamente, a partir de ensaios de FRX, DRX e petrografia, os fragmentos de azulejaria portuguesa dos séculos XVII e XVIII presentes em painéis de Igrejas Pernambucanas. A pesquisa identificou diferentes composições químicas e mineralógicas, propondo seis perfis tecnológicos que são discutidos no terceiro capítulo desta tese.

Finalmente, considerando as dificuldades em se estudar a degradação de azulejos históricos, tendo em vista o fato de não ter peças extras disponíveis para caracterização de suas propriedades e de não ser possível realizar técnicas destrutivas para certificação do comportamento dessas peças, e, ainda, analisando a síntese dos estudos de caracterização tecnológica de peças históricas aqui apresentados, finaliza-se este tópico indagando-se sobre um possível método para realizar estudos da degradação de azulejos portugueses em Pernambuco?

2.7 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS FRAGMENTOS DE AZULEJOS PORTUGUESES EM PERNAMBUCO

As amostras de azulejos históricos utilizadas nesta pesquisa são remanescentes de três Igrejas pernambucanas. A Igreja de Nossa Senhora do Pilar de Recife, a Igreja e Convento de Santa Tereza em Olinda e a Igreja e Convento de Santo Antônio localizado no município de Igarassu. Ao todo, foram coletados e catalogados 28 fragmentos azulejares pertencentes a fases estéticas distintas e todas as amostradas foram obtidas de painéis azulejares localizados em ambientes internos das edificações.

A tabela 3 a seguir apresenta a relação das amostras coletadas com sua respectiva fase histórica de produção e edificação de origem e as Figuras 30 (p. 81), 31 (p. 81) e 32 (p. 82) exibem os fragmentos azulejares utilizados.

Para caracterização tecnológica destes fragmentos, foram utilizadas as técnicas de petrografia, fluorescência de raios x (FRX) e a difração de raios x (DRX). Estas técnicas puderam identificar aspectos de granulometria, esfericidade, grau de seleção do material, bem como quantificar percentuais de elementos químicos e os principais minerais presentes nas amostras azulejares.

Tabela 3 - Relações das amostras coletadas com suas respectivas fases históricas de produção.

Fase Histórica	Edificação	Período	Amostras Coletadas
1ª Fase	Igreja Nossa Senhora d Pilar, Recife - PE.	Sec. XVII, final da 2ª metade.	10 amostras Azupi 1928, 7972, 0651, 10794, 2271, 2138.
			Azupi 6895, 2260, 9435, 9868.
2ª Fase	Convento e Igreja de Santo Antônio, Igarassu - PE.	Sec. XVIII, 1ª metade.	16 amostras Azumo 10, 29, 31, 33
			Azumo 6, 16, 18, 20, 22, 26, 59
			Azumo 8, 14, 17, 24, 50.
3ª Fase	Igreja Santa Tereza, Olinda - PE.	Sec. XVIII, 2ª metade.	2 amostras Azust 1, 2.

Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021) – adaptado.

Os resultados desta caracterização foram apresentados no trabalho de Moraes *et al.* (2021) que constatou a presença de 6 perfis tecnológicos ou composições de matérias primas diferentes para os painéis analisados contradizendo as expectativas de que azulejos pertencentes a mesma fase estética ou período de produção, apresentam a mesma composição.

Embora todas as análises executadas apresentarem em comum o mineral akermanita

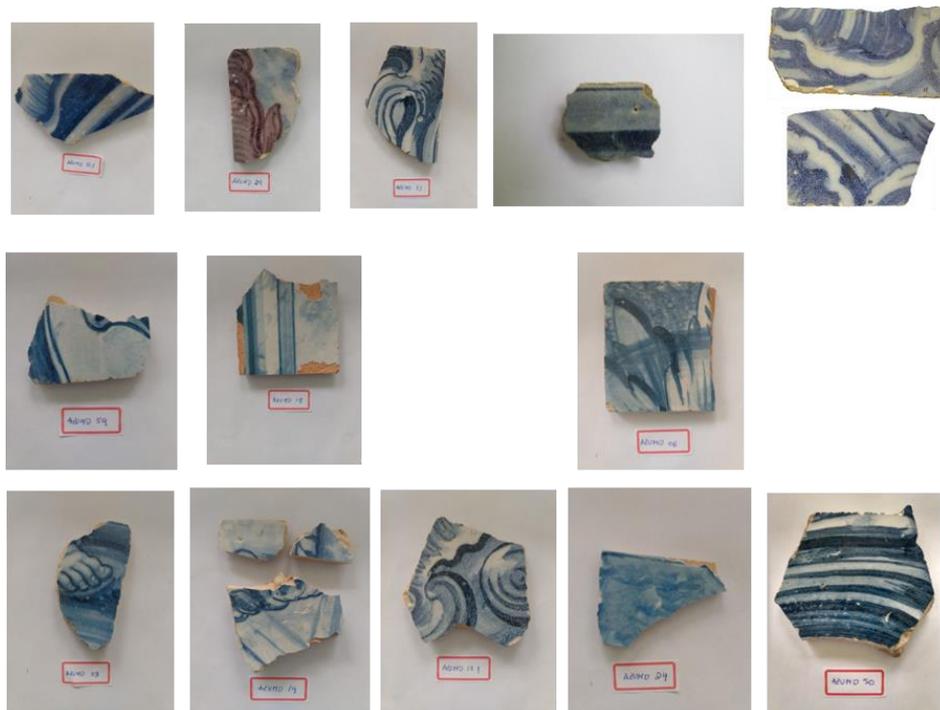
[Ca, Mg(Si₂O₇)], um mineral termômetro que se forma em misturas aquecidas acima de 850°C, o que Moraes *et al.* (2021) identificaram foi que fragmentos pertencentes a mesma fase estética e originados do mesmo painel de azulejaria, apresentavam composições distintas, sugerindo que cada análise é única e deve ser feita de forma detalhada.

Figura 30 - Dez fragmentos azulejares do final da 1ª metade do Século XVII, provenientes da Igreja Nossa Senhora do Pilar, Recife, referentes a 1ª fase estética e produtiva



Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021, p. 20).

Figura 31 - Dezesesseis fragmentos azulejares da 1ª metade do Século XVIII, coletados no Convento e Igreja de Santo Antônio, Igarassu, referentes a 2ª fase estética e produtiva



Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021, p. 20).

Figura 32 - Dois fragmentos azulejares da 2ª metade do Século XVIII, coletados na Igreja de Santa Tereza, Olinda, referente a 3ª fase estética e produtiva



Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021, p. 21).

2.7.1 Técnica de Fluorescência de Raios X (FRX)

Todas as amostras foram submetidas a análises químicas, através de ensaios de Fluorescência de Raios X (FRX). Esta técnica de avaliação quali-quantitativa, tem caráter não destrutivo e permite quantificar precisamente os elementos químicos presentes na amostra estudada. Segundo Freitas (2015), por possuir rápida execução e baixo custo, quando comparada a outras técnicas, o ensaio de FRX vem sendo largamente aplicado para estudos ambientais, arqueológicos, geológicos, entre outros.

De acordo com Calza (2010), no campo do estudo das cerâmicas, a técnica de FRX permite identificar a composição elementar das argilas utilizadas e, através de tratamentos estatísticos, é possível se estabelecer semelhanças ou diferenças entre as amostras visando a caracterização de sua procedência e/ou grupos de produção.

Considerando-se que objetos cerâmicos produzidos a partir de uma argila específica apresentarão uma composição química semelhante entre si, diferindo em relação a outros que sejam produzidos com argilas diferentes, a técnica da FRX foi aplicada nos fragmentos resultando em seis perfis tecnológicos: dois deles encontrados nos fragmentos da Igreja de Nossa Senhora do Pilar, três perfis, identificados com os fragmentos do Convento e Igreja de Santo Antônio e um perfil identificado na Igreja de Santa Tereza, conforme apresentado na Tabela 4 a seguir.

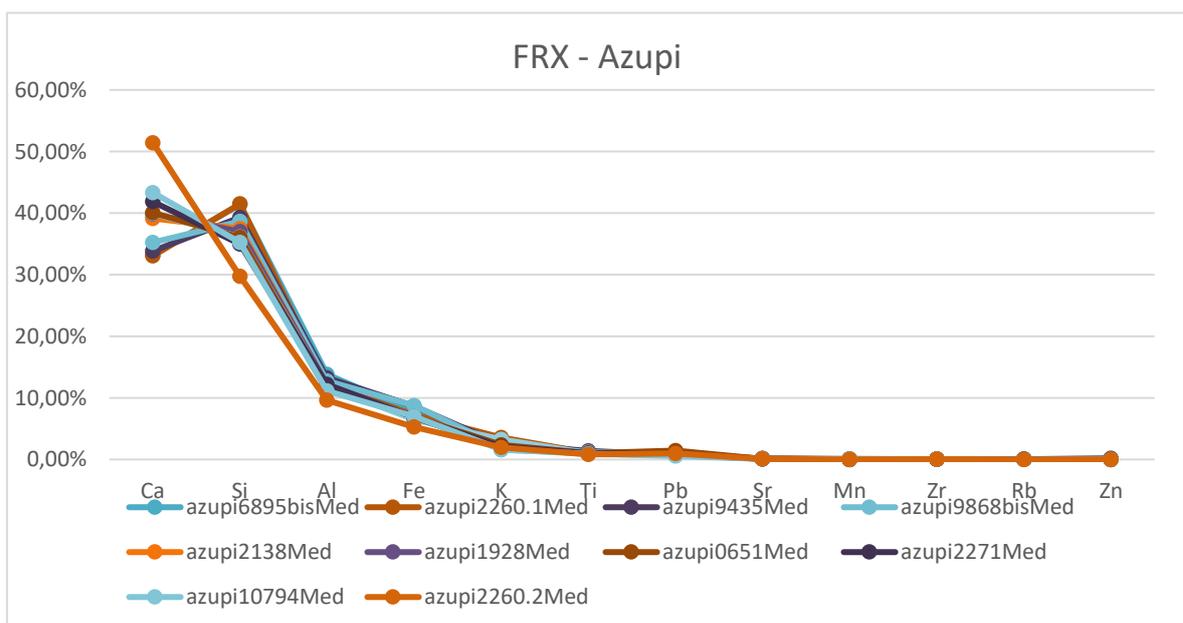
Tabela 4 - Identificação de perfis tecnológicos dos fragmentos dos azulejos em função das fases históricas

Nomenclatura	Fase histórica	Edificação	Período	Amostras
Perfil tecnológico 1	1ª fase	Igreja Nossa Senhora d Pilar, Recife.	Século XVII, final da 2ª metade.	Azupi 1928, 7972, 0651, 10794, 2271, 2138.
Perfil tecnológico 6				Azupi 6895 2260 9435 9868
Perfil tecnológico 2	2ª fase	Convento e Igreja de Santo Antônio, Igarassu.	Século XVIII, 1ª metade.	Azumo 10, 29, 31, 33
Perfil tecnológico 3				Azumo 6, 16, 18, 20, 22, 26, 59
Perfil tecnológico 4				Azumo 8, 14, 17, 24, 50
Perfil tecnológico 5	3ª fase	Igreja Santa Tereza, Olinda.	Século XVIII, 2ª metade.	Azust 01, 02

Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021) - adaptado.

Na Igreja de Nossa Senhora do Pilar em Recife as amostras dos azulejos indicaram como compostos dominantes o Cálcio e a Sílica (conforme disposto no Gráfico 1). As amostras também apresentam baixos teores de ferro (Fe) o que pode explicar a coloração esbranquiçada das chacoas dos fragmentos azulejares. Por fim, a conclusão obtida por Moraes *et al.* (2021) indica que as argilas utilizadas para a confecção das chacoas dos azulejos da Igreja de Nossa Senhora do Pilar possivelmente foram de origem calcária.

Gráfico 1 - Fluorescência por Raio X dos 10 fragmentos azulejares da Igreja de Nossa Senhora do Pilar (1ª fase estética)



Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021) - adaptado.

Tabela 5 - Percentuais dos principais elementos químicos por amostra “azupi” da Igreja de Nossa Senhora do Pilar - Recife (1ª fase estética).

Perfil Tecnológico	Amostra	Ca	Si	Al	Fe	K
Perfil Tecnológico 1	azupi2138	39,15%	37,45%	12,08%	6,84%	2,57%
	azupi1928	39,83%	37,01%	12,19%	6,95%	1,87%
	azuoi7972	39,94%	36,13%	11,90%	6,49%	3,28%
	azupi0651	40,06%	36,06%	11,70%	6,93%	2,40%
	azupi2271	41,87%	35,00%	12,19%	6,83%	2,14%
	azupi10794	43,34%	35,23%	11,13%	7,00%	1,60%
Perfil Tecnológico 6	azupi6895	33,26%	41,39%	13,85%	7,70%	1,59%
	azupi2260	33,08%	41,49%	12,20%	7,22%	3,58%
	azupi9435	33,86%	39,30%	13,26%	8,65%	2,46%
	azupi9868	35,23%	38,65%	12,77%	8,78%	2,07%

Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021) - adaptado.

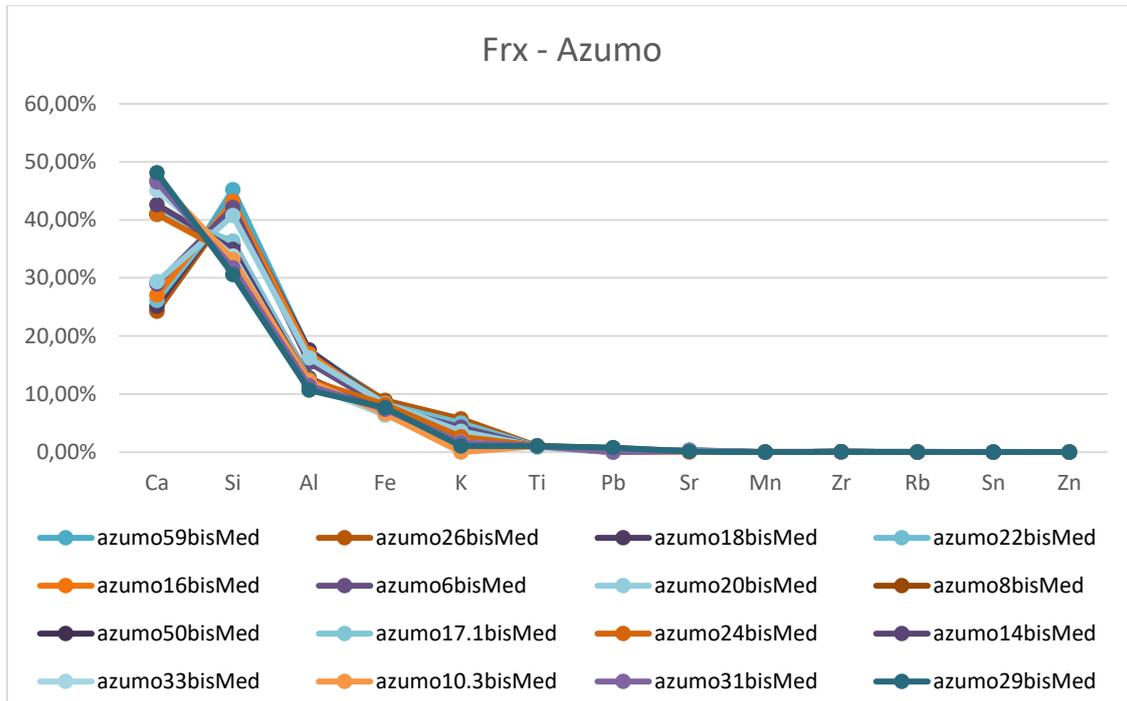
Analisando-se o Gráfico 1 e a Tabela 5 pode-se interpretar que o perfil tecnológico 1, composto pelas amostras Azupi 2138, 1928, 7972, 0651, 2271 e 10794, apresenta percentuais de cálcio (Ca) superiores a 39,15% e de sílica (Si) inferiores a 37,45%.

Na mesma interpretação, o perfil tecnológico 6 foi composto pelas amostras azupi 6895, 2260, 9435 e 9868 e apresenta percentuais de cálcio (Ca) inferiores a 35,23% e de sílica (Si) superiores a 38,65%.

Os resultados da FRX (ver Gráfico 2 e Tabela 6) dos 16 fragmentos recolhidos no Convento e Igreja de Santo Antônio permitiram dividir as amostras em três perfis tecnológicos, denominados de 2, 3 e 4.

Da interpretação do Gráfico 2 e da Tabela 6 verifica-se que o perfil tecnológico 2 apresentou teores de cálcio (Ca) inferiores a 29,36% e de Sílica (Si) superiores a 40,74%. O perfil tecnológico 3 englobou as amostras com teores de cálcio (Ca) entre 40,99% e 42,62%, e composições de Sílica (Si) entre 34,90% e 35,48%, enquanto o perfil 4 apresentou amostras com teores de cálcio (Ca) acima de 45,12% e de sílica (Si), inferiores a 33,76%.

Gráfico 2 - Fluorescência por Raio X dos 16 fragmentos azulejares no Convento e Igreja de Santo Antônio - Igarassu (2ª fase estética)



Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021) - adaptado.

Tabela 6 - Percentuais dos principais elementos químicos por amostra “azumo” da Igreja e Convento de Santo Antônio (2ª fase estética)

Perfil Tecnológico	Amostra	Ca	Si	Al	Fe	K
Perfil Tecnológico 2	azumo59	24,53%	45,20%	17,41%	8,81%	2,42%
	azumo26	24,25%	42,43%	16,86%	8,94%	5,71%
	azumo18	25,16%	42,87%	17,63%	8,11%	4,91%
	azumo22	26,15%	42,72%	16,75%	8,23%	4,99%
	azumo16	27,08%	43,16%	16,96%	7,97%	3,49%
	azumo6	29,00%	42,14%	15,40%	7,63%	4,30%
	azumo20	29,36%	40,74%	16,23%	8,38%	3,56%
Perfil Tecnológico 3	azumo8	40,99%	35,48%	12,53%	7,55%	1,44%
	azumo50	41,05%	35,72%	12,79%	6,82%	1,92%
	azumo17	41,22%	36,36%	12,51%	6,43%	2,19%
	azumo24	40,95%	33,95%	12,40%	8,21%	2,64%
	azumo14	42,62%	34,90%	11,80%	7,32%	1,56%
Perfil Tecnológico 4	azumo33	45,12%	33,76%	11,63%	6,35%	1,70%
	azumo10	46,96%	33,15%	12,21%	6,61%	0,00%
	azumo31	46,51%	31,73%	11,47%	7,37%	1,68%
	azumo29	48,09%	30,58%	10,66%	7,64%	1,03%

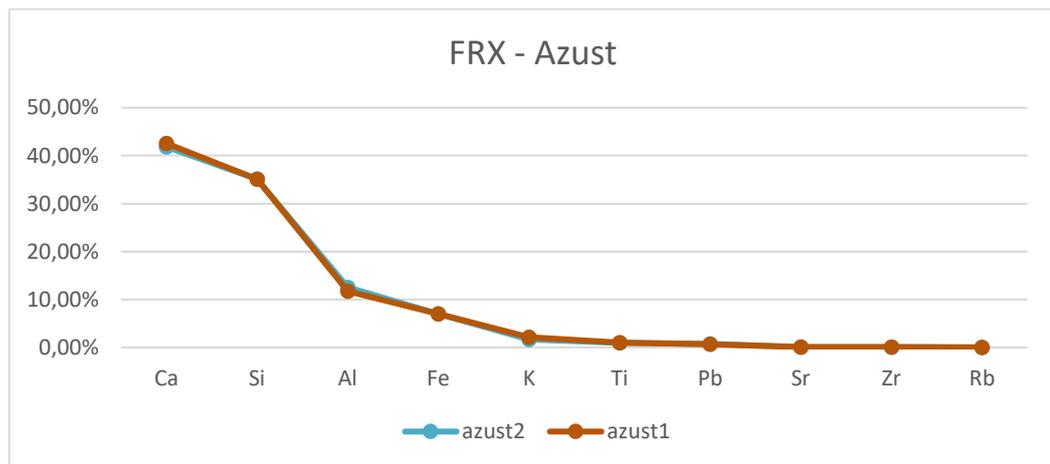
Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021) - adaptado.

Os autores também concluíram que a coloração avermelhada presente nas amostras azulejares do perfil tecnológico 3 refere-se a presença de óxidos constituintes da argila utilizada na fabricação das peças. Já os perfis tecnológicos 2 e 4 não possuem esses óxidos, apresentando cores esbranquiçadas nas chacotas.

Os fragmentos azulejares pertencentes a Igreja de Santa Tereza, quando submetidos à FRX indicaram uma composição química semelhante, o que resultou no perfil tecnológico 5 (ver Gráfico 3 e Tabela 7).

Neste perfil também se constata a predominância de cálcio (Ca), com valores entre 41,84% e 42,55% e sílica (Si), com aproximadamente 35%, teores de alumínio (Al) abaixo de 12,52% e teores de ferro (Fe) de 7,02%. A coloração esbranquiçada das chacotas desses azulejos também indica baixo teor de ferro (Fe) e indicam a possibilidade do uso de argilas de origens calcárias.

Gráfico 3 - Fluorescência por Raio X dos 2 fragmentos azulejares da Igreja de Santa Tereza (3ª fase estética)



Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021) - adaptado.

Tabela 7 - Percentuais dos principais elementos químicos por amostra “azust” da Igreja de Santa Tereza – Olinda (3ª fase estética)

Perfil Tecnológico	Amostra	Ca	Si	Al	Fe	K
Perfil Tecnológico 5	azust2	41,84%	35,11%	12,52%	7,02%	1,70%
	azust1	42,55%	35,11%	11,72%	7,02%	2,10%

Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021) - adaptado.

2.7.2 Ensaio de DRX

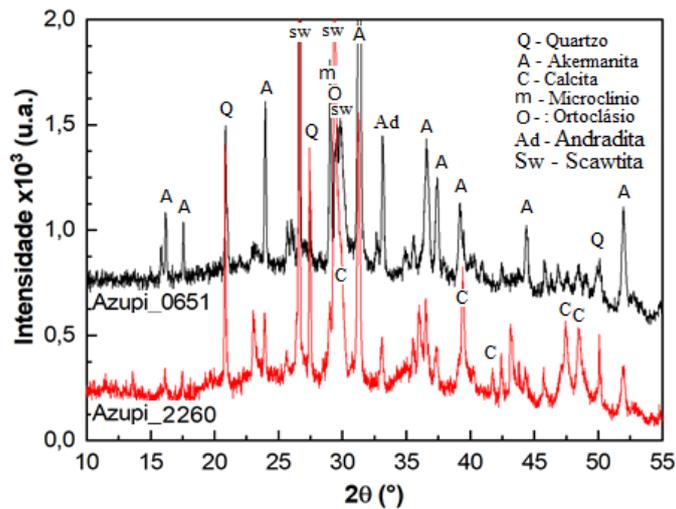
Após a interpretação dos resultados da FRX, todos os fragmentos foram analisados pela técnica da difração de Raios – X ou, também conhecida como difratometria de raios X.

Segundo Kahn (2011) este método instrumental possibilita a caracterização microestrutural de materiais cristalinos, sendo amplamente adotado nos estudos de mineralogia, arqueologia, geologia e engenharia de materiais. No caso em estudo, a técnica foi utilizada para conhecer a composição mineralógica dos azulejos históricos, auxiliando na caracterização da matéria prima utilizada para sua fabricação e na identificação da temperatura de queima alcançada durante a cozedura do material.

Esta técnica foi adotada por Moraes, Goes e Maior (2021) mas ganha embasamento nos estudos anteriores de Sanjad *et al.* (2004), Carvalho (2012), Freitas (2015) entre tantos outros citados no item 2.6 do referencial teórico apresentado nesta tese.

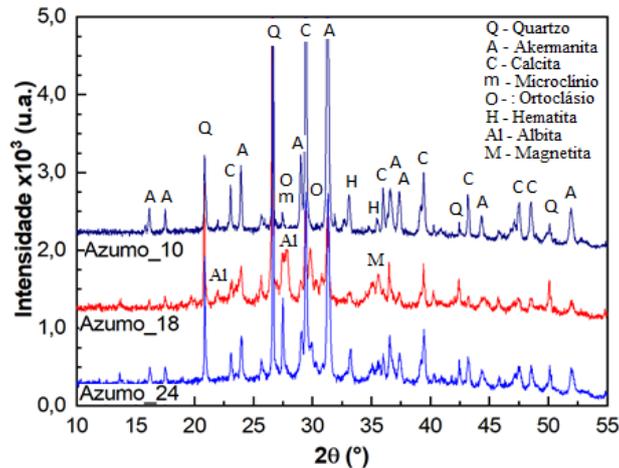
As Figuras a seguir apresentam os difratogramas obtidos pelos DRX dos fragmentos correspondentes a cada igreja e fases históricas e estéticas dos azulejos.

Figura 33 - Difratograma das amostras azupi 0651 e azupi 2260 (Igreja de Nossa Senhora do Pilar)



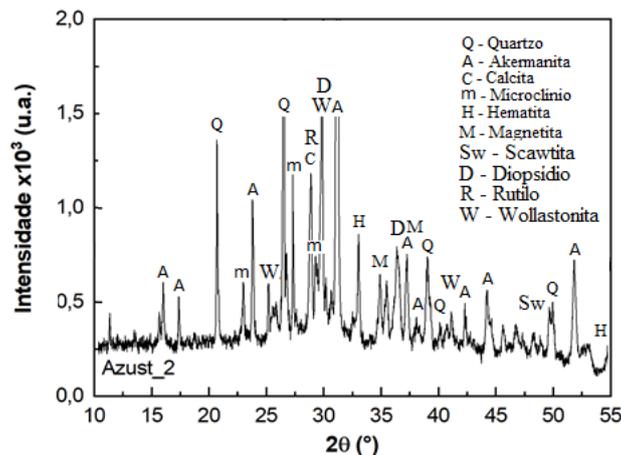
Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021, p. 14).

Figura 34 - Difratoograma das amostras Azumo 10, Azumo 18 e Azumo 24 (Convento e Igreja de Santo Antônio).



Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021, p. 15).

Figura 35 - Difratoograma do fragmento Azust 2 (Igreja de Santa Tereza).



Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021, p. 16).

As composições mineralógicas obtidas a partir da interpretação dos difratogramas estão a seguir expostas:

- Perfil Tecnológico 1 (fragmento Azupi 0651): Quartzo (SiO_2), Microclina ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$), Ortoclasio ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$), Andradita ($\text{CaFe}_2\text{SiO}_4$) Scawtita ($\text{Ca}_7(\text{Si}_3\text{O}_9)_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Akermanita ($\text{Ca, Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$);
- Perfil Tecnológico 4 (fragmento Azupi 2260): Quartzo (SiO_2), Microclina ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$), Calcita (Ca), Akermanita ($\text{Ca, Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$), Andradita ($\text{CaFe}_2\text{SiO}_4$);
- Perfil Tecnológico 2 (fragmento Azumo 10): Quartzo, (SiO_2), Microclina ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$), Calcita (Ca), Ortoclasio ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$), (CaCO_3), Hematita, (Fe_2O_3), Akermanita, ($\text{Ca, Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$).

- Perfil Tecnológico 3 (fragmento Azumo 18): Quartzo (SiO_2), Al: Albita - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, Microclina ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$), Calcita (CaCO_3), Ortoclasio ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$), Hematita, (Fe_2O_3), Magnetita (Fe_3O_4), Akermanita, (Ca, Mg (Si_2O_7));
- Perfil Tecnológico 4 (fragmento Azumo 24): Quartzo (SiO_2), Microclina ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$), Calcita, (CaCO_3), Ortoclasio ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$), Hematita, (Fe_2O_3), Akermanita, (Ca, Mg (Si_2O_7)).
- Perfil Tecnológico 5 (fragmento Azust 2): Quartzo, (SiO_2), Microclina ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$), Calcita (CaCO_3), Hematita, (Fe_2O_3), Magnetita (Fe_3O_4), Scawtita ($\text{Ca}_7(\text{Si}_3\text{O}_9)_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Akermanita, (Ca, Mg (Si_2O_7)), Rutilo, (TiO_2), Diopsídio ($\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{SiO}_3)_2$), Wollastonita (CaSiO_3).

Através das análises mineralógicas, os autores concluíram que todos os fragmentos estudados apresentaram picos característicos dos minerais Quartzo, Feldspato e da Akermanita. Segundo o Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert, a Akermanita é um mineral sorossilicato rico em cálcio, magnésio e silício e serve como referência de termômetro mineralógico, indicando a temperatura de queima das chacotas. Uma vez que este mineral é formado apenas em temperaturas acima de 850°C pôde-se estimar que as temperaturas adotadas para a queima do corpo cerâmico das amostras dos azulejos portugueses foi de 900°C .

Os autores ainda destacam que em dois fragmentos, (Azupi 0651 e Azupi 2260), a ausência de óxidos presentes nas quatro outras amostras do grupo, que são Ru (Rutilo), He (Hematita), Ma, (Magnetita). Já, as amostras Azupi 0651 e 2260 são as únicas que possuem o mineral Andradita, pertencente ao grupo das granadas. Os fragmentos Azupi 0651 e Azust 2 foram os únicos que apresentaram o carbonato Scawtita ($\text{Ca}_7(\text{Si}_3\text{O}_9)_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Outra particularidade é que a amostra Azupi 0651 é a única onde não foi identificada a presença da Calcita.

Assim percebe-se que a execução dos ensaios de FRX e DRX possibilitou a identificação de seis perfis tecnológicos com diferentes composições químicas e mineralógicas. Isto pode influenciar no comportamento do azulejo perante a ação do tempo e, sobretudo, na atuação dos mecanismos de degradação.

Entretanto é fundamental caracterizar as propriedades mecânicas, bem como os aspectos de resistências à ataques químicos e teor de absorção das peças para que se possa entender o comportamento das peças perante os mecanismos de degradação.

Como estas técnicas de análise das propriedades físicas e químicas dos azulejos tem caráter destrutivo, é incoerente que sejam aplicadas a peças históricas tombadas e que devem ser preservadas. Assim a pesquisa propõe a reprodução das chacotas baseando-se nos perfis tecnológicos aqui definidos para dar continuidade aos estudos de caracterização.

2.8 DEFINIÇÃO DAS MISTURAS PARA AS REPRODUÇÕES

As análises das amostras de azulejos históricos indicaram uma predominância de material argilosos, seguido por quartzos, feldspatos, calcita e diopsídio. Uma vez que foram identificados nos estudos de Moraes *et al.* (2021), 6 misturas diferentes desses materiais, pode-se iniciar as composições de matérias primas identificadas a partir das análises laboratoriais realizadas para, então, elaborar as reproduções das peças.

Uma vez que os perfis tecnológicos das amostras de azulejos indicaram composições diferentes de argilas, foram utilizados quatro tipos distintos deste material, sendo nomeadas de 1 a 4. A adoção das argilas considerou sua mineralogia e composições químicas, procurando atender as descrições obtidas pelas técnicas de FRX e DRX.

O feldspato, a calcita, o diopsído e a areia também seguem percentuais diferenciados para cada mistura, considerando, entretanto, materiais com composições químicas e mineralógicas semelhantes aos elementos encontrados nas análises laboratoriais.

Dessa forma os percentuais das composições de matérias primas adotadas foram definidos a partir dos dados químicos dos fragmentos históricos. A tabela a seguir apresenta os valores percentuais de cada matéria prima utilizada na fabricação das peças de cada uma das misturas equivalentes aos perfis tecnológicos propostos por Moraes *et al.* (2021).

Vale destacar que a denominação de mistura equivale aos perfis tecnológicos adotados por Moraes *et al.* (2021), optou-se por adotar esta nomenclatura uma vez que serão desenvolvidas reproduções que adotam esta composição de matérias primas como parâmetro.

Tabela 8 - Composições das matérias primas, em percentuais, dos perfis tecnológicos

Material	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3	Mistura 4	Mistura 5	Mistura 6
Argila 1	-	57%	59%	-	-	48%
Argila 2	30%	-	-	20%	15%	-
Argila 3	-	-	-	25%	25%	-
Argila 4	20%	-	-	-	-	-
Areia	15%	9%	12%	18%	13%	18%
Feldspato	22%	19%	19%	22%	30%	23%
Calcita	13%	15%	10%	15%	14%	11%
Diopsídio	-	-	-	-	3%	-
Total (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Moraes, Goes e Maior (2021, p. 21).

Ao analisar a Tabela 8 verifica-se que todas as matérias primas das misturas se encontram dentro dos limites de regressão propostos por Correia *et al.* (2005) que descreve a zona considerada ideal para as frações de cada um dos componentes se encontra entre 47% a 57% para as argilas, 19% a 37% para o feldspato e 6% a 34% para os quartzos. Cabe destacar que os percentuais adotados foram comparados com os minerais e os percentuais químicos encontrados nas amostras históricas, obtidos a partir das técnicas de FRX, DRX e petrografia. Os dados na íntegra desta extrapolação das matérias primas podem ser constatados em Moraes, Goes e Maior (2021).

3 METODOLOGIA

A pesquisa se classifica como aplicada e descritiva, pois se propõe a investigar as características de materiais cerâmicos descrevendo suas propriedades e caracterizando-os tecnologicamente.

Para isto se apoia em estudos de um novo material, produzido em laboratório, que foi testado e submetido a ensaios preconizados por normas brasileiras. Espera-se que a partir de sua caracterização físico, química e mineralógica, se possa compreender seu comportamento e assim propor um método de análise ou intervenções em edificações com revestimentos parietais com importância de preservação.

Uma vez que os revestimentos coletados não foram escolhidos de forma aleatória e era importante estudar as três fases estéticas de produção dos azulejos, a seleção dos revestimentos destas edificações não foi aleatória, o que classifica a amostra como não probabilística. Entretanto as amostras obtidas pelas técnicas não probabilísticas não permitem a inferência sobre o universo, pois nesses casos é desconhecido o erro cometido na escolha dos elementos que farão parte da amostra, o que não significa que não são apresentados resultados relevantes.

Segundo Gil (2008, p. 123) os resultados de uma pesquisa baseada em amostragem não probabilística envolvem uma série de métodos de seleção de amostras onde são realizados julgamentos que podem ser atribuídos para aquele universo especificamente, o que permite interpretações próximas de amostras com condições semelhantes às estudadas. E ainda, uma pesquisa com amostragem não probabilística produz resultados satisfatórios mais rápidos e com menor custo que uma pesquisa com amostragem probabilística.

Assim, verifica-se que a tese em questão possui métodos de pesquisa classificados como aplicado (pois se conduz uma investigação técnica acerca dos materiais cerâmicos), descritivo (uma vez que são descritas todas as etapas investigadas, expondo as características físicas, químicas e mineralógicas do material estudado) com amostragem não-probabilística (que os resultados aplicados poderão ser estendidos apenas para o universo de materiais aqui estudados).

Com base no questionamento sobre o método de estudo da degradação de azulejos portugueses em Pernambuco exposto no capítulo 2, apresenta-se a proposição de um método para a realização de estudos dessa natureza especificados nas etapas a seguir: (i) a definição dos materiais utilizados nas reproduções; (ii) o processo de reprodução das peças; (iii) a definição de um programa experimental.

3.1 A DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS PARA AS REPRODUÇÕES

Após a caracterização tecnológica dos fragmentos azulejares e da definição das composições de cada mistura, definiu-se os quantitativos das matérias primas necessárias para a reprodução dos perfis tecnológicos. Assim partiu-se para quantificação das massas necessária de argilas (1, 2, 3 e 4), da calcita, da areia, do diopsído e do feldspato. Para isto, foram adotados equações e dados cientificamente conhecidos acerca das densidades dos materiais relacionando-os com seus respectivos volumes e, em seguida, estabelecendo seus quantitativos em relação aos percentuais previamente estabelecidos em cada uma das seis misturas.

Inicialmente estabeleceu-se a densidade ou massa específica dos materiais em seu estado seco. Para as argilas adotou-se uma densidade média de 1.800 kg/m³, para a calcita e o feldspato, 2.760 kg/m³ e para a areia, por ser bastante fina, adotou-se sua densidade em torno de 2.600 kg/m³. O diopsído apresenta 3.220 kg/m³, de acordo com os dados fornecidos pelo Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert.

Em seguida calculou-se os volumes das peças das chacotas, adotando-se a espessura média de 1cm para as chacotas e as dimensões de 20 x 20 cm pôde calcular o volume de cada peça da reprodução (0,0004 m³ ou 400cm³).

As reproduções adotaram uma espessura média de 1cm por ser a média obtida a partir dos fragmentos estudados. O objetivo desta padronização das espessuras das reproduções tem relação com a avaliação das peças reproduzidas, pois uma vez que as espessuras das reproduções são dimensões padronizadas tem-se um padrão para avaliação do comportamento das peças moldadas.

A partir da Equação 1 pôde-se determinar os quantitativos em massa de cada material, em seguida estabelecendo seus valores (em gramas) para cada um dos percentuais apresentados respectivamente para as misturas adotadas para as reproduções (ver Tabelas 9 e 10).

$$densidade = massa\ específica = \frac{massa}{volume} \text{ (Equação 1)}$$

Tabela 9 - Resumo das Massas das Reproduções por Matéria Prima

	Argila	Feldspato	Calcita	Diopsído	Areia
Densidade (kg/m ³)	1.800	2.760	2.760	3.220	2.600
Volume/ peça (m ³) (20x20x1cm)	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
massa/ peça (kg)	0,72	1,104	1,104	1,288	1,04

Fonte: O autor (2022).

Tabela 10 - Resumo dos Quantitativos em relação as receitas propostas

Mistura	Percentuais de Composições	Massa (g)	Mistura	Percentuais de Composições	Massa (g)
1	Argila 2 – 30%	216,00	2	Argila 1 – 57%	410,40
	Argila 4 – 20%	144,00		Feldspato – 19%	209,80
	Feldspato – 22%	243,00		Calcita – 15%	165,60
	Calcita – 13%	143,00		Areia Caxitu – 9%	93,60
	Areia Caxitu – 15%	156,00			
3	Argila 1 – 59%	424,80	4	Argila 2 – 20%	144,00
	Feldspato – 19%	209,80		Argila 3 – 25%	180,00
	Calcita – 10%	110,40		Feldspato – 22%	242,90
	Areia Caxitu – 12%	125,00		Calcita – 15%	165,60
				Areia Caxitu – 18%	187,20
5	Argila 2 – 15%	108,00	6	Argila 1 – 48%	345,60
	Argila 3 – 25%	180,00		Feldspato – 23%	253,90
	Feldspato – 30%	331,20		Calcita – 11%	121,40
	Calcita – 14%	154,00		Areia Caxitu – 18%	187,20
	Diopsído – 3%	38,60			
	Areia Caxitu – 13%	135,00			

Fonte: O autor (2022).

Todas as proporções das matérias primas em cada uma das misturas encontram-se dentro dos valores propostos por Correia (2005) e considerados ideais para fabricação de placas cerâmicas, ou seja, entre 47 e 57% para argilas, 19% e 37% para feldspatos e 6% a 37% de quartzos. Os valores de água adicionados a mistura também foram controlados, para cada mistura foram adicionados aproximadamente 200 mL. A partir das reproduções de cada uma das misturas, obtêm-se os dados necessários para estudo das possibilidades de desenvolvimentos de patologias.

3.2 A REPRODUÇÃO DAS PEÇAS

Após as quantificações das matérias primas pode-se iniciar os processos de moldagem das chacotas. Todas as atividades necessárias para a elaboração das reproduções cerâmicas foram produzidas pelo pesquisador no Laboratório de Perfil Técnico (LAPET/ UFPE), do Núcleo de Arqueometria e Preservação Patrimonial da Universidade Federal de Pernambuco.

A fim de contemplar todo o processo executado para a elaboração das reproduções este item foi dividido em quatro subitens que melhor descrevem a sequência das etapas.

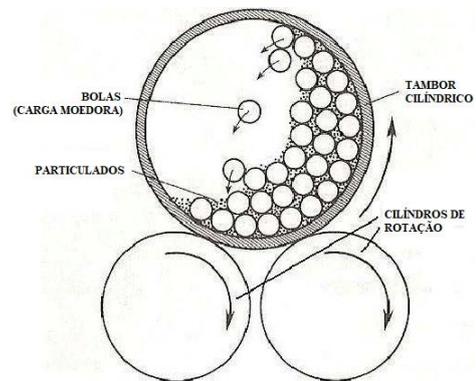
3.2.1 Preparação das Matérias-Primas para as Reproduções

Após a determinação das massas dos componentes necessárias para a elaboração das seis misturas, os materiais foram secos em estufa para perder umidade aparente durante 24h, aquecidos a uma temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$.

Após o resfriamento, os materiais passaram pelo processo de destorroamento e moagem no moinho de bolas. Esta etapa foi desenvolvida no Laboratório de Materiais de Construção do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade Federal de Pernambuco – CTG/ UFPE.

O moinho de bolas utilizado consiste em um tambor cilíndrico metálico que após ser preenchido por uma carga moedora e por particulados, rotaciona em torno de seu próprio eixo assegurando a moagem do material (ver figura 36).

Figura 36 - Moinho de Bolas: esquema técnico e fotografia do equipamento utilizado



Fonte: O autor (2022).

Fonte: NBR 11.376 (ABNT, 2011).

O procedimento de uso do moinho seguiu a NBR 11.376 (ABNT, 2011), com os seguintes parâmetros:

- O tambor cilíndrico tem 30 cm de comprimento, 26 centímetros de diâmetro e volume aproximado de 15,9 litros;
- 50% do volume do tambor é preenchido por 30% de carga moedora e 20% dos particulados para moer;
- A velocidade de rotação foi ajustada para uma rotação mediana (50 rpm);
- Os corpos moedores são bolas de porcelana (56 x Ø35,0 mm; 138 x Ø20,0 mm; 300 x Ø13,00 mm), que totalizam 8 Kg;
- As argilas passaram cerca de 30 minutos por ciclo de moagem;
- O feldspato, o diopsídeo e a calcita passaram 2 horas para cada ciclo de moagem;

Ao final do processo de moagem, os materiais foram peneirados com peneira de malha 32mm da série intermediária, para separação de elementos orgânicos (galhos, pedriscos, folhas secas etc.) e armazenados para serem utilizados nas moldagens das placas cerâmicas. A figura 37 apresenta as matérias primas utilizadas nas reproduções após o processo de aquecimento, moagem e peneiramento.

Figura 37 - Matérias primas utilizadas.



Fonte: O autor (2022).

Assim de forma simplificada pode-se afirmar que o processo de preparação das matérias primas utilizadas nas reproduções incluiu processos de secagem em estufa, moagem e peneiramento. Como os materiais fundentes foram utilizados em sua condição natural, o processo de secagem tem relação com a retirada da umidade presente, a moagem é importante para cominuir os materiais e o peneiramento permite a remoção de partículas orgânicas, como galhos ou folhas, indesejadas ao processo de produção das peças cerâmicas.

Entretanto, os materiais argilosos, além de serem submetidos aos processos descritos anteriormente também passaram, após a fase de peneiramento, pelo processo de apodrecimento e amadurecimento das argilas.

O apodrecimento das argilas (figura 38) consiste em deixar as argilas submersas em água, mas abrigadas em ambientes frios, sem circulação de ar e com pouca luz, visando manter a pasta com umidade constante. Esta etapa, segundo Petrucci (1987), vai desenvolver bactérias que dão origem (segregam) as substâncias (gel) que atuam como aglomerantes aumentando a plasticidade das argilas, facilitando as atividades posteriores de moldagem das placas, ao mesmo tempo que reduzem a probabilidade ao gretamento e retração das peças.

O processo de amadurecimento das argilas (figura 39) é uma etapa subsequente ao apodrecimento e contribui para o processo de moldagem das peças. Petrucci (1987) alerta que para a fabricação de produtos cerâmicos mais delicados é necessário um rigoroso cuidado na uniformidade e umidade da pasta (argila + água). Nesse caso, o autor recomenda deixar a argila em repouso ao abrigo das intempéries durante 24h antes da preparação das pastas para a fabricação das cerâmicas.

Figura 38 - Processo de Apodrecimento da Argila (fase inicial).



Fonte: O autor (2022).

Figura 39 - Processo de Amadurecimento da Argila (fase final).



Fonte: O autor (2022).

3.2.2 Homogeneização, Adensamento e Moldagem das Reproduções

A homogeneização das matérias primas foi executada conforme procedimentos adotados na produção original dos azulejos portugueses, de forma manual com auxílio de uma pequena pá para promover a homogeneização do material.

Durante a homogeneização, cada composição de misturas passava por um novo processo de peneiramento (#100 mm), para remoção de qualquer sujidade não eliminada e para melhor promover o envolvimento dos materiais (Figuras 40 e 41).

Os teores de água eram adicionados de forma gradual (figura 42) e, inicialmente, foram quantificados de forma visual, onde as misturas eram revolvidas recebendo pouca quantidade de água até atingir a consistência e o ponto de plasticidade ideal, no qual a pasta cerâmica poderia ser moldada sem deformações ou fissurações, durante o processo (Figuras 43 e 44).

Figura 40 - Peneiramento da matéria prima (#100mm).



Figura 41 - Matérias primas homogeneizadas.



Figura 42 - Adição da água à matéria prima.



Fonte: O autor (2022).

Durante a adição da água as misturas eram adensadas, fase também conhecida como “bater a argila” (Figura 45). De acordo com Freitas (2015), esta etapa é muito importante por assegurar propriedades plásticas à argila pois torna os grãos mais unidos e reduz a presença de ar na pasta. Assim, durante o adensamento, a pasta deve ser socada para que as partículas de ar sejam expulsas, assim como todos os grãos sejam revolvidos com água.

Um indicativo do ponto ideal para iniciar a moldagem, é conhecido como “ponto de liga”, e ocorre quando a pasta cerâmica não fica mais grudando entre os dedos e pode ser socado assumindo a forma dos dedos (Figuras 46, 47 e 48).

Figura 43 - Adensamento manual (fase seca).



Figura 44 - Adensamento manual (fase úmida).



Figura 45 - Adensamento manual (batimento da argila).



Figura 46 - Fase plástica do material (ponto de liga).



Figura 47 - Fase plástica do material (ponto de liga).



Figura 48 - Fase plástica do material (ponto de liga).



Fonte: O autor (2022).

Frigola (2005) em sua publicação sobre cerâmica artística, menciona um teste para descrever o ponto ideal para moldagem de placas cerâmicas. O teste consiste em fazer rolos com a pasta cerâmica com espessuras próximas a de um lápis (ver Figuras 49 e 50) e, em seguida, dispor o material em formatos de semi-círculos. Quanto maior for o número de rachaduras que aparecerem no corpo dos rolos, menor será a plasticidade do material e vice-versa. Este teste apesar de um tanto rudimentar, tem certa aproximação com os ensaios de plasticidades realizados na mecânica dos solos com o aparelho de Casagrande. A pesquisa utilizou este teste visual para identificação da plasticidade e adensamento da pasta, de forma que quanto menos fissuras ou rachaduras aparecessem no material, melhor seria para modelá-lo.

Após a constatação do ponto ideal para moldagem, os valores de água foram anotados e para cada mistura, seguiu-se então padronizando e adotando a mesma quantidade de água para cada receita elaborada.

Para a moldagem das reproduções, o presente autor teve uma capacitação por meio de aulas com a ceramista Márcia Terra⁴ em seu ateliê de cerâmica Arte da Terra, localizado no bairro de Casa Forte – Recife.

Todas as peças foram moldadas, utilizando como moldes, fôrmas confeccionadas de MDF, revestido por material melamínico para evitar empenamentos e facilitar a remoção das fôrmas após a moldagem.

As atividades de moldagem das peças incluíram a preparação das fôrmas, o preenchimento e compactação das pastas cerâmicas nas fôrmas e o estiramento e alisamento da pasta cerâmica.

Figura 49 - Rolos de argilas impróprios para modelagem (ver rachaduras).



Figura 50 - Rolos de argilas indicados para modelagem.



Fonte: O autor (2022).

Durante a preparação das fôrmas para a primeira moldagem, as fôrmas receberam uma placa de cerâmica, com dimensões inferiores à dos moldes, para servir de base, que foi envolvida com um tecido de algodão (tipo estopa) para absorção da água do material em seu estado fresco (ver Figura 51). Nesta etapa as verificações das dimensões das peças, principalmente as espessuras das placas foram controladas, visando o controle das dimensões das peças reproduzidas.

Na fase de preenchimento e compactação da pasta cerâmica, as formas foram preenchidas com a pasta, inicialmente com o material em formato de fios, e depois de preencher toda a forma, o material era novamente socado e compactado para remoção de ar e possíveis espaços que poderiam não ter recebido o material.

A etapa seguinte consistiu em planificar as peças. Para isto, a superfície era coberta com um tecido leve, tipo TNT e depois recebiam movimentos de vai e vem com o rolo (tipo o rolo de

⁴ Para conhecer os trabalhos desenvolvidos pela ceramista, visitar a página do instagram @artedaterra.pe ou visitar ateliê em horário comercial, situado na Avenida 17 de agosto, n° 2527 – Casa Forte – Recife – PE.

massa que se utiliza na preparação de massas para pizzas, por exemplo) para espalhar o material e estirar as superfícies das placas (ver Figuras 52 e 53).

Após o alisamento das placas, com o auxílio de um estilete ou um bisturi as fôrmas eram removidas das placas, deixando elas secarem naturalmente, por um período mínimo de uma semana em ambiente abrigado, mas com ventilação natural (Figura 54). O ambiente de secagem deve ser livre de condicionadores de ar para que a água presente na mistura não se evapore rapidamente, promovendo fissuras por retração do material.

Figura 51 - Moldagem das peças: aplicação do gabarito e tecido para absorção.

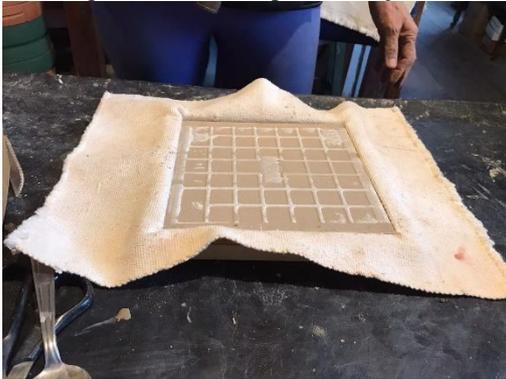


Figura 52 - Sobreposição de TNT para alisamento das superfícies das placas.



Figura 53 - Alisamento das peças com rolo compactador.



Figura 54 - Peça moldada em processo de secagem natural.



Fonte: O autor (2022).

Para identificar as peças produzidas, cada chacota foi marcada no canto inferior à direita da peça, com um número que representa a mistura elaborada, variando de 1 a 6, conforme as misturas estudadas.

3.2.3 Secagem, Calcinação e Resfriamento das Reproduções

Após a secagem natural das placas por um período mínimo de 1 semana, as peças foram encaminhadas para a primeira calcinação em forno elétrico. O forno pertence ao LAPET (Laboratório de Perfil Tecnológico da UFPE), é próprio para materiais cerâmicos e tem

capacidade de controle gradativo das temperaturas de forma que as temperaturas crescem uniformemente e podem aquecer as peças de forma homogênea (Figuras 55, 56 e 57).

A calcinação é uma etapa que tem importante relação com as características do material cerâmico. É nesta fase em que ocorre a transformação físico-química dos elementos que compõem a massa cerâmica, adquirindo resistência, dureza e alteração das tonalidades.

Freitas (2015) estabelece que durante a calcinação ocorrem reações químicas que formam novas fases cristalinas, consolidando o material, que durante o resfriamento se torna rígido e com maior resistência que o material seco. Quando o forno não aquece simultaneamente todas as partes das peças cerâmicas, não ocorre a formação das fases cristalinas havendo pontos de fragilidade e tornando o material quebradiço e impróprio para uso.

A literatura sobre a produção de produtos cerâmicos especifica que o processo é constituído pela bicozedura das placas. A primeira calcinação tem relação com a consolidação da base cerâmica (chacota) e a segunda calcinação é feita para estabilizar a camada esmaltada e decorativa.

Entretanto um dos principais problemas enfrentados no fabrico de placas cerâmicas tem relação com a mudança brusca de temperatura que ao expulsar a água presente nos poros da massa não cozida pode provocar a produção de gases, explodindo as peças. Muniz (2009) salienta os problemas decorrentes do aquecimento rápido das peças cerâmicas:

O maior risco das peças partirem ou explodirem, de acordo com as experiências realizadas, acontece entre 90 e 200°C, essencialmente quando suas paredes forem muito espessas (grossas). Quanto mais secas estiverem as peças antes da queima, ponto de osso, menor será o risco das fissuras, rachaduras ou explosões. A partir de 200°C, a cocção poderá acontecer mais acelerada, porém, para alguns tipos de argilas é preferível diminuir a velocidade (de aquecimento do forno) até que lentamente as impurezas sejam queimadas, num patamar entre os 900°C. Com este procedimento, as grandes bolhas e os inchaços causados pelo carbono preso poderão ser evitados. Uma queima executada com atenção, e cuidado, terá a possibilidade de ser concluída em oito horas. (MUNIZ, 2009, p. 173).

Em Freitas (2015), durante as moldagens de suas peças também houve problemas com o processo de calcinação. Durante seu estudo foi constatado que a explosão das placas cerâmicas ocorreu devido ao aumento brusco da temperatura de cozimento, ainda na fase dos 300°C. Para isto o autor adotou temperaturas de cozimento com patamares mais longos, o que possibilitou a expulsão da umidade das peças de forma lenta e gradativa, controlando assim as pressões exercidas pela água no interior da peça.

Assim para esta pesquisa, adotou-se o procedimento de calcinação dupla da chacota. A primeira calcinação, que funciona como secagem da chacota e atinge 70°C em até 6 horas ($0,20^{\circ}\text{C}/\text{min}$), ocorre uma semana após a secagem das peças moldadas e após seu resfriamento natural, depois de 48 horas, ocorre a segunda calcinação que atinge um patamar gradativo de 900°C em até 8 horas de duração ($1,875^{\circ}\text{C}/\text{min}$).

Figura 55 - Visão externa do forno elétrico utilizado.



Figura 56 - Visão interna do forno elétrico utilizado.



Figura 57 - Placas das reproduções após secagem natural sendo submetidas a primeira queima do processo de cozedura.



Figura 58 - Placas das reproduções após o processo de cozedura completo (duas fases).



Fonte: O autor (2022).

Para assegurar a uniformização da temperatura sobre as peças, todas as placas foram dispostas apoiadas sobre uma placa de cordierita. E após a segunda calcinação, as placas ficaram em resfriamento natural no interior do forno (Figura 58), até que a temperatura interna do forno atingisse a temperatura ambiente e, só então, as peças foram retiradas para serem encaminhadas aos testes do programa experimental.

3.2.4 Lições aprendidas com a primeira reprodução.

Da experiência prática, constatada em laboratório, e dos registros da literatura sobre as dificuldades de produção de placas cerâmicas apresenta-se grifos das lições aprendidas com as

reproduções. A intenção de compartilhar as dificuldades encontradas é de efetuar um registro para que modelagens ou trabalhos futuros possam ter acesso as considerações sugeridas.

3.2.4.1 O Ambiente do Laboratório e a Secagem das Peças após Moldagem

O ambiente das moldagens não deve possuir climatização artificial ou se houver, os condicionadores de ar deverão ficar desligados durante todo o processo de moldagem e secagem das peças.

As primeiras modelagens foram executadas no LAPET em uma sala climatizada. Isto provocou muita retração nas pastas durante a secagem, gerando fissuras indesejáveis e não indicadas para o cozimento das peças. Dessa forma, as novas modelagens foram efetuadas em ambiente ventilado, mas não climatizado e, após as modelagens, as peças eram deixadas em uma bancada para secarem naturalmente durante uma semana, sendo posteriormente encaminhada para estufas a 70 °C por um período de 6 horas (0,20°C/min).

Ainda sobre o processo de secagem natural das peças (antes de irem para o forno), evitou-se deixar as peças secarem recebendo incidência solar e, em dias de muita umidade do ar ou com chuvas intensas verificou-se o empenamento das peças que impactou suas produções para testes de resistência mecânica (Figura 59).

Para evitar esse problema, nas demais moldagens, placas de vidro foram sobrepostas sobre as fôrmas com o objetivo de manter as peças confinadas, evitando deformações em função da retração natural do material (Figura 60).

Figura 59 - Empenamento da peça.



Figura 60 - Umidade na placa de vidro referente a condensação do material.



Fonte: O autor (2022).

3.2.4.2 A Fôrma Adotada

Também foi necessário alterar as fôrmas produzidas. A primeira fôrma foi fabricada em marcenaria com barrotes de pinus cru. Elas formaram um quadrado internamente com as dimensões de 20x20cm. Entretanto essas fôrmas apresentavam instabilidade durante o preenchimento da pasta e pela madeira estar crua, também absorvia muita água durante o processo de cura.

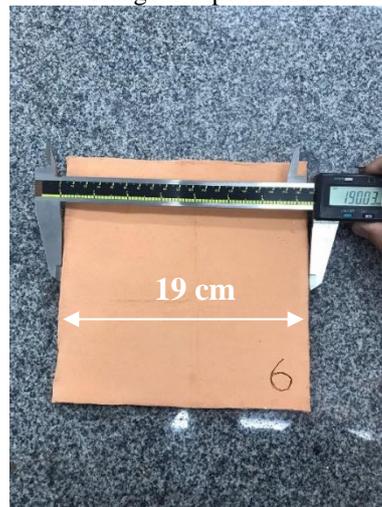
Somado a isto, observou-se que após a secagem natural das chacotas e a calcinação dupla das peças reduziam suas dimensões em até 1,5cm nos casos mais graves (Figura 61 e 62). Uma vez que os testes de resistência à flexão são bastante rigorosos no controle de dimensões das peças, foi preciso elaborar uma nova fôrma com dimensões maiores.

Figura 61 - Leitura da dimensão Y da chacota da moldagem experimental.



Fonte: O autor (2022).

Figura 62 - Leitura da dimensão X da chacota da moldagem experimental.



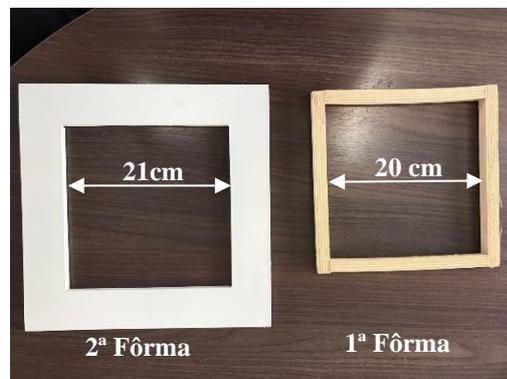
Fonte: O autor (2022).

Figura 63 - Retração natural das peças em relação às fôrmas.



Fonte: O autor (2022).

Figura 64 - Fôrmas desenvolvidas em marcenaria



. Fonte: O autor (2022).

As novas fôrmas produzidas também foram desenvolvidas em marcenaria, mas dessa vez apresentaram uma base maior para dar mais estabilidade durante o preenchimento, foram produzidas em MDF naval para maior resistência à umidade e foram revestidas com material melamínico branco para evitar a absorção da umidade da pasta.

As novas fôrmas foram elaboradas com dimensões internas de 21x21cm para descontar a retração do material pela secagem e queima, e seguiu a profundidade (espessura) de 1 cm, descartando a necessidade da placa cerâmica, antes utilizada para assegurar a profundidade (espessura) da chacota produzida (Figuras 63 e 64).

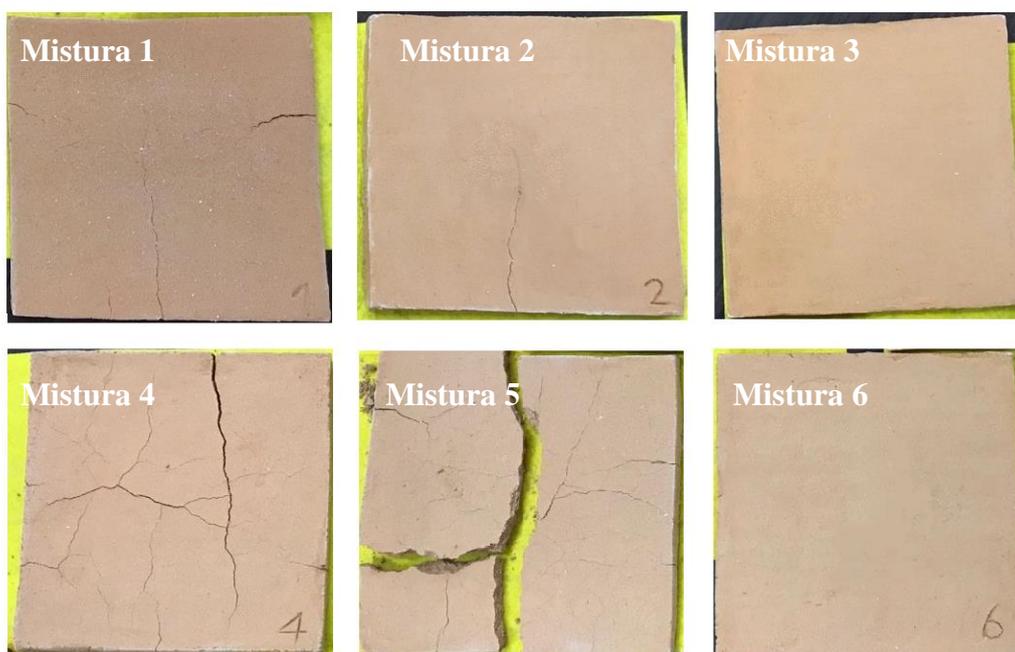
3.2.4.3 Fissuração das Peças e Dosagem das Misturas

Após a primeira queima do material verificou-se que as peças com as composições das misturas 1, 2, 4 e 5 apresentaram fissuras e trincas, sendo as misturas 4 e 5 os casos mais graves (Figura 65).

Salienta-se que em oposição ao citado por Muniz (2009) as peças não trincaram pelo processo de calcinação, elas fissuraram somente após o resfriamento da segunda calcinação no forno. Entretanto alguns fatores podem ser atribuídos a este processo fissuratório:

- O processo de produção inicial não considerou a fase de apodrecimento da argila. As composições utilizadas nas misturas 1, 4 e 5, incluem combinações de tipos de argilas diferentes e foram as misturas que mais fissuraram após a queima e resfriamento;
- O intervalo de maturação de descanso e secagem natural das peças de uma semana não foi obedecido o que também pode ter contribuído para as fissurações;
- Os teores de cal das misturas 1, 2, 4 e 5 encontram-se relativamente altos (entre 13% e 15%), o que pode sugerir um processo de fissuração.

Figura 65 - Peças da moldagem experimental (ver chacotas referentes às receitas 1, 2, 4 e 5).



Fonte: O autor (2022).

Esta última hipótese levantada ganha destaque visto que após os processos de moldagens iniciais, todos os cuidados sobre adensamento, calcinação, secagem e ambiente de laboratório foram respeitados e, ainda sim todas as placas subsequentes apresentaram fissuração excessiva.

Nas moldagens seguintes, a mistura 2 não apresentou fissuras, mas todas as 60 placas produzidas com as composições das misturas 1, 4 e 5, apresentaram as fissuras, impossibilitando a realização de alguns ensaios do programa experimental. Esta condição enfatiza que os percentuais elevados de cálcio (Ca) produzem peças frágeis e quebradiças.

Isto porque grãos de carbonato que durante a calcinação transformam-se em óxidos de cálcio e magnésio e, com a hidratação podem sofrer processos expansivos enfraquecendo as chacotas, conforme citado por Alexandre et al. (2004).

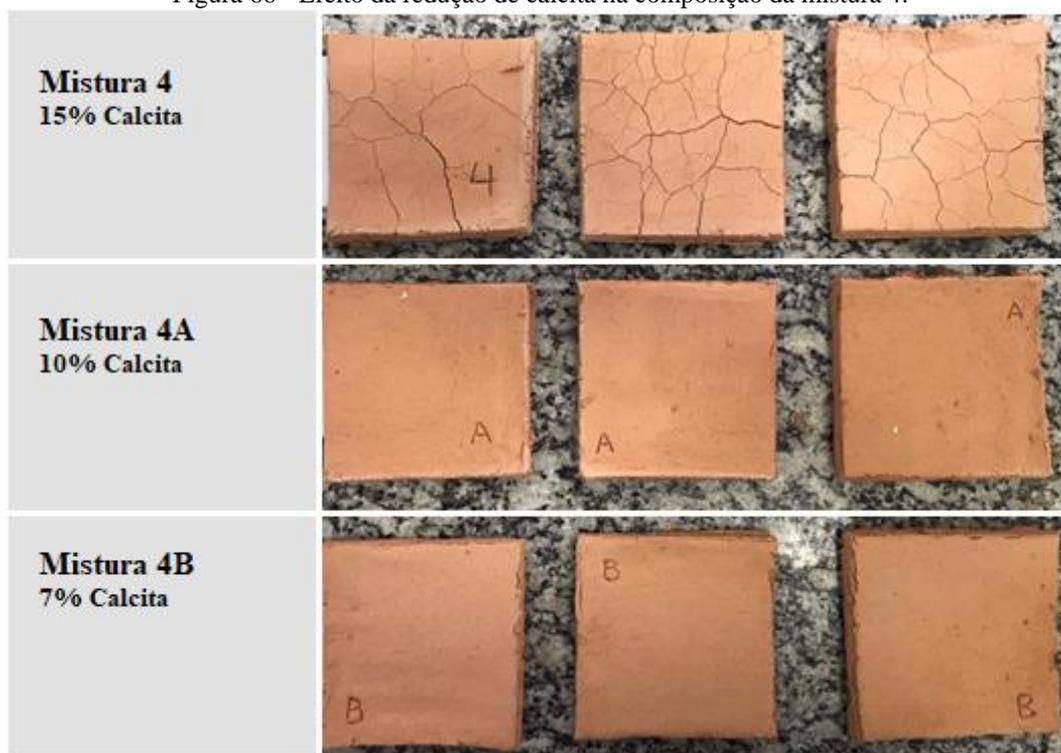
Dessa forma o controle dos teores de cálcio (Ca) nas dosagens de reproduções é indicado, acima de tudo porque a fonte de cal nas chacotas pode ser das mais variadas, desde combinações decorrentes da calcinação das matérias primas (ricas em calcita), quanto por fenômenos de percolação das argamassas de assentamento ou das superfícies que recebem este revestimento (DAMAS *et al.* 2018).

Para compreender o efeito do teor de cal nas misturas, separou-se a mistura 4, com 15% de calcita, e reduziu-se os teores de calcita nas misturas, adotando para a mistura 4A, 10% de

calcita, e para a mistura 4B, 7% de calcita. Todos os demais materiais mantiveram-se idênticos à mistura 4, inicialmente reproduzida, ou seja, 20% de argila tipo 2, 25% de argila tipo 3, 18% de areia e 22% de feldspato.

A proposta era de verificar se o teor de cálcio (Ca) nas misturas influenciaria no processo de fissuração das peças. O resultado desta análise pode ser visualizado na Figura 66, a seguir.

Figura 66 - Efeito da redução de calcita na composição da mistura 4.



Fonte: O autor (2022).

Diante da análise da Figura 66, o que se verifica é que realmente os teores de cálcio (Ca) influem nas propriedades físicas das chacotas cerâmicas e, considerando que foi adotado o mesmo procedimento de misturas, adensamentos, calcinação e secagem das peças pôde-se concluir que os teores de cal (cálcio) presentes nas misturas 1, 4 e 5 não são valores encontrados nas chacotas originais (aquelas produzidas há 300 anos), mas aqueles resultantes de vários processos de contaminação da cal, provavelmente provenientes de processos de percolação da cal dos substratos ou das superfícies de contato.

Assim todas as reproduções das misturas 1, 4 e 5 forneceram placas que se apresentaram frágeis e quebradiças, impossibilitando a realização dos ensaios de flexão e dificultando a realização dos ensaios de absorção e ataques químicos.

3.2.4.4 A Moldagem das Peças

Na moldagem das peças indica-se que o recipiente utilizado para o adensamento das matérias primas seja de seção circular. Percebeu-se que ao se misturar as matérias primas em recipientes retangulares ou quadrados, muito material ficava retido nas quinas (vértices) dos recipientes promovendo uma quantidade considerável de perdas. Assim para as moldagens subsequentes adotou-se uma bacia circular de material plástico rígido.

Outra constatação experimental tem relação com os processos de fissuração e porosidade das placas. A fissuração também pode ocorrer em função de falhas durante o processo de preenchimento da fôrma com a pasta. Se houver qualquer fissura ou espaço livre na pasta, o mesmo poderá ser preenchido por ar aumentando o índice de vazios e gerando fissuras após as calcinações. Assim, durante o preenchimento deve-se compactar bem a pasta na fôrma e tomar o cuidado de verificar as formações de fissuras ou espaços que possam configurar pontos de entrada de ar.

Inicialmente o preenchimento da pasta cerâmica na fôrma foi executado com cordões de pasta e em seguida, compactado com o próprio punho. Entretanto este procedimento pode não assegurar a expulsão completa do ar entre as camadas da pasta cerâmica, contribuindo para fissurações e defeitos no cozimento. Em função desta condição, optou-se por aplicar a pasta cerâmica adensada diretamente sobre a fôrma, espalhando-a sobre a superfície com o auxílio de um rolo de plástico (mesmo utilizado para amassamento de massas na confecção de pães, por exemplo), conforme indicado nas Figuras 67 e 68.

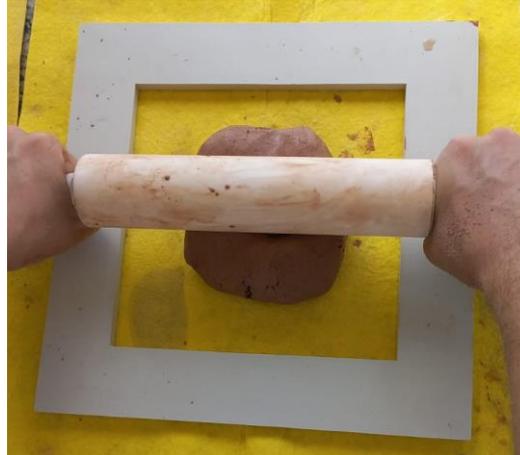
Assim, a pasta foi espalhada sobre a fôrma e, à medida que era disposta na superfície, o rolo de amassamento possibilitava a expulsão do ar e a compactação da pasta cerâmica na fôrma. Para a homogeneização da pasta, caso necessário, indica-se molhar levemente a ponta dos dedos e fazer a modelagem removendo qualquer fissura que possa surgir durante o preenchimento.

Figura 67 - Preenchimento da fôrma com cordões de pasta.



Fonte: O autor (2022)

Figura 68 - Preenchimento da fôrma com a pasta compactada.



Fonte: O autor (2022).

Por fim todas as modelagens subsequentes foram produzidas adotando-se os procedimentos e observações aqui descritos, para serem encaminhadas para o procedimento experimental.

3.3 O PROGRAMA EXPERIMENTAL

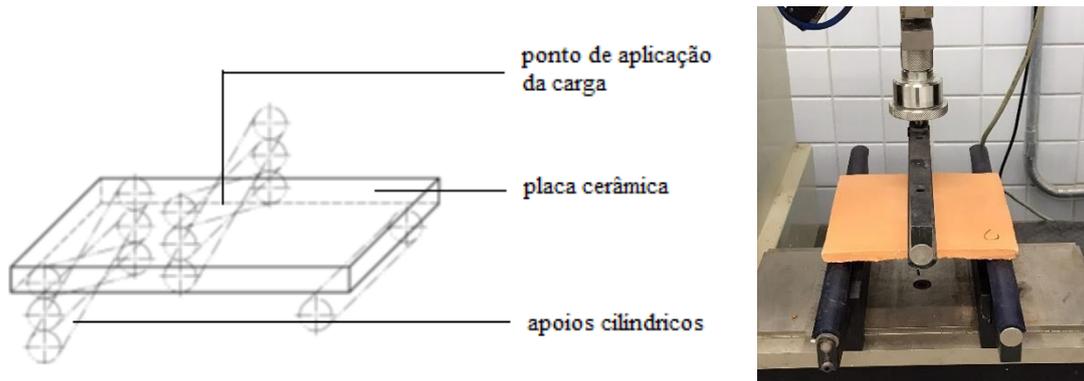
Os ensaios propostos no programa experimental foram escolhidos para identificar características das placas cerâmicas produzidas e que podem contribuir para o desenvolvimento de problemas patológicos e, conseqüentemente, degradando os azulejos históricos.

Assim se propõe ensaios para estudo das propriedades de resistência à flexão, do teor de absorção de água e da resistência a ataques químicos.

3.3.1 Resistência a Ruptura por Flexão

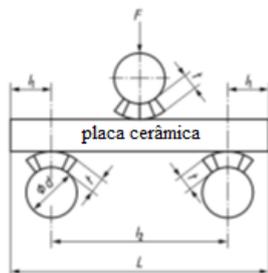
A determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão é padronizada pela NBR 10.545 – 4 (ABNT, 2020) e foi realizada no Laboratório de Ensaios Tecnológicos de Materiais da Construção Civil (LETMACC | SENAI – PE). A técnica consiste em apoiar placas cerâmicas, em número mínimo de 7 unidades, com dimensões, especificadas no quadro 4, sobre apoios cilíndricos padrões (Figura 69) que são submetidos a uma carga uniforme com aumento de carga de $1\pm 0,2$ N/mm² por segundo.

Figura 69 - Esquema de execução do ensaio de resistência à ruptura por flexão



Fonte: NBR ISO 10.545-4 (2020).

Quadro 4 - Dimensões das placas cerâmicas e cilindros para execução do ensaio



Dimensão da placa L	Diâmetro do apoio d	Espessura da borracha t	Sobreposição da placa ao longo da aresta de apoio l_1
$18 \leq L < 48$	5 ± 1	$1 \pm 0,2$	2 ± 1
$48 \leq L < 95$	10 ± 1	$2,5 \pm 0,5$	5 ± 3
$L \geq 95$	20 ± 1	5 ± 1	10 ± 5

Fonte: NBR ISO 10.545-4 (2020).

As placas foram moldadas com dimensões de 20 x 20 cm e antes da realização do ensaio, cada placa foi limpa e seca em estufa a temperatura de 105 ± 5 °C, durante um mínimo de 24h e as placas foram testadas até 3 horas, após seu resfriamento em temperatura ambiente, conforme orienta a norma.

O módulo de resistência à flexão (R), é calculado pela equação 2 a seguir:

$$R = \frac{3Fl_2}{2Bh^2} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

F é a carga de ruptura, expressa em newtons (N) e determinada pela prensa;

l_2 é a distância entre as barras de apoio, expressa em milímetros (mm);

B é o lado menor da placa cerâmica, expresso em milímetros (mm);

h é a espessura mínima da placa cerâmica ensaiada, medida após o ensaio, ao longo da borda de fratura, expressa em milímetros (mm);

O módulo de resistência à flexão é obtido a partir das médias dos resultados válidos e individuais de cada placa cerâmica estudada, de forma que os resultados válidos são considerados aqueles em que a ruptura da placa ocorre no terço médio da peça (ver Figuras 70 e 71). A NBR 10545-4 (ANBT, 2020), recomenda que as rupturas que não ocorrerem no terço médio da peça devem ser desconsideradas.

Figura 70 – Ensaio de Resistência a Ruptura por Flexão



Fonte: O autor (2022).

Figura 71 – Rompimento Correto da Placa Cerâmica



Fonte: O autor (2022).

A NBR 10545-4 (ABNT, 2020) ainda especifica que no caso de placas com espessuras variáveis, os resultados são apenas aproximações, indicando que quanto menor os relevos das peças, mais preciso são os resultados.

3.3.2 Determinação de Absorção de Água e Porosidade Aparente

A técnica é preconizada pela NBR 10545-3 (ABNT, 2020) e consiste em submeter placas cerâmicas secas a processos de impregnação de água, seguida das suas suspensões em água.

Para placas cerâmicas com área menores ou iguais a 400 cm² a norma brasileira pede uma amostragem de, no mínimo, 5 peças por composição estudada. Para facilitar a submersão das peças, a norma permite o corte das placas cerâmicas em dimensões menores que neste caso foi adotado a dimensão de 10 x 20 cm.

De acordo com a NBR 10.545-3 (ABNT, 2020) a absorção de água, E_v , expressa como a porcentagem de massa seca, é calculada pela equação:

$$Ev = 100 \times \frac{(m2-m1)}{m1} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde $m1$ é a massa da placa seca e $m2$ é a massa da placa impregnada pela imersão.

Para o cálculo da porosidade aparente da peça cerâmica, a NBR 10545 – 3 (ABNT 2020) recomenda que seja expressa em percentuais, da relação entre o volume de poros abertos ($V0$) e o seu volume exterior (V), sendo que:

$$V = m2 - m3 \quad \text{(Equação 4)}$$

$$V0 = m2 - m1 \quad \text{(Equação 5)}$$

Neste caso o valor de $m3$ é obtido por meio da pesagem da placa suspensa impregnada por água. E assim pode-se determinar os valores da porosidade aparente para cada peça das misturas estudadas, através da equação:

$$P = 100 \times \frac{(m2-m1)}{V} \quad \text{(Equação 6)}$$

As determinações das massas foram executadas no laboratório de materiais do Centro de Tecnologia (CTG) da Universidade Federal de Pernambuco, conforme figuras a seguir.

Figura 72 - Determinação $m1$



Fonte: O autor (2022).

Figura 73 - Determinação $m2$



Fonte: O autor (2022).

Figura 74 - Determinação $m3$



Fonte: O autor (2022).

3.3.3 Resistência ao Ataque Químico

Boa parte da identificação dos elementos químicos presentes nas amostras estudadas foi determinado no ensaio de FRX, incluindo a presença dos elementos Cádmiu e Chumbo, tão estudada na investigação de placas cerâmicas, contudo faz-se necessário simular o comportamento das peças cerâmicas produzidas perante sua resistência aos ataques químicos diversos.

Os ensaios de resistência a ataques químicos nas placas cerâmicas foram realizados no Laboratório de Química da Escola Politécnica de Pernambuco e teve como objetivo, compreender as ações deteriorantes produzidas por reagentes químicos aplicados na confecção de produtos de limpeza tão comuns em serviços de manutenção, e buscar os efeitos produzidos pela salinidade nas chacoetas.

A NBR 10545-13 (ABNT, 2020) não descreve ataques químicos de soluções salinas, entretanto, para as análises das manchas provocadas por eflorescências é importante que se faça este estudo. Assim considerou-se a técnica utilizada por Menezes *et al.* (2006), que estudaram o efeito dos sais solúveis em eflorescência em blocos cerâmicos, considerando uma solução de cloreto de sódio (NaCl) a 30g/L, imergindo as peças cerâmicas durante 7 dias ($168 \pm 1h$).

Dessa forma, as peças foram parcialmente submetidas as soluções de:

- Cloreto de Amônio (100 g/L): produto utilizado na fabricação de desinfetantes e produtos de limpeza doméstica pesada;
- Hipoclorito de Sódio (20 mg/L): reagente utilizado em sais de piscinas e para produção de produtos de limpeza;
- Ácido Hidroclorídrico (18%): este ácido em baixas concentrações equivale ao popularmente conhecido, ácido muriático, um produto de limpeza pesada bastante utilizado nas manutenções de fachadas. Aqui optou-se por utilizar esta solução em alta concentração, com o intuito de investigar seu ataque químico sobre as peças;
- Hidróxido de Sódio (100 g/L): é uma solução alcalina utilizada também no fabrico de produtos de limpeza pesada. Seguindo o modelo do ácido clorídrico, optou-se em utilizar a maior concentração deste reagente disposta na NBR 10.545 – 13 (ABNT, 2021).
- Cloreto de Sódio (30 g/L): este reagente tem a intenção de analisar particularmente, os efeitos produzidos pela salinidade nas peças produzidas;

Estes testes de ataques químicos são aplicados corriqueiramente para estudo da camada esmaltada (vidrado), dos revestimentos cerâmicos, entretanto, partindo-se do pressuposto que o corpo cerâmico dos revestimentos parietais, é sempre o ponto frágil dos sistemas de revestimentos parietais, o estudo do seu comportamento perante a ação de agentes químicos se justifica, especialmente no sentido de caracterizar as peças relacionando-as as possibilidades de desenvolvimento de problemas patológicos.

A NBR 10545-13 (ABNT, 2020) especifica que para cada agente químico estudado, deve-se analisar 3 placas cerâmicas com dimensões de 5 x 5 cm. Para isto, as placas foram submersas parcialmente (aproximadamente 2,5 cm por peça) nas soluções químicas durante um período especificado pela norma de acordo com a solução adotada. Cada corpo cerâmico foi submerso individualmente em um bécker de borossilicato com volume de 250mL e recoberto com vidro relógio para contenção dos gases produzidos pelas reações de ataques químicos às placas.

Depois de passado o tempo de imersão, os corpos de prova foram enxaguados sob água corrente por um período de 10 minutos para remover qualquer solução de ensaio residual. Em seguida cada amostra foi seca em estufa a uma temperatura superior a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e resfriada naturalmente até a temperatura ambiente antes da avaliação.

O processo de avaliação para a determinação da classe de resistência das placas cerâmicas foi feito após a fase de imersão em soluções químicas, secagem e resfriamento das peças. As placas foram submetidas a uma avaliação visual sob uma iluminação artificial de $300\text{ lx} \pm 10\text{ lx}$ e após constatado se não houve defeitos aparentes, procedeu-se a outras avaliações utilizando-se as técnicas dos ensaios de risco com o lápis.

A técnica do risco a lápis consiste em desenhar várias linhas com lápis grafite (tipo HB ou similar) nas partes sem tratamento da superfície e, em seguida, tentar remover as marcas com um tecido úmido. Se as marcas de lápis forem removidas da superfície ensaiada, a superfície corresponderá a classe A, mas se as marcas não forem removidas com o pano úmido, a amostra será da classe C.

A seguir apresenta-se a Tabela 11 que sintetiza as soluções químicas utilizadas, o tempo de imersão, as dimensões e quantidades de peças utilizadas para os testes.

Tabela 11 - Síntese dos Ensaios de Resistência a Ataques Químicos

Produtos Químicos	Tempo de Imersão	Quantidade de Amostras	Dimensões das Amostras
<i>Produtos Químicos Domésticos:</i>			
• Cloreto de Amônio, 100g/L	24h	3	5x5cm
• Sais de Piscina (hipoclorito de sódio, 20mg/L)	24h	3	5x5cm
<i>Ácidos e Alcalis de Alta Concentração:</i>			
• Ácido Hidroclorídrico, 18%	$96 \pm 1\text{ h}$	3	5x5cm
• Hidróxido de Potássio 100g/L	$96 \pm 1\text{ h}$	3	5x5cm
<i>Sais Solúveis:</i>			
• Cloreto de Sódio, 30g/L	$168 \pm 1\text{ h}$	3	5x5cm

Fonte: O autor (2022).

3.3.4 Interpretações das Análises para Incorrências de Problemas Patológicos

Considerando que cada um dos ensaios acima descritos foi realizado para as seis misturas estudadas, apresenta-se na Tabela 12 resumo com o programa experimental que foi realizado nas reproduções.

Tabela 12 - Resumo do Programa de Ensaios de Caracterização das Amostras

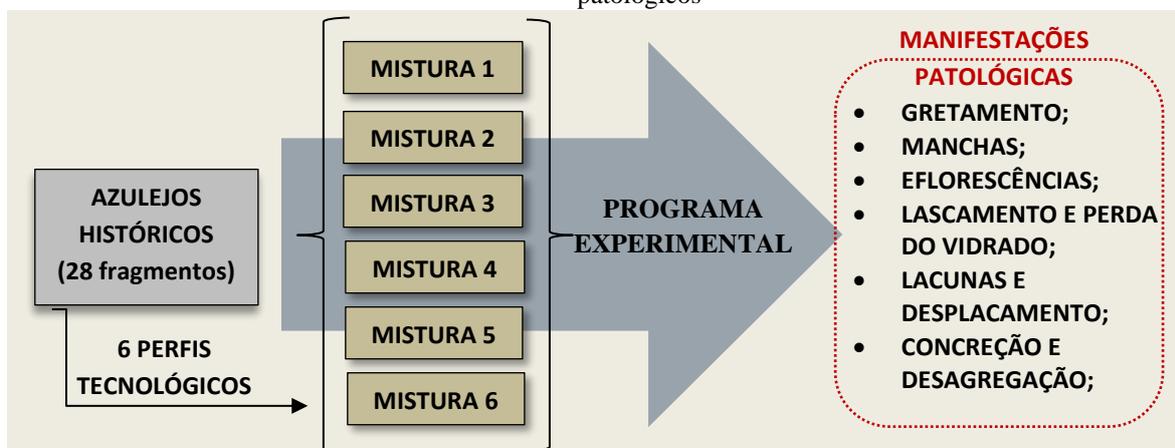
Ensaio	Norma Guia	Objetivo	Dimensão das Placas (cm)	Número de Amostras Total	Local de Realização
Absorção de água e porosidade aparente	NBR ISO 10.545-3	Teor de Absorção	20x10	30	LAPET/UFPE
Resistência a ruptura por flexão	NBR ISO 10.545-4	Resistência à Flexão	20X20	42	LETMACC/ SENAI - PE
Resistência a ataques químicos	NBR ISO 10.545-13	Caracterização Química	5x5	90	Laboratório de Química / UPE - Poli

Fonte: O autor (2022).

Infere-se que a partir da análise das composições químicas das reproduções e dos dados obtidos pelos ensaios propostos na Tabela 12 pode-se deduzir como ocorrerão o desenvolvimento de problemas patológicos nos azulejos *in loco*.

Assim, considerando as técnicas de caracterização das misturas e o panorama das principais manifestações patológicas que acometem azulejos históricos, propõem-se na Figura 73, a seguinte estrutura para análise dos dados:

Figura 75 - Fluxograma das análises para interpretações das tendências ao desenvolvimento de problemas patológicos



Fonte: O autor (2022).

Destaca-se que para cada mistura será analisada a tendência de o corpo cerâmico sofrer algumas das anomalias apresentadas. A Tabela 13 a seguir apresenta a combinação dos ensaios para as análises relacionadas às manifestações patológicas.

Tabela 13 - Combinação do programa experimental com análises dos problemas patológicos.

Problemas Patológicos	Procedimento Experimental						
	Flexão Rf	Absorção Ru	Ataques Químicos *				
			Rq1	Rq2	Rq3	Rq4	Rq5
Gretamento	•	•					
Manchas		•	•	•	•	•	
Eflorescências		•					•
Lascamento e Perda do Vidrado	•	•					
Lacunas e Desplacamento		•					
Concreção e Desagregação	•	•					•

* Considerar Rq1= ataque químico por hipoclorito de sódio; Rq2 = ataque químico por cloreto de amônio; Rq3 = ataque químico por ácido clorídrico (18%); Rq4 = ataque químico por hidróxido de sódio (100 g/L); Rq5 = ataque químico por sais solúveis.

Fonte: O autor (2022).

Tendo em vista a definição das principais manifestações patológicas, apresentadas nesta pesquisa e considerando-se os mecanismos de origem de tais problemas, pode-se atribuir uma composição e combinação de ensaios, e dessa forma, analisar cada mistura ou grupo de misturas de forma individual.

Ao se considerar o fenômeno do gretamento dos azulejos históricos, sabe-se que é um problema que ocorre no vidrado da peça, mas que tem relação com as movimentações⁵ das peças azulejares e com capacidade de absorção de água do corpo cerâmico que promove as condições perfeitas para enfraquecimento da peça. Nesse caso, a combinação dos resultados dos teores de absorção das peças e de sua resistência à flexão, possibilitará interpretações sobre as tendências de ocorrências desse fenômeno nas peças estudadas.

Através da mesma lógica buscou-se identificar a tendência de as peças reproduzidas sofrerem com o lascamento ou perda do vidrado que ocorre em função do enfraquecimento da chacota, facilitando a fissuração do vidrado ou mesmo seu lascamento e degradação.

⁵ O termo movimentações refere-se aos movimentos da edificação em função de dilatações térmicas ou mesmo movimentações estruturais provenientes de recalques diferenciais, expansões provocadas por reações químicas ou mesmo choques mecânicos ocasionados pela ação antrópica.

A concreção e desagregação também tem origem na degradação da chacota sendo que o mecanismo de formação da concreção tem relação com os produtos de lixiviação do corpo cerâmico, formados a partir de absorção da umidade e, principalmente de produtos salinos. Por isso, se justifica a interpretação dos resultados dos ensaios de flexão, dos testes de absorção e dos ataques químicos resultantes de soluções com altas concentrações de sais.

No caso do fenômeno das manchas, percebe-se que a combinação entre técnicas de absorção com os resultados de ataques químicos pode auxiliar na explicação sobre o manchamento das peças.

Esta manifestação patológica pode ser originada a partir de duas fontes de contaminação, a primeira tem relação com a aplicação direta de produtos químicos sobre as superfícies do vidrado, que pode ocorrer a partir de serviços de manutenção, por exemplo.

A segunda forma de contaminação tem origem a partir da absorção de produtos químicos na camada da chacota. Estes agentes químicos poderão adentrar na estrutura a partir de um rejuntamento deficiente ou mesmo das próprias juntas secas, se assim for o caso, ou ainda, a partir de mecanismos capilares presentes nas estruturas porosas do material cerâmico.

Uma vez que os estudos desenvolvidos nesta pesquisa não pretendem analisar a camada esmaltada dos azulejos, considera-se para efeito de formação do problema de manchamento, a contaminação advinda da chacota. Assim percebe-se que quanto maior for o teor de absorção e porosidade da peça azulejar, maior a tendência de o elemento absorver produtos químicos e sofrer ataques químicos, ocasionando manchas, por vezes, irreversíveis na camada de vidrado.

Outro aspecto relacionado ao manchamento é a formação de eflorescências, que também são manchas que podem aparecer no vidrado fruto de processos de lixiviação de sais e com origens bastante semelhantes às manchas provocadas por ataques químicos.

Para analisar os processos de degradação em relação às manchas propõem-se a combinação entre os resultados dos ensaios de absorção e ataques químicos diversos (Rq1, Rq2, Rq3 e Rq4). E para análise das tendências a degradações por eflorescências, sugere-se a combinação entre os testes de absorção das peças com a avaliação dos ataques químicos provocados por soluções salinas (Rq5).

Por fim, apesar do problema de deslocamento e formação de lacunas ter grande relação com a base ou superfície de assentamento do azulejo, ou mesmo através de choques mecânicos

introduzidos diretamente sobre os revestimentos parietais, verifica-se que quanto maior a capacidade de absorção da peça cerâmica, maior o peso da mesma e maior a probabilidade de deslocamento, gerando as lacunas dos painéis azulejares.

Para a análise do fenômeno de deslocamentos dos azulejos, propõem-se a avaliação dos teores de absorção das diferentes misturas.

Os próximos capítulos apresentarão as caracterizações das matérias primas utilizadas nas reproduções, as análises das técnicas adotadas e suas respectivas interpretações em relação às tendências para o desenvolvimento dos problemas patológicos nas diferentes misturas.

4 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS ADOTADAS

Neste capítulo caracteriza-se os materiais adotados para o desenvolvimento das reproduções.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGILAS

Neste estudo foram utilizados quatro tipos de argilas extraídas nos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Tracunhaém, ambos situados no estado de Pernambuco. As jazidas de extração dessas argilas encontram-se relativamente distantes dos pontos de extração dos azulejos históricos, entretanto a relação entre a produção das peças cerâmicas e a sua aplicação nas edificações necessariamente induzem a uma proximidade geográfica, sobretudo quanto os azulejos eram produzidos em fábricas portuguesas e importados para a decoração das igrejas brasileiras.

A caracterização dos materiais argilosos inclui a apresentação de sua granulometria, a identificação dos elementos químicos, por meio da Fluorescência de Raios X (FRX) e a identificação dos elementos mineralógicos, através do método de difração dos raios X (DRX).

As Fluorescências de Raio-X, (FRX), foram executadas no LAPET, onde as amostras foram analisadas em pó por dispersão de energia, (FRX-DE). O equipamento é constituído de um tubo de raios X, um detector de Si-PIN, analisador multicanal, um amplificador e um computador para aquisição dos dados. O tubo de raios X utilizados é de fabricação da Oxford Instruments, modelo XMet 5.100.

O método para quantificação dos elementos químicos na amostra foi o Soil_le_fp, método que determina elementos leves como amostras de solos e fragmentos azulejares; o tempo de leitura para cada medida foi de 60 segundos e o número de medidas por amostra foi de 3 medidas para cada amostra. Todas as leituras foram obtidas com o equipamento em ângulo reto (90°) e, para minimizar a dispersão da radiação, as amostras foram dispostas sobre placas de fundo (ver Figura 76).

Figura 76 - Equipamento de FRX utilizado – modelo Met 5100.



Fonte: O autor (2022).



Fonte: O autor (2022).

Visando a organização das informações apresentadas, os resultados dos percentuais obtidos dos elementos químicos presentes nas argilas analisadas por FRX são apresentados separadamente em cada argila estudada.

Para o ensaio de DRX adotou-se os mesmos critérios considerados em Moraes, Goes e Maior (2021). A técnica foi executada considerando o método do pó no equipamento Bruker D2 PHASER, operando com voltagem de 30 KV e corrente de 10 mA, ($P=300$ W), radiação $\text{Cu-K}\alpha = 1,54060 \text{ \AA}$ e utilizando o detector Bruker – AXS-Lynxeye. A faixa de varredura adotada (2θ) foi de 3 a 80° , com passo do goniômetro de $0,02019^\circ$, tempo de contagem por passo de 1,0 segundo e fenda primária com abertura de 0,2 mm. Utilizou-se um anteparo de 1mm e rotação constante da amostra de 10 rpm. Os difratogramas foram indexados usando o software DIFFRAC.EVA e banco de dados COD, (REV 89244 20131011).

O ensaio de DRX foi realizado na Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM) que possui parceria com o LAPET/ UFPE. As Figuras 77 e 78 a seguir apresentam o equipamento e as amostras de argilas para caracterização. Os difratogramas de cada argila estudada são apresentados, separadamente, nos tópicos de caracterização das matérias primas.

Para as amostras submetidas ao ensaio de DRX, inicialmente executou-se a moagem das amostras no cadinho e um peneiramento (n° 200) para remoção de sujidades, em seguida, para as argilas, as amostras foram lavadas, limpas e sedimentadas de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2018). As amostras de argilas e dos fundentes utilizadas para análise na difração de raios X foram àquelas resultantes do processo de peneiramento da malha de 0,075 mm.

Figura 77 - Difrator de Raios X utilizado.



Fonte: O autor (2022).

Figura 78 - Amostras das argilas analisadas.



Fonte: O autor (2022).

A análise granulométrica das argilas foi elaborada de acordo com a NBR 7181 (2018) que prevê a análise dos grãos em duas fases: sedimentação e peneiramento. Por se tratar de solos bastante finos, a fase de peneiramento de material grosso foi descartada.

Seguindo-se o preconizado pela NBR 7181 (ABNT, 2018) foi necessário inicialmente se fazer o ensaio de sedimentação das argilas. Para todas as amostras analisadas seguiu-se o mesmo procedimento a seguir descrito:

- As amostras de solo foram aquecidas em estufa a temperatura de 105°C durante 24 horas e preparadas segundo a NBR 6457 (2016);
- O material de solo foi destorroado com auxílio do almofariz e a mão de grau e em seguida peneirado na peneira de malha 2,0 mm;
- Separou-se 70 g do material peneirado (passante na peneira de 2,0 mm) e em seguida, cada material foi colocado em um Becker separadamente;
- Cada Becker recebeu 125 mL de solução de defloculante (dexametáfosfato de sódio) ficando submerso nesta solução por, no mínimo, 12 horas;
- Após as 12 horas o material foi conduzido ao agitador mecânico com agitação durante 15 minutos;

Figura 79 -
Destorroamento argila 1



Figura 80 -
Destorroamento argila 2



Figura 81 -
Destorroamento argila 3



Figura 82 -
Destorroamento argila 4



Fonte: O autor (2022).

Figura 83 -
Peneiramento argila 1



Figura 84 -
Peneiramento argila 2



Figura 85 -
Peneiramento argila 3



Figura 86 -
Peneiramento argila 4



Fonte: O autor (2022).

Figura 87 - Amostras de argilas submersas em defloculante (dexametafosfato de sódio).



Fonte: O autor (2022).

- Com o auxílio de um funil de vidro, a amostra foi transferida para uma proveta de 1 litro, sendo seu volume completado até 1000 mL com água destilada. Uma proveta complementar com água destilada, foi adotada para controle da temperatura e aferição do densímetro e acompanhou todo o período do ensaio;

- As provetas foram agitadas manualmente antes das leituras com o densímetro. As leituras do densímetro e da temperatura de cada uma das provetas seguiu o tempo pré-estabelecido pela

norma. Trinta segundos antes do tempo de cada leitura, o densímetro foi colocado na proveta auxiliar (com água destilada) para então ser submerso nas provetas com as argilas. Este procedimento permite uma leitura mais nítida do densímetro.

Figura 88 - Argilas na proveta com defloculante e água destilada.



Fonte: O autor (2022).

Figura 89 - Dispersão das amostras.



Figura 90 - Leitura com densímetro.



Figura 91 - Aferição das temperaturas.



Fonte: O autor (2022).

- Finalizada a última leitura, que correspondeu a 24 horas após o início do ensaio, a suspensão de solo foi passada pela peneira de abertura 0,075 mm. Todo o material da proveta foi lavado com auxílio de uma pinceta e depois lavado sobre água corrente;

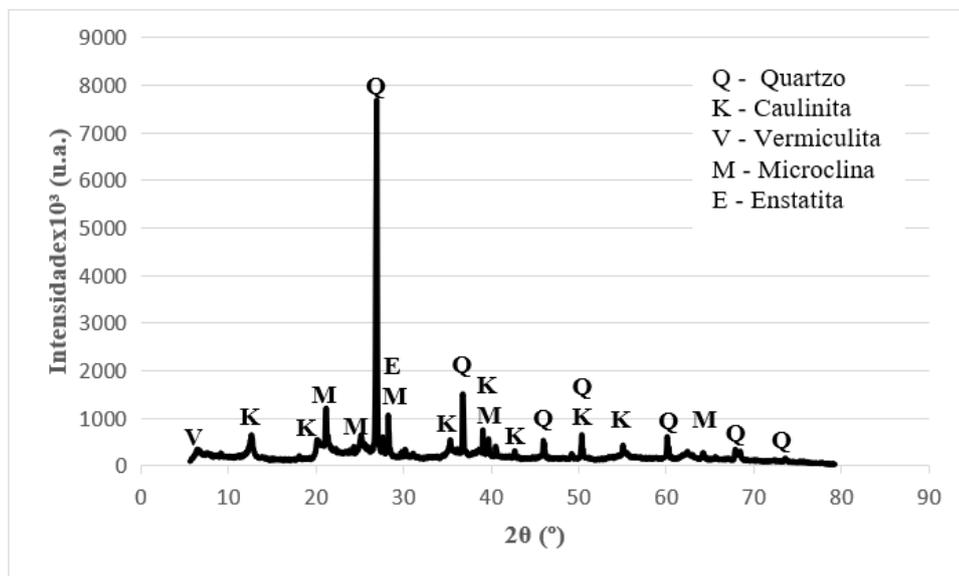
- O material retido na peneira de abertura 0,075 mm foi transferido para um recipiente e encaminhado para a estufa com temperatura de 105° C por 24 horas;

- Por fim retirou-se o material da estufa, encaminhando o mesmo para o processo de peneiramento do fino, no qual a amostra foi peneirada durante 15 minutos, no peneirador mecânico, nas peneiras de aberturas 1,20mm; 0,60mm; 0,42mm; 0,25mm; 0,15mm; 0,075mm; As curvas granulométricas de cada argila analisada são exibidas nos tópicos respectivos a seguir apresentados.

4.1.1 Argila 01

A argila 01 tem cor amarela e é proveniente da região do Paiva, no município do Cabo de Santo Agostinho – PE. A análise do DRX indicou basicamente uma composição quase que predominante de quartzo ou minerais derivados de silicatos de alumínio, como a caulinita $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$, a microclina $[KAlSi_3O_8]$ e a Vermiculita $[MgFe,Al)_3(Al,Si)_4O_{10}(OH)_2.4H_2O]$, que aparece inicialmente no difratograma da argila 1 (Figura 92). A Enstatita ($Mg_2Si_2O_6$) é um mineral do grupo dos piroxênios que surge a partir de temperaturas superiores a $700^\circ C$.

Figura 92 - Difratograma da Argila 1.



Fonte: O autor (2022).

O ensaio de FRX indicou ainda a presença de 10 elementos químicos, sendo o Silício e o Alumínio os principais constituintes destes materiais, confirmando os minerais apresentados no difratograma. A tabela 14 fornece os percentuais de elementos químicos encontrados durante a realização da técnica de fluorescência de raios X.

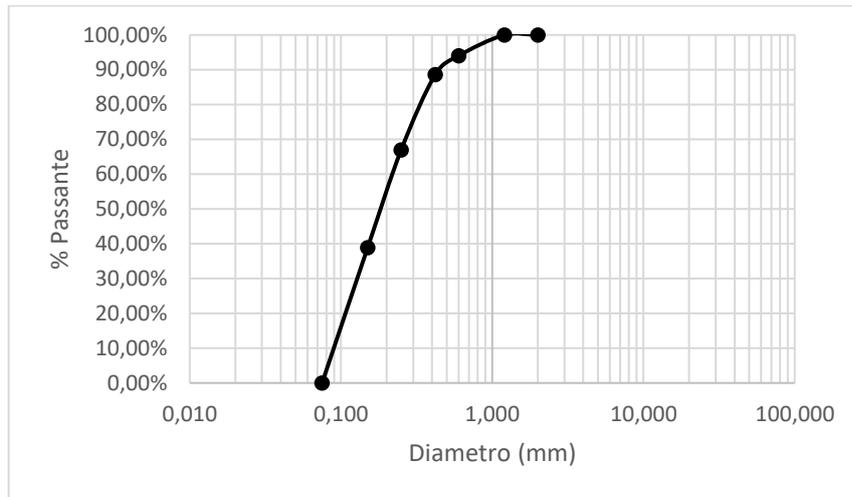
Tabela 14 - Percentuais dos elementos químicos presentes na Argila 1 obtidos a partir do FRX.

	Si	Al	Fe	K	Ti	Zr	Ba	Mn	Zn	Rb
%	45,94	36,79	13,64	2,01	1,30	0,07	0,10	0,05	0,02	0,01

Fonte: O autor (2022).

A granulometria do material apresenta um material fino, característico de produtos argilosos, conforme curva granulométrica do material (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Curva granulométrica da Argila 1.



Fonte: O autor (2022).

4.1.2 Argila 02

A argila 02 é proveniente do município de Tracunhaém localizado na zona da mata de Pernambuco. Ela possui coloração avermelhada indicando possibilidade de concentrações de Ferro. Esta teoria pode ser confirmada a partir dos percentuais de elementos químicos obtidos pelo FRX (Tabela 15).

Em termos de composições químicas, o FRX indicou alta concentração de Silício (Si), seguido por Alumínio (Al) bastante condizentes com os minerais identificados no difratograma (Figura 93). A caulinita é um minério composto por silicato de alumínio, sendo o principal componente do caulim.

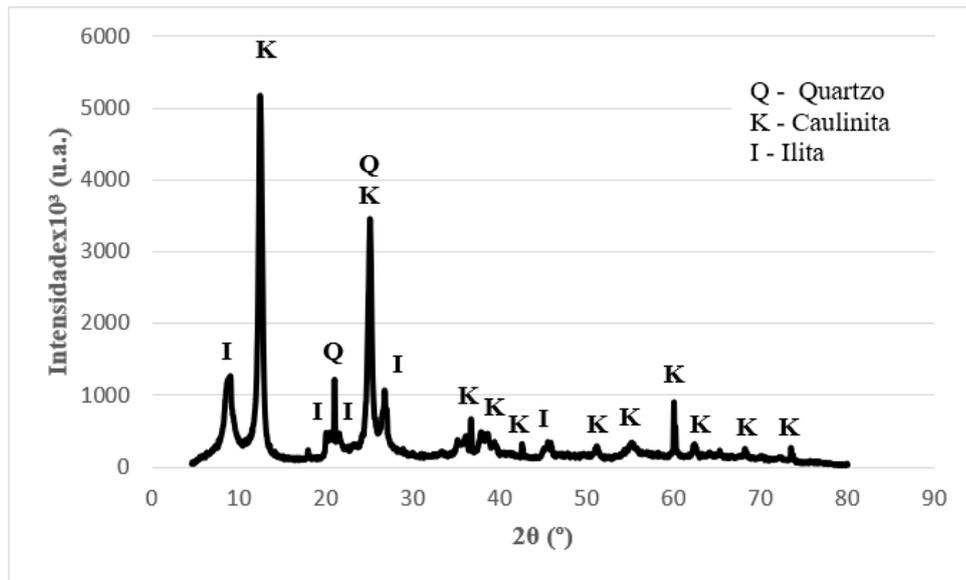
Tabela 15 - Percentuais dos elementos químicos presentes na Argila 2 obtidos a partir do FRX.

	Si	Al	Fe	K	Ti	Zr	Ba	Ca	Sr	Mn	Sn	Rb	Pb
%	56,30	29,82	9,04	2,35	1,66	0,28	0,23	0,13	0,06	0,04	0,04	0,03	0,02

Fonte: elaborado pelo autor.

Na análise mineralógica, percebe-se, além da presença do quartzo, altas concentrações de minerais derivados de silicatos de alumínio como a caulinita $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ e a ilita $[(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2(H_2O)]$. A Figura 93 apresenta o difratograma da argila 2.

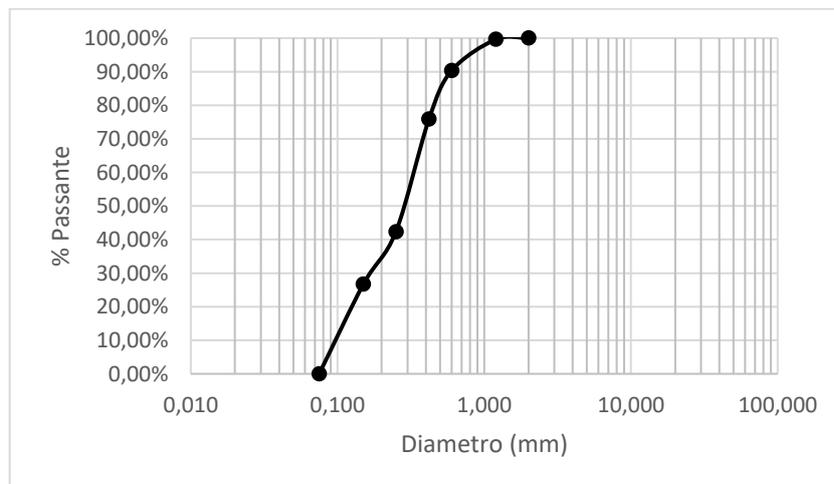
Figura 93 - Difratograma da Argila 2.



Fonte: O autor (2022).

A granulometria do material após a sedimentação apresentou características de materiais finos, condizentes com argilas, conforme apresentado no Gráfico 5 da curva granulométrica a seguir.

Gráfico 5 - Curva granulométrica da Argila 2.



Fonte: O autor (2022).

4.1.3 Argila 03

O terceiro tipo de argila (argila 03) tem cor cinza clara e é proveniente de Tracunhaém, município pernambucano.

Seguindo o modelo das análises das amostras anteriores, a técnica da Fluorescência de Raios X indicou a presença de 11 elementos químicos principais, sendo o maior percentual, cerca de 60% da amostra, composta por Silício (Si), seguido por Alumínio (Al), com aproximadamente, 27% e Ferro (Fe) com 7,22% (Tabela 16).

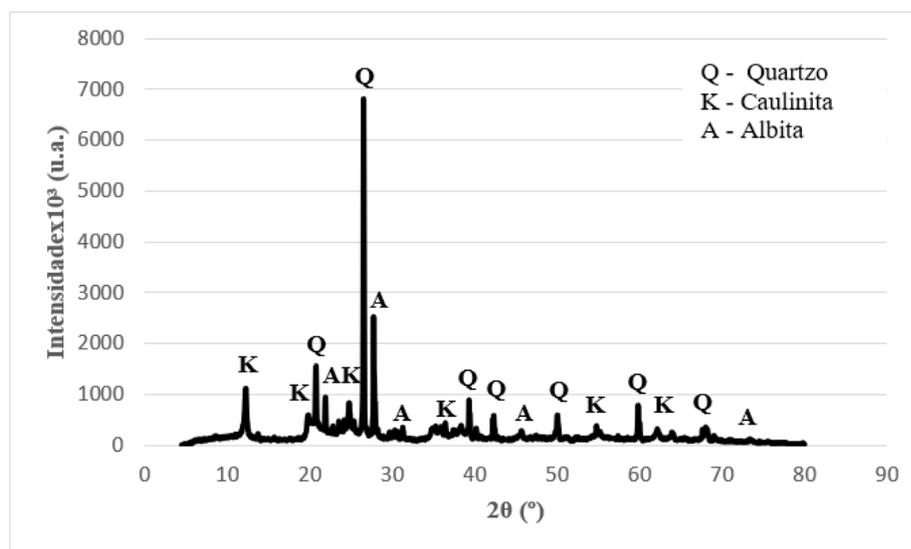
Tabela 16 - Percentuais dos elementos químicos presentes na Argila 3 obtidos a partir do FRX.

	Si	Al	Fe	K	Ti	Zr	Ba	Ca	Sr	Ag	Zn
%	60,47	26,91	7,22	1,05	0,88	0,19	0,27	2,81	0,14	0,05	0,01

Fonte: O autor (2022).

A técnica de DRX identificou a presença dos minerais quartzo em maior proporção, seguido pela caulinita $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ e albita $(NaAlSi_3O_8)$. Este último mineral também é um silicato pertencente ao grupo dos plagioclásios e bastante coerente com os minerais encontrados no produto argiloso analisado. O difratograma da argila 3 é apresentado a seguir.

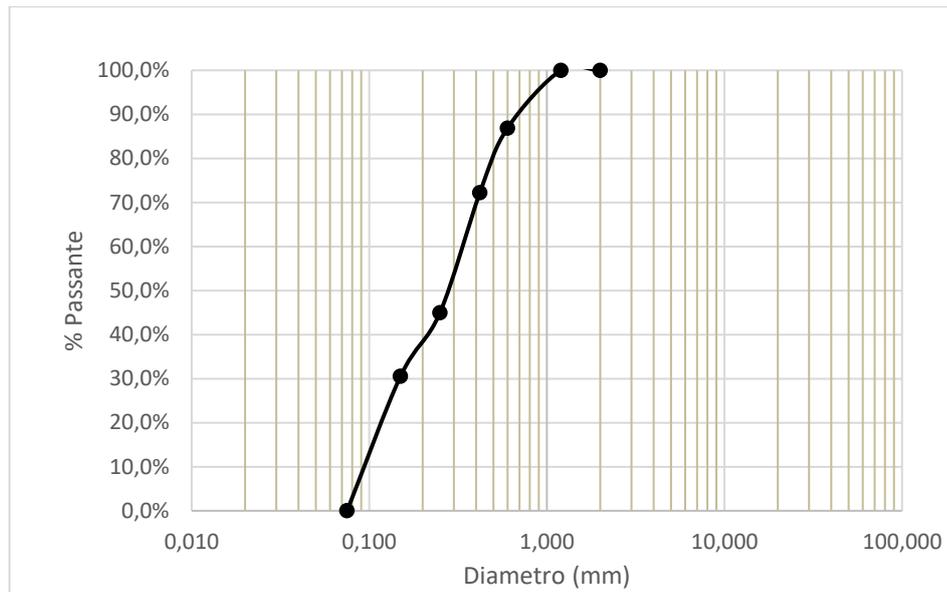
Figura 94 - Difratograma da Argila 3.



Fonte: O autor (2022).

A granulometria da argila 3 após a sedimentação confirmou a presença de material fino, condizentes com os parâmetros das argilas, conforme apresentado no Gráfico 6 da curva granulométrica a seguir.

Gráfico 6 - Curva granulométrica da Argila 3.

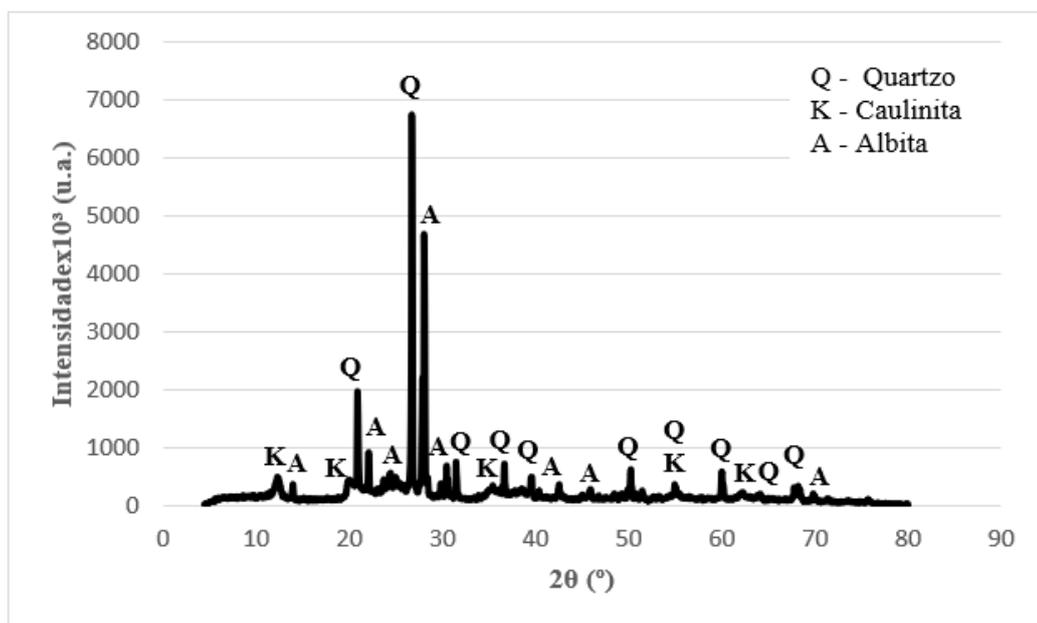


Fonte: O autor (2022).

4.1.4 Argila 04

A argila 04 também é oriunda de Tracunhaém e tem uma coloração cinza escura. Sua análise de DRX apresentou semelhança mineralógica com a argila 3 indicando a predominância de quartzo, seguido por albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e caulinita [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$], conforme apresentado no difratograma desta argila (Figura 95).

Figura 95 - Difratograma da Argila 4.



Fonte: O autor (2022).

A análise do FRX mostrou a presença de 12 elementos químicos, sendo o Silício (64,74%), o Alumínio (18,02%), o Potássio (9,00%) e o Ferro (4,56%) os elementos com maiores percentuais na amostra, como observado na Tabela 17.

Tabela 17 - Percentuais dos elementos químicos presentes na Argila 4 obtidos a partir do FRX.

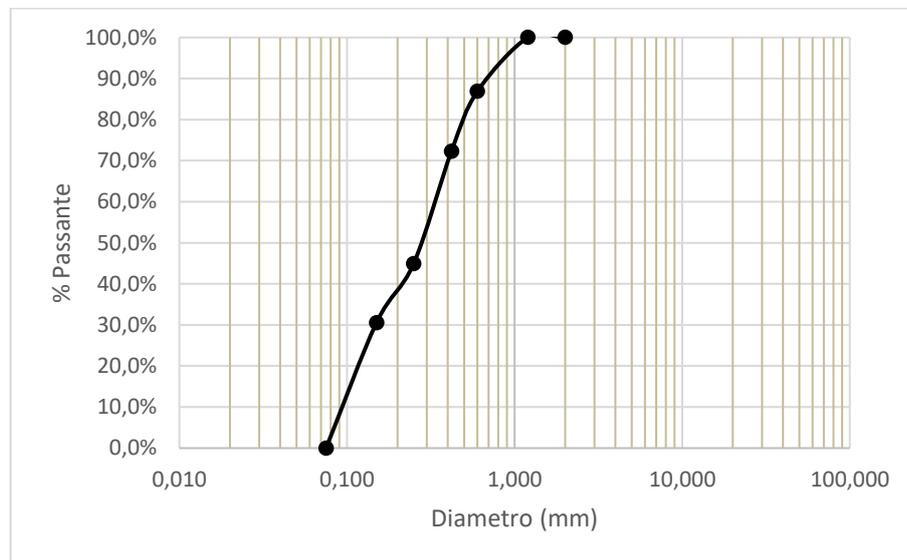
	Si	Al	Fe	K	Ti	Zr	Ba	Ca	Sr	Mn	Zn	Rb
%	64,74	18,02	4,56	9,00	0,70	0,26	0,41	2,05	0,13	0,05	0,01	0,07

Fonte: O autor (2022).

A granulometria do material após sedimentação mostrou-se bastante semelhante às demais curvas granulométricas dos materiais argilosos 1, 2 e 3, indicando a presença de um material fino (ver Gráfico 7).

O motivo de se adotar argilas de Tracunhaém e do Cabo de Santo Agostinho recai sobre as características destes locais se constituírem berços de diversos ceramistas pernambucanos. Muitas das peças cerâmicas produzidas no estado de Pernambuco, sejam peças decorativas de artesanato, seja de composições de revestimentos cerâmicos ou materiais de construção são originadas destas regiões.

Gráfico 7 - Curva granulométrica da Argila 4.

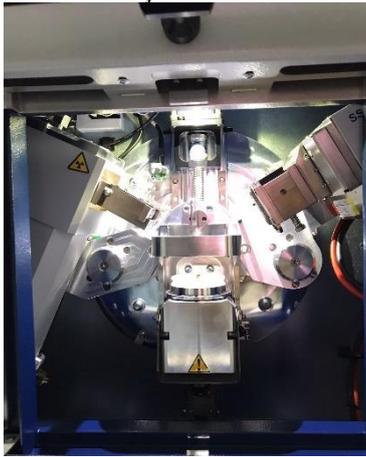


Fonte: O autor (2022).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FUNDENTES

A exemplo da seção de caracterização das argilas, para a determinação das características dos materiais fundentes adotou-se os ensaios de granulometria, FRX e DRX. A difração de raios X considerou as mesmas restrições dispostas na seção de argilas, entretanto a faixa de varredura (2θ) adotada foi de 10° a 80° e foi realizada na FUMDHAM.

Figura 96 - Colocação da amostra para execução do DRX



Fonte: O autor (2022).

Figura 97 - Amostras dos fundentes analisados.



Fonte: O autor (2022).

A Fluorescência de Raios X (FRX) seguiu os mesmos procedimentos adotados para a caracterização dos elementos químicos, adotados para as análises das argilas e foi executado no LAPET da Universidade Federal de Pernambuco.

As amostras de fundentes também foram submetidas aos ensaios de determinação granulométrica por meio de um conjunto de peneiras, preconizado pela NBR 7211 (ABNT 2005). Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade de Pernambuco. Duas amostras de 500g aquecidas por 24 horas na estufa a temperatura de 105°C são submetidas a um peneiramento de um conjunto de peneiras durante 15 minutos. As peneiras utilizadas são da série normal com as aberturas de 4,8mm; 2,4mm; 1,2mm; 0,6mm; 0,3mm e 0,15mm. O ensaio permite a elaboração da curva granulométrica do fundente, apresentada a seguir.

4.2.1 Feldspato

Segundo Lira e Neves (2013), os feldspatos constituem um dos mais importantes grupos de minerais existentes, estando presentes em cerca de 60% da crosta terrestre. Pertencem ao grupo

dos aluminossilicatos de potássio, sódio, cálcio e bário, sendo que o primeiro possui grande aplicação na indústria das cerâmicas.

Nesta pesquisa o feldspato adotado nas reproduções das peças é oriundo do estado do Rio Grande do Norte. Em vista da grande variação das combinações de aluminossilicatos possíveis, realizou-se inicialmente o ensaio de FRX.

A análise de FRX (Tabela 18) apresentou 18 elementos químicos, porém, entre os elementos que podem se combinar formando os aluminossilicatos, tem-se o Potássio (K) como componente com maior quantidade (18,70%), indicando seu uso para trabalhos na área de cerâmicas.

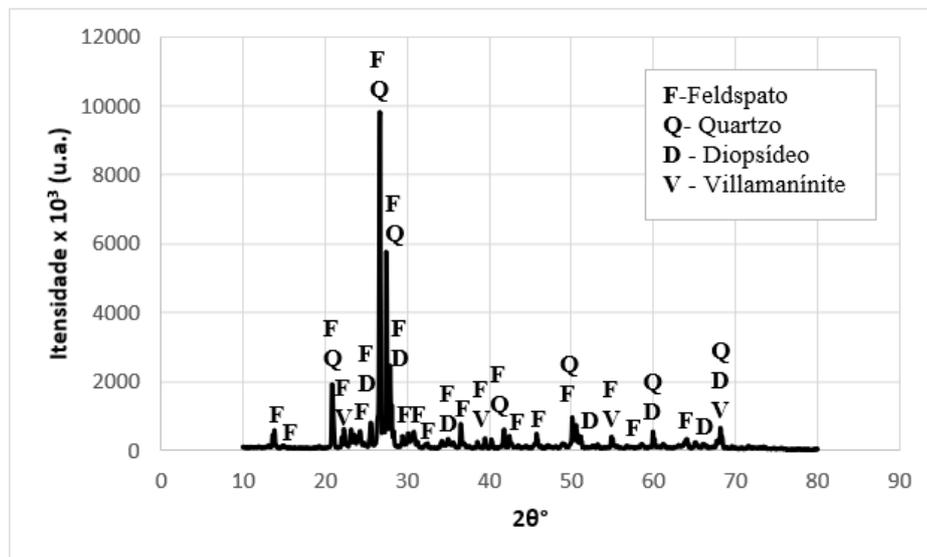
Tabela 18 - Percentuais dos elementos químicos presentes no Feldspato obtidos a partir do FRX.

	K	Si	Rb	Fe	Al	Ba	Ca	Pb	Mn
%	18,70	10,64	5,46	4,58	17,22	0,45	0,95	22,94	0,92
	Au	Zn	Ag	Sn	Th	Ni	Sr	Ti	Cr
%	0,16	4,85	4,18	3,12	2,75	1,03	0,61	0,65	0,79

Fonte: O autor (2022).

As análises de DRX (Figura 98) apresentaram grande concentração de Feldspato, seguido por Quartzos e baixas concentrações de diopsídeo ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) e villamanínite $[(\text{CuNiCoFe})\text{S}_2]$, um mineral composto por sulfeto de cobre e baixas concentrações de outros elementos como níquel (Ni) e Ferro (Fe).

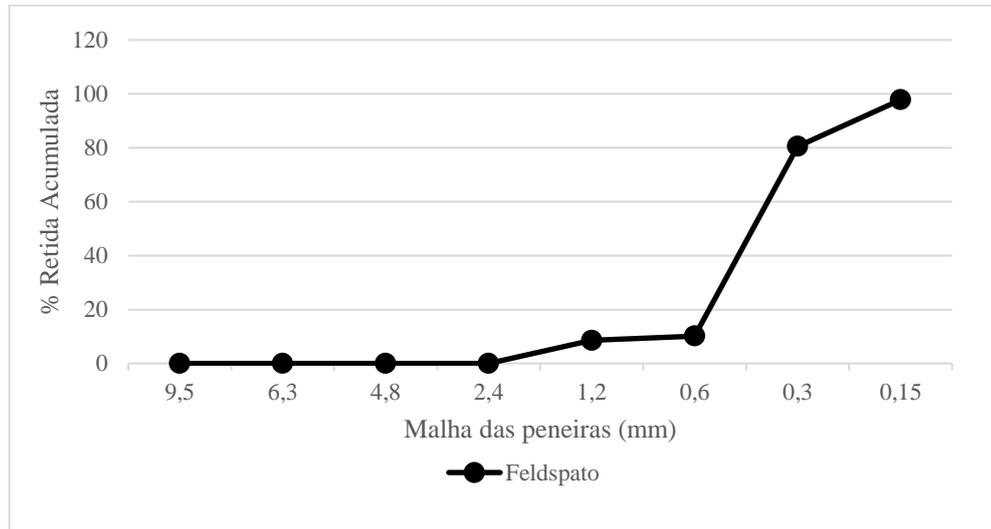
Figura 98 - Difratoograma do Feldspato



Fonte: O autor (2022).

O ensaio de granulometria do feldspato, foi realizado após a fase de moagem do material, de forma que a curva granulométrica do material (ver Gráfico 8), indica certa quantidade de material fino, condição esta necessária para moldagem das peças.

Gráfico 8 - Curva granulométrica do Feldspato.



Fonte: O autor (2022).

4.2.2 Calcita

A calcita ou o carbonato de cálcio (CaCO_3), como é conhecida quimicamente, é o principal constituinte dos calcários e mármore, tendo o cálcio (Ca) como principal elemento formador (BRANCO, 2008). Este agregado é oriundo da cidade de Alhandra, na Paraíba.

A análise de FRX (Tabela 19) constatou um grande percentual de cálcio (Ca) na amostra, cerca de 90% do material, indicando sua natureza puramente cálcica.

Tabela 19 - Percentuais dos elementos químicos presentes na Calcita obtidos a partir do FRX.

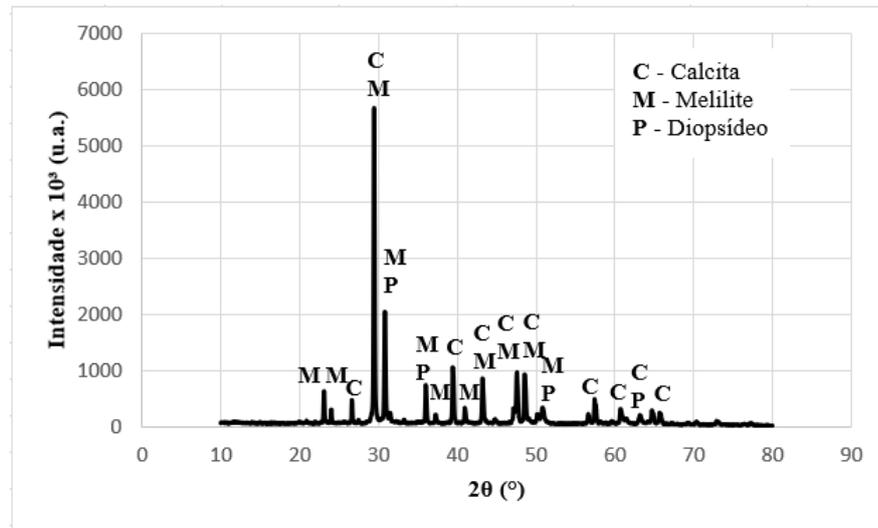
	Ca	Si	Al	Fe	K
%	89,80	4,36	3,65	1,35	0,84

Fonte: O autor (2022).

O DRX apresentou com maior quantidade da amostra o grupo de minerais melilita ou melilite ($(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})[(\text{Al},\text{Si})\text{SiO}_7]$), que pertencem a classe dos sorossilicatos. Entre os principais minerais pertencentes a este grupo tem-se a akermanita ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$).

A análise também forneceu como elementos componentes a própria calcita e o diopsído (ver Figura 99).

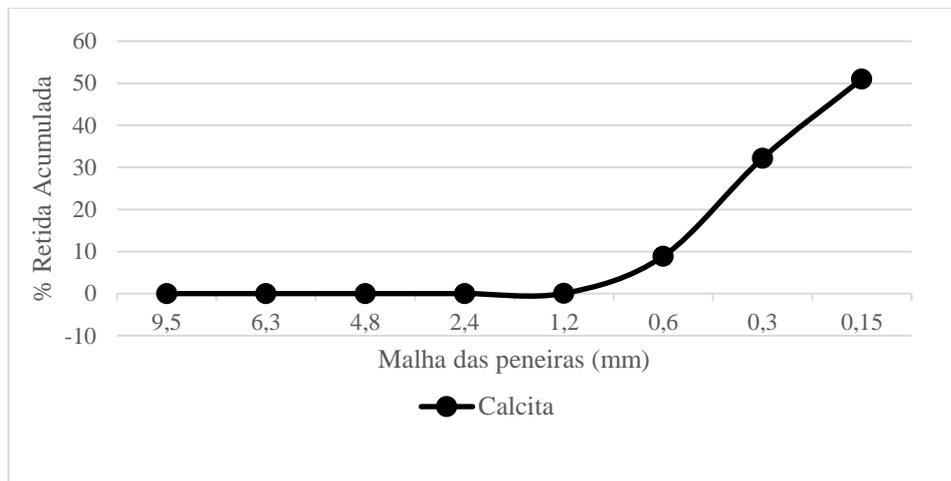
Figura 99 - Difratoograma da Calcita



Fonte: O autor (2022).

O ensaio de determinação da curva granulométrica foi executado após o processo de moagem das amostras da calcita. Assim, a curva granulométrica do material caracteriza uma amostra fina, apresentando no Gráfico 9 certa proporção entre os materiais retidos nas peneiras com malha de 0,15mm e 0,30 mm.

Gráfico 9 - Curva granulométrica da Calcita.



Fonte: O autor (2022).

4.2.3 Diopsídeo

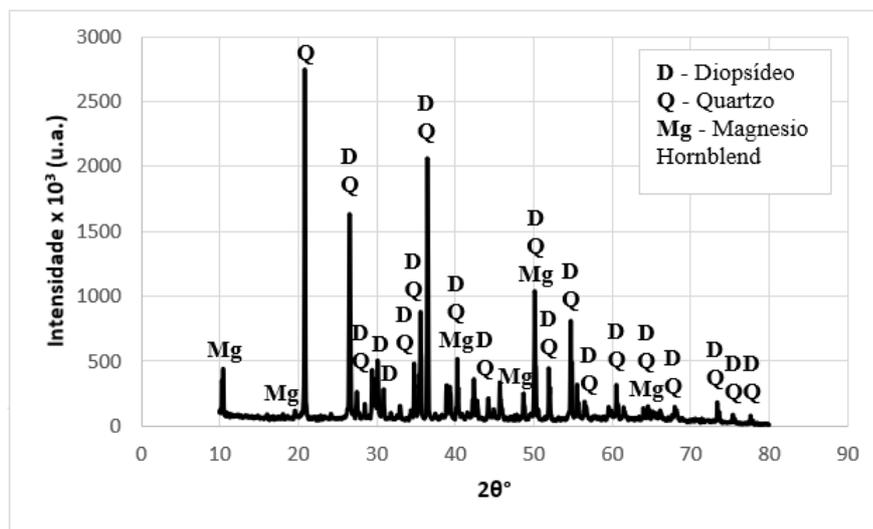
De acordo com a secção de materiais didáticos do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), o diopsídeo é um mineral do grupo dos piroxênios monolíticos, composto de silicato de cálcio e magnésio, sendo muito comum em rochas ígneas e metamórficas de várias

localidades do mundo. Sua coloração varia de branco a verde claro, escurecendo com o aumento do teor de ferro.

O diopsídeo tem uma composição química de $MgCaSi_2O_6$ e pode se formar a partir de uma reação entre o carbonato de cálcio (calcita) e o magnésio (dolomita), entretanto este mineral é classificado como um inossilicato cálcico da família dos piroxênios, correspondendo ao extremo magnesiano da série diopsídeo-hedenbergita, dos clinopiroxênios. Em sua estrutura, o magnésio poder ser substituído pelo ferro (Fe^{+2}) em qualquer proporção até completar a série (sendo chamado diopsídeo só o extremo magnesiano da série) (BRANCO, 2008).

O diopsídeo adotado foi um material com leve contaminação de ferro porque o ensaio de petrografia executado nos fragmentos históricos, mostrou um composto de ferro na estrutura do material, assim o material foi comprado na internet, considerando as suas propriedades mineralógicas e químicas bastante semelhantes ao material presente no histórico. A figura a seguir apresenta o difratograma do diopsídeo utilizado nas reproduções.

Figura 100 - Difratoograma do Diopsídeo.



Fonte: O autor (2022).

O difratograma da amostra (Figura 100) apresentou como minerais preponderantes o diopsídeo e o quartzo, como minerais em menor quantidade, foi encontrado o magnésio-hornblend $\{Ca_2[(Mg, Fe^{2+})_4Al](Si_7Al)O_{22}(OH)_2\}$ que é um mineral do grupo dos amphibole (cálcico) com composição de ferro.

A análise de FRX indicou um material basicamente composto por Cálcio (94,16%), apresentando na sequência, Silício (2,55%), Ferro (1,23%), Alumínio (1,05%) e Potássio (1,01%), conforme indicado na Tabela 20 a seguir.

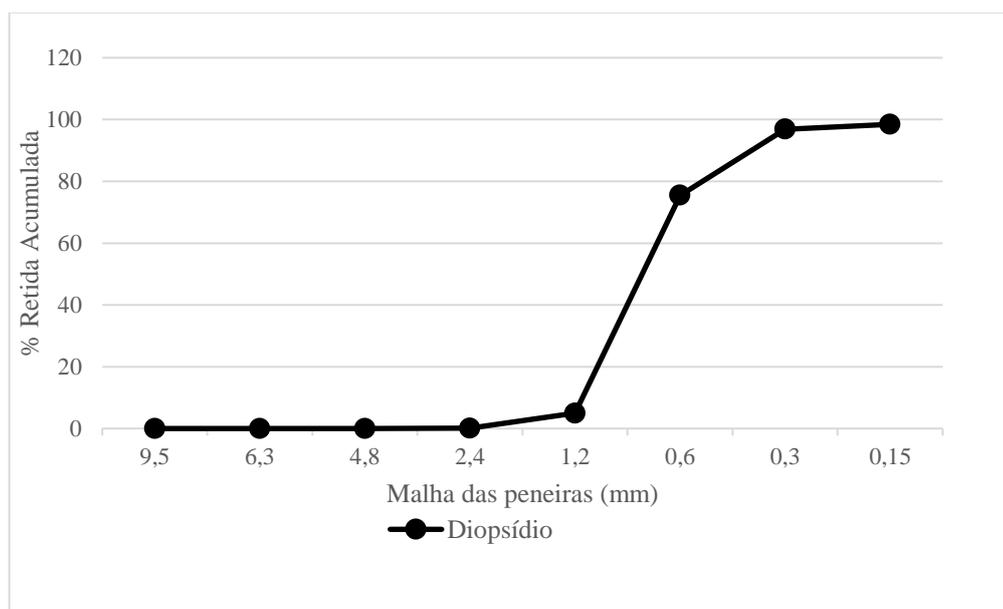
Tabela 20 - Percentuais dos elementos químicos presentes no Diopsído obtidos a partir do FRX.

	Ca	Si	Fe	Al	K
%	94,16	2,55	1,23	1,05	1,01

Fonte: O autor (2022).

O ensaio de granulometria apresentou no Gráfico 10 uma curva granulométrica com certa retenção de partículas nas peneiras de malha 0,60mm e 0,30mm indicando um agregado levemente mais graúdo quando comparado à calcita e ao feldspato. O diopsído também foi submetido ao processo de moagem.

Gráfico 10 - Curva granulométrica do Diopsído.



Fonte: O autor (2022).

4.2.4 Areia

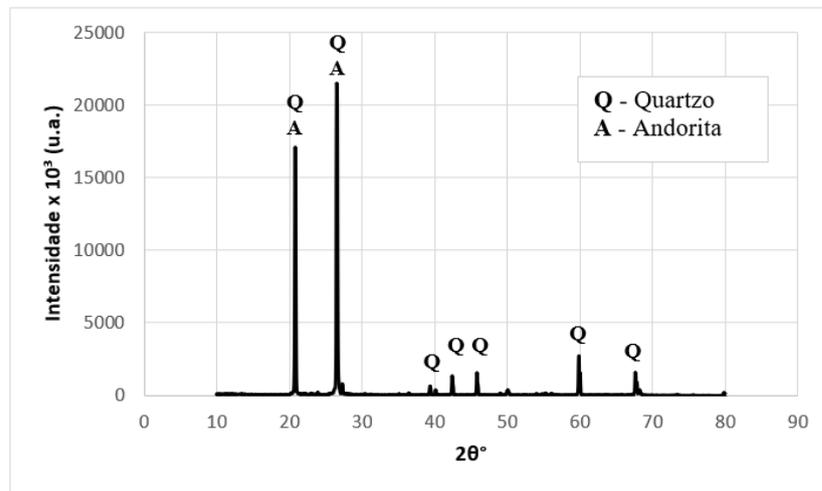
A areia utilizada nas reproduções é proveniente do município do Conde, no estado da Paraíba e é denominada em sua região como Caxitu. Esta areia é tipicamente quartzosa e bastante fina, geralmente com granulometria inferior a 2,4mm e foi adicionada à mistura para ajustar a plasticidade das argilas. De acordo com Vieira *et al.* (2003) as areias, geralmente constituídas com predominância de quartzos, são utilizadas há bastante tempo na composição das misturas

das cerâmicas vermelhas, em quantidades entre 10 e 15% em peso para ajustar a plasticidade da massa cerâmica.

Esta possibilidade de ajuste da plasticidade da massa, segundo Queiroz *et al.* (2010), ocorre devido ao caráter não plástico das areias que ainda contribui na etapa de secagem, podendo até reduzir a absorção de água da cerâmica queimada devido ao aumento do efeito de empacotamento das partículas e ainda à redução da perda de massa durante a queima.

O difratograma da areia analisada identificou a presença de quartzos e andorita ($\text{AgPbSb}_3\text{S}_6$) que é um mineral basicamente composto por chumbo, prata, antimônio e enxofre e confere a coloração levemente acinzentada da areia.

Figura 101 - Difratograma da Areia Caxitu.



Fonte: O autor (2022).

A fluorescência de raios X indicou em sua totalidade a presença de Sílicio (Si) com percentual de quase 89% da amostra do material, o que é um resultado condizente com areias quartzosas. O teor de ferro também é importante mencionar, visto que este elemento químico, quando em grandes quantidades, pode gerar contaminações, produzindo expansões e fissurações indesejáveis durante a queima das peças (PETRUCCI, 1987). No caso do agregado miúdo em questão o teor de ferro é inferior a 1%.

Tabela 21 - Percentuais dos elementos químicos presentes na Areia Caxitu obtidos a partir do FRX.

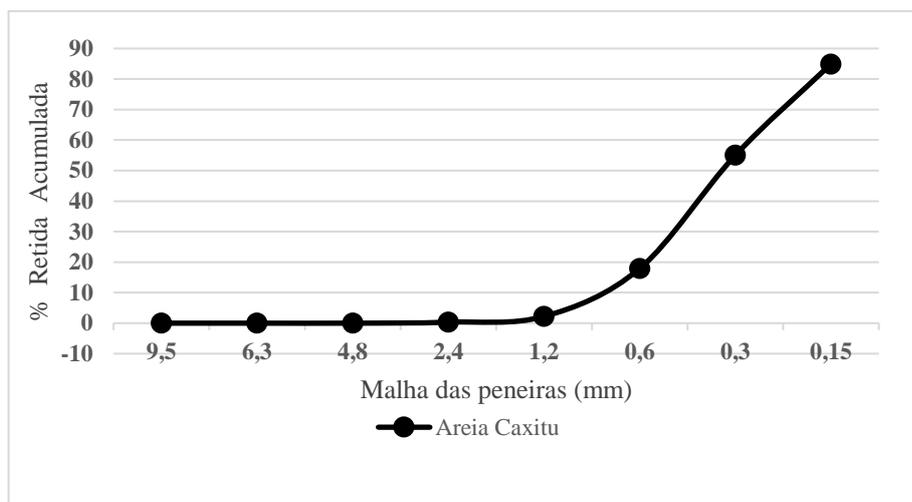
	Si	Ca	Zr	Fe	Au
%	88,74	4,76	2,78	0,96	0,37

Fonte: O autor (2022).

O ensaio de granulometria forneceu uma curva granulométrica bem graduada (ver Gráfico 11). A areia Caxitu apresentou grandes volumes de retenção de material nas peneiras com dimensões de 0,30mm e 0,15mm.

Todas as areias utilizadas para a moldagem das chacotas passaram por peneiramentos para remoção de galhos ou sujidades outras que pudessem comprometer a produção da peça cerâmica.

Gráfico 11 - Curva granulométrica da Areia Caxitu.



Fonte: O autor (2022).

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as análises dos resultados dos ensaios desenvolvidos nas reproduções. A apresentação dos dados foi dividida em tópicos que fornecem as análises de maneira individual e, em sequência, de forma coletiva, onde apresentam-se as composições das técnicas para inferências das tendências ao desenvolvimento dos problemas patológicos.

Os resultados apresentados são provenientes dos testes e ensaios aplicados nas peças reproduzidas. Embora os testes desenvolvidos sejam mais comumente aplicados para caracterização de placas cerâmicas e revestimentos parietais fabricados atualmente, suas aplicações para caracterização de reproduções de azulejos antigos se justificam, pela ausência de ensaios específicos em normas brasileiras direcionados para análises de azulejos históricos.

Assim, os testes e ensaios aqui adotados servem como uma base comparativa para análises das propriedades físicas e químicas das reproduções.

5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DAS REPRODUÇÕES

Após as reproduções das peças históricas, com base na determinação da composição dos fragmentos azulejares, foi realizado os ensaios de FRX e DRX a fim de verificar se os compostos químicos e mineralógicos presentes nos perfis tecnológicos das amostras históricas estão presentes nas reproduções e atendem aos quantitativos especificados pelos perfis tecnológicos originais.

Na técnica de fluorescência de raios X (FRX), os limites de comparação foram estabelecidos a partir de uma média dos percentuais químicos máximos e mínimos de sorte que pôde-se obter uma curva característica para os resultados do FRX das peças reproduzidas apresentando quantitativos químicos bem próximos aos fragmentos originais.

De maneira resumida, pode-se destacar que nas análises de FRX, foram encontrados em todos os fragmentos azulejares altas concentrações de cálcio (Ca), seguido por Silício (Si), provenientes das argilas e das areias e, em menores quantidades, o alumínio (Al) e o Ferro (Fe).

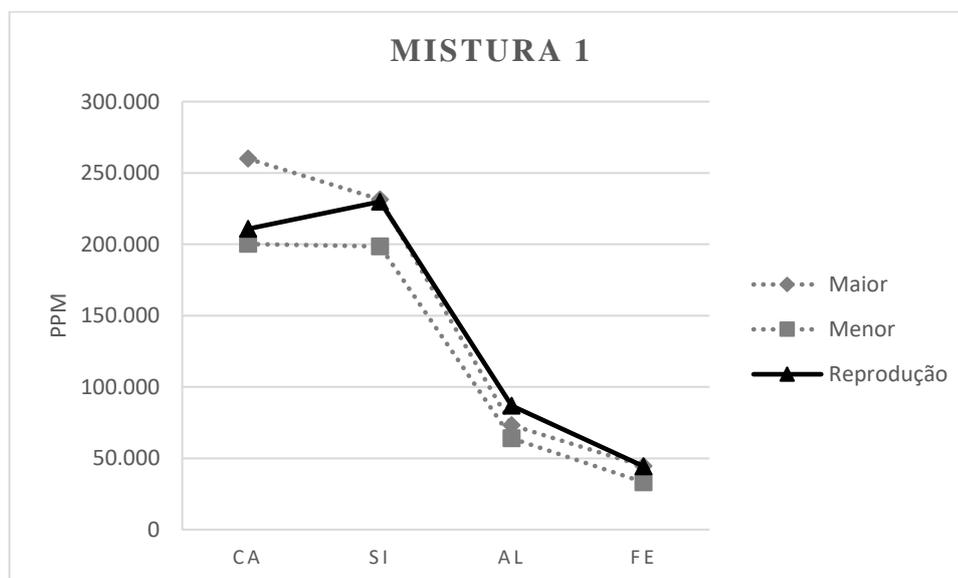
Os seis gráficos apresentados (12, 13, 14, 15, 16 e 17) e Tabelas (22, 23, 24, 25, 26 e 27) atestam que os percentuais dos principais elementos químicos (Ca, Si, Fe e Al) presentes nas reproduções, encontram-se dentro ou muito próximos dos percentuais máximos ou mínimos encontrados nos fragmentos históricos.

Tabela 22 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 1, amostras do final do século XVII, Capela Nossa Senhora do Pilar, com os obtidos nas reproduções

Elementos	Ca (ppm) 3 pontos	Si (ppm) 3 pontos	Al (ppm) 3 pontos	Fe (ppm) 3 pontos
Maior % (histórico)	259.971	231.448	73.054	44.486
Menor % (histórico)	200.180	198.556	63.935	33.132
Reprodução	210.738	229.880	86.915	44.326

Fonte: O autor (2022).

Gráfico 12 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 1, amostras do final do século XVII, Capela Nossa Senhora do Pilar, com os obtidos nas reproduções.



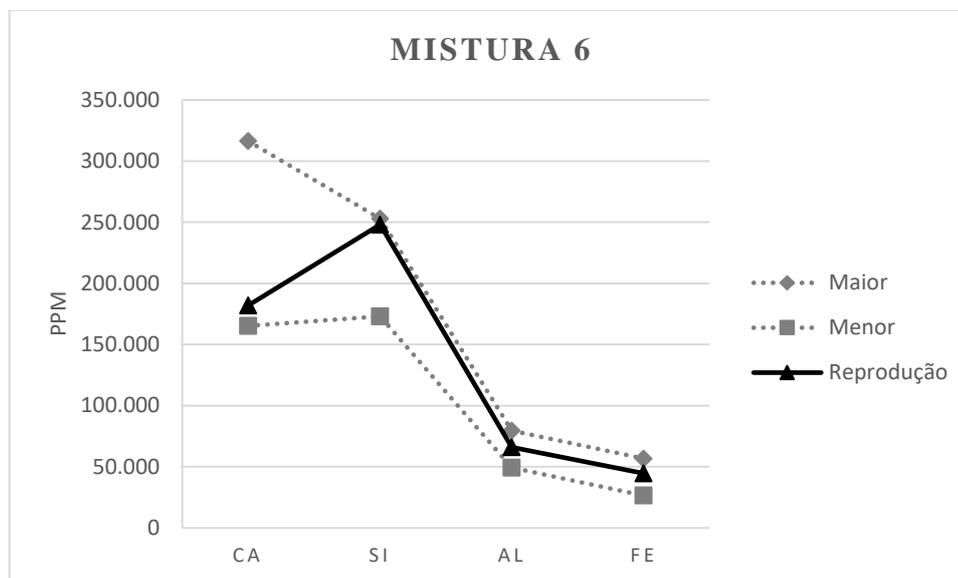
Fonte: O autor (2022).

Tabela 23 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 6, amostras do final do século XVII, Capela Nossa Senhora do Pilar, com os obtidos nas reproduções.

Elementos	Ca (ppm) 3 pontos	Si (ppm) 3 pontos	Al (ppm) 3 pontos	Fe (ppm) 3 pontos
Maior % (histórico)	316.354	252.875	79.691	56.750
Menor % (histórico)	165.154	173.057	49.385	26.526
Reprodução	182.078	248.091	66.098	44.640

Fonte: O autor (2022).

Gráfico 13 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 6, amostras do final do século XVII, Capela Nossa Senhora do Pilar, com os obtidos nas reproduções



Fonte: O autor (2022).

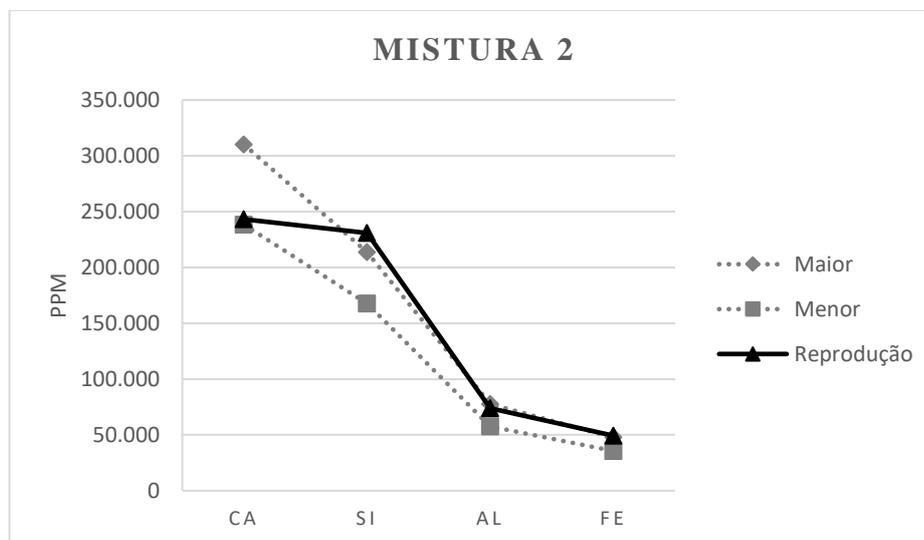
Nos fragmentos originais ainda foram identificados em menores quantidades, outros elementos químicos como o titânio (Ti), o chumbo (Pb), o estrôncio (Sr), o manganês (Mn), o zircônio (Zr), o rubídio (Rb) e o zinco (Zn). Nas reproduções, pequenos percentuais de potássio (K) foram também encontrados, sendo estes, muito provavelmente provenientes do feldspato utilizado como fundente para as reproduções.

Tabela 24 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 2, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.

Elementos	Ca (ppm) 3 pontos	Si (ppm) 3 pontos	Al (ppm) 3 pontos	Fe (ppm) 3 pontos
Maior % (histórico)	310.085	213.608	77.703	47.703
Menor % (histórico)	238.355	167.615	57.476	35.581
Reprodução	243.189	230.884	73.905	49.248

Fonte: O autor (2022).

Gráfico 14 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 2, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.



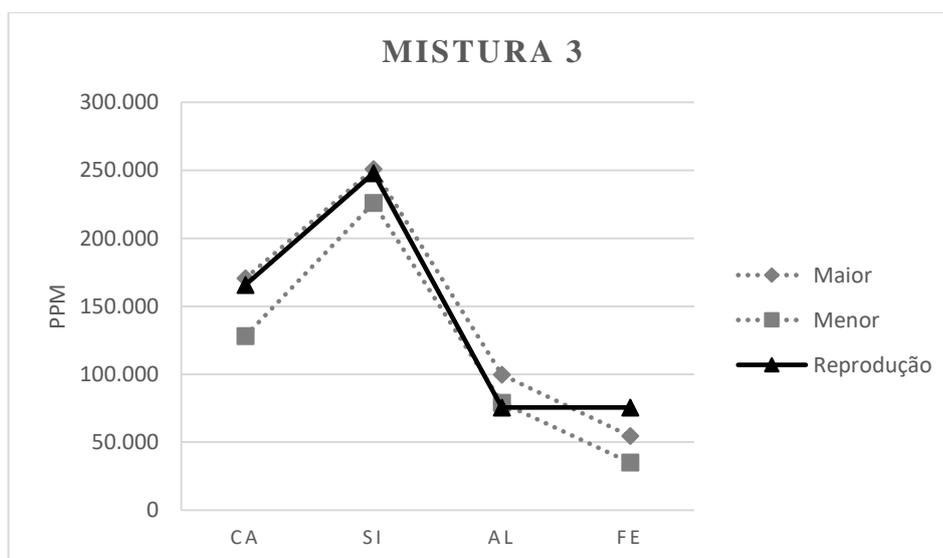
Fonte: O autor (2022).

Tabela 25 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 3, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.

Elementos	Ca (ppm) 3 pontos	Si (ppm) 3 pontos	Al (ppm) 3 pontos	Fe (ppm) 3 pontos
Maior % (histórico)	170.621	250.811	99.566	54.458
Menor % (histórico)	128.165	225.993	78.961	34.998
Reprodução	165.684	247.917	75.548	75.548

Fonte: O autor (2022).

Gráfico 15 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 3, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.



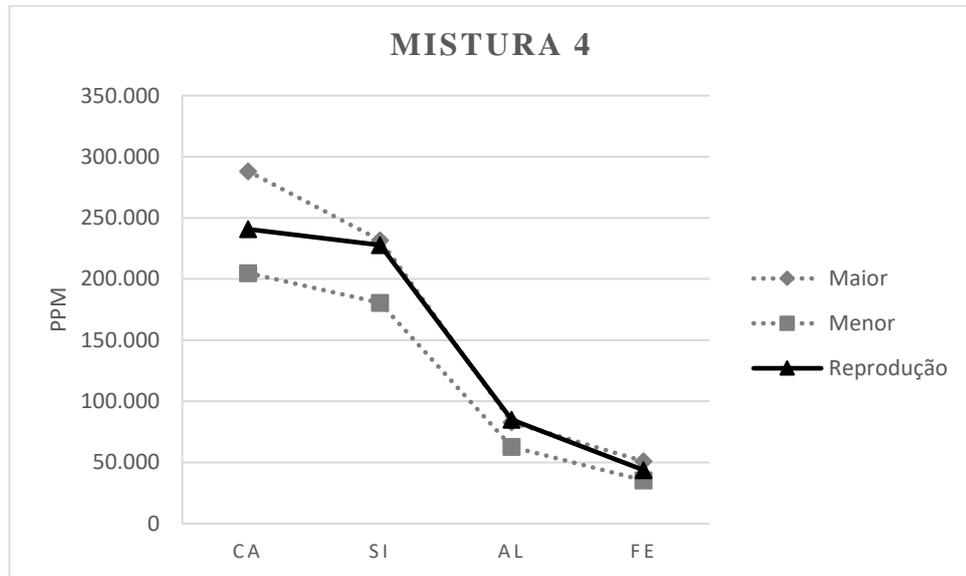
Fonte: O autor (2022).

Tabela 26 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 4, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.

Elementos	Ca (ppm) 3 pontos	Si (ppm) 3 pontos	Al (ppm) 3 pontos	Fe (ppm) 3 pontos
Maior % (histórico)	288.168	231.835	82.867	50.946
Menor % (histórico)	204.928	180.455	62.825	35.333
Reprodução	240.731	227.729	84.842	43.688

Fonte: O autor (2022).

Gráfico 16 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 4, do século XVIII, (1ª metade), Convento de Santo Antônio, com os obtidos nas reproduções.



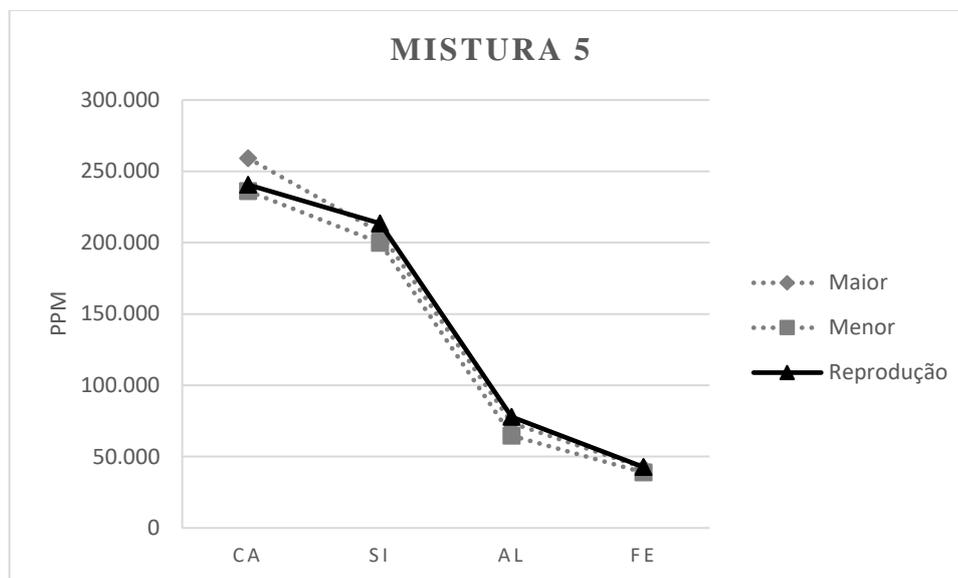
Fonte: O autor (2022).

Tabela 27 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 5, Século XVIII, (2ª metade), Igreja Santa Tereza, em Olinda, com os obtidos nas reproduções.

Elementos	Ca (ppm) 3 pontos	Si (ppm) 3 pontos	Al (ppm) 3 pontos	Fe (ppm) 3 pontos
Maior % (histórico)	259.218	207.120	73.553	42.100
Menor % (histórico)	236.148	199.769	64.646	38.854
Reprodução	240.580	213.471	77.770	42.637

Fonte: O autor (2022).

Gráfico 17 - Comparativo dos elementos químicos da mistura 5, Século XVIII, (2ª metade), Igreja Santa Tereza, em Olinda, com os obtidos nas reproduções.



Fonte: O autor (2022).

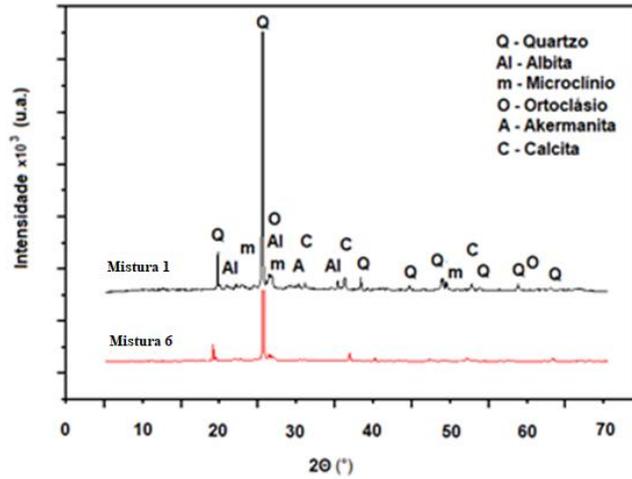
Após os ensaios de FRX, procedeu-se a execução do DRX das reproduções, para comparar os difratogramas das reproduções com os difratogramas originais das peças históricas e, assim confirmar a presença dos minerais.

A amostra histórica Azupi 0651 é a única em que não se identificou a presença de Calcita, por meio do DRX, entretanto como a FRX identificou presença de Cálcio (Ca), acrescentou-se a calcita nas peças reproduzidas para que se pudesse comparar os percentuais dos elementos químicos estabelecidos na FRX.

A caracterização mineralógica identificou que todas as amostras históricas e as reproduções apresentaram picos característicos dos minerais de quartzo (Q), feldspato (F) e da akermanita (A). As Figuras 100, 101 e 102 apresentam os difratogramas das misturas elaboradas, destacando a semelhança com as amostras históricas.

Para facilitar a análise das comparações entre as reproduções e as peças históricas, elaborou-se uma síntese dos principais minerais existentes em ambas as peças (reprodução e histórico). As tabelas 28, 29 e 30 apresentam os resultados separados por igrejas de onde foram extraídos os fragmentos.

Figura 102 - Difratoograma da reprodução (misturas 1 e 6, século XVII, Igreja Nossa Senhora do Pilar, em Recife).



Fonte: O autor (2022).

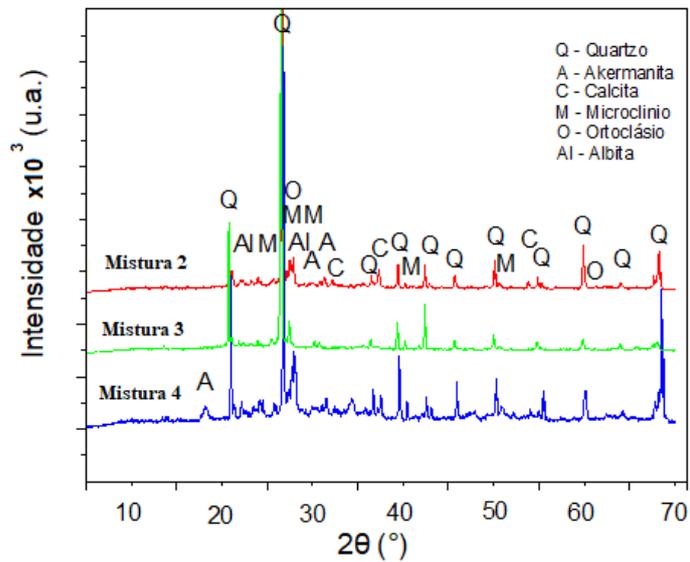
Tabela 28 - Resumo comparativo entre os minerais dos fragmentos históricos, Azupi 0651, Azupi 2260, e das reproduções, a partir dos dados dos difratogramas das Figura 33 e Figura 102.

Amostras	Quartzos	Feldspatos		Silicato (termômetro)	Óxidos			Granadas	Carbonato		Piroxênio e anfibólios		
	Qt	Al	Mi	Ak	Ru	He	Ma	Ad	Sc	Ca	Or	Di	Wo
Azupi 0651	•		•	•				•	•		•		
Azupi 2260	•		•	•				•		•			
Reprodução da mistura 1	•	•	•	•						•	•		
Reprodução da mistura 6	•	•	•	•						•	•		

Qt: Quartzo – SiO₂; **Al:** Albita - NaAlSi₃O₈; **Mi:** Microclínio – K(AlSi₃O₈); **Ak:** Akermanita – Ca₂Mg[Si₂O₇]; **Ru:** Rutílo – TiO₂; **He:** Hematita – Fe₂O₃; **Ma:** Magnetita - Fe₃O₄ (FeO. Fe₂O₃); **Ad:** Andradita - Ca₃Fe₂Si₃O₁₂; **Sc:** Scawtita - Ca₇(Si₅O₉)₂CO₃ 2H₂O; **Ca:** Calcita – CaCO₃; **Or:** Ortoclásio - K(AlSi₃O₈); **Di:** Diopsídio - Ca(Mg,Fe)(SiO₃)₂; **Wo:** Wollastonita – CaSiO₃.

Fonte: O autor (2022).

Figura 103 - Difratoograma da reprodução (misturas 2, 3 e 4, século XVIII – 1ª metade, Convento de Santo Antônio em Igarassu).



Fonte: O autor (2022).

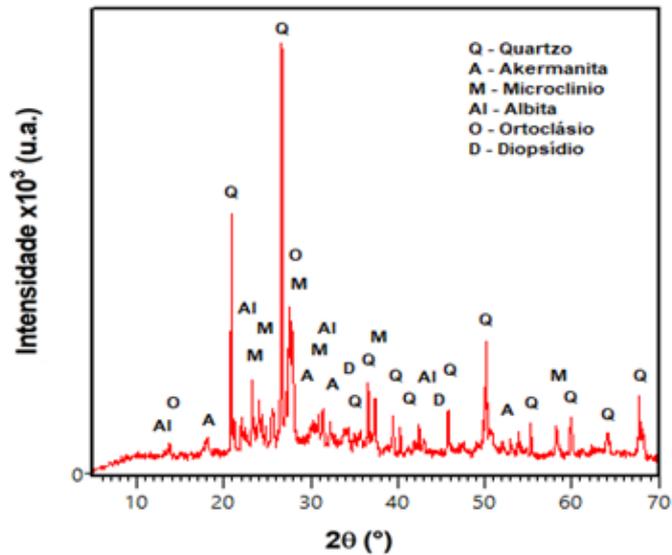
Tabela 29 - Resumo comparativo entre os minerais dos fragmentos históricos, azumo 10, azumo 18, azumo 24 e das reproduções 2, 3 e 4, a partir dos dados dos difratogramas das Figura 34 e Figura 103.

Amostras	Quartzos	Feldspatos		Silicato (termômetro)	Óxidos			Granadas	Carbonato		Piroxênio e anfibólios		
	Qt	Al	Mi	Ak	Ru	He	Ma	Ad	Sc	Ca	Or	Di	Wo
Azumo 10	•		•	•		•				•	•		
Azumo 18	•	•	•	•		•	•			•	•		
Azumo 24	•		•	•		•				•	•		
Reprodução da mistura 2	•	•	•	•						•			
Reprodução da mistura 3	•	•	•	•						•			
Reprodução da mistura 4	•	•	•	•						•			

Qt: Quartzo – SiO₂; **Al:** Albita - NaAlSi₃O₈; **Mi:** Microclínio – K(AlSi₃O₈); **Ak:** Akermanita – Ca₂Mg[Si₂O₇]; **Ru:** Rutilo – TiO₂; **He:** Hematita – Fe₂O₃; **Ma:** Magnetita - Fe₃O₄ (FeO. Fe₂O₃); **Ad:** Andradita - Ca₃Fe₂Si₃O₁₂; **Sc:** Scawtita - Ca₇(Si₅O₉)₂CO₃ 2H₂O; **Ca:** Calcita – CaCO₃; **Or:** Ortoclásio - K(AlSi₃O₈); **Di:** Diopsídio - Ca(Mg,Fe)(SiO₃)₂; **Wo:** Wollastonita – CaSiO₃.

Fonte: O autor (2022).

Figura 104 - Difratoograma da reprodução (mistura 5, século XVIII – 2ª metade, Igreja de Santa Tereza em Olinda).



Fonte: O autor (2022).

Tabela 30 - Resumo comparativo entre os minerais do fragmento histórico, azust 2 e da reprodução 5, a partir dos dados dos difratogramas das Figura 35 e Figura 104.

Amostras	Quartzos	Feldspatos		Silicato (termômetro)	Óxidos			Granadas	Carbonato		Piroxênio e anfibólios		
	Qt	Al	Mi	Ak	Ru	He	Ma	Ad	Sc	Ca	Or	Di	Wo
Azust 2	•		•	•	•	•	•		•	•		•	•
Reprodução da mistura 5	•	•	•	•						•	•	•	

Qt: Quartzo – SiO₂; Al: Albita - NaAlSi₃O₈; Mi: Microclínio – K(AlSi₃O₈); Ak: Akermanita – Ca₂Mg[Si₂O₇]; Ru: Rutilo – TiO₂; He: Hematita – Fe₂O₃; Ma: Magnetita - Fe₃O₄ (FeO. Fe₂O₃); Ad: Andradita - Ca₃Fe₂Si₃O₁₂; Sc: Scawtita - Ca₇(Si₃O₉)₂CO₃ 2H₂O; Ca: Calcita – CaCO₃; Or: Ortoclásio - K(AlSi₃O₈); Di: Diopsídio - Ca(Mg,Fe)(SiO₃)₂; Wo: Wollastonita – CaSiO₃.

Fonte: O autor (2022).

5.2 ENSAIOS DAS REPRODUÇÕES

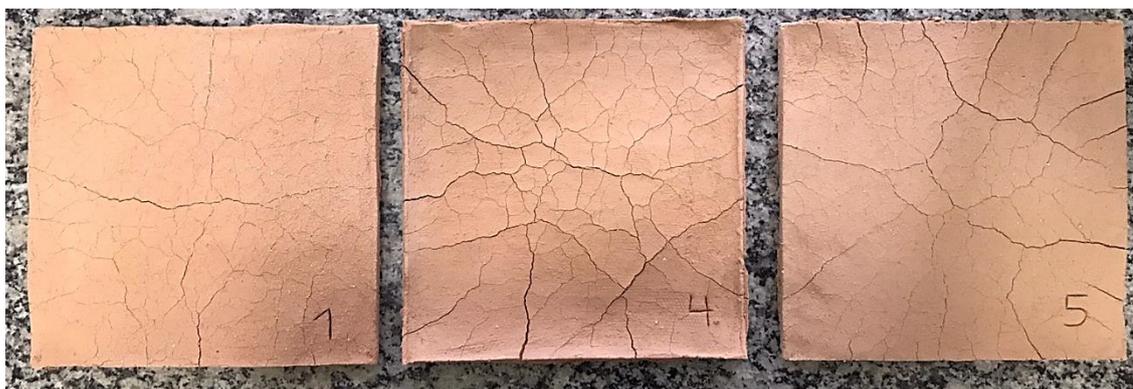
5.2.1 Resistência à Flexão

Os ensaios de flexão visam a determinação da carga de ruptura (S), em Newtons, e o módulo de ruptura à flexão (R), em Newtons por milímetro quadrado. Segundo a NBR 13006 (ABNT, 2020), para as placas cerâmicas atualmente aceitas, os valores da carga de ruptura (S) não devem ser inferiores a 600 N, enquanto o valor individual, minimamente aceito das peças, não deve ser inferior a 7 N/mm².

Para as reproduções os valores médios das cargas de ruptura (S) encontrados foram de 153,59 N, para a mistura 2; 361,78 N para a mistura 3 e 116,55 N para a mistura 6. E os valores médios dos módulos de ruptura (R) foram 1,36 N/mm² para a mistura 2; 3,69 N/mm² para a mistura 3 e 1,33 N/mm² para a mistura 6, conforme resumido na Tabela 31. Os valores completos de todas as rupturas dos corpos de prova de cada mistura (2, 3 e 6) poderão ser consultados na íntegra, no Apêndice A deste texto.

As peças referentes às misturas 1, 4 e 5 apresentaram grande fragilidade e fissurações excessivas durante a fase de cozimento o que impossibilitou a realização dos testes de flexão. Além disso, grande parte das peças moldadas se quebravam ao simples toque (ver Figura 105). Em função dos problemas encontrados, considera-se os módulos de ruptura (R) das misturas 1, 4 e 5 nulos.

Figura 105 - Placas das Misturas 1, 4 e 5 após o cozimento.



Fonte: O autor (2022).

Uma vez que a produção das peças foi executada manualmente, buscou-se trazer um tratamento estatístico dos resultados apresentados nos testes de flexão. Assim o desvio padrão foi calculado para as análises das cargas de ruptura e dos módulos de ruptura, onde o menor desvio padrão obtido foi na mistura 6 (37% e 30%) e o maior foi obtido na mistura 2 (64% e 58%), indicando um grau de variação relativamente alto, condizente com um processo manual de fabricação.

Tabela 31 - Valores médios de Carga de Ruptura (S) e Módulo de Ruptura (R) das Reproduções

Reproduções	S média (N)	σ (%)	R médio (N/mm ²)	σ (%)
Mistura 2	153,59	64	1,36	58
Mistura 3	361,78	45	3,69	55
Mistura 6	116,55	37	1,33	30

Fonte: O autor (2022).

Diante do exposto, entende-se que as chacotas das misturas reproduzidas apresentam baixa carga de ruptura e baixo módulo de ruptura, quando comparado às exigências das normas vigentes. Apesar desta norma não ser direcionada para avaliação de peças cerâmicas históricas, utilizou-se a mesma para que sirva de uma referência, uma vez que não existem normas no Brasil de caracterização das resistências de peças de azulejarias históricas.

Quando analisadas individualmente, as misturas 2 e 3, foram perfis tecnológicos extraídos da mesma igreja (Igreja e Convento de Santo Antônio, primeira metade do século XVIII), entretanto os resultados da carga de ruptura (S) e do módulo de ruptura das peças (R), se comportam de maneira diferente, sendo a mistura 3 mais resistente aos esforços de flexão, quando comparada aos resultados da mistura 2.

A mistura 6, cujo perfil tecnológico foi originado da Igreja de Nossa Senhora do Pilar da segunda metade do século XVII, em Recife, apresentou os menores valores das médias analisadas, tanto de carga de ruptura (S), quanto de módulo de ruptura (R). Sendo esta mistura, a mais frágil em relação às demais misturas analisadas.

5.2.2 Teores de Absorção e Porosidade Aparente

O teor de absorção do corpo cerâmico tem relação direta com sua porosidade. Quanto mais porosa for a chacota, maior sua capacidade de penetração dos vapores e líquidos (JONES; BERARD, 1985). E esta condição possibilita a formação de mecanismos que conduzem a degradação do azulejo, tais como a expansão por umidade, processos de lixiviação, entre outros discutidos anteriormente no capítulo 2.

A porosidade das chacotas portuguesas tem relação com as fissuras por retração das pastas cerâmicas, mas pode estar ligada à adoção de matérias primas muito orgânicas ou ao processo de produção rudimentar com pouco controle tecnológico. O estudo de Costa, Sanjad e Paiva (2013) identificou que as composições de silício, cálcio e magnésio nas cerâmicas portuguesas estudadas indicaram a utilização de argilas ricas em carbonatos, ou mesmo a adição de materiais carbonáticos à pasta cerâmica. Tais materiais durante o processo de queima, podem ser responsáveis pela formação de poros ou vazios na placa cerâmica, uma vez que durante a queima ocorre a liberação do CO₂.

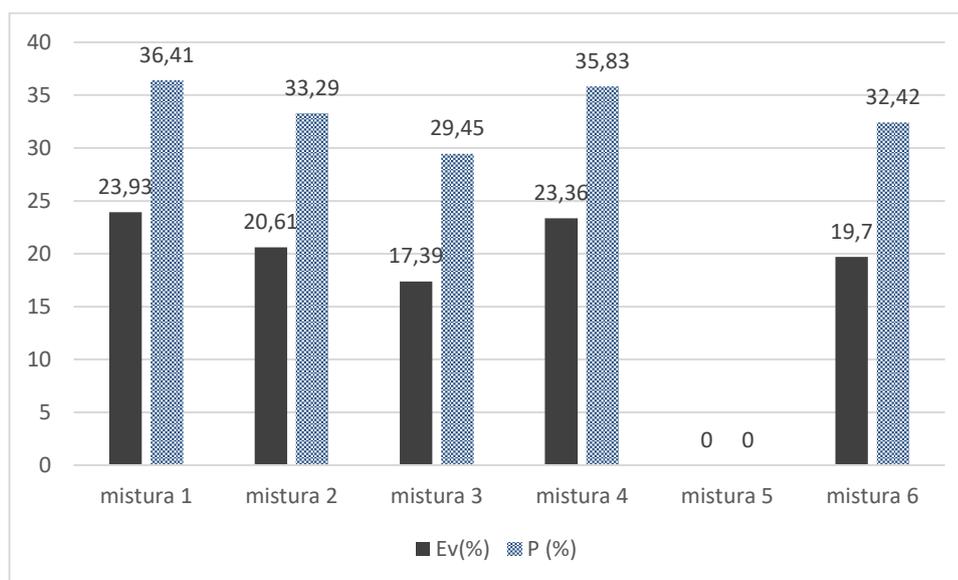
Os testes de absorção das reproduções foram realizados buscando identificar os valores médios das porosidades aparentes e os teores de absorção das misturas 1, 2, 3, 4 e 6. Os testes de absorção da mistura 5 não foram possíveis de serem realizados pois as peças se fragmentaram

durante seu processo de cozimento. As pesagens foram realizadas com uma balança hidrostática de precisão e as tabelas com os valores dos pesos de cada corpo de prova em cada mistura estão apresentados no Apêndice B.

Interpretando o Gráfico 18, observa-se uma relação de crescimento entre os teores médios de absorção (%Ev) e porosidade (%P), na qual quanto maior a porosidade das peças, maior será seu teor de absorção.

A média dos teores de absorção das misturas 1, 2, 3, 4 e 6 são 23,93%, 20,61%, 17,39%, 23,36% e 19,70%, respectivamente. A média dos valores de porosidade aparente são 36,41% para a mistura 1, 33,29% para a mistura 2, 29,45% para mistura 3, 35,83% para mistura 4 e 32,42% para a mistura 6. A seguir apresenta-se o Gráfico 18 com o resultado obtido das cinco misturas (1,2,3, 4 e 6) analisadas.

Gráfico 18 - Teores de Absorção (Ev) e Porosidade Aparente (P) das Misturas



Fonte: O autor (2022).

De acordo com a classificação proposta pela NBR 13006 (ABNT, 2020), estabelece-se que os revestimentos cerâmicos com teores de absorção acima de 10% são considerados revestimentos pertencentes ao grupo III, que compõem os revestimentos porosos e com alto teor de absorção.

Dentre as peças cerâmicas aqui estudadas, todas as misturas foram classificadas com alta absorção e porosidade, sendo a mistura 3 àquela que apresentou menor valor de teor de absorção (17,39%) e, conseqüentemente, menor porosidade aparente (29,45%). As misturas 2 e 6

apresentam valores de absorção e porosidade aparente próximos, assim como as misturas 1 e 4 também, sendo estas as misturas com maior média de absorção e porosidade aparente.

As misturas 2, 3 e 4, apesar de serem compostas a partir de fragmentos azulejares pertencentes à mesma igreja e fase histórica, apresentam comportamentos diferentes em termos de teores de absorção. A mistura 2 apresenta um média de 20,61% enquanto a mistura 3 apresenta 17,39% e a mistura 4, 23,36%.

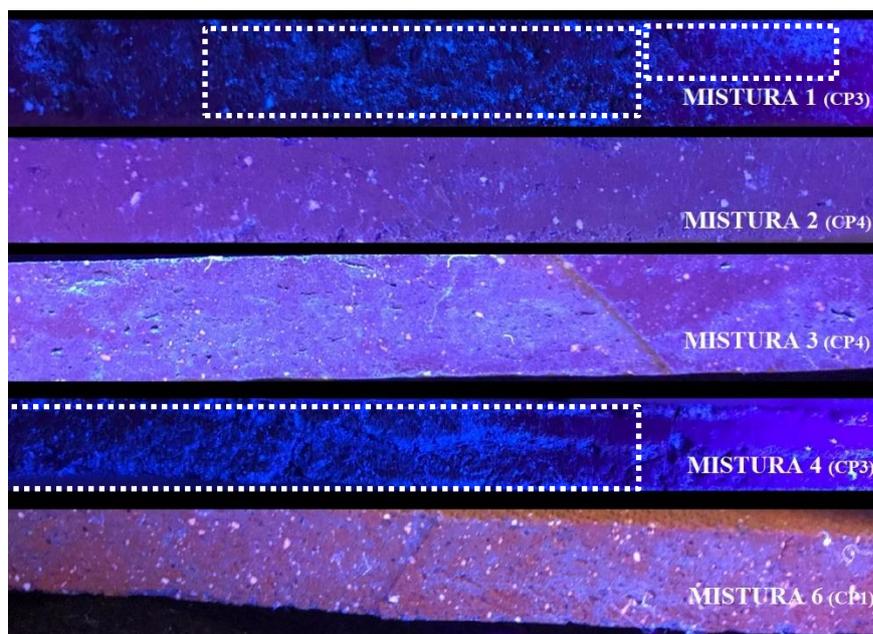
O mesmo acontece com as misturas 1 e 6 que são originadas dos fragmentos azulejares pertencentes ao Convento e Igreja de São Francisco. A mistura 1 apresenta 23,93% de teor médio de absorção, enquanto a mistura 6 apresenta 19,70%.

Os teores de absorção aqui dispostos são condizentes com os valores de absorção dos azulejos portugueses apresentados por Sanjad *et al.* (2004), Vaz, Pires e Carvalho (2008), Prudêncio *et al.* (2012), Costa, Sanjad e Paiva (2013), Gasparetto e Sanjad (2018), entre outros. Nestes estudos encontram-se chacotas com porosidades aparentes que variaram de 9,32% a 42,30%, sendo estes valores muitas vezes justificados pela ausência de um controle tecnológico no processo de fabricação das peças.

A fim de melhor visualizar os poros das reproduções, impregnou-se as placas de cada uma das misturas com água e corante fluorescente e em seguida cortou-se longitudinalmente as placas submetendo-as à luz negra. Para cada mistura foi selecionado o corpo de prova com maior porosidade aparente, sendo escolhido para a mistura 2 e 3 o corpo de prova número 4 (com porosidade aparente 34,08% para a mistura 2 e 30,21% para a mistura 3), para a mistura 6, o corpo de prova 1 (porosidade aparente igual a 32,97%) e para as misturas 1 e 4, o corpo de prova 3 com porosidades aparentes de 25,79% e 23,80%, respectivamente.

A Figura 106 apresenta os perfis de cada uma das misturas, onde os pontos mais claros correspondem aos poros dos perfis que foram impregnados com o corante fluorescente. Percebe-se que o perfil das misturas 1 e 4 apresentam uma maior quantidade de corante impregnado, indicando visualmente uma maior porosidade aparente.

Figura 106 - Perfis das misturas submetidos a impregnação de corante fluorescente e a luz negra.



Fonte: O autor (2022).

5.2.3 Resistência aos Ataques Químicos

Os ensaios de resistência aos ataques químicos das misturas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 mostraram que os reagentes químicos utilizados provocaram manchas, fissuração e, em alguns casos, perdas da seção do corpo de prova.

Todas as misturas estudadas, ou foram reprovadas no teste do risco com lápis HB, ou apresentaram embaçamento das faces, no teste de reflexão, resultados estes condizentes com placas cerâmicas porosas e sem camada de vidrado. Assim, segundo a NBR 10.545-13 (ABNT, 2020), as peças cerâmicas analisadas poderiam ser classificadas como cerâmicas de classe C, classificação geralmente atribuída para placas cerâmicas pouco resistentes, com dificuldade de limpeza e facilidade de apresentar manchamentos.

Na ausência de uma normativa padrão para classificação de chacoas históricas, a NBR 10.545-13 (ABNT, 2020) entra como um elemento de comparação entre o material histórico e os novos materiais cerâmicos, para que se possa comprovar que estas peças apresentam características específicas e que alguns cuidados na adoção de reagentes químicos devem ser adotados para assegurar sua preservação e evitar o desenvolvimento de manifestações patológicas.

Todos os ensaios com reagentes químicos seguiram as especificações da NBR 10.545-13 (ABNT, 2020), que indica que após a submersão das placas, durante o tempo solicitado, nas

soluções químicas adotadas, as placas devem ser lavadas em água corrente, durante um período mínimo de 10 minutos e, em seguida, devem ser encaminhadas para a estufa (105 °C). Somente após este procedimento é que foi realizada a avaliação visual das peças e os testes do lápis (HB) e de reflexão.

As avaliações visuais das chacotas também utilizaram iluminação artificial distante, aproximadamente 35 centímetros da bancada de trabalho. A luminária utilizada era direcionável e tinha uma lâmpada com 1500 Lúmens, conforme indicado pela NBR 15.545-13 (ABNT, 2020).

A seguir apresenta-se as observações de cada reagente relacionado à mistura. O Apêndice C desta tese apresenta o relatório fotográfico detalhando separadamente as misturas e os resultados dos reagentes utilizados nos ensaios de ataques químicos.

5.2.3.1 Ácido Hidroclorídrico (HCl na concentração de 18%):

O ácido hidroclorídrico é um reagente bastante utilizado, em menores concentrações, na fabricação de produtos de limpeza, como o ácido muriático ou outros produtos de limpeza pesada. A NBR 10545-13 (ABNT, 2020), especifica que para testagem da resistência ao ataque por HCl, as placas devem ser expostas ao reagente durante 96 ± 1 hora.

Após a submersão em um bécker de 250 mL, com 60 mL de ácido hidroclorídrico, pode-se constatar que dentre todas as soluções utilizadas, este reagente foi o mais danoso às peças. As regiões dos corpos de prova que receberam o ácido foram deterioradas, mas também as regiões dos corpos de prova que não receberam diretamente a solução do ácido, foram atacadas pelos gases produzidos pela reação.

Os mecanismos de absorção capilar ainda auxiliaram na degradação das peças, de forma que algumas peças das misturas 1,2 e 6 sofreram fissuras e perdas de material, além de apresentarem degradações nas áreas não expostas diretamente às soluções, conforme apresentado nas figuras 107, 108 e 109. As peças das misturas 4 e 5 se desfizeram quando submetidas ao ácido hidroclorídrico e as peças da mistura 3 foram as que apresentaram menor desgaste pela ação da solução.

O teste dos riscos do lápis HB, indicou possibilidade de remoção na parte não atacada pelos ácidos, porém na região que ficou diretamente em contato com a solução, as marcas de lápis não puderam ser totalmente removidas.

Os testes de reflexão indicaram embaçamento e nenhuma reflexão, resultado este condizente com superfícies não esmaltadas.

Figura 107 - Mistura 2 |Ataque HCl.

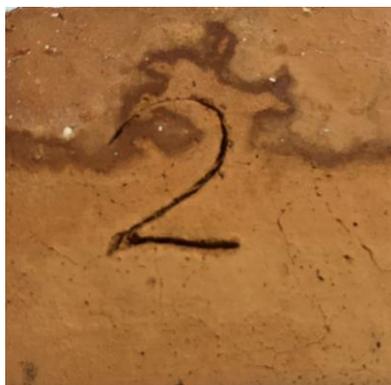


Figura 108 - Mistura 3 |Ataque HCl.



Figura 109 - Mistura 6 |Ataque HCl.



Fonte: O autor (2022).

Apesar de sua ação deteriorante, cabe ressaltar que o ácido hidrocloreto pode ser utilizado nos serviços de restauro, especialmente para remoção das argamassas de assentamento, no tardo dos azulejos. Entretanto esta condição não deve ser evitada, uma vez que as concentrações utilizadas para este fim, são muitas vezes, inferiores àquela utilizada neste ensaio de ataque químico e, ainda, vale considerar que nos serviços de restauro as placas cerâmicas não são mergulhadas em soluções de ácido hidrocloreto, sendo esta condição característica aos testes aqui descritos.

5.2.3.2 Hidróxido de Potássio (KOH em 100 g/L):

O hidróxido de potássio é um composto alcalino muito forte e com características corrosivas. É comumente conhecido como potassa cáustica, sendo bastante utilizado na fabricação da maioria dos sabões líquidos e moles. A NBR 10545-13 (ABNT, 2020), especifica que para testagem da resistência ao ataque por KOH, as placas devem ser expostas à solução durante 96 ± 1 hora.

Após a submersão em um bécker de 250 mL, com 60 mL da solução, pode-se constatar um manchamento excessivo das superfícies que entraram em contato com a solução. Não houve perda de seção considerável, entretanto para as peças da mistura 6, observou-se uma leve perda de seção nas partes laterais dos corpos de prova (ver Figuras 110, 111 e 112).

Para as misturas 1, 4 e 5 a ação do hidróxido de potássio foi muito semelhante as condições da mistura 6, houve perda de material e manchamento.

Figura 110 - Mistura 2 |Ataque KOH.



Figura 111 - Mistura 3 |Ataque KOH.



Figura 112 - Mistura 6 |Ataque KOH..



Fonte: O autor (2022).

As manchas produzidas pelo teste do lápis foram removidas em ambas as partes (região em contato com a solução e região sem contato com a solução), mas os testes de reflexão indicaram pouca ou nenhuma reflexão das peças.

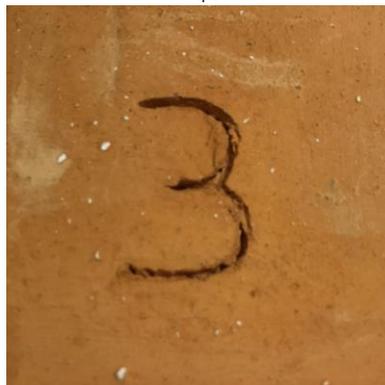
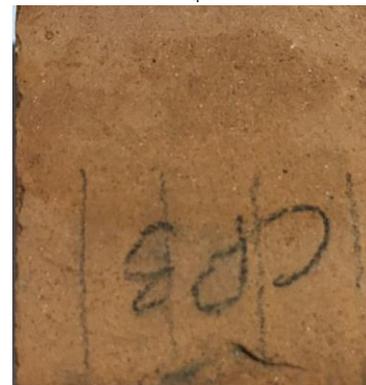
5.2.3.3 Cloreto de Amônio (NH_4Cl a 100 g/L):

O cloreto de amônio ou sal amoníaco é um composto químico que produz soluções levemente ácidas. Tem grande variedade de aplicações, sendo utilizado como fundente em processo de soldas, para endurecer a neve ou retardar seu derretimento, na produção de xampu para cabelos ou mesmo, no fabrico de produtos de limpeza doméstica.

Para testes de resistência a ataques químicos, a NBR 10545-13 (ABNT, 2020), especifica que as placas devem ser expostas durante um período de 24 ± 1 hora.

Após a submersão em um bécker de 250 mL, com 60 mL da solução, pode-se constatar que não houve formação de manchas nas placas pela ação do produto, entretanto as marcas de lápis não foram removidas, nem na parte em contato com o NH_4Cl , nem na parte livre do contato com a solução.

A mistura 3 não apresentou alterações visuais significativas, mas os corpos de prova da mistura 2 apresentaram microfissuras e perdas de seção nas laterais das peças, enquanto um corpo de prova da mistura 6 apresentou uma leve perda de seção, conforme apresentado nas figuras 113, 114 e 115.

Figura 113 - Mistura 2 |Ataque NH_4Cl .Figura 114 - Mistura 3 |Ataque NH_4Cl .Figura 115 - Mistura 6 |Ataque NH_4Cl .

Fonte: O autor (2022).

Apesar da presença de microfissuras nas peças das misturas 1, 4 e 5 a ação do NH_4Cl foi parecida com as demais misturas estudadas. Houve perdas de seção das amostras e manchamentos que impossibilitaram a remoção do grafite em todas as peças estudadas.

5.2.3.4 Hipoclorito de Sódio (NaClO a 20mg/L):

O hipoclorito de sódio é conhecido popularmente com o nome comercial de água sanitária ou mesmo como lixívia, sendo indicado para limpeza e desinfecção profunda de superfícies, para higienizar verduras e frutas ou mesmo para purificação da água.

Para testes de resistência a ataques químicos, a NBR 10545-13 (ABNT, 2020), sugere que o NaClO seja aplicado sobre peças cerâmicas durante 24 ± 1 hora, na concentração de 20 mg/L.

Após o contato das peças verificou-se pouco manchamento das superfícies, entretanto dois corpos de prova da mistura 2 fissuraram. O risco com lápis HB indicou resultados diferentes: nas misturas 2 e 3, apesar de permanecerem as manchas do lápis, os riscos foram parcialmente removidos na parte atacada pelo reagente, mas na mistura 6 a mancha do risco de grafite não foi removida, conforme indicado nas figuras 116, 117 e 118.

Nas misturas 1, 4 e 5 as manchas de grafites não foram removidas, assim como houve perdas de material durante o processo de imersão das peças no reagente. As fissuras existentes nas peças da mistura 1 e 4 evoluíram, assim como parte das amostras da mistura 5 também se fragmentaram apresentando pouca resistência ao reagente.

Figura 116 - Mistura 2 |Ataque NaClO.



Figura 117 - Mistura 3 |Ataque NaClO.



Figura 118 - Mistura 6 |Ataque NaClO.



Fonte: O autor (2022).

5.2.3.5 Cloreto de Sódio (NaCl a 30g/L):

O cloreto de sódio é um sal muito utilizado em culinária, mas também presente na água do mar ou em soluções salinas. Sua aplicação aqui como reagente, considerou uma solução com grande concentração de NaCl, deixando os corpos de prova imersos durante um período de 168 ± 1 hora (7 dias), conforme orientado por Menezes *et al.* (2006).

Todas as misturas analisadas foram reprovadas nos testes do risco a lápis e na reflexão das peças, mantendo a classificação das peças na classe C. Muitas manchas de grafite não foram totalmente removidas, indicando uma peça de difícil limpeza.

Na formação de eflorescências, as misturas 2 e 3 apresentaram manchas brancas, especialmente nas regiões não submersas na solução salina, provavelmente em função de movimentações por capilaridade. As peças da mistura 2 apresentaram fissuração após o contato com a solução de NaCl, indicando certa fragilidade.

Os corpos de prova da mistura 6 também apresentaram microfissuras e manchas esbranquiçadas, condizentes com o efeito da imersão em uma solução salina.

Nas misturas 1, 4 e 5 a formação das microfissuras colaboraram para os movimentos capilares da solução de cloreto de sódio, de forma que as manchas provenientes da solução ficaram muito mais evidentes (Ver Figuras 119, 120 e 121).

Figura 119 - Mistura 2 |Ataque NaCl.



Figura 120 - Mistura 3 |Ataque NaCl.



Figura 121 - Mistura 4 |Ataque NaCl.



Fonte: O autor (2022).

5.3 DESENVOLVIMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS NAS REPRODUÇÕES

Os problemas patológicos em revestimentos cerâmicos são resultantes de uma combinação de fatores. Segundo Rhod (2011) as fissurações e descolamentos dos revestimentos cerâmicos, por exemplo, podem ser causados por fissuras ocorridas na interface do revestimento com a estrutura, falta de reforço no substrato, falta de controle, preenchimento inadequado das juntas de assentamento ou falta de argamassa de assentamento no verso das placas, não observância aos limites de tempo em aberto da argamassa, entre outros.

Campante e Sabbatini (2001) afirmam que a maioria das ocorrências de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos também pode ser atribuída à falta de compreensão das interfaces entre seus diversos componentes. No caso dos revestimentos de azulejos históricos, a base de assentamento reserva particularidades uma vez que são estruturas excessivamente porosas e com possibilidades de desenvolvimento de anomalias ocasionadas por umidade e mecanismos capilares.

Os estudos de Araújo (2019), destacam ainda a importância da avaliação das bases de assentamento dos revestimentos azulejares históricos, indicando a necessidade de uma avaliação prévia das bases antes de intervir com serviços de manutenção e restauração das peças de azulejos históricos.

Diante do exposto, apresenta-se a sobreposição dos resultados das técnicas de caracterização das misturas estudadas para análises das tendências ao desenvolvimento dos problemas patológicos.

5.3.1 Tendência ao Gretamento, Lascamento, Perda do Vidrado, Deslocamento e Lacunas

A partir das análises sobre os processos de formação das patologias de gretamento, lascamento, perda do vidrado, deslocamento e lacunas, referenciadas no segundo capítulo desta tese pode-se afirmar que estas patologias são originadas por deficiências na fabricação do corpo cerâmico ou por problemas na base de assentamento do azulejo, gerados por movimentações estruturais ou composição excessivamente porosa que possibilita o ingresso de agentes degradantes.

Mais especificamente, as patologias de lascamento e perda do vidrado podem ocorrer: por problemas de aderência entre o vidrado e o corpo cerâmico ou por pouca resistência da chacota deixando-a susceptível a ação de choques mecânicos ou mesmo as movimentações oriundas de processos de dilatação térmica e movimentações da estrutura. Neste caso, a avaliação da fragilidade das chacotas conduz a interpretações sobre a tendência deste material sofrer lascamentos e, conseqüentemente, perda do vidrado.

No deslocamento das peças azulejares e, conseqüentemente na formação de lacunas nos painéis de azulejos portugueses, o teor de umidade presente nas superfícies de assentamento, bem como a capacidade de absorção das chacotas podem ser parâmetros essenciais para a interpretação da tendência ao deslocamento do azulejo, visto que quanto maior for a porosidade do material, mais fácil será o ingresso de água ou outros agentes de degradação (VAZ *et al.* 2008).

O efeito da porosidade influencia no comportamento mecânico e na degradação dos materiais cerâmicos, pois os poros constituem regiões onde a tensão se concentra, e quando a tensão próxima a um poro atinge um valor crítico, forma-se uma trinca que se propaga podendo conduzir a uma situação de fratura (CALLISTER, 2002).

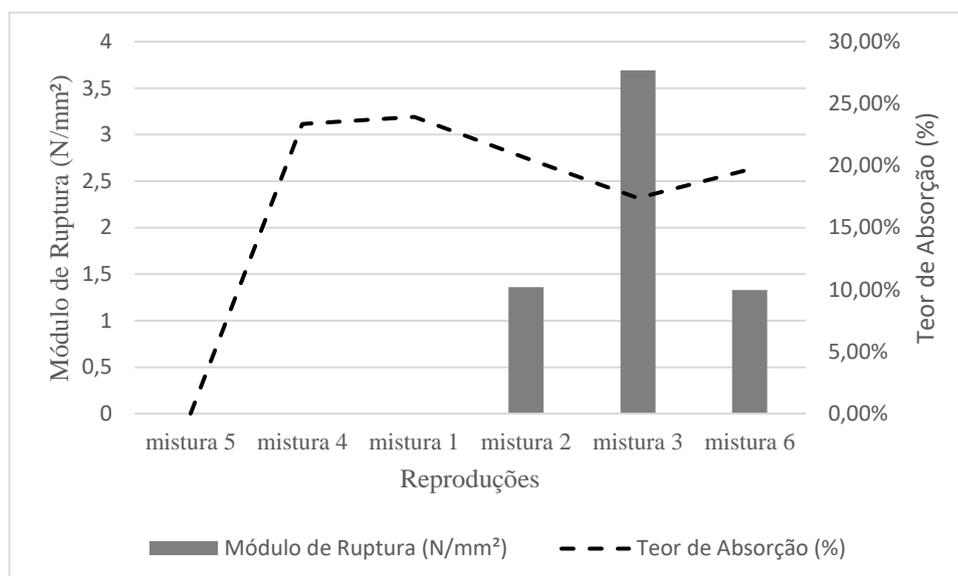
Barbieri (2011) afirma que os poros são ainda prejudiciais para a resistência dos materiais cerâmicos pois reduzem a área da seção transversal, através da qual é aplicada a carga de flexão, fazendo com que haja redução da tensão máxima que o material pode suportar.

A origem do deslocamento das peças azulejares tem ainda relação com as resistências e a extensão de aderência das argamassas de assentamento, entretanto esta condição não é analisada neste trabalho, assim como a influência dos mecanismos de intemperismo, visto que a análise corresponde a azulejos situados em zonas internas e protegidas de agentes climáticos.

Neste sentido, pode-se inferir que as reproduções que obtiverem maior percentual de absorção poderão sofrer uma tendência maior a desenvolverem problemas de deslocamentos, tendo em vista que estarão mais sujeitas a mecanismos de percolação da umidade e demais agentes agressivos.

Assim, com base nos resultados apresentados sobre as misturas reproduzidas apresenta-se o Gráfico 19. Da análise desse gráfico, o qual relaciona as composições das misturas das reproduções aos teores de absorção e aos módulos de rupturas médios das reproduções, verificam-se as tendências de inversão entre os valores dos percentuais de absorção e os módulos de resistência à flexão das peças estudadas, principalmente ao se analisar os resultados das misturas 2, 3 e 6.

Gráfico 19 - Relação entre Módulo de Ruptura e Teores de Absorção das Reproduções.



Fonte: O autor (2022).

A mistura 3 apresenta o maior módulo de resistência à flexão e os menores valores de absorção e porosidade aparente, enquanto as misturas 2 e 6 apresentam percentuais de absorção acima de 19% e porosidades aparentes acima de 30%. Entretanto os módulos de resistência a flexão são menores quando comparados com o valor médio do módulo de ruptura da mistura 3.

As misturas 1, 4 e 5 apresentaram problemas de fissuração excessiva, impossibilitando a realização dos ensaios de flexão. Já os teores de absorção das misturas 1 e 4 correspondem a 23,93% e 23,36%, respectivamente. Também não foi possível executar o ensaio de absorção para a mistura 5, pois as peças se desmancharam impossibilitando as medições.

Igreja de origem	N ^a Sra. do Pilar (Recife)	Sto. Antônio (Igarassu)	Sto. Antônio (Igarassu)	Sto. Antônio (Igarassu)	Sta. Tereza (Olinda)	N ^a Sra. do Pilar (Recife)
Fase Histórica	2 ^a Fase (séc. XVII)	1 ^a Fase (séc. XVIII)	1 ^a Fase (séc. XVIII)	1 ^a Fase (séc. XVIII)	2 ^a Fase (séc. XVIII)	2 ^a Fase (séc. XVII)

Fonte: O autor (2022).

Diante do exposto pode-se inferir as seguintes condições:

- As misturas utilizaram mesma matéria prima com diferentes proporções em cada uma, as composições com maiores teores de argila formaram pastas cerâmicas mais plásticas e produtos cerâmicos com menor teor de absorção e porosidade aparente. Os testes de FRX não indicaram presença de matéria orgânica que poderia contribuir para a formação de poros e interferências na plasticidade da pasta cerâmica;
- O teor de sílica livre reduz a plasticidade e o trincamento da pasta cerâmica, além de diminuir a retração durante a secagem e dar o aspecto vidrado a placa. Assim maiores teores de silício também colaboram para a integridade da peça após seu processo de queima. Geralmente, sua incorporação está associada a areia utilizada para compor a pasta cerâmica e teores de areia entre 10% a 15% são muito comuns para a fabricação das chacotas (SANTOS, 1975).
- Nas reproduções, a mistura 2 apresentou 9% de areia, a mistura 3, 12%, a mistura 5, 13% de areia, a mistura 1, 15% e as misturas 4 e 6, foram fabricadas com 18% de areia, um valor um pouco superior ao que normalmente é utilizado. Esta condição pode interferir nos processos de vitrificação e, conseqüentemente, integridade das reproduções.
- De acordo com Santos (1975) a alumina (Al_2O_3) pode, em alguns casos, substituir a sílica como material de suporte a queima de materiais cerâmicos em contrapartida, reduz a plasticidade, a resistência mecânica e as deformações. Nas reproduções apresentadas os teores de silício superam em, praticamente, o dobro dos teores de alumínio, indicando que a sílica teve uma ação de vitrificação muito mais ativa nas misturas;
- Os percentuais de ferro nas reproduções podem justificar o ganho de resistência, em particular da mistura 3. Segundo Lima (2020) o teor de ferro em materiais vitrocerâmicos altera tanto a quantidade, quanto o tipo de estrutura formada. Nas amostras estudadas pela autora, àquelas com redução no teor de ferro apresentaram uma camada de vidro residual na superfície e não apresentou formação do mineral hematita

na sua estrutura. Com o aumento dos teores de ferro, ocorreu a cristalização das amostras em forma dentrítica com aumento da dureza dos materiais;

- Outros dados que podem ajudar a explicar os valores dos ensaios são os teores de calcita e feldspato das misturas. Teores de calcita e feldspatos elevados conduzem a altas concentrações de cálcio e apesar das diferenças entre os percentuais das reproduções não serem tão distantes entre as amostras estudadas, os teores de cálcio apresentam diferenças significativas entre as reproduções que podem impactar nas relações de resistência das reproduções estudadas;
- Segundo Alexandre *et al.* (2004) as indústrias cerâmicas tendem a evitar o uso de carbonatos e resíduos de mármore (calcita ou dolomita) como aditivo para a massa cerâmica, pois pode ocorrer, no produto final, grãos isolados de carbonato, que durante a queima se transformam em óxidos de cálcio e magnésio e, com a presença da umidade pode sofrer hidratação e expansão, provocando fissuração na cerâmica. Outros pesquisadores como Darweesh (2000), Oliveira e Rabelo (2000) e Goulart *et al.* (2001) enfatizam que baixos teores de carbonatos na massa de conformação da cerâmica podem induzir a bons resultados mecânicos. Justificando que baixos teores de calcita indicam maiores módulos de ruptura formando peças mais resistentes aos padrões de revestimentos azulejares;

As misturas 2 e 6 foram desenvolvidas a partir de fragmentos azulejares de fases históricas distintas, mas apresentam comportamentos físicos e mecânicos semelhantes. Já as misturas 2, 3 e 4 pertencem à mesma igreja e ao mesmo período cronológico de produção, indicando comportamentos mecânicos e de absorção bem diferentes. Na mesma direção, as misturas 1 e 6 foram originadas de fragmentos pertencentes a mesma igreja e fase histórica, mas apresentam teores de absorção diferenciados.

A mistura 5, obtida a partir de fragmentos da Igreja de Santa Tereza, em Olinda (2ª fase do séc. XVIII) mostrou-se extremamente frágil, impossibilitando sua análise de flexão e teores de absorção.

Das reproduções apresentadas àquela que apresenta um resultado melhor em termos de teores de absorção e módulos de ruptura é a mistura 3, indicando maior resistência a degradação pelas patologias referenciadas.

No entanto o que se verifica é que as composições químicas e mineralógicas das reproduções podem contribuir para peças mais ou menos resistentes às degradações.

Nesse caso verifica-se que altos percentuais de argilas, livres de materiais orgânicos, associadas a concentrações de areias entre 10 e 15% também poderão contribuir para plasticidade da peça cerâmica, bem como sua integridade pós queima, conduzindo a um material mais resistente e com menores teores de absorção. Da mesma forma, concentrações de sílica e ferro elevados associados com teores de cálcio e alumínio menores poderão formar peças cerâmicas com menores tendências ao desenvolvimento de problemas patológicos como deslocamento, desagregação ou gretamento.

5.3.2 Tendência ao Manchamento, Eflorescências e Desagregação

A desagregação e concreção são manifestações patológicas resultantes de absorção de umidade ou de agentes químicos na chacota e que acaba por degradar a camada esmaltada do azulejo.

Assim estas anomalias têm relação direta com os percentuais de absorção das reproduções, sendo que quando o fluido absorvido pela chacota for água, ocorrerá uma maior tendência ao aparecimento de concreção. E quando o material absorvido for reagentes químicos, a tendência de provocar a desagregação da chacota será maior.

Os problemas patológicos relacionados ao manchamento das peças têm origem a partir de ataques diretos das camadas do vidrado ou ataques indiretos advindos do corpo cerâmico. Estes ataques podem ser por ação de produtos químicos, sais solúveis ou através dos raios ultravioletas. Uma vez que os azulejos estudados são provenientes de regiões internas das igrejas, a ação dos raios de sol foi descartada desta análise.

Partindo-se do pressuposto que o nível de absorção das peças poderá contribuir para intensificar a ação dos agentes químicos e tomando-se os resultados dos testes químicos realizados nas chacotas, apresenta-se a Tabela 33 a seguir com as composições dos testes químicos e teores médios de absorção das reproduções.

Tabela 33 - Síntese dos dados considerados para cada mistura estudada.

Dados Considerados	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3	Mistura 4	Mistura 5	Mistura 6
Ácido Hidroclorídrico	▲●■	▲●■	▲■	▲●■	▲●■	▲●■
Hidróxido de Potássio	▲●■	▲●■	▲	▲●■	▲●■	▲●■
Cloreto de Amônio	▲●■	▲●■	▲	▲●■	▲●■	▲■
Hipoclorito de Sódio	▲●■	▲●	▲	▲●■	▲●■	▲●
Cloreto de Sódio	▲●■	▲●	▲	▲●■	▲●■	▲●
Teor de Absorção (%)	23,93%	20,61%	17,39%	23,36%	-	19,70%
Igreja de origem	N ^a Sra. do Pilar (Recife)	Sto. Antônio (Igarassu)	Sto. Antônio (Igarassu)	Sto. Antônio (Igarassu)	Sta. Tereza (Olinda)	N ^a Sra. do Pilar (Recife)
Fase Histórica	2 ^a Fase (séc. XVII)	1 ^a Fase (séc. XVIII)	1 ^a Fase (séc. XVIII)	1 ^a Fase (séc. XVIII)	2 ^a Fase (séc. XVIII)	2 ^a Fase (séc. XVII)

* *apresentou manchas: ▲; apresentou fissuração: ●; apresentou perda de material: ■*

Fonte: O autor (2022).

Nos ensaios de resistência aos ataques químicos observou-se que as misturas 1, 2, 4, 5 e 6 apresentaram uma menor resistência ao ataque químico dos diversos reagentes estudados. Sendo as misturas 1, 4 e 5 as que apresentaram resultados mais degradantes quando submetidas aos reagentes químicos. Uma vez que estas misturas apresentam valores de absorção relativamente altos e bem próximos pode-se inferir que as misturas 1, 2, 4, 5 e 6 apresentam maior fragilidade e maior tendência a desenvolver manchamentos pela ação de ataques químicos ou mesmo desenvolver eflorescências devido a ação de soluções salinas.

O estudo ainda indica que as misturas 1, 2, 4, 5 e 6 tem maior tendência a desenvolver problemas patológicos da desagregação e da concreção, visto que seus corpos de prova não resistiram aos ataques químicos e fissuraram em todos os reagentes.

A mistura 3 também se mostrou a composição mais resistente dentre as estudadas e, apesar de ser originária da mesma igreja e fase histórica que as misturas 2 e 4, sua composição levemente diferenciada e seu teor de absorção inferior ao valor apresentado pelas misturas 2 e 4, contribuíram para uma maior resistência aos ataques químicos e apresentar uma menor tendência ao desenvolvimento de manchamentos, eflorescências, concreção e desagregação.

6 CONCLUSÕES

A pesquisa estudou as reproduções de peças históricas de azulejos importados de Portugal utilizados nas Igrejas de Nossa Senhora do Pilar, em Recife, no Convento de Santa Tereza, em Olinda e na Igreja e Convento de São Francisco, em Igarassu, no estado de Pernambuco.

Tal estudo permitiu analisar a constituição das chacotas a partir dos fragmentos de azulejos obtidos das igrejas acima citadas, além de estabelecer os parâmetros para análises dos comportamentos das peças perante o desenvolvimento de problemas patológicos.

Nesse sentido, propõe-se um método de estudo da degradação dos azulejos portugueses a partir das reproduções das chacotas conforme enumera-se suas etapas a seguir:

- Caracterização química e mineralógica dos azulejos portugueses originais;
- Reprodução das peças históricas;
- Ensaios para verificação das semelhanças das características químico-mineralógicas das amostras históricas;
- Ensaios para compreensão dos fenômenos de degradação das peças produzidas:
 - Testes de Resistência à Flexão;
 - Testes de Teores de Absorção e Porosidade Aparente;
 - Testes de Resistência aos Ataques Químicos;
- Análises e processamentos dos dados comparativos entre os resultados dos ensaios e composições das matérias primas das reproduções para inferências sobre o comportamento das peças a desenvolverem problemas patológicos.

Diante do exposto, este procedimento, se seguido e entendido suas limitações, pode ser considerado um meio para se compreender como ocorre a degradação das peças azulejares *in loco*, que estão sobre os claustros, corredores de edificações históricas (mosteiros, conventos, palacetes e semelhantes).

Uma vez identificada a composição dos azulejos e compreendido seu comportamento perante o desenvolvimento de manifestações patológicas e sua interação e compatibilidade com os elementos em seu entorno, se torna mais fácil tomar providências cabíveis para a intervenção preventiva de painéis azulejares e, assim, assegurar a autenticidade dos materiais e preservação do patrimônio histórico de Portugal e do Brasil.

Estas ações além de contribuir para preservação dos materiais, trazem informações mais precisas para o restauro de azulejos, o que, por sua vez colabora para a sustentabilidade, visto que não produzirá novos materiais para revestimento e sim, adotar os materiais existentes tendo em vista sua relevância cultural e histórica.

Diante os questionamentos levantados nas problematizações científicas e com base nos resultados apresentados no capítulo 5 desta tese, pode-se ainda indicar as seguintes considerações:

6.1 SOBRE A COMPOSIÇÃO DAS MATERIAIS PRIMAS

De todas as misturas estudadas, observou-se que as composições das matérias primas não necessariamente têm relação com o período de produção ou a localidade dos azulejos, visto que as misturas 2, 3 e 4 e as misturas 1 e 6 (dispostas na página 94) , pertencem a mesma fase histórica e ao mesmo painel azulejar, porém apresentaram composições de matérias primas diferentes e, conseqüentemente, comportamentos diferenciados para o desenvolvimento de problemas patológicos.

Verificou-se em laboratório que as composições das matérias primas têm relação com as propriedades de resistência a flexão, teores de absorção e resistência a ataques químicos e que diferentes composições de materiais produzem peças com níveis de resistências díspares e, conseqüentemente, diferentes tendências ao desenvolvimento de problemas patológicos.

Esta condição acentua a necessidade de se evitar generalizações, visto que cada caso deve ser analisado isoladamente. Quanto mais informações se tiver sobre as composições das matérias primas de diferentes fragmentos azulejares, maior é o grau de certeza sobre o comportamento das chacotas perante o desenvolvimento de patologias.

O estudo identificou que misturas que utilizam argilas plásticas com pouca presença de material orgânico e teores de areia entre 10% e 15% podem resultar em peças mais íntegras, com menores teores de vazios e fáceis de serem moldadas.

Da mesma forma, as misturas que apresentaram altas concentrações de sílica e ferro associados à baixos teores de cálcio e alumínio formaram peças mais resistentes aos esforços mecânicos e ataques químicos, contribuindo para sua durabilidade e resistência ao desenvolvimento de problemas patológicos.

Neste caso, dentre as misturas estudadas, aquela que apresentou valores condizentes com as condições acima foi a mistura 3 que ao ser comparada com as demais misturas apresentou maiores teores de argila, porém quimicamente também apresentou maiores concentrações de ferro, sílica e alumínio e, menores teores de cálcio.

Os teores de cálcio ou a presença de cal, se mostrou um importante parâmetro a ser considerado na análise das matérias primas, visto que possuem diversas fontes de origem e quando dispostas em grandes quantidades podem provocar fissuras, fragilizando as peças e acelerando os mecanismos de degradação.

Os estudos indicaram que as peças com esta composição de matérias primas produzem peças mais íntegras e resistentes aos esforços mecânicos e ataques químicos, com menor porosidade e, conseqüentemente, menor teor de absorção.

Assim entende-se que as proporções das matérias primas presentes nos azulejos históricos também atuam como definidores das propriedades destes materiais tornando-os elementos com comportamentos individuais e únicos, podendo ser mais susceptíveis a deteriorações ou mais resistentes aos mecanismos de degradação.

6.2 SOBRE O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DAS REPRODUÇÕES

As reproduções das peças históricas permitiram a realização de estudos mais precisos e técnicas destrutivas que auxiliaram na compreensão e na construção do conhecimento científico sobre a prática de produção de azulejos históricos, além de contribuir para a compreensão da atuação dos agentes de degradação e desenvolvimento de problemas patológicos nos revestimentos azulejares.

Através das reproduções das misturas realizadas constatou-se que o processo de produção é rudimentar e necessita de um maior controle tecnológico, apesar do controle das matérias primas e da obediência ao processo das etapas de moldagens e calcinação das peças adotadas nesta pesquisa.

Assim, verificou-se que o processo de fabricação manual contribuiu para a formação de superfícies pouco homogêneas, conduzindo a uma situação de níveis de porosidade diferentes nas peças, colaborando para redução da resistência mecânica e comportamentos diferenciados em relação ao desenvolvimento de problemas patológicos.

Entretanto a metodologia adotada se mostrou eficaz para identificação e caracterização química e mineralógica dos azulejos históricos, indicando a possibilidade do estudo dos azulejos históricos a partir de reproduções, pois os resultados apresentados foram coerentes com as composições estimadas e com dados de estudos semelhantes desenvolvidos em Portugal e em outros estados brasileiros.

Como as reproduções desenvolvidas neste trabalho foram fiéis às composições extraídas dos fragmentos azulejares, pode-se afirmar que os resultados aqui apresentados indicaram certo grau de confiança, muito embora para a adoção da metodologia aqui indicada, sugere-se um maior número de caracterizações possível, uma vez que um mesmo painel de azulejos, pode apresentar composições diferentes, assim, quanto maior o número de amostras estudadas, mas certificações de perfis tecnológicos pode-se ter.

6.3 SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS

Apesar da porosidade não ser o único caminho para a degradação dos revestimentos azulejares, este estudo identificou que, para revestimentos localizados em zonas internas das edificações, a porosidade da chacota, assim como a porosidade presente nas superfícies de suporte das peças cerâmicas contribuem para a degradação dos revestimentos, uma vez que se constituem no principal condutor de mecanismos de degradação dos azulejos.

Nas reproduções estudadas, verificou-se teores de absorção superiores a 17%, configurando materiais altamente porosos e com grande condição de absorção de umidade ou outros agentes químicos (soluções salinas, ácidas ou alcalinas).

Ao compararmos os ensaios de flexão das peças com os testes de absorção, identificou-se uma relação de crescimento inverso, na qual, quanto maior for o valor do módulo de ruptura da peça, menor será sua porosidade aparente e, conseqüentemente, menor teor de absorção.

Esta relação foi evidenciada nos resultados dos testes das misturas, onde se observou que menores valores de absorção trazem resultados de módulos de resistência à flexão maiores. A mistura 3, por exemplo, apresentou valores médios de absorção de 17,39% e módulo de ruptura de 3,69 N/mm², enquanto a mistura 2 apresentou valores médios de absorção de 20,61% e módulo de ruptura médio de 1,36 N/mm².

Ambas as misturas foram obtidas de fragmentos azulejares da mesma fase histórica e da mesma localidade (Igreja e Convento de Igarassu / 1^a metade do século XVIII) indicando que

independentemente do ano de fabricação ou da localidade, o azulejo histórico vai manter a relação inversa entre teor de absorção e resistência à flexão.

Os testes de resistência química indicaram que as reproduções das chacotas são frágeis a maioria dos reagentes químicos utilizados e que a resistência ao ataque químico apresenta uma relação de crescimento direto com os teores de absorção das peças e uma relação inversa com os valores dos módulos de ruptura a flexão. Dessa forma quanto maior for o teor de absorção maior é o ataque químico e degradação da peça. E quão maior for o módulo de ruptura menor será o ataque químico, visto que, o teor de absorção da peça também será menor.

Assim, entre as misturas estudadas, a mistura 3 foi a que apresentou maior resistência aos ataques químicos e menor tendência ao desenvolvimento de manchamentos, entretanto, todas as misturas demonstraram susceptibilidade ao desenvolvimento de manchas e eflorescências.

Por fim, apesar de nesta tese serem utilizadas técnicas aplicadas a novos produtos cerâmicos, percebe-se que as normas brasileiras de revestimentos cerâmicos necessitam de maiores critérios para avaliação de materiais de construção históricos. Incentiva-se, portanto, a criação de normas e parâmetros que permitam uma melhor caracterização das propriedades mecânicas destes materiais, especialmente os azulejos portugueses, uma vez que estes materiais apresentam, muitas vezes, características peculiares e diferentes que o tornam um material único e que deve ser avaliado individualmente.

6.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa durante seu desenvolvimento apontou temáticas que poderão ser mais aprofundadas em estudos futuros. Neste caso sugere-se:

- Complementar os estudos da compreensão dos mecanismos de degradação e desenvolvimento de problemas patológicos, estendendo a análise para as camadas do vidrado;
- Ampliar a base de análise dos mecanismos de degradação adotando agentes do intemperismo para investigação de desenvolvimento de problemas patológicos para azulejos portugueses situados em zonas externas (fachadas de edificações, fontes de água, coruchéu, etc);
- Investigar as características funcionais das peças azulejares analisando a estanqueidade do azulejo, absorção de água e os efeitos ocasionados por umidade proveniente do meio externo e das bases de assentamento das peças de azulejaria;

- Estudar a compatibilidade da chacota e base de assentamento, e o comportamento de expansão e retração das argamassas de assentamento;
- Aplicar o método proposto para produção de réplicas utilizadas para o restauro de painéis de azulejaria portuguesa;

Por fim incentiva-se mais estudos com fundamentações científicas, bem como construções e análises das reproduções de azulejaria portuguesa, visto que poderá contribuir para melhorar a compreensão sobre o comportamento mecânico, a sua composição química e mineralógica de azulejos históricos e seu comportamento perante os mecanismos de degradação.

REFERÊNCIAS

- AGUA, F.; SÁNCHEZ-CABEZUDO, A.; TUDELA, A. P.; VILLEGAS, M. A.; GARCIA-HERAS, M. Archaeometric case-study of tiles of diferente dates from the Royal Monastery of San Lorenzo de El Escorial (Spain). **Boletín de la sociedade española de cerâmica y vidrio**, España, v. 61, n.2, p. 84-97, mar-abr 2022.
- AGUIAR, J. **O tratamento de azulejos em obras de reabilitação**. Contributos para um vídeo. CENFIC. Évora: Portugal, 1995.
- ALCÂNTARA, D. M. S. de (Org.). **Azulejos na cultura luso-brasileira**. Rio de Janeiro: IPHAN, 1997.
- ALCÂNTARA, D. M. S. de; BRITO, S. R. S. de.; SANJAD, T. A. B. C. **Azulejaria em Belém do Pará: Inventário – arquitetura civil e religiosa – século XVIII ao XX**. Brasília, DF: IPHAN, 2016.
- ALCÂNTARA, D. **Patrimônio azulejar brasileiro: aspectos históricos e de conservação**. Azulejo, documento de nossa cultura. Brasília: Monumenta / BID/ Ministério da Cultura: Brasília, 2001.
- ALEXANDRE, J.; XAVIER, G. C.; MANHÃES, A. L. F.; VIEIRA, C. M. F. Incorporação da cal na massa de conformação de cerâmica vermelha. **Anais ... 48º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA**. Curitiba – PR. 10p., 2004.
- ALMEIDA, S. C. **Caracterização material e conservação e restauro de um painel de azulejos do séc. XVII do Ecomuseu do Seixal, Portugal**. 2011. Dissertação (Mestrado em Conservação e Restauro, Especialização em cerâmica e vidro) – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Lisboa. Lisboa, 2011.
- AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção: normas, aplicação e ensaios de laboratório**. São Paulo: Pini, 2012.
- ANGÉLICA, R. S. **Azulejos históricos europeus no final do século XIX e início do século XX: caracterização mineralógica e química de biscoitos**. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672013000100012>> (acesso em 15/10/2022), 2005.
- ANTUNES, J. L. F. **Caracterização de azulejos do século XVII: estudos para a sua consolidação**. Tese (Doutorado) Instituto Superior de Lisboa, Portugal, 1992.
- ARAÚJO, S. I. S.B. Filling and retouching techniques in outdoor tiles with saline efflorescence problems. A case study. In: International Meeting on Retouching of Cultural Heritage, 5, 2019, Italy. **Anais... RECH 5**. 18 a 19 de outubro de 2019. p. 238 – 246.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.545 – 2: Determinação das dimensões e qualidade superficial**. Rio de Janeiro, 2020.
- _____. **NBR 10.545 – 3: Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente**. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 10.545 – 4:** Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 10.545 – 10:** Determinação da expansão por umidade. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 10.545 – 11:** Determinação da resistência ao gretamento de placas esmaltadas. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 10.545 – 13:** Determinação da resistência química. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 13.006:** Placas cerâmicas – Definições, classificação, características e marcação. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 6457:** Amostras de solo – Preparação de ensaio de compactação e caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181:** Amostras de solo – Preparação de ensaio de compactação e caracterização. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6457:** Solo – Análise granulométrica. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7211:** Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSUNÇÃO, K. A. **Análise de manifestações patológicas de revestimentos em fachada de edificação histórica:** Estudo de caso no município de Estância. 2019. Monografia (Curso de Engenharia Civil) – Instituto Federal de Sergipe. Estância, 2019.

BARBIERI, R. A. **Influência da temperatura de sinterização nas propriedades mecânicas de molas de alumina injetadas em baixa pressão.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais). – Universidade de Caxias do Sul, 2011.

BAUER, E. F. **Materiais de construção (V.2).** Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BAUER, R. J. F.; RAGO, F. Expansão por umidade de placas cerâmicas para revestimento. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 41-50, mai./ jun., 2000.

BÍBLIA. Português. Bíblia sagrada. Tradução de Padre Antônio Pereira Figueredo. Rio de Janeiro: Encyclopaedia Britannica, 1980. Edição Ecumênica.

BORBA, C.D.G. et al. Estudo de matérias-primas fundentes. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 1. p.34-39. Mar/Abr, 1996.

BOTAS, S.; VEIGA, R.; VELOSA, A.; SILVA, A.S. Compatible air lime for historical tiled facades: Bond and mechanical strength versus tile-mortar interface microstructure. **J. Mater Civil Engineering**, v.32, n. 6, p. 121 – 129, 2020.

BRANCO, P. M. **Dicionário de mineralogia e gemologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BRITO, M. L. M. E. **Estudo do fabrico e da degradação de azulejos portugueses históricos**. 2017. Tese (Doutorado em História da Arte) – Programa doutoral rede HERITAS – Estudo de Patrimônio. Universidade de Évora, 2017.

CALLISTER, W. D. **Engenharia dos materiais**: Uma introdução. LTC: São Paulo, 2002.

CALZA, C. Fluorescência de Raios X aplicada à análise de bens culturais. **Boletim eletrônico da ABRACOR**, n.1, p.20 – 26, Junho, 2010.

CAMPANTE, E. F.; SABBATINI, F. H. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada**. São Paulo: USP, 2001. Boletim técnico n.301. Disponível em <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs_Petreche/BT301-%20Campante.PDF>. Acesso em: 11 set. 2022.

CARASEK, H. JAPIASSÚ, P.; CASCUDO, O. VELOSA, A. Bond between 19th century lime mortars and glazed ceramic tiles. **Construction and Building Materials**, S.L. v. 59, p. 85 – 98, mar. 2014.

CARVALHO, C. S. R. Conservação preventiva de edifícios e sítios históricos: pesquisa e prática. **Revista CPC**, v.18, p.141-153, Dez/ Abr., 2015.

CARVALHO, M. D. R. S. C. C. D. **A pintura do azulejo em Portugal [1675 – 1725]**. Autorias e biografias – um novo paradigma. 2012. Tese (Doutorado em História da Arte) – Faculdade de Letras. Universidade de Lisboa, 2012.

CAVALCANTI, S.T.de H.; CRUZ, A.de M. **O azulejo na arquitetura civil de Pernambuco**: Século XIX. São Paulo: Metalivros, 2002.

CHIARI, R. J. F.; OLIVEIRA, C. J.; MONTEIRO, C.S.; FORJAZ, N. V.; BOSCHI, A. O. Expansão por umidade. Parte I: O fenômeno. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.1, n.1, p. 06-13.Mar./Abr., 1996.

COENTRO, S.; TRINDADE, R. A. A.; MIRÃO, J.; CANDEIAS, A.; ALVES, L. C.; SILVA, R. M. C.; MURALHA, V. S. F. Hispano-Moresque ceramic tiles from the Monastery os Santa Clara – a – Velha (Coimbra, Portugal). **Journal of Archeological Science**, v. 41, p. 21 -28, 2014.

COENTRO, S.; A.; ALVES, L. C.; CONESA, J. C.; FERREIRA, T.; MIRÃO, J.; da SILVA, R.C.; TRINDADE, R.; MURALHA, V. S. F. **Journal of Archeological Science: Reports**, v. 30, p. 1 -10, 2020.

COLIN, S. **Técnicas construtivas do período colonial**. Coisas da arquitetura. 2010. Disponível em: <<https://coisasdaarquitectura.wordpress.com/2010/09/06/tecnicas-construtivas-do-periodo-colonial-i/>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

COMERLATO, F. A baleia como recurso energético no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE HISTÓRIA AMBIENTAL E MIGRAÇÕES, 2010, Florianópolis. **Anais ... UFSC**, 2010. 20p.

CORREIA, S. L.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A. M. Otimização da resistência mecânica dos corpos cerâmicos em função de matérias primas e restrições de propriedades tecnológicas. **Cerâmicas**, v. 34, p. 230 – 238, 2005.

COSTA, M. C. S. R. **Estudo de azulejos do século XIX e desenvolvimento de réplicas**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de Aveiro. Portugal, 2013.

COSTA, M. C. S.; CACHIM, P.; VELOSA, A. L. Patologias em azulejos de exterior. In: CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 4, 2012, Santiago de Compostela, Espanha. **Anais ... Espanha: IV PATORREB**, 2012. v.1, p. 65.

COSTA, M. L.; SANJAD, T. A. B. C.; PAIVA, R. The mineralogy and chemistry of the German and Portuguese tiles used to face a historic building in the Amazon region and their natural susceptibility to tropical weathering. **Acta Amazonica**, v. 43, n.3, p.323 – 330, 2013.

COUTINHO, M. L.; MILLER, A. Z.; MACEDO, M. F.; Biological colonization and biodeterioration of architectural ceramic materials: an overview. **Journal of Cultural Heritage**, v.16, p. 759 – 777, 2015.

COUTINHO, M. L.; MILLER, A. Z.; PHILLIP, A.; MIRÃO, J.; DIAS, L.; CANDELERA, M. A. R.; SAIZ-JIMENEZ, C.; MARTIN-SANCHEZ, P. M.; ALVES, L. C.; MACEDO, M. F. Biodeterioration of majolica glazed tiles by the fungus *Devriesia imbrexigena*. **Construction and Building Materials**, v. 212, p. 49 – 56, 2019.

CURVAL, R. B. F. **Azulejaria portuguesa no patrimônio edificado do sul do Brasil**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2008.

CURVAL, R. B. F. **Funcionalização de superfícies de azulejos históricos com organossilano para a obtenção de superfícies hidrofóbicas com a finalidade de preservação e conservação do vidro**. 2015. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais). – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2015.

CURVAL, R. B. F.; MIMOSO, J. M.; SANJAD, T. A. B. C.; PEREIRA, S.; BALZARETTI, N. M. The decay of portuguese façade azulejos – a comparison between South Brazil and Lisbon. **Azulejar**, outubro, p. 1 – 9, 2012.

DAMAS, A. L.; VEIGA, M. R.; FARIA, P.; SILVA, A. S. Characterization of old azulejos settings mortars: A contribution to the conservation to this type of coatings. **Construction and Building Materials**, v. 171, p. 128 – 139, 2018.

DARWEESH, H. H. M. Building materials from siliceous clay and low grade dolomite rocks. **Ceramics International** (Elsevier). Cairo – Egypt. 8p. 2000.

FREITAS, Y. M. **Azulejos portugueses dos séculos XVII e XVIII em Pernambuco**. Patologias e caracterização tecnológica. 2015. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2015.

FRIGOLA, M. D. R. **Cerâmica artística**. Barcelona: Parramo Ediciones, S.A., 2005.

GASPARETTO, S. A. M.; SANJAD, T. A. B. C. The historical glazer tiles from Nossa Senhora da Soledade Cemetery, Northern Brazil: microstructural, physical and mineralogical characterization. **Cerâmica**, v.64, p. 141-147, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GOMES, C. F. **Argilas: O que são e para que servem?** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.

GOULART, E. P.; RIBEIRO, E. P.; PORTELA, J.C.S. Efeitos da adição de carbonatos à massa cerâmica de revestimento de queima vermelha. **Anais ... 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA**. São Pedro – SP, 2000.

GUICHEN, G. Conservación preventiva: ¿en qué punto nos encontramos en 2013?. In: **Revista de Conservación del Patrimonio Cultural**. Conservación preventiva: revisión de una disciplina. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura e Deporte, n. 7, p. 15-24, 2013. Disponível em: <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/descarga.action?f_codigo_agc=14392C_19>. Acesso em: 12 mar. 2022.

JOKILEHTO, J. **A history of architectural conservation**. New York:Routledge, 2017.

HUGUES, J.J.; LESLIE, A.B.; CALLEBAUT, K. The petrography of lime inclusions in historic lime based mortars. IN: 8th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials. **Proceedings...Atenas**, 2001. 359-364p.

KAHN, H. **PMI-2201 – Difração de Raios X**. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2011. Apostila.

KANAN, M. I. **Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal**. Cadernos técnicos nº8. Brasília: IPHAN/ Programa Monumenta, 2008. 172p.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – LNEC. **Sobre a degradação física dos azulejos de fachada em Lisboa**. Procº 0205/11/17684. Relatório 303/ 2011 – NPC. Lisboa, 2011.

LEAL, A. S.; ALVES, L. C.; COENTRO, S.; PEREIRA, S.; RELVAS, C.; FERREIRA, T.; MIRÃO, J.; FERNANDES, L.; MURALHA, V. S. Caracterização química, física e mineralógica da colecção de azulejos hispano-mouriscos do Museu de Lisboa – Teatro Romano. **Conservar Património**, n. 29, p. 25-39, Janeiro, 2018.

LENGLER, H. C. M. **Controle da porosidade em fases vítreas formadas pela ação de fundentes em cerâmicas gresificadas**. Tese (Doutorado) em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

LEPIERRE, P. C. **Estudo químico e tecnológico sobre a cerâmica portuguesa moderna**. Lisboa: Tip. da Associação de Classe dos Compositores, 1912. 207 p.

LIMA, L. F. **Efeito do teor de ferro na síntese de vitrocerâmicos de basalto**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, 2020.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas. Origem e ocorrências, aplicações, reservas e produções. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 8, n.3, p. 110 – 117, 2013.

MACHADO, B. C. C. A. **Caracterização das litologias e patologias da Sé de Lamego**. Tese de doutoramento em Ciências da Terra e da Vida. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real: Portugal, 2012. 372 p.

MENDES, C.; VERÍSSIMO, C.; BITTAR, W. **Arquitetura no Brasil: de Cabral a Dom João VI**. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, 2011. 231 p.

MENDONÇA, A. M. G. D.; CARTAXO, J. M.; MENEZES, R. R.; SANTANA, L. N. L.; FERREIRA, H. C. Expansão por umidade de revestimentos cerâmicos incorporados com resíduos de granito e caulim. **Cerâmica**, v.58, p. 216 – 224, 2012.

MENEGAZ, G. **Embasamento histórico, suporte técnico e iconográfico para elaboração e produção de azulejos**. Relatório Técnico; Laboratório de Cerâmica Artística: Porto Alegre, 2014.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção – revisão. **Cerâmica**, v.52, p. 37-49, 2006.

MERCURY, J. M. R.; PEREIRA, D. J. C.; VASCONCELOS, N. S. L. S.; CABRAL, A. A.; ANGÉLICA, R. S. Caracterização mineralógica de azulejos portugueses do centro histórico de São Luis do Maranhão. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 19, 2010, Campos do Jordão, São Paulo, Brasil. **Anais ... XIX CBECiMat**. 21 a 25 de novembro de 2010. v. 1. p. 171 – 178.

MERCURY, J. M. R.; PEREIRA, D. J. C.; VASCONCELOS, N. S. L. S.; CABRAL, A. A.; ANGÉLICA, R. S. Chemical and mineral characterization of portuguese ceramic tiles in the historic center of São Luís do Maranhão (Brazil): an approximation of the mineralogy and firing temperature of the raw materials. **REM: E. Esc. Minas. Metallurgy and Materials**, v. 66, n° 1, p. 91-98, 2013.

MEUNIER, A.; BORTOLUZZI, E. C.; MEXIAS, A. S. **Le monde des argiles. O mundo das argilas**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2016.

MIMOSO, J. M.; ESTEVES, M. L. Uma sistematização do destacamento do vidrado em azulejos. **Conservar Patrimônio**, v. 23, p. 9-14, 2016.

MORAES M. A.; GOES, P. B. B.; MAIOR, P. M. S. Caracterização tecnológica dos biscoitos de azulejos nos interiores de igrejas dos séculos XVII e XVIII em Pernambuco, Brasil. **FUNDHAMENTOS**, vol. XVIII, n.1, p. 3 – 27, 2021.

MOTTA, J. F. M.; CABRAL JUNIOR, M.; TANNO, L. C.; ZANARDO, A. As matérias primas cerâmicas. Parte II: os minerais industriais e as massas da cerâmica tradicional. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.6, n.2, p.28-39, Março/ Abril, 2001.

MUNIZ, E. F.; MAIOR, P. M. S.; MONTEIRO, G. A.; SOUZA, R. B.; LAVALLE, H.; LUCENA, R. A. Cronologia de azulejos históricos. Danos e caracterização química dos revestimentos das fachadas do Museu da Abolição no Recife, Pernambuco. **Clio Arqueológica**, Recife, v. 32, n.2, p. 253-289, 2017.

MUNIZ, S. C. **Cronologia histórica e patologias dos azulejos em Pernambuco, entre os séculos XVII e XVIII**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2009.

OLIVEIRA, F.; MATSUY, K. Mapeamento de danos do painel de azulejos do Largo da Memória, São Paulo/ SP. In: Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, 9, 2013, João Pessoa. **Anais ...** João Pessoa: CINPAR, 2013. p.1-11.

NORMAL 1/88. **Alterazioni macroscopiche die material**. Lessico: Roma, 1990.

OLIVEIRA, H. A.; RABELO, E. J. C. Análise microestrutural de revestimento cerâmico tipo semi grés com diferentes teores de CaCO₃. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 4, 2000, Florianópolis – SC. **Anais...** Florianópolis: CBC, 2000. p.40501-40510.

OLIVEIRA, M. A. R.; RIBEIRO, E. S. **Barroco e rococó nas igrejas de Recife e Olinda**. Brasília, DF: Iphan, 2015 (Roteiros do Patrimônio; Tomo 2).

PADILHA, PANOZZO, J. Ensinamentos e Aprendizados nas Corporações de Ofício em Portugal entre os Séculos XVI e XIX na Produção Azulejar, **Revista CESCEN**, Temporalidades – Revista de História, Edição 23, v. 9, n. 1, p. 290-309, 2017.

PEREIRA, S.; MIMOSO, J.; SILVA, A. S. **Physical-Chemical characterization of historic portuguese tiles**. LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – LNEC. Proc° 0205/11/17684. Relatório 23/ 2011 – NPC/ NMM. Lisboa, 2011.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

PRUDENCIO, M. I.; STANOJEV PEREIRA, M. A.; MARQUES, J. G.; DIAS, M. I.; ESTEVES, L.; BURBIDGE, C. I.; TRINDADE, M. J.; ALBUQUERQUE, M. B. Neutron tomography for the assessment of consolidant impregnation efficiency in Portuguese glazed tiles (16th and 18th centuries): **Journal of Archaeological Science**, v. 39, p. 964 – 969, 2012.

QUEIROZ, L. F. T.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Efeito da utilização de areia no processamento e nas propriedades de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v.56, n.339, p. 279 – 284, Jul 2010.

RHOD, A. B. **Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos**: Análise da frequência de ocorrência em áreas internas de edifícios em uso em Porto Alegre. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS, 2011.

RIBEIRO, N.P. Técnicas construtivas das alvenarias históricas no Brasil. In: BRAGA, Márcia (Org.). **Conservação e Restauro**: Arquitetura, Rio de Janeiro, 2004.

ROCHA, E. A. **Manifestações patológicas em fachadas de edificações religiosas do séc. XVI e XVII**: Um estudo na região do sítio histórico de Olinda – PE. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade de Pernambuco. Recife, 2017.

RODRÍGUEZ, J. L. P.; ROBADOR, M. D.; CASTAING, J.; VIGUERIE, L.; GARROTE, M. A.; PLEGUEZUELO, A. Caracterización arqueométrica (físico-química y microestructural) de azulejos en el palacio mudéjar del Real Alcázar de Sevilla mediante métodos químicos cuantitativos no invasivos. **Cerámica y Vidrio**, v. 60, p. 221 – 228, 2021.

SAHADE, R. F.; MACHADO, L. V.; DE RANIERI CAVANI, G. Avaliação de sistemas de recuperação de fissuras em argamassas de vedação. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 10, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBTA, 2013.

SALES JUNIOR, J. C. C. **Estudo de massa cerâmica triaxial visando à otimização do ciclo de queima da indústria de cerâmica estrutural**. Tese. (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012.

SANJAD, T. A. B. C.; ANGÉLICA, R. S.; OLIVEIRA, M. M. ; COSTA, W. A. M. Caracterização mineralógica de azulejos de Salvador e Belém dos séculos XVI, XVII e XIX. In: **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 57, n.4, p. 255 – 260, out. dez. 2004.

SANJAD, T. A. B. C.; COSTA, L. D. **Azulejaria histórica em Belém do Pará**: contribuição tecnológica para réplicas e restauro. Belém: UFPA / SEDECT, 2009.

SANTOS, A.R.; VEIGA, M.R. Argamassas compatíveis para edifícios antigos. In: **Jornadas LNEC**. Engenharia para a sociedade, investigação e inovação. LNEC, Lisboa. 18-20 de junho 2012. 10p.

SANTOS SIMÕES, J.M. **Azulejaria portuguesa no Brasil, 1500 – 1822**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1965.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas aplicadas às argilas brasileiras (V1)** Fundamentos. São Paulo: Edgard Blucher, 1975.

SILVA, T. P.; FIGUEIREDO, M. O.; PRUDÊNCIO, M. I. Ascertaining the degradation state of ceramic tiles: A preliminary non-destructive step in view of conservation treatments. **Applied Clay Science**, v. 2, p. 675 – 680, 2013.

SIMÕES, J. M. D. S. **Azulejaria em Portugal nos séculos XV e XVI**. Introdução geral. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1969.

SOUZA, J.S.C.; SILVA, C.F.C.; CARNEIRO, A.M.P. Comparação de propriedades de argamassas com metacaulim para restauração de obras históricas. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E ETICS, 4, Coimbra, 2012. **Anais...** Coimbra: APFAC, 2012.

SULLASI, H. S. L.; MAIOR, P. M. S.; MUNIZ, S. C.; FREITAS, Y. M. Perfil tecnológico dos azulejos portugueses da primeira metade do século XVIII em Pernambuco. **Clio Arqueológica**, Recife, v.31, n.1, p. 81-93, 2016.

TEROL, M. **Azulejos em Lisboa**: a luz duma cidade. Paris: Éditions Hervas, 2002.

TINOCO, J. E. L. **Restauração de azulejos** – Recomendações básicas. Olinda: Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada – CECI. nº 12. Olinda, Pernambuco, 2007.

TINOCO, J.E.L. **Reboco com óleo de baleia** – verdade ou mito. Disponível em: <<http://www.ct.ceci-br.org/ceci/en/informacao/links/638-o-mito-do-reboco-com-oleo-de-baleia.html>>. Acesso em: 25 mai 2022.

TITE, M. S. The production technology of italian maiolica: a reassessment. **Journal of Archaeological Science**, Amsterdã, v. 36, n. 10, p. 2065 – 2080, 2009.

VAN BALEN, K.; VAN GEMERT, D. Modeling lime mortar carbonation. **Materials and Structures**, v. 27, n. 7, p. 393-398, 1994.

VAZ, M. F.; PIRES, J.; CARVALHO, A. P. Effect of the impregnation treatment with Polaroid B-72 on the properties of old Portuguese ceramic tiles. **Journal of Cultural Heritage**, Switzerland, v.9, p. 269 – 276, Jan. 2008.

VELOSO, A. J. B.; ALMASQUÉ, I. **Azulejos de fachada em Lisboa**. Edição da Câmara Municipal de Lisboa: Lisboa, 1990.

VIEIRA, C. M. F.; SALES, H. F.; MONTEIRO, S. N. Influência da temperatura de queima na microestrutura de argilas de Campos dos Goytacazes – RJ. **Cerâmica Industrial**. São Paulo, v. 8, n. 2. p. 42– 46, mar. 2003.

VIEIRA, M. A. F. G. **Patologia em fachadas azulejadas em Aveiro**. Dissertação em Engenharia Civil (mestrado) da Universidade de Aveiro. Aveiro, 2014.

APÊNDICE A - TESTES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Valores para determinação do módulo de ruptura à flexão da mistura 2.

Mistura 2	F (N)	L2 (mm)	B (mm)	S (N)	h (mm)	R (N/mm ²)
CP2	119,3	170	197,07	102,58	12,13	1,05
CP5	120,19	170	196,69	103,88	12,43	1,01
CP6	315,25	170	198,98	269,34	13,23	2,31
CP7	250,69	170	199,42	213,71	12,64	2,01
CP8	140,11	170	199,1	119,63	14,51	0,85
CP 9	122,94	170	187,43	111,51	13,67	0,90
CP10	181,32	170	199,57	154,45	12,72	1,43
Média	178,54	-	-	153,59	-	1,36
σ(%)				64%		58%

Fonte: O autor (2022).

Valores para determinação do módulo de ruptura à flexão da mistura 3.

Mistura 3	F (N)	L2 (mm)	B (mm)	S (N)	h (mm)	R (N/mm ²)
CP1	472,53	170	197	407,77	13,2	3,51
CP2	382,56	170	197,8	328,79	12,02	3,41
CP3	359,89	170	198,99	307,46	12,86	2,79
CP4	390,8	170	196,59	337,94	11,39	3,91
CP5	392,86	170	196,89	339,21	11,67	3,74
CP 6	488,32	170	194,52	426,77	11,79	4,61
CP7	448,49	170	198,28	384,52	12,18	3,89
Média	419,35	-	-	361,78	-	3,69
σ(%)				45%		55%

Fonte: O autor (2022).

Valores para determinação do módulo de ruptura à flexão da mistura 6.

Mistura 6	F (N)	L2 (mm)	B (mm)	S (N)	h (mm)	R (N/mm ²)
CP1	150,41	170	199,4	128,23	11,84	1,37
CP2	108,52	170	200,00	92,24	10,37	1,29
CP3	195,06	170	199,52	166,20	12,34	1,64
CP4	181,32	170	199,94	154,17	11,76	1,67
CP5	144,92	170	198,33	124,22	11,50	1,41
CP 6	94,78	170	200,25	80,46	10,70	1,05
CP8	82,62	170	199,78	70,30	11,17	0,85
Média	136,80			116,55		1,33
σ(%)				37%		30%

Fonte: O autor (2022).

APÊNDICE B - TEORES DE ABSORÇÃO E POROSIDADE APARENTE

Valores para ensaio de absorção da mistura 1.

Mistura 1	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	Ev (%)	V (cm ³)	V0 (cm ³)	V1 (cm ³)	P (%)
CP1	368,15	456,96	214,16	24,12	242,80	88,81	153,99	36,58
CP2	356,40	436,93	208,22	22,60	228,71	80,53	148,18	35,21
CP3	379,67	477,58	220,43	25,79	257,15	97,91	159,24	38,08
CP4	352,50	435,25	205,71	23,48	229,54	82,75	146,79	36,05
CP5	377,09	466,31	219,41	23,66	246,90	89,22	157,68	36,14
Média	-	-	-	23,93	-	-	-	36,41

Fonte: elaborado pelo autor.

Valores para ensaio de absorção da mistura 2.

Mistura 2	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	Ev (%)	V (cm ³)	V0 (cm ³)	V1 (cm ³)	P (%)
CP1	352,49	426,55	206,08	21,01	220,47	74,06	146,41	33,59
CP2	362,68	440,06	212,54	21,34	227,52	77,38	150,14	34,01
CP3	331,10	396,40	195,40	19,72	201	65,30	135,70	32,49
CP4	324,19	393,53	190,06	21,39	203,47	69,34	134,13	34,08
CP5	355,65	425,26	209,49	19,57	215,77	69,61	146,16	32,26
Média	-	-	-	20,61	-	-	-	33,29

Fonte: elaborado pelo autor.

Valores para ensaio de absorção da mistura 3.

Mistura 3	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	Ev (%)	V (cm ³)	V0 (cm ³)	V1 (cm ³)	P (%)
CP1	284,60	334,70	164,90	17,60	169,80	50,10	119,70	29,51
CP2	291,62	342,20	168,36	17,34	173,84	50,58	123,26	29,10
CP3	266,78	313,79	155,35	17,62	158,44	47,01	111,43	29,67
CP4	351,51	413,43	208,49	17,62	204,94	61,92	143,02	30,21
CP5	292,60	341,65	171,15	16,76	170,5	49,05	121,45	28,77
Média	-	-	-	17,39	-	-	-	29,45

Fonte: elaborado pelo autor.

Valores para ensaio de absorção da mistura 4.

Mistura 4	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	Ev (%)	V (cm ³)	V0 (cm ³)	V1 (cm ³)	P (%)
CP1	319,81	395,96	185,69	23,81	210,27	76,15	134,12	36,22
CP2	303,11	374,75	176,09	23,63	198,66	71,64	127,02	36,06
CP3	432,91	535,95	250,55	23,80	285,40	103,04	182,36	36,10
CP4	387,71	476,07	226,38	22,79	249,69	88,36	161,33	35,39
CP5	315,80	387,64	184,52	22,75	203,12	71,84	131,28	35,37
Média	-	-	-	23,36	-	-	-	35,83

Fonte: elaborado pelo autor.

Valores para ensaio de absorção da mistura 6.

Mistura 6	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	Ev (%)	V (cm³)	V0 (cm³)	V1 (cm³)	P (%)
CP1	268,63	324,25	161,31	20,71	162,94	55,62	107,32	34,14
CP2	245,70	294,41	142,03	19,82	152,38	48,71	103,67	31,97
CP3	279,70	332,42	165,45	18,85	166,97	52,72	114,25	31,57
CP4	305,47	367,13	180,12	20,19	187,01	61,66	125,35	32,97
CP5	367,46	437,00	215,77	18,92	221,23	69,54	151,69	31,43
Média	-	-	-	19,70	-	-	-	32,42

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE C - RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DOS ATAQUES QUÍMICOS