



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

BRENDA NAZARÉ DE CASTRO CORRÊA

**HISTÓRIA E TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS NA AZULEJARIA HISTÓRICA
DO CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE (BELÉM-PA)**

BELÉM – PA

2024

BRENDA NAZARÉ DE CASTRO CORRÊA

**HISTÓRIA E TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS NA AZULEJARIA HISTÓRICA
DO CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE (BELÉM-PA)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural
– PPGPatri, da Universidade Federal do Pará
– UFPA.

Linha de Pesquisa: Tecnologias do Patrimônio.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Máximo Silva
Loureiro.

Coorientadora: Profa. Dra.^a Thais Alessandra
Bastos Caminha Sanjad.

BELÉM – PA

2024

BRENDA NAZARÉ DE CASTRO CORRÊA

**HISTÓRIA E TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS NA AZULEJARIA HISTÓRICA
DO CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE (BELÉM-PA)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Patrimônio Cultural.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre M. Silva Loureiro.
Coorientadora: Profa. Dra.^a Thais Alessandra Bastos Caminha Sanjad.

Data da aprovação 05/07/2024

Banca examinadora

Prof. Dr. ALEXANDRE MÁXIMO SILVA LOUREIRO – Orientador – UFPA
Presidente da Banca Examinadora

Profa. Dra. THAIS ALESSANDRA B. CAMINHA SANJAD – Coorientadora – UFPA
Membro Interno

Profa. Dra. FLÁVIA OLEGÁRIO PALÁCIOS – UFPA
Membro Interno

Profa. Dra. ELIANE APARECIDA DEL LAMA – USP
Membro Externo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C824h Corrêa, Brenda Nazaré de Castro.

História e tecnologia das argamassas na azulejaria histórica do
Cemitério Nossa Senhora da Soledade (Belém-Pa)/ Brenda Nazaré de
Castro Corrêa. — 2024.
163 f.: il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Alexandre Máximo Silva Loureiro
Coorientação: Prof^a. Dra. Thais Alessandra Bastos Caminha
Sanjad

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências
do Patrimônio Cultural, Belém, 2024.

1. ligantes tradicionais; cal; ligante hidráulico; Restauro;
necrópole; Amazônia. I. Título.

CDD 341.3490981

À minha sobrinha, Eloá Vitória.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Liduina Castro, por me proporcionar a dádiva da vida e privilégio dos estudos. Por todo exemplo de luta, resiliência e força, por sempre ter incentivado meus sonhos. À minha vó, Maria Augusta, que considero minha segunda mãe, por todo amor, carinho e ensinamentos de vida.

Ao Lucas, pelo companheirismo, paciência e inúmeros conselhos. Por ouvir inúmeros desabafos, choros e entusiasmos ao longo dessa jornada acadêmica. Por acreditar em mim.

Ao meu orientador, Alexandre Máximo, a quem considero carinhosamente como *pai acadêmico*, por todo apoio e esforços realizados em prol da minha pesquisa e vida acadêmica/profissional. Por ter me incentivado a ser livre pra fazer minhas próprias escolhas de pesquisa. À minha coorientadora, professora Thais Sanjad, por todo conhecimento, experiência e oportunidades concedidas.

Aos professores do programa de pós-graduação/LACORE: Amanda Loureiro, Flávia Palácios, Roseane Norat, Mayra Martins e Carolina Gester, por todos os ensinamentos, contribuições de pesquisa e experiências compartilhadas ao longo desses anos.

Aos meus amigos, Thainá e João Markus por terem sido os primeiros com quem tive contato ao ingressar no programa, por toda cumplicidade, risos e conversas. Por terem me auxiliado na preparação de algumas amostras e análises realizadas.

Ao meu trio, Lorena e JV, por estarem comigo em todas as temporadas, arcos, enredos e em quase todos os episódios e cenas. Vocês ressignificaram o conceito de amizade pra mim. Sem vocês toda a jornada teria sido diferente.

Aos meus ex-finados, Yasmim, Ana Bea, Larisse, Messias, Aymêe e Suzete, por todos os momentos e vivências compartilhados no cemitério/mercedários.

À Beth e Luiza que chegaram no último arco, mas conquistaram um lugar especial no meu coração.

Aos funcionários dos mercedários, Natássia, kleyci, Edivany e Ian por todo o apoio, risos e momentos trocados pedindo café. Agradeço especialmente a Fran por todo auxílio e conversas compartilhadas nas incontáveis horas de ensaios e atividades realizadas no hall do auditório.

À professora Eliana Del Lama por aceitar me receber durante a jornada de estudos na USP, por todo conhecimento, solicitude e paciência. Por ter me ensinado o que é petrografia, a manusear um microscópio petrográfico, por ter viabilizado/acompanhado a preparação/caracterização microscópica das minhas amostras, além de me levar pra conhecer os cemitérios em São Paulo.

Ao Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação (LACORE/UFPA), onde venho atuando como bolsista em projetos de extensão direcionados a área de Conservação e Restauo.

Ao Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações (LAMIGA), do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA) onde as análises de DRX, MEV e microscopia Petrográfica foram realizadas. Agradeço especialmente ao Pablllo Santos por ter executado e auxiliado tais análises.

Ao Laboratório de Petrografia Sedimentar (LABPETRO) e Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LabMev), ambos do Instituto de Geociências da USP pela realização preparação/caracterização microscópica de algumas amostras deste estudo.

Ao Laboratória de Engenharia Civil (LEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA), onde a caracterização mecânica desta pesquisa foi realizada. Agradeço especialmente ao professor Marcelo Picanço por ter viabilizado esse ensaio e ao Jorge, bolsista PIBIC, pelo auxílio na preparação e execução.

Ao IPHAN, DEPHAC/SECULT e FUMBEL cuja parceria firmada para o projeto de Restauo do Cemitério da Soledade viabilizou a coleta para o desenvolvimento desta pesquisa.

A FADESP e FAPESPA pela bolsa de mestrado.

RESUMO

O antigo Cemitério Nossa Senhora da Soledade é considerado o primeiro cemitério público oficial da cidade de Belém do Pará, sendo inaugurado em 1850 em um contexto marcado por crises epidêmicas na região. Devido à urgência de sua construção a necrópole recebeu melhorias a partir de 1853 que perdurou ao longo de décadas, sobretudo durante o período áureo da borracha. Esse período possibilitou a importação de materiais de alta qualidade para produção de uma arquitetura mortuária inspirada em cemitérios europeus do século XIX. Além disso, o cemitério continuou passando por transformações e reformas no início do século XX durante o governo de Intendentes belenenses. Dessa forma, a arquitetura monumental e rica em simbolismos fúnebres pode ser caracterizada a partir de dois períodos distintos: 1) século XIX (desde a inauguração até a belle-époque caracterizado principalmente pela importação de materiais europeus); 2) século XX (com o início da produção brasileira a partir de inúmeros materiais empregados na necrópole). Assim, a azulejaria histórica do Soledade também segue essa lógica, sendo possível observar como os componentes de seu sistema construtivo (azulejo/argamassa/suporte) apresentam características distintas em função do período de produção. As diferentes camadas de argamassas aplicadas à azulejaria constituem importantes componentes do sistema, além de servirem como testemunhas da história do Cemitério da Soledade em função de seus aspectos tecnológicos e documentais. Apesar disso, tais argamassas se encontram em diversos estágios de deterioração devido aos processos de alterações contínuos ao longo de décadas. As degradações recorrentes representam riscos não apenas para a salvaguarda dos exemplares de argamassas, mas também a descaracterização do sistema construtivo das azulejarias históricas. Considerando tudo isso, este trabalho visou investigar as argamassas aplicadas na azulejaria histórica do Cemitério Nossa Senhora da Soledade abordando desde aspectos históricos e teóricos até a caracterização física, química e mineralógica dos diferentes tipos de argamassa e de seus sistemas construtivos. Para isso, considerou os componentes do sistema argamassa/azulejo e a caracterização propriamente dita das argamassas. Assim, a abordagem metodológica foi executada em duas etapas: 1) estudo dos sistemas construtivos das tipologias azulejadas por meio de levantamento/mapeamento dos exemplares existentes no cemitério, seguido de documentação, descrição e investigação histórica; 2) investigação laboratorial a fim de caracterizar física, química e mineralogicamente, assim como analisar suas propriedades físicas e mecânica das argamassas selecionadas. Os resultados geraram um capítulo de livro e dois diferentes

artigos: 1) Capítulo de livro teórico-tecnológico sobre os diferentes contextos de aplicação das argamassas empregadas na arquitetura mortuária do Soledade; 2) artigo tecnológico de investigação das argamassas de assentamento da azulejaria; 3) artigo tecnológico de investigação de argamassas de assentamento e preparação de base aplicadas na azulejaria. Neles foram discutidos as características distintas das argamassas em função dos séculos supracitados, sendo possível inferir e simular a transformação desses materiais e suas tecnologias ao longo do tempo. As principais conclusões dessa dissertação constataram que os tipos de argamassas investigadas podem ser classificadas de acordo com: a) tipo de ligante empregado (cal aérea, pozolana ou cimento Portland); b) função (assentamento, preenchimento, preparação de base, revestimento, etc.); c) técnica de aplicação (monocamada ou multicamadas). Além disso, foi verificado que características e propriedades são diretamente influenciadas por fatores como: a) desempenho individual da argamassa; b) desempenho como componente do sistema argamassa/azulejo/substrato; c) microclima; d) processos de alterações; e) ações antrópicas. A raridade e complexidades dos espécimes e tecnologias encontradas corroboram para o reconhecimento das argamassas aplicadas no Soledade como bens culturais relevantes que devem ser preservados por meio de ações de manutenção, conservação e restauração baseadas em estudos aprofundados na Ciência do Patrimônio e em teorias do restauro.

Palavras-chave: ligantes tradicionais; cal; ligante hidráulico; Restauro; necrópole; Amazônia.

ABSTRACT

The old Nossa Senhora da Soledade Cemetery is considered the first official public cemetery in the city of Belém do Pará, having been inaugurated in 1850 in a context marked by epidemic crises in the region. Due to the urgency of its construction, the necropolis received improvements from 1853 onwards, which lasted for decades, especially during the golden age of rubber. This period made it possible to import high-quality materials for the production of mortuary architecture inspired by 19th-century European cemeteries. In addition, the cemetery continued to undergo transformations and renovations in the early 20th century during the government of the Intendentes from Belém. Thus, the monumental architecture rich in funerary symbolism can be characterized from two distinct periods: 1) the 19th century (from the inauguration to the belle-époque, characterized mainly by the importation of European materials); 2) the 20th century (with the beginning of Brazilian production using numerous materials used in the necropolis). Thus, the historic tiles of Soledade also follow this logic, and it is possible to observe how the components of its construction system (tile/mortar/support) present distinct characteristics depending on the production period. The different layers of mortar applied to the tiles constitute important components of the system, in addition to serving as a witness to the history of the Soledade Cemetery due to their technological and documentary aspects. Despite this, such mortars are in various stages of deterioration due to continuous alteration processes over decades. Recurrent degradation poses risks not only to the safeguarding of the mortar specimens, but also to the loss of character of the construction system of the historic tiles. Considering all this, this work aimed to investigate the mortars applied to the historic tiles of the Nossa Senhora da Soledade Cemetery, addressing everything from historical and theoretical aspects to the physical, chemical and mineralogical characterization of the different types of mortar and their construction systems. To this end, the components of the mortar/tile system and the characterization of the mortars themselves were considered. Thus, the methodological approach was carried out in two stages: 1) study of the construction systems of the tiled typologies by means of surveying/mapping the existing specimens in the cemetery, followed by documentation, description and historical investigation; 2) laboratory investigation in order to characterize the selected mortars physically, chemically and mineralogically, as well as to analyze their physical and mechanical properties. The results generated a book chapter and two different articles: 1) a theoretical-technological book chapter on the different contexts of application of the mortars used in the mortuary architecture of Soledade; 2) a technological article investigating the mortars used for laying

tiles; 3) a technological article investigating the mortars used for laying and preparing the base for tiles. The different characteristics of mortars were discussed in the aforementioned centuries, making it possible to infer and simulate the transformation of these materials and their technologies over time. The main conclusions of this dissertation were that the types of mortars investigated can be classified according to: a) type of binder used (aerial lime, pozzolan or Portland cement); b) function (laying, filling, base preparation, coating, etc.); c) application technique (single or multilayer). In addition, it was found that characteristics and properties are directly influenced by factors such as: a) individual performance of the mortar; b) performance as a component of the mortar/tile/substrate system; c) microclimate; d) alteration processes; e) anthropic actions. The rarity and complexity of the specimens and technologies found corroborate the recognition of the mortars used in Soledade as relevant cultural assets that must be preserved through maintenance, conservation and restoration actions based on in-depth studies in Heritage Science and restoration theories.

Keywords: traditional binders; lime; hydraulic binder; Restoration; necropolis; Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Alameda central do cemitério Nossa Senhora da Soledade	15
Figura 2 – Túmulos azulejados no cemitério da Soledade em 2022	16
Figura 3 – Exemplo de dano presente num azulejo.....	17
Figura 4 – Tipos de argamassas aplicadas nas sepulturas azulejadas do Soledade	18
Figura 5 – Danos encontrados em argamassas históricas.....	24
Figura 6 – Exemplo de biodeterioração em argamassa	26
Figura 7 – Sistema argamassa/azulejo/substrato	27
Figura 8 – Organograma da abordagem metodológica.	31
Figura 9 – Localização do antigo Cemitério Nossa Senhora da Soledade.	32
Figura 10 – Sepulturas analisadas	34
Figura 11 – Organograma do Materiais e Métodos do artigo tecnológico 01.....	37
Figura 12 – Organograma do Materiais e Métodos do artigo tecnológico 02.....	38
Figura 13 – Documentação de azulejos do Soledade	39
Figura 14 – Ensaio de granulometria.....	40
Figura 15 – Ensaio de resistência à compressão.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das amostras avaliadas	36
---	----

LISTA DE SIGLAS

AZPA: Fábrica de Azulejos do Pará

B5: Túmulo B5

B7: Túmulo B7

B15: Túmulo B15

B24: Túmulo B24

B25: Túmulo B25

B43: Mausoléu B43

B44: Sepultura B44

CEN: Comitê Europeu de Normalização

CC: Coeficiente de Curvatura

C3: Túmulo C3

C24: Túmulo C24

C26: Túmulo C26

DRX: Difração de Raios-X

EN: Norma Europeia

FADESP: Fundação Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa

FRX: Fluorescência de Raios-X

F39: Túmulo F39

IASA: Indústria de Azulejos S.A.

IPHAN: Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

K22: Túmulo K22

LABCIM /UFPA: Laboratório de Materiais Cimentícios

LabMev/USP: Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura

LABPETRO/USP: Laboratório de Petrografia Sedimentar

LEC/UFPA: Laboratório de Engenharia Civil

LACORE: Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação

LAMIGA: Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações

PPGPatri: Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural

SECULT/PA: Secretaria de Estado de Cultura do Estado do Pará

UFPA: Universidade Federal do Pará

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1. ARGAMASSAS HISTÓRICAS À BASE DE CAL AÉREA	20
2.3. ARGAMASSAS À BASE DE LIGANTES HIDRÁULICOS	21
2.4. PRINCIPAIS PROCESSOS DE ALTERAÇÕES DE ARGAMASSAS HISTÓRICAS 23	
2.5. SISTEMA AZULEJO/ARGAMASSA/SUBSTRATO	26
3. ABORDAGEM METODOLÓGICA	31
3.1. PESQUISA IN LOCO	31
1) Mapeamento da arquitetura mortuária azulejada	31
2) Definição e coleta das amostras	33
3.2. INVESTIGAÇÃO HISTÓRICO-DOCUMENTAL	34
1) Pesquisa histórica de referências primárias e secundárias	34
2) Reflexões segundo a teoria do Patrimônio cultural	35
3.3. INVESTIGAÇÃO LABORATORIAL	35
1) Caracterização física, química e mineralógica	38
2) Determinação de propriedades físicas e mecânica	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1. CAPÍTULO DE LIVRO: ARGAMASSA, PEDRA E CAL: TIPOS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS USADAS NA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO ANTIGO CEMITÉRIO DE NOSSA SENHORA DA SOLEDADE	15
4.2. ARTIGO 1: INVESTIGAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE AZULEJOS HISTÓRICOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE: CARACTERÍSTICAS E HERANÇA CULTURAL LUSO-BRASILEIRA	30
4.3. ARTIGO 2: INVESTIGATION OF MORTARS FROM HISTORICAL TILES IN THE MORTUARY ARCHITECTURE OF THE NOSSA SENHORA DA SOLEDADE CEMETERY: CHARACTERISTICS AND LUSO-BRAZILIAN CULTURAL HERITAGE	43
5. CONCLUSÕES	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
APÊNDICES	123
APÊNDICE I – FICHAS DE DOCUMENTAÇÃO	123
APÊNDICE II – MAPEAMENTO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS AZULEJADOS	156

1. 1INTRODUÇÃO

O antigo Cemitério Nossa Senhora da Soledade (Figura 1), inaugurado em 1850, é considerado a primeira necrópole pública oficial de Belém do Pará. Devido a inspiração em cemitérios românticos europeus do século XIX, o cemitério apresenta características monumentais como arquitetura mortuária imponente e configuração espacial ampla e arborizada (Caluff, 2014).

Figura 1 – Alameda central do cemitério Nossa Senhora da Soledade a partir da perspectiva da capela.



Fonte: Edição F. A. Fidanza – Álbum de Belém – 1902.

Em 1964, o Soledade foi tombado como Conjunto Paisagístico Nacional pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), sendo também tombado na esfera municipal por meio da Lei Municipal nº 7709, de 18 de maio de 1994. Assim, a arquitetura mortuária e o amplo acervo de bens integrados do cemitério também foram reconhecidos como bens de interesse cultural. Entre os mais diversificados materiais empregados nessa arquitetura encontram-se os azulejos que compõem um acervo rico em valores artísticos-culturais reconhecidos local e nacionalmente, com exemplares produzidos durante o século

XIX importados da Europa (Figura 2a), assim como azulejos de fabricação nacional de meados do século XX (Figura 2b) (Mendes, 2015).

Nesse sentido, a azulejaria do Soledade também se configura como uma grande fonte documental, histórica e tecnológica por representar técnicas e materiais empregados nos períodos citados.

Figura 2 – Túmulos azulejados encontrados no cemitério da Soledade em 2022: a) M18 com azulejos de fabricação europeia (século XIX); b) F39 com azulejos brasileiros do século XX.



Fonte: autora, 2022.

Do mesmo modo, é necessário considerar todo o sistema da azulejaria mortuária: base ou substrato (alvenaria), azulejo e argamassa. A argamassa sendo um importante componente desse sistema, que dependendo da função, pode ser responsável pela ligação entre o revestimento (azulejo) e o substrato (Botas *et al.*, 2020), assim como regularizar a base ou até mesmo nivelar (preencher) vazios entre o solo e o substrato. Portanto, as argamassas exercem grande influência no resultado, cujo desempenho ocorre em função da matéria-prima e técnica de preparo utilizadas em sua produção, além do contexto ambiental na qual está inserida.

Além disso, é natural que após décadas o sistema como um todo, assim como as argamassas, apresentem diferentes tipos de deteriorações causadas por processos de alterações recorrentes, como a exposição às intempéries e outros agentes externos, principalmente antrópicos; além do próprio envelhecimento natural das matérias-primas ao longo dos anos (Botas; Veiga; Velosa, 2017).

A falta de adesão entre componentes do sistema (Figura 3), a perda de esmalte da camada vitrificada da azulejaria histórica e a posterior fragilização do corpo cerâmico dos azulejos são produtos de alterações recorrentes que podem prejudicar a função do revestimento de proteger as estruturas (Botas *et al.*, 2020; Sanjad *et al.*, 2014). Além disso, também podem prejudicar esteticamente todo o sistema e, ainda, ocasionar acidentes caso os destacamentos situem-se em alturas elevadas e onde haja fluxo de pessoas.

Figura 3 – Lacuna no azulejo causada por destacamento, túmulo C26.



Fonte: autora, 2022.

Sendo assim, a azulejaria histórica presente no Soledade enfrenta duas variáveis que contribuem expressivamente no desencadeamento de seus danos patológicos: a ação do tempo e o clima peculiar da cidade. O intemperismo tropical (com elevadas temperaturas e índices de umidade) de Belém favorece processos de alterações que afetam diretamente o azulejo e as argamassas. A ação microbiológica ocorre a partir da perda da camada de esmalte e posterior fragilização do corpo cerâmico dos azulejos (Sanjad *et al.*, 2014). Além de prejudicar o revestimento, a ação do intemperismo também favorece outros processos de alterações que podem prejudicar o desempenho das argamassas de assentamento, levando a

problemas como a falta de adesão entre a argamassa e o azulejo e/ou entre a argamassa e o substrato (Botas *et al.*, 2020).

Em muitos casos, o nível de degradação não torna possível a conservação dos materiais originais, sendo necessárias ações de restauração como a substituição das cerâmicas históricas por outras modernas (Costa *et al.*, 2016), e conseqüentemente a substituição da argamassa de assentamento.

As argamassas aplicadas à azulejaria do Soledade podem ser classificadas em dois tipos em função de seu período de produção: 1) argamassas do século XIX; 2) argamassas século XX.

Loureiro *et al.* (2020) dizem que de maneira geral, as argamassas históricas de revestimento empregadas em Belém e produzidas no século XVIII e XIX são majoritariamente à base de cal aérea, as quais podem conter pequeno teor de material pozzolânico, sendo um material que apresenta aspecto de mistura não homogênea de cor amarronzada em função do agregado empregado possuindo nódulos de cal e fragmentos de conchas distribuídos em uma matriz calcárea (Figura 4a).

Figura 4 – a) amostra de argamassa do século XIX; b) argamassa do século XX ainda assentada no azulejo



Fonte: autora, 2022.

Já as argamassas do século XX (Figura 4b) foram produzidas dentro do contexto de utilização das primeiras argamassas de ligante hidráulico, como o cimento Portland. Logo,

as duas argamassas apresentam características e propriedades distintas, sendo uma tarefa difícil produzir materiais que atinjam propriedades semelhantes ao material original e, por isso, pode ocorrer incompatibilidade entre o material novo e o antigo, levando ao aceleramento da deterioração do conjunto.

Considerando o objetivo de salvaguardar o patrimônio cultural que envolve tal sistema é importante planejar estratégias de intervenção para cada caso a fim de prolongar sua vida útil em bom estado de conservação sem interferir na sua autenticidade. Nesse caso, é necessário o desenvolvimento de novas argamassas para serem utilizadas em intervenções de restauro para reforçar o assentamento entre azulejos antigos e a base construída que apresenta perda de adesão e, também, para o assentamento de réplicas de azulejos onde há ausência das peças originais.

Para isso, um eficiente estudo de investigação das argamassas de assentamento é essencial para avaliar as características e propriedades do material, o seu estado de conservação, as principais matérias-primas empregadas e técnicas produção utilizadas para assim propor soluções compatíveis (Magalhães; Veiga, 2009). Do contrário, as consequências podem ir desde a aceleração dos processos de alterações prejudiciais até a descaracterização do patrimônio cultural.

Contudo, é comum no meio acadêmico um grande volume de pesquisas voltadas para a caracterização de argamassas históricas à base de cal enquanto poucas abordaram o estudo de argamassas de assentamento de azulejos (Romero; Dupuy; Quiñones, 2012) e menos ainda tratam de argamassas de assentamento de cimento Portland produzidas no início do século XX.

Assim, a presente pesquisa teve como objetivo principal investigar as argamassas aplicadas na azulejaria histórica do Cemitério Nossa Senhora da Soledade abordando desde aspectos históricos e teóricos até a caracterização física, química e mineralógica dos diferentes tipos de argamassa e de seus sistemas construtivos.

A estruturação dos objetivos específicos ocorreu da seguinte forma: a) atualizar o mapeamento das sepulturas azulejadas e documentar (mapear) as argamassas aplicadas nessas sepulturas; b) descrever o sistema construtivo das sepulturas azulejadas assentadas com argamassas do século XIX e XX, bem como a investigação histórica; c) determinar as principais características e propriedades das argamassas históricas aplicadas; d) discutir os resultados obtidos de acordo com as teorias do restauro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ARGAMASSAS HISTÓRICAS À BASE DE CAL AÉREA

A argamassa histórica, antiga ou tradicional foi um dos materiais mais utilizados ao longo da história da humanidade. O conceito, uso e composição desse material vem passando por modificações ao longo do tempo, resultando em diferenças consideráveis quando comparadas às argamassas da atualidade.

Segundo Santiago (2007), nem sempre se adotou como composição básica das argamassas a mistura entre agregados miúdos, ligante e água, sendo comum que as argamassas de outrora apresentassem ingredientes como pozolana, materiais cerâmicos pulverizados, óleo, cinzas, gordura, sangue, etc. De uma forma geral, o ligante (ou aglomerante) era sempre o denominador comum entre as argamassas históricas e contemporâneas.

A cal foi o principal aglomerante utilizado ao longo da história até meados do século XIX quando Cimento Portland foi patenteado e comercializado, se tornando gradativamente o aglomerante mais consumido nos dias de hoje. Alguns autores, como Veiga (2017) defendem que a cal pode contar a história da construção, em muitas partes do mundo, como talvez nenhum outro possa. Seu emprego ocorreu desde períodos imemoriais cujos os primeiros registros foram encontrados nos tratados arquitetônicos de Vitruvius (Santiago, 2012). Embora muitos problemas de tradução fossem frequentes, os textos desse autor foram tidos como referência por séculos e isto se reflete em construções históricas que apresentam as diretrizes indicadas. Um dos vestígios mais antigos do uso da cal como ligante data de 12.000 a.c, onde foi aplicada em piso de um terraço na Turquia.

Para Kanan (2008) as argamassas tradicionais à base de cal podem ser classificadas de acordo com seu uso e composição. Em relação ao uso eram utilizadas predominantemente para assentar tijolos, pedras e outros elementos de alvenarias (função estrutural); revestir paredes e outros substratos (função de sacrifício ou proteção); e compor elementos arquitetônicos como estuques (função estética ou decorativa).

Quanto a composição, as argamassas podem ser de cal aérea ou hidráulica, podendo em ambos os casos ter como matéria-prima rochas carbonáticas, como o carbonato de cálcio (CaCO_3), ou material orgânico marinho, como conchas, corais, esqueleto de animais marinhos, etc. No caso da cal aérea a matéria-prima era calcinada em fornos artesanais em temperatura de aproximadamente 900°C até se obter a cal viva (CaO), que são grãos de

estrutura porosa, que após o processo de hidratação se tornavam uma pasta chamada de cal hidratada (Ca(OH)_2). Essa pasta era então misturada ao agregado, geralmente areia quartzosa ou outros agregados da localidade, e água. Seu processo de endurecimento era lento e ocorria por reação com o dióxido de carbono (CO_2).

A argamassa de cal hidráulica também apresenta carbonato de cálcio (CaCO_3) em sua composição, porém com teores de impurezas consideráveis, como materiais argilosos, silicatos e aluminatos que conferiam propriedades de resistência a água, com a cura ocorrendo em função do contato com ar e água.

Além disso, as argamassas à base de cal apresentam propriedades essenciais que quando combinadas mantêm seu bom desempenho nas construções ao longo dos séculos (Kanan, 2008): A alta porosidade e permeabilidade, baixo módulo de elasticidade e baixa resistência mecânica e boa durabilidade são as principais propriedades desse material. A elevada porosidade e permeabilidade estão vinculadas a comportamentos higroscópicos que a cal tem em relação à água em estado líquido e gasoso, que permite que esse líquido adentre no interior das argamassas e evapore eficientemente, deixando o sistema construtivo respirar sem reter umidade em excesso. A cura lenta que as argamassas de cal têm permite que a pasta seja mais flexível em relação às movimentações mecânicas feitas pela estrutura do sistema construtivo. Essa flexibilidade somada a resistência mecânica confere boa durabilidade ao sistema diante a processos de alterações.

Apesar disso, Veiga (2009) aponta que muitos autores defendem que um bom comportamento e durabilidade das argamassas estejam relacionados diretamente a fatores como boa qualidade dos materiais empregados, assim como proporções adequadas e cuidados no preparo, mistura e aplicação.

2.3. ARGAMASSAS À BASE DE LIGANTES HIDRÁULICOS

Apesar da predominância da cal aérea como ligante de argamassas históricas, sua aplicação apresentava restrições em ambientes expostos à água, como cisternas e aquedutos. Nesses casos a cal hidráulica ou cimentos naturais eram consideravelmente utilizados como substitutos a partir dos séculos XVII e XIX. Com o surgimento do Cimento Portland no início do século XIX, a cal foi sendo substituída gradativamente por esse ligante hidráulico, inicialmente em argamassas mistas (argamassa de cal e Cimento Portland) de reparo e assentamento, até compor argamassas de revestimento. Esse processo levou décadas até se generalizar como principal aglomerante de argamassas de construções de Portugal a partir

da segunda metade do século XX, e partir da década de 1960 em edificações brasileiras (Japiassú, 2011).

De acordo com Palomo *et al.* (2002), os constituintes presentes nas argamassas de cal hidráulica, como silicatos e aluminatos, presentes em sua matéria-prima provocam uma interação diferenciada com a água quando comparada às argamassas de cal aérea. Tal interação é de natureza hidráulica e forma compostos hidratados que conferem as seguintes propriedades comparativas: maior trabalhabilidade; maior deformabilidade devido ao baixo módulo de elasticidade; alta permeabilidade a água; além de menor aparecimento de eflorescência salina devido menor presença de sais solúveis. Além disso, Vicat apontava que a hidráulica da cal era proporcional a porcentagem de argila presente no calcário, assim como porcentagens superiores a 20% em argila era marcada como uma espécie de fronteira entre esse tipo de argamassa e os cimentos naturais.

O cimento Portland é um material fabricado a partir da mistura entre calcário e argilominerais (ricos em sílica, alumina e óxido de ferro) que é moída e calcinada para a obtenção do clínquer. Na sequência, o clínquer passa por um processo de moagem com adição de gipsita (sendo a mais utilizada por regular o tempo de pega do cimento), pozolana ou escória até atingir finura e homogeneidade adequadas para a comercialização. O contato entre a água e os componentes presentes no cimento produzem um gel chamado Silicato de cálcio hidratado (CSH), que se torna rígido e duro com o passar do tempo, tendo baixa solubilidade em água. Além disso, a pasta de cimento hidratada apresenta características como boa estabilidade de volume, não retraindo tanto quanto as argamassas de cal em seu processo de cura; resistência à agressão química; boa durabilidade quando bem compactada; e elevada resistência mecânica (Palomo *et al.*, 2002).

A pozolana, material presente nas argamassas pozolânicas, se configura como um material de estrutura amorfa, ou parcialmente cristalina, composto por sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) reativas, que na presença d'água e em temperatura ambiente reagem com o Ca(OH)_2 formando silicatos de cálcio hidratados (Kanan, 2008). Essa reação hidráulica, que também forma o gel CSH, produz uma argamassa com pega mais rápida e melhor resistência a água, além de boa resistência mecânica e menor módulo de elasticidade quando comparados às argamassas de cal aérea (Palomo *et al.*, 2002).

2.4. PRINCIPAIS PROCESSOS DE ALTERAÇÕES DE ARGAMASSAS HISTÓRICAS

O estado de conservação das argamassas provém de uma somatória de interações internas e externas que ocorrem ao longo do tempo. Dentre essas interações existem alterações extrínsecas — como intemperismo, ações antrópicas, catástrofes naturais, etc — e intrínsecas — comportamento do material durante sua vida útil, envelhecimento natural, etc — ocorrendo em níveis químicos, físicos, mecânicos e biológicos de forma isolada ou simultânea.

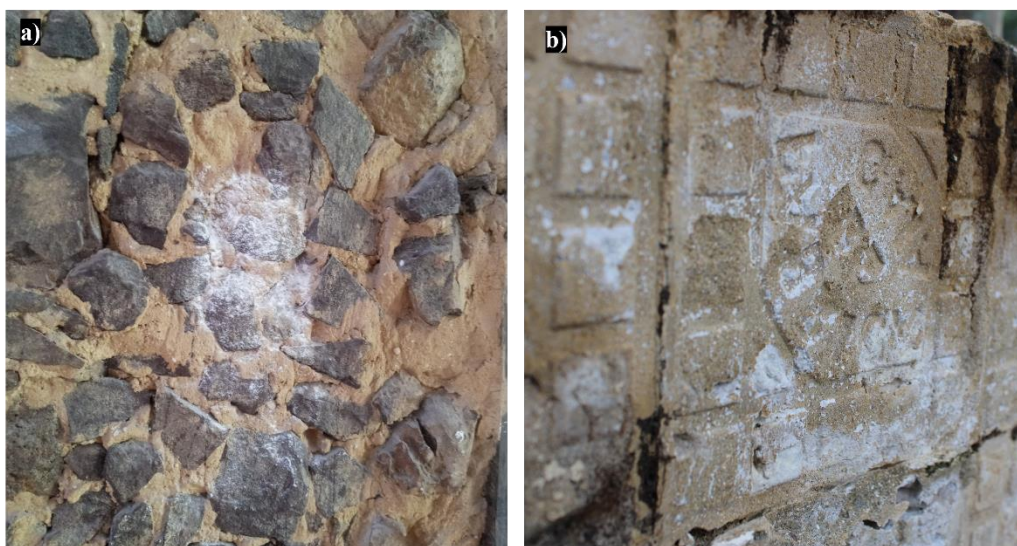
Considerando que esses processos apresentam diferentes graus de complexidade, é difícil estabelecer uma classificação ordenada dos mecanismos e deterioração das argamassas. Sendo assim, os principais processos de alterações apontados neste texto foram os seguintes: eflorescência salina, umidade, dissolução/lixiviação, aumento de porosidade, envelhecimento e perda de adesão.

Para Kanan (2008) a água é um dos principais agentes de degradação das argamassas à base de cal, pois pode provocar a dissolução e lixiviação dos componentes do material. Além dela, os sais e os compostos orgânicos, quando atuam conjuntamente, também tendem a provocar processos de alterações frequentes. A água pode transportar corpos estranhos para o interior das argamassas, como sais solúveis e insolúveis, sujidades, micro-organismos e compostos inorgânicos, que podem ser provenientes do solo, dos próprios materiais de construção utilizados na mistura, do ar, etc. A presença desses corpos estranhos tende desencadear uma série de alterações nas argamassas, como a eflorescência salina e umidade. Ambas são manifestações patológicas que, no caso das argamassas, estão ligadas às suas propriedades higroscópicas e alta porosidade. A grande quantidade de poros presentes nas argamassas à base de cal permite que água penetre em seu interior, por lá se movimente e em seguida evapore.

A eflorescência salina (Figura 5a) consiste num acúmulo de sais solúveis cristalizados (cloretos, nitratos e sulfatos) na superfície (eflorescência) ou no interior dos poros da argamassa (criptoflorescência). A precipitação ocorre após a evaporação da água, ou mesmo sem a presença dela por meio da higroscopicidade dos sais. Inúmeros ciclos de dissolução e precipitação consecutivos podem ocasionar a expansão dos sais acumulados, causando a ruptura dos poros das argamassas. Além de ocasionar fissuras, destacamentos, manchas úmidas e esbranquiçadas na superfície do material (Loureiro *et al.*, 2015).

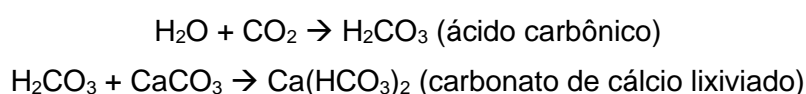
Já a umidade ocorre em função do excesso de água no interior dos poros, o que pode ocasionar sua saturação impedindo que o gás carbônico se dilua em água e se transforme em ácido carbônico, condição essencial para o processo de carbonatação do hidróxido de cálcio (Veiga, 2017). Isso pode contribuir para um retardamento da recristalização da calcita e desenvolvimento da durabilidade da argamassa. Além disso, o excesso de água também pode contribuir para que ocorram diferentes tipos de reações químicas entre os corpos estranhos transportados pela água, assim como o desenvolvimento de biodeterioração. A umidade se manifesta por meio de manchas em função da capilaridade ascendente, infiltrações ou condensação.

Figura 5 – a) sais cristalizados na superfície da argamassa; b) ligante lixiviado na superfície das argamassas.



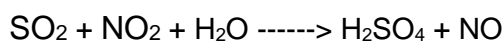
Fonte: autora, 2023

Ainda, a água também pode estar ligada à lixiviação do ligante (Figura 5b) e posterior aumento da porosidade da argamassa, pois quando o H₂O proveniente do solo, da chuva, do vapor de água e umidade, contém CO₂ dissolvido, se torna uma solução ácida, H₂CO₃, que ao reagir com o CaCO₃, cujo pH básico, tende a atingir o equilíbrio por meio da dissolução do CaCO₃ (equação 1).



O aumento da porosidade desencadeia o aumento da permeabilidade da argamassa, o que pode provocar a diminuição da sua capacidade de ligação, e conseqüentemente a diminuição de sua resistência mecânica e aumentando sua exposição a ataques de agentes agressores. Além disso, tal processo também pode ocasionar efeitos estéticos negativos nas argamassas, visto que o $(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)$ tende a se precipitar na superfície do material, numa espécie de eflorescência de CaCO_3 (Palomo *et al.*, 2002).

Outro mecanismo de alteração importante é a poluição atmosférica, que ocorre por meio da reação dos constituintes das argamassas com os poluentes presentes na atmosfera, sendo os principais o dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2) e dióxido de carbono (CO_2). Segundo Veiga (2009), tal interação ocorre por via seca, quando os poluentes se depositam nas superfícies das argamassas, ou principalmente por via úmida em função da chuva ácida. As reações produzem sais solúveis, como sulfatos, nitratos e principalmente bicarbonatos, que podem trazer conseqüências semelhantes aos provocados pela eflorescência salina: aumento dos poros, dissolução do CaCO_3 , e aumento da pressão interna na estrutura porosa. Palomo *et al.* (2002) aponta que embora o SO_2 seja o poluente mais agressivo dentre os citados acima, há comprovações sobre a junção entre SO_2 e NO_2 capaz de formar uma sinergia que provoca aumento exponencial da reação:



O ácido sulfúrico (H_2SO_4), por sua vez, ao reagir com o CaCO_3 , tem como neoformação a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) (Veiga, 2009).

A biodeterioração (Figura 6) ocorre em função de interações bioquímicas e biológicas entre organismos vivos e os constituintes das argamassas. No caso das argamassas à base de cal, tal processo de alteração é favorecido pela alta porosidade, composição orgânica e permeabilidade que tendem a provocar a retenção d'água no material, criando condições ideais para o desenvolvimento de colonização biológica, como algas, cianobactérias e até o surgimento de plantas mais complexas (Palomo *et al.*, 2002). Os danos causados por esses organismos podem ir desde o aumento da pressão interna da argamassa (atuação mecânica) até a neoformação de ácidos metabolizados por eles.

Figura 6 – Presença de musgos indica estágio avançado de biodeterioração.



Fonte: autora, 2022

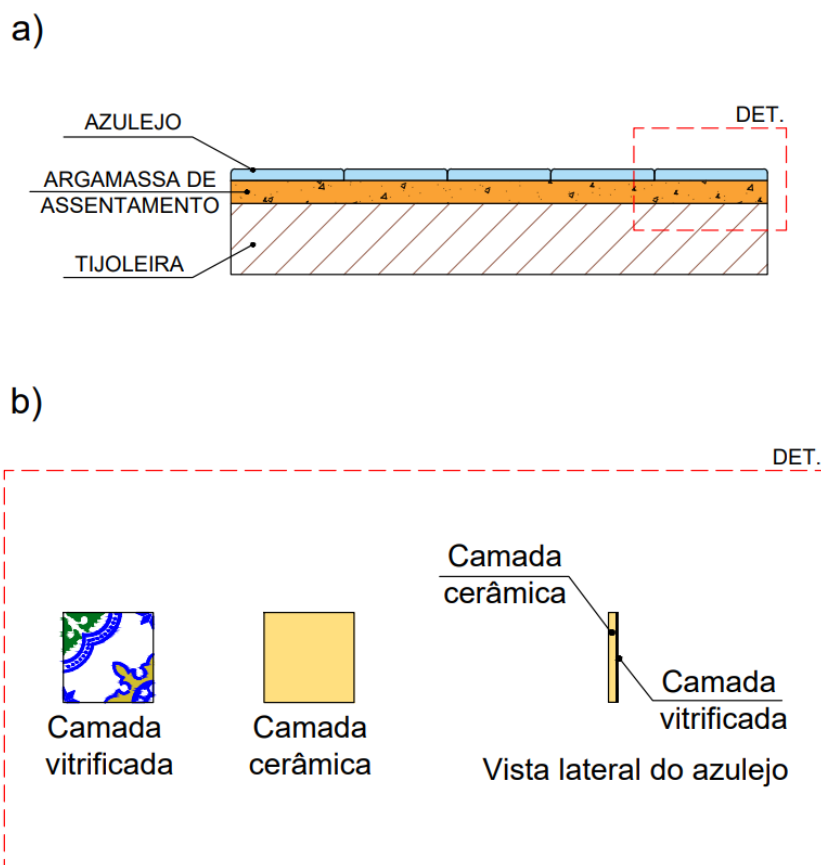
De acordo com Botas, Veiga e Velosa (2017), o envelhecimento natural dos constituintes das argamassas à base de cal também são processos de alterações significativos, pois influenciam o desempenho dos materiais e o cumprimento de suas funções primordiais.

Além destes, também pode-se citar danos em decorrência de esforços mecânicos, como fissuras, lacunas e destacamentos. Assim como aqueles provenientes de perda total ou parcial do desempenho dos constituintes das argamassas, como perda de força de adesão e coesão entre o ligante e agregados, ou entre a argamassa e substrato.

2.5. SISTEMA AZULEJO/ARGAMASSA/SUBSTRATO

Sanjad (2002) aponta que a azulejaria engloba um sistema composto por quatro elementos: camada vitrificada, camada cerâmica, argamassa de assentamento e o suporte formando um único corpo (Figura 7). Dessa maneira, cada componente influencia tanto individualmente quanto em grupo o desempenho geral do sistema se tornando, em ambos os casos, suscetíveis aos processos de alterações após o assentamento dos azulejos.

Figura 7 – (a) Secção transversal de uma sepultura evidenciando seu sistema construtivo; (b) detalhe dos componentes do azulejo.



Fonte: autora, 2024

Autores como Botas *et al.* (2020) consideram que o sistema da azulejaria histórica é composto por três componentes apenas (azulejo, argamassa e suporte) sendo na interface argamassa/azulejo onde se concentram os principais processos de alterações que ocasionam degradações como perda de aderência, aumento de umidade e interação de sais solúveis.

Para sistemas azulejados mais recentes a NBR 13816 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020) caracteriza revestimentos cerâmicos como conjuntos formados por placas cerâmicas, argamassa de assentamento e rejunte, podendo ser aplicados tanto em pisos quanto em paredes.

De modo geral, a azulejaria tem como objetivo principal proteger a estrutura (suporte) contra processos de alterações externos. Além disso, o sistema azulejar também exerce função estética (embelezamento/acabamento) e de higienização, pois os azulejos apresentam facilidade de limpeza em comparação a outros tipos de revestimentos porosos.

Para alcançar um desempenho satisfatório todos os seus elementos da azulejaria também precisam apresentar um bom desempenho individual e em conjunto. Por isso, além da argamassa de assentamento, é importante compreender o comportamento do azulejo quanto elemento individual pois também forma a interface argamassa/azulejo.

Sendo assim, Sanjad (2002) define azulejo histórico como um tipo de ladrilho vidrado, decorado ou não, utilizado no revestimento de paredes. Tal elemento é composto por uma camada cerâmica, chamada de biscoito, e uma camada vitrificada impermeável decorada (ou não) e de menor espessura em relação ao biscoito. A composição dos dois materiais é um dos principais fatores para o desempenho final do azulejo, pois interfere diretamente na compatibilidade entre ambos. O biscoito é constituído por matéria-prima argilosa e a camada vitrificada tem como composição materiais vítreos predominantemente constituídos por material silicoso e/ou outros elementos químicos presentes nos pigmentos da decoração do vidrado.

Assim, a mesma autora, Sanjad (2002), explica que a interação entre os diversos elementos químicos presentes no biscoito e no vidrado ocasionam diferentes reações químicas durante a queima que podem gerar danos aos azulejos. A formação de bolhas, por exemplo, pode estar ligada a incompatibilidade entre o vidrado e camada cerâmica, ou também devido a presença de ar na massa de argila que não foi devidamente retirada durante a etapa de produção das placa cerâmicas. Outro produto de alteração como o craquelê pode estar relacionado a incongruência entre os coeficientes de dilatação do vidrado e biscoito, pois tendo a camada vitrificada maior coeficiente de dilatação e, conseqüentemente menor resistência a tração, rompe mais rápido do que o corpo cerâmico em função das diferentes e constantes dilatações térmicas.

Dessa forma, os craquelês, lacunas, fissuras, etc presentes no vidrado se tornam pontos de fragilidade na camada vitrificada que facilitam a entrada de agentes externos, como microrganismos. As bolhas de ar, por sua vez, também podem contribuir para a formação de pontos de fragilidade de azulejos, cujo baixo desempenho interfere diretamente no comportamento do sistema azulejado.

As argamassas de assentamento que compõe esse sistema apresentam função estrutural, de unir/ligar fisicamente componentes como pedras, alvenarias ou azulejos aos seus respectivos substratos. Assim, para alcançar tal objetivo, esse tipo de argamassa tende a apresentar características e propriedades específicas quando comparadas às argamassas com

outras funcionalidades. A aderência é a principal delas justamente por estar relacionada a capacidade de ligação entre os elementos do sistema.

No caso dos azulejos, Carasek *et al.* (2014) afirma que a aderência é uma propriedade complexa cujo desempenho ocorre em função da interação entre materiais distintos e por influência dos seguintes fatores: desempenho do material poroso (tardoz) em contato com a argamassa quanto a água de sucção, porosidade e rugosidade; características das argamassas e sua composição; técnicas de aplicação da argamassa de assentamento; condições climáticas durante a aplicação e ao longo da vida útil do sistema; tempo a partir da aplicação da argamassa; eflorescência formada na interface do sistema.

Para Botas, Veiga e Velosa (2017) a complexidade da aderência no sistema azulejar ocorre devido à proteção que a camada vitrificada do azulejo promove à argamassa de assentamento, sendo as juntas as camadas responsáveis pela permeabilidade do sistema. Por esse motivo, os mesmos autores defendem que a resistência da aderência ocorre em função da qualidade do acabamento durante o assentamento; existência de sais solúveis nos materiais e no ambiente externo; e das características das argamassas, azulejos e substrato.

De modo geral, fatores como a granulometria dos agregados, o tipo de ligante e porosidade são variáveis comuns que afetam a propriedade de aderência. No caso da granulometria, Carasek *et al.* (2014) aponta que o tamanho e formato dos grãos influenciam na força e extensão de ligação, pois grãos de maiores dimensões tendem a provocar contato inadequado entre a argamassa e o corpo cerâmico. Em relação ao seu formato, quanto menos angulosos são os grãos melhor é a trabalhabilidade da argamassa, o que aumenta o potencial de extensão de aderência.

A porosidade, por sua vez, está presente tanto no corpo cerâmico do azulejo quanto no substrato onde a argamassa será aplicada, assim como na própria argamassa. Para Botas, Veiga e Velosa (2017), a presença de água no tardoz, antes da aplicação da argamassa, provoca diferenças de tamanho e quantidade de poros no azulejo, ocasionando maior penetração da argamassa e aumentando assim a aderência da interface.

Além disso, a composição da argamassa, apresenta grande influência no desempenho da aderência, pois o tipo de aglomerante tende a provocar comportamentos distintos. No caso das argamassas com ligantes hidráulicos, como o Cimento Portland, é sabido que tendem a ser incompatíveis com os substratos antigos devido a suas características e propriedades físicas, químicas e mecânicas. Como a sua baixa acomodação estrutural que não permite que a argamassa de cimento acompanhem as movimentações naturais de

sistemas antigos, o que tende a provocar destacamentos dos azulejos, trazendo consigo parte do substrato, pois a aderência é proporcional ao alto teor de ligante (Carasek *et al.*, 2014; Loureiro *et al.*, 2020).

Por outro lado, as argamassas à base de cal aérea apresentam características como baixo módulo de elasticidade, que permite sua adequação as movimentações das estruturas antigas; assim como capacidade de percolação e porosidade compatíveis com tais estruturas, fatores que aumentam a aderência no sistema (Botas *et al.*, 2020).

Muitos podem ser os produtos de alterações suscetíveis ao sistema azulejado, como: perda de aderência entre os componentes; aumento de umidade; eflorescência salina; ação microbiológica; degradações microestruturais como fissuras, trincas, etc; envelhecimento dos materiais.

Para Sanjad (2002), as principais causas de deterioração da azulejaria são acusadas por: 1) agentes físicos; 2) agentes químicos; 3) agentes biológicos; 4) ação antrópica. O intemperismo tropical tende a favorecer processos de alterações físicos, químicos e biológicos que afetam diretamente o azulejo e a argamassa de assentamento, podendo favorecer a ação microbiológica que ocorre a partir da perda da camada de esmalte e posterior fragilização do corpo cerâmico dos azulejos (Sanjad *et al.*, 2014).

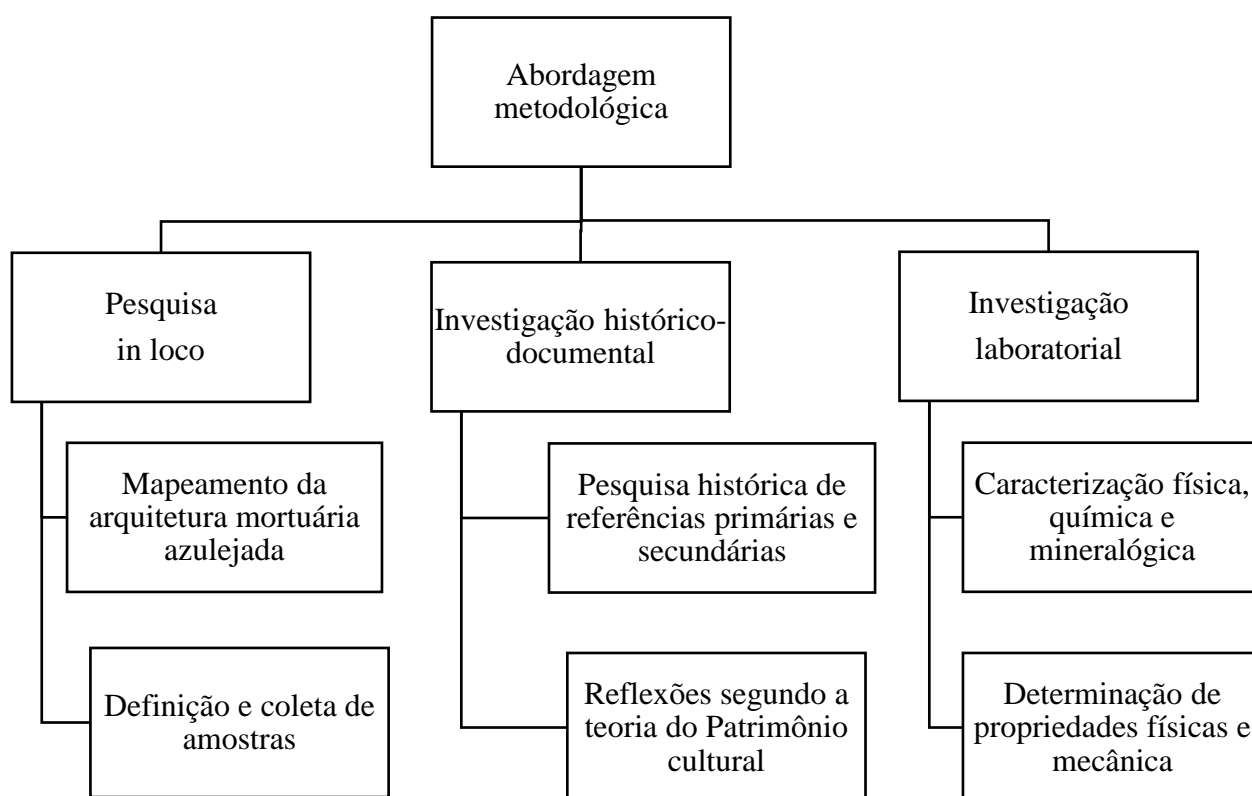
Além de prejudicar o revestimento, a ação do intemperismo também favorece outros processos de alterações que podem prejudicar o desempenho das argamassas de assentamento, levando a problemas como a falta de adesão entre a argamassa e o azulejo e/ou entre a argamassa e o substrato (Botas *et al.*, 2020).

Aliás, a falta de aderência entre a interface argamassa/azulejo é apontada por autores como Botas, Veiga e Velosa (2017), Carasek *et al.* (2014) e Japiassú *et al.* (2014) como o processo de alteração mais comum, podendo ocasionar descolamentos dos azulejos do suporte e dificultar a função de proteção da azulejaria.

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Esse estudo é de caráter descritivo indutivo, de acordo com o método lógico de pesquisa científica desenvolvida por Volpato (2015), pois avaliou variáveis operacionais, e algumas teóricas, de amostras de argamassas aplicadas à azulejaria histórica do Soledade. Para isso, a abordagem metodológica foi dividida em três etapas (Figura 8): 1) pesquisa in loco; 2) pesquisa histórico-documental; 3) pesquisa laboratorial.

Figura 8 – Organograma das etapas da abordagem metodológica.



3.1. PESQUISA IN LOCO

Ocorreu a partir dos seguintes processos:

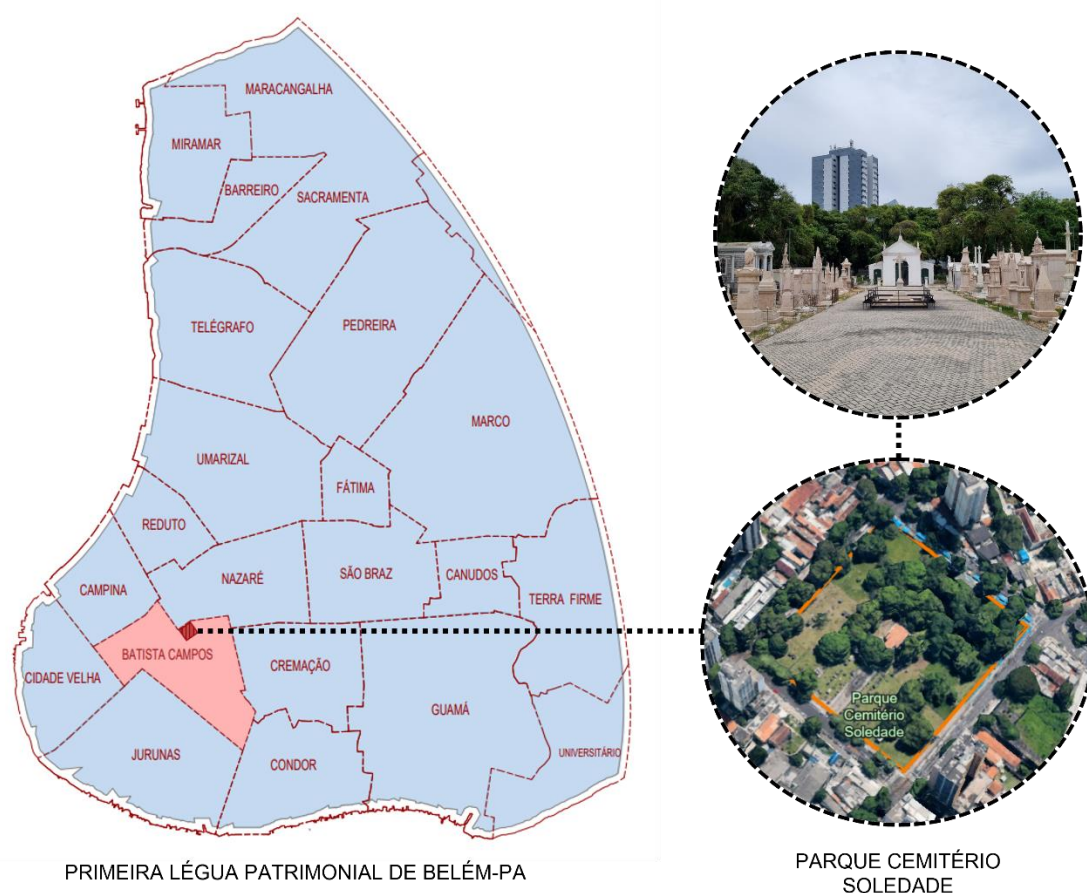
1) Mapeamento da arquitetura mortuária azulejada

Teve como objetivo realizar um mapeamento de todas as tipologias mortuárias azulejadas, assim como das argamassas que estivessem nelas atreladas usando como referência principal a divisão do cemitério em quadrantes, de “A” a “Z”, presente no mapa de base cadastral do IPHAN (Mendes, 2015), além do mapeamento desenvolvido por Mendes (2015). Dessa maneira, foi iniciado com visitas de reconhecimento de campo da

área de estudos, que corresponde ao antigo Cemitério Nossa Senhora da Soledade (Figura 9), que foi reaberto ao público com a denominação de Parque Cemitério Soledade em 2023, e está localizado na Av. Serzedelo Corrêa, N° 514, no Bairro da Batista Campos, centro urbano da cidade de Belém do Pará.

A antiga necrópole ocupa uma quadra inteira, delimitada pelas seguintes vias: Avenida Serzedelo Corrêa, Avenida Conselheiro Furtado, Rua Doutor Moraes e Avenida Gentil Bittencourt; num terreno com área aproximada de 24.000m².

Figura 9 – Localização do antigo Cemitério Nossa Senhora da Soledade.



Fonte: autora, 2024.

Em seguida, ocorreu a identificação de todas as tipologias (túmulos e mausoléus) azulejadas a partir de registros fotográficos, observações macroscópicas e medição in loco. O mapa das sepulturas azulejadas de Mendes (2015) contribuiu para o desenvolvimento de uma linha temporal de possíveis transformações ocorridas com o acervo azulejado de 2015 até o período do desenvolvimento desta pesquisa.

Ainda nesta etapa, buscou-se mapear as argamassas aplicadas às tipologias azulejadas identificando quais delas apresentavam argamassas do século XIX e XX, assim como casos onde os azulejos não se encontravam mais assentados.

Na sequência, os dados foram registrados em fichas documentais elaboradas para essa pesquisa (Apêndice 1), considerando os tipos de argamassas, as tipologias mortuárias e a descrição de seus sistemas construtivos. Além das fichas, dois mapas (Apêndice 2) distintos foram gerados: a) mapa para azulejaria histórica; b) mapa para as argamassas. Para o tratamento dos dados foram utilizados softwares como Autocad, Microsoft Office Excel e Adobe Photoshop para o desenvolvimento de desenhos bidimensionais como os mapas, a elaboração das fichas e o tratamento de imagens respectivamente.

Quanto a descrição dos sistemas construtivos das tipologias mortuárias azulejadas, buscou-se compreender as alterações ocorridas nas argamassas em função do tempo de existência dos túmulos e mausoléus. Ressalta-se que para esta etapa também foram consideradas variáveis como a localização do túmulo em relação ao cemitério, aplicação das argamassas no sistema (assentamento, embasamento, revestimento, etc.) e estado de conservação a fim de compreender as ações intempéricas e antrópicas que possam ter acarretado danos ao material.

2) Definição e coleta das amostras

O critério usado para a escolha do elenco levou em consideração o projeto de reforma do cemitério iniciado em 2022, uma parceria entre Governo do Estado do Pará e a Universidade Federal do Pará (via Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação – LACORE) que diz respeito à Restauração de Bens da Arquitetura Mortuária do Cemitério de Nossa Senhora da Soledade.

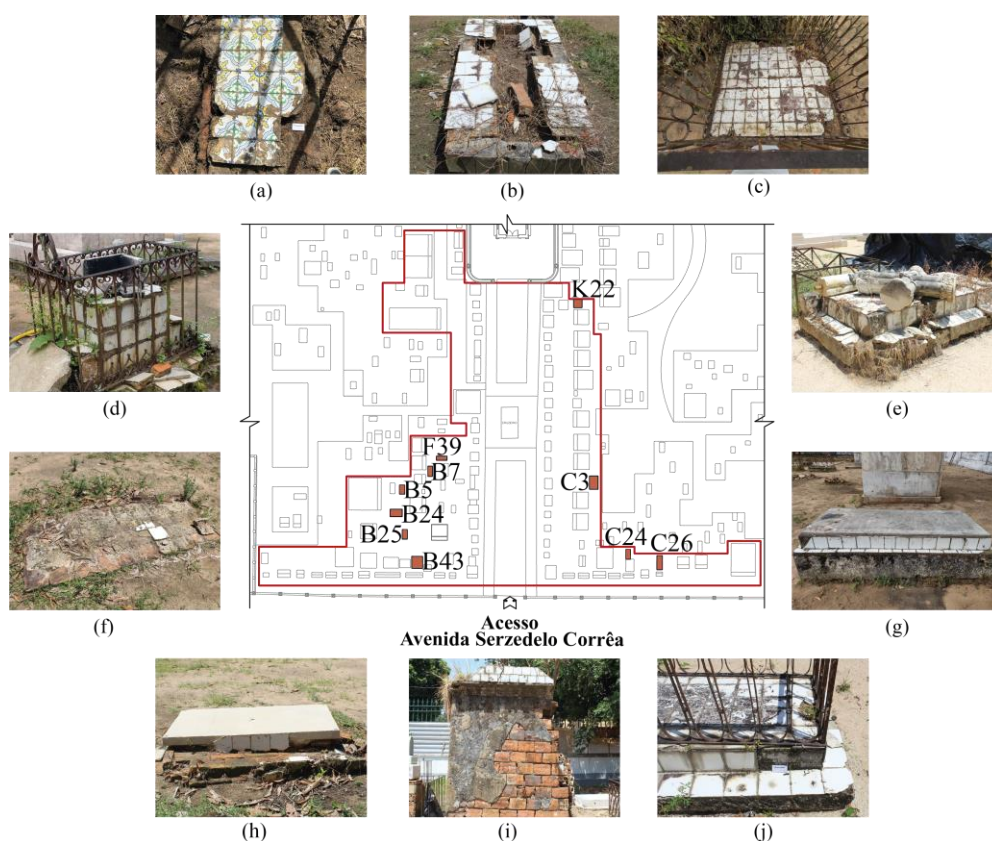
Deste modo, o elenco investigado situa-se na poligonal da área prioritária, onde esteve concentrada a primeira etapa do projeto de restauração do mesmo. Essa escolha considerou a coleta das amostras viabilizadas pelo IPHAN, já que tais tipologias azulejadas passaram por intervenções de restauro. Assim, 9 sepulturas e 1 mausoléu foram selecionados como o elenco investigado, pois estão localizados dentro da área prioritária, sendo eles: B5, B7, B24, B25, C3, C24, C26, F39, K22 e B43 (Figura 10).

A coleta das amostras para a investigação laboratorial ocorreu via LACORE a partir da retirada dos azulejos para o processo de intervenções de conservação e restauração das sepulturas da primeira etapa do projeto de restauro do Soledade. Sendo assim, houve

quantidade suficiente das argamassas históricas disponíveis para a realização da maioria das análises laboratoriais e ensaios. Além disso, as amostras foram retiradas com auxílio de cinzel, bisturi e espátula, considerando tanto locais em contato com o solo ou próximos do solo, quanto afastados deles a fim de investigar o fenômeno da capilaridade.

Ao total, 32 amostras foram coletadas para a investigação laboratorial (Tabela 1), cujos locais de retirada foram descritos no Apêndice 1. As amostras coletadas correspondem aos seguintes tipos de argamassas: a) 20 amostras de argamassas de assentamento; b) 7 amostras de argamassas de assentamento/preparação de base (técnica multicamadas); e 5 amostras de argamassas de preparação de base.

Figura 10 – Código e localização das sepulturas avaliadas: a) B7; b) F39; c) K22; d) B5; e) C3; f) B24; g) C26; h) B25; i) B43; j) C24.



Fonte: autora, 2023.

3.2. INVESTIGAÇÃO HISTÓRICO-DOCUMENTAL

- 1) Pesquisa histórica de referências primárias e secundárias

Decorreu por meio de pesquisa bibliográfica e documental, sendo essa última desenvolvida a partir de fichas cadastrais da arquitetura mortuária do cemitério da Soledade produzidas pelo LACORE em 2013, assim como o dossiê de tombamento do Soledade e outros documentos disponibilizados pelo IPHAN, e dados provenientes da Hemeroteca digital, cujo recorte temporal foi de 1820 a 2019 em função dos periódicos paraenses disponíveis na plataforma.

2) Reflexões segundo a teoria do Patrimônio cultural

Essa etapa teve como objetivo estabelecer uma discussão entre as informações produzidas até o momento e as teorias do restauro desenvolvidas por autores como Cesare Brandi, Alois Riegl e Muñoz Viñas. Dessa forma, um capítulo de livro foi desenvolvido, e submetido a chamada de trabalhos do IPHAN, apresentando reflexões sobre as argamassas como bens patrimoniais e seus processos de valoração de acordo com os autores citados.

3.3. INVESTIGAÇÃO LABORATORIAL

Esta etapa envolveu a investigação das características e propriedades de argamassas históricas a partir de técnicas analíticas invasivas e não-invasivas, as quais foram realizadas nos seguintes laboratórios: Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação (LACORE/UFPA), Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações (LaMiGa/UFPA), Laboratório de Petrografia Sedimentar (LABPETRO/USP), Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LabMev/USP) e Laboratória de Engenharia Civil (LEC/UFPA) e Laboratório de Materiais Cimentícios (LABCIM /UFPA).

A nomenclatura das amostras indicada na tabela abaixo foi organizada da seguinte maneira: os dois/três primeiros dígitos correspondem ao código da sepultura de retirada da amostra; seguido por AA (argamassa de assentamento), AAP (argamassa de assentamento e preparação de base) ou AP (argamassa de preparação de base) que indica o tipo (função da argamassa); e por último, a numeração da amostra.

Em alguns casos, a numeração seguida do – (traço) indica o tipo de camada analisada em amostras pertencentes a técnica de multicamadas. Essa técnica é comum em edificações históricas, sobretudo belenenses dos séculos XVIII e XIX conforme apontado Loureiro *et al.* (2020), e ocorre quando mais de uma ou várias camadas são aplicadas sequencialmente num mesmo substrato formando um sistema construtivo complexo.

A técnica multicamadas é encontrada na arquitetura azulejar das sepulturas do Soledade ocorrendo inicialmente a partir de uma camada de argamassa de preparação, regularização e/ou preenchimento aplicada ao substrato a fim de uniformizá-lo, seguida por uma camada de argamassa de assentamento que une os azulejos ao sistema.

Tabela 1 - amostras avaliadas em função das técnicas analíticas realizadas

TESTE	AMOSTRAS
MACR, AA	B5AAP1-A, B5AAP1-P, B7-AA1, B7-AP1, B24-AA1, B25-AA1, B25-AP1, B43AAP1-P, B43AAP1-A, K22AAP1-A, K22AAP1-P, C3AAP1-A, C24-AA1, C26-AA1, C26-AP1, F39AAP1-A
DRX, GRAN COLAGR	B5AAP1-A, B7-AA1, B24-AA1, B25-AA1, B43AAP1-A, K22AAP1-A, C3AAP1-A, C24-AA1, C26-AA1, F39AAP1-A
MEV	B43-AAP2, K22-AAP2, F39-AA1
PETR	B25-AA1, B7-AA2, B24-AA2, B25-AA2, B43-AAP2, K22-AAP2, C3-AA1, C24-AA2, C26-AA1, F39-AA1
CAP, SEC	B5-AA2, B7-AAP1, B24-AA3, B43-AAP3, K22-AAP3, C3-AAP2, C26-AA1, F39-AA2
COMPRES	B5-AA2, B7-AAP1, B24-AA3, B43-AAP3, K22-AAP3, F39-AA2

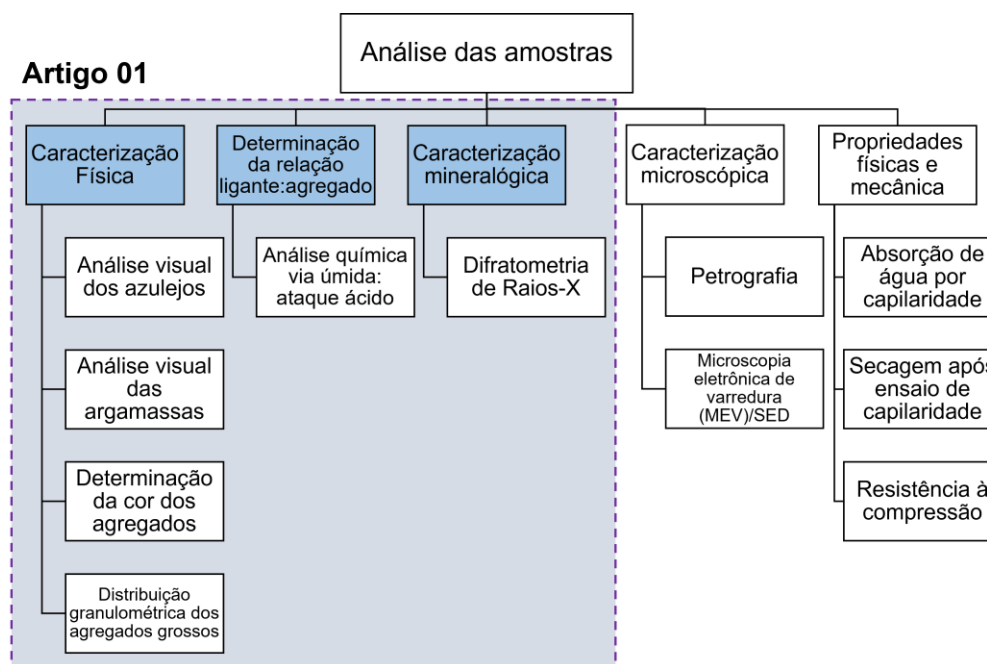
Legenda: MACR: Caracterização macroscópica; AA: Ataque ácido; DRX: Difração de Raios-X; GRAN: Ensaio de granulometria; COLAGR: Colorimetria dos agregados; MEV: Microscopia eletrônica de varredura; PETR: microscopia petrográfica; CAP: Ensaio de absorção de água por capilaridade; SEC: ensaio de secagem após ensaio de capilaridade; COMPRES: ensaio de resistência à compressão.

Fonte: autora, 2024.

A investigação laboratorial foi desenvolvida em duas etapas correspondendo ao primeiro e segundo artigos tecnológicos citados na seção de resultados desta dissertação. Assim, no primeiro estudo foram analisadas 10 amostras de argamassas de assentamento por inspeção visual, ataque ácido, teste de colorimetria, granulometria dos agregados grossos e Difração de Raios-X, conforme a Figura 11.

Esse artigo foi submetido e publicado num congresso científico (4º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira) em setembro de 2023, por isso nele foi avaliada uma quantidade restrita de amostras, por se tratar de um estudo inicial. Apesar disso, possibilitou uma boa caracterização física e mineralógica das argamassas de assentamento.

Figura 11 – Organograma dos testes realizados no artigo tecnológico 01.



Fonte: autora, 2024.

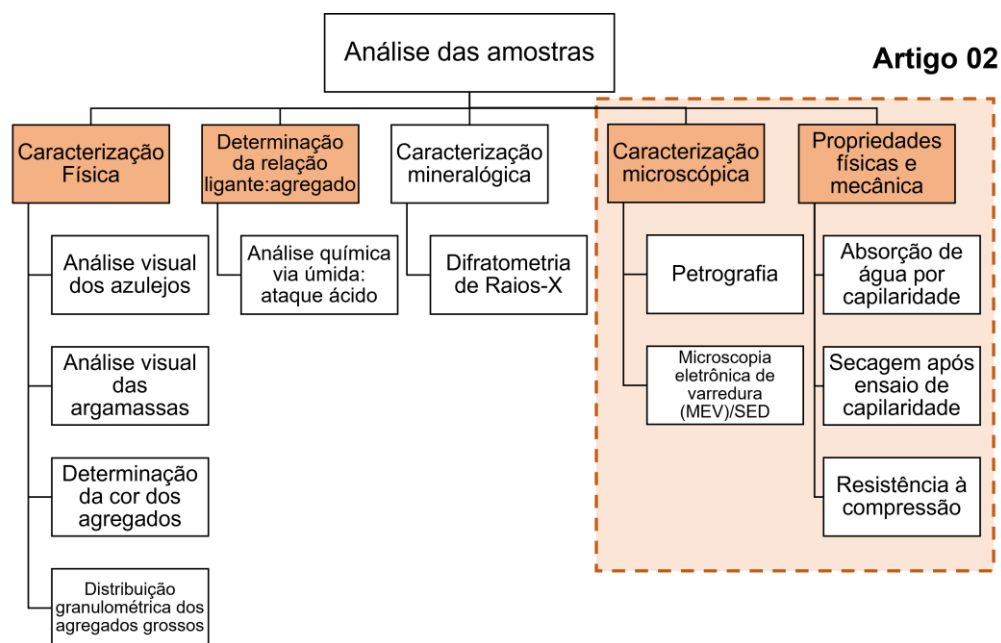
A outra parte da investigação laboratorial foi desenvolvida no segundo artigo tecnológico, que foi submetido ao periódico *International Journal of Architectural Heritage*. Este estudo teve como objetivo ampliar e aprofundar a discussão promovida no primeiro artigo, e para isso, mais 22 amostras foram avaliadas por meio de testes e análises de caracterização microscópica e de propriedades físicas e mecânica. Assim, 32 amostras foram discutidas nesse estudo pois também foram usados os dados referentes as 10 amostras do primeiro artigo tecnológico (Figura 12). Além disso, outros tipos de argamassas também foram investigadas, como argamassas de preparação de base e multicamadas.

O critério de seleção de amostras para cada análise ocorreu em função dos objetivos das caracterizações, da disponibilidade de cada tipo de argamassa para suprir essas demandas e viabilidade de execução das análises, pois não seria viável que cada uma das 32 amostras passasse por todas as análises descritas.

Assim, houve a necessidade da aplicação de filtros considerando que o foco da investigação laboratorial ocorreu em função das argamassas de assentamento pois estavam em maior quantidade (material histórico disponível) em comparação as argamassas de preparação de base e de multicamadas e também permitiram identificar as principais diferenças entre as argamassas de assentamento dos séculos XIX e XX, pois todas as

argamassas de preparação de base produzidas durante o século XIX apresentavam características semelhantes enquanto que a maioria das sepulturas do século XX não apresentavam esse tipo de argamassa.

Figura 12 – Organograma dos testes realizados no artigo tecnológico 02.



Fonte: autora, 2024.

Os próximos parágrafos descrevem as análises/ensaios realizados e citam a quantidade amostras avaliadas, no entanto o artigo tecnológico 2 aborda de maneira mais aprofundada o critério de seleção de amostras para cada análise/ensaio realizado.

1) Caracterização física, química e mineralógica

a) *Análises visuais*

Após a seleção do elenco, todas as amostras de argamassas passaram por um processo de limpeza mecânica com pincel e bisturi, sendo documentadas (Figura 13) em fichas de identificação por meio de registro fotográfico (câmeras de Smartphone e Canon Rebel T7), determinação de espessura (paquímetro analógico) e colorimetria com uso da carta de Munsell Soil Colour Chart (2009 edition). Além disso, outros aspectos como a porosidade, presença de fragmentos de conchas e carvão, características dos agregados foram avaliados.

Figura 13 – Documentação pós remoção dos azulejos da sepultura: a) argamassa; b) azulejo ainda faceado



Fonte: autora, 2022

Os exemplares dos azulejos correspondentes às argamassas de assentamento também foram inspecionados visualmente, tendo a camada vitrificada e tardez registrados por fotografias (Figura 13b).

b) *Relação Ligante-Agregado por Ataque Ácido*

As amostras foram desagregadas e submetidas a solução de ácido clorídrico e água destilada na proporção de 1:4. Ao final, toda a fração solúvel se dissolveu, restando apenas a fração insolúvel, sendo possível determinar a razão ligante/agregado por gravimetria, com exceção da fração carbonatada do agregado que se dissolveu. O total de 16 amostras passaram por essa análise (Tabela 1), todas desenvolvidas no LACORE.

c) *Colorimetria dos agregados residuais*

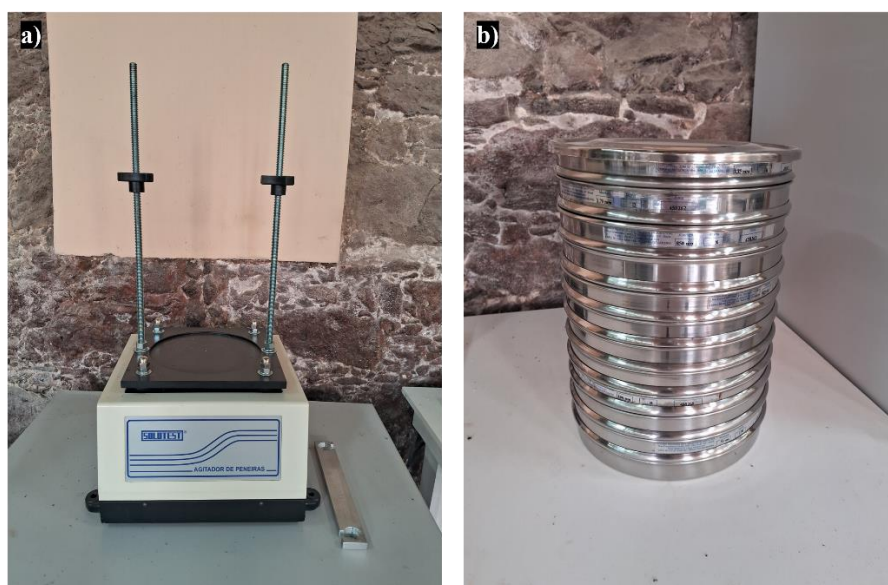
As frações insolúveis resultantes da análise de ataque ácido tiveram suas colorações analisadas com o uso da carte de Munsell Soil Colour Chart (2009 edition). Assim, tanto os agregados finos quanto os grossos tiveram suas colorimetrias determinadas.

d) *Distribuição dos tamanhos das partículas*

Os agregados grossos residuais do ataque ácido, após a determinação de sua coloração, passaram pelo ensaio de granulometria baseado na norma EN 933-1 (British Standards

Institution, 2005) com o objetivo de determinar o tamanho de suas partículas. Dessa forma, o material histórico passou por um jogo de peneiras 8x1 de aço inox da marca SOLOTEST (Figura 14) com as seguintes aberturas (mm): 3,350; 1,700; 0,850; 0,600; 0,425; 0,300; 0,212; 0,150; 0,106; 0,075; 0,053 que foram agitadas por 5 minutos no agitador de peneiras SOLOTEST 8X2 110/220-50/60HZ. A quantidade residual de cada peneira foi usada para determinar a curva granulométrica da amostra de argamassa, sendo que a curva permite inferir a distribuição do tamanho das partículas (British Standards Institution, 2005).

Figura 14 – Equipamentos usados para o ensaio de granulometria: a) agitador SOLOTEST; b) conjunto de peneiras SOLOTEST.



Fonte: autora, 2024.

e) *Difração de Raios-X*

Aproximadamente 3g de cada uma das 10 amostras (Tabela 1) foram pulverizadas em gral de ágata e em seguida analisadas individualmente com o objetivo de determinar as principais fases cristalinas dos possíveis minerais presentes. Para isso, foi utilizado o difratômetro Bruker D2 PHASER, com anodo de Cu, detector Lynxeye (1D mode); incremento de $0,02^\circ 2\theta$; tempo de passo de 0,2 s; e slit de 0,1 mm; operado a 300 W (30 KV e 10 mA), na faixa angular de 5° a $75^\circ 2\theta$. Essa análise foi desenvolvida no LaMiGa/UFPA.

f) *Microscopia petrográfica*

O total de 10 amostras (Tabela 1) foram analisadas por microscopia petrográfica, cujo objetivo foi caracterizar os componentes presentes nas argamassas investigadas avaliando

a matriz do ligante e os agregados grossos, assim como a presença de possíveis minerais. Dessa forma, as amostras foram preparadas em forma de lâminas delgadas com espessura aproximada de 30 μ e em seguida analisadas em lentes de aumento de 5x, 10x, 20 e 50x do microscópico petrográfico da marca LEICA e modelo DM 2700P no LaMiGa/UFGA. Além disso, algumas amostras também foram analisadas no Laboratório Petrografia Sedimentar (LABPETRO/USP) com uso do Microscópio petrográfico da marca Olympus BX40.

g) *Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com Sistema de Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS)*

O MEV e EDS são análises qualitativa e semi-quantitativa microestrutural realizadas por meio do método de elétrons secundários ou elétrons retroespalhados. A primeira permite a visualização da topografia superficial das amostras devido o aparelho apresentar imagens com profundidade e alta resolução. A segunda é indicada para a análise de mudança de composição na amostra, pois os tons de cinza variam de acordo com o número atômico de cada região na amostra (Scrivener *et al.*, 2016).

Para este trabalho, 3 amostras (Tabela 1) foram analisadas a partir do método de elétrons retroespalhados a fim de indentificar a morfologia dos produtos presentes nas argamassas.

Ademais, também foi realizada complementarmente a análise por Sistema de Energia Dispersiva (SED) a fim de caracterizar pontualmente os elementos químicos presentes na superfície da amostra.

As amostras usadas estavam em forma de lâmina delgada e os equipamentos consistiram no MEV modelo de bancada da marca HITACHI/TM 3000, com aumento máximo de 30.000x e feixes de 5 ou 15 KV; e para o SED, a marca Oxford Instruments, modelo SwiftED3000 com detecção elementar de Boro (B) a Urânio (U). Ambos os equipamentos fazem parte do LaMiGa/UFGA, onde as análises foram executadas.

Ainda, uma parte das análises também foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LabMev/USP) com uso do Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 440 e Espectrômetro por Energia Dispersiva de Raios X, da marca Oxford.

2) Determinação de propriedades físicas e mecânica

a) *Absorção de água por capilaridade*

Teve como base a norma europeia EN 15801 (CEN, 2009) porém com adaptações propostas na FE Pa 42, metodologia desenvolvida pelo Laboratório de Engenharia Civil de

Portugal (2016) para amostras friáveis como argamassas históricas. Sendo assim, 8 amostras (Tabela 1) foram analisadas com o objetivo de determinar o coeficiente de absorção capilar (C_{cc} em $\text{Kg/m}^2 \text{ min}^{1/2}$) a partir da absorção inicial da água e saturação das amostras.

O ensaio decorreu por meio da pesagem das amostras em intervalos de 1,2,3,4,5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 60, 90, 180, 300, 480 min no primeiro dia, e depois a cada 24 horas até a saturação total delas. Tal saturação era alcançada quando a massa molhada das amostras não indicasse variação superior a 0,2% de sua massa inicial, ou até completar 7 dias corridos desde o início do ensaio quando não se alcançasse a saturação.

Por fim, esse ensaio ocorreu no Laboratório de Materiais Cimentícios (LABCIM /UFPA).

b) Secagem da água pós ensaio de capilaridade

Esse ensaio também foi realizado no mesmo laboratório que o teste anterior e ocorreu após a saturação das amostras, que foram retiradas do contato superficial com a água para o processo de secagem natural.

Durante a secagem natural, as amostras foram pesadas na frequência de 30, 60, 90, 270 e 450 min e a cada 24h até que atingissem variação de massa igual ou inferior a 0,2 % de sua massa inicial, ou até completar 7 dias do início do ensaio, tal qual no teste anterior.

c) Resistência à compressão

Esse ensaio foi realizado em 6 amostras (Tabela 1), seguindo a norma de adaptação para argamassas friáveis FE Pa 42 desenvolvida pelo LNEC (2016). Todas as amostras passaram por um processo de regularização de suas faces com uso de argamassa de recapeamento de traço 1:3 (CP II F - 40 e areia de rio), sendo moldadas até que atingissem dimensões mínimas de 40 x 40 x 40 mm (Figura 15b) conforme estabelecido na norma citada.

Após o prazo de 15 dias para a cura das argamassas de recapeamento, as amostras foram rompidas na prensa Emic modelo SSH300 (Figura 15a) com auxílio do software Tesc versão 3.04, ambos disponíveis no LEC UFPA.

Figura 15 – a) prensa utilizada para o rompimento das amostras investigadas; b) argamassas de nivelamento em processo de cura.



Fonte: autora, 2024.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados gerados na presente dissertação foram organizados para o desenvolvimento das seguintes produções científicas: 1) Argamassa, *pedra e cal*: tipos e técnicas construtivas usadas na arquitetura mortuária do antigo Cemitério de Nossa Senhora da Soledade; 2) Investigação das argamassas de assentamento de azulejos históricos da arquitetura mortuária do Cemitério Nossa Senhora da Soledade: características e herança cultural Luso-brasileira; 3) Investigation of mortars from historical tiles in the mortuary architecture of the Nossa Senhora da Soledade cemetery: characteristics and Luso-Brazilian cultural heritage.

O primeiro resultado trata-se de um capítulo de livro com abordagem teórica-tecnológica que discutiu os múltiplos contextos de aplicação das argamassas empregadas no antigo Cemitério da Soledade por meio das perspectivas histórica, tecnológica e patrimonial, considerando também um recorte temporal iniciado com a fundação do cemitério até seu processo de reforma/restauro que vem acontecendo desde 2022

Os dois últimos resultados são artigos científicos de caráter tecnológico e provenientes de um mesmo estudo de caracterização, por isso tiveram como objetivo caracterizar física, química e mineralogicamente argamassas aplicadas à azulejaria de sepulturas do Soledade por meio de técnicas analíticas invasivas e não invasivas. Sendo assim, o primeiro deles foi um estudo inicial com menor quantidade de amostras (cerca de 10 amostras de argamassas de assentamento de azulejos do Soledade) e análises/ensaios laboratoriais submetido ao 4º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira em 2023. Após a publicação nas atas do evento citado, o mesmo estudo foi ampliado e aprofundado para resultar num segundo artigo, que foi submetido à revista *International Journal of Architectural Heritage*. Nesse artigo, mais 22 amostras de argamassas foram analisadas (totalizando 32 amostras nesse artigo) por meio de diferentes técnicas laboratoriais com objetivo de caracterizar química, física e mineralogicamente, assim como investigar algumas propriedades físicas e mecânica. Além disso, amostras de preparação de base e de técnicas de multicamadas foram investigadas.

4.1. CAPÍTULO DE LIVRO: *ARGAMASSA, PEDRA E CAL: TIPOS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS USADAS NA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO ANTIGO CEMITÉRIO DE NOSSA SENHORA DA SOLEDADE.*

Estudo submetido e aprovado na Chamada de Trabalhos para Publicação nº 02/2024 – IPHAN/PA.

Argamassa, *pedra e cal*: tipos e técnicas construtivas usadas na arquitetura mortuária do antigo Cemitério de Nossa Senhora da Soledade

Corrêa, Brenda^a; Loureiro, Alexandre^b; Sanjad, Thais^c

Resumo

O antigo Cemitério de Nossa Senhora da Soledade, fundado em 1850, vem passando por inúmeras intervenções de conservação, restauração e requalificação nos últimos anos e, dentre os objetos de intervenção, estão os túmulos e mausoléus da arquitetura mortuária que fazem parte do local. Os resultados da primeira etapa do projeto foram apresentados para a sociedade na reabertura que ocorreu em janeiro de 2023, o que transformou a antiga necrópole em Parque Cemitério Soledade, um museu a céu aberto cujo acervo contempla obras e materiais diversificados que contam a sua história sob inúmeras perspectivas. A argamassa faz parte desse rico acervo de materiais históricos usados nos bens da arquitetura mortuária e foi empregada em diferentes contextos. Assim, esse artigo analisou os múltiplos contextos de aplicação das argamassas do Cemitério da Soledade desde a sua inauguração até os dias atuais, com o objetivo de contar a história deste material sob o viés histórico, tecnológico e teórico. Trata-se de um estudo quanti-qualitativo realizado a partir de pesquisa bibliográfica e investigação *in loco*. Os resultados apontaram como as argamassas estão presentes em todos os sistemas construtivos da arquitetura mortuária do Soledade, evidenciando sua importância como material de construção neste bem tombado a nível municipal e federal.

Palavras-chave: argamassas antigas; arquitetura cemiterial; Belém do Pará; Amazônia.

Introdução

O antigo cemitério de Nossa Senhora da Soledade foi fundado em 1850 como o primeiro cemitério público oficial de Belém do Pará (CRUZ, 1952), cuja construção ocorreu em função das consequências de crises epidêmicas que assolaram toda a região durante o século XIX. A urgente inauguração do Soledade não permitiu que

^aArquiteta e urbanista, pós-graduanda no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural (PPGPatri UFPA), bolsista no Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação (LACORE), vinculada a Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Brasil; ^bArquiteto e urbanista, Dr. em Geociências (IGC UFPA), docente da Faculdade de Conservação e Restauro (Facore UFPA), vice coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural (PPGPatri UFPA), integrante do Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação (LACORE), vinculado a Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Brasil; ^cArquiteta e urbanista, Dr^a. em Geociências

(IGC UFPA), docente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU UFPA), da Faculdade de Conservação e Restauro (Facore UFPA) e do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural (PPGPatri UFPA), integrante fundadora do Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação (LACORE), vinculada a Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil.

fosse condizente com o título de primeira necrópole oficial da capital da Província do Grão-Pará. Assim, inúmeras reformas e melhorias foram realizadas a partir de 1853, sendo intensificadas durante o período da Belle-Époque quando muitos materiais e bens foram importados da Europa para o uso no cemitério. Dessa forma, O Soledade adquiriu características de uma necrópole inspirada em cemitérios europeus do século XIX Europeu (CALUFF, 2014).

Dentre o rico acervo da arquitetura mortuária do antigo Cemitério da Soledade estão presentes as argamassas que foram aplicadas em diferentes contextos e momentos, desde meados do século XIX até as intervenções de conservação e restauro que vem acontecendo atualmente. De uma forma geral todos esses exemplares estão suscetíveis a inúmeros processos de alterações que contribuem para a formação de danos aos exemplares de argamassas, como a descaracterização ou perda do material histórico. Considerando que nos casos das argamassas mais antigas (meados do século XIX) são exemplares raros com alto valor histórico pois foram produzidos dentro de um contexto tecnológico não mais utilizado atualmente. Assim, a investigação das argamassas pode contribuir para a compressão dos diversos sistemas construtivos presentes no cemitério, assim como direcionar estratégias de intervenções adequadas.

Considerando tudo isso, esse estudo analisou os múltiplos contextos de aplicação das argamassas do Cemitério da Soledade desde a sua inauguração até os dias atuais, com o objetivo de contar a história deste material sob o viés histórico, tecnológico e teórico.

Abordagem metodológica

O artigo foi elaborado a partir de estudo quanti-qualitativo desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica e investigação in loco dos exemplares disponíveis no cemitério da Soledade, cujo processo ocorreu na seguinte ordem: 1) pesquisa in loco (reconhecimento de campo, levantamento dos tipos de argamassas disponíveis no local com auxílio de registros fotográficos); 2) Seleção do elenco; 3) documentação (elaboração de fichas cadastrais); 4) análise visual das argamassas selecionadas; 5) análise e comparação (tratamento dos dados).

As argamassas selecionadas para este estudo foram analisadas a partir das perspectivas histórica, tecnológica e patrimonial considerando os seguintes momentos da história do local: a) inauguração do cemitério (século XIX); b) Belle Époque belenense e crise da borracha (Séculos XIX e XX); e c) transformação do cemitério em Parque Cemitério Soledade (século XXI).

Resultados e discussão

A análise dos múltiplos contextos atrelados as argamassas aplicadas no antigo cemitério da Soledade culminaram na seguinte categorização diádica:

a) Perspectiva Tecnológica

No Cemitério da Soledade, as argamassas foram aplicadas nos seguintes locais: 1) Bens da arquitetura mortuária; 2) Capela e campanário; 3) Alvenarias das quatro ordens religiosas.

A maior parte dos jazigos do Soledade foi construída predominantemente em pedra, seja por meio da técnica de pedra em cantaria ou por alvenaria revestida por placas de pedra. O azulejo também foi outro material muito usado para o revestimento das alvenarias. Assim, o Soledade conta com cerca de 230 exemplares em pedra (DA SILVA, 2014) e 65 tipologias azulejadas (MENDES, 2015), sendo que 29,85% dessas sepulturas tiveram seus azulejos assentados com argamassas do século XIX enquanto 70,15% delas sendo assentadas com argamassas do século XX e XIX.

Muitas vezes a aplicação das argamassas nestes bens da arquitetura mortuária não são tão visíveis, sendo evidenciados em casos de destacamento de placas de pedra (Figura 1b) e destacamento de azulejos. No entanto, estão predominantemente presentes nos embasamentos de inúmeras tipologias e nos sistemas construtivos em alvenaria de pedra, tijolou ou mista (Figura 1a). Ou seja, é possível notar que as argamassas estão aplicadas em todos os tipos de sistemas construtivos no cemitério, empregadas em maior ou menor quantidade, seja para assentamento e/ou revestimento, ou mesmo para produção de elementos decorativos como figuras de anjos, conchas, flores, entre outros.

Independentemente da maneira como foram usadas, as argamassas desempenham um importante papel no sistema construtivo como um todo, dependendo das funções almeçadas. Nas alvenarias de pedra ou tijolo, assim como na azulejaria, as argamassas cumpriram função estrutural, de ligar/unir os elementos construtivos entre si. Nas tipologias em que foram aplicadas como argamassa de revestimento,

desempenharam função protetora, ou de sacrifício pois protegem o sistema construtivo de agentes externos, como a irradiação solar, chuva, poluição etc. Como elementos decorativos, as argamassas ajudam não só esteticamente, mas também podem servir como material de sacrifício, mantendo as camadas mais internas da estrutura preservadas do intemperismo ao qual o túmulo ou mausoléu é submetido.



Figura 1: Aplicação das argamassas em diferentes sistemas construtivos: a) argamassas de assentamento em alvenaria de pedra/tijolo e argamassas de embasamento (base) do mausoléu; DET. 1 - detalhe da argamassa de assentamento ligando os arenitos ferruginizados; b) túmulo em alvenaria e embasamento de tijolos, e alicerce em arenito ferruginizado. DET. 2 - detalhe das placas de mármore revestindo a sepultura.

Dessa forma, nota-se que as argamassas são materiais com diversas aplicações e que fazem parte de sistemas construtivos com diferentes níveis de complexidade. As argamassas históricas à base de cal podem ser aplicadas seguindo duas técnicas (Figura 2): 1) monocamada (ou camada única); 2) multicamada (mais de uma camada). Essas duas técnicas denotam o resultado das transformações (“aprimoramentos”) tecnológicas ocorridas ao longo do tempo, empregadas de acordo com o desempenho desejado. Loureiro et al. identificou ambas as técnicas em edificações belenenses dos séculos XVIII e XIX, utilizadas tanto em revestimentos internos quanto externos.

No cemitério da Soledade, a técnica multicamadas é predominante nos bens da arquitetura mortuária, sobretudo nas azulejadas (Figura 3), porque o sistema construtivo demanda geralmente de inúmeras camadas de argamassa para cumprir diferentes funções, conforme pode ser visto na Figura 3.



Figura 2: Exemplos da técnica multicamada e monocamada respectivamente: a) amostra retirada do mausoléu B43 (construído em 1870) com 3 camadas de argamassas diferentes; b) no túmulo B24 (construído possivelmente em meados do século. XIX) foi aplicada apenas uma camada de argamassa que desempenha as funções de preparar o substrato e assentar os azulejos.

As argamassas também foram utilizadas com função decorativa (Figura 6) e em revestimentos pigmentados (Figura 7), cujos agregados foram responsáveis pela coloração final do revestimento. Isso denota diferentes técnicas de produção e formulação das argamassas usadas no cemitério, e a grande variedade de agregados utilizados nas misturas, pois há argamassas pigmentadas de coloração cinza, rosa, bege e branca, sendo as duas últimas mais comumente usadas.

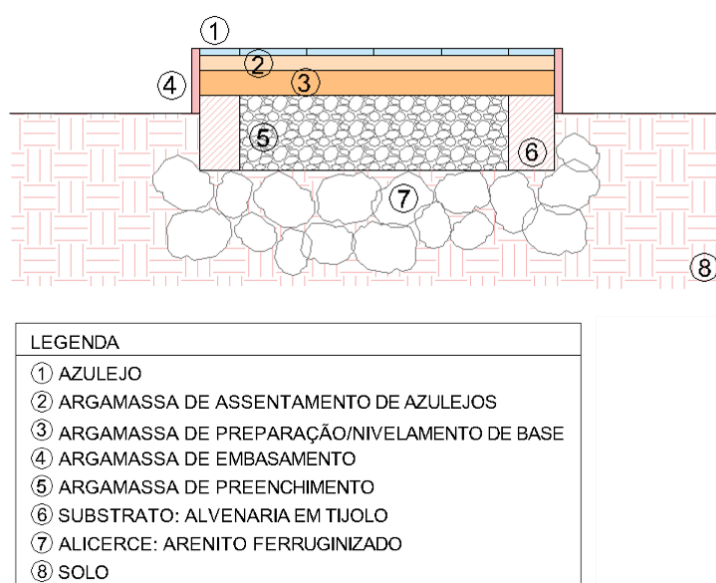


Figura 3: esquema das múltiplas aplicações de argamassas em uma sepultura azulejada. As funções desempenhadas são predominantemente do tipo estrutural (assentamento de azulejos, preenchimento, preparação de base, assentamento da alvenaria e do alicerce).

b) Perspectiva histórica

As argamassas usadas no cemitério da Soledade podem ser classificadas de acordo com seu período de aplicação: 1) argamassas históricas do século XIX; 2) argamassas históricas do século XX; 3) argamassas contemporâneas ou de restauro do século XXI.

As argamassas do século XIX foram produzidas antes ou logo depois do ciclo da borracha e Belle-Époque belenense, cujo ligante é predominantemente a base de cal aérea, podendo conter ou não material pozolânico.

A principal matéria-prima usada na produção da cal antiga era a rocha calcária, que era fragmentada e calcinada (queimada) em fornos antigos a temperaturas em torno de 900°C. Em Belém, entretanto, não havia esse tipo de rocha disponível e possivelmente a importação dessa matéria-prima era onerosa demais para tal finalidade. Logo, a matéria-prima alternativa utilizada em Belém, e na região amazônica, assim como em outros lugares do Brasil e do mundo, foram as conchas, as quais eram trituradas e calcinadas para a produção de ligante usado nas argamassas antigas. Por isso, a presença de fragmentos de conchas e nódulos de cal são características desse tipo de argamassa antiga produzida a partir de conchas.

Contudo, Loureiro *et al.* (2020) identificou que ocorreu a diminuição da quantidade de fragmentos de conchas e nódulos de cal nas argamassas belenenses ao longo dos séculos XVIII e XIX. Sendo também possível observar essa mesma tendência nas argamassas do cemitério da Soledade (Corrêa *et al.*, 2023).

Estando o decréscimo desses componentes diretamente ligado a escassez da matéria-prima (conchas), uma possível solução encontrada para contornar essa situação foi o emprego de outros tipos de ligante mais viáveis financeiramente, que favorecessem uma boa produtividade e que pudessem ser importados. Dessa forma, o surgimento e popularização de novos ligantes cimentícios (hidráulicos) na segunda década do século XIX pode ter sido a solução mais favorável encontrada para a produção das argamassas na nossa região (Corrêa *et al.*, 2023).

Nesse período da Belle-Époque Belenense havia uma busca incessante pelo ideal da modernidade à francesa, que era posta em prática nos diferentes contextos da vida cotidiana de Belém, incluindo no uso de novas tecnologias nas construções da cidade. Assim, o ciclo da borracha financiava a atualização tecnológica, e possivelmente, o emprego de novos e modernos tipos de materiais em Belém. Considerando que o

cemitério da Soledade era um espaço onde uma boa parte da elite belenense o utilizava para manter o status socioeconômico pós-morte (Caluff, 2014), a utilização de novos materiais era bem-vinda no processo de imortalização de monumentos.

Esse período de adaptação se estendeu até meados do século XX, pois a crise da borracha afetou diretamente a importação de produtos e materiais de construção.

Dessa forma, pode-se observar por meio da arquitetura mortuária do cemitério, como materiais importados durante o século XIX passaram a ser sucedidos por materiais fabricados nacionalmente durante o século XX, incluindo as argamassas, para uso em novas sepulturas ou em reformas e melhorias dessa arquitetura.

Por fim, uma nova fase do cemitério da Soledade foi iniciada a partir das obras de conservação e restauração iniciada em 2022, na qual ao fim da primeira etapa, em 2023, resultou no antigo cemitério transformado em Parque, denominado Parque Cemitério da Soledade.

Durante as obras, a arquitetura mortuária do antigo cemitério passou por um processo de conservação e restauro, no qual podemos citar a utilização de novas argamassas (de restauro) à base de cal aérea (Figura 4), seja com a função de revestimento, assentamento ou para a produção de elementos decorativos.

As formulações são baseadas em estudos tecnológicos que envolvem ensaios e técnicas analíticas aplicadas para a reconstituição do traço mais provável das argamassas antigas, identificando quais os ligantes e agregados empregados e, assim são produzidas argamassas de restauro compatíveis com as estruturas históricas.



Figura 4: Antes e depois do mausoléu C7: a) imagem do mausoléu C7 em 2013. Fonte: LACORE, 2013); b) imagem do mausoléu C7 após seu processo de restauro que aconteceu em 2023, nele foram aplicadas argamassas de consolidação e novas argamassas de revestimento.

Esse processo de restauro dos bens e arquitetura mortuária do Parque Cemitério da Soledade continua atualmente por meio do projeto Etapa II da Restauração de Bens da Arquitetura Mortuária do Cemitério de Nossa Senhora Soledade – Belém-PA, iniciada em dezembro de 2023.

c) Perspectiva patrimonial

Embora os diferentes materiais que compõe a arquitetura mortuária do Cemitério da Soledade façam parte do mesmo contexto e sejam passíveis das mesmas leis da natureza, a maneira como cada um é percebido (lido) pelos diversos atores sociais é relativa. Essa leitura se relaciona diretamente com a função desejada que o material foi empregado, mas também como essa arquitetura é interpretada enquanto bem patrimonial.

Considerando as perspectivas enquanto visitante, pesquisadora e profissional (bolsista do LACORE) que trabalha no projeto de restauro do Soledade, observo que as tipologias em pedra de cantaria chamam mais atenção, talvez por ser o material em maior quantidade no cemitério, ou por apresentar uma estética mais refinada. Além disso, outros materiais, tidos como bens integrados como a azulejaria e metais do Soledade também se encontram na sequência dos planos de “percepção”. Ambos também apresentam atributos estéticos e estão em grande quantidade no cemitério. Neste contexto, a argamassa que é um material empregado em todas as tipologias e sistemas construtivos presentes no Soledade, na maioria das vezes, passa despercebido pelos visitantes num primeiro momento. Essa falta de atratividade pode estar relacionada aos locais de aplicação “escondidos” destas argamassas, os quais normalmente são pouco evidentes aos atores que vivenciam (de diferentes formas). Por outro lado, mesmo quando a argamassa se trata do acabamento final tende a ser não atrativa devido ao mau estado de conservação das sepulturas em que foram aplicadas antes da reforma do cemitério. É provável que após a intervenção estas argamassas fiquem mais evidentes e possam ter uma conotação para os diferentes atores que experienciam o Cemitério da Soledade.

Considerando a teoria de Brandi, essa justificativa da falta de evidência das argamassas pode ser plausível, pois defende que apenas as obras de arte são dignas de especial atenção para o restauro. Sendo assim, uma obra de arte precisa

apresentar necessariamente valores estético e histórico de modo que seja reconhecida como algo a ser transmitido para o futuro.

As argamassas, principalmente as de função estrutural, não são lidas como obras de arte, pois não têm valor estético, apesar do valor histórico ser reconhecido por parte das pessoas, principalmente as quais possuem algum tipo de conhecimento técnico e/ou acadêmico (histórico, tecnológico, arquitetônico, etc.). Quanto as argamassas de revestimento pigmentadas (Figura 6) e as decorativas (Figura 5), esses dois valores contribuem para uma leitura e percepção como obras de arte considerando as premissas da teoria brandiana.



Figura 5: Antes e depois da sepultura B47 que contém argamassa decorativa: a) sepultura e argamassa decorativa em péssimos estado de conservação que dificultam a legibilidade do bem. Fonte: LACORE, 2013; b) sepultura após o processo completo de intervenção, onde se restaurou apenas a matéria da obra de arte, preservando a imagem imaterial dela.

Por outro lado, para Riegl (1903) não existe uma hierarquia entre os monumentos pois todos têm a capacidade de rememorar o passado. Sua teoria prioriza a relação das pessoas com objetos em função de informações históricas e indica que os monumentos podem apresentar um processo de valoração diferente, seja de rememoração (ligados ao passado e à memória) ou de contemporaneidade (pertencente ao presente).

Sendo assim, seguindo a linha de raciocínio dessa teoria, os bens da arquitetura mortuária em argamassa do Cemitério da Soledade apresentam diferentes valores seja de rememoração ou de contemporaneidade, bem como os seus materiais constituintes (Figura 6). Pode-se inferir que todos os bens em argamassa do cemitério apresentam valor histórico, pois mesmo quando há valor artístico, há valor histórico e ele deve ultrapassar o valor estético.

Por outro lado, mesmo os bens da arquitetura mortuária argamassados cujo valor histórico é maior que o valor estético, pode vir a ser considerados monumentos artísticos caso seja considerado raridade, representando exemplares quase extintos e, por isso, são importantes de serem restaurados, conservados e preservados.

As intervenções de restauro podem favorecer a permanência ou até mesmo aumentar o valor histórico destes bens argamassados, pois, segundo Riegl (1903), as alterações e degradações parciais são perturbadoras, pois o valor histórico é maior quando o monumento revela o estado original e acabado do monumento, como ele se apresentava no momento da criação. Por outro lado, as argamassas que ainda não passaram pelo processo de restauração, podem apresentar maior valor de antiguidade, pois para Riegl (1903) os sintomas de degradação são essenciais para este valor, pois reside na falta de integridade e na tendência à dissolução das formas. Ainda, segundo o teórico, as atividades destrutivas permitem reconhecer que o monumento não é recente e pertence a um passado distante.



Figura 6: Registro do estado de conservação e passagem do tempo do exemplar C7 que contém argamassa pigmentada: a) imagem registrada em 2013 mostra o mausoléu em péssimo estado de conservação, onde se é difícil identificar a argamassa pigmentada. Fonte: LACORE, 2013; b) Mausoléu após limpeza realizada no projeto de restauro do Soledade em 2022; c) Mausoléu após o processo completo de intervenções de conservação e restauração em que novas argamassas pigmentadas foram aplicadas. Imagem registra em 2024.

Dentre os valores de contemporaneidade, pode-se considerar que o valor de novidade se faz presente nos bens da arquitetura mortuária argamassados que já passaram pelo processo de conservação-restauração da primeira etapa do projeto do Cemitério da Soledade, pois este valor está associado ao fato de dar a impressão de uma perfeita integridade, intocada pela ação destrutiva da natureza (Riegl, 1903). Vale ressaltar que o valor de novidade pode afetar diretamente o valor de antiguidade, pois

valor de novidade só pode ser preservado por medidas contrárias ao culto do valor de antiguidade.

Outra teoria que pode ser acrescentada a essa discussão é a de Muñoz Viñas (2004) que defende que os bens de interesse do restauro devem ser expandidos para outras categorias além daquelas com valores culturais e obras arquitetônicas, propondo assim uma nova nomenclatura, a de objeto. Objeto de restauro é tudo aquilo que apresenta valores sociais, culturais e individuais passíveis de preservação e restauração (Viñas, 2004). Ou seja, para esse teórico os bens de interesse a preservação são distinguidos a partir de esferas coletivas, mas também subjetivas e não apenas atreladas a valores puramente estéticos e históricos.

Entretanto, ao avaliar as argamassas do Soledade de acordo com essa teoria é possível inferir que esses materiais não apresentam nitidamente os valores atribuídos aos objetos, pois não são bens de interesse cultural amplamente reconhecidos principalmente as argamassas de função estrutural. Assim como também não apresentam valores individuais bem consistentes, pois sua relação com pequenos grupos ou indivíduos se restringe basicamente ao grupo de pesquisadores, restauradores e outros profissionais que estão trabalhando nas intervenções do cemitério atualmente.

Apesar disso, essa teoria propõe discussões pertinentes sobre a conservação da materialidade da obra, pois defende que a restauração deve contemplar a verdadeira natureza dos objetos. Isso justifica o sacrifício da matéria em determinados casos, assim como também critica o conceito de reversibilidade. Essa verdadeira natureza relaciona-se ao fetichismo material que o objeto de conservação original possui, pois, em geral, a sociedade tende a valorizar e reconhecer somente as obras originais, desqualificando modificações na sua matéria ou réplicas que embora apresentem a mesma essência de imagem, não são originais.

Outros pontos defendidos se relacionam ao caráter científico que deve ser empregado no campo da conservação e restauro. A subjetividade deve ser evitada em prol da conservação científica, que utiliza técnicas e metodologias objetivas, mais adequados do que as da conservação tradicional.

Considerações finais

As argamassas aplicadas no cemitério da Soledade são evidências dos processos e transformações ocorridas ao longo de décadas, sendo possível, a partir desse estudo,

perceber o volume de informações históricas e tecnológicas que esse material tão importante e utilizado é capaz de “contar”. A diversidade de aplicação de argamassas denota a variedade de tecnologias empregadas nos períodos avaliados, fazendo com que cada tipo seja um material único, principalmente aqueles exemplares que apresentam valor de raridade pois se tratam de argamassas produzidas com tecnologias não mais empregadas nos dias de hoje. Sendo assim, investigar a história e tecnologia dessas argamassas é de grande valia pois gera repertórios técnico e científico a ser considerados em ações de manutenção, conservação e restauração desse bem cultural.

REFERÊNCIAS

BRANDI, C. **Teoria da Restauração**. 4ª edição, 2017.

CALUFF, A. **Duas faces da morte: o corpo e a alma do cemitério Nossa Senhora da Soledade, em Belém/Pa**. 2014. 364 p. Mestrado profissional em Preservação do Patrimônio Cultural – IPHAN, Rio de Janeiro, 2014.

CORRÊA, B. *et al.* Investigação das argamassas de assentamento de azulejos históricos da arquitetura mortuária do cemitério Nossa Senhora da Soledade: características e herança cultural luso-brasileira. *In: 4CIHCLB - Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileir*, nº 4, 2023, Guimarães. Anais. Guimarães: [s.n.], 2023. p. 311–322.

CRUZ, E. O Cemitério de Nossa Senhora da Soledade. *In: Instituto Geográfico e Histórico da Bahia, Instituto Histórico e Geográfico do Pará, Instituto Genealógico Brasileiro, Academia Paraense de Letras. Vultos e Episódios da História do Pará: Procissão dos séculos*. Belém: Imprensa Oficial do Estado do Pará, 1952. p. 177-180.

DA SILVA, P. **Deterioração das Pedras da Arquitetura Mortuária do Cemitério Nossa Senhora da Soledade**. 2014. 218 p. Mestrado acadêmico em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, 2014.

LIMA, T. De morcegos e caveiras a cruzeiros e livros: a representação da morte nos cemitérios cariocas do século XIX (estudo de identidade e mobilidade social). **Anais do Museu Paulista**. Nova Série ed. São Paulo: 1994, 1994. v. 2p. 87–150.

LOUREIRO, A. *et al.* Investigation of historical mortars from Belém do Pará, Northern Brazil. **Construction and Building Materials**, Elsevier Ltd, v. 233, p. 117284, 10 fev. 2020.

MENDES, S. **A azulejaria histórica na arquitetura mortuária do cemitério Nossa Senhora da Soledade: subsídios para a sua conservação e restauração**. 2015. 166 p. Mestrado acadêmico em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, 2015.

RIEGL, A. **O culto moderno dos monumentos: Sua história e suas origens.** 1ª ed. [s.l.] 2019, 1903.

VIÑAS, S. M. **Teoría Contemporánea de la Restauración.** 1ª edição, 2004.

GLOSSÁRIO

Pedra e cal: técnica construtiva em alvenaria de pedra argamassada com cal

Arquitetura mortuária: tipos de construções cemiteriais.

Conservação: prática de manter determinado bem cultural sem alterações.

Restauração: prática de recuperar/reparar bens culturais.

Requalificação: melhorar ou conferir novo uso ao bem cultural.

Túmulo: tipo de jazigo (sepultura) de formato horizontal.

Mausoléu: tipo de jazigo (jazigo) que visa rememorar algo/alguém.

Necrópole: sinônimo de cemitério

Argamassa: material de construção produzido a partir da mistura de ligante, agregado e água.

Sistema construtivo: conjunto de elementos arquitetônicos que formam uma construção.

Tombamento: instrumento de preservação de bens culturais praticado pelo poder público.

Processos de alterações: conjunto de fenômenos naturais ou antrópicos que causam modificações no bem cultural.

Pedra em cantaria: técnica construtiva produzida a partir do encaixe (ligação) de blocos de pedras de diferentes tamanhos.

Tipologia: conjunto de características físicas (formatos, dimensões, etc.) próprias de diferentes de construções. Nesse contexto, refere-se aos tipos de jazigos cemiteriais.

Embasamento: tipo de base construída entre a fundação e a sepultura propriamente dita, tendo como função evitar o contato direto entre os dois.

Argamassa à base de cal: material produzido a partir da mistura de ligante à base de cal aérea, agregados finos (argila) e grossos (areia) e água.

Agregado: material que atua como “esqueleto” da argamassa, podendo do tipo ser grosso (areia) ou fino (argila).

Pozolana: material rico em álcalis e sílicas reativo ao hidróxido de cálcio de água.

Nódulos de cal: pequenos grumos de ligante (cal) que não reagiram completamente.

Ligante hidráulico: tipo de material que reage (endurece) ao interagir com água e CO₂ simultaneamente.

Ligante cimentícios: tipos de ligante hidráulico com alto teor de argila.

Técnicas analíticas: tipos de análises realizadas a partir de equipamentos ou instrumentos laboratoriais.

Traço mais provável: ensaio que tem por objetivo inferir uma possível proporção entre ligante e agregado usado na produção da argamassa.

Estado de conservação: situação física de um bem cultural material no momento em que foi avaliado.

Degradação: modificação do material que ocasiona perda qualidade, valor ou uso de um bem cultural.

Reversibilidade: prática de reverter intervenções de restauro aplicadas a bens culturais materiais.

4.2. ARTIGO 1: *INVESTIGAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE AZULEJOS HISTÓRICOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE: CARACTERÍSTICAS E HERANÇA CULTURAL LUSO-BRASILEIRA*

Artigo publicado nos anais do 4º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira em setembro de 2023.

Atas do evento disponíveis em:

<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/87694/1/4%20CIHCLB%20Sistema%20defensivo%20abaluartado%20no%20vale%20do%20rio%20Minho.pdf>

**INVESTIGAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE
AZULEJOS HISTÓRICOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO
CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE:
CARACTERÍSTICAS E HERANÇA CULTURAL LUSO-
BRASILEIRA**

Corrêa, Brenda^{1*}, Loureiro, Alexandre^{2}, Sanjad, Thais^{3***}, Costa, Marcondes^{4****},
Santos, Pablo^{5*****}.**

*brenda.arq.correa@gmail.com¹, loureiro1@ufpa.br², thais@ufpa.br³,
marcondeslc@gmail.com⁴, phsantosgeo@gmail.com⁵.*

**Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural, Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação, Instituto de Tecnologia.*

***Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural, Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação, Instituto de Tecnologia.*

****Universidade Federal do Pará, Faculdade de Conservação e Restauo, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural, Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação, Instituto de Tecnologia.*

*****Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações, Instituto de Geociências.*

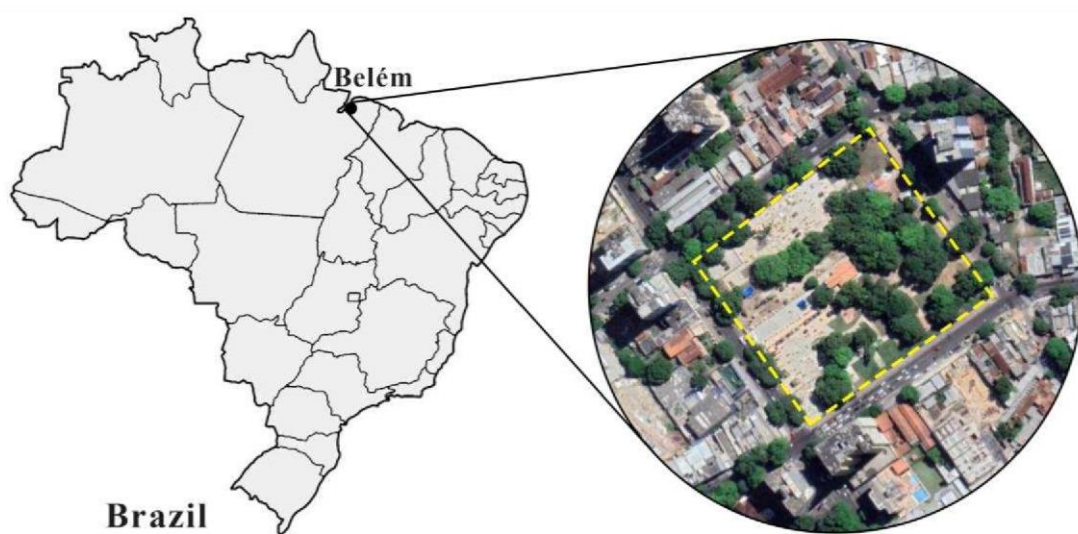
******Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações, Instituto de Geociências.*

Palavras-chave: Argamassa tradicional; Patrimônio azulejar; Arquitetura cemiterial; Restauo.

Resumo: O Cemitério Nossa Senhora da Soledade foi o primeiro cemitério público de Belém do Pará, construído em 1850. Sua azulejaria histórica-mortuária se configura como um dos principais representantes de sua arquitetura, e conta com azulejos importados da Europa e de fabricação nacional datados dos séculos XIX e XX. Assim, as argamassas que assentaram tais azulejos também representam as técnicas construtivas desses períodos, cujo a passagem do tempo provocou deteriorações e exigiu ações de intervenção para sua salvaguarda. Para entender esses processos, esta pesquisa coletou dez amostras de argamassas de assentamento de azulejos para a sua caracterização química, física e mineralógica. Os resultados apontaram que o tipo de azulejo e período de assentamento influenciaram as características dessas argamassas, principalmente quanto ao tipo de ligante empregado: aqueles assentados no século XIX apresentaram argamassas com características semelhantes as históricas a base de cal, enquanto as do século XX apresentaram características hidráulicas, como cimento.

1 INTRODUÇÃO

O Cemitério Nossa Senhora da Soledade (Figura 1a) foi a primeira necrópole pública oficial da cidade de Belém do Pará, inaugurada em 1850. Seu contexto de construção relacionou-se a uma série de transformações urbanísticas e sanitaristas ocorridas na cidade em meados do século XIX, por exemplo, a epidemia de febre amarela [1]. A urgência da inauguração do cemitério fez com que seu embelezamento ocorresse posteriormente, a partir de 1853, perdurando ao longo dos anos. Nesse sentido, o período da Belle Époque belenense, iniciado em 1870, exerceu grande influência nas transformações da necrópole, pois muitos materiais nobres eram importados da Europa para utilização nos túmulos e mausoléus, colaborando para que o Cemitério da Soledade apresentasse características similares as de um cemitério monumental europeu (Figura 1b e 1c), em estilo romântico [2].



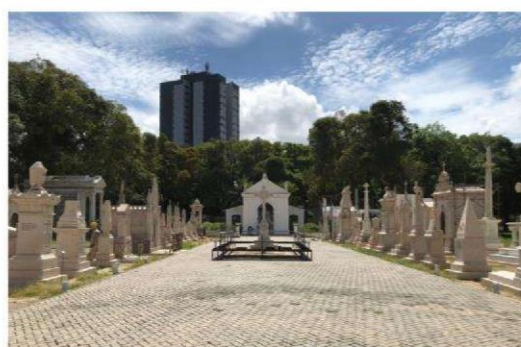
(a)

Fonte: Acervo Lacore, 2022.



(b)

Fonte: Fidanza, Filipe Augusto.
Fonte: <https://bdlb.bn.gov.br/acervo/handle/20.500.12156.3/40274>



(c)

Fonte: Acervo Lacore, 2022.

Figura 1: Cemitério Nossa Senhora da Soledade: (a) localização da cidade de Belém e vista superior do cemitério ($1^{\circ} 27' 26''$ S, $48^{\circ} 29' 23''$ O); (b) fotografia da década de 1870 mostra a alameda central do cemitério, a partir da atual Avenida Serzedelo Corrêa, destacando o cruzeiro e a fachada principal da capela ao fundo; (c) Mesma vista da alameda principal a partir da Avenida Serzedelo Corrêa. Fotografia tirada em 2022 durante a execução da reforma e revitalização do cemitério.

O Soledade foi tombado como Conjunto Paisagístico Nacional pelo IPHAN em 1964 e em sua arquitetura mortuária consta um acervo azulejado de grande valor artístico e

cultural em níveis local e nacional, que pode ser classificado em azulejos de padrões brancos e azulejos decorados; bem como azulejos fabricados no século XIX e azulejos fabricados no século XX [3], [4].

Assim, a investigação das argamassas de assentamento da azulejaria do cemitério da Soledade se fez necessária por dois principais motivos: 1) a escassez de estudos a respeito de argamassas de assentamento de azulejarias históricas, principalmente em relação a cidade de Belém; 2) a condição diferenciada de exposição às intempéries das argamassas de assentamento dos azulejos dos túmulos e um mausoléu, pois a maioria está em contato direto com o solo.

A compreensão desse material, assim como de todo seu sistema construtivo, é essencial para a proposição de estratégias de conservação, manutenção e restauração adequadas, bem como o desenvolvimento de novos materiais e técnicas, levando em consideração o intemperismo da região amazônica.

Neste contexto, o artigo teve como objetivo investigar as argamassas de assentamento da azulejaria histórica-mortuária do cemitério de nossa senhora da Soledade, em Belém do Pará. Para isso, foram extraídas amostras de nove túmulos e um mausoléu do cemitério para caracterização física, química e mineralógica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Seleção do elenco e coleta de amostras

Após o levantamento detalhados dos monumentos individuais, os túmulos e mausoléu selecionados para a investigação foram os seguintes: B5, B7, B24, B25, B43 (mausoléu), C3, C24, C26, F39 e K22 (Figura 2).

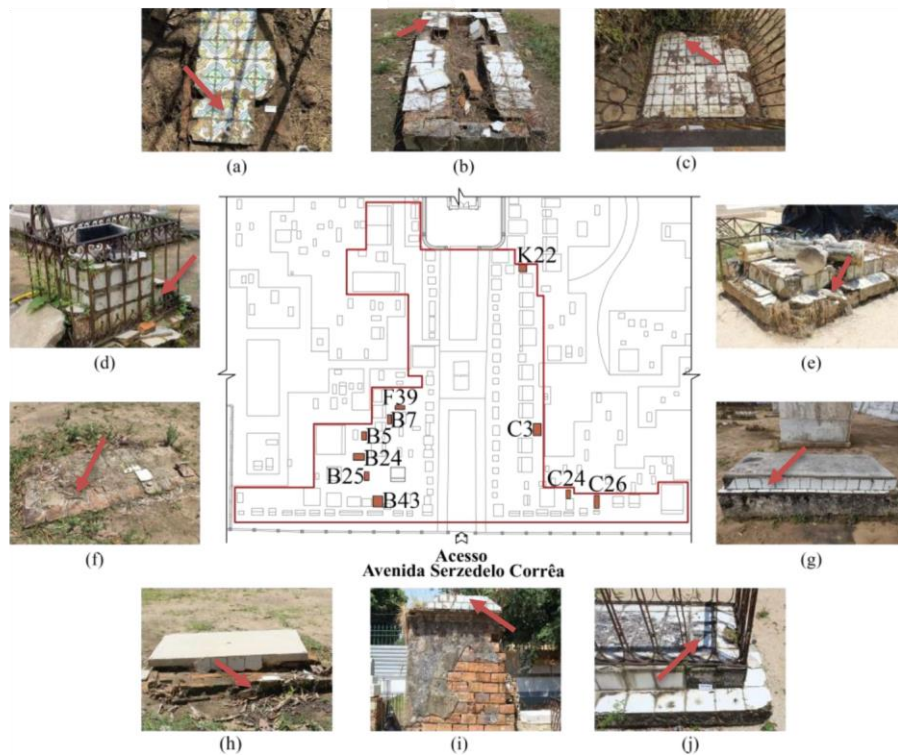


Figura 2: Esquema de seleção e setas apontando o local da coleta de amostras: (a) B7; (b) F39; (c) K22; (d) B5; (e) C3; (f) B24; (g) C26; (h) B25; (i) B43; (j) C24.

Todos estão sendo restaurados na primeira etapa do projeto de Restauração de Bens da Arquitetura Mortuária do Cemitério de Nossa Senhora da Soledade, objeto de Convênio entre o Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação (LACORE), por meio da Universidade Federal do Pará (UFPA), com a Secretaria de Estado de Cultura do Estado do Pará (SECULT/PA) e a Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa (FADESP).

A seleção e coleta de amostras ocorreu entre novembro e dezembro de 2022, durante a etapa de remoção dos azulejos para a restauração. Nesse sentido, foram considerados o critério de amostragem mínima, priorizando áreas que apresentassem destacamento de azulejos. Ao final, um total de 10 (dez) amostras foram coletadas seguindo as diretrizes citadas, sendo representativas do elenco analisado.

2.2 Caracterização das Argamassas

2.2.1 Caracterização Macroscópica

Primeiramente, foi realizada uma análise visual antes, durante e após a coleta para a determinação de algumas características macroscópicas das amostras com o auxílio de lupa, paquímetro analógico e carta de Munsell. Em seguida, as argamassas foram tratadas e preparadas para a caracterização química, física e mineralógica.

2.2.2 Relação ligante:agregado via ataque ácido (análise química via úmida)

O ensaio foi realizado por meio de uma solução de ácido clorídrico e água destilada na proporção 1:4. Ao final, restou apenas a fração insolúvel, sendo possível determinar a relação ligante/agregado por gravimetria [5].

2.2.3 Caracterização física dos agregados

Após o ataque ácido, foi realizada a determinação da cor dos agregados grossos e agregados finos por meio da carta de Munsell. Em seguida foi feita a determinação do tamanho de partícula do agregado grosso por meio da análise granulométrica com base na norma EN 933-1 [6]. Em seguida, por meio da curva granulométrica gerada, foi aferido o Coeficiente de Curvatura (CC) que avaliou a gradação das faixas de tamanhos de partícula, definindo se a curva é bem graduada ou mal graduada [7].

2.2.4 Caracterização mineralógica

A identificação mineral foi realizada por Difração de Raios-X (DRX), método do pó, com auxílio do difratômetro Bruker D2 PHASER, com anodo de Cu, detector Lynxeye (1D mode); incremento de $0,02^\circ 2\theta$; tempo de passo de 0,2 s; e slit de 0,1 mm; operado a 300 W (30 KV e 10 mA), na faixa angular de 5° a $75^\circ 2\theta$. As análises foram realizadas no







Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações (LAMIGA) da Universidade Federal do Pará.





3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização macroscópica

A Tabela 1 apresenta as principais características macroscópicas das amostras coletadas. Assim, o elenco pode ser dividido em dois grupos: argamassas do século XIX e argamassas do século XX. Todas as argamassas do século XIX apresentaram nódulos de cal e apenas nas amostras B7 e B24 foram observados fragmentos de concha, ambos componentes distribuídos de forma heterogênea e com diferentes tamanhos ao longo da matriz da argamassa. A presença de nódulos de cal e fragmentos de concha são recorrentes em argamassas históricas a base de cal, inclusive em edifícios históricos de Belém do século XVIII e XIX, e estão relacionadas ao uso da cal produzida a partir de conchas do litoral do Pará como aglomerante, o tipo de matéria-prima usada e as técnicas de produção da argamassa [8], [9].

Tabela 1. Características macroscópicas das argamassas de assentamento da azulejaria histórico-mortuária do cemitério da Soledade.

Amostra	Frag.de concha	Nód. de cal	Espessura	Imagem	Tipo / Procedência / Século	Cor
B5	-	+	15mm		Branco e liso Fábrica de Gaia Provavelmente português Séc. XIX	10 YR 7/4 Very Pale Brown
B7	+	++	18mm		Decorado Provavelmente Português Séc. XIX	10 YR 8/4 Pale Brown
B24	++	++	20mm		Branco e liso Provavelmente Português Séc. XIX	2.5 Y 8/3 - Pale Brown
B25	-	++	15mm		Branco e liso Provavelmente Português Séc. XIX	10 YR 7/6 Yellow
B43	-	+++	15mm		Branco e liso Provavelmente Português Séc. XIX	Gley 1 8/n White
K22	-	*	2mm		Branco e Liso Provavelmente Português – Séc. XIX	White Page N 9.5/ White

	i	i	r			
C3	-	-	27mm		Branco e liso Provavelmente Brasileiro Séc XX	White Page 7.5 YR_1/8/ White
C24	-	-	20mm		Branco e Liso Brennand IASA Séc. XX	White Page 10 YR_2/8 /
C26	-	-	30mm		Branco e Liso Azulejos do Pará (AZPA) Séc. XX	White 10 YR 7/3 Very Pale Brown
F39	-	-	3mm		Branco e Liso Brennand IASA Séc. XX	White Page 2.5Y_1 /8/ - white

Legenda: Muito +++ / Médio ++ / Pouco + / Nenhum - / Camada completamente branca * Frag.:fragmento;
Nod.: nódulo

A cal produzida em Belém tinha como principal matéria-prima conchas de sambaquis, cujo maioria foi descoberta e explorada durante o século XVIII e XIX [10]. Loureiro et al. [9] indica que o decréscimo do uso de fragmentos de concha em argamassas de cal pode ter ocorrido em função do esgotamento dos sambaquis ao longo dos anos. Tal hipótese explicaria o fato de apenas duas amostras do elenco investigado conter tais componentes (B7 e B25), ambas do século XIX. Outra possível explicação, seria o preparo mais rigoroso da cal para não conter os fragmentos de concha pois estes atuam como agregados de maior dimensão na matriz carbonática, o que poderia provocar alterações nos comportamentos físicos e mecânicos do material. Segundo Carasek et al. [11], os grãos de maior dimensão tendem a interferir na aderência da interface argamassa/azulejo por prejudicar o contato adequado do ligante com o azulejo. Além disso, as técnicas tradicionais indicavam a diminuição gradativa dos agregados a partir das camadas internas para externas, o que também podia ocorrer no caso das argamassas de assentamento de azulejos [12].

Outra possibilidade para a ausência de fragmentos de conchas e nódulos de cal em algumas das argamassas investigadas, seria o uso de argamassa à base de cal aérea feita de rochas calcárias, o que eliminaria a presença de fragmentos de conchas e, assim, possibilitaria maior contato entre o ligante, substrato e azulejo, favorecendo o bom desempenho do sistema. A inexistência destes componentes nas amostras do século XX também podem denotar a escassez da matéria-prima para a produção do ligante das argamassas de cal de sambaquis neste período. Logo, poderiam ser usadas outras alternativas, por exemplo, a importação de cal e/ou cimento de países da Europa, cuja hipótese pode ser reforçada por meio da existência de anúncios em jornais belenenses da comercialização de cimento, inclusive cimento Romano em 1859. É provável que em alguns casos no Cemitério da Soledade usou-se cimento importado, uma vez que a

indústria cimentícia brasileira começou a fabricar seu próprio cimento somente a partir dos anos 1925 [13], ano em que muitos túmulos já tinham sido construídos.

Por outro lado, é muito provável que algumas amostras do século XX tenham cimento nacional em sua composição, pois em alguns casos os azulejos são comprovadamente da metade do século XX, quando diferentes fábricas de cimento já estavam em pleno funcionamento no Brasil. Por exemplo, as amostras C24 e F39 são de azulejos da fábrica Brennand IASA, cuja produção deste tipo de cerâmica ocorreu a partir de 1954, quando já havia produção de cimento nacional. A mesma lógica vale para a C26, pois é proveniente de azulejo da fábrica de Azulejos do Pará (AZPA), fundada em 1967.

As amostras em geral indicam espessura variada da argamassa, entre 2 e 30 mm, sendo dimensões usuais em argamassas tradicionais à base de cal [8],[12],[9],[14]. No geral, as argamassas do século XX são mais espessas em relação as do século XIX, o que talvez tenha relação com a espessura dos azulejos, pois os mais novos têm dimensões maiores e menor espessura, cuja produção foi nacional.

Ainda, no momento da desagregação do material para a preparação das amostras para os ensaios laboratoriais, as amostras mais recentes eram mais difíceis de serem desagregadas, o que pode ter relação com o tipo de ligante usado (possivelmente cimento), o que acaba por influenciar na compacidade e resistência do material.

De acordo com a carta de Munsell, as argamassas têm as seguintes cores: pale brown, very pale brown, yellow e white (Tabela 1). No entanto, é possível observar nas imagens das amostras que algumas apresentam variações de cinza, apesar das indicações de cor “white” do catálogo, visto que foram os códigos que mais se aproximaram das amostras.

Na maioria das amostras a coloração varia de marrom claro/muito claro a amarelo, se assemelhando as das argamassas históricas à base de cal investigadas em outras pesquisas. Por outro lado, as argamassas K22 e B43, se diferenciam das demais, cuja cor “branca” da primeira pode indicar o uso de calcário puro, ou com baixíssimo teor de impurezas [15], enquanto a cor da segunda pode estar relacionada a maiores teores de impureza na matéria-prima da argamassa [16]. Além disso, a pureza e alta proporção de aglomerante da amostra K22 explicaria sua cor e o porquê de a camada ser mais fina que as demais, cerca de 2mm, já que a cal era o componente mais caro da argamassa. Em relação as amostras do século XX, as colorações em variações de cinza podem ser explicadas pelo uso de aglomerantes hidráulicos, mais contemporâneos, como o cimento Portland [17].

3.2 Relação ligante:agregado via ataque ácido (análise química via úmida)

A Tabela 2 mostra a relação ligante/agregado das amostras analisadas, cujos resultados obtidos possibilitou a divisão em três grupos: a) argamassa muito forte, b) argamassa forte e c) argamassa média.

As amostras têm alto teor de ligante, com proporção ligante/agregado variando entre 1:0,29 a 2,09, se classificando como argamassas fortes e argamassas muito fortes. Apenas a argamassa B25 destoou do conjunto, cujo traço mais provável foi de 1:3,48, ou seja, uma argamassa de traço médio. Dada a função de ligação da argamassa de assentamento, era esperado que a quantidade de ligante fosse elevada e, para as amostras do século XIX,

a literatura aponta que essas proporções são recorrentes nas análises de argamassas históricas a base de cal [18].

Várias pesquisas mostram que o teor de ligante vai aumentando das camadas internas para externas, assim como a sua pureza [12] e, no sistema construtivo dos túmulos e mausoléus azulejados, a argamassa de assentamento acaba sendo a última camada de argamassa utilizada dentre as outras camadas aplicadas, o que corrobora com a constatação de outras pesquisas.

Tabela 2. Tipos de argamassa de acordo com a relação ligante/agregado estimada por análise via úmida.

Grupo	Amostra	Ligante : Agregado (em volume)
Argamassa muito forte (> 1:1)	B43	1:0,29
	K22	1:0,31
Argamassa forte (< 1:1 ou 1:2)	C24	1:1,14
	B24	1:1,32
	F39	1:1,40
	C3	1:1,61
	C26	1:1,64
	B7	1:1,78
	B5	1:2,09
Argamassa média (< 1:3)	B25	1:3,48

A maioria das amostras está em contato direto com o solo e, apesar da exposição excessiva à umidade e a falta de manutenção ao longo de anos, todas argamassas mantiveram um bom desempenho. É provável que o uso de argamassas de traço forte foi empregado por sua função de assentamento e, ainda, pelas condições as quais o material estaria submetido ao longo dos anos. Nesse sentido, a utilização de materiais de boa qualidade, como os importados, com adições de componentes hidráulicos ou pozolânicos seriam uma possível explicação para se alcançar argamassas fortes e resistentes a passagem do tempo e nas condições submetidas.

3.3 Caracterização Física dos Agregados

O agregado grosso é constituído predominantemente por grãos de quartzo subangulares a arredondados e transparentes, com brilho vítreo e coloração branca ou marrom claro a escuro (Tabela 3) que pode estar relacionado a películas de O-OH de ferro [9], o que explica a cor amarelada/amarronzada de algumas argamassas segundo a Carta de Munsell. Por outro lado, o agregado fino é composto de grãos de argila de coloração marrom claro ou “branco” (Tabela 3). Assim, é possível afirmar que a cor de algumas argamassas foi diretamente influenciada principalmente pela cor do agregado grosso, principalmente do século XIX. Contudo, nas argamassas do século XX, apesar do agregado ter

características similares, o ligante teve maior influência na cor acinzentada, conforme citado anteriormente.

Na maioria das amostras do século XX tem coloração acinzentada, o que pode ter relação com o uso de cimento Portland, conforme discutido anteriormente. Apesar dos agregados finos e grossos dessas amostras seguirem a mesma paleta de cores das argamassas do século XIX (Tabela 3), o aglomerante exerceu maior influência na cor final da argamassa. Apenas a argamassa C26 tem coloração marrom-claro, o que denota influência do agregado na cor final da amostra, na qual pode ter ligante à base de cal.

A curva granulométrica e o coeficiente de curvatura (Tabela 3 e Figura 3) indicam que o agregado utilizado nas argamassas é bem graduado, ou seja, a curva granulométrica desenvolve-se suavemente e pode propiciar um maior empacotamento das partículas, reduzindo a quantidade de vazios nas amostras. De forma indireta é possível constatar que se trata de uma argamassa densa, cuja permeabilidade de água líquida pode ser dificultada, mas a permeabilidade do vapor d'água foi mantido, principalmente daquelas que são de ligante à base de cal.

Tabela 3. Colorimetria das amostras antes e depois (resíduos finos e grossos) do ataque ácido. Coef.: coeficiente.

Amostra	Cor do Agregado Fino	Cor do Agregado Grosso	Coef. de Curvatura
B5	10YR 6/4 - Light Yellowish Brown	10 YR 8/1 - White	1.12
B7	2.5 Y 6/4 - Light Yellowish Brown	2.5 Y 8/1 - White	1.12
B24	10 YR 5/4 - Yellowish Brown	10 YR 8/1 - white	1.03
B25	10 YR 7/6 - Yellow	10 YR 8/2 - Very pale brown	0.98
B43	2.5 Y 7/2 - Light Gray	2.5 Y 8/1 - White	0.95
C3	White page 7.5 YR_1/8/ - White	White page 7.5 YR_1/9.5/ - White	1.19
C24	10 YR 7/2 - Light Gray	10 YR 8/1 - White	1.23
C26	10 YR 6/3 - Pale Brown	10 YR 7/4 - Very pale brown	0.91
F39	white page 2.5Y_1/8/ - White	White Page N 9.5/ - White	1.18
K22	2.5Y 7/1 - Light Gray	2.5 Y 8/1 - White	1.43

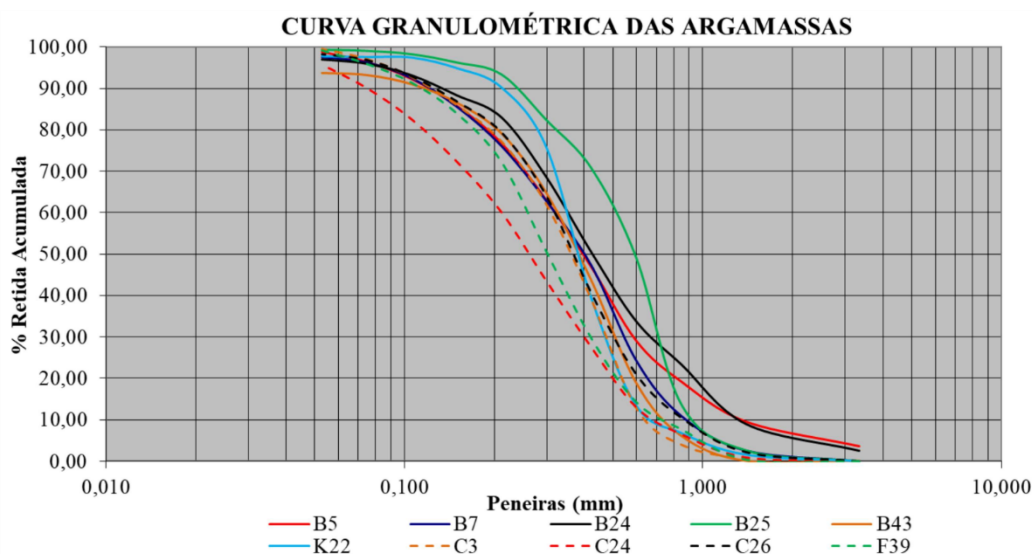


Figura 3. Curva granulométrica do agregado grosso das amostras de argamassa analisadas.

3.4 Caracterização mineralógica

No geral, foram identificados os seguintes minerais: quartzo, calcita, caulinita e gipsita (Tabela 04).

Tabela 4. Análise de DRX das amostras de argamassas.

Amostra	Minerais Identificados por DRX			
	Quartzo	Calcita	Caulinita	Gipsita
B5	✓	✓	✗	✗
B7	✓	✓	✗	✗
B24	✓	✓	✗	✗
B25	✓	✓	✓	✓
B43	✓	✓	✓	✓
K22	✓	✓	✗	✗
C3	✓	✓	✗	✗
C24	✓	✓	✓	✓
C26	✓	✓	✗	✗
F39	✓	✓	✗	✗

A calcita é proveniente da carbonatação da cal usada como ligante e dos fragmentos de conchas (naquelas que possuem este componente). Ainda, os nódulos de cal também possuem relação com o ligante empregado, uma vez que a mistura da argamassa poderia não ser tão efetiva e estes grumos se faziam presentes ou, ainda, estes nódulos poderiam ser oriundos da cal carbonatada antes de entrar na mistura, muitas vezes por não ter um armazenamento adequado.

O quartzo representa o agregado grosso empregado na mistura, o que era bastante comum na antiguidade por ser um material abundante, inerte (na maioria dos casos) e que ajudava a minimizar a retração. Algumas argamassas apresentaram traços de caulinita, o que pode denotar foi priorizado o uso de agregado quartzoso por sua função de minimizar a retração, uma vez que a maioria das amostras possui alto teor de ligante, principalmente por sua função de ligação. Agregado grosso natural sempre contém um pouco de argila, sendo mais comum a caulinita.

Nas amostras mais antigas, a gipsita pode ter relação com a poluição atmosférica, ou mesmos pelo contato direto com o solo, situação da maioria das argamassas, por eflorescência. Por outro lado, nas amostras mais recentes, a gipsita pode ser um dos componentes do cimento (possível ligante), incorporado ao clinker, pois este é responsável por retardar a pega do clínquer.

4 CONCLUSÕES

Nas amostras mais antigas, a gipsita pode ter relação com a poluição atmosférica, ou mesmos pelo contato direto com o solo, situação da maioria das argamassas, por eflorescência. Por outro lado, nas amostras mais recentes, a gipsita pode ser um dos

componentes do cimento (possível ligante), incorporado ao clinker, pois este é responsável por retardar a pega do clínquer.

Os resultados mostraram que as argamassas de assentamento de azulejos históricos do Cemitério da Soledade têm características esperadas de uma argamassa com esta função: alto teor de ligante, pequena quantidade de agregado para minimizar a retração e alta compacidade. Tais características possibilitaram que a argamassa se adequasse bem à exposição prolongada à umidade e também à falta de manutenção, o que reflete seu bom estado de conservação e bom desempenho ao longo dos anos.

As características macroscópicas mostram claramente que há diferença entre as argamassas de períodos distintos, o que tem relação direta com o tipo de ligante usado em cada momento, sendo muito provável que nas argamassas mais antigas foi usado argamassa à base de cal e nas mais recentes argamassas à base de cimento. As argamassas à base de cimento podem ser uma das primeiras usadas em obras de Belém, mas é necessário um estudo mais aprofundado para validar a informação.

Por meio da mineralogia não foi possível identificar indícios de que as argamassas mais recentes são à base de cimento Portland ou outro tipo de cimento, ou até mesmo de cal hidráulica. Isto se deve principalmente pelo fato de que os produtos hidráulicos neste tipo de argamassa podem não ser detectados por DRX devido ao seu caráter amorfo [19], o que pode ser aprofundado em outros estudos por meio de outras técnicas analíticas, por exemplo, a microscopia eletrônica de varredura ou a análise termogravimétrica.

REFERÊNCIAS

- [1] E. CRUZ, *O Cemitério de Nossa Senhora da Soledade. Vultos e Episódios da História do Pará: Procissão dos séculos*. Belém: Imprensa Oficial do Estado do Pará, 1952.
- [2] A. Caluff, “Duas faces da morte: o corpo e a alma do cemitério Nossa Senhora da Soledade, em Belém/Pa”, Dissertação de mestrado, IPHAN, Rio de Janeiro, 2014.
- [3] S. A. M. Gasparetto e T. A. B. C. Sanjad, “The historical glazed tiles from Nossa Senhora da Soledade Cemetery, Northern Brazil: microstructural, physical and mineralogical characterization”, *Ceramica*, vol. 64, nº 369. Associação Brasileira de Cerâmica, p. 141–147, 1º de janeiro de 2018. doi: 10.1590/0366-69132018643692091.
- [4] S. A. Mendes, “A azulejaria histórica na arquitetura mortuária do cemitério Nossa Senhora da Soledade: subsídios para a sua conservação e restauração”, Belém, 2015.
- [5] B. Middendorf, J. J. Hughes, K. Callebaut, G. Baronio, e I. Papayianni, “Investigative methods for the characterisation of historic mortars - Part 2: Chemical characterisation”, *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, vol. 38, nº 282, p. 771–780, out. 2005, doi: 10.1617/14282.
- [6] British Standards Institution, “Tests for geometrical properties of aggregates Part 1: Determination of Particle Size Distribution – Sieving Method”, *BS EN 933*, vol. 11997.3. p. 1–7, 2005.
- [7] E. Ontiveros-Ortega, O. Rodríguez-Gutiérrez, e A. D. Navarro, “Mineralogical and physical-chemical characterisation of Roman mortars used for monumental substructures on the Hill of San Antonio, in the Roman city of

- Italica (prov. Baetica, Santiponce, Seville, Spain)”, *J Archaeol Sci Rep*, vol. 7, p. 205–223, jun. 2016, doi: 10.1016/j.jasrep.2016.03.043.
- [8] P. Adriano, A. Santos Silva, R. Veiga, J. Mirão, e A. E. Candeias, “Microscopic characterisation of old mortars from the Santa Maria Church in Évora”, *Mater Charact*, vol. 60, nº 7, p. 610–620, jul. 2009, doi: 10.1016/J.MATCHAR.2008.11.008.
- [9] A. M. S. Loureiro, S. P. A. da Paz, M. do R. Veiga, e R. S. Angélica, “Investigation of historical mortars from Belém do Pará, Northern Brazil”, *Constr Build Mater*, vol. 233, p. 117284, fev. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117284.
- [10] M. I. Silveira e D. P. Schaan, “Onde a Amazônia encontra o mar: estudando os sambaquis do Pará”, *Revista de Arqueologia*, vol. 18, p. 67–79, 2005.
- [11] H. Carasek, P. Japiassú, O. Cascudo, e A. Velosa, “Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles”, *Constr Build Mater*, vol. 59, p. 85–98, maio 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.02.043.
- [12] M. del M. Barbero-Barrera, L. Maldonado-Ramos, K. Van Balen, A. García-Santos, e F. J. Neila-González, “Lime render layers: An overview of their properties”, *J Cult Herit*, vol. 15, nº 3, p. 326–330, maio 2014, doi: 10.1016/J.CULHER.2013.07.004.
- [13] L. Bruno Santos, “A indústria de cimento no Brasil: origens, consolidação e internacionalização”, 2011. [Online]. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/>
- [14] R. Veiga, *Conservação e Reparação de Revestimentos De Paredes De Edifícios Antigos - Métodos e Materiais*. 2009.
- [15] F. Lamego Guerra *et al.*, “Physicochemical Characterization of Historical Coating Mortars—Case Studies in South Brazil”, *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 16, nº 2, p. 242–260, 2020, doi: 10.1080/15583058.2020.1768320.
- [16] A. Moropoulou, A. Bakolas, e E. Aggelakopoulou, “The effects of limestone characteristics and calcination temperature to the reactivity of the quicklime”, *Cem Concr Res*, vol. 31, nº 4, p. 633–639, abr. 2001.
- [17] M. I. Kanan, *Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal. Programa Monumenta. Cadernos Técnicos 8*. 2008.
- [18] R. Veiga, “Air lime mortars: What else do we need to know to apply them in conservation and rehabilitation interventions? A review”, *Constr Build Mater*, vol. 157, p. 132–140, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.080.
- [19] H. Böke, S. Akkurt, B. Ipekoğlu, e E. Uğurlu, “Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters”, *Cem Concr Res*, vol. 36, nº 6, p. 1115–1122, jun. 2006, doi: 10.1016/J.CEMCONRES.2006.03.011.

4.3. ARTIGO 2: *INVESTIGATION OF MORTARS FROM HISTORICAL TILES IN THE MORTUARY ARCHITECTURE OF THE NOSSA SENHORA DA SOLEDADE CEMETERY: CHARACTERISTICS AND LUSO-BRAZILIAN CULTURAL HERITAGE*

Artigo submetido à revista International Journal of Architectural Heritage em 31 de março de 2024. Atualmente, se encontra em processo de revisão.

Investigation of mortars from historical tiles in the mortuary architecture of the Nossa Senhora da Soledade cemetery: characteristics and Luso-Brazilian cultural heritage

Corrêa, Brenda^{a*}, Loureiro, Alexandre^b, Sanjad, Thais^c, Costa, Marcondes^d, Santos, Pablo^e, Del Lama, Eliane^f.

^{a,b,c,d}Postgraduate Program in Cultural Heritage Sciences, ^{a,b,c,e}Conservation, Restoration and Rehabilitation Laboratory, Institute of Technology, Federal University of Pará, Belém, Brazil; ^{b,c,e}Faculty of Conservation and Restoration, Institute of Technology, Federal University of Pará, Belém, Brazil;; ^{dd}Postgraduate Program in Geology and Geochemistry, Laboratory of Applied Mineralogy and Geochemistry,

^fInstitute of Geosciences, Federal University of Pará, Belém, Brazil; ^fGeosciences Postgraduate Program (Mineralogy and Petrology), Cultural Heritage Studies Laboratory, Institute of Geosciences, University of São Paulo.

* Corresponding author email: brenda.arq.correa@gmail.com

Investigation of mortars from historical tiles in the mortuary architecture of the Nossa Senhora da Soledade cemetery: characteristics and Luso-Brazilian cultural heritage

The first official public cemetery in Belém do Pará (Brazil), opened in 1850, is called Nossa Senhora da Soledade Cemetery. Its mortuary architecture encompasses a collection of tiled graves whose tiles were imported from Europe or manufactured nationally between the 19th and 20th centuries. Thus, the mortars used in these tiled systems represent the construction techniques of their respective periods and also stand as witnesses to the passage of time and the countless alteration processes. In this study, we collected 32 samples, comprising base-layer and tile mortars, and conducted chemical and mineralogical characterization and analysis of their mechanical and physical properties. The primary analyses were visual inspection, determination of the binder:aggregate ratio, colorimetry, particle size of the aggregates, petrography, and SEM/EDS. The results showed significant differences between the base-layer and tile mortars, mainly concerning the type of binder. Mortars set in the 19th century were similar to the older ones based on lime, with solid evidence of pozzolanic and even hydraulic reactions, while those from the 20th century, possibly made of Portland Cement, presented hydraulic characteristics.

Keywords: Traditional mortar; Tile heritage; Cemetery architecture; Belém-Pará; Amazon.

Introduction

The construction context of the Nossa Senhora da Soledade Cemetery (Figure 1a) is related to a series of urban and sanitarian transformations in the city of Belém do Pará in the mid-19th century, such as the yellow fever epidemic (Cruz 1952). Its great demand and urgent inauguration meant that its embellishment project only took place from 1853 onwards, lasting over the years. This project peaked during the Belenense Belle Époque period, which began in 1870, using high-quality materials imported from Europe in its mortuary architecture. In this way, the Soledade Cemetery (Figures 1b and 1c) started to present characteristics similar to those of the monumental necropolises of 19th-century Europe (Caluff 2014).

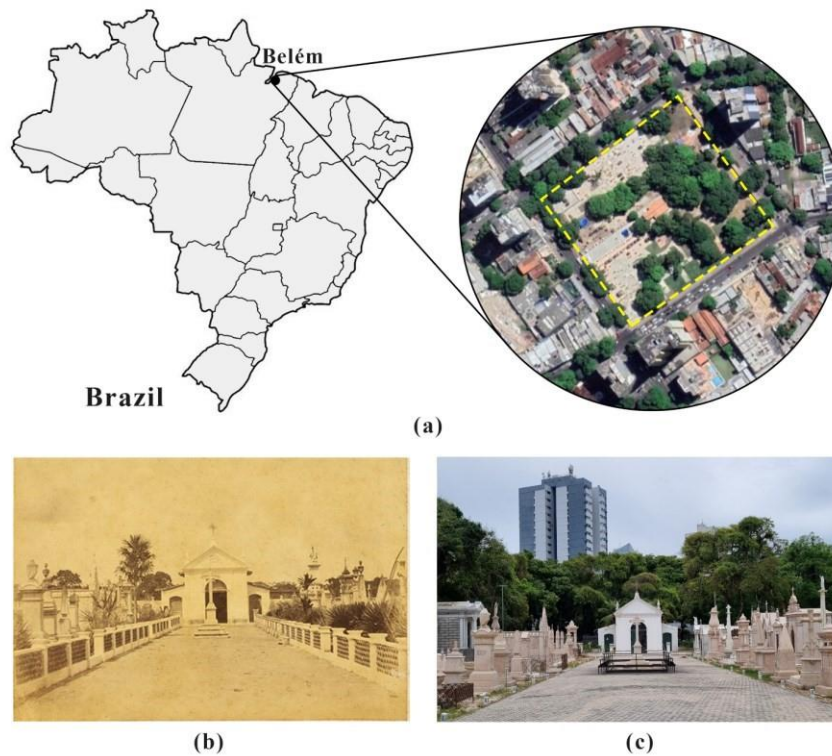


Figure 1. Nossa Senhora da Soledade Cemetery: (a) location of the city of Belém and top view of the cemetery ($1^{\circ} 27' 26''$ S, $48^{\circ} 29' 23''$ W); (b) photograph from the 1870s shows the central alley of the cemetery, starting at the current Serzedelo Corrêa avenue; (c) same view of the central alley from Serzedelo Corrêa avenue. Photograph taken in 2022 during the renovation and revitalization of the cemetery.

The cemetery's tile collection has significant cultural value for the city of Belém. Its examples are classified as follows: 1) white or decorated pattern tiles, 2) tiles produced in the 19th century and tiles produced in the 20th century (Gasparetto and Sanjad 2018;

Mendes 2015). The 19th-century tiles were imported from Europe, while those from the 20th century were produced nationally.

Understanding the mortars of historic tiles in Soledade is relevant due to: 1) lack of studies on mortars from historic tiles, particularly concerning the city of Belém and the Amazon region;

2) prolonged exposure to various alteration processes, as the majority of the samples are directly in contact with the soil.

Therefore, this study aimed to assess the primary characteristics and properties of the mortars found in tiled graves in the mortuary architecture of the Nossa Senhora da

Soledade Cemetery (Belém-Pará-Brazil), dating from the 19th and 20th centuries. Specifically, we investigated: 1) The raw materials, proportions, and types of mortar used; 2) The mortar's functions in the evaluated construction system. This allows one to understand the different characteristics of these mortars used in an Amazonian cemetery context. Additionally, these studies can support restoration projects in the cemetery, specifically in the resettlement of historic tiles. These mortars are examples of materials, techniques, and construction technologies used in two crucial periods in the history of this cultural asset.

Materials and methods

Sample selection

The samples were collected from nine tombs and one mausoleum, whose nomenclature follows the logic determined by the records provided by preservation agencies. Thus, the tombs and mausoleum are designated as follows: B5, B7, B24, B25, B43 (mausoleum), C3, C24, C26, F39, and K22 (Figure 2). The sampling selection was based on the location of the tiled grave within the priority area, which concerns the first stage of the Soledade Cemetery restoration project. Therefore, the collection of historical material was made possible by the following preservation agencies: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Departamento de Patrimônio Histórico e Artístico Cultural da Secretaria de Estado de Cultura (DPHAC/SECULT), and Fundação Cultural do Município de Belém-FUMBEL, since the necropolis is a listed cultural heritage.



Figure 2. Selection scheme and arrows pointing to the collection locations of the tile mortar samples B7, F39, K22, B5, C3, B24, C26, B25, B43, and C24.

The sample selection criteria considered the tombs that were in the process of restoration and, consequently, we could remove the mortar used to lay the tiles to restore them. Furthermore, mortars that were as intact as possible were chosen to have a characterization of the authentic material that was visually in a good state of conservation, that is, without too much influence of deterioration processes.

The information found in the decorative layer and on the back of the tiles indicated their possible provenance and manufacture period. The same criteria was applied to the tile mortars.

The samples were classified into two groups (Table 1): Group 1 (mortars produced during the





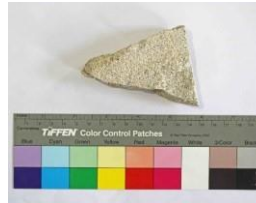





19th century) and Group 2 (mortars from the 20th century). Subsequently, in the results and discussion section, these two groups are subclassified based on their function.

The sample nomenclature followed this logic: code of the tiled grave, type (function) of the mortar, and sample number. In the case of samples belonging to multilayer techniques, the numbering followed by – (dash) indicates the type of layer used in that test (Table 1). The multilayer technique occurs when more than one layer of mortar is applied to the substrate to compose the construction system, which, in the case of this study, is tiled graves. Almost all samples analyzed are multilayer, where a preparation, regularization, or filling layer was initially applied in the mortuary substrate and, then, the tiles were set using laying mortar.

Table 1 presents a comprehensive list of 32 samples analyzed in this research, categorized into tile mortars (20 samples), base preparation layers (5 samples), and combined samples from both categories (7 samples). This way, the layers could be characterized individually (tile mortars or base preparation mortars) and together.

It is worth reiterating the challenges encountered in our quest for tomb information. Despite our best efforts to gather details about each tomb, including its history, year of construction, interments, and family connections, accessing this information proved unsuccessful. This was primarily due to either lack of authorization and/or the families' non-identification, highlighting the need for enhanced procedures in the future.

Table 1. Samples classified according to mortar production.

Group 01	Grave	B5	B7	B24
	Sample			
	Samples nomenclature	B5TB1-T; B5TB1-B; B5-T1; B5-T2	B7-T1; B7-T2; B7-B1; B7-TB1	B24-T1; B24-T2; B24TB3
	Grave	B25	B43	K22
	Sample			
Samples nomenclature	B25-T1; B25-B1; B25T2	B43TB1-T; B43TB1-B; B43-TB2; B43-TB3	K22TB1-T; K22TB1-B; K22-TB2; K22-TB3	
Group 02	Grave	C3	C24	C26
	Sample			
	Samples nomenclature	C3TB1-T; C3-T1; C3TB2	C24-T1; C24-T2	C26-T1; C26-B1
	Grave	F39		
	Sample			
Samples nomenclature	F39TB1-T; F39-T1; F39-T2			

Legend: T: Tile Mortars; B: Base Preparation Layers Mortars; TB: Tile and Base Layer Mortar.

This study focused on laying mortars, which are vital for promoting adhesion between the tiles

and the other components of the system. Unlike facade tiles, all tomb tiles in the cemetery are nearly in direct contact with the soil, hence the importance of understanding the composition and behavior of these laying mortars. Although base preparation mortars were also examined, they were not the primary focus since they were not in direct contact with the tiles. Therefore, they play a "secondary" role in connecting the tile and the rest of the system. The study collected mortar samples from all tiled tombs undergoing intervention, providing a good representation of samples from the cemetery's tiled tombs. The samples collected were from the 19th and 20th centuries, when all the tombs were constructed. Additionally, the samples included layer mortar from both national and imported tiles, representing different origins. All this allowed for exploring a wide range of changes in construction techniques and materials of a cultural asset with Portuguese-Brazilian characteristics in a cemetery context.

Material characterization

The historical material investigation was conducted across several characterization fronts illustrated in Figure 3, specifically: 1) physical characterization, 2) determination of the binder:aggregate ratio, 3) microscopic characterization, 4) mineralogical characterization, and 5) analysis of physical and mechanical properties.

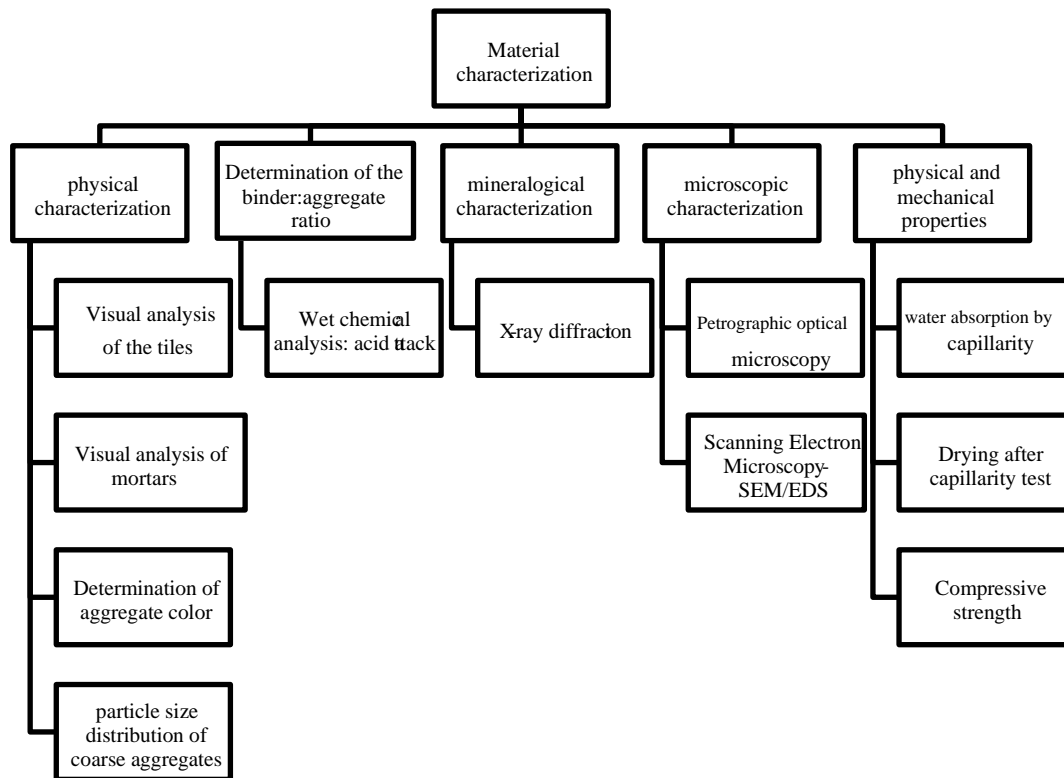


Figure 3. The organizational chart illustrates the methodological sequence employed in the article.

Table 2 indicates the samples included in each analysis or test conducted in this study.

Table 2. The samples under investigation and the tests conducted on them.

TEST	SAMPLE
MACR, AA	B5TB1-T; B5TB1-B; B7-T1; B7-B1; B24-T1; B25-T1; B25-B1; B43TB1-T; B43TB1-B; K22TB1-T; K22TB1-B; C3TB1-T; C24-T1; C26-T1; C26-B1; F39TB1-T
XRD, GRAN COLAGR	B5TB1-T; B7-T1; B24-T1; B25-T1; B43TB1-T; K22TB1-T; C3TB1-T; C24-T1; C26-T1; F39TB1-T
SEM	B43-TB2; K22-TB2; F39-T1
PETR	B5-T1; B7-T2; B24-T2; B25-T2; B43-TB2; K22-TB2; C3-T1; C24-T2; C26-T1; F39-T1
CAP, SEC	B5-T2; B7-TB1; B24-T3; B43-TB3; K22-TB3; C3-TB2; C26-T1; F39-T2
COMPRES	B5-T2; B7-TB1; B24-T3; B43-TB3; K22-TB3; F39-T2

Caption: MACR: Macroscopic characterization; AA: Acid attack; XRD: X-ray Diffraction; GRAN: Particle size test; COLAGR: Aggregate colorimetry; SEM: Scanning electron microscopy; PETR: petrographic optical microscopy; CAP: Capillarity water absorption test; SEC: drying test after capillarity test; COMPRES: compressive strength test.

Physical characterization

1) Visual analysis of the tiles

This inspection aimed to identify the macroscopic characteristics of the vitrified layer and the support, as well as the dimensions, shape and thickness of the tiles corresponding to the mortars collected. To achieve this, all specimens fixed in the collected laying mortars were subjected to visual evaluation and photographic documentation (Canon Rebel T7 camera) using the files of Alcântara et al. (2016).

2) Visual analysis of mortars

During this inspection, we determined the following macroscopic characteristics of the chosen mortars: color, presence of shell fragments and lime nodules, and thickness (in cm). We compared these characteristics to those described by Loureiro et al. (2020), who studied the characterization of historical mortars from Belém and relevant literature.

After the collection, we mechanically cleaned all the mortars (refer to Table 2) using a brush (Atlas 319/5) and a scalpel to eliminate dirt and biological colonization. Then, we documented the samples by identifying the grave, photographing it with a Canon Rebel

T7 camera and an Apple iPhone 13, measuring the thickness with an analog caliper

(Western 150 mm), and determining the color. We utilized the Munsell Soil Color Chart (2009 edition) for color determination.

3) *Determination of aggregate color and particle size distribution of coarse aggregates*

These two tests allowed the determination of the color and particle size distribution of the residual aggregates from the acid attack analysis. The color for ten samples (Table 2), coarse and fine aggregates, was identified using the Munsell Soil Color Chart (2009 edition). Subsequently, the coarse aggregates underwent a grain size analysis referenced in the EN 933-1 standard (British Standards Institution 2005) to determine the particle size. For the particle size test, a set of 8x1 stainless steel sieves from the SOLOTEST brand was used with the following apertures (mm): 3,350; 1,700; 0.850; 0.600; 0.425; 0.300; 0.212; 0.150; 0.106; 0.075; 0.053 to shake the historical material for 5 minutes on the SOLOTEST 8X2 110/220-50/60HZ sieve shaker. The resulting granulometric curve allowed the determination of the Curvature Coefficient (CC) that evaluated the gradation of the particle size ranges, defining whether the curve is well-graduated or poorly graduated (Ontiveros-Ortega, Rodríguez-Gutiérrez, and Navarro 2016).

Determination of the binder:aggregate ratio

1) Wet chemical analysis: acid attack

This test aimed to determine the most likely proportion of binder to aggregates in the 16 samples analyzed (see Table 2). The samples selected for this test were in good condition (showing little deterioration) and were available in sufficient quantities for testing (approximately 20g per sample). They represented different types of mortar layers (including the multilayer technique), types of binders, and periods of application (19th and 20th century). To begin the test, the samples were broken down using a rubber hammer (Vonder VDO836

40mm) and then placed in a drying oven (QUIMIS Q317M17) at a temperature of 65°C for 24 hours. After this, the broken-down samples were placed in a glass desiccator along with a porcelain disc (240mm) until they cooled. Subsequently, a precise

10g of each duplicate sample was weighed using the Semi-Analytical balance (Bel S203H) with an accuracy of 0.001g. The samples were then subjected to a solution of hydrochloric acid and distilled water in a 1:4 ratio, and the resulting mixture was meticulously filtered through filter paper. This process left only the insoluble fraction, ensuring the accuracy of the determination of the binder:aggregate relationship through gravimetry (Middendorf et al. 2005).

Mineralogical characterization

1) X-ray diffraction (XRD)

This technique was used to determine the crystalline phases, mostly minerals. The main focus of XRD was to identify the differences between laying mortars from the 19th century and 20th century, as well as verifying whether it was possible to identify hydraulic phases in the mortars analyzed. In the laying mortars analyzed, as the results of the visual inspection showed that the base preparation mortars had similar characteristics to most laying mortars, the XRD analyses were carried out by the powder method with the aid of the Bruker D2 PHASER diffractometer, with Cu anode, Lynxeye detector (1D mode); increment of 0.02 °2θ; step time 0.2s; and 0.1mm slit; operated at 300W (30 KV and 10mA), in the angular range of 5° to 75 °2θ.

Microscopic characterization

1) Petrographic optical microscopy

This analysis aimed to microscopically characterize the mortars' components (matrix, coarse

aggregates, possible minerals, porosity, etc.). Thus, the sampling selection criterion prioritized the laying mortars, specifically aiming to determine the microscopic differences between 19th and 20th centuries mortars based on their probable binders. However, some samples referring to multilayer techniques were also analyzed, enabling to identify the relationship between the laying and base preparation layers and compare their characteristics.

Therefore, 10 samples as shown in Table 2 were selected and submitted to thin section preparation (thickness of 30μ), crosscutting the to layering materials or stratigraphic section of more than one layer, in cases (multilayer technique). These samples were analyzed by LEICA optical microscope, model DM 2700P, using the 5x, 10x, 20x, and

50x magnification lenses to ensure a comprehensive examination of the samples.

2) *Scanning Electron Microscopy (SEM) with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*

The samples selected for SEM analysis were chosen based on information obtained from previous analytical techniques and tests, mostly XRD and optical microscopy. To characterize the mortars from each period (19th and 20th centuries), including each type of mortar (laying and base preparation), types of binder, and the relationship between the layers (multilayer technique), a total of 3 samples described in Table 2 were analyzed. Two of the samples represent multilayer techniques (both from the 19th century, but possibly using different binders in laying mortars), and 1 sample represents a laying mortar proven to be from the 19th century. Additionally, specific chemical characterization of the samples was performed using the Energy Dispersive Spectroscopy (EDS).

The samples used in these analyses were the same thin sections used for optical microscopy. For this purpose a HITACHI model TM 3000 scanning electron microscope (SEM) was used supported by the Energy Dispersive X-ray Spectroscopy System (EDS) from Oxford

Instruments, model SwiftED3000 with elemental detection from Boron (B) to Uranium (U). The maximum magnification was of 30,000x and beams of 5 or 15 KV.

Physical and mechanical properties

The physical properties investigation involved two tests: 1) water absorption by capillarity, and 2) drying the water after the capillarity test, following EN 15801 standard.

1) Water absorption by capillarity

This test was conducted by the EN 15801 standard (CEN 2009) and aimed to identify the contact capillary absorption coefficient (C_{cc} in $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$). It's important to note that some adaptations were made to the standard due to the irregular and friable nature of the materials being evaluated. The FE Pa 40 Test Sheets (LNEC 2016) served as a reliable reference for the modifications, demonstrating the adaptability and robustness of the EN standard.

A total of 8 samples were analyzed, comprising 4 laying mortars and 4 using a multilayer technique. These samples were selected based on their close approximation to the characteristics specified in the adaptation standard: semi-prism formats, as regular as possible, weighting 250g.

The sample was stored at 65°C for 24 hours in an oven and then superficially immersed in water (no more than 2 mm below the water level). Afterward, each sample was removed from the water, slightly dried, and weighed at specific intervals. Saturation was determined when the mass of each sample did not vary by more than 0.2% of its initial mass or until seven days had passed since the beginning of the test.

2) Drying after capillarity test

After reaching saturation, the samples were taken out of the water and positioned on acrylic strips for the drying process, following the guidelines provided by EN 16322 (CEN 2013). Each sample was then weighed using a semi-analytical balance (Bel S203H with a precision of 0.001g) at intervals of 0, 30, 60, 90, 270, and 450 minutes, and then every 24 hours until they either stabilized in mass or lost 0.2% of their initial mass. This process continued for up to seven days from the beginning of the test, consistent with the previous test.

3) Compressive strength

For the compressive strength test, the method expressed in standard EN 1015-11:1999 (CEN 1999) was necessary to adapt according to the Test Form FE Pa 42 developed by LNEC (2016), as the samples evaluated are irregular mortars. This methodology recommends the regularization, if necessary, of samples measuring 40x40x40 mm through the use of confinement mortars.

The six selected samples (Table 2) needed to be regularized using confinement mortar, which was produced in a ratio of 1:3 (CP II F cement – 40; river sand) by NBR 16541: 2016 (ABNT 2016). Then, the mortar was applied using a metal spatula in wooden molds of appropriate dimensions. After 15 days of curing, the samples were ruptured in an Emic machine model SSH300, Trd 30 cell with Tesc software version 3.04, operating by NBR 5739/2018 (ABNT 2018).

The sampling strategy for this test was not arbitrary. It was a result of a meticulous screening of samples submitted to the two previous tests. We selected those with the least irregularity and with dimensions that were closest to those specified in FE Pa 42. This careful selection

ensures the validity and reliability of our results.

Results and discussions

Physical Characterization

The ten tiled graves were visually analyzed and divided into two groups. Group 1 comprised six graves with Portuguese tiles from the 19th century (Figure 4a), and Group 2 comprised four graves with Brazilian tiles from the 20th century (Figure 4b). The identification of the Portuguese tiles was based on Alcântara et al. (2016), while the determination of the other tiles, Brazilian ones, were of national origin was based on the inscription "Azulejos do Pará" or "Brennand IASA" found on the back of the tiles.

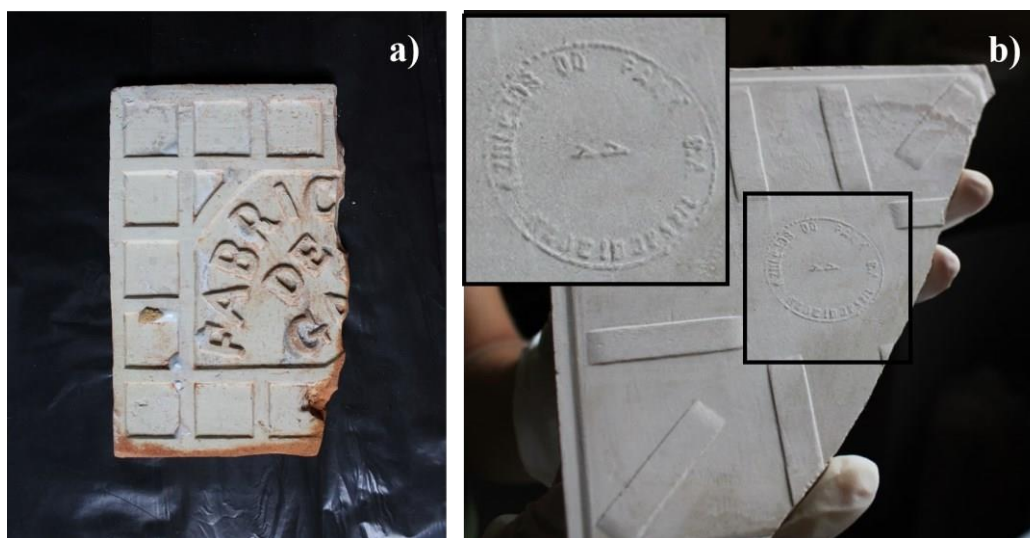


Figure 4. Images of the backs of two analyzed specimens: (a) a tile taken from tomb B7 containing the inscription of the factory where it was produced (Fábrica de Gaia), and (b) the back of a tile from tomb C26 that indicates its production at the Azulejos do Pará factory (AZPA).

Visual analysis of the mortars (Table 3) showed that all mortars from Group 01 (19th century) display lime nodules and most have shell fragments of various dimensions. On the other hand,

in Group 02 (20th century), lime nodules were only observed in mortars C3TB1-T and C26-B1, and mortar C26-B1 had shell fragments. These results are in agreement with the physical characteristics found in mortars from the 19th and 20th centuries. The presence of lime nodules and shell fragments in historical lime-based mortars is common in several locations, including in historic buildings in Belém from the 18th to 19th centuries (Loureiro et al. 2020). The mortars produced then were mainly made from lime-based binders and the main raw material being shells from the coast of Pará (Loureiro et al. 2020).

Table 3. The mortar's macroscopic characteristics.

Group	Sample	shell fragments	lime nodules	thickness	Application Technique	Color (Munsell)	Tile
01	B5TB1-T	-	++	15 mm	multilayer	10 YR 7/4	white and smooth pattern Fábrica de Gaia (Português) - 19th
	B5TB1-B	+	++	18 mm		Very Pale Brown	
	B7-T1	+	+++	10 mm	monolayer	10 YR 8/4 Pale Brown	decorated pattern (Português) - 19th
	B7-B1	++	++	18 mm			
	B24-T1	++	++	20 mm	multilayer	2.5 Y 8/3 Pale Brown	white and smooth pattern (Português) - 19th
	B25-T1	-	++	5 mm		10YR 8/1 white	
	B25-B1	++	++	10 mm		10 YR 7/6 Yellow	
	B43TB1-B	+	+	5 mm		10 YR 7/4 Very Pale Brown	
	B43TB1-T	-	+++	15 mm		Gley 1 8/n White	
	K22TB1-T	+	*	2 mm		White Page N 9.5/ White	
	K22TB1-B	++	++	20 mm		2.5 Y 7/4 pale brown	

02	C3TB1-T	-	+++	27 mm	White Page 7.5 YR_1/8/ White	white and smooth pattern (Brazilian) - 20th
	C24-T1	-	-	20 mm	10YR 7/8 yellow	white and smooth pattern (Brennand IASA) - 20th
	C26-T1	-	-	30 mm	10 YR 7/3 Very Pale Brown	white and smooth pattern
	C26-B1	++	+	10 mm	10 YR 7/6 Yellow	Azulejos do Pará (AZPA) - 20th
	F39TB1-T	-	-	3 mm	White Page 2.5Y_1/8/ - white	white and smooth pattern (Brennand IASA) - 20th

Legend: A lot +++ / Medium ++ / Little + / None - / Completely white layer *.

Shell middens were the main source of shells, discovered and exploited during the 18th and 19th centuries to provide raw materials for mortars in the region (Silveira and Schaan 2005). Considering that mortar is an essential material extensively used in urban construction, there was a continuous and increasing demand for raw materials. Thus, Loureiro et al. (2020) indicate that the decrease in the presence of shell fragments in lime mortars may have occurred due to the depletion of middens over time, which would explain the absence of these components in the 20th-century samples.

Another possible explanation would be more meticulous preparation of the lime to prevent the inclusion of these fragments, as they act as larger aggregates in the carbonate matrix, which could cause undesirable changes in the physical and mechanical behavior of the material. According to Carasek et al. (2014), larger aggregate grains tend to interfere with the adhesion of the mortar/tile interface, which impairs adequate contact between the binder and the tile and. Therefore, it is likely that 20th-century mortars used for tiles of the Soledade Cemetery were better processed to avoid fragments, thereby enhancing their performance.

Furthermore, traditional techniques indicated a gradual decrease in aggregates from the inner to outer layers. This phenomenon could also be present in tile mortars (BarberoBarrera et al. 2014). The analysis of mortars reveals a similar pattern, with the highest concentration of shell

fragments found in the base layer mortars of 19th-century constructions. These base layer mortars were applied prior to the tile-laying layers in the multilayer system.

The absence of shell fragments in samples from the 20th century is supported by the scarcity of raw materials in shell middens during this time. However, the presence of mortar C26-B1, which contains an average quantity of shell components, could be explained by the possibility that it is a base layer mortar applied at the end of the 19th century. In other words, it could be a case where the tomb was tiled a long time after the preparation layer was applied. Additionally, the scarcity of raw materials and advancements in mortar technology may have led to the use of alternative binders, such as imported binders based on aerial lime and/or hydraulic binders from Europe. This hypothesis may be valid because there is evidence in city newspapers that advertised a wide sale of cement, including Roman cement (Pozzolanica), in 1867 (Figure 5).

JORNAL DO PARA
ORGÃO OFFICIAL.

Publica-se diariamente, exceptuados os dias immediatos nos santificados e de festa nacional. Póde começar a assinatura em qualquer dia; acabando sempre em Março, Junho, Setembro e Dezembro.

INTERIOR E EXTERIOR.
PREÇOS D'ASSINATURAS:
Anno 14000
Semestre 7000
Trimestre 3500

QUARTA-FEIRA 16 DE MAIO DE 1867. N. III.

ou em gamellas, cêrveja, cidra e outras bebidas fermentadas, chá, cominhos, charutos, chifres, ossos e unhas, chumbo em barra ou em lençol e de munição, cigarros, cimento romano ou de Porthande e semelhantes, cobre em bruto e em folhas ou laminas, colla de qualquer qualidade, conservas alimenticias, cordoalha de qualquer qualidade, correntes e amarras de ferro, cortica em bruto

Figure 5. *Jornal do Pará* (Pará Journal) from 1867 advertises the sale of hydraulic binder cement. Source: Hemeroteca Digital.

Furthermore, other newspaper clippings also indicate the use of hydraulic binders in public works in the Grão Pará province in the mid-1870s, showing that the commercialization and use of new types of binders, especially hydraulic ones, could be related to the modernization plan of the Belenense metropolis whose peak occurred during the Belle Époque period. Therefore, it is likely that imported binders, especially hydraulic ones, were used in construction at the Soledade Cemetery in the last decades of the 19th century, mainly during the rubber cycle. This conjecture is also due to the Brazilian cement industry began permanently manufacturing its cement only from 1925 onwards

(Bruno Santos 2011) when many graves had already been built. Some of the 20th-century mortars analyzed probably contain Brazilian cement in their composition. This is evidenced by the identification of tiles from the mid-20th century (Figure 4b), a period when various cement factories were in full operation in Brazil. For instance, samples C24 and F39 contain tiles from the Brennand IASA factory, which began producing this type of ceramic in 1954, a time when national cement was already being manufactured. The same is true for the C26 mortar (Figure 4b), which contains tiles from the Azulejos do Pará factory (AZPA), established in 1967.

The mortar colors indicated via Munsell's chart were very pale brown, pale brown, yellow, and white (Table 3). Despite the names indicated by Munsell's letter, it was observed that some samples (B43TB1-T, C3TB1-T, and F39TB1-T) present variations in gray. These grayish colors, very similar to today's cements, may be related to the presence of hydraulic binders in the composition of these mortars, as they are all from the 20th century, except mortar B43TB1-T. This 19th-century mortar may have such coloration due to the following hypotheses:

- 1) Use of hydraulic binders, such as hydraulic lime or Roman cement, as it is a mausoleum built in 1870 when there was already a proven importation of hydraulic binders.
- 2) Use of magnesian lime or lime with a high content of impurities, which can give a grayish color (Moropoulou, Bakolas, and Aggelakopoulou 2001).
- 3) Mixed mortar made from cement and lime, as this sample has many lime nodules.

In most samples from the 19th century, the color varies from light to very light brown or yellow, similar to the color of historical lime-based mortars found in other studies.

Moreover, in the layers that belong to the same sample (multilayer technique), such as B5TB1-T, B5TB1-B, B7-T1, and B7-B1, the uniform color suggests that these layers were laid in a short period, which means that they could have been tiled tombs right after their construction. Therefore, the same materials were likely used as binders and aggregates in all layers, resulting in a similar color for the mortar layers of the tombs.

Regarding the K22TB1-T sample, it differs from the others. It is completely “white”, which may indicate the use of a binder whose raw material was limestone with a high calcite content and a very low level of impurities (Lamego Guerra et al. 2020). Furthermore, this noticeable high proportion of binder may indicate why its layer was the thinnest among the cast, around 2mm, as lime was the most expensive component of the mortar. In addition, the high amount of binder may have favored the use of a thinner layer, as it might have been enough to provide a good connection between the tile and the grave.

The color analysis of certain samples from the 20th century indicates that the final color of the mortar was primarily determined by the aggregates, rather than the binder. This is particularly evident in samples that exhibit a brownish or yellowish hue.

The thickness of the mortars examined varied significantly, ranging from 2 to 30 mm, which are typical dimensions of traditional lime-based mortars (Adriano et al. 2009; Barbero-Barrera et al. 2014; Loureiro et al. 2020; Magalhães and Veiga 2009). Generally, in 19th-century mortars, the base layers were thicker than the tile mortar layers, possibly because of the objective of leveling, regularizing, and filling the substrate. However, in mortars from the 20th century, the difference in thickness between the layers was slight. This may indicate a change in the way the various layers were applied.

The coarse aggregate of the mortars investigated mainly consists of subangular to rounded and transparent quartz grains with a vitreous luster and white or light to dark brown color (Table 4), which may be related to iron oxyhydroxide, also observed by Loureiro et al.

(2020), justifying the yellowish/brownish color of some mortars according to the Munsell Charter. On the other hand, fine aggregate is composed of light brown or “white” clay grains (Table 4). Thus, it is possible to state that the color of some mortars was directly influenced, mainly by the color of the coarse aggregate, especially for cast from the 19th century. However, despite the aggregate having similar characteristics in samples from the 20th century, the binder had a more significant influence on the grayish color, as previously mentioned.

Thus, this gray color may be related to the use of Portland cement, although these samples' fine and coarse aggregates follow the same color palette as the 19th-century mortars (Table 4). In other words, this reaffirms the explanation that the binder had a more significant influence on the final color of these mortars. Only the C26 mortar has a light brown color, which denotes the influence of the aggregate on the final color of the sample, which may have a binder based on aerial lime.

Table 4. The color of aggregates determined through Munsell chart and curvature

coefficients of coarse aggregates.

Sample	Color of the fine aggregate	Color of the coarse aggregate	Curvature coefficient
B5TB1-T		10 YR 8/1 - white	1.12
B7-T1	2.5 Y 6/4 - light yellowish brown	2.5 Y 8/1 - white	1.12
B24-T1	10 YR 5/4 - yellowish brown	10 YR 8/1 - white	1.03
B25-T1	10 YR 7/6 - yellow	10 YR 8/2 - Very pale brown	0.98
B43TB1-T	2.5 Y 7/2 - light gray	2.5 Y 8/1 - white	0.95
C3TB1-T	white page 7.5 YR_1/8/ - white	white page 7.5 YR_1/9.5/ - white	1.19
C24-T1	10 YR 7/2 - light gray	10 YR 8/1 - white	1.23
C26-T1	10 YR 6/3 - pale brown	10 YR 7/4 - very pale brown	0.91
F39TB1-T	white page 2.5Y_1/8/ - white	white Page N 9.5/ - white	1.18
K22TB1-T	2.5Y 7/1 - light gray	2.5 Y 8/1 - white	1.43

The granulometric curve and the curvature coefficient (Table 4 and Figure 6) indicate that the aggregate used in mortars is well-graded; that is, the granulometric curve develops smoothly and can provide greater particle packing, reducing the number of voids in the samples. Indirectly, it is possible to verify that it is a dense mortar, whose permeability of liquid water may be complex, but the permeability of water vapor was maintained, especially those made of air lime-based binder.

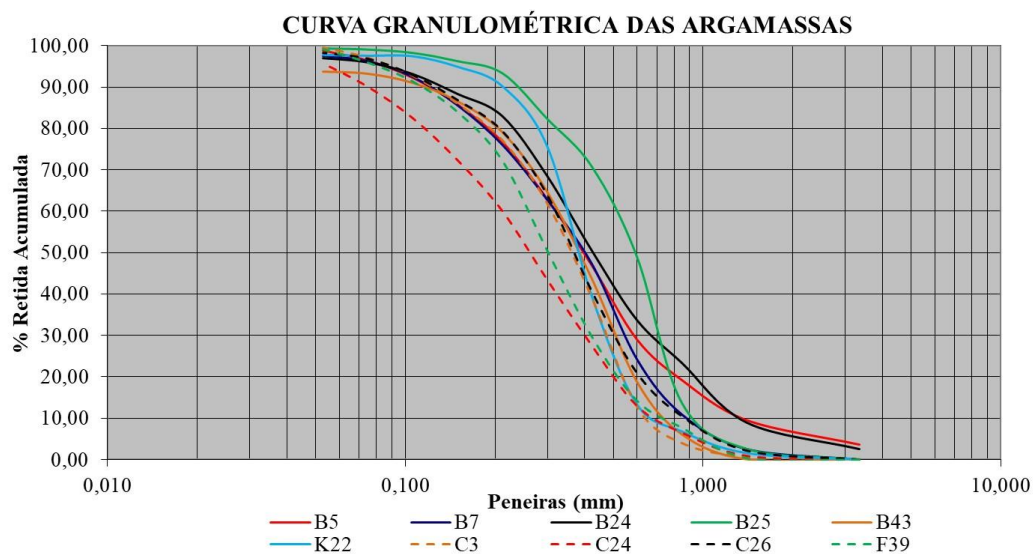


Figure 6. The granulometric or particle size curve of the coarse aggregate of the mortar samples analyzed.

Determination of the binder:aggregate ratio

Wet chemical analysis: acid attack

Figures 7 and 8 show the binder:aggregate relationship of the mortars investigated, divided into four groups: a) very strong mortar, b) strong mortar, c) medium mortar, and

d) weak mortar. Generally, mortars have a high binder content, and despite the amount of binder being less than the amount of aggregate, they can be classified as strong mortars (Figure 7b). The majority showed a ratio of up to 45% binder to 55% aggregate, calculated in volume, equivalent to 1:1 to 1:2 ratios.

On the other hand, around five mortars differed from this classification, being: three were classified as very strong mortar (Figure 7a), where the amount of binder is greater than the amount of aggregate (approximate proportion of up to 80% of binder to 20% of aggregate); and the other two samples with a quantity of binder below the proportion of aggregate, being classified as medium mortar (Figure 8a), in which the binder reached a proportion of up to 25% for 75% of aggregate; and weak mortar (Figure 8b), where the amount of binder was less than 20%.

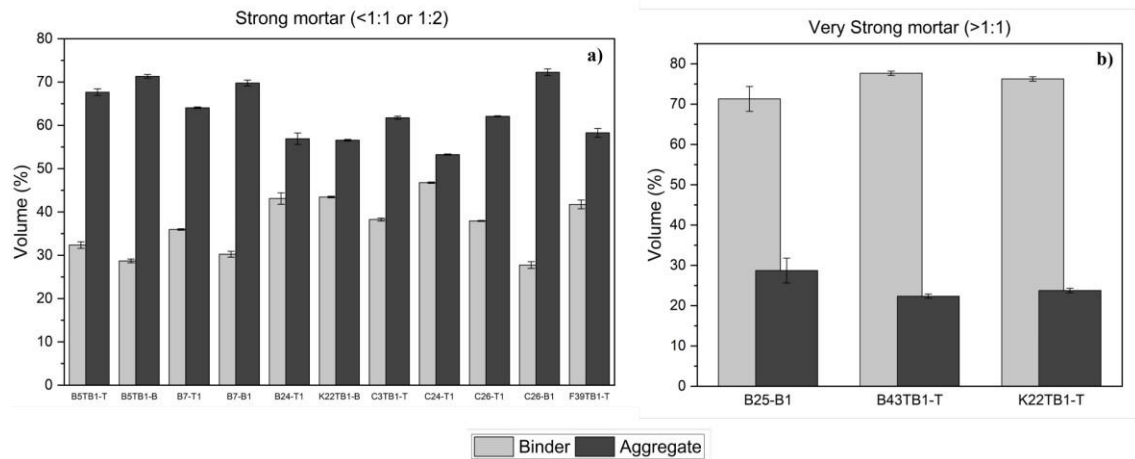


Figure 7. Binder/aggregate ratio of mortars: (a) strong mortar; (b) very strong mortar.

The proportion of binder was expected to be high, considering its setting tile function, which explains why most mortars have a very strong or strong ratio. The results identified in mortars from the 19th century align with the literature, which points out that these binder/aggregate relationships are recurrent in historical lime-based mortars from that period (Veiga 2017). Mortars from the 20th century can also be considered strong and very strong, mainly because they are tile mortars, and it is also known that hydraulic mortars, especially cement mortars from the 20th century, have good adhesion to the substrate due to their physics and mechanical properties (Kanan 2008).

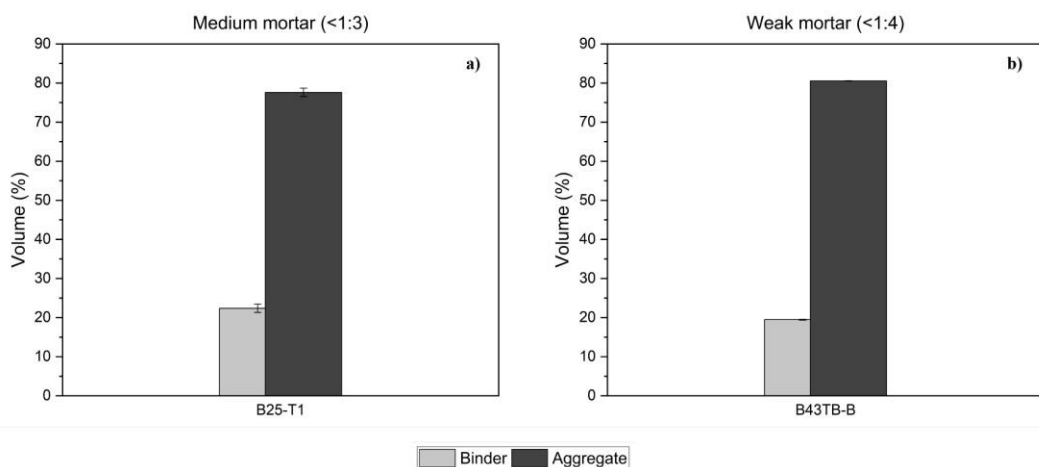


Figure 8. Binder/aggregate ratio of samples: (a) medium mortar; (b) weak mortar.

Another interesting point to note is that many studies show that the binder content and its purity increase from the internal to the external layers (Barbero-Barrera et al. 2014). This trend is also observed in the multilayer system of the mortuary architecture studied. The tile mortar is the last to be applied, presenting the strongest features and best-designed binders, corroborating other research findings. Therefore, the layers that belong to the same multilayer technique mortar, such as B5TB1-T and B5TB1-B; B7-T1 and B7-B1; B43TB1-T and B43TB1-B; C26-T1 and C26-B1, indicate that the base layer mortars contain lower amounts of binder compared to the tile layers.

Most samples are in direct contact with the soil and have been exposed to humidity and lack of maintenance for many years. However, all mortars have maintained good performance. The use of mortars with a high binder content is likely due to their application in tiled constructions and the conditions to which the material would be subjected over the years. In this sense, using materials with good resistance to moisture, such as imported ones, with the addition of hydraulic or pozzolanic components, would be an alternative to make graves durable and resistant to weathering.

Mineralogical characterization

X-ray Diffraction

In general, the mortars are after XRD analyses constituted of quartz and calcite as the main minerals. Other minerals less frequented are kaolinite, gypsum, vaterite, rutile, pyroaurite, and hydrotalcite (Table 05).

Table 5. Mineralogy identified by XRD.

Mortar	Mineralogy							
	Quartz	Calcite	Kaolinite	Gypsum	Vaterite	Rutile	Pyroaurite	Hydrotalcite
B5TB1-T	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
B7-T1	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗
B24-T1	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗
B25-T1	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
B43TB1-T	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓
K22TB1-T	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
C3TB1-T	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗
C24-T1	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
C26-T1	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗
F39TB1-T	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Calcite is the main mineral related to the binder used, formed mainly from the carbonation of lime used as a binder (portlandite). As previously mentioned, calcite may also be associated with shell fragments identified in some of the samples analyzed. Furthermore, the lime nodules are also related to the binder used since the mortar mixture could not be as effective, and these lumps were present, or even these nodules could come from the carbonated lime before entering the mixture, often due to inadequate storage. The absence of portlandite after XRD analyses denotes that the carbonation of the lime used as a binder was complete or may have helped in the formation of hydraulic products such as hydrated calcium silicate, hydrated calcium aluminate, and/or hydrated calcium aluminosilicate, which are difficult to identify by XRD.

Vaterite, identified in some samples, is a metastable polymorph of CaCO_3 that precipitates together with calcite in some cases and may or may not stabilize depending on the mortar's curing conditions (pH, temperature, humidity, etc.) (Fiori 2009; Singh 2016).

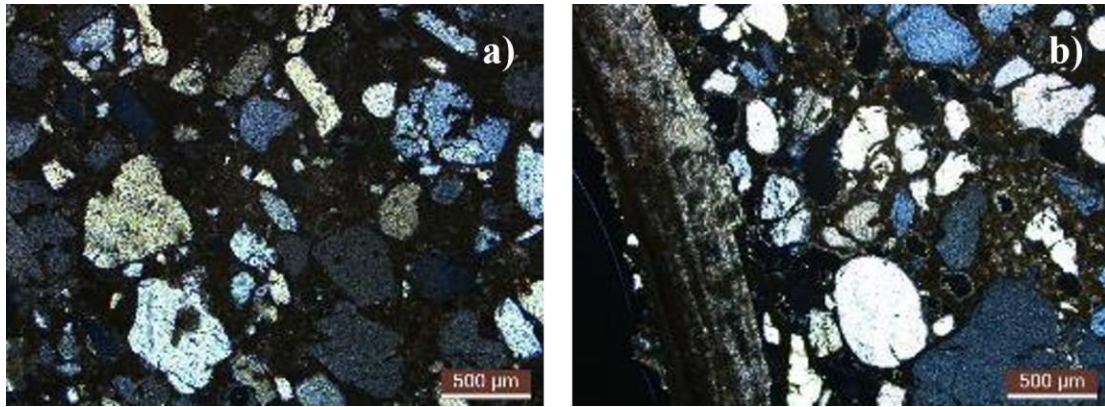
Quartz represents the coarse aggregate used in the mixture, which was quite common in ancient times as it was an abundant, inert material (in most cases) and helped to minimize shrinkage. Some mortars showed traces of kaolinite, which may indicate that the use of quartz aggregate was prioritized due to its function of reducing shrinkage since most samples have a high binder content, mainly due to its binding function. Natural coarse aggregate always contains some clay, the most common being kaolinite.

In historic samples, the gypsum may be related to atmospheric pollution or even direct contact with the soil, which is the case with most mortars due to efflorescence. On the other hand, in more recent samples, gypsum may be one of the components of the cement (possible binder) incorporated into the clinker, as this is responsible for delaying the setting of the clinker.

Microscopic characterization

Petrographic optical microscopy

The material in general is made of subrounded, subangular, and angular quartz grains of different sizes distributed in a matrix of high birefringence, which indicate the domain of calcite, being it the main binder (Figure 9a). Additionally, it was observed the presence of shell fragments, particularly in those materials from the 19th century. These shell fragments also exhibit the birefringence typical of carbonates and a reaction edge at the contact between the shell and the mortar matrix (Figure 9b).



Figures 9. Photomicrographs of samples C26 (a) and B43 (b).

Figure 10a illustrates a calcite neoformation process in some large pores present in sample B25-T2. It is a process that begins at the edges and intensifies, increasing the crystals' size as it approaches the center of the pore. This aspect was observed in other points of the same mortar and may be related to the presence of shell fragments and lime nodules.

The samples illustrated in Figure 10 also present similar characteristics to the mortars represented in Figure 9, that is, they also present subrounded, subangular and angular quartz grains of different sizes distributed a matrix of high birefringence due to the influence of calcite in the binder. However, an observable difference between the samples belonging to group 1 (mortars from the 19th century) and group 2 (mortars from the 20th century) is the binder:aggregate ratio. In samples from group 1, B5-T2 and B43-TB2 (Figures 10a and 10b), the amount of aggregate is smaller than the amount of binder compared to samples from the other group, C26-T1 and C24-T2 (Figures 10c and 10d).

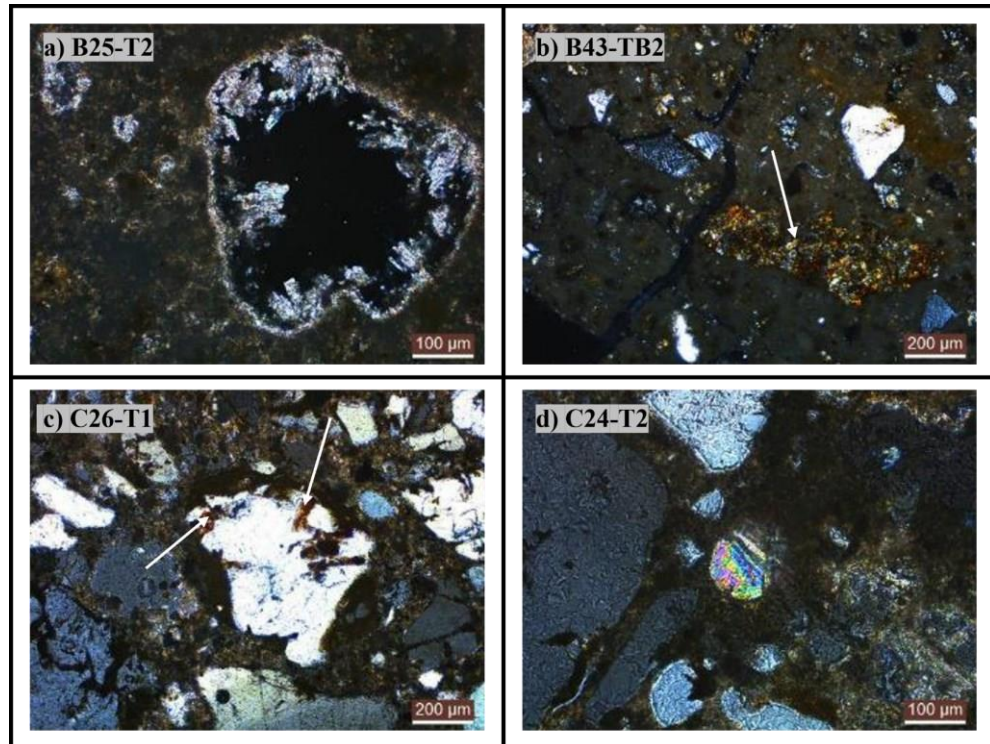


Figure 10. Photomicrographs of the sections of group 1 (B25-T2 and B43-TB2) and group 2 (C26-T1 and C24-T2).

Some samples from the 19th and 20th centuries contain a type of ferruginous aggregate (Figure 10b), supposedly ferruginous sandstone, widely used as coarse aggregate in the Amazon region. Some historical records mention it as Pedra do Pará (Museu Paraense de História Natural e Ethnographia 1933).

The presence of ferruginous (iron oxyhydroxides) sandstone in the sand fraction of some mortars is a significant finding. This aligns with historical records that mention the collection of sand from the city's shores, where they can be found in many cliffs containing ferruginous sandstone, in addition to alluvial sandy deposits. This sandy material, a key component of the aggregates, found on numerous beaches in the metropolitan area, provides a distinctive historical dimension to the composition of these mortars.

The significant presence of quartz grains with iron oxyhydroxide films was also observed in the samples (Figure 10c). Thus, it is understood that, in general, the aggregates used have Fe films that have had a significant influence on the final color of the mortars. For example, in sample B43-TB2 (Figure 10b) it is possible to observe how rusty films "stain" the mortar matrix due to the large quantity of these aggregates.

Scanning Electron Microscopy (SEM) with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

The SEM/EDS has enabled to identify, in some materials analyzed, the minerals related to the presence of hydraulic products, which were not detected by DRX. In sample F39T1, ettringite (DEF) was detected, possibly newformed as delayed recrystallization occurred within cavities, filling them completely (Figure 11a-d). Additionally, the borders of quartz grains, indicated by white arrows, suggest the presence of a silicaalkaline gel, a product of alkali-aggregate reaction (AAR) which, when expanding, can lead to fissures in the matrix or aggregate, as well as their dissolution (Hasparyk and Kuperman 2021). Additionally, DEF was observed in sample B43-TB2 in its intermediate layer, further supporting the hypothesis of the presence of hydraulic binder in this mortar.

Despite sample K22-TB2 (Figure 11e) contains large amounts of calcite, either by lime deposits or by shell fragments; the chemical analysis of its matrix pointed out probable pozzolanic reactions. This finding goes against the results of the visual analysis of this sample, whose layer of role was apparently entirely covered by calcite (Table 3).

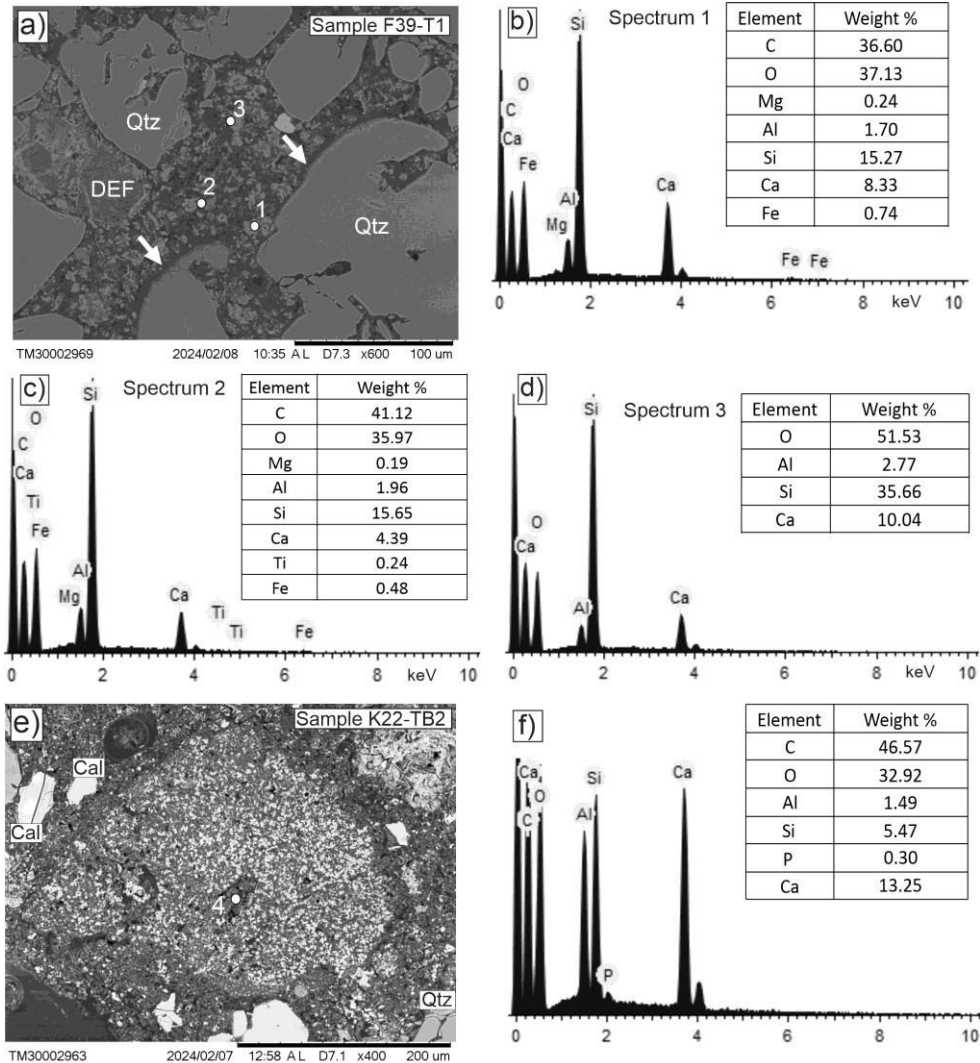


Figure 11. a) Scanning electron microscopic images of Soledade Cemetery mortar; the arrows indicate the presence of silica-alkaline gel at the edges of quartz aggregates; points 1, 2 and 3 show the sites selected for EDS analysis. b-d) EDS spectra of points 1, 2 and 3, suggesting the presence of C-S. e) Calcite aggregate immersed in pozzolanic material. f) EDS spectrum of point 4 suggesting the presence of C-A-S-H in the mortar matrix.

Therefore, a plausible explanation could be that pozzolanic reactions occurred due to residual calcite from the calcination process or curing of the mortar, which remained largely unchanged. Seymour et al. (2023) argue that these chemical reactions, occurring gradually over time, act as a self-healing mechanism for pozzolanic mortars, which fill micro-fissures and fissures of

the matrix and aggregate.

Figure 11e-f shows how the calcite cluster is evolved by materials that are products of pozzolanic reactions (C-A-S-H), denoting that calcite has been consumed over 100 years after mortar application. This reaction may be the same observed in sample B25-T2 (Figure 10a).

In general, the SEM and EDS analysis indicate that these samples are in good condition, as they have been subject to numerous changing processes for many decades.

Physical and mechanical Properties

The test to determine the capillarity coefficient (Table 6) showed that, as expected, saturation times were different from each other, with most samples saturated at 30 min, but two samples took more than 180 min to reach saturation; they belong to group 02, that is, are more recent mortars. The capillarity coefficient test (Table 6) revealed varying saturation times among the samples. As expected, most samples reached saturation within

30 minutes, but two samples from group 02, indicating more recent mortars, took over 180 minutes to saturate. Based on the difference in saturation time, it was appropriate to consider the capillarity coefficients between 0 and 90 minutes, ranging from 3.4 to 5.8 kg/m²min^{1/2}. Generally, the older mortars had higher capillarity coefficients and, therefore, saturated faster than the mortars of group 2. This corroborates the hypothesis that binders with a certain hydraulic content have been used in the older mortars, making them more impervious and slowing water absorption by capillarity.

Table 6. Results of physical and mechanical property tests of group 1 (B43-TB3; B24-T3; K22-TB3 B5-T2; B7-TB1) and Group 2 (C3-TB2; C26-T1; F39- T2).

Sample	Saturation Time (min)	Contact capillarity coefficient (kg/m ² min ^{1/2}) - between 0 and 90 min	D1 (kg/m ² .min)	Compressive strength (MPa)
B43-TB3	30	4.2	0.0434	0.92
B24-T3	30	5.6	0.0549	1.06
K22-TB3	30	5.8	0.0503	1.06
B5-T2	90	3.9	0.0351	1.20
B7-TB1	30	3.4	0.0435	1.55
C3-TB2	180	4.1	0.0519	-
C26-T1	180	3.5	0.0576	-
F39-T2	30	3.3	0.0481	1.22

The D1 drying coefficient, which is related to the transport of liquid water to the surface of the sample followed by evaporation, shows that there is a correlation with the drying coefficient, i.e., the mortars that have favored water absorption, are also the ones which have favored drying, which may be related to the size of the pores. Thus, it is likely that mortars with the highest capillarity coefficient values and D1 drying coefficient are mortars with the largest number of capillary pores, i.e., pores that are in the range of 0.01 to 10 micrometers. Otherwise, the mortars with the lowest values of both coefficients likely have small pores, considering the hypothesis that mortars with a certain hydraulic content or even containing Portland cement.

This hypothesis can also be reinforced through the mechanical resistance test (Table 6), whose highest values reached (1.20, 1.22, and 1.55MPa) belong to the mortars with the lowest capillarity and drying coefficient values, which can denote a material with more compact,

consequently, with fewer voids. In general, they are materials with compression resistance compatible with other lime-based mortars analyzed by different authors, whether they are air lime, hydraulic lime, or even pozzolanic.

Finally, Table 7 summarizes all the information collected about the mortars investigated in the present study.

Table 7. Summary comparison of the main characteristics and properties of the mortars studied.

Production period	Type of mortar	Type of binder	Characteristics / Properties
			Macroscopic and binder:aggregate ratio
19th century	Laying; Base preparation	Mostly in aerial lime with pozzolanic material content; hydraulic.	Presence of lime nodules and shell fragments; yellowish/brownish color; thickness between 2 and 30 mm. The color of the mortar is primarily influenced by the aggregates. The coefficient of curvature suggests that the aggregates, namely quartz, and clay, likely originate from the same source area. Mostly strong mortars (< 1:1 or 1:2) and very strong (>1:1).
20th century	Laying	Hydraulic	Absence of shell fragments and lime nodules; mostly grayish color; thickness between 3 to 30 mm. The binder, as the primary component, plays a crucial role in determining the color of the mortar. The coefficient of curvature further suggests that the aggregates (quartz and clay) likely originate from the same source area. Mostly strong mortars (< 1:1 or 1:2) and very strong (>1:1).
	Base preparation	Aerial lime with material content pozzolanic	Presence of shell fragments and lime nodules; yellowish color; 10mm thickness. The binder, being the primary component, exerts a significant influence on the color of the mortar. Our analysis further suggests that the aggregates (quartz and clay) likely share a common source area, as indicated by the coefficient of curvature.
19th and 20th centuries	Laying	Aerial lime with pozzolanic material content; Hydraulic	XRD mineralogy
			Predominant presence of calcite and quartz.
			Optical Microscope
19th century	Laying; Base Preparation	Aerial lime with pozzolanic material content; Hydraulic	Matrix with high birefringence due to the calcite as the main binder and the presence of shell fragments; subrounded, subangular, and angular quartz aggregates of different sizes distributed in the matrix; ferruginized sandstone. Our analysis delved into the complex realm of hydraulic/pozzolanic product indices (C-A-S-H), revealing intriguing results. We also explored the alkali-activated reaction and late ettringite (DEF), adding another layer of depth to our research.
20th century	Laying	Hydraulic	The matrix presents grains of quartz, kaolinite, and ferruginized sandstone with a yellowish/brownish color, which indicates Fe content in the aggregates. Shell fragments are absent. Signs of hydraulic products (C-S-H), alkali-activated reaction, and late ettringite (DEF).

Capillary Absorption and Drying of Absorbed Water			
19th century	Laying; Base Preparation	Aerial lime with pozzolanic material content; Hydraulic	Mortars with higher capillary absorption and drying coefficient values, which indicates a large number of capillary pores in the material structure.
20th century	Laying; Base Preparation	Hydraulic	Mortar with lower values in these laboratory tests, which may indicate that the structure has few capillary pores, possibly small in size and therefore takes longer to reach saturation.
Compressive Strength			
19th century	Laying; Base Preparation	Aerial lime with pozzolanic material content; Hydraulic	Different studies around the world investigated mortars with mechanical resistance similar to that of other lime-based mortars, corroborating the findings identified in the absorption and drying tests.
20th century	Laying	Hydraulic	Mortars with the highest compressive strength among those studied may indicate a more compact material with tiny pores. The highest compressive strength among those investigated may suggest that hydration reactions occurred in addition to the carbonation reactions.

In general, the characteristics and properties performed by 19th-century mortars are similar to those found in the literature (Adriano et al. 2009; Magalhães and Veiga 2009; Barbero-Barrera et al. 2014; Japiassú et al. 2014). Such aspects are also similar to the historical Belenense mortars from the 18th and 19th centuries investigated by Loureiro et al. (2020). Furthermore, based on the studies of the author mentioned above, it is possible to infer that the mortars of Belém from the 19th century are a type of mixed mortar, which, despite being produced with a lime-based binder, underwent, after being applied, pozzolanic reactions due to considerable amount of clayey material and carbonate deposits. This may explain why these mortars have good mechanical resistance (Palomo et al. 2002) and good adhesion between the tile and mortar, as a considerable part of the tiles remained fixed to the substrates even after decades (Botas et al. 2020). Furthermore, the pozzolanic content would also facilitate the carbonation of the mortar after laying the tiles, as this process requires gas exchange (Veiga 2017), which would take longer compared to mortars based on aerial lime (Botas et al. 2020).

On the other hand, 20th-century mortars presented a different set of characteristics and properties, possibly due to their composition as pozzolanic mortars (Roman Cement) or early forms of Portland Cement manufactured nationally. These early cement formulations may not

have exhibited the same performance as current cement, which is known to be detrimental to traditional construction systems.

Conclusions

The macroscopic characterization, complemented by SEM/EDS analysis, indicates that there is a difference between the mortars from different periods due to the influence of the type of binder used in each century. This suggests that the 19th-century mortars are composed of lime with evidence of pozzolanic reactions, while those of the 20th-century predominantly use Portland cement.

All mortars presented aggregates with similar characteristics, such as both clay and coarse material being permeated by iron oxide films, possibly due to their geological provenance. This indicates that perhaps the same source area has been used over these centuries and that it eventually influenced, in most cases, directly characteristics such as the coloration of the mortars in the studied region.

It is concluded that the presence of hydraulic binders in the mortar used in the cemetery increased gradually over time, being related to the depletion of the primary raw source material and/or the technological advancements during Belle-Époque period in Belém, which enabled the importation of various types of binders, especially Roman and Portland cement. This suggests an intentional progression where techniques, technologies, and materials evolved in response to the socioeconomic context and specific demands posed by the cemetery's microclimate.

The properties achieved over time, such as enhanced mechanical strength, low water solubility, and effective adherence to tiles, enabled the mortars to withstand continuous exposure to moisture, capillary action, and aging effects without the need for maintenance or conservation

efforts. Our research findings on mortar durability and compatibility are the following. Despite the diversity in binders used, all mortars demonstrated robust durability and compatibility with the construction systems under investigation. This underscores the resilience of hydraulic binder-based mortars and, notably, the durability of lime-based mortars even under extreme weathering conditions. This is particularly evident in the mortars studied within the amazonian climate.

Acknowledgement

The authors acknowledge the support of the Research Support and Development

Foundation (FADESP), Conservation, Restoration and Rehabilitation Laboratory

(LACORE/UFGA), Applied Mineralogy and Geochemistry Laboratory

(LaMIGA/UFGA), Sedimentary Petrography Laboratory (LABPETRO/USP), Scanning

Electron Microscopy Laboratory (LabMev/USP), UFGA Civil Engineering Laboratory

(LEC/UFGA) and IPHAN (Institute of National Historical and Artistic Heritage) for supporting

this research on listed historical heritage.

References

ABNT. 2016. “Argamassa Para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos — Preparo Da Mistura Para a Realização de Ensaios.” NBR 16541.

ABNT. 2018. “Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos.” NBR 5739: 2018.

Adriano, P., A. Santos Silva, R. Veiga, J. Mirão, and A. E. Candeias. 2009. “Microscopic Characterisation of Old Mortars from the Santa Maria Church in Évora.” *Materials*

Characterization 60 (7). Elsevier: 610–620. doi:10.1016/J.MATCHAR.2008.11.008.

Alcântara, Dora, Stella Regina Brito, Sanjad, and Thais. 2016. Azulejaria Em Belém Do Pará Inventário-Arquitetura Civil e Religiosa-Século XVIII Ao XX.

Barbero-Barrera, María del Mar, Luis Maldonado-Ramos, Koenraad Van Balen, Alfonso García-Santos, and Francisco Javier Neila-González. 2014. “Lime Render Layers: An Overview of Their Properties.” *Journal of Cultural Heritage* 15 (3). Elsevier Masson: 326–330. doi:10.1016/J.CULHER.2013.07.004.

British Standards Institution. 2005. “Tests for Geometrical Properties of Aggregates Part 1: Determination of Particle Size Distribution – Sieving Method.” BS EN 933.

Bruno Santos, Leandro. 2011. A Indústria de Cimento No Brasil: Origens, Consolidação e Internacionalização. Vol. 23. <http://www.ipeadata.gov.br/>.

Caluff, Andréa. 2014. “Duas Faces Da Morte: O Corpo e a Alma Do Cemitério Nossa Senhora Da Soledade, Em Belém/Pa.” Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: IPHAN.

Carasek, Helena, Pammila Japiassú, Oswaldo Cascudo, and Ana Velosa. 2014. “Bond between 19th Century Lime Mortars and Glazed Ceramic Tiles.” *Construction and Building Materials* 59 (May). Elsevier Ltd: 85–98. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.02.043.

CEN. 1999. “Methods of Test for Mortar for Masonry - Part 11: Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar.” EN 1015-11: 1999. Bruxelas.

CEN. 2009. Conservation of Cultural Property - Test Methods - Determination of Water Absorption by Capillarity. EN 15801.

Cruz, Ernesto. 1952. O Cemitério de Nossa Senhora Da Soledade. Vultos e Episódios Da

História Do Pará: Procissão Dos Séculos. Belém: Imprensa Oficial do Estado do Pará.

Fiori, C., Vandini, M., Prati, S., Chiavari, G. 2009. “Vaterite in the Mortars of a Mosaic in the Saint Peter Basilica, Vatican (Rome).” *Journal of Cultural Heritage*.

Gasparetto, S. A.M., and T. A.B. C. Sanjad. 2018. “The Historical Glazed Tiles from Nossa Senhora Da Soledade Cemetery, Northern Brazil: Microstructural, Physical and Mineralogical Characterization.” *Ceramica. Associação Brasileira de Ceramica*. doi:10.1590/0366-69132018643692091.

Hasparyk, Nicole Pagan, and Selmo Chapira Kuperman. 2021. “Reações Expansivas Deletérias No Concreto.” *CONCRETO & Construções XLIX (102)*. Editora Cubo: 49–

55. doi:10.4322/1809-7197.2021.102.0001.

Japiassú¹, P, H Carasek², O Cascudo², A L Velosa³, M C B De Oliveira, F F Chotoli, and V A Quarcioni. 2014. “Caracterização Da Interface Azulejo/Argamassa de Fachadas Históricas.” doi:10.21041/ra.v4.

Kanan, Maria Isabel. 2008. *Manual de Conservação e Intervenção Em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal. Programa Monumenta. Cadernos Técnicos 8*.

Lamego Guerra, Fernanda, Caroline Giordani, Lucas Volpato, Jardel Pereira Gonçalves,

Mário Mendonça de Oliveira, Angela Borges Masuero, and Denise Carpena Coitinho

Dal Molin. 2020. “Physicochemical Characterization of Historical Coating Mortars– Case Studies in South Brazil.” *International Journal of Architectural Heritage* 16 (2).

Taylor and Francis Ltd.: 242–260. doi:10.1080/15583058.2020.1768320.

LNEC. 2016. “MÉTODOS DE ENSAIO DE REVESTIMENTOS DE PAREDES

EXISTENTES.” RELATÓRIO 39/2016 – DED/NRI.

Loureiro, Alexandre Máximo Silva, Simone Patrícia Aranha da Paz, Maria do Rosário Veiga, and Rômulo Simões Angélica. 2020. "Investigation of Historical Mortars from Belém Do Pará, Northern Brazil." *Construction and Building Materials* 233 (February).

Elsevier Ltd: 117284. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117284.

Magalhães, A., and R. Veiga. 2009. "Physical and Mechanical Characterisation of Historic Mortars. Application to the Evaluation of the State of Conservation." *Materiales de Construcción*. doi:10.3989/mc.2009.41907.

Mendes, Stephanie Assef. 2015. "A Azulejaria Histórica Na Arquitetura Mortuária Do Cemitério Nossa Senhora Da Soledade: Subsídios Para a Sua Conservação e Restauração." Mestrado, Belém: Universidade Federal do Pará.

Middendorf, B., J. J. Hughes, K. Callebaut, G. Baronio, and I. Papayianni. 2005.

"Investigative Methods for the Characterisation of Historic Mortars - Part 2: Chemical Characterisation." *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 38 (282): 771–780. doi:10.1617/14282.

Moropoulou, Antonia, Asterios Bakolas, and Eleni Aggelakopoulou. 2001. "The Effects of Limestone Characteristics and Calcination Temperature to the Reactivity of the Quicklime." *Cement and Concrete Research* 31 (4): 633–639.

Museu Paraense de História Natural e Ethnographia. 1933. "Boletim Do Museu Paraense de Historia Natural e Ethnographia." Periódico.

Ontiveros-Ortega, Esther, Oliva Rodríguez-Gutiérrez, and Antonio D. Navarro. 2016.

"Mineralogical and Physical-Chemical Characterisation of Roman Mortars Used for Monumental Substructures on the Hill of San Antonio, in the Roman City of Italica (Prov. Baetica, Santiponce, Seville, Spain)." *Journal of Archaeological Science: Reports* 7 (June). Elsevier Ltd: 205–223. doi:10.1016/j.jasrep.2016.03.043.

Palomo, A, M T Blanco-Varela, S Martinez-Ramirez, F Puertas, and C Fortes. 2002. *Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendencies for Research.*

Seymour, Linda M, Janille Maragh, Paolo Sabatini, Michel Di Tommaso, James C Weaver, and Admir Masic. 2023. *Hot Mixing: Mechanistic Insights into the Durability of Ancient Roman Concrete.* <https://www.science.org>.

Silveira, M. I., and D. P. Schaan. 2005. “Onde a Amazônia Encontra o Mar: Estudando os Sambaquis Do Pará.” *Revista de Arqueologia* 18: 67–79.

Singh, M., Vinodh, S., Waghmare, S., Sabale, P. 2016. “Aragonite-Vaterite-Calcite: Polymorphs of CaCO₃ in 7th Century CE Lime Plasters of Alampur Group of Temples, India.” *Construction and Building Materials.*

Veiga, M.R., and D. Santos. 2016. *Métodos de Ensaio de Revestimentos Existentes – Ensaio in Situ e Ensaio Em Laboratório Sobre Amostras Recolhidas Em Obra.*
Lisboa.

Veiga, Rosário. 2017. “Air Lime Mortars: What Else Do We Need to Know to Apply Them in Conservation and Rehabilitation Interventions? A Review.” *Construction and Building Materials* 157: 132–140. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.09.080.

5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa constata que às argamassas aplicadas à azulejaria histórica da arquitetura mortuária do Cemitério da Soledade durante os séculos XIX e XX podem ser classificadas de acordo com: a) tipo de ligante (cal aérea, pozolana ou Cimento Portland); b) função (assentamento de alvenaria/azulejo, preenchimento, regularização/preparação de base, embasamento de sepulturas, alicerce, rejunte); c) técnica de aplicação (monocamada ou multicamadas).

Tais argamassas apresentam características e propriedades diversificadas com diferentes níveis de complexidade influenciadas diretamente por variáveis como: 1) desempenho individual (tipo de ligante e agregado empregados, função, técnicas de produção/aplicação, período de fabricação, interação entre os materiais, etc); 2) desempenho quanto componente de um sistema construtivo azulejado (interação entre argamassa/azulejo/substrato, performance individual de cada componente, técnica de aplicação monocamada ou multicamada); 3) microclima do cemitério (proximidade do solo, exposição à chuva/arborização/irradiação solar intensas; poluição, etc.); 4) processos de alterações que ocorrem nas argamassas e que desencadeiam produtos de alterações nos azulejos, assim como vice-versa. 5) Ações antrópicas (queima de velas nas sepulturas ou em suas proximidades, falta de manutenção durante anos, reformas ou modificações negligentes).

Sendo assim, é possível afirmar que cada tipo de argamassa é um material único que representa as técnicas, tecnologias e história de cada período estudado. No caso das argamassas mais antigas, os exemplares representam ainda técnicas e materiais que não são mais usados nos dias de hoje. Além disso, também é possível compreender o aprimoramento do modo de produção de argamassas históricas ao longo do tempo, contribuindo para a criação de uma linha temporal de transformações dos materiais de construções da nossa região. Assim, as argamassas do Soledade detêm grande relevância enquanto bens culturais que devem ser preservados por meio de ações de manutenção, conservação e restauração, que por sua vez, precisam ser baseadas em estudos aprofundados, como este, e na Ciência do Patrimônio.

Com isso, esse estudo conseguiu trabalhar algumas lacunas tecnológicas e históricas à respeito de argamassas antigas produzidas em Belém durante o século XIX e XX, contribuindo para a construção de um acervo robusto sobre esse material tanto a nível local quanto geral, fornecendo informações valiosas sobre as argamassas empregadas

anteriormente ao uso do Cimento Portland, atualmente considerado o principal ligante do mundo, que, no entanto, não é o mais adequado para o uso em intervenções de restauro.

Do ponto de vista das teorias do restauro, buscou-se promover reflexões sobre às argamassas aplicadas na arquitetura mortuária do Soledade considerando os estudos de autores relevantes como Cesare Brandi, Alois Riegl e Muñoz Viñas, assim como as diferentes percepções de atores sociais ligados ao espaço cemiterial e da própria autora que participa do projeto de reforma/restauro e pesquisa o Soledade. A partir dessa discussão inferiu-se que embora às argamassas estejam presentes em grande quantidade na arquitetura cemiterial não são percebidas da mesma maneira que outros materiais, como a pedra e o azulejo por exemplo, por influência de fatores como: a) emprego predominantemente em locais “escondidos” como nos embasamentos das sepulturas ou no assentamento de alvenarias/azulejos; b) péssimo estado de conservação que acaba não atraindo atenção desejada ao material; c) se tratar de um material que não detêm grande atratividade estética em comparação às pedras por exemplo.

Por fim, essa pesquisa reitera a importância de estudos tecnológicos, do fazer científico e do uso de técnicas analíticas invasivas e não invasivas aliado a pesquisa histórica-documental para o desenvolvimento de investigações mais apuradas e menos enviesadas. Além disso, também reconhece outras lacunas no conhecimento de argamassas históricas, sobretudo a respeito de argamassas antigas produzidas na região amazônica, cuja quantidade de estudos ainda é mínima. O atual estudo forneceu subsídios por meio da caracterização química, física e mineralógica das argamassas avaliadas para que outras pesquisas com o objetivo de desenvolver argamassas ou materiais compatíveis para intervenções de restauro sejam propostas a fim de dar continuidade ao conhecimento construído.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541: Argamassa Para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Preparo Da Mistura Para a Realização de Ensaios**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13816: Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2020.

ADRIANO, P. *et al.* Microscopic characterisation of old mortars from the Santa Maria Church in Évora. **Materials Characterization**, vol. 60, n° 7, p. 610–620, jul. 2009.

ALCÂNTARA, D.; BRITO, S.; SANJAD, T. **Azulejaria Em Belém Do Pará Inventário-Arquitetura Civil e Religiosa-Século XVIII Ao XX**. Brasília, DF : Iphan, 2016.

BARBERO-BARRERA, M. *Et al.* Lime Render Layers: An Overview of Their Properties. **Journal of Cultural Heritage**, Elsevier Masson, v. 15, 326–330, 2014.

BOTAS, S. *et al.* Compatible Air Lime Mortars for Historical Tiled Facades: Bond and Mechanical Strength versus Tile–Mortar Interface Microstructure. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 32, n. 6, p. 04020112, 2020.

BOTAS, S.; VEIGA, R.; VELOSA, A. Air lime mortars for conservation of historic tiles: Bond strength of new mortars to old tiles. **Construction and Building Materials**, v. 145, p. 426–434, 2017.

BRANDI, C. *Teoria da Restauração*. 4a edição, 2017.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Tests for geometrical properties of aggregates Part 1: Determination of Particle Size Distribution – Sieving Method EN 933**, 2005.

BÖKE, H. *et al.* Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters. **Cement and Concrete Research**, vol. 36, no 6, p. 1115–1122, jun. 2006.

CALUFF, A. **Duas faces da morte: o corpo e a alma do cemitério Nossa Senhora da Soledade, em Belém/Pa.** 2014. 364 p. Mestrado profissional em Preservação do Patrimônio Cultural – IPHAN, Rio de Janeiro, 2014.

CARASEK, H. *et al.* Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. **Construction and Building Materials**, v. 59, p. 85–98, 30 maio 2014.

CEN. **Methods of Test for Mortar for Masonry - Part 11: Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar**, EN 1015-11, 1999.

CEN. **Conservation of cultural property-test methods-Determination of water vapour permeability**, EN 15801, 2009.

CEN. **Conservação Do Patrimônio Cultural – Ensaio, Métodos – Determinação de Propriedades de Secagem**, EN 16322, 2013.

COSTA, M. *et al.* Technical replicas of Portuguese ceramic tile bodies produced in the Oporto region in the late nineteenth to early twentieth centuries. **Studies in Conservation**, v. 61, n. 2, p. 63–73, 2016.

CRUZ, E. O Cemitério de Nossa Senhora da Soledade. *In*: Instituto Geográfico e Histórico da Bahia, Instituto Histórico e Geográfico do Pará, Instituto Genealógico Brasileiro, Academia Paraense de Letras. **Vultos e Episódios da História do Pará: Procissão dos séculos.** Belém: Imprensa Oficial do Estado do Pará, 1952. p. 177-180.

DA SILVA, P. **Deterioração das Pedras da Arquitetura Mortuária do Cemitério Nossa Senhora da Soledade.** 2014. 218 p. Mestrado acadêmico em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, 2014.

FIORI, M. *Et al.* Vaterite in the Mortars of a Mosaic in the Saint Peter Basilica, Vatican (Rome). **Journal of Cultural Heritage**, v. 10, p. 248-257, 2009.

GASPARETTO, S., SANJAD, T. The Historical Glazed Tiles from Nossa Senhora Da Soledade Cemetery, Northern Brazil: Microstructural, Physical and Mineralogical Characterization. **Ceramica**, v. 64 (369), jan-mar 2018.

GUERRA, F. *Et al.* Physicochemical Characterization of Historical Coating Mortars—Case Studies in South Brazil. **International Journal of Architectural Heritage**, Taylor and Francis Ltd, v. 16 (2), p. 242–260, Jun 2020.

HASPARYK, N., KUPERMAN S. Reações Expansivas Deletérias No Concreto. **CONCRETO & Construções**, Ed.102, p. 49–55, Abr-Jun, 2021.

JAPIASSÚ, P. **Estudo do mecanismo de aderência de azulejos e argamassas de cal em revestimentos históricos**. 2011. 136 p. Mestrado em Geotecnia e Construção Civil – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

JAPIASSÚ, P. et al. Caracterização da interface azulejo/argamassa de fachadas históricas. **Revista ALCONPAT**, vol.4 no.1, p. 5 – 76, abr. 2014.

KANAN, M. Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal. **Cadernos Técnicos 8**. Brasília, Distrito Federal : Programa Monumenta, 2008.

LNEC. Métodos de ensaio de revestimentos de paredes existentes. **Relatório 39/2016 – DED/NRI**, 2016.

LIMA, T. De morcegos e caveiras a cruzeiros e livros: a representação da morte nos cemitérios cariocas do século XIX (estudo de identidade e mobilidade social). **Anais do Museu Paulista**. Nova Série ed. São Paulo: 1994, 1994. v. 2p. 87–150.

LOUREIRO, A. et al. Eflorescência salina na igreja de Santo Alexandre, Belém - PA. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 3, p. 71–83, 2015.

LOUREIRO, A. et al. Investigation of historical mortars from Belém do Pará, Northern Brazil. **Construction and Building Materials**, Elsevier Ltd, v. 233, p. 117284, 10 fev. 2020.

MAGALHÃES, A., VEIGA, R. Physical and mechanical characterisation of historic mortars. Application to the evaluation of the state of conservation. **Materiales de Construcción**, vol. 59 no. 295, 2009.

MASCARENHAS, J., BRANCO, F., BELGAS, L. Constructive, Stylistical and Iconographic characterization of a Neo-Gothic Mausoleum of Conchada Cemetery. *In*: LOURENÇO, P. et al. **4CIHCLB - 4o Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira**. Atas do 44CIHCLB ed. Guimarães: 2023, 2023. v. 1p. **649–658**.

MENDES, S. **A azulejaria histórica na arquitetura mortuária do cemitério Nossa Senhora da Soledade: subsídios para a sua conservação e restauração**. 2015. 166 p. Mestrado acadêmico em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, 2015.

MIDDENDORF, B. *Et al.* Investigative Methods for the Characterisation of Historic Mortars - Part 2: Chemical Characterisation. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, v. 38 (282), p. 771–780, 2005.

MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A., AGGELAKOPOULOU, E. The Effects of Limestone Characteristics and Calcination Temperature to the Reactivity of the Quicklime. **Cement and Concrete Research**, v. 31 (4), p. 633–639, 2001.

MUSEU PARAENSE DE HISTÓRIA NATURAL E ETHNOGRAPHIA. **Boletim Do Museu Paraense de Historia Natural e Ethnographia**. Belém: Escola Profissional do Estado, 1933. p. 67.

ONTIVEROS-ORTEGA, E., RODRÍGUEZ-GUTIÉRREZ, O., NAVARRO, A. Mineralogical and Physical-Chemical Characterisation of Roman Mortars Used for Monumental Substructures on the Hill of San Antonio, in the Roman City of Italica (Prov. Baetica, Santiponce, Seville, Spain). **Journal of Archaeological Science**, Elsevier Ltd, v. 7, p. 205–223, Jun 2016.

PALOMO, A. et al. Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendencies for Research. **Engineering, Materials Science**, 2002.

RIEGL, A. **O culto moderno dos monumentos: Sua história e suas origens**. 1ª ed. [s.l.] 2019, 1903.

ROMERO, N.; DUPUY, C.; QUIÑONES, J. **Revista ALCONPAT**, v. 2, p. 186–199, 2012.

SANJAD, T. **Patologias e Conservação de Azulejos**. 2002. p. 219. Salvador, Bahia: Universidade Federal da Bahia, 22 jan. 2002. Mestrado acadêmico em Arquitetura e Urbanismo (área de Conservação e Restauo) – Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2002.

SANJAD, T. A. B. C. *et al.* Ação microbiológica nos azulejos históricos das fachadas de Belém, região amazônica. **Pós: Belo Horizonte**, v. 4, n. 8, p. 124–133, 2014.

SANTIAGO, C. **Argamassas tradicionais de cal**. Salvador: EDUFBA, 2007.

SANTIAGO, C. O RESTAURO DE ARGAMASSA DE CAL NO BRASIL. **Construindo**, p. 67–79, 2012.

SANTOS, B. A Indústria de Cimento No Brasil: Origens, Consolidação e Internacionalização. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 23 (1): 77-94, abr. 2011

SCRIVENER, K. *et al.* Electron microscopy. *In*: SCRIVENER, K.; SNELLINGS, R.; LOTHENBACH, B. (Eds.). **A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials**. Boca Raton: CRC Press, 2016. p. 351–417.

SEYMOUR, L. *et al.* Hot Mixing: Mechanistic Insights into the Durability of Ancient Roman Concrete. **Science advances**, v. 9, no. 1, Jan 2023.

SILVEIRA, M., SCHAAN, D. Onde a Amazônia Encontra o Mar: Estudando os Sambaquis Do Pará. **Revista de Arqueologia**, v. 18, p. 67–79, 2005.

SINGH, S. *et al.* Aragonite-Vaterite-Calcite: Polymorphs of CaCO₃ in 7th Century CE Lime Plasters of Alampur Group of Temples, India. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 386-397, Jun 2016.

VEIGA, R. Air Lime Mortars: What Else Do We Need to Know to Apply Them in Conservation and Rehabilitation Interventions? A Review. **Construction and Building Materials**, v.157, p. 132–140, 2017.

VEIGA, R. **Conservação e Reparação de Revestimentos De Paredes De Edifícios Antigos - Métodos e Materiais**. Ed. 1. Lisboa: LNEC, 2009.

VOLPATO, G. **Método Lógico para Redação Científica**. Botucatu, SP: Best Writing, 2015.

APÊNDICES**APÊNDICE I – FICHAS DE DOCUMENTAÇÃO**

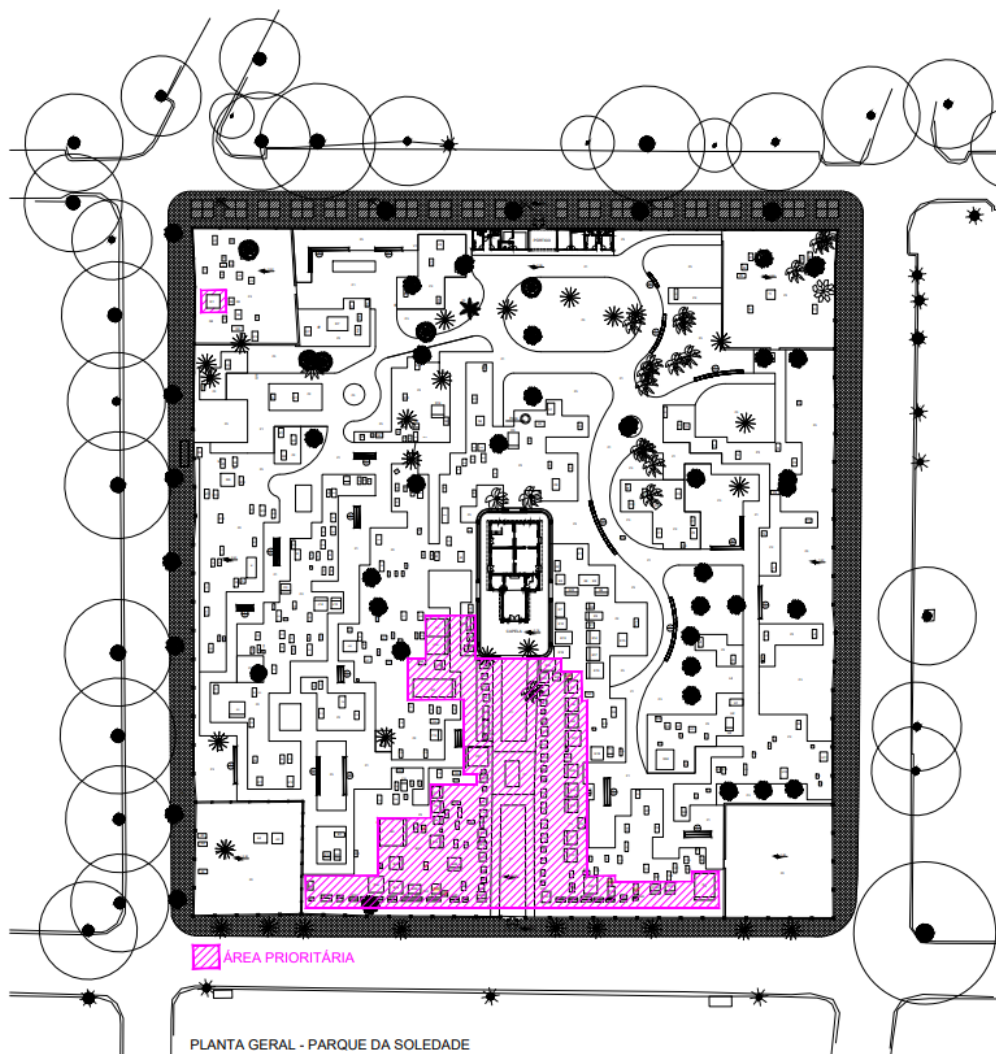


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

HISTÓRIA E TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS NA AZULEJARIA HISTÓRICA DO CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE (BELÉM-PA)

FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE

Identificação geral no cemitério



Fonte: LACORE, 2022.

Endereço: Av. Serzedelo Corrêa, 514 - Batista Campos, Belém-Pará.

Descrição: antigo Cemitério Nossa Senhora da Soledade fundado em 1850 e transformado em Parque Cemitério Soledade (2023) por meio do projeto de Reforma e Restauro de Bens da Arquitetura Mortuária iniciado em 2022.

Ficha de identificação geral

Página:1/2



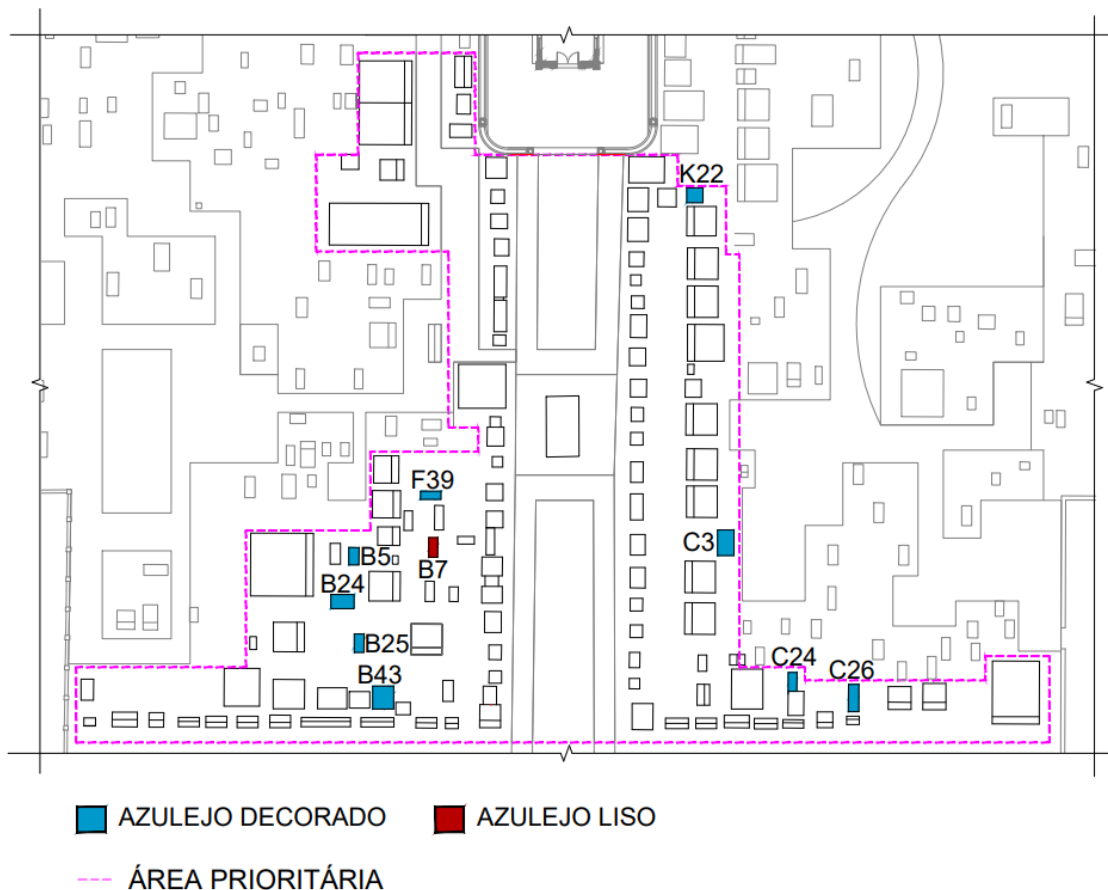
Reconhecimento: O cemitério foi tombado a nível nacional em 1964 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) na categoria de Conjunto Paisagístico Nacional. Além de ter sido tombado pelo município de Belém em 1994.

Nota: A área prioritária diz respeito a primeira etapa do projeto citado, cujas obras foram concluídas e entregues a sociedade belenense em janeiro de 2023.

Localização das sepulturas azulejadas na área prioritária

I Etapa do projeto de Restauração dos Bens da Arquitetura Mortuária do Cemitério Nossa Senhora da Soledade

Poligonal das sepulturas azulejadas investigadas no presente estudo

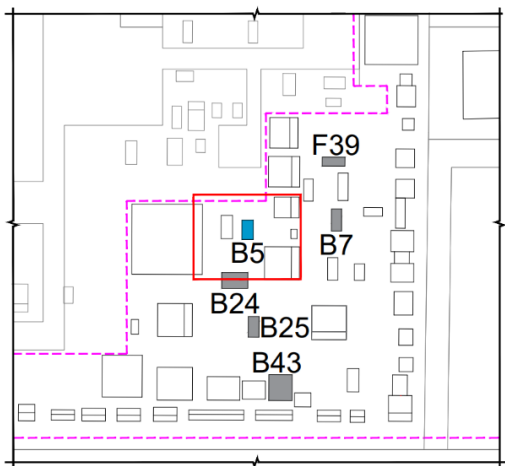




**FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE**

Sepultura B5

Localização



Descrição

Tipologia: Túmulo em formato escalonado com base e corpo azulejados; e gradil metálico.

Dimensões: 0.85x1.60x1.39m.

Azulejos: brancos portugueses, produzidos e importados no século XIX (Fábrica de Gaia).

Registros fotográfico

Face posterior (2023)



Face lateral direita (2023)





UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Descrição do sistema construtivo



Legenda: A- argamassa de assentamento de azulejos; B- alvenaria em tijolos de 1 furo; C- argamassa de preparação de base; D- alicerce em arenito ferruginizado.

1. Estrutura: alvenaria de tijolos alvenaria de pedra misto outro
2. Alicerce: arenito ferruginizado alvenaria misto outro
3. Argamassas: assentamento preparação de base preenchimento
 embasamento alicerce rejunte
4. Tipo de ligante: à base de cal hidráulico

Nota: Neste túmulo foi observado uma camada de nivelamento executada com azulejos assentados com a face vitrificada voltada para baixo.

Estado de Conservação - Danos Identificados

Sistema construtivo	Argamassas
<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades	<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades
<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverulência
<input checked="" type="checkbox"/> Destacamento de revestimento	<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento
<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento	<input checked="" type="checkbox"/> Umidade
<input checked="" type="checkbox"/> Lacuna	<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica
<input checked="" type="checkbox"/> Ação antrópica: <i>queima de velas</i>	<input type="checkbox"/> Eflorescência salina
<input checked="" type="checkbox"/> danos estruturais: Recalque (x) rachaduras (x) fissuras (x)	<input checked="" type="checkbox"/> lixiviação do ligante
Outro:	<input type="checkbox"/> ação antrópica
	Outro:



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Estado de Conservação Geral

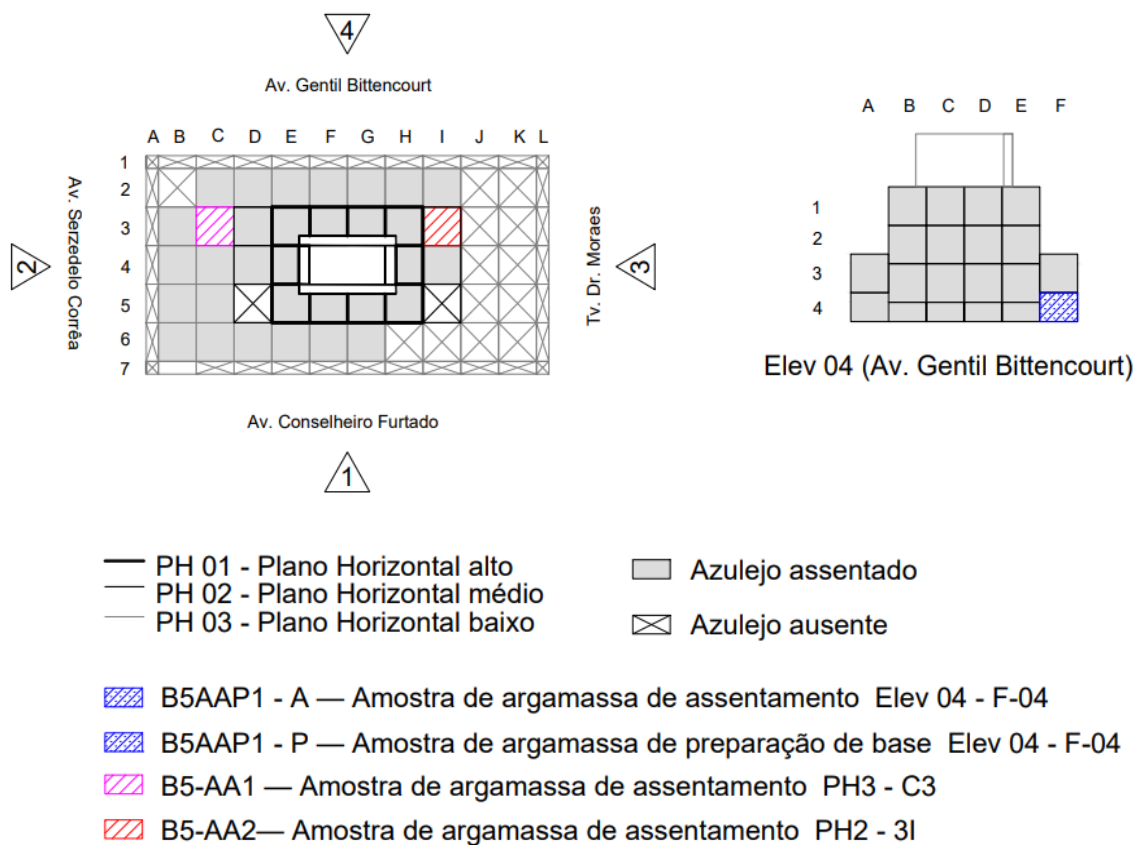
Bom
Até 4 tipos de danos

Regular
5 a 7 tipos de danos

Ruim
8 a 10 tipos de danos

Muito ruim
Mais de 10 tipos de danos

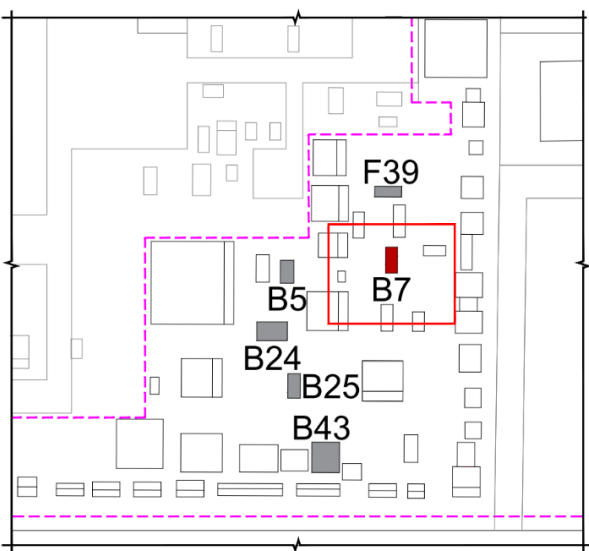
Seleção e Coleta de Amostras







UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

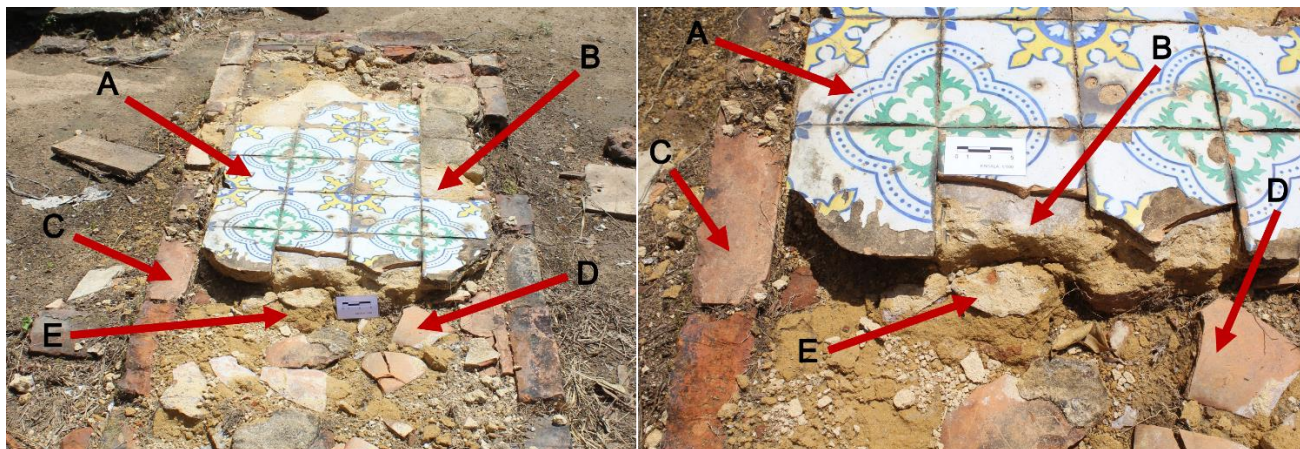
**FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE**

Sepultura B7	
Localização	Descrição
	<p>Tipologia: Túmulo em alvenaria de tijolos revestido por azulejos decorados.</p> <p>Dimensões: 0,70X1,70X0,18 m.</p> <p>Azulejos: azulejos portugueses decorados em técnica de estampilha (padrão de ferradura), importados no século XIX.</p>

Registros fotográfico	
Face superior (2022)	Face superior (2023)
	



Descrição do sistema construtivo



Legenda: A-azulejo; B-argamassa de assentamento; C- embasamento em alvenaria de tijolos maciços; D-fragmentos de telhas (preenchimento); E-argamassa de preenchimento.

1. Estrutura: alvenaria de tijolos alvenaria de pedra misto outro
2. Alicerce: arenito ferruginizado alvenaria misto outro: não visível
3. Argamassas: assentamento preparação de base preenchimento
 embasamento alicerce rejunte
4. Tipo de ligante: à base de cal hidráulico

Nota: Foi observado a existência de uma camada de preenchimento (nivelamento) da cova feito com argamassa à base de cal e fragmentos de material cerâmico (telhas, tijolos, etc.)

Estado de Conservação - Danos Identificados

Sistema construtivo	Argamassas
<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades	<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades
<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverulência
<input checked="" type="checkbox"/> Destacamento de revestimento	<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento
<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento	<input checked="" type="checkbox"/> Umidade
<input checked="" type="checkbox"/> Lacuna	<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica
<input type="checkbox"/> Ação antrópica: <i>queima de velas</i>	<input type="checkbox"/> Eflorescência salina
<input type="checkbox"/> danos estruturais: Recalque () rachaduras () fissuras ()	<input type="checkbox"/> lixiviação do ligante
	<input type="checkbox"/> ação antrópica



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Estado de Conservação Geral

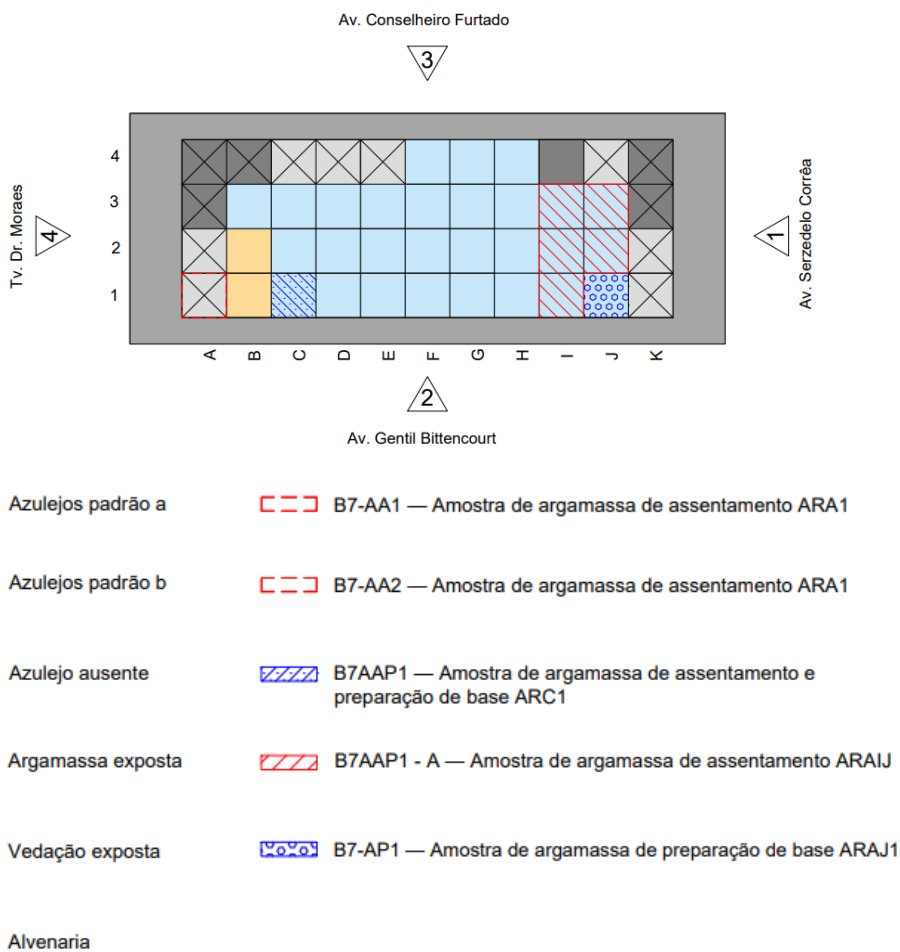
Bom
Até 4 tipos de danos

Regular
5 a 7 tipos de danos

Ruim
8 a 10 tipos de danos

Muito ruim
Mais de 10 tipos de danos

Seleção e Coleta de Amostras

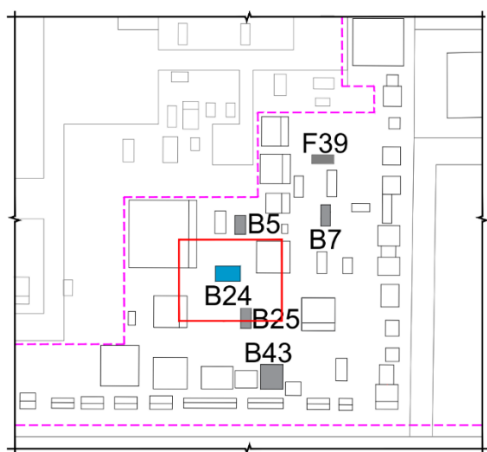




**FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE**

Sepultura B24

Localização



Descrição

Tipologia: Túmulo em alvenaria de tijolos revestido por azulejos.

Dimensões: 1.40x1.15x0.20m.

Azulejos: brancos possivelmente importados da Europa (Século XIX).

Registros fotográfico

Face superior (2023)





UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Descrição do sistema construtivo



Legenda: A-azulejo; B-argamassa de assentamento; C- base em alvenaria de tijolos maciços.

1. Estrutura: alvenaria de tijolos alvenaria de pedra misto outro
2. Alicerce: arenito ferruginizado alvenaria misto outro: não visível
3. Argamassas: assentamento preparação de base preenchimento
 embasamento alicerce rejunte
4. Tipo de ligante: à base de cal hidráulico

Nota: Foi observado que neste túmulo há apenas uma camada de argamassa usada para assentar os azulejos diretamente na base de alvenaria (técnica monocamada).

Estado de Conservação - Danos Identificados

Sistema construtivo	Argamassas
<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades	<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades
<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica	<input type="checkbox"/> Pulverulência
<input checked="" type="checkbox"/> Destacamento de revestimento	<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento
<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento	<input checked="" type="checkbox"/> Umidade
<input checked="" type="checkbox"/> Lacuna	<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica
<input type="checkbox"/> Ação antrópica: <i>queima de velas</i>	<input type="checkbox"/> Eflorescência salina
<input type="checkbox"/> danos estruturais: Recalque () rachaduras () fissuras ()	<input type="checkbox"/> lixiviação do ligante
	<input type="checkbox"/> ação antrópica



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Estado de Conservação Geral

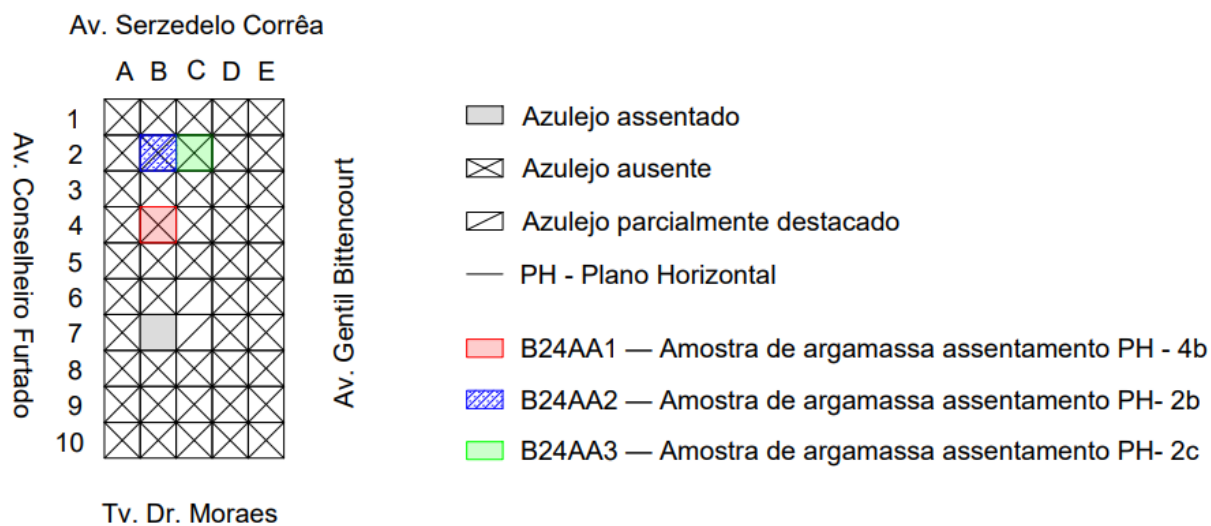
Bom
Até 4 tipos de danos

Regular
5 a 7 tipos de danos

Ruim
8 a 10 tipos de danos

Muito ruim
Mais de 10 tipos de danos

Seleção e Coleta de Amostras

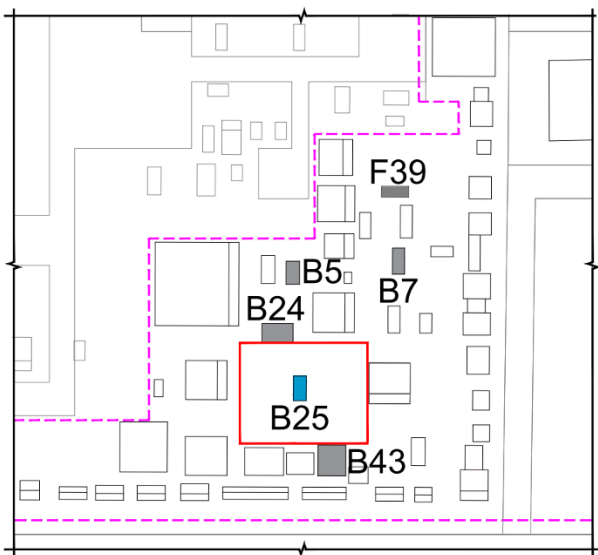




**FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE**

Sepultura B25

Localização



Descrição

Tipologia: Túmulo em alvenaria de tijolos revestido por azulejos e com tampa (lápide) em pedra.

Dimensões: 1.40x1.15x0.20m.

Azulejos: brancos possivelmente importados da Europa (Século XIX).

Registros fotográfico

Face superior (2022)

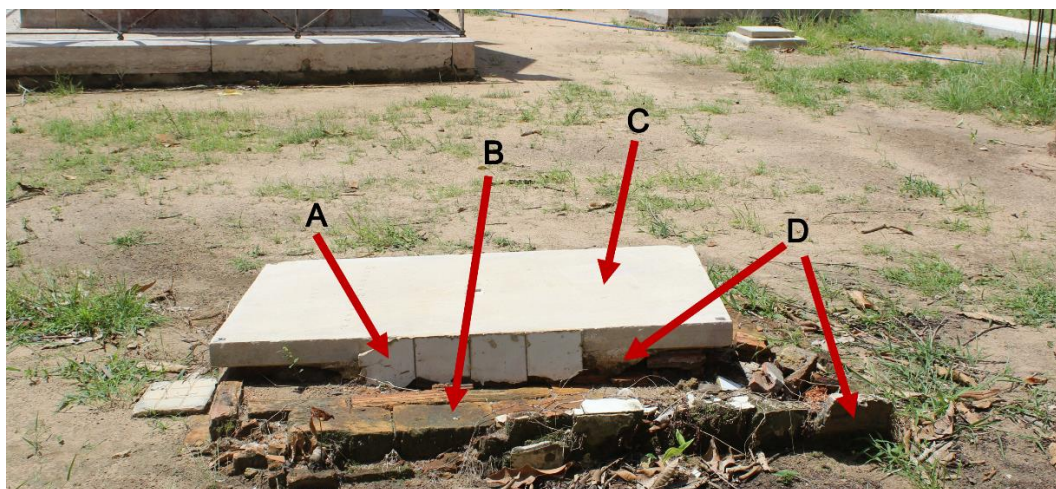


Face superior (2023)





Descrição do sistema construtivo



Legenda: A-azulejo; B- embasamento em alvenaria de tijolos maciços; C- tampa (lápide) em pedra; D- argamassa de assentamento de azulejos.

1. Estrutura: alvenaria de tijolos alvenaria de pedra misto outro
2. Alicerce: arenito ferruginizado alvenaria misto outro: não visível
3. Argamassas: assentamento preparação de base preenchimento
 embasamento alicerce rejunte
4. Tipo de ligante: à base de cal hidráulico

Nota:

Estado de Conservação - Danos Identificados

Sistema construtivo	Argamassas
<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades	<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades
<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverulência
<input checked="" type="checkbox"/> Destacamento de revestimento	<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento
<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento	<input checked="" type="checkbox"/> Umidade
<input checked="" type="checkbox"/> Lacuna	<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica
<input type="checkbox"/> Ação antrópica: <i>queima de velas</i>	<input type="checkbox"/> Eflorescência salina
<input checked="" type="checkbox"/> danos estruturais: Recalque (<input checked="" type="checkbox"/>) rachaduras (<input type="checkbox"/>) fissuras (<input type="checkbox"/>)	<input checked="" type="checkbox"/> lixiviação do ligante
	<input type="checkbox"/> ação antrópica



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Estado de Conservação Geral

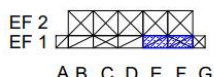
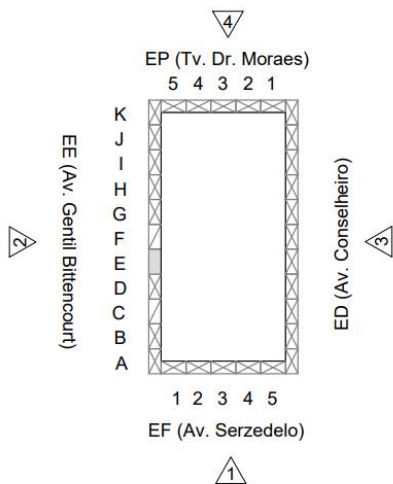
Bom
Até 4 tipos de danos

Regular
5 a 7 tipos de danos

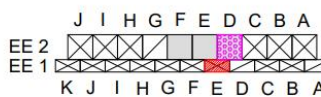
Ruim
8 a 10 tipos de danos

Muito ruim
Mais de 10 tipos de danos

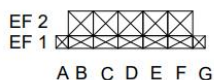
Seleção e Coleta de Amostras



Elevação Frontal
(Av. Serzedelo)



Elevação Esquerda
(Av. Gentil Bittencourt)



Elevação Posterior
(Tv. Doutor Moraes)



Elevação Direita
(Av. Conselheiro Furtado)

- Azulejo branco e liso
- Azulejo destacado
- Azulejo parcialmente destacado

- PH1 — Plano horizontal alto
- PH2 — Plano horizontal baixo

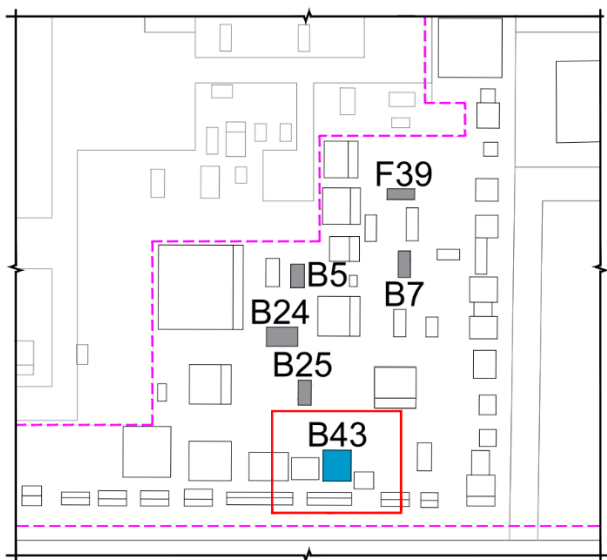
- B25-AA1 — Amostra de argamassa de assentamento EE-E1-E
- B25-AP1 — Amostra de argamassa de Preechimento EF-E1-EF
- B25-AA2 — Amostra de argamassa de assentamento EE-E2-D



**FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE**

Mausoléu B43

Localização



Descrição

Tipologia: mausoléu em alvenaria de tijolos angulares (ou em “L”) com cobertura revestida por azulejos brancos.

Dimensões: 2.30x1.90x2.65m.

Azulejos: brancos possivelmente importados da Europa (Século XIX).

Registros fotográfico

Face frontal (2023)



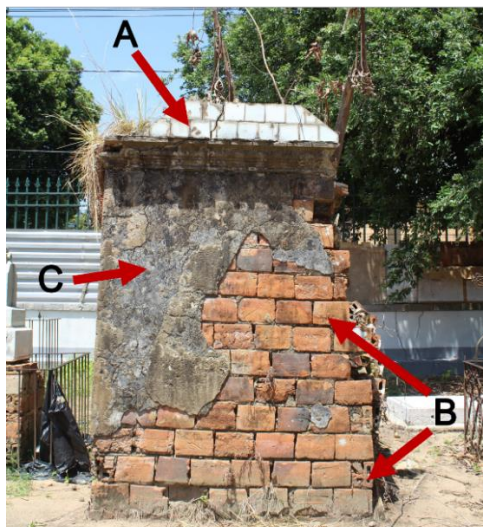
Face posterior (2023)





UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Descrição do sistema construtivo



Legenda: A-azulejo; B- paredes em alvenaria de tijolos em “L” (angular); C- argamassa de preparação de base.

1. Estrutura: alvenaria de tijolos alvenaria de pedra misto outro
2. Alicerce: arenito ferruginizado alvenaria misto outro: não visível
3. Argamassas: assentamento preparação de base preenchimento
 embasamento alicerce rejunte
4. Tipo de ligante: à base de cal hidráulico

Nota: em geral, as argamassas de assentamento apresentam 2 camadas diferentes, no entanto em alguns pontos foram encontradas argamassas com 3 camadas diferentes.

Estado de Conservação - Danos Identificados

Sistema construtivo	Argamassas
<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades	<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades
<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica	<input type="checkbox"/> Pulverulência
<input checked="" type="checkbox"/> Destacamento de revestimento	<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento
<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento	<input type="checkbox"/> Umidade
<input checked="" type="checkbox"/> Lacuna	<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica
<input type="checkbox"/> Ação antrópica: <i>queima de velas</i>	<input type="checkbox"/> Eflorescência salina
<input checked="" type="checkbox"/> danos estruturais: Recalque (<input checked="" type="checkbox"/>) rachaduras (<input checked="" type="checkbox"/>) fissuras (<input type="checkbox"/>)	<input checked="" type="checkbox"/> lixiviação do ligante
	<input type="checkbox"/> ação antrópica



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Estado de Conservação Geral

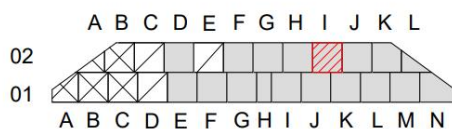
Bom
Até 4 tipos de danos

Regular
5 a 7 tipos de danos

Ruim
8 a 10 tipos de danos

Muito ruim
Mais de 10 tipos de danos

Seleção e Coleta de Amostras



Elev 04 (Tv. Dr. Moraes)

Azulejo assentado

Azulejo ausente

Azulejo parcialmente destacado

B43AAP1-A — Amostra de argamassa de assentamento Elev.04 I-02

B43AAP1-P — Amostra de argamassa de preparação de base Elev.04 I-02

B43-AAP2 — Amostra de argamassa de assentamento e preparação de base retirada de azulejo destacado (local não identificado).

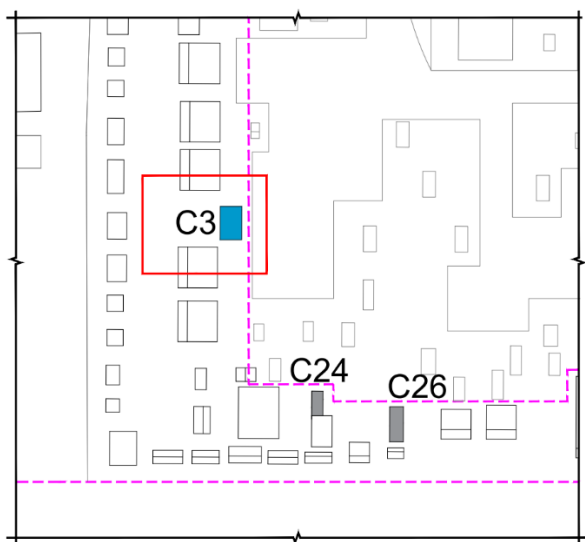
B43-AAP3 — Amostra de argamassa de assentamento e preparação de base retirada de azulejo destacado (local não identificado).



**FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE**

Sepultura C3

Localização



Descrição

Tipologia: túmulo escalonado em alvenaria de tijolos revestido por azulejos brancos.

Dimensões: 1.32x1.00x 0.80m.

Azulejos: brancos e lisos, provavelmente de fabricação brasileira (século XX).

Registros fotográfico

Vista lateral direita (2023)





UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Descrição do sistema construtivo



Legenda: A-azulejo; B- argamassa de revestimento (vão); C- argamassa de assentamento de azulejos; D-alvenaria em tijolos maciços.

1. Estrutura: alvenaria de tijolos alvenaria de pedra misto outro
2. Alicerce: arenito ferruginizado alvenaria misto outro: não visível
3. Argamassas: assentamento preparação de base preenchimento
 embasamento alicerce rejunte revestimento
4. Tipo de ligante: à base de cal hidráulico

Nota:

Estado de Conservação - Danos Identificados

Sistema construtivo	Argamassas
<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades	<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades
<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica	<input type="checkbox"/> Pulverulência
<input checked="" type="checkbox"/> Destacamento de revestimento	<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento
<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento	<input type="checkbox"/> Umidade
<input checked="" type="checkbox"/> Lacuna	<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica
<input type="checkbox"/> Ação antrópica: <i>queima de velas</i>	<input type="checkbox"/> Eflorescência salina
<input checked="" type="checkbox"/> danos estruturais: Recalque (<input checked="" type="checkbox"/>) rachaduras (<input checked="" type="checkbox"/>) fissuras (<input type="checkbox"/>)	<input checked="" type="checkbox"/> lixiviação do ligante
	<input type="checkbox"/> ação antrópica



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Estado de Conservação Geral

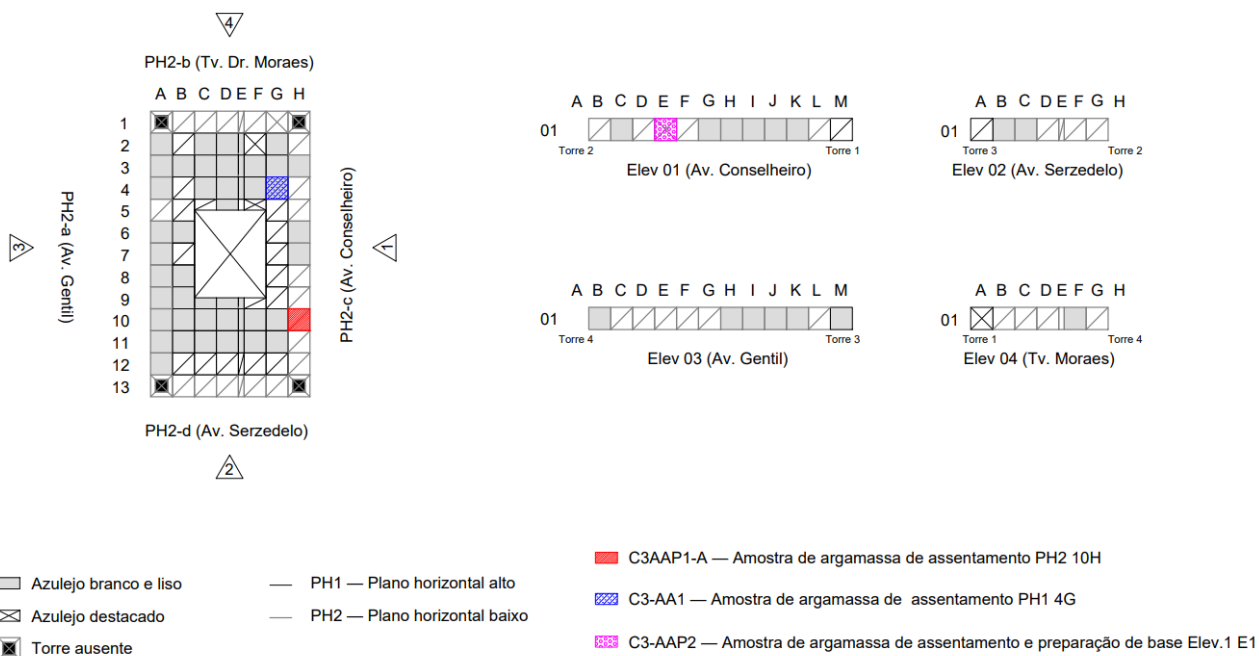
[] Bom
Até 4 tipos de danos

[] Regular
5 a 7 tipos de danos

[x] Ruim
8 a 10 tipos de danos

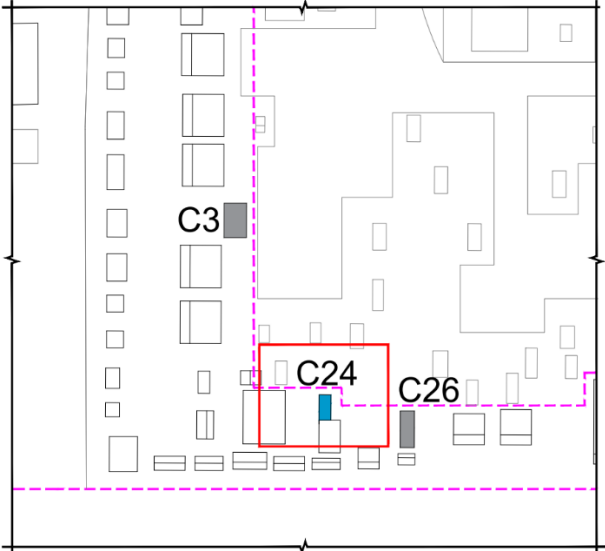
[] Muito ruim
Mais de 10 tipos de danos

Seleção e Coleta de Amostras





**FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE**

Sepultura C24	
Localização	Descrição
	<p>Tipologia: túmulo escalonado em alvenaria de tijolos revestido por azulejos brancos, com gradil metálico.</p> <p>Dimensões: 1.02x 1.77x 1.28m.</p> <p>Azulejos: brancos e lisos fabricados na Brennand IASA (Séc. XX).</p>

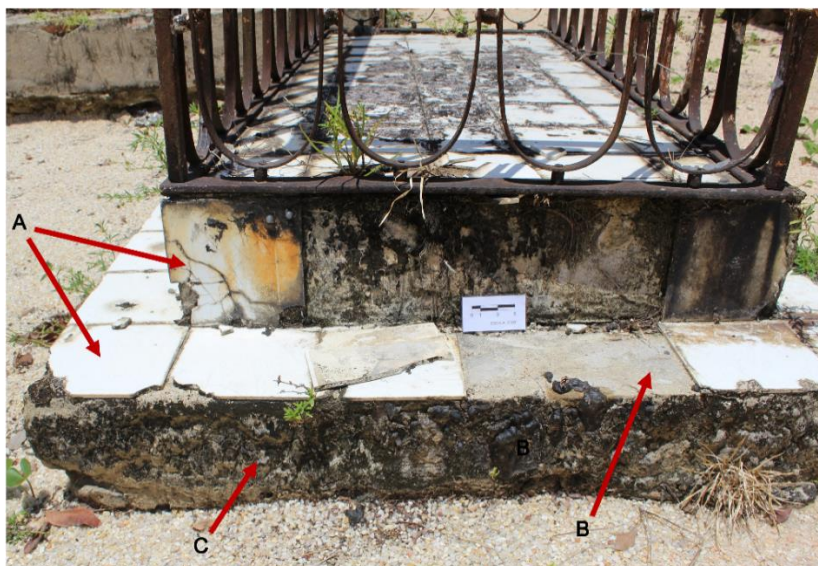
Registros fotográfico

Vista posterior (2023)





Descrição do sistema construtivo



Legenda: A-azulejo; B-argamassa de assentamento de azulejos; C-argamassa de embasamento.

1. Estrutura: alvenaria de tijolos alvenaria de pedra misto outro
2. Alicerce: arenito ferruginizado alvenaria misto outro: não visível
3. Argamassas: assentamento preparação de base preenchimento
 embasamento alicerce rejunte revestimento
4. Tipo de ligante: à base de cal hidráulico

Estado de Conservação - Danos Identificados

Sistema construtivo	Argamassas
<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades	<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades
<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica	<input type="checkbox"/> Pulverulência
<input checked="" type="checkbox"/> Destacamento de revestimento	<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento
<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento	<input checked="" type="checkbox"/> Umidade
<input checked="" type="checkbox"/> Lacuna	<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica
<input checked="" type="checkbox"/> Ação antrópica: <i>queima de velas</i>	<input type="checkbox"/> Eflorescência salina
<input type="checkbox"/> danos estruturais: Recalque () rachaduras () fissuras ()	<input type="checkbox"/> lixiviação do ligante
	<input type="checkbox"/> ação antrópica



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Estado de Conservação Geral

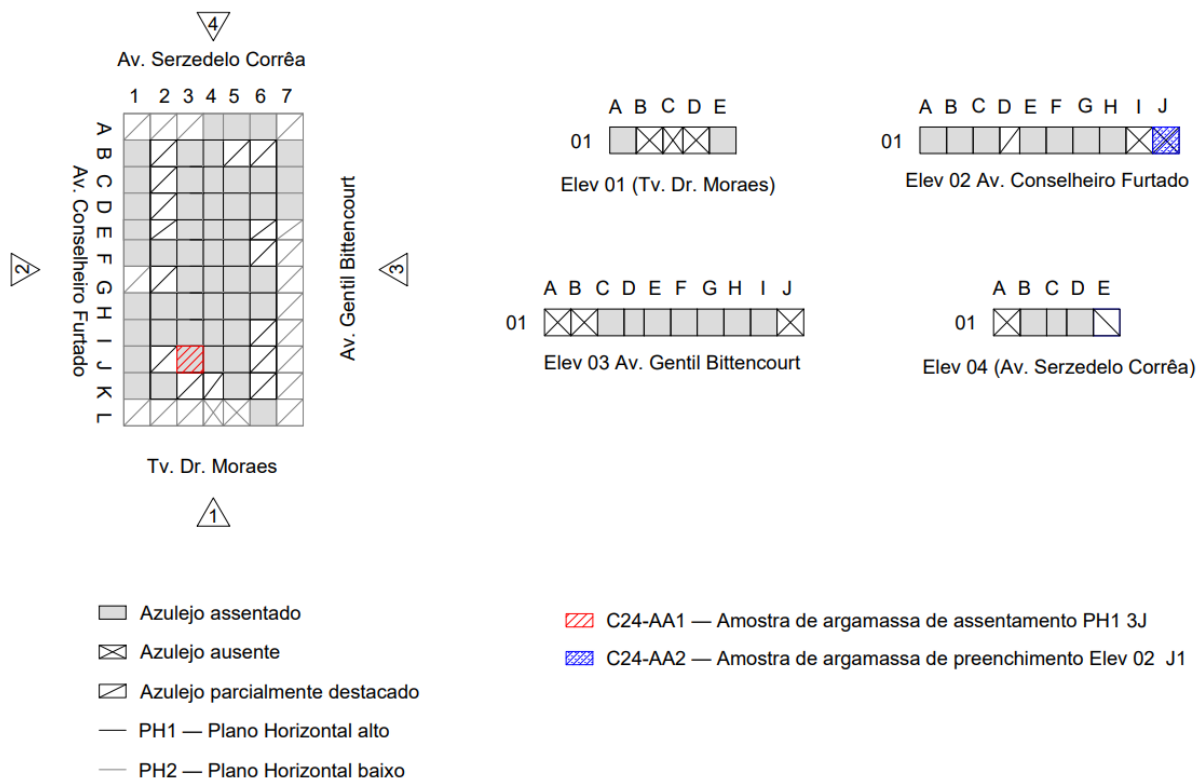
Bom
Até 4 tipos de danos

Regular
5 a 7 tipos de danos

Ruim
8 a 10 tipos de danos

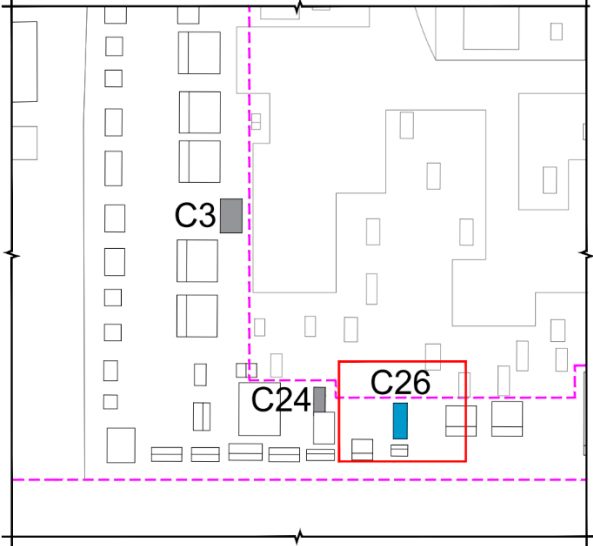
Muito ruim
Mais de 10 tipos de danos

Seleção e Coleta de Amostras





**FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE**

Sepultura C26	
Localização	Descrição
	<p>Tipologia: túmulo escalonado em alvenaria de tijolos revestido por azulejos brancos, com tampa de lioz.</p> <p>Dimensões: 1.10x 2.60x 0.60m.</p> <p>Azulejos: brancos e lisos fabricados na Azulejos do Pará (AZPA) - Séc. XX.</p>

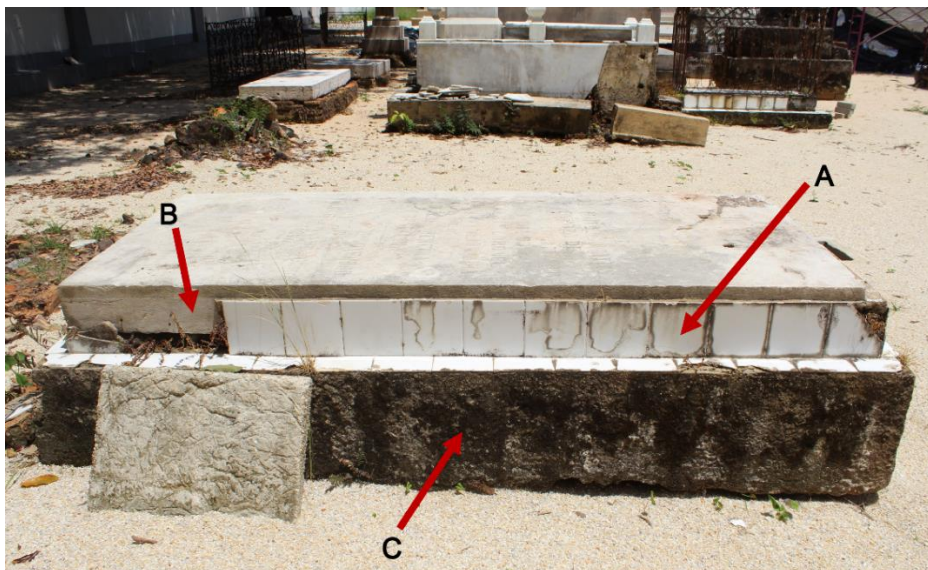
Registros fotográfico

Vista lateral direita (2023)





Descrição do sistema construtivo



Legenda: A-azulejo; B-tampa (lápide) em Lioz; C-embasamento em alvenaria de tijolos revestido por argamassa.

1. Estrutura: alvenaria de tijolos alvenaria de pedra misto outro
2. Alicerce: arenito ferruginizado alvenaria misto outro: não visível
3. Argamassas: assentamento preparação de base preenchimento
 embasamento alicerce rejunte revestimento
4. Tipo de ligante: à base de cal hidráulico

Estado de Conservação - Danos Identificados

Sistema construtivo	Argamassas
<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades	<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades
<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica	<input type="checkbox"/> Pulverulência
<input checked="" type="checkbox"/> Destacamento de revestimento	<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento
<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento	<input checked="" type="checkbox"/> Umidade
<input checked="" type="checkbox"/> Lacuna	<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica
<input type="checkbox"/> Ação antrópica: <i>queima de velas</i>	<input type="checkbox"/> Eflorescência salina
<input type="checkbox"/> danos estruturais: Recalque () rachaduras (x) fissuras (x)	<input checked="" type="checkbox"/> lixiviação do ligante
	<input type="checkbox"/> ação antrópica



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Estado de Conservação Geral

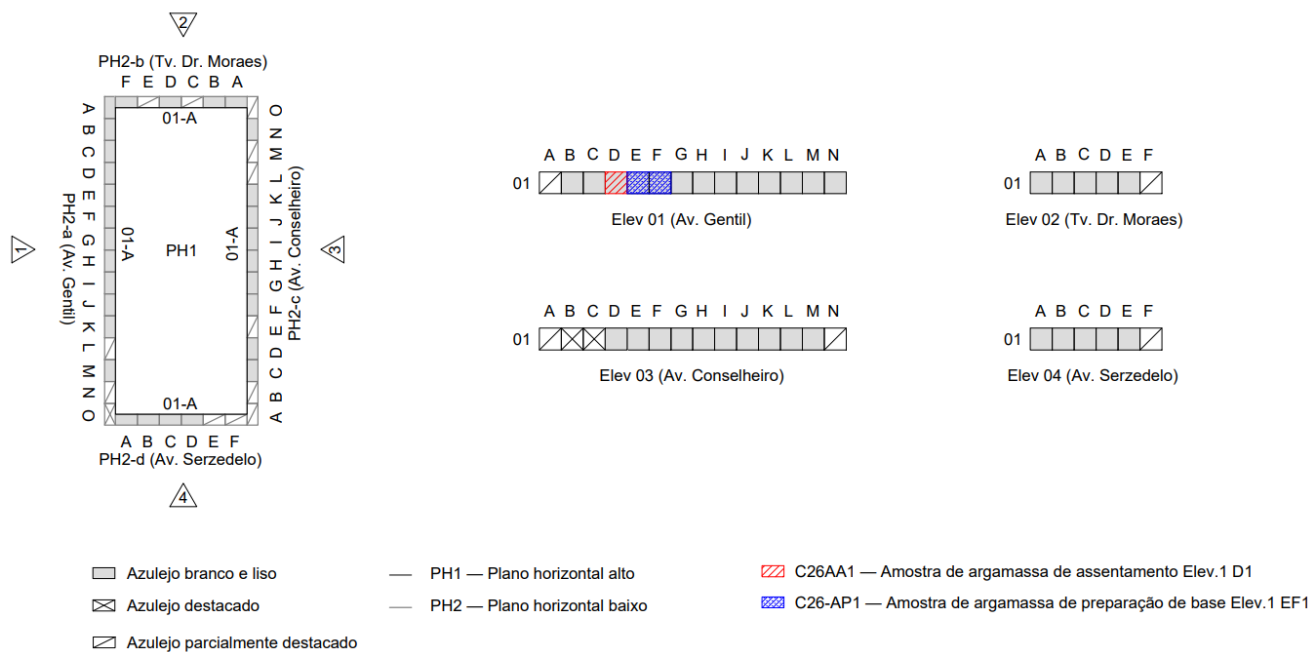
Bom
Até 4 tipos de danos

Regular
5 a 7 tipos de danos

Ruim
8 a 10 tipos de danos

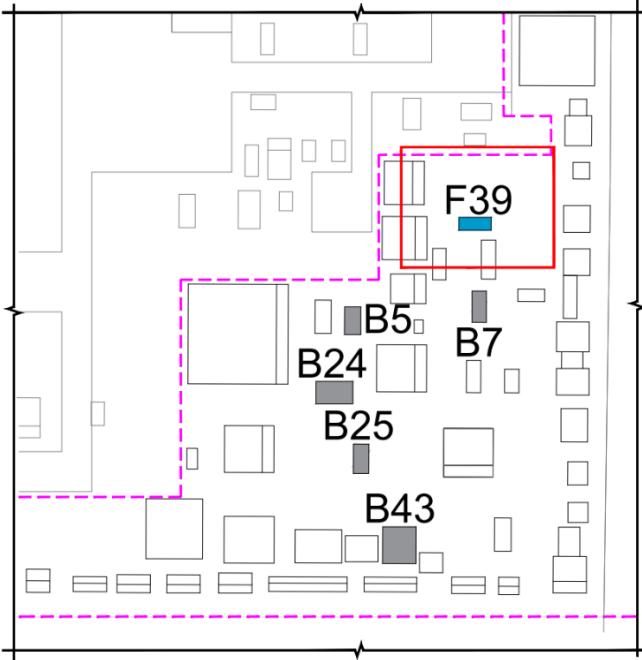
Muito ruim
Mais de 10 tipos de danos

Seleção e Coleta de Amostras





**FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE**

Sepultura F39	
Localização	Descrição
	<p>Tipologia: túmulo em alvenaria de tijolos revestido por azulejos brancos com vazado central em formato de cruz.</p> <p>Dimensões: 0,80m x 1,53m x 0,20m.</p> <p>Azulejos: brancos e lisos fabricados na Brennand IASA (Séc. XX).</p>

Registros fotográfico
Vista superior (2023)




Descrição do sistema construtivo



Legenda: A-azulejo; B-argamassa de assentamento de azulejos; C-alvenaria em tijolos com furos.

1. Estrutura: alvenaria de tijolos alvenaria de pedra misto outro
2. Alicerce: arenito ferruginizado alvenaria misto outro: não visível
3. Argamassas: assentamento preparação de base preenchimento
 embasamento alicerce rejunte revestimento
4. Tipo de ligante: à base de cal hidráulico

Estado de Conservação - Danos Identificados

Sistema construtivo	Argamassas
<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades	<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades
<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverulência
<input checked="" type="checkbox"/> Destacamento de revestimento	<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento
<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento	<input type="checkbox"/> Umidade
<input checked="" type="checkbox"/> Lacuna	<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica
<input type="checkbox"/> Ação antrópica: <i>queima de velas</i>	<input type="checkbox"/> Eflorescência salina
<input type="checkbox"/> danos estruturais: Recalque () rachaduras (x) fissuras (x)	<input checked="" type="checkbox"/> lixiviação do ligante
	<input type="checkbox"/> ação antrópica



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Estado de Conservação Geral

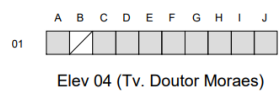
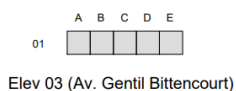
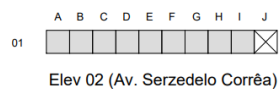
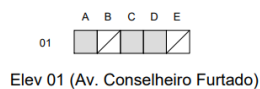
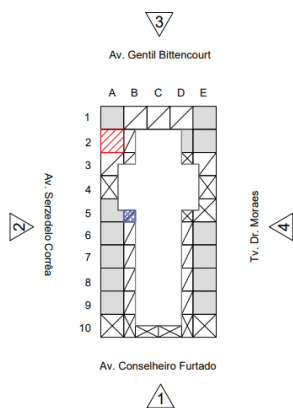
Bom
Até 4 tipos de danos

Regular
5 a 7 tipos de danos

Ruim
8 a 10 tipos de danos

Muito ruim
Mais de 10 tipos de danos

Seleção e Coleta de Amostras

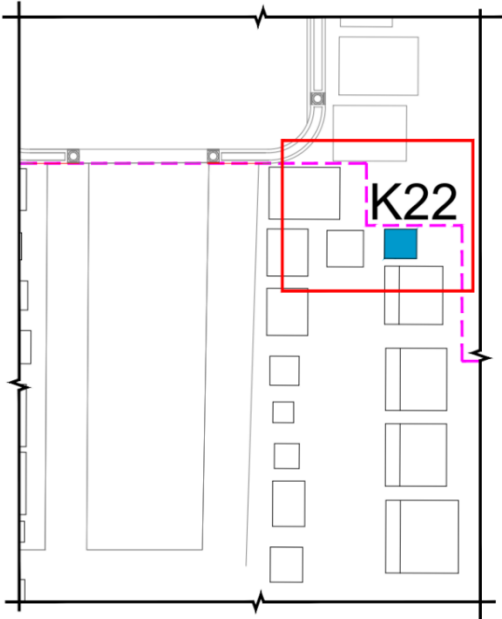


- PH - Plano Horizontal
- Azulejo assentado
- ⊠ Azulejo ausente
- ⊞ Azulejo parcialmente destacado

- ▨ F39AAP1-A — Amostra de argamassa de assentamento PH - A2
- ▩ F39-AA1 — Amostra de argamassa de assentamento PH - B5
- ▧ F39-AA2 — Amostra de argamassa de assentamento retirada de azulejo destacado (local não identificado).



**FICHA DE DOCUMENTAÇÃO DAS ARGAMASSAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS DA ARQUITETURA MORTUÁRIA DO CEMITÉRIO DA SOLEDADE**

Sepultura K22	
Localização	Descrição
	<p>Tipologia: túmulo em alvenaria de tijolos revestido por azulejos brancos, com gradil.</p> <p>Dimensões: 1.51x1.51x1.00m.</p> <p>Azulejos: brancos e lisos, provavelmente importados da Europa (Portugal) - Séc. XIX.</p>

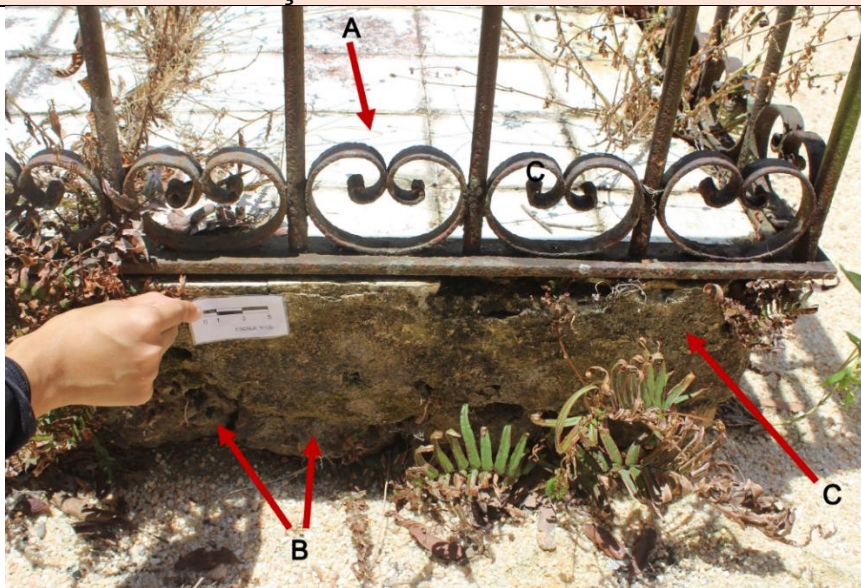
Registros fotográfico

Vista frontal (2023)





Descrição do sistema construtivo



Legenda: A-azulejo; B-alicerce (arenito feruginizado); C-embasamento argamassado.

1. Estrutura: alvenaria de tijolos alvenaria de pedra misto outro
2. Alicerce: arenito ferruginizado alvenaria misto outro: não visível
3. Argamassas: assentamento preparação de base preenchimento
 embasamento alicerce rejunte revestimento
4. Tipo de ligante: à base de cal hidráulico

Nota: foram observadas duas camadas distintas de argamassa: 1) preparação de base; 2) argamassa de assentamento de azulejos, com coloração branca.

Estado de Conservação - Danos Identificados

Sistema construtivo	Argamassas
<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades	<input checked="" type="checkbox"/> Sujidades
<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverulência
<input checked="" type="checkbox"/> Destacamento de revestimento	<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento
<input checked="" type="checkbox"/> Perda de material ou elemento	<input type="checkbox"/> Umidade
<input checked="" type="checkbox"/> Lacuna	<input checked="" type="checkbox"/> Ação microbiológica
<input type="checkbox"/> Ação antrópica: <i>queima de velas</i>	<input type="checkbox"/> Eflorescência salina
<input type="checkbox"/> danos estruturais: Recalque () rachaduras () fissuras ()	<input checked="" type="checkbox"/> lixiviação do ligante
	<input type="checkbox"/> ação antrópica



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Estado de Conservação Geral

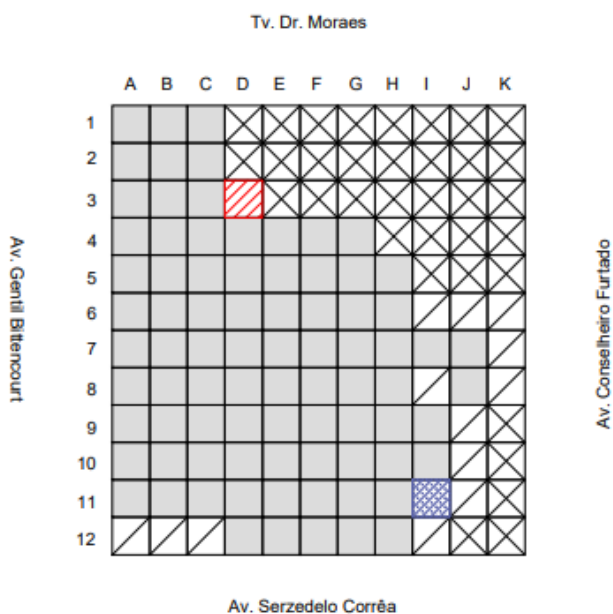
Bom
Até 4 tipos de danos

Regular
5 a 7 tipos de danos

Ruim
8 a 10 tipos de danos

Muito ruim
Mais de 10 tipos de danos

Seleção e Coleta de Amostras



— PH 01 - Plano Horizontal

□ Azulejo assentado

⊠ Azulejo ausente

⊞ Azulejo parcialmente destacado

▤ K22AAP1-A — Amostra de argamassa de assentamento PH - D3

▥ K22AAP1-P — Amostra de argamassa de preparação de base PH - D3

▧ K22-AAP2 — Amostra de argamassa de assentamento e preparação de base PH - I11

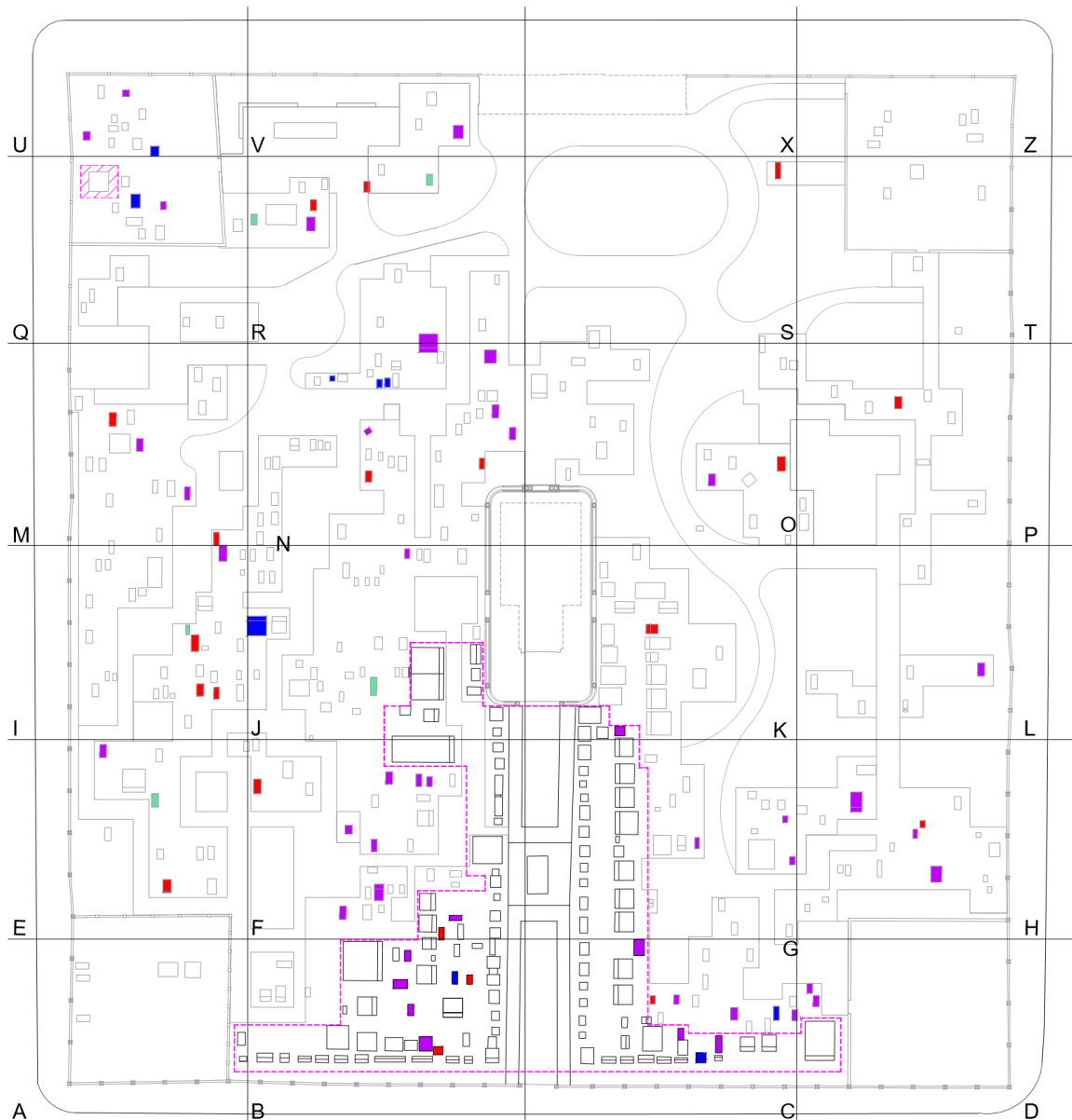
▨ K22-AAP3 — Amostra de argamassa de assentamento e preparação de base retirada de azulejo destacado (local não identificado).

APÊNDICE II – MAPEAMENTO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS
AZULEJADOS



HISTÓRIA E TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS NA AZULEJARIA HISTÓRICA DO CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE (BELÉM-PA)

MAPA 01: LEVANTAMENTO DAS SEPULTURAS AZULEJADAS NO CEMITÉRIO DA SOLEDADE



PLANTA GERAL - PARQUE CEMITÉRIO SOLEDADE

Legenda

- | | |
|-----------------------|---|
| AZULEJO DECORADO | AZULEJO INEXISTENTE/POSSIVELMENTE PROVENIENTE DE OUTRO TÚMULO |
| AZULEJO BRANCO E LISO | AZULEJO COLORIDO LISO/TEXTURADO (EXTEMPORÂNEO) |
| ÁREA PRIORITÁRIA | |

Levantamento realizado em 2022/2023

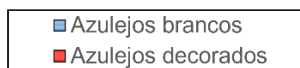
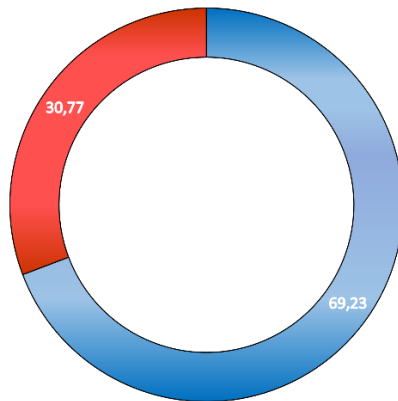
Página:1/6



HISTÓRIA E TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS NA AZULEJARIA HISTÓRICA DO CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE (BELÉM-PA)

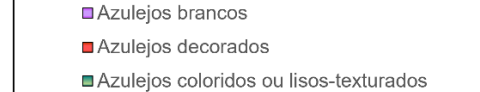
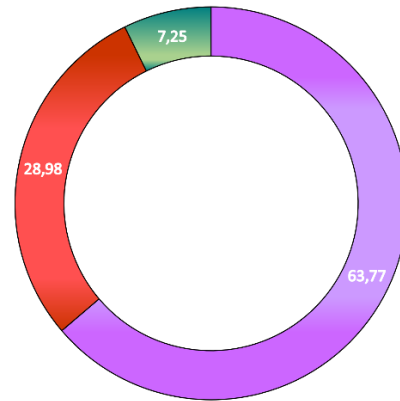
COMPARATIVO ENTRE OS MAPEAMENTOS REALIZADOS EM 2015 E 2022/2023

Sepulturas azulejadas



Mendes (2015)

Sepulturas azulejadas



Autora (2022/2023)

O levantamento realizado no presente estudo foi desenvolvido nos anos 2022/2023 e contabilizou o total de 69 sepulturas revestidas por azulejos no antigo Cemitério Nossa Senhora da Soledade, conforme o ilustrado no segundo gráfico acima.

Desse total foi identificado que: a) 44 sepulturas apresentavam azulejos brancos/lisos; b) 20 sepulturas eram revestidas por azulejos decorados; c) 5 sepulturas por azulejos coloridos lisos e/ou texturados. Além disso, 9 sepulturas mapeadas no levantamento de Mendes (2015) já não apresentavam mais azulejos assentados aos substratos, por isso foram classificadas como *azulejos inexistentes*. No entanto, em alguns desses mesmos casos foram encontrados fragmento(s) de azulejos completamente destacados (soltos) inferindo-se que provavelmente eram remanescentes de outras sepulturas ou se tratavam de objetos de promessas/oferecidas.

Tudo isso pode indicar as transformações significativas sofridas pelo acervo azulejado do Soledade num período de 8 anos (2015 a 2023), visto que houve uma baixa de



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

sepulturas azulejadas, provavelmente em função de estágios avançados de deterioração.

Nesse sentido, algumas sepulturas indicadas no mapa de Mendes (2015) encontravam-se em estágio tão avançado de arruinamento que não foi possível identificar resquícios dos azulejos.

É válido ressaltar que o presente levantamento foi realizado durante a primeira etapa do projeto de reforma/restauro dos bens da arquitetura mortuária do Soledade, antes de haver a reinauguração como Parque Soledade.

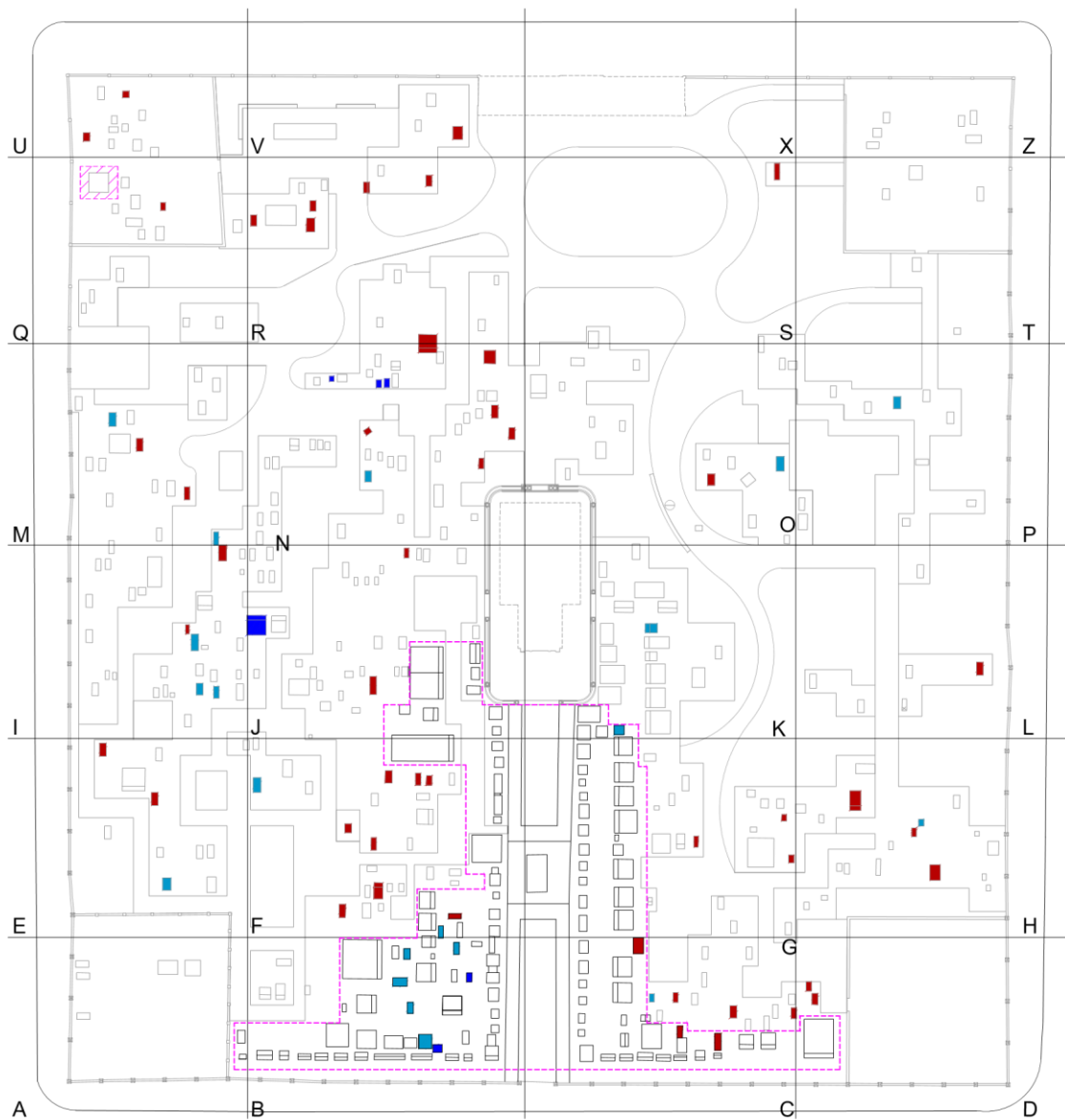
Contudo, foi observado que houve um aumento no quantitativo total das sepulturas azulejadas do cemitério em comparação ao levantamento realizado em 2015: de 65 sepulturas azulejadas (2015) para 69 sepulturas azulejadas (2022/2023). Esse aumento pode ser possivelmente explicado por meio das seguintes hipóteses: 1) as sepulturas azulejadas não foram catalogadas no primeiro levantamento (2015); 2) os azulejos foram assentados recentemente, ou seja, nos últimos 8 anos.

De qualquer maneira, as transformações ocorridas podem ajudar a compreender o processo de apropriação do cemitério em relação aos diversos atores sociais que o frequentam, assim como outras informações que dizem respeito ao objeto de pesquisa deste trabalho: as argamassas.



HISTÓRIA E TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS NA AZULEJARIA HISTÓRICA DO CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE (BELÉM-PA)

MAPA 02: LEVANTAMENTO DAS ARGAMASSAS APLICADAS ÀS SEPULTURAS AZULEJADAS DO PARQUE CEMITÉRIO SOLEDADE



PLANTA GERAL - PARQUE CEMITÉRIO SOLEDADE

Legenda

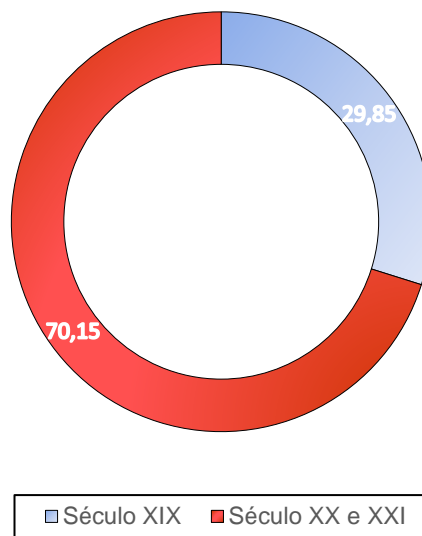
- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| ARGAMASSA HISTÓRICA (SÉC. XX E XIX) | ARGAMASSA INSUFICIENTE PARA ANÁLISE |
| ARGAMASSA HISTÓRICA (SÉC. XIX) | |



HISTÓRIA E TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS NA AZULEJARIA HISTÓRICA DO CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA SOLEDADE (BELÉM-PA)

LEVANTAMENTO DAS ARGAMASSAS APLICADAS ÀS SEPULTURAS AZULEJADAS DO PARQUE CEMITÉRIO SOLEDADE

Tipos de argamassas aplicadas



Este mapeamento ocorreu por meio de análise macroscópica das sepulturas azulejadas, visto que seria inviável coletar e analisar de forma mais aprofundada amostras de argamassas de todo o acervo azulejado do cemitério (cerca de 67 sepulturas). Além disso, nem sempre foi possível analisar detalhadamente, mesmo que a olho nu ou por ferramentas de fotografia, as argamassas de assentamento e preparação de base de determinados túmulos, pois essas não se encontravam parcialmente ou completamente expostas.

Dessa maneira, buscou-se analisar os azulejos assentados que estavam destacados, visto que esses poderiam ser fontes preciosas de informações sobre o sistema. Assim, características pictóricas e do tardo, dimensões e os rejuntas dos azulejos foram essenciais para inferir a respeito das argamassas, além da análise de cor, tex-



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO PATRIMÔNIO CULTURAL

tura, quantidade de poros, etc. de argamassas cujos azulejos estavam destacados. Considerando o tempo de existência do cemitério as argamassas de assentamento/pre-paração de base foram divididas em: argamassas históricas do século XIX e argamassas históricas dos séculos XX e XXI. Sendo que as características de ambos os tipos foram essenciais para a classificação e processo de mapeamento, pois foi possível notar que, de maneira geral, que o tipo de argamassa de assentamento está relacionado diretamente com o tipo de azulejo assentado de acordo com o mapeamento de sepulturas azulejadas (2022/2023). Resumidamente, os azulejos do tipo branco e liso, e colorido liso/texturado, em sua maioria são de fabricação do século XX, o que explicaria seu assentamento durante o mesmo século, e conseqüentemente argamassas desse mesmo período. Já a maioria dos decorados são de fabricação do século XIX.