



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**TESE DE DOUTORADO Nº 145**

**ARGAMASSAS HISTÓRICAS DE BELÉM DO PARÁ**

**Tese apresentada por:**

**ALEXANDRE MÁXIMO SILVA LOUREIRO**

**Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica (UFPA)**

**Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria do Rosário da Silva Veiga (LNEC)**

---

**BELÉM - PARÁ**

**2019**

**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)**

---

L892a Loureiro, Alexandre Máximo Silva  
Argamassas históricas de Belém do Pará / Alexandre Máximo Silva  
Loureiro. — 2019.  
xiii, 117 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica Coorientação: Prof.<sup>a</sup> Dra.  
Maria do Rosário da Silva Veiga Tese (Doutorado) - Programa de Pós-  
Graduação em Geologia e  
Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém,  
2019.

1. Argamassas Históricas. 2. Argamassas de Restauros. 3. Argamassas  
de Cal-metacaulim. 4. Avaliação de Compatibilidade. 5. Composição  
Mineralógica. I. Título.

CDD 551.9

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

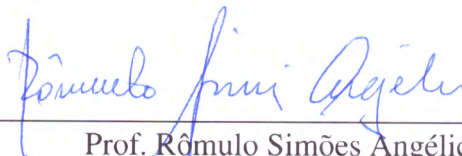
## **ARGAMASSAS HISTÓRICAS DE BELÉM DO PARÁ**

**TESE APRESENTADA POR:**  
**ALEXANDRE MÁXIMO SILVA LOUREIRO**

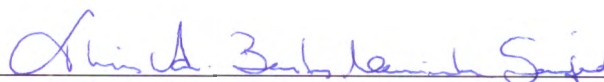
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de  
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA, Linha de Pesquisa MINERALOGIA E  
GEOQUÍMICA**

**Data de Aprovação: 16 /09 /2019**

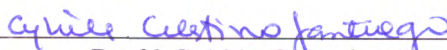
**Banca Examinadora:**



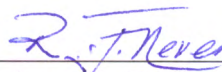
Prof. Rômulo Simões Angélica  
Orientador – UFPA



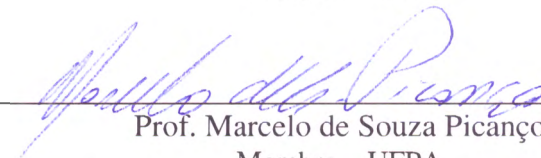
Prof.ª Thais Alessandra Bastos Caminha Sanjad  
Membro – UFPA



Prof.ª Cybèle Celestino Santiago  
Membro – UFPA



Prof. Roberto de Freitas Neves  
Membro – UFPA



Prof. Marcelo de Souza Picanço  
Membro – UFPA

Aos meus pais, Leila e Antônio.  
À minha noiva, Amanda Pinto.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda força dada para enfrentar todos os desafios que surgiram durante essa empreitada. Por sempre me manter firme no meu objetivo e por tornar possível este momento.

Aos meus pais, Leila e Antônio, pela confiança em minhas decisões e pelo apoio de todas as formas possíveis. Pela compreensão em momentos de ausência e por me amarem incondicionalmente. Enfim, por serem os melhores!

À minha noiva, Amanda Pinto, por ser um exemplo de pesquisadora, na qual me inspiro para ser um melhor profissional. Por sempre estar ao meu lado, na vida acadêmica e pessoal. Por me tornar uma pessoa melhor todos os dias.

Aos meus irmãos, Adriana e Márcio, por todo carinho e ajuda ao longo de minha vida. A vocês sou muito grato.

Ao meu orientador Rômulo Angélica, pelos conhecimentos fornecidos, pelos conselhos, pelas correções, pelo carinho, pela amizade e por ser o professor que quero ser um dia. Por me fazer criar gosto pela DRX e por me explicar coisas tão complexas de formas tão simples. Muito obrigado!

À minha coorientadora Rosário Veiga, por me acolher no LNEC e me ensinar pacientemente como interpretar os resultados físicos e mecânicos. Por sempre me receber de bom humor e tornar nossas conversas leves e fluidas. Por ter feito a diferença em minha vida profissional.

À professora Simone Paz, por sempre dar direcionamento em momentos difíceis e me ajudar a seguir. Por todos os ensinamentos sobre técnicas analíticas, quantificação e planejamento fatorial. Por ajudar a tornar minha escrita mais leve. Por toda amizade e carinho.

À professora Thais Sanjad, por toda amizade, cumplicidade e carinho. Por ser a pessoa que me direcionou à tecnologia do restauro e que sempre incentivou a minha entrada no doutorado. Por acreditar no meu trabalho e sempre me manter junto ao LACORE. Obrigado por tudo!

À professora Roseane Norat, por toda amizade e parceria. Por sempre me levar para os levantamentos aventureiros nas fortalezas históricas. Por sempre me ajudar e aconselhar nos momentos difíceis. Por todas as conversas proveitosas e divertidas. Por todos os conselhos profissionais.

Aos meus professores do PPGG/UFGA, em especial ao professor Marcondes, pelos ensinamentos e pela amizade. Por sempre me instigar a querer saber mais e por mostrar para os seus alunos, mesmo aos “não geólogos”, que é possível adentrar no mundo das geociências.

Aos laboratórios que deram suporte à todas as análises laboratoriais: Laboratório de Caracterização Mineral (LCM), Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação (LACORE), Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV), Laboratório de Sedimentologia (LABSED), Laboratório de Petrografia (LAPET), Laboratório de Engenharia Civil (LEC) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Aos meus amigos do LCM, por todo suporte, apoio, vivência e experiências trocadas. Por todo carinho e esforço em ajudar nos momentos difíceis e fazer a pesquisa caminhar tranquilamente. Em especial aos amigos Aldemir Sotero, Alan Albuquerque, Bruna Sena, Manoela Cavalcante, Bruna Gomes, Andréia Oliveira, Rebeca Castanho, Caio Melo e Daniel Oliveira,

Às minhas amigas do LACORE, por todo o apoio dado e por sempre ajudarem no que foi preciso: Amanda Pinto, Rose Norat, Thais Sanjad, Mayra Martins, Pâmela Bahia, Stephanie Mendes, Carol Gester e Lorena Porto. Em especial à Flávia Palácios, por sempre compartilhar experiências vividas durante seu percurso no doutorado e por compartilhar conteúdos que foram fundamentais nesta caminhada.

Às minhas amigas do LNEC, Anabela Manteigas e Dora Santos, as quais foram fundamentais durante minha estadia em Lisboa, por todo apoio profissional e pessoal. Pelo apoio dado durante as análises laboratoriais físicas e mecânicas. Por serem verdadeiras amigas.

À Silvana Monteiro, pela amizade e pelo carinho. Por sempre incentivar a caminhada acadêmica. Por dar todo o suporte necessário durante minha estadia em Lisboa.

À coordenação do PPGG/UFPA, por todo suporte dado durante o desenvolvimento da pesquisa. Em especial à Cleida, por toda amizade e por sempre tentar ajudar a manter os prazos sob controle.

Aos meus colegas da FACI, por me ajudaram a conseguir conciliar a vida de professor iniciante e doutorando em final de tese. Em especial à Anna Cristina, Simone Lima, Alexandre Lima e José Raiol.

Aos órgãos de patrimônio IPHAN, DPHAC e FUMBEL, por autorizarem as coletas de amostras e dar suporte durante a coleta do material. Em especial à Thais Toscano, Mariana Sampaio e Renata Maués, pela imensa vontade de ajudar.

À bolsa de doutorado fornecida pelo CNPq e CAPES. Sem este apoio financeiro não seria possível desenvolver esta tese de doutorado.

No geral, muito obrigado a todos, vocês foram muito importantes nessa caminhada.

*“Conservar a memória da produção arquitetônica humana torna-se, por sua vez uma atividade mais empenhativa do ponto de vista científico, porque estamos lidando com exemplares insubstituíveis, irreparáveis, sobre os quais os erros conceituais ou técnicos não nos deixam margem para desculpas.”*

Mário Mendonça de Oliveira

## RESUMO

A cidade de Belém, ao norte do Brasil, conhecida como a metrópole da Amazônia, nasceu às margens da baía d Guajará em 12 de janeiro de 1616, com a denominação de Nossa Senhora de Belém do Grão-Pará, capital da província do Grão-Pará, hoje estado brasileiro do Pará. Hoje, Belém ainda estampa em seus edifícios dos períodos colonial e imperial, revestimentos em argamassa de cal que protegem as estruturas seculares e mantém vivo o testemunho de como este material era produzido no passado, início de sua história. Ao longo dos anos, inúmeras patologias podem atingir estas argamassas, o que prejudica tanto a sua estética quanto a sua funcionalidade. Tais patologias estão relacionadas a: umidade, eflorescência salina, colonização biológica e/ou ações antrópicas. Uma vez deterioradas, as argamassas necessitam de manutenção, consolidação ou substituição, procedimentos de difícil execução que podem levar à utilização de materiais inadequados. Por isso, é fundamental que sejam adotadas estratégias adequadas de coleta e caracterização do material antigo, visto que em estudos voltados para a ciência do restauro é necessário que a concepção da intervenção seja por meio da reconstituição dos materiais originais. Assim, o objetivo principal da tese consiste na determinação das principais características e propriedades das argamassas históricas de Belém do Pará dos séculos XVIII e XIX, bem como propor argamassas de restauro compatíveis com o material histórico, empregando resíduos da indústria do caulim para cobertura de papel. Para isto, a tese foi estruturada em três artigos independentes e de temáticas complementares, que abordam o caso das argamassas históricas de Belém do Pará, desde a sua caracterização até a proposta de argamassas de restauro: 1) Investigação de argamassa histórica de Belém do Pará, Norte do Brasil; 2) Como estimar a relação ligante:agregado das argamassas históricas à base da cal aérea para restauração?; e 3) O uso de resíduo industrial da região amazônica em argamassas de restauro de cal-metacaulim: avaliação de compatibilidade. Assim, foram determinadas as características físicas, químicas e mineralógicas, bem como as propriedades físicas e mecânicas do material histórico e do material de restauro. Os resultados possibilitaram a caracterização das argamassas históricas de Belém do Pará apontando seus principais componentes, suas funções e possíveis fontes de matéria-prima, além de indicar o uso de técnicas analíticas adequadas à quantificação da relação ligante:agregado, as quais obtiveram boa acurácia e precisão em seus resultados. Ainda, os resultados mostram uma vasta gama de características e propriedades obtidas por meio das argamassas de restauro, que podem servir como parâmetro de comparação com outros estudos ou mesmo para aplicações práticas em alvenarias históricas. Ao final foi possível identificar as argamassas de restauro mais compatíveis com as argamassas históricas



de Belém do Pará, Norte do Brasil.

Palavras-chave: Argamassa Histórica. Argamassa de Restauro. Composição Mineralógica. Composição Química. Propriedades Físicas e Mecânicas. Argamassa Brasileira. Argamassa de Cal-metacaulim. Método de Rietveld. Resíduo Industrial. Avaliação de Compatibilidade.

## ABSTRACT

The city of Belém, northern Brazil, known as the metropolis of the Amazon, was established on the banks of the Guajará Bay on January 12, 1616, with the denomination of Nossa Senhora de Belém do Grão-Pará, capital of the Grão-Pará province, now the state of Pará. Currently, Belém still has layers of lime mortar on its colonial and imperial buildings, which protect the secular structures and provide evidence of how this material was produced early in its history. Over the years, the deteriorating aspects identified in lime mortars, which damage both aesthetics and functionality, are related to the humidity, saline efflorescence, biological colonization, and/or anthropic actions. Once deteriorated, mortars require maintenance, consolidation, or replacement, which are difficult procedures that can lead to the use of inappropriate materials. Therefore, a good collect and characterization strategies of the original material is necessary for the restoration of historical monuments, because in studies focused on restoration science, the intervention strategy needs to include the use of building materials compatible with the original materials. Thus, the main objective of this doctoral thesis is to determine the characteristics and properties of historical mortars in Belém do Pará from the 18th and 19th centuries, as well as to propose a restoration mortars compatible with the historic mortars, which using industrial waste from Amazon Region. Therefore, this thesis was structured in three independent and complementary thematic articles, which addresses the topic of the historical mortars of Belém do Pará, since their characterization until the proposal of restoration mortars: 1) Investigation of the historical mortar of Belém do Pará, Northern Brazil; 2) How to estimate the binder:aggregate ratio from aerial lime-based historical mortars for restoration? and; 3) The use of industrial waste of the Amazon region in lime-metakaolin restoration mortars: compatibility assessment. Thus, the physical, chemical and mineralogical characteristics were determined, as well as the physical and mechanical properties of the historical material and the restoration material. The results of the historical mortars characterization pointing their main components, their functions and raw materials, besides indicating the analytical techniques used for binder: aggregate ratio quantification, which obtained good accuracy and reliability in your results. Moreover, the results show a wide range of characteristics and properties obtained through restoration mortars, which can serve as a benchmark for other studies or even for practical applications in historic masonry. Therefore, it was possible to identify the restoration mortars most compatible with the historical mortars of Belém do Pará, Northern Brazil.

Keywords: Historical Mortar. Restoration Mortar. Mineralogical composition. Chemical composition. Physical and Mechanical Properties. Brazilian mortar. Lime metakaolin mortar. Rietveld Method. Industrial waste. Compatibility Assessment.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

## PARECER

### Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de ALEXANDRE MÁXIMO SILVA LOUREIRO

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **ALEXANDRE MÁXIMO SILVA LOUREIRO** orientando do Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica (UFPA), composta pelos professores doutores Thais Alessandra B. C. Sanjad (UFPA), Cybèle Celestino Santiago (UFBA), Marcelo de Souza Picanço (UFPA), e Roberto de Freitas Neves (UFPA), após apresentação da sua tese intitulada “**ARGAMASSAS HISTÓRICAS DE BELÉM DO PARÁ**”, emite o seguinte parecer:

O candidato realizou sua apresentação de forma clara, bem organizada e com segurança no tempo estipulado. Durante a arguição, demonstrou domínio da temática abordada e respondeu às perguntas formuladas pela banca. O trabalho escrito foi apresentado na forma de três artigos, sendo um já aceito para publicação em periódico de impacto internacional. Os artigos correspondem a importantes contribuições do conhecimento da geologia e geoquímica para a ciência da conservação e do restauro, pel(o)a: possibilidade de identificar a relação ligante:agregado das argamassas antigas com quantidade mínima de amostra; entendimento sobre a relação da presença de areia com o processo de carbonatação da cal; caracterização do tempo das reações da argamassa de restauro e; possibilidade de avaliar o comportamento da argamassa de restauro antes da sua aplicação por meio das análises laboratoriais.

Finalmente, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado.

Belém, 16 de setembro de 2019.

Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica (Orientador – UFPA)

Prof.ª Dr.ª Thais Alessandra B. C. Sanjad (UFPA)

Prof.ª Dr.ª Cybèle Celestino Santiago (UFBA)

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço (UFPA)

Prof. Dr. Roberto de Freitas Neves (UFPA)