



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

TESE DE DOUTORADO Nº 123

**MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO
EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA**

Tese apresentada por:

ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT

Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA)

BELÉM

2017

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Norat, Roseane da Conceição Costa, 1969 -

Materiais construtivos e sua biodeterioração em fortificações da
Amazônia / Roseane da Conceição Costa Norat. – 2017.

xix, 219 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Marcondes Lima da Costa

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de
Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica,
Belém, 2017.

1. Rochas - Amazônia. 2. Tijolos. 3. Biodegradação. 4. Argamassa. 5.
Fortificações - Amazônia I. Título.

CDD 22. ed. 549.114509811



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

MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO
EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA

TESE APRESENTADA POR:

ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA

Data de Aprovação: 29/03/2017

Banca Examinadora:

Prof. Marcondes Lima da Costa – Orientador
Doutor em Geologia e Geoquímica – PPGG/UFPA

Prof. Rômulo Simões Angélica - Membro
Doutor em Geologia e Geoquímica – PPGG/UFPA

Prof. Mário Mendonça de Oliveira - Membro
Doutor em Arquitetura – UFPA

Profa. Thais Alessandra Bastos Caminha Sanjad - Membro
Doutora em Geologia e Geoquímica – PPGAU/UFPA

Prof. Pedro Luiz Braga Lisboa – Membro
Doutor em Ciências Biológicas – MPEG

*Aos que dão sentido à minha existência,
Leonardo e Igor.*

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram nesta caminhada e em especial, algumas pessoas e grupos que preciso nomear pelo apoio direto à pesquisa.

Aos meus pais, Hilson e Raimunda, base de minha formação, referência maior, meu porto seguro. Ao meu esposo Heitor e filhos Leonardo e Igor agradeço todo apoio e por suportarem minhas ausências, seja em viagens ou mesmo em casa, nas intermináveis horas de leituras, pesquisas, desenhos e textos em frente ao computador. Sem vocês, nada seria possível, nem teria sentido. Amor incondicional. Aos meus irmãos Solange, Edilson, Rosange, Joana, Hillson, Ednilson, Eliane, Ailson, Gilson, Liliane e Cyane, extensivo aos meus demais familiares. Vocês são minha maior alegria e incentivo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPQ, PETROBRAS, Secretaria de Políticas para as Mulheres e Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, pelo apoio financeiro à pesquisa “Mineralogia Aplicada ao Estudo de Materiais e sua Conservação na Engenharia Militar da Amazônia” e aos bolsistas Alex Oliveira, Aline Guará, Larissa Costa e em especial Jamyle Trindade, bolsista de Geologia e demais professores e colaboradores. Sou grata pelo empenho e resultados que alcançamos.

À Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/FAU, ao Instituto de Tecnologia/ITEC e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica/PPGG da Universidade Federal do Pará, por todo o apoio institucional que tive para me dedicar e desenvolver esta pesquisa.

Devo agradecer ainda às demais instituições e laboratórios que apoiaram esse processo, porém permito-me nomear algumas pessoas individualmente, pois não há instituições e nem coletivo se não houver quem os faça acontecer.

Aos Laboratórios de Laminação, Sedimentologia, Hidroquímica, LCM, LAPETRO, LABMEV e LAMIGA do PPGG/IG, agradeço toda disponibilidade de Everaldo, Joelma, Leandro, Kely, Bruna, Andréia, Leila Hanna, Ana Paula e Vivian e aos professores Rômulo Simões Angélica, Simone da Paz, Paulo Gorayeb, Cláudio Lamarão e em particular à Gisele Marques, os quais não mediram esforços em me ajudar. À secretaria do PPGG, Alana, Joanicy e em especial à amiga Cleida Freitas, no apoio direto aos discentes.

Aos Laboratórios de Micologia e Botânica do ICB/UFPA, em especial aos professores Rosildo Paiva, Solange Costa e aos colaboradores Paulo Souza, Aline Ferreira e Lângela Carmo, sem os quais não teria como avançar nos estudos sobre os materiais biológicos, extensivo à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMPRAPA (Amazônia Oriental).

Ao Laboratório de Resistência dos Materiais do Instituto Federal do Pará/IFPA, em especial ao Prof. Laercio Gomes que me possibilitou os ensaios de resistência por intermédio do Prof. Oscar Fernandez. Ao Instituto Evandro Chagas, em particular aos pesquisadores Kelsen Faial e minha amiga Monia Silva, pelas análises químicas realizadas no Laboratório de Toxicologia, Seção de Meio Ambiente/SAMAM/IEC. Ao Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural da Amazônia/UFRA, ao Prof. Antonio Fernandes e em especial ao pesquisador Mauricio Lima, incansável em me auxiliar nas análises de argamassa e interpretação dos solos.

Ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional/IPHAN no Pará, Amapá e Rondônia, Gerência da Fortaleza de São José de Macapá/GFSM, Secretaria de Estado de Cultura do Pará e do Amapá, Fundação Cultural do Município de Belém/FUMBEL, Sistema Integrado de Museus e Museu do Forte, pelas autorizações à pesquisa, em particular Maria Dorotéia Lima, Djalma Guimarães, Giovani Barcelos, Thais Toscano, Jorge Pina, Mariana Sampaio e Samuel Sostenes.

Ao Exército Brasileiro – 17ª Brigada de Infantaria de Selva e 1º Pelotão Especial de Fronteira, Ten. Cel. Alberto Ramos e Cap. Alan Menezes dos Reis. Ao Sr. Elvis, morador da vila do RFPB por sua generosidade e conhecimento compartilhado. Ao Arquivo Histórico do Exército/AHEX, Diretoria do Patrimônio Histórico e Cultural do Exército/DPHECEX, Cap. Edgley Pereira de Paula.

Ao Museu de Arqueologia e Etnologia do Amapá, em especial ao seu Diretor e amigo Adervan Dias Lacerda, incansável em apoiar essa pesquisa e nos dar suporte em todas as viagens ao Amapá e ao Ernandez Melo pelas imagens da Ilha de Santana. Agradeço ainda aos amigos dessa cidade que me acolheu e que sinto também como minha: Augusta, Ana Célia, Rose, Hermano, João Milhomen e Nazaré Freitas (in memorian). À gentil acolhida de Patrícia, Orazio e Bárbara em Macapá.

Ao Comitê Internacional de Fortificações e Patrimônio Militar/IcoFort, o qual integro, agradeço em especial ao colega José Cláudio dos Santos e ao meu Mestre querido, inspiração de longa data na arquitetura, na preservação do patrimônio cultural brasileiro e no amor pelas fortificações, Prof. Mário Mendonça de Oliveira. Aos amigos Jussara e Jorge Derenji, por sempre inspirarem o gosto pela história da arquitetura em nosso país, em particular na Amazônia. Devo a Jorge Derenji as primeiras imagens que vi da Praça de Macapá e do Guaporé em aula na FAU. Nunca esqueci.

Aos amigos de longa data, que sempre me apoiam em cada passo: Francinete, Denise, Evany, Nazaré, Davina, Lélia, Flávio, Márcia, Beth e Nádia. Sei o quanto estão torcendo por mim.

Aos amigos do LACORE, que integro com muito orgulho, vocês todos fazem parte de cada conquista. Aos colegas que me ajudaram nos trabalhos de campo Thais Sanjad, Flávia Palácios, Alexandre Loureiro, Juliana Moreira, com quem dividi horas no calor do sol e outras tantas sorindo, sem vocês esses cadastros não sairiam das boas intenções. Também agradeço à colaboração de Pietra Barreto e Cristina Coelho. Ao amigo Alessandro Sabá pelas coletas de campo, Alexandre e Igor pelo apoio nos ensaios de argamassa e cerâmicos. À Joana, Flávia e Giovani Zoli pelo apoio e revisão das traduções. À Lea Fernandes pela revisão do texto.

Aos amigos do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada/GMGA, Alessandro, Socorro, Patrícia, Darilena, Igor, Flávia, Glayce, Pablo, Daiveson, Leonardo, Laís, Priscila, Heliana, Clóvis, Aline, Fernanda, Alan, Davis, Christiene e Prof^a Rosemary obrigada por tudo que vocês representam nessa caminhada, pelo auxílio aos ensaios, dúvidas compartilhadas, pelas horas de tensão mas também de descontração, pois formamos uma grande família.

Aos professores que integram a Banca Examinadora pela atenção e disponibilidade de seu tempo para colaborar conosco e dividir seus conhecimentos e expertise na leitura e contribuições a este trabalho.

À minha amiga Thais Sanjad, responsável por me incentivar a seguir para as Geociências, por acreditar que eu poderia, ainda que eu mesma não acreditasse seguir nesse caminho, e por não desistir de me convencer. Devo a ela o tema de estudar as fortificações da Amazônia, talvez o único assunto que poderia me fazer mudar de ideia. Amiga, deu certo. Muito obrigada.

Deixei para o final, não por ordem de prioridade, mas por zelo porque sei que o final na verdade é sempre a possibilidade de continuar adiante. Quero assim e mui respeitosamente, agradecer ao meu orientador, Prof. Marcondes Lima da Costa, que chamo de Mestre, sem o qual esse trabalho não poderia ter se materializado, por acreditar nesta pesquisa e por me levar a conhecer e olhar o mundo de outro jeito. Não poderia ter outra pessoa a me guiar nessa caminhada, que pretendo continuar seguindo. Em sua companhia.

Obrigada a todos.

“Ainda a propósito da fortificação, não se deverá definir de antemão em que material será construída ou aperfeiçoada, porque não podemos dispor dos recursos que desejamos. Mas onde houver cantaria, alvenaria, pedra miúda, tijolo cozido ou cru, será isso que se utilizará. Pois assim como na Babilônia dispunham em abundância de betume líquido e fizeram uma muralha de tijolo cozido, usando esse betume em vez de cal e areia, assim também todas as regiões ou as características dos lugares poderão dispor de outros recursos semelhantes, de modo que, com estes aprestos, as muralhas se mantenham perfeitas e sem defeito para a eternidade”.
(Vitruvius, Livro I, Capítulo V).

RESUMO

As fortificações da Amazônia, reconhecidos como monumentos históricos do patrimônio cultural brasileiro, testemunham a consolidação dos limites territoriais do país. Esses monumentos foram severamente alterados diante das condições climáticas tropicais a que foram e estão expostos. Considerando tais estruturas, a presente pesquisa tem por objetivo reconhecer os materiais construtivos das fortificações portuguesas da Amazônia, observando possíveis procedências e sua susceptibilidade ao intemperismo tropical reinante, principalmente, o bioquímico. Para tanto, foram selecionados três monumentos representativos: a Fortaleza de São José de Macapá (Amapá) (FSJM), o Forte do Castelo do Santo Cristo do Presépio de Belém (Pará) (FCPB), o Real Forte Príncipe da Beira (RFPB) e, ainda, as ruínas da Fortaleza de N. Sra. da Conceição ou Bragança (FCB), em Costa Marques (Rondônia), sendo a primeira, o objeto principal de análise. Os métodos contemplaram pesquisa documental e bibliográfica sobre aspectos históricos e tipológicos das fortificações e sobre materiais e técnicas de caracterização; levantamento de campo com produção da cartografia arquitetônica da FSJM; levantamento fotográfico digital e de imagens termográficas por infravermelho (IRT), temperatura superficial das muralhas; coleta de microorganismos e vegetação na FSJM e no FCPB; coleta de materiais construtivos, análises laboratoriais, tratamento e interpretação dos dados obtidos. Os materiais estudados foram rochas, argamassas, tijoleiras e biológicos para os quais foram realizadas análises de acordo com as especificidades das amostras. Empregaram-se as técnicas de microscopia ótica, difratometria de raios-X (DRX) para a caracterização mineralógica; fluorescência de raios-X (FRX) portátil, espectrometria de absorção atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), espectrofotometria, microscopia eletrônica de varredura com sistema de energia dispersiva (MEV/EDS) para análises químicas diversas; além de granulometria a laser, ensaios de resistência à compressão, absorção em água, porosidade, densidade aparente em água e em mercúrio, bem como procedimentos específicos para a identificação de microorganismos e espécimes vegetais. Os resultados e discussões estão organizados em quatro artigos. O primeiro versa sobre a FSJM com a análise do sítio de implantação, caracterização das rochas e de possíveis fontes de matéria-prima e sua aplicação no monumento. As rochas empregadas foram os arenitos ferruginizados (FSS), crostas lateríticas ferro-aluminosas (FLC) e pedras de ferro (IST) predominantemente constituídas de goethita, hematita, quartzo e caulinita. Por suas características composicionais, texturais e físicas foi possível correlacionar seus usos e funções na fortificação, bem como sua procedência a partir do próprio sítio de implantação e do rio Pedreira e arredores. O segundo artigo trata da biodeterioração das

fortificações correlacionando-a à natureza mineralógica, química e nutrição potencial dos materiais construtivos. Os locais mais suscetíveis à biodeterioração associados aos aspectos arquitetônicos e insolação foram mapeados. O estudo micológico resultou no isolamento de 121 colônias de fungos, destacando-se os taxa *Penicilium*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Acremonium*. Da flora foram identificadas 37 espécies distribuídas em 23 famílias, os quais foram classificados de acordo com seu potencial de biodeterioração em alto, médio e baixo impacto e correlacionados aos locais e materiais por sua bioreceptividade. O terceiro artigo apresenta as tijoleiras cerâmicas da FSJM, FCPB, RFPB e FCB, classificadas como históricas (HCB) e de recomposição (RCB). Na FSJM, o uso de tijoleiras é mais abrangente tanto em aplicação quanto em quantidade. As tijoleiras, por sua constituição mineral a base de quartzo e hematita, certamente metacaulinita, contém, por vezes, mulita e muscovita, sugerindo o uso de matéria-prima próxima para o seu fabrico, reforçada pela documentação histórica e indícios no entorno da FSJM e RFPB. Foi possível identificar as características das diferentes tijoleiras e sua aplicação nas fortificações. O quarto artigo descreve o RFPB e as estruturas externas compostas pelo forno, paiol, labirinto e as ruínas da FCB, em correlação à geologia e materiais construtivos (rochas, tijoleiras, argamassas) a partir das observações mesoscópicas, associadas aos documentos históricos que demonstram a importância da preservação desse sítio histórico. Esta pesquisa em seu conjunto de abordagens demonstrou o uso e correlação funcional das rochas provenientes do contexto geológico amazônico na construção das fortificações da Amazônia, sendo os arenitos ferruginizados e crostas ferro-aluminosas as mais utilizadas, porém há contribuições externas especialmente de rochas procedentes possivelmente da Europa, em particular, no FCPB. Argamassas e tijoleiras cerâmicas são importantes materiais cuja produção contou com matéria-prima local. A logística de produção pôde ser observada com o auxílio da documentação histórica associada às análises físicas, químicas e mineralógicas. Dos aspectos de biodeterioração, as argamassas são o substrato mais favorável à nutrição vegetal, contudo, os materiais que apresentam superfícies rugosas, típicas de crostas lateríticas ou faces intemperizadas das tijoleiras também são bioreceptivos por sucessão. Aspectos de tipologia arquitetônica associadas à orientação solar e exposição à grande massa d'água fluvial e ventos, em especial, na FSJM e FCPB também tem papel importante na suscetibilidade à colonização biológica. O conjunto de informações desta pesquisa atendem aos objetivos de auxiliar a gestão, otimizar recursos na manutenção preventiva e subsidiar processos de restauração mais abrangentes desses monumentos.

PALAVRAS-CHAVE: 1. Rochas - Amazônia. 2. Tijolos. 3. Biodegradação. 4. Argamassa. 5. Fortificações - Amazônia.

ABSTRACT

The Amazon fortifications recognized as historical monuments of Brazilian cultural heritage testifies the territorial limits consolidation of country. These monuments were severely altered by tropical climatic conditions to which they were and are exposed. Considering these structures, this research aims to recognize the constructive materials of Portuguese fortifications of the Amazon, observing possible origins and their susceptibility to the prevailing tropical weathering, mainly the biochemical. For this purpose, three representative monuments were selected: the São José de Macapá Fortress (Amapá) (FSJM), the Fort of Castelo do Santo Cristo do Presépio of Belém (Pará) (FCPB) and the Real Fort Príncipe da Beira (RFPB) and was added the ruins of Fortress of N. Sra. da Conceição or Bragança (FCB) in Costa Marques (Rondônia), being the first, the main object of analysis. Methods included were documentary and bibliographical research on historical and typological fortifications aspects, materials and characterization techniques; field survey with production of FSJM architectural cartography; digital photographic and infrared thermal imaging (IRT), walls surface temperature; FSJM and FCPB micro-organisms and vegetation collection; collection of construction materials; laboratory analysis, data treatment and interpretation. The materials studied were rocks, mortars, bricks and biologicals for which anal were carried out according to the samples specificities. The techniques of optical microscopy, X-ray diffractometry (XRD) for mineralogical characterization were used; portable X-ray fluorescence (FRX), inductively coupled plasma spectrometer (ICP-OES), spectrophotometry, scanning electron microscopy with dispersive energy system (SEM/EDS) for chemical analyzes; in addition to laser granulometry, compressive resistance tests, water absorption, porosity, apparent density in water and mercury, as well as specific procedures for microorganisms and plant specimens identification. The results and discussions are organized into four papers. The first is about the FSJM with analysis of implantation site, rocks characterization and possible sources of raw material as well its application in the monument. Rocks used were ferruginized sandstones (FSS), ferroaluminous crusts (FLC) and iron stones (IST) predominantly composed of goethite, hematite, quartz and kaolinite. Due to their compositional, textural and physical characteristics, it was possible to correlate their uses and functions in the fortification, as well as their origins from implantation site and Pedreira river and its surroundings. The second article deals with the fortress biodeterioration correlating it to the mineralogical nature, chemical and potential nutrition of constructive materials. The sites most susceptible to biodeterioration associated with architectural aspects and insolation were mapped. The mycological study resulted in 121 fungal colonies isolation, especially the *Penicilium*,

Aspergillus, *Curvularia*, and *Acremonium* taxa. From the flora were identified 37 species distributed in 23 families, classified according to their biodeterioration potential in high, medium and low impact and correlated the sites and materials by their bioreceptivity. The third article presents FSJM, FCPB, RFPB and FCB bricks, classified as historical (HCB) and recomposition (RCB) ceramic bricks. In FSJM, the use of bricks is more comprehensive as in application and quantity. Bricks based on quartz and hematite, probably metacaulinite, sometimes contain mullite and muscovite, suggesting the use next to raw material for their manufacture, reinforced by the historical documentation and evidence surrounding the FSJM and RFPB. It was possible to identify different bricks characteristics and their application in fortifications. The fourth paper describes the RFPB and the external structures composed of the kiln, gunpowder barn, “Labyrinth” and the FCB ruins, in correlation to geology and constructive materials (rocks, bricks, mortars) from the mesoscopic observations, associated to the historical documents that demonstrate the conservation of this historic site. This research in its set of approaches demonstrated the use and functional correlation of rocks from the Amazonian geological context and the fortifications construction, being the ferruginized sandstones and lateritic crusts the most used, however there are external contributions especially of rocks possibly coming from Europe, in particular in the FCPB. Ceramic bricks and mortars are important materials whose production relied on local raw materials. Production logistics could be observed with the aid of historical documentation associated with physical, chemical and mineralogical analyses. About the biodeterioration aspects, the mortars are most favorable substrate to plants nutrition, however the materials that present rough surfaces, typical from lateritic crusts or bricks intemperate faces are also bioreceptives by succession. Architectural typology aspects associated to solar orientation and exposure to the great mass of river water and winds, especially in FSJM and FCPB, also play an important role in the susceptibility to biological colonization. The information set research meets the objectives assisting management, optimize resources in the preventive maintenance and subsidize more comprehensive restoration processes of the monuments.

KEYWORDS: 1. Rocks – Amazon. 2. Bricks. 3. Biodegradation. 4. Mortars. 5. Fortifications – Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Localização das principais fortificações estabelecidas na Amazônia, grande parte desaparecida. Em destaque, a Fortaleza de São José de Macapá (FSJM) no estado do Amapá, o Forte do Castelo do Santo Cristo do Presépio de Belém (FCPB) no estado do Pará e o Real Forte Príncipe da Beira (RFPB) no estado de Rondônia objetos da presente pesquisa (Elaboração da autora, 2016). 3
- Figura 2. Fortaleza de Nossa Senhora das Mercês da Barra de Belém, por volta de 1910 .c Acervo: Instituto Moreira Salles, Coleção Gilberto Ferrez. 13
- Figura 3. Fortaleza São José de Macapá. (A) Desenho de 1772, constitui o Documento n. 804 da Cartografia manuscrita do AHU. (B) Imagem de satélite, 2014. 23
- Figura 4. (a) Planta com elevação da nova Fortaleza São José de Macapá que mostra o estado da obra em 2 de setembro de 1766; (b, c) detalhe da estrutura em madeira projetada para a fundação do Baluarte de São José. 24
- Figura 5. Identificação dos elementos de proteção e edificações intra e extramuralhas que compõem o complexo fortificado da FSJM 26
- Figura 6. (a) Pormenor do mapa de Belém c. 1640, onde se observa o FC junto à praia (Marques, 2006). (b) Imagem de satélite do FCPB e seu entorno (2016). 28
- Figura 7. Planta do FCPB de 1696, com indicação de projeto de adequação do forte ao sistema construtivo militar de quatro baluartes. 29
- Figura 8. Prospecto da cidade de Belém, do Estado do Gram Para de 1756 desenhada do original pelo Capitão Engº Johan Andre Schwebel. Fonte: Biblioteca Nacional/RJ. 30
- Figura 9.- Detalhe dos fortes retratados no prospecto da cidade de Belém, do Estado do Gram Para de 1756 e a bandeira real sinalizando a Coroa Portuguesa, sendo à esquerda, o Baluarte de Nossa Senhora das Mercês ou Forte São Pedro Nolasco e à direita, o Forte do Castelo. 30
- Figura 10. Planta da Cidade do Pará de 1791 com a indicação dos três fortes principais na faixa continental. 31
- Figura 11. Detalhe do mapa das *defenças da Barra e Cidade do Gram-Pará* c. de 1724 com as primeiras edificações religiosas e militares, algumas remanescentes e outras desaparecidas e em destaque, o FCPB (Fortaleza). 32
- Figura 12. Planta do Forte, assinada pelo Engenheiro Carlos Varjão Rolim, de 1728. 33

Figura 13. Transformações do FCPB segundo relatório das pesquisas arqueológicas empreendidas por Marques (2006) (adaptada).....	35
Figura 14. O muro fronteiroço construído no século XIX do FCPB e demolido parcialmente em 2002, em imagem da tentativa de ascensão de balão denominado Santa Maria de Belém, realizada por Julio Cesar Ribeiro de Souza em 12 de julho de 1884.	36
Figura 15. (a) À esquerda, o pórtico e a estrutura remanescente do muro de aquartelamento (século XIX) e, em segundo plano, a entrada principal do FCPB; (b) À direita, belvedere e escada inserida em estrutura metálica que acessa o fosso seco.	37
Figura 16. (A) Planta do Forte do Príncipe da Beira (Ferreira, 2005). (B) Imagem de satélite, 2014 (http://www.google.com/earth/).....	38
Figura 17. Organograma dos materiais e métodos para caracterização física e mineralógica, química e biológica na pesquisa.....	40
Figura 18. (A) Imagens digitais retificadas de trechos da muralha do Baluarte São Pedro (B) Fotomontagem das imagens retificadas para subsidiar a cartografia das muralhas.	47
Figura 19. (A) Fotomontagem com base nas imagens digitais retificadas de trecho da muralha frontal do acesso à SJ (B) Desenho da muralha no programa <i>AutoCad 2016</i>	47
Figura 20. Ensaios de resistência à compressão em rochas realizados no Laboratório de Resistência dos Materiais/IFPA	50
Figura 21. Etapas de ensaio para determinação da absorção em água dos corpos cerâmicos. As amostras foram cortadas nas dimensões $\sim 1\text{cm}^3$ em duplicata.....	51
Figura 23. Etapas do ensaio para determinação da densidade em Hg pelo picnômetro de Hubbar.....	53
Figura 24. (a, b) Coletas <i>in loco</i> de materiais biológicos no Forte do Castelo. (c) Cultura de fungos da Fortaleza de São José de Macapá	54
Figura 25. Coletas de espécimes vegetais no FCPB.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fortificações militares da cidade de Belém do Pará.....	11
Tabela 2. Amostragem de materiais construtivos (rochas, argamassas e tijoleiras) e produtos de neoformação e inorgânicos coletada da FSJM e arredores no município de Macapá/Amapá/Brasil.....	41
Tabela 3. Amostragem de rochas coletada em sítios às margens do Rio Pedreira/Amapá	43
Tabela 4- Amostragem de materiais construtivos coletada no FCPB no município de Belém/Pará.....	43
Tabela 6. Amostragem de materiais construtivos (rochas e tijoleira) nas ruínas remanescentes do FCB no município de Costa Marques/Rondônia/Brasil.....	45
Tabela 7. Quantitativo de materiais biológicos coletados na FSJM e no FCPB	45

LISTA DE SIGLAS

AHEX - Arquivo Histórico do Exército (RJ/Brasil)

AHU- Arquivo Histórico Ultramarino (Lisboa, Portugal)

AN - Arquivo Nacional (RJ/Brasil)

CNPq- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DEPH - Departamento de Patrimônio Histórico

DPHECEX - Diretoria do Patrimônio Histórico e Cultural do Exército

FCPB - Forte do Castelo do Santo Cristo do Presépio de Belém

FSJM - Fortaleza São José de Macapá

FUMBEL - Fundação Cultural do Município de Belém

GMGA - Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada

IEPA - Instituto de Estudo e Pesquisa Científica do Amapá

IFPA - Instituto Federal do Pará

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

ITEC - Instituto de Tecnologia

LABMEV - Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura

LACORE - Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação

LAMIGA - Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações

LAPETRO - Laboratório de Petrologia

LCM - Laboratório de Caracterização Mineralógica

MAE - Museu de Arqueologia e Etnologia do Amapá

MPEG - Museu Paraense Emílio Goeldi

NTPR - Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração

RFPB - Real Forte Príncipe da Beira

SECULT/AP - Secretaria de Estado de Cultura do Amapá

SECULT/PA - Secretaria de Estado de Cultura do Pará

SEINF/GEA - Secretaria de Estado de Infraestrutura/Governo do Estado do Amapá

UFBA - Universidade Federal da Bahia

UFPA - Universidade Federal do Pará

UFRA – Universidade Federal Rural da Amazônia

UNIFAP - Universidade Federal do Amapá

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE SIGLAS.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 O ESTADO DA ARTE	5
2.2 A ARQUITETURA MILITAR E AS FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA	7
2.3 MATERIAIS EMPREGADOS NAS CONSTRUÇÕES: ROCHAS, ARGAMASSAS E TIJOLEIRAS CERÂMICAS.....	14
2.3.1 Rochas	14
2.3.2 Argamassas tradicionais	15
2.3.3 Tijoleiras.....	17
2.4 COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA	18
3 AS FORTIFICAÇÕES SELECIONADAS PARA A PESQUISA.....	23
3.1 FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ (FSJM).....	23
3.2 FORTE DO CASTELO DO SANTO CRISTO DO PRESÉPIO DE BELÉM (FCSPB)...	27
3.3 REAL FORTE PRÍNCIPE DA BEIRA (RFPB) E FORTE CONCEIÇÃO OU BRAGANÇA (FCB).....	37
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4.1 AMOSTRAGEM.....	40
4.2 MÉTODOS	46
4.2.1 Documentação	46
4.2.2 Levantamento de campo.....	46
4.2.3 Análises	48
4.2.4 Análises químicas.....	49

4.2.5 Tratamento e interpretação dos dados	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5.1. ARTIGO 1: CHARACTERIZATION, USING AND PROVENANCE OF BUILDING ROCKS USED IN THE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ FORTRESS (BRAZIL)	56
5.2. ARTIGO 2: THE CONTRIBUTION OF BIOLOGICAL COLONIZATION TO TROPICAL WEATHERING DETERIORATION OF FORTRESSES IN THE AMAZON, BRAZIL.....	88
5.3. ARTIGO 3: CERAMIC BRICKS USED IN FORTRESSES ON THE AMAZON (BRAZIL).	116
5.4. ARTIGO 4: O REAL FORTE PRINCIPE DA BEIRA E OUTRAS ESTRUTURAS DO RIO GUAPORÉ: HISTÓRIA, ARQUITETURA E MATERIAIS CONSTRUTIVOS.....	148
6 CONCLUSÕES	184
REFERÊNCIAS.....	188
GLOSSÁRIO	199
APÊNDICES	201
APÊNDICE A - CARTOGRAFIA.....	202

1 INTRODUÇÃO

As fortificações portuguesas no Brasil, erigidas a partir do século XVII, evidenciam a consolidação dos limites territoriais do país, as relações socioculturais e históricas estabelecidas, os processos e tecnologias construtivas e a larga experiência dos colonizadores, com obras distribuídas desde o território ibérico até a costa africana, ilhas do Atlântico e Índia. Para a implantação destes monumentos eram observadas as condições topográficas do local, definindo-se por pontos privilegiados, como promontórios rochosos, cabos e foz de rios com perspectivas visuais estratégicas e que detinham condições para soerguer espessas muralhas, ainda que também tenham desenvolvido técnicas para construção em terrenos alagadiços.

As primeiras obras utilizaram materiais pouco resistentes às intempéries, como madeira e paliçadas, o que facilitava o rápido desaparecimento se abandonadas, e mesmo a renovação ou substituição em caso de longa permanência. Os construtores adaptavam-se aos materiais locais, mas também podiam utilizar produtos oriundos de outros sítios. Os arenitos ferruginizados e fragmentos de crostas lateríticas, os tijolos e pisos cerâmicos denominados de “tijoleiras” e argamassas de cal com adição de argila, principalmente, são os materiais mais recorrentes nas fortificações na Amazônia (Vianna 1905, Barbosa 1953, Reis 1956, Ferreira 1970, Alcântara & Alcântara 1978, Nunes 1983, Telles 1984, Nunes 1985, Santiago & Oliveira 1994, Castro 1999, Teixeira & Valla 1999, Derenji 2001, Ferreira 2004, Oliveira 2004, Oliveira 2006, Magalhães 2006, Marques 2006, Oliveira 2008, Albuquerque & Lucena 2010, Cruzen 2011, Norat & Costa 2016).

No Brasil, a rede de defesa e ocupação do território difundiu-se do litoral para o interior a partir das capitânicas donatárias e seus primeiros sistemas defensivos. Durante a União Ibérica, houve um aumento dos ataques por mar capitaneados por franceses, ingleses e holandeses, que ao se estabelecerem, erguiam seus fortins buscando assento nas terras do Novo Mundo. Com as dimensões continentais do território, as fortificações eram imprescindíveis para garantir a posse da colônia ameaçada pelos invasores estrangeiros (Nunes 1985).

Da foz do Rio Amazonas até os confins do Rio Grande do Sul, estruturas fortificadas foram estabelecidas com alguns pontos de concentração, como no Rio de Janeiro, Salvador (Bahia) e em Recife (Pernambuco) e ainda nas regiões de Belém (Pará), São Luís (Maranhão), Natal (Rio Grande do Norte) e na Paraíba, ao longo da costa norte até o extremo nordestino, na região sudeste do país, em especial, em Santos, no litoral de São Paulo, e mais ao sul, na ilha de Santa Catarina e litoral do Rio Grande do Sul (Ferreira 2004). A incursão para o

interior se daria gradativamente pelas extensas bacias hidrográficas dos rios Amazonas e Paraguai.

Na Amazônia, a política de ocupação no período pombalino consolidou um sistema articulado para a posse e colonização, com uma rede de defesa externa a partir das cidades de Macapá e Belém, e outra interna que contaria mais de quarenta povoações e alguns fortes estabelecidos às margens dos principais rios e rincões do território (Derenji 2001).

Apesar das dificuldades em se estabelecer nestas cercanias, além dos portugueses aportaram também ingleses, franceses, holandeses e irlandeses que ergueram estruturas diversas e defensivas inicialmente em materiais mais perecíveis, como paliçadas e taipas, posteriormente, destruídas em conflitos ou abandonadas no meio da floresta. Reerguidas pelos portugueses em materiais mais resistentes, as fortalezas espalharam-se pela região, em alguns casos, nos mesmos locais das precedentes, reconhecendo-se a propriedade de escolha do sítio físico pelos antecessores.

A partir da iconografia histórica observam-se características desaparecidas nas fortificações remanescentes ou em ruínas e casos em que não há mais sequer sua identificação física posto que pereceram no meio da floresta, sucumbiram em ilhas transitórias, foram demolidas no processo de consolidação urbana ou mesmo alvo de sinistros.

Das obras que permaneceram nota-se um grau de conservação variável seja pela exposição contínua às intempéries, seja por sua monumentalidade e perda da função primária de proteção contra invasores, que ocasionaram mudanças de uso ou o abandono dessas estruturas, especialmente daquelas localizadas em regiões de difícil acesso.

Diante deste cenário de perda contínua, mas ao mesmo tempo de importância histórica, arquitetônica, cultural, social e também econômica, esta pesquisa objetiva reconhecer os materiais construtivos das fortificações portuguesas da Amazônia, observando possíveis procedências e sua susceptibilidade ao intemperismo tropical reinante, principalmente o bioquímico. Para tanto, foram selecionados três monumentos representativos da região: a Fortaleza de São José (Macapá/Amapá) (FSJM), o Forte do Castelo do Santo Cristo do Presépio (Belém/Pará) (FCPB) e o Real Forte Príncipe da Beira (RFPB) e, ainda, as ruínas da Fortaleza de Nossa Senhora da Conceição ou Bragança (FCB) (Costa Marques, Rondônia), sendo a primeira, o objeto principal deste estudo (Figura 1).

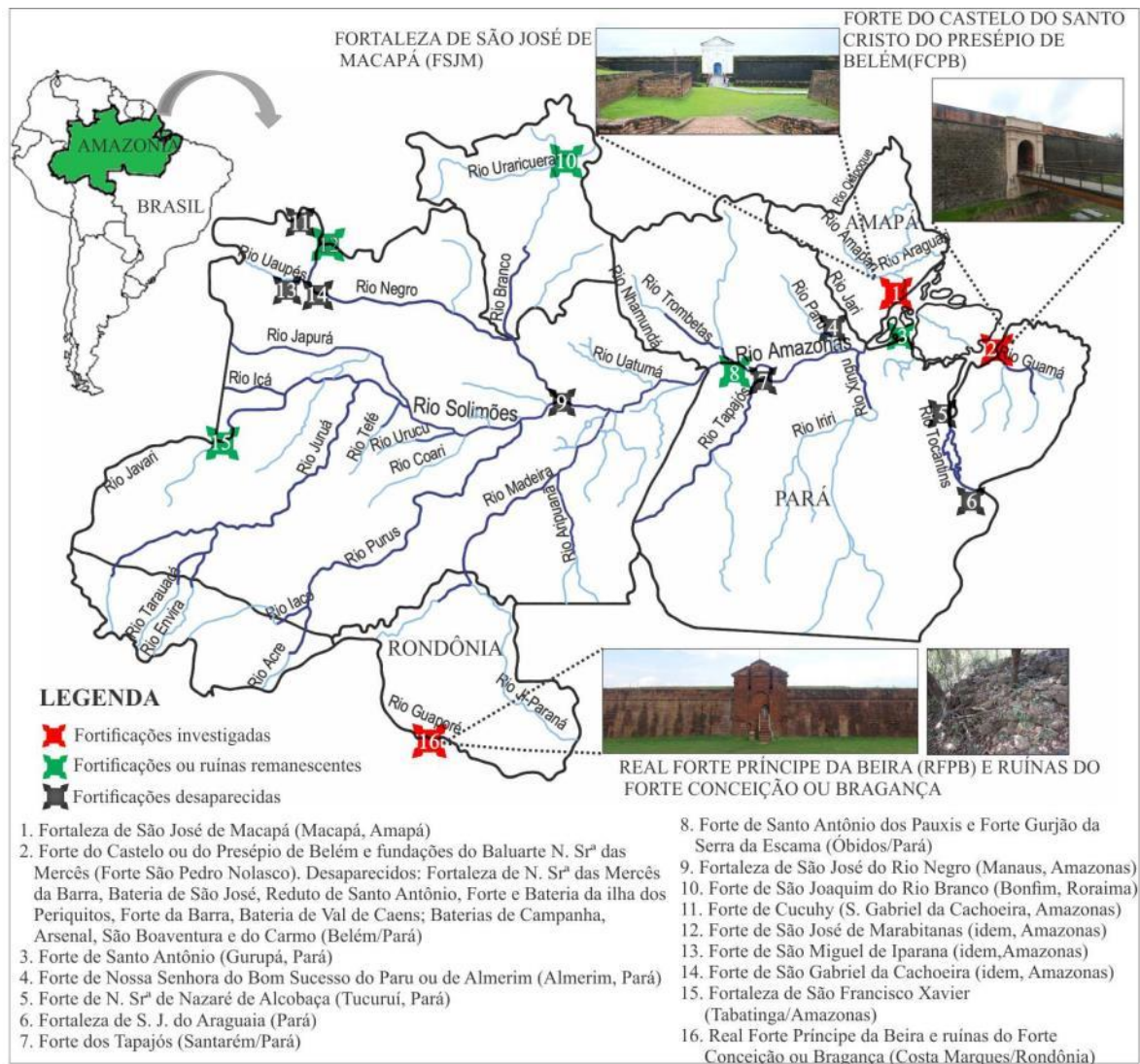


Figura 1. Localização das principais fortificações estabelecidas na Amazônia, grande parte desaparecida. Em destaque, a Fortaleza de São José de Macapá (FSJM) no estado do Amapá, o Forte do Castelo do Santo Cristo do Presépio de Belém (FCPB) no estado do Pará e o Real Forte Príncipe da Beira (RFPB) no estado de Rondônia objetos da presente pesquisa (Elaboração da autora, 2016).

Os métodos contemplaram pesquisa documental e bibliográfica sobre aspectos históricos e tipológicos dos objetos e sobre materiais e técnicas de caracterização; levantamento de campo com produção da cartografia arquitetônica da FSJM; levantamento fotográfico digital e de imagens termográficas por infravermelho (IRT), temperatura superficial das muralhas na FSJM, no FCPB e no RFPB; coleta de micro-organismos e vegetação na FSJM e no FCPB; coleta de materiais, análises laboratoriais, tratamento e interpretação dos dados obtidos. Os materiais estudados foram rochas, argamassas, tijoleiras e biológicos (micro e macro) para os quais foram realizadas análises de acordo com as especificidades das amostras.

Empregaram-se as técnicas de microscopia ótica, difratometria de raios-X (DRX) para a caracterização mineralógica; fluorescência de raios-X (FRX) portátil, espectrometria de absorção atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), espectrofotometria, microscopia eletrônica de varredura com sistema de energia dispersiva (MEV/EDS), para análises químicas diversas, além de granulometria a laser, ensaios de resistência à compressão, absorção em água, porosidade e densidade aparente, massa unitária pelo picnômetro de Hubbar, bem como procedimentos específicos para a identificação de micro-organismos e espécimes vegetais.

Os resultados e discussões estão organizados em quatro artigos que versam sobre as rochas e possíveis fontes de matéria-prima e sua aplicação na FSJM; a biodeterioração das fortificações correlacionando-a à natureza mineralógica, química e nutrição potencial dos materiais construtivos (rochas, argamassas e tijoleiras); sobre as tijoleiras cerâmicas da FSJM, FCPB e RFPB, classificadas como tijoleiras cerâmicas históricas (HCB) e de recomposição (RCB); sobre as estruturas do RFPB e demais elementos arquitetônicos encontrados no sítio, como o forno, paiol, labirinto; e as ruínas do FCB em Costa Marques (RO).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O ESTADO DA ARTE

Os tratados de Arquitetura, desde a Antiguidade, relatam técnicas e métodos para as construções fortificadas cujas tipologias moldaram-se em consonância aos avanços dos armamentos em cada época até a estética das chamadas fortificações modernas (Vitruvius 2006, Vauban 1769, Belidor 1830).

A importância das fortificações como monumentos do patrimônio cultural no mundo tem se refletido no crescente interesse sobre o tema e nas pesquisas que, em sua maioria, envolvem aspectos da Historiografia, Arqueologia, Urbanismo, Tipologia e sistemas construtivos com particular atenção à iconografia histórica das fortificações (Vianna 1905, Barbosa 1953, Reis 1956, Ferreira 1970, Alcântara & Alcântara 1978, Nunes 1983, Telles 1984, Nunes 1985, Santiago & Oliveira 1994, Teixeira & Valla 1999, Derenji 2001, Ferreira 2004, Ferreira 2005, Oliveira 2004, Oliveira 2006, Marques 2006, Oliveira 2008, Magalhães 2006, Dias 2010, Cruxen 2011, Norat & Costa 2016).

Alguns trabalhos, contudo, atentam para a caracterização dos materiais e aspectos de sua conservação em estruturas fortificadas a exemplo de Cultrone *et al.* (2005), Bidner *et al.* (2003), Matovic *et al.* 2012, porém em condições climáticas bastante distintas da Amazônia. Oliveira (2004) dedica um capítulo sobre materiais e sistemas construtivos das fortalezas, em publicação sobre as fortificações portuguesas de Salvador/BA que trata do uso da terra, saibro, cal, argamassas, óleos, materiais cerâmicos, pedra e madeira, além de relatar aspectos de projeto e desenho, são observadas as características dessa tipologia arquitetônica, tais como fundações, cortinas, muralhas, cordão e bocel, parapeito das cortinas, plataformas de artilharia, arcos e abóbadas, pontes levadiças, guaritas e poços.

As pesquisas de caráter tecnológico na área da conservação e do restauro tem se avolumado nos últimos anos e podem ser agrupadas pelo enfoque investigativo em Materiais Construtivos, como as rochas, argamassas; e Materiais Cerâmicos e Produtos de Alteração, inclusive biológicos.

Há diversos trabalhos de identificação e caracterização de materiais que destacam o uso das rochas empregadas em edificações históricas, observando composição, procedência, degradação e avaliação do intemperismo para fins de conservação e restauração (Rodrigues & Costa 1996, Jeannete 1997, Götze & Siedel 2004, Frank-Kamenetskaya *et al.* 2009, Ehling & Bowitz 2009, Dionísio *et al.* 2009, Park & Shin 2009).

Dos materiais rochosos da Amazônia, destacam-se os lateríticos, descritos por Costa (1991) e Costa *et al.* (2009) reconhecendo sua importância e aplicação em âmbito regional. Em conexão da Geologia e Arquitetura, Costa (2009) enfoca o uso das rochas nas edificações históricas mineiras e apresenta relato sucinto sobre outras regiões do país, inclusive a Amazônia. Ao descrever o uso das rochas nas construções da América portuguesa e do Brasil Império, Costa (2009) observa que apesar do uso “não muito frequente das rochas”, a grande diversidade geológica do território contribuiu para que diferentes materiais pétreos fossem utilizados nas edificações, tais como calcários, arenitos e arenitos de arrecifes, cujo uso seria difundido “tanto no Norte, nas sedes do antigo Estado do Maranhão e Grão Pará, quanto em vilas e cidades nas capitanias e províncias do Nordeste” (Carvalho 1942 *apud* Costa 2009).

Na caracterização de tijolos em construções históricas, as pesquisas destacam desde seu uso como material de construção, como também sua fabricação e matérias-primas, caracterização física, mineralógica, química e mecânica, além de comportamento ao intemperismo (Van Balen 1996, Moropoulou *et al.* 2000, Calliari *et al.* 2001, Antonelli *et al.* 2002, Cardiano *et al.* 2004, Cultrone *et al.* 2005, Lopez-Arce & Garcia-Guinea 2005, Galindo *et al.* 2009, Ugurlu & Böke 2009, Özkaya & Böke 2009, Antonelli & Lazzarini 2010, Finlay *et al.* 2012, Santos 2013, Costa *et al.* 2013, Coutinho *et al.* 2015).

Por outro lado, a constituição mineralógica dos materiais cerâmicos permite aferir a temperatura da queima ao que Fabbri & Guidotti (1993) denominam de “termômetro mineralógico” (Fabbri & Guidotti 1993, Antonelli *et al.* 2002, Sanjad *et al.* 2004, Lopez-Arce & Garcia-Guinea 2005, Dionísio *et al.* 2009, Vieira & Pinheiro 2011, Silva 2012, Soares *et al.* 2012, Rodrigues *et al.* 2015).

Da mesma forma, as argamassas antigas e também de reconstituição em obras de restauração ou reparos de alvenarias tradicionais, são objeto de diversas pesquisas e contextos que abordam desde a revisão de tratados históricos, resultando em manuais de produção ou se dedicam à sua caracterização e investigação de seu comportamento ao intemperismo e alterações para fins de conservação e restauro (Gleize *et al.* 1999, Moropoulou *et al.* 2000, Degryse 2002, Maravelaki-Kalaitzaki *et al.* 2003, Maurenbrecher 2004, Veiga *et al.* 2004, Elsen 2006, Santiago 2007, Kanan 2008, Luca & Mohanu 2009, Labiadh *et al.* 2009, Özkaya & Böke 2009, Reyes-Zamudio *et al.* 2010, Fonseca *et al.* 2010, Schueremans *et al.* 2011, Silva *et al.* 2011, Tran *et al.* 2012, Borges *et al.* 2014, Jurado *et al.* 2014, Loureiro *et al.* 2015).

Considerando a importância dos impactos ocasionados pela biodeterioração em monumentos históricos, outra vertente importante tem se dedicado aos estudos, mapeamento,

avaliação e controle, análises de riscos associadas a testes e à correlação de biodeterioração (De La Torre *et al.* 1993, Santiago & Oliveira 1988, Silva & Roeser 2003, Lopes *et al.* 2003, Herrera & Videla 2004, Prieto & Silva 2005, Arcoverde & Lacerda Filho 2008, Aina *et al.* 2011, Pandey *et al.* 2011, Sharma *et al.* 2011, Costa *et al.* 2013, Sanjad *et al.* 2014, Fazio *et al.* 2015, Coutinho *et al.* 2015, Guizzardi *et al.* 2015).

Métodos analíticos *in-situ* com o auxílio de instrumentos portáteis, dentre os quais a Termografia Infravermelha (IRT) também tem sido difundidos em pesquisas para auxiliar o diagnóstico de deterioração em estruturas históricas, inclusive fortificações (Meola *et al.* 2005, Quagliarini *et al.* 2013, Kylili *et al.* 2014, Tortora *et al.* 2016, Morillas *et al.* 2016).

Como se constata, o estado da arte sobre a temática de investigação tecnológica para caracterização de materiais, avaliação de processos de deterioração e alteração decorrentes do intemperismo químico, físico e biológico é avançado em diversos campos voltados para as edificações históricas e seus componentes, inclusive por meio de pesquisas na Amazônia. Contudo, as investigações tendo por objeto as fortificações militares são ainda incipientes, o que corrobora para a relevância da temática abordada nesta pesquisa.

2.2 A ARQUITETURA MILITAR E AS FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA

As fortificações militares, de acordo com suas dimensões e tipologias, recebem denominação compatível com suas estruturas arquitetônicas, tais como fortalezas, fortes, fortins ou baterias. Tratados de Arquitetura, desde a Antiguidade, relatam técnicas e métodos para as construções fortificadas. Vitrúvio, no século I a.C., deixou como legado a obra "De Architectura" em cujo Livro I, capítulo V, ele trata dentre outros aspectos, da construção das muralhas, torres, terraplenos e fossos, ressaltando o uso de matérias-primas disponíveis aos construtores (Vitrúvio 2006).

Também destacam-se o "De Re Aedificatoria" de Alberti, o tratado de Sagredo e o método de fortificação de Durer por ordem de D. João III (Portugal), dentre outros, enquanto que tratados portugueses de Arquitetura militar, baseados em suas experiências práticas, são escritos a partir do séc. XVI, sendo o primeiro conhecido, datado de 1575 por Antonio Rodrigues, porém nunca publicado, e posteriormente, em 1680, a publicação de o "Método Lusitano de Desenhar as Fortificações das Praças Regulares, e Irregulares. Fortes de

Campanha e outras Obras Pertencentes a Architectura Militar” por Luis Serrão Pimentel¹ e em 1728 o “Engenheiro Português” por Manuel Azevedo Fortes² (Teixeira & Valla, 1999).

A tipologia das fortificações moldou-se em consonância aos avanços dos armamentos até a estética das fortificações modernas preconizadas em obras, como do francês Sébastien le Preste, Marquês de Vauban (1633-1707) em “Traité de la defense des places”, de 1769, ou do espanhol Bernard Forest de Belidor (1698-1761) em “La Science des ingeniers dans la conduit des travaux de fortification et d’Architecture Civile, Livre IV: Des Edifices Militaires, de 1769 (Belidor 1830, Oliveira 2004, Oliveira 2008).

Na escolha do local para soerguimento da edificação, consideravam-se as características topográficas do sítio, com especial condição de visibilidade quanto à entrada e saída de invasores. Em geral, eram promontórios rochosos em solos firmes, aliando a vigilância das terras conquistadas à acessibilidade a fontes de matéria-prima para a construção. Contudo, a adequação ao sítio poderia ocorrer mesmo em condições a princípio desfavoráveis. Vauban (1769) fornece detalhes sobre as fortificações modernas e a construção em lugares pantanosos, os quais podem ser vistos tanto quanto um obstáculo para o inimigo como uma construção de baixo custo, porque não requeria uma guarnição importante.

Sobre a construção nas proximidades de um grande rio, Vauban (1769) observa as vantagens na utilização de suas águas como meio de transporte para o que fosse necessário à obra, resultando em custos baixos, ou sobre a terra abundante para reparar as construções e edificar os recintos, bem como a possibilidade de construção de sistemas de comportas. Situações comuns nos terrenos da região norte brasileira, dominada ambientalmente pela Floresta Amazônica e seus caudalosos rios, que requeria técnicas construtivas específicas.

Recortada em toda a sua extensão pelo Rio Amazonas, com considerável número de afluentes que lhe conferem o título de maior bacia hidrográfica do mundo, a Amazônia tem, nesses caminhos naturais, a maior concentração de suas fortificações, as quais desempenharam importante papel na fixação das fronteiras e na própria contenção das

¹ (1614-1678) Teórico português instigador da criação por D. João IV, da Aula de Fortificação, foi Cosmógrafo-Mor do Reino desde 1641 e Engenheiro-Mor do Reino nomeado em 1673, autor de várias obras de fortificações desenvolveu o *Methodo Lusitano de Desenhar as Fortificações das Praças Regulares, e Irregulares, Fortes de Campanha e outras Obras Pertencentes a Architectura Militar* (1680) (Nunes 2005).

² (1660-1749) Engenheiro português, iniciou seus estudos em Portugal e completou sua formação na França e Itália. Junto com D. João V, inspirou o Decreto de 24 de dezembro de 1732 que mandou criar Academias e Aulas de Fortificação na Corte e em Viana do Castelo e das Províncias Elvas e Almeida. Autor de “Engenheiro Português”, obra em dois volumes, publicados em 1728 e 1729, a qual contém os conhecimentos essenciais ao engenheiro português e os referentes à fortificação e que revela progressos havidos em matéria de fortificação desde a obra “O Methodo Lusitano”, escrita cinquenta anos antes por Serrão Pimentel (Nunes 2005)

investidas de invasores, especialmente ingleses, franceses e holandeses no litoral e das invasões espanholas pelo Rio Paraguai (Cruxen 2011).

O desafio de se estabelecer nessas cercanias parecia colossal aos colonizadores. Ainda assim, além dos portugueses, outros povos europeus estabeleceram fortificações que posteriormente foram destruídas ou abandonadas, sendo algumas reconstruídas pelos portugueses no mesmo local.

O colonizador em um terreno desconhecido estabelecia-se provisoriamente, usando materiais que facilmente desapareciam se abandonadas as estruturas (Ferreira 2005, Cruxen 2011).

(...) constituídas por paliçadas e estacas de madeira de pau-a-pique, com torres de madeira e taipa nos vértices, por vezes reforçadas na sua base com terra batida ou baixos muros de pedra, circundadas por valas mais ou menos profundas, tendo algumas daquelas primitivas fortificações servido como “feitoria-fortaleza”, mas sempre de duração efêmera, apenas referenciadas em documentos escritos, mas não em mapas (Ferreira, 2005).

Alcântara & Alcântara (1978) ressaltam que a partir de 1596, ingleses e holandeses atingiram o delta amazônico e iniciaram a montagem de benfeitorias e pequenos estabelecimentos militares. De origem inglesa são referenciados os Fortes do Torrego ou Maracapu (1612, 1629), a Casa Forte do Rio Phillip (1620), o Forte North, Pattacue ou Forte do Rio Phillip (1629), localizados no território do Amapá, enquanto que holandeses teriam erguido entre 1599 e 1600, os Fortes Orange e Nassau na margem esquerda do Xingu e os Fortes Mariocai, na Ilha de Gurupá, no Pará; e do Maricary ou Maiacaré de 1633(?), no Amapá, na margem direita do Amazonas (Castro 1999, Albuquerque 2008, Barreto 2010).

Outras importantes fortificações ainda resistem em maior ou menor grau de preservação na Amazônia. Seguindo a trajetória do Rio Amazonas, na foz, mantém-se majestosa a Fortaleza de São José de Macapá (FSJM), no Amapá (1764-1782). Mais acima encontra-se o Forte Santo Antônio de Gurupá, município da zona marajoara, no Pará, o Forte de Santo Antônio dos Pauxis e os remanescentes do Forte Gurjão na Serra da Escama, dispostos na parte mais estreita e profunda do rio em frente à cidade paraense de Óbidos. No extremo oeste da região, destaca-se o Real Forte Príncipe da Beira (1776-1783) (RFPB) e os remanescentes do Forte Conceição ou Bragança (FBC), em Costa Marques, Rondônia, às margens do Rio Guaporé. Há referências às ruínas do Forte de São Joaquim na margem esquerda do alto Rio Branco em Bonfim, Roraima.

As ruínas do Forte de Cumaú no Amapá, cuja origem inglesa remonta a 1632 e foi posteriormente reconstruído pelos portugueses, como Forte Santo Antônio de Macapá ou de

Cumaú em 1688 (Castro 1999) foi alvo de recentes estudos empreendidos pelo IPHAN e instituições de pesquisa regional, como o IEPA, a UNIFAP e o MPEG.

Exemplos de desaparecimento na região amazônica são a Fortaleza de Tapajós, nos domínios do município de Santarém/PA; ao longo do Rio Negro, o Forte de São José de Marabitanas e do Cucuhy/AM (1763) e o de São Gabriel da Cachoeira/AM (1763). No Rio Amazonas, o Forte de São Francisco Xavier de Tabatinga e o de São José do Rio Negro/AM. No Amapá, as Casas Fortes dos rios Araguari, Forte do Rio Araguaí ou Forte do Rio Bataboute (1687), Casa Forte da Ilha de Santana (1729?) e Fortes do Araguari e Santo Antônio de Macapá. Ainda teriam os Fortes de N. Sr^a do Bom Sucesso do Paru ou de Almerim (Almerim/PA), Forte de N. Sr^a de Nazaré de Alcobaça/PA (Tucuruí/PA), de Gurupatuba/AM, o Forte do Rio Branco/RR, Forte de São Miguel de Ipanará/AM.

As fortificações remanescentes na Amazônia são as de origem portuguesa, construídas com materiais mais resistentes. Alguns desses monumentos foram alvos de intervenções restaurativas e são marcos arquitetônicos na paisagem ou ruínas consolidadas. Somente em Belém do Pará, ao se comparar a rede de defesa que existia e a remanescente, demonstra-se a extensão das perdas e transformações da engenharia militar na região. Como principal cidade no território do Grão-Pará, a cidade seria provida com um importante sistema defensivo, cuja documentação histórica e iconografia urbana apresenta-o como dos mais significativos da colônia portuguesa.

Pelo menos doze estruturas dentre fortes, fortins e baterias foram construídos e outros sistemas de amuralhamento projetados (Norat & Costa 2016). As obras militares foram distribuídas tanto na porção continental, nos sítios que se estabeleceram como os dois núcleos iniciais: a Cidade (atual bairro da Cidade Velha) e a Campina, quanto na faixa fluvial da Baía do Guajará (Souza 1885, Vianna 1905, Reis 1956, Ferreira 2004, Barreto 2010).

À medida que a cidade se expandia para além das cercanias do Forte do Santo Cristo, os demais fortes surgiam nas áreas mais periféricas e em direção da entrada da Baía pela costa Atlântica, seguindo a faixa litorânea, sendo eles: o Baluarte de Nossa Senhora das Mercês ou Forte São Pedro Nolasco, a Fortaleza de Nossa Senhora das Mercês da Barra, o Forte e Bateria da Ilha dos Periquitos, o Fortim da Barra de Belém na ilha do Fortim, a Bateria de São José, o Reduto de Santo Antônio, a Bateria de Val-de-Caens, além das possíveis baterias de campanha de curta duração que seriam as chamadas de Campanha, do Arsenal, São Boaventura e do Carmo (Tabela 1).

Tabela 1. Fortificações militares da cidade de Belém do Pará

Monumento	Ano	Localização	Informações
Forte do Castelo do Senhor Santo Cristo do Presépio de Belém	1616	Ponta da Baía do Guajará com o Rio Guamá	Marco da formação da cidade, encontra-se preservado e adequado para espaço museológico (Museu do Forte).
Baluarte N. Sr ^a das Mercês ou Forte de São Pedro Nolasco	1665	Aos fundos do Conventos dos Mercedários	Cooperava na defesa de Belém junto com o Forte do Castelo; era codiforme com o vértice voltado para o mar e montado para cinco canhões; Alvo de combates durante a Cabanage ³ , sua demolição foi autorizada em 1842. Suas fundações estão consolidadas e expostas após escavações arqueológicas durante as obras para a criação do Complexo da Estação das Docas.
Fortaleza de Nossa Senhora das Mercês da Barra	1685 1686*	Numa ilhota de pedra na entrada do porto de Belém	De planta circular em 1740 passou por reformas; em 1770 construída sapata para proteção dos alicerces da muralha; Reparos em 1874; dimensionada originalmente para 70 peças de artilharia, contaria apenas com 35 canhões e em 1847 somente 12. Utilizada como depósito de inflamáveis na década de 1940; alvo de violenta explosão que lhe destruiu as instalações em 9/5/1947 ocasionada por curto circuito após descarga elétrica natural decorrente de um raio.
Forte e Bateria da Ilha dos Periquitos	1734 1738 1793**	Em ilha “pequena e graciosa” na Baía do Guajará em frente à Fortaleza da Barra e ao sítio Tapanã	Em 1738 haveria uma bateria na Ilha dos Periquitos, sendo em 1793 foi retirada e substituída por um forte em sua ponta setentrional em forma de paralelogramo; posteriormente desarmado e abandonado (Barreto 2010). Há informes da construção de um fortim cuja obra não foi concluída e ficou sujeito à ação destruidora das marés. Em 1793 uma bateria transitória com 4 canhões voltados para o rio (canal); em 1803 ainda se viam vestígios; 1839 restava pequena porção da ilha; em 1905 “nada mais se divisa: o mar sucedeu à terra” (Vianna 1905).
Fortim da Barra de Belém Ilha do Fortim***	1724	Ilha do Fortim em frente à ilha da Fortaleza da Barra e da ilha dos Periquitos.	Em desenho de 1724 vê-se um fortim com planta em forma de estrela de 5 pontas e estruturas do Corpo da Guarda e Armazém enquanto indica que a obra que se intentava fazer na edificação e indica na planta que o risco preto mostra a obra antiga e arruinada e o de pontinhos a que se pretendia fazer.
Bateria de São José	1771	Sobre a praia no flanco do Convento dos Capuchinhos de Santo Antônio	Reduto de faxina à borda d’água, com berma circuitada de palissada e montada com 4 canhões de grosso calibre. Em 1807 foi interligado ao Reduto de Santo Antônio com a construção de um semibaluarte e muralha em ângulo reentrante.

(Continua)

³ Revolta social ocorrida na província do Grão-Pará estendendo-se de janeiro de 1835 a 1840, durante o período regencial brasileiro.

(continua)

Monumento	Ano	Localização	Informações
Reduto de Santo Antônio	1791	Sobre a praia, entre o Reduto de São José e o Forte de São Pedro Nolasco (possivelmente onde hoje se localiza o quartel do 2º Batalhão de Polícia Militar na Rua Gaspar Viana entre a Av. Assis de Vasconcelos e a Trav. Piedade)	A iconografia mostra diversas estruturas: bateria projetada em baluarte e muralha sobre a praia ou como estrutura fortificada circunda por fosso hídrico(?). Descrita como construída sobre fortes alicerces e muros largos de pedra e cal de forma retangular, com um dos lados maiores para o mar e o outro apoiado em terra perceptíveis nas plantas. Em 1793 armada com 5 canhões de grosso calibre e outros menores. Em 1832 estava em ruínas e, posteriormente, demolida para permitir a expansão das travessas da Estrela e da Piedade até o mar e sendo aberta, ao final da primeira, uma praça para criar um lugar cômodo para desembarque (Vianna 1905).
Bateria de Val de Caens	2ª met. do séc. XVIII	Sobre a ponta de Val de Caens na fazenda de mesmo nome e próxima à Fortaleza da Barra	Construída para apoiar a Fortaleza da Barra por terra; Bateria de faxina com 4 obuses de 6 a 9 polegadas. Desarmado e abandonado em 1833 já não mais existia.
Bateria de Campanha	Séc. XVIII	Entre as Baterias do Arsenal e a do Convento do Carmo	Atribuído ao Governo de Francisco de Souza Coutinho – curta duração; teria fornalha para a fabricação de balas
Bateria de Campanha do Arsenal	Séc. XVIII	Margem esquerda do Rio Guamá, em área em frente às casas do Arsenal	Atribuído ao Governo de Francisco de Souza Coutinho – curta duração
Bateria do Carmo e Bateria de São Boaventura	1793	Margem esquerda do Rio Guamá, à altura da lateral esquerda e frente da Igreja e Convento do Carmo	Atribuído ao Governo de Francisco de Souza Coutinho – curta duração.

Fonte: Norat & Costa 2016

*Erguida em 1686 por Paulo César de Menezes sobre os destroços de outra precedente cuja datação seria de 1615 e atribuída a Francisco Caldeira Castelo Branco (Garrido 1940);

**Iniciada em 1734, segundo planta de autoria do Sargento-mor Engenheiro Carlos Varjão Rolim, ou 1738, segundo Baena (Oliveira 1968).

***Alguns relatos podem gerar conflitos de informações quanto às estruturas fortificadas na Ilha do Fortim e na Ilha dos Periquitos. No entanto, nos mapas das defesas da Barra e da Cidade do Pará de c. de 1724 e o Mapa da Barra do Pará de 1793 fica evidente que se tratam de locais e estruturas diferenciadas.

Na atualidade em Belém restam apenas o Forte do Castelo do Senhor Santo Cristo do Presépio de Belém (1616) ou, simplesmente, Forte do Presépio ou do Castelo (FCPB) e as fundações consolidadas do Baluarte de Nossa Senhora das Mercês ou Forte São Pedro Nolasco (1665) a qual foi integrada ao anfiteatro da Estação das Docas (Norat & Costa, 2016).

Símbolo destas perdas, a Fortaleza de Nossa Senhora das Mercês da Barra ou apenas Fortaleza da Barra em Belém do Pará era, sem dúvida, das mais interessantes. Edificada sobre um banco de pedra próximo ao canal na Baía do Guajará foi erguida pelo engenheiro Joseph Velho Azevedo, com duas ordens de baterias, uma baixa permitindo se atirar ao lume d'água e outra superior na plataforma armada com 35 canhões (Vianna 1905, Baena 2004). Em 1770, teria sido construída uma sapata em sua volta para proteção dos alicerces da muralha. Porém, às 15h45, do dia 9 de maio de 1947, uma explosão em decorrência de curto-circuito após descarga elétrica natural ocasionada por um raio, silenciaria aquele baluarte que então servia para depósito de inflamáveis deixando a ilha em parte submersa (Oliveira 1968, Barreto 2010) (Figura 2).



Figura 2. Fortaleza de Nossa Senhora das Mercês da Barra de Belém, por volta de 1910 .c Acervo: Instituto Moreira Salles, Coleção Gilberto Ferrez.
Fonte: <http://fortalezas.org/index.php>.

Observa-se que o número de fortificações documentadas e as remanescentes não correspondem à mesma totalidade, devido aos diversos acontecimentos históricos e também aos aspectos de resistência dos materiais à deterioração natural, que implicaram no desaparecimento ou seu arruinamento. Outrora soberbos marcos da presença europeia na região, os poucos que chegaram à atualidade requerem ações diversas que envolvam além da pesquisa histórica e documental, estudos arqueológicos, processos de gestão e ocupação adequada, bem como perspectivas de restauração, conservação e manutenção preventivas, observadas a natureza dos materiais e as condições do meio ambiente amazônico.

2.3 MATERIAIS EMPREGADOS NAS CONSTRUÇÕES: ROCHAS, ARGAMASSAS E TIJOLEIRAS CERÂMICAS

2.3.1 Rochas

A utilização das rochas em construções remonta à ocupação humana de cavernas no Paleolítico até o uso em esculturas monumentais. Costa (2009) observa a aplicação das rochas pelo homem ao compreender sua diversidade, explicada pelas diferenciações, transformações, alterações e deteriorações e também porque aprenderam a identificar suas potencialidades, por conta de suas características, aperfeiçoando as técnicas para sua extração.

As observações denotam a utilização das rochas de forma recorrente nas construções civis da Amazônia, sendo as fortificações os melhores exemplos dessa aplicação. Dentre as rochas comumente empregadas ainda na atualidade, destacam-se os arenitos ferruginizados e as crostas lateríticas ferruginosas, material este geralmente aflorante, portanto de fácil acesso. Costa (1991) e Costa *et al.* (2009) discutem a amplitude dessas rochas na região e sua importância geológica, econômica e ambiental, sendo estes de amplo emprego nas construções históricas. Denominados de Grés do Pará (Katzer 1903 *apud* Costa 1991) ou Pedra do Pará, as rochas ferruginizadas de natureza não laterítica, são de amplo uso e conhecimento popular. Os arenitos ferruginizados eram e continuam sendo usuais e fartos na paisagem da mesma forma como os materiais solidificados dos perfis lateríticos, como a pedra de ferro e as crostas (Costa 1991).

De maneira geral, as investigações sobre as rochas a partir de análises petrográficas e geoquímicas podem apoiar a localização dos melhores materiais para restauração e oferecer informações sobre antigas rotas de comércio e transporte. Antonelli *et al.* (2009) estudaram os mármore importados de origem grega e portuguesa em ruínas de cidade romana no Marrocos visando a preservação e restauração desses sítios.

A origem geológica dos materiais usados em artefatos arqueológicos ou edificações históricas são importantes referenciais para se compreender as vias de comunicação, redes de comércio bem como buscar as melhores procedências de materiais para restaurações e reintegrações (Rodrigues & Costa 1996, Jeannete 1997, Götze & Siedel 2004, Frank-Kamenetskaya *et al.* 2009, Ehling & Bowitz 2009, Dionísio *et al.* 2009, Park & Shin 2009, Antonelli & Lazzarini 2010, Calogero *et al.* 2000).

De Vecchi *et al.* (2000) estudaram as propriedades petrográficas e geoquímicas de rocha granítica utilizada desde a Antiguidade, a partir de vários afloramentos e pedreiras antigas abandonadas. Lazzarini *et al.* (2007) apresentam estudos sobre rochas procedentes de

portão de muralha do séc. XII no Marrocos e de diferentes afloramentos identificados como potenciais fontes sendo as amostras submetidas à análises laboratoriais, para coleta de dados sobre sua natureza, origem, causas e mecanismos de deterioração, dados de suma importância para a restauração.

Esses exemplos comprovam a importância desse material ao longo da história, sua aplicação e utilização recorrente e as correlações de logística de extração, produção e uso como matéria-prima para construções diversas. Sendo consideradas obras de interesse à preservação, são importantes subsídios para obras de restauração e conservação.

2.3.2 Argamassas tradicionais

As argamassas são usadas para tecer e proteger alvenarias ou aplicar revestimentos, sendo compostas por aglomerantes e agregados, tais como a cal, a areia e o saibro, comuns nas argamassas tradicionais.

As argamassas mais usuais são as chamadas “bastardas”, que agregam além da cal e areia (proporções 1:2 ou 1:3), aditivo de solo argiloso. Oliveira (2004) atenta para a possível origem mourisca na Península Ibérica, especialmente em Portugal, destas argamassas, pois os antigos tratadistas renascentistas, “seguidores de Vitruvius”, não admitiam vestígios de materiais argilosos sequer na areia. Essas argamassas também ditas ‘de barro’ podem ser acrescidas ou não de aditivos orgânicos.

No Brasil, desde os primórdios da colonização, foi recorrente o uso da cal de conchas marinhas nas argamassas usadas nas construções e revestimentos de igrejas, fortificações, casarios e outras obras de engenharia. No século XVIII desenvolveram-se as tecnologias da cal hidráulica e dos cimentos naturais. Posteriormente, fabricou-se também cal de calcários ou dolomitos ainda de forma tradicional e também com aglomerantes hidráulicos importados. A partir de 1950, com a indústria da cal e do cimento, as antigas fábricas chamadas de “caieiras” praticamente desapareceram (Kanan 2008).

Santiago (2007) relata que para a produção da cal, as conchas eram calcinadas entre 700°C e 900°C nos fornos tipo caieiras, sendo procedentes de sambaquis ou sernambis, por sua vez, constituídos por camadas sucessivas de restos de conchas acumuladas ao longo de milhares de anos pela ocupação humana pré-histórica na zona costeira. A depender da forma sob a qual seja usada (óxido ou hidróxido) é chamada cal virgem ou cal viva (CaO) ou cal extinta [Ca(OH₂)].

A areia podia ser natural de rio, jazida ou mesmo de conchas, tijolos, rochas (mármore, dolomitos) e outras fontes. Aspectos relacionados à granulometria da areia influenciam, dentre outras questões, na cor, textura, resistência e porosidade das argamassas de cal (Kanan 2008). O uso de aditivos orgânicos, como polissacarídeos (mucilagem vegetal), proteínas (caseína do leite, clara de ovo), óleos animais (peixes), vegetais (linhaça) e gorduras (sebo), fibras vegetais (crina, estrume) são também relatados (Kanan 2008). Na região amazônica há referência ao uso de óleo de peixe, como a gurijuba, mas ainda não comprovada (Souza *et al.* 2014).

Sobre o traço mais indicado para as argamassas, Santiago (2007) destaca que Vitruvius os diferenciou quanto ao tipo de areia usada “se de jazida 1:3 (cal, areia), se de rio ou de mar, 1:2 (cal, areia)” enquanto que Faventinus e Palladius Rutilius recomendaram “sempre 1:2 (cal, areia), sem fazer distinção entre as diversas proveniências do agregado”. Porém, os três indicaram a adição de “pó cerâmico para melhorar a qualidade da argamassa, se feita com areia de rio”.

As argamassas, rebocos e acabamentos antigos à base de cal desempenham importantes funções nas alvenarias tradicionais e contribuem para a “aparência, como também para a conservação muito eficaz do edifício, pois impedem a deterioração do esqueleto, ao absorverem a agressão dos agentes atmosféricos e possibilitarem a manutenção periódica” (Iglesias Martinez *et al.* 2005 apud Kanan 2008).

Kanan (2008) reconhece que as argamassas antigas devem ser preservadas por guardarem evidências históricas e construtivas, métodos e materiais das edificações e ainda por serem tomadas como parâmetros para argamassas de reconstituição a serem empregadas na conservação das edificações.

Kanan (2008) engloba em três grupos os tipos de argamassas de cal e usos mais frequentes: (1) as de assentamento e preenchimento das alvenarias, fundações, pisos e coberturas, aplicadas fluidas para preenchimento de vazios dos núcleos das alvenarias e interligar seus elementos auxiliando na estabilidade e distribuição de cargas; (2) as de revestimento (proteção e sacrifício) que são os rebocos, rejantes e acabamentos, os quais protegem das intempéries (chuva, vento, erosão, abrasão) ‘sacrificando-se’ para resguardar o substrato; e as argamassas decorativas em estuques moldados, esculpidos e pintados, que oferecem proteção e acabamento às superfícies e elementos arquitetônicos. No caso das obras históricas de arquitetura militar, as argamassas de cal normalmente enquadram-se apenas no primeiro e segundo grupos.

2.3.3 Tijoleiras

Dos materiais mais antigos utilizados pelo homem destacam-se os tijolos, moldados em argila, inicialmente denominados de adobe e secos ao sol. Com a evolução das técnicas construtivas passaram a ser queimados e então nomeados de tijolos.

Dos povos da Antiguidade, os da Mesopotâmia, região que tinha escassez de rochas, alcançou grande desenvolvimento na produção cerâmica, favorecida pelo clima, chegando na esmaltação e técnicas de primorosa decoração. Os romanos ampliaram as técnicas com a utilização de tijolos, sendo das mais importantes a execução de arcos.

Sobre a feitura de tijolos crus, Vitruvius (2006) alertava que “não devem ser elaborados a partir de barro arenoso, que tenha pedras ou areia grossa”, pois nessas condições de início seriam “pesados, e depois, quando nas paredes forem regados pela chuva, desfazer-se-ão e dissolver-se-ão, além de que a palha não encontrará neles adesão, por causa de sua aspereza”. Em contrapartida, dizia que deveriam ser confeccionados a partir de “terra esbranquiçada abundante de argila, de terra vermelha ou ainda de vigoroso saibro. Com efeito, estas variedades apresentam consistência devido à sua textura leve, não são pesadas na obra e argamassam-se facilmente”.

Com o cozimento, o tijolo obtém resistência semelhante à de certas rochas, com a vantagem de ser fabricado em pequenas dimensões, o que facilita a execução de formas variadas nas construções. Nas fortificações, castelos e muralhas, o tijolo era muito apreciado por suas qualidades, sendo comum a utilização da argila retirada do próprio fosso de proteção do castelo para a fabricação dos tijolos (Santos 2013).

As muralhas feitas de tijolos eram reconhecidas pelos engenheiros militares por serem mais resistentes que a terra crua e não estilhaçava tanto quanto a pedra, quando golpeado por projéteis (Oliveira 2004). Das recomendações do engenheiro português Diogo da Silveira Vellozo, em seu livro “Arquitetura Militar ou Fortificação Moderna” de 1743, abstrai-se que as muralhas feitas de tijolo são “as melhores de todas por não serem sugeytas a grandes ruínas, e porque sendo batidas da artilheria fazem menos estilhaços que as de alvenaria ou de cantaria” (Vellozo 1743 *apud* Santos, 2013).

Oliveira (2004) exemplifica a Fortaleza de São José de Macapá como das mais “elegantes, no Brasil, de construção de tijolos, feita em larga escala” e indica dois possíveis motivos para sua utilização: a influência de Manuel Azevedo Fortes no seu projeto e a escassa qualidade da ‘pedra’ local em contrapartida com uma zona rica em terrenos argilosos sedimentados pelo Amazonas.

Oliveira (2004) destaca o uso dos tijolos em geral, que “mesmo não sendo empregados nas cortinas” eram comumente aplicados em abóbadas, arcos de envasaduras ou de descarga, em detalhes como das guaritas, por “facilitarem a construção de formas cilíndricas e/ou curvas”, além de aparecerem em pisos dos cômodos de uma fortaleza, em “*tijoleira* e nas circulações onde poderiam sofrer tráfego mais pesado, como o tijolo *ao alto*”.

Com a Revolução Industrial, máquinas de prensar e de extrusão foram desenvolvidas para a fabricação dos tijolos, especialmente no século XIX, seguidas pela evolução também de fornos de corrente descendente e contínua em substituição aos fornos tradicionais.

Quanto à sua aplicação, encontram-se nas mais variadas tipologias arquitetônicas, inclusive empregadas de forma aparente em diversos períodos e locais no mundo. As tijoleiras tradicionais e as industrializadas são observadas nas construções das fortificações, sendo as primeiras, em geral, remanescentes dos períodos de construção que no Brasil se dá a partir do século XVII e no XVIII enquanto as demais foram dispostas em etapas posteriores em complementações, reformas e intervenções restaurativas ao longo do século XX e já no XXI.

2.4 COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA

A colonização biológica é ocasionada pela proliferação de plantas e micro-organismos, como bactérias, cianobactérias, algas, fungos e líquens (simbiose destes dois últimos) e animais que se abrigam nas rochas (ICOMOS 2008) sendo este processo natural e frequente. Colonizar indica as condições de abrigo, desenvolvimento e multiplicação necessárias para a proliferação biológica e exclui a capacidade de um material de receber organismos vivos de forma transitória e fortuita, ou seja, implica em uma relação ecológica entre o material e os organismos colonizadores (Guillitte 1995).

Estudos sobre a propensão à biocolonização dos materiais surgem no final dos anos 1960 apresentando termos, como “biodegradação” ou “biodeterioração”, em geral, associados a situações negativas de alteração de cor e degradação física e química. Contudo, a interpretação sobre tais processos apresenta uma carga subjetiva, na medida em que, dependendo da abordagem do pesquisador, tais alterações podem ser vistas como protetivas e até esteticamente agradáveis (Guillitte 1995). Assim, a biodeterioração refere-se a qualquer alteração indesejada ou não nas propriedades de um material, devido à ação de micro-organismos e/ou a organismos pertencentes a vários grupos sistemáticos, ou pelos produtos de seu metabolismo, geralmente ao extrair nutrientes e à procura de fixação (Allsopp & Seal 1986, John 1987, Guillitte 1995, Allsopp *et al.* 2004, Mouga & Proença 2002, Videla 2003).

Mediante tais questões, Guillette (1995) propôs o termo biorreceptividade para definir as propriedades dos materiais que contribuem para o estabelecimento, ancoragem e desenvolvimento da fauna e/ou flora. Em materiais rochosos, referem-se principalmente às propriedades dos materiais expostos às condições climáticas, tais como rugosidade, porosidade e composição (Guillette 1995, Warscheid & Braams 2000, Miller *et al.* 2012).

Quanto às etapas de estabelecimento do material biológico, Guillette (1995) sugere uma gradação da biorreceptividade em três estágios: a primária, que indica o potencial do material ainda não exposto à colonização tendo ainda suas propriedades muito semelhantes ou idênticas às do seu estado inicial; a secundária, que representa uma evolução dessas propriedades sob a ação de organismos colonizadores ou outros fatores que causem mudanças; e finalmente, a biorreceptividade terciária, a qual afeta a consolidação do material.

Guillette (1995) também indica a biorreceptividade quanto aos fenômenos de ocorrência, que podem ser: extrínseca, relacionada aos depósitos exógenos, como partículas ou substâncias que não fazem parte do material (solo, poeira, partículas orgânicas) os quais modificam as condições iniciais de biorreceptividade e podem resultar em colonização; a semi-extrínseca, quando a colonização depende direta e simultaneamente das propriedades do material e dos depósitos exógenos; e a intrínseca, quando a colonização depende principalmente das propriedades do material, independentemente de contribuições exógenas.

Os três tipos de biorreceptividade e seus estágios intermediários podem ocorrer no mesmo material, de forma que Guillette (1995) indica a necessidade de estudos especializados para conceber testes de biorreceptividade como ferramenta adicional para arquitetos na proposição de projetos e nos cuidados especiais na restauração de edifícios.

Apesar das diferentes interpretações que podem ser associadas aos fenômenos de colonização biológica, a maioria dos estudos dedica-se aos impactos desses agentes no patrimônio cultural e atentam para possíveis danos químicos e físicos e de natureza histórica, socioeconômica e cultural, na medida em que tais bens são objeto de preservação intencional.

Diante disto, muitas pesquisas tem se voltado para avaliar como a biodeterioração interfere sobre os materiais em edificações e monumentos culturais (De La Torre *et al.* 1993, Santiago & Oliveira 1988, Silva & Roeser 2003, Lopes *et al.* 2003, Herrera & Videla 2004, Arcoverde & Lacerda Filho 2008, Aina *et al.* 2011, Pandey *et al.* 2011, Sharma *et al.* 2011, Costa *et al.* 2013, Sanjad *et al.* 2014, Fazio *et al.* 2015).

Coutinho *et al.* (2015) apresentam revisão da literatura do período de 1972 a 2014, que trata da biodiversidade, biodeterioração e biorreceptividade de cerâmica em tijolos, telhas e azulejos. Herrera & Videla (2004), Costa *et al.* (2013) e Sanjad *et al.* (2014) demonstram a

relação do ambiente e fatores climáticos e seu papel decisivo no tipo e extensão dos processos de biodeterioração em monumentos do patrimônio cultural a partir do intemperismo dos materiais expostos ou não, poluição natural e antropogênica. Pesquisas demonstram a propensão dos materiais construtivos que servem de substrato à micro ou macro biocolonização, especialmente argamassas, rochas e blocos cerâmicos, que se não controlados, podem ocasionar problemas para a estrutura global da edificação (Griffin *et al.* 1991).

Shirakawa *et al.* (1995) apresentam agentes fúngicos em edificações não históricas e ressaltam a importância de estudos sistemáticos de biodeterioração em argamassas e outros materiais de acabamentos para se atuar na prevenção, manutenção e restauração de revestimentos. Mecanismos bioquímicos de alteração de rochas pela ação de fungos são apresentados por De La Torre *et al.* (1993) e Pandey *et al.* (2011), estes últimos a partir de estudos em um forte localizado na Índia. A relação de fungos causadores de deterioração em superfícies de paredes pintadas e sua patogenia são apresentadas por Aina *et al.* (2011) os quais propõem técnicas protetivas para inibir ou reduzir o crescimento de micro-organismos.

Exemplo de identificação de biofilmes microbianos em pinturas murais com o isolamento e caracterização de fungos por métodos morfológicos e fisiologia alimentar, além de estirpes bacterianas são apresentados por Gorbushina *et al.* (2004). Jurado *et al.* (2014) discutem a recolonização de superfícies pintadas em fachada de igreja do século XVII em Campeche (México), especialmente das argamassas restauradas que apresentaram breve retorno biológico como reflexo das propriedades intrínsecas do material associados ao clima tropical e ausência de tratamento biocida no protocolo de restauração. Fazio *et al.* (2015) descreveram as comunidades de fungos em biofilmes em paredes de taipa, pau-a-pique e adobe em prédios históricos rurais e semiurbanos no Brasil, constatando pela análise granulométrica que os substratos com elevada fração de grossos favoreceram o acúmulo de água e matéria orgânica.

Shirakawa *et al.* (2003) padronizaram testes laboratoriais acelerados para detectar a bioreceptividade de argamassa interna ao crescimento de fungo (*C. sphaerospermum*), o mais frequente encontrado em argamassas deterioradas no estado de São Paulo (Brasil). Estudos sobre diferentes tipos de argamassas, grau de carbonatação e valores de pH e umidade relativa do ambiente, são relacionados às condições que favorecem a multiplicação microbiana (Wilimzig & Bock 1996, Shirakawa *et al.* 2003).

Manso *et al.* (2014) desenvolveram cimento de baixo pH com o intuito de aumentar a biorreceptividade enquanto Tran *et al.* (2012) identificaram a influência das propriedades

intrínsecas, como aspereza, porosidade e do pH na suscetibilidade de argamassas à biodeterioração por micro-organismos fototróficos.

Muitos estudos dedicam-se à biorreceptividade de rochas, aos impactos e alterações estéticas causadas pela biopátina, às análises das propriedades termo-húgricas e pressão mecânica por retratação e dilatação de biofilmes (Warscheid & Braams 2000, Chen *et al.* 2000, Korkanç & Savran 2015). Análises de biofilmes microbianos sobre granitos e arenitos demonstram a capacidade fúngica na produção de pigmentos e ácidos orgânicos que atuam na degradação dessas rochas sujeitas à exposição de ataques físicos, químicos e biológicos (Grbić & Vukojević 2009, Grbić *et al.* 2010). A importância da rugosidade superficial na biorreceptividade de rochas foi demonstrada por Guillitte e Dreesen (1995), Silva *et al.* (1997), Tomaselli *et al.* (2000), Prieto e Silva (2005) e Miller *et al.* (2009).

Dentre os agentes de biodeterioração mais comuns, as plantas superiores são as mais efetivas e sua ação faz-se sentir, sobretudo por meio das raízes, que se instalam preferencialmente em fissuras e junções entre materiais. O efeito das raízes resulta na expansão de fissura gerando trincas ou novas fissuras, além de ocasionar a obstrução visual, o aumento da retenção da umidade e a consequente deterioração de natureza física e química dos materiais construtivos, podendo estar ao lado ou não de outros agentes biológicos, como animais de pequeno porte (Mouga & Proença 2002). Musgos e plantas superiores apresentam efeitos químicos degradativos sobre as rochas semelhantes aos causados por líquens, porém os danos mecânicos ocasionados por musgos é menos ameaçador do que os de plantas superiores, já que os primeiros possuem rizóides enquanto as plantas apresentam raízes.

Lisci *et al.* (2003) apresentam a biodeterioração de rochas em monumentos históricos da Europa, observando modos de ocorrência, colonização, adaptação ao substrato, mecanismos de dispersão e danos por infestação de plantas. Para o controle das plantas superiores, a utilização de herbicidas que destruam ou impeçam seu crescimento permitem a programação da intervenção e um grau relativamente elevado de eficácia do resultado sendo reduzidos os efeitos secundários (Mouga & Proença 2002).

O controle químico da vegetação por meio de herbicidas pode ser eficiente considerando a eficácia sobre a espécie, dose e espectro de ação do produto, contudo deve-se observar que o uso de herbicidas deve considerar o risco das espécies tornarem-se resistentes ou perigo de aparecimento de novas espécies resistentes, sendo a rotação de produtos uma estratégia para prevenir tais problemas e devem ainda considerar a baixa toxicidade para o homem, os animais e a restante da vegetação; baixo risco de contaminação ambiental, incluindo um curto período de sobrevivência no ambiente e baixos níveis de contaminação e

de persistência na água ou no solo, não interferência com o substrato por dano estético ou químico ou por alteração via interação do substrato e herbicida, estabilidade do composto ativo, evitando efeitos laterais, compatibilidade entre vários herbicidas, uma vez que pode ser necessária a utilização de vários herbicidas, ainda que aplicados em alturas diferentes, custos e facilidade de utilização (Mouga & Proença 2002).

Trabalhos desenvolvidos em Cuba identificam a flora associada à deterioração de monumentos históricos incluindo mecanismos de dispersão e distribuição (Boza *et al.* 2008, Pérez & Roque 2008, Pérez 2010). Estudo sobre a fertilidade de resíduos da construção civil (RCC) associados às misturas para substratos de plantas é apresentado por Jesus *et al.* (2010), que demonstram o melhor desempenho para a utilização de argamassa triturada, seguido das misturas associadas a bloco cerâmico, terra vegetal e concreto. Em geral, os RCC apresentaram resultados superiores aos compostos de terra, confirmando estes materiais construtivos como potencialmente ricos em nutrientes para a fertilidade das plantas.

De maneira geral, nota-se que a maior parte dos estudos sobre biodeterioração em monumentos históricos enfoca a formação de biofilmes de micro-organismos, como as bactérias, fungos, algas e líquens, que resultam em métodos de controle específicos ou na identificação dos agentes infectantes, fato que generalizam métodos de controle e excluem outros agentes biológicos mais comuns, como a flora, cujo impacto é reconhecido como dos mais agressivos. Na Amazônia, onde a ação biológica é favorecida pelo clima tropical quente e úmido dominante, que proporciona uma rica e complexa flora e fauna, esses estudos são fundamentais, pois a falta de manutenção associada à ausência ou precariedade de mecanismos de controle biológico implica em maior celeridade na deterioração dos monumentos. Contudo, os estudos com essa abordagem ainda são restritos ainda, a exemplo de Costa *et al.* (2013) e Sanjad *et al.* (2014), ao tratarem da suscetibilidade ao intemperismo tropical de azulejos em fachadas históricas de Belém do Pará e seus produtos de alteração.

No caso das fortificações militares, o desafio da preservação é ampliado tanto por sua monumentalidade e condições de uso, quanto pela acessibilidade, características arquitetônicas, custos operacionais e financeiros. O grande número de estruturas castigadas pelo intemperismo tropical e sorvidas pela densa floresta após abandono, combates e perda de função, pode ser constatado nos documentos e cartografia histórica, inclusive aquelas que desapareceram por completo, o que reforça a importância do conhecimento desses agentes e a sua correlação com os materiais construtivos.

3 AS FORTIFICAÇÕES SELECIONADAS PARA A PESQUISA

Foram selecionadas três fortalezas da Amazônia para a realização da presente pesquisa, as FSJM, o FCPB e o RFPB e ainda as ruínas da FCB, as quais são apresentados a seguir.

3.1 FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ (FSJM)

A FSJM (Figura 3), às margens do Rio Amazonas, teve sua obra iniciada em 1764 e concluída em 1782 (Ferreira 1970, Alcântara & Alcântara 1978, Norat 1999, Ferreira 2004, Ferreira 2005, Magalhães 2006). É considerada uma das maiores e mais bem conservadas fortificações no continente, o que justifica sua ênfase na pesquisa.

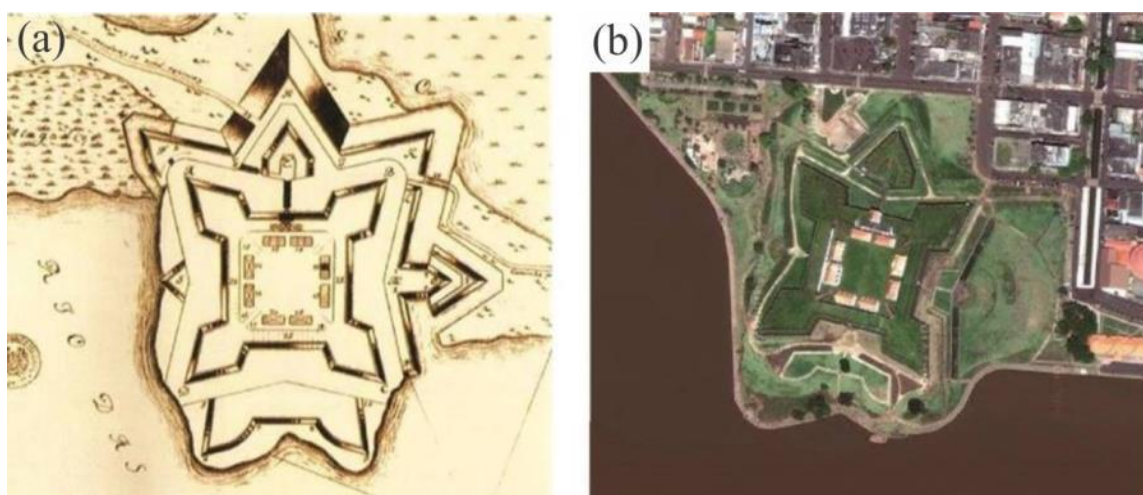


Figura 3. Fortaleza São José de Macapá. (A) Desenho de 1772, constitui o Documento n. 804 da Cartografia manuscrita do AHU. (B) Imagem de satélite, 2014.

Fonte: (b) <http://www.google.com/earth/>

Camilo (2008) informa que para atender aos apelos do Governador sobre a necessidade de se fortificar o extremo norte, a Corte enviou ao estado do Grão-Pará, em 1762, durante o governo de Manuel Bernardo de Melo e Castro, substituto de Francisco Xavier de Mendonça Furtado⁴, na época Conselheiro Ultramarino, os engenheiros Henrique João Wilkens e Henrique Antônio Gallucio, com a finalidade de projetarem e executarem uma fortificação para a Vila de Macapá, posto que o Forte de Faxina, desenhado por Gronfeld, tinha sido condenado pelo próprio engenheiro alemão, pois o seu tamanho reduzido não

⁴Governador geral do Estado do Grão-Pará e Maranhão de 1751 a 1759 e secretário de Estado da Marinha e do Ultramar entre 1760 e 1769, irmão de Sebastião José de Carvalho e Melo, o Marquês de Pombal.

oferecia a segurança necessária à vila, além de ser, por suas características, de efêmera duração.

O projeto inicial seguia o traçado de Gallucio que chegou à região na 1ª Comissão Demarcadora de Limites. Posteriormente, substituído pelo Engº Gaspar João de Groenfeld, as obras foram praticamente concluídas em 1772, porém sua inauguração oficial ocorreu apenas em 19 de março de 1782 (Alcântara & Alcântara 1978, Ferreira 2005).

Inspirado no oitavo modelo de Vauban, sua tipologia é caracterizada pelo padrão de fortaleza abaluartada de quatro faces, constituído por um núcleo principal quadrado com espessas cortinas e quatro vértices em baluartes pentagonais com 14 canhoneiras lançantes, delimitando a praça fortificada (Norat 1999, Ferreira 2005).

Para construir nas proximidades do sítio alagadiço e do lago, o traçado da fortaleza foi adaptado ao terreno que apenas “em parte era de terra firme”, aplicando-se a técnica que consistia na “elevação das muralhas sobre um engradado de madeira”, no caso acapu, conforme se observa nos projetos e confirmado em pesquisas arqueológicas empreendidas nos anos de 2003 e 2004 (Albuquerque 2008) (Figura 4).

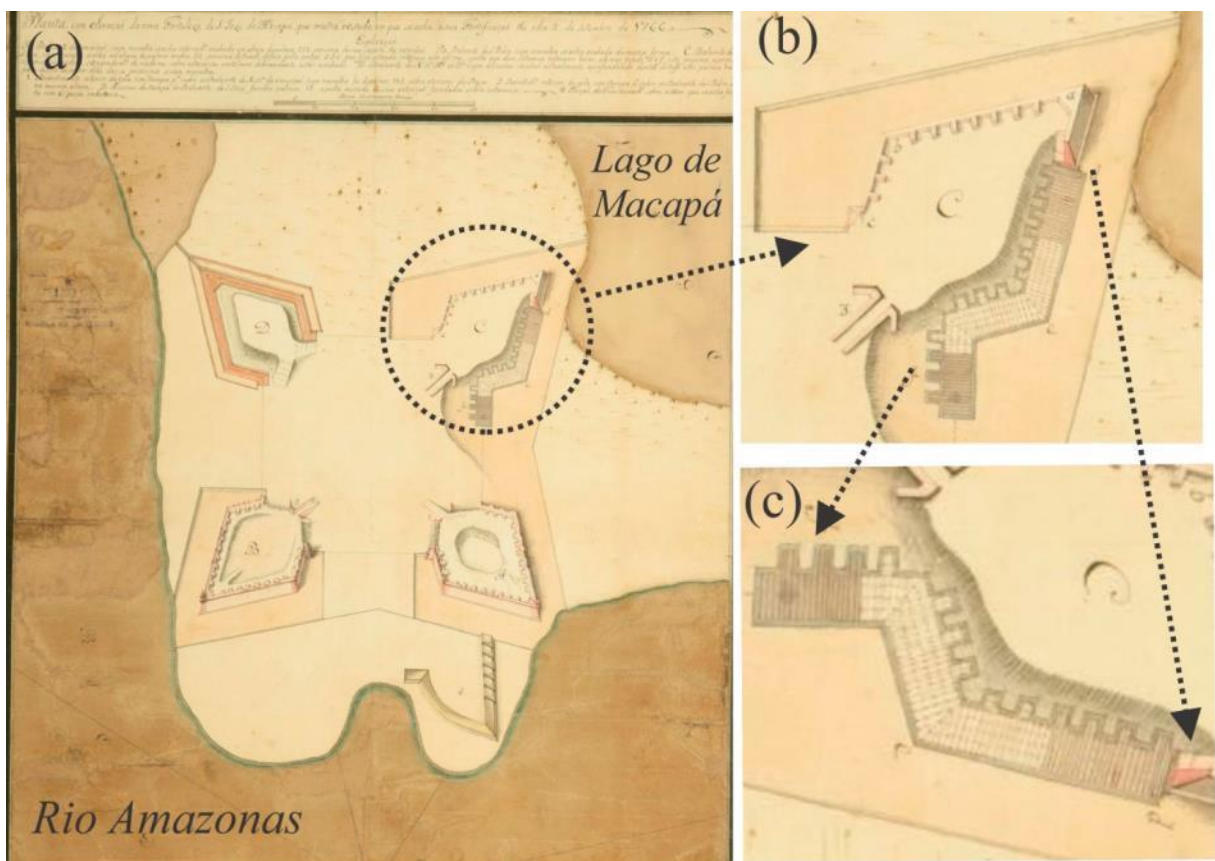


Figura 4. (a) Planta com elevação da nova Fortaleza São José de Macapá que mostra o estado da obra em 2 de setembro de 1766; (b, c) detalhe da estrutura em madeira projetada para a fundação do Baluarte de São José. Fonte: AHEX.

Sobre a procedência das rochas para a construção, Mendonça Furtado em correspondência à Sebastião José de Carvalho e Melo relata que isso não seria problema, pois existiriam em abundância na “Ilha de Santa Ana”, a qual ficaria “a menos de três léguas de distância daquela praça”, sendo suficiente para seu transporte até o canteiro de obras⁵. Em relatório sobre o estado em que se encontrava a fortificação no ano de 1854, encaminhado pelo conselheiro J. M. de Oliveira Figueiredo ao governo imperial, observa-se uma ligeira descrição das rochas ao citar que as grossas muralhas da praça “são de cantaria escura habilmente trabalhada”⁶.

Ao redor da construção principal, os elementos extramuralhas formam a contra escarpa, o fosso seco, a estrada coberta e esplanada, que desce até o nível de campanha. Todos os acessos à fortaleza apresentariam elementos de proteção, como o revelim e baluarte (oeste), redente (sul), revelim e fosso hídrico (norte) e baterias baixas (leste). O pórtico de acesso é clássico com frontão triangular. No interior, a entrada é ladeada pelas casas do corpo da guarda e calabouço e na parte superior a casa do órgão.

Na praça central ficam dispostos oito blocos, sendo dois destinados aos alojamentos dos oficiais, o prédio que congrega a capela contígua à casa do médico e casa do capelão, a casa do comandante e os armazéns de boca (mantimentos) e de guerra, o paiol e a enfermaria. Os baluartes de São Pedro, São José, Madre de Deus e Nossa Senhora da Conceição são acessados por rampas que levam aos terraplenos e apresentam além das canhoneiras, guaritas em cada vértice. Nas faces leste-sul, encontram-se as casamatas, sendo ambas constituídas de doze celas divididas ao centro pela poterna que interliga a praça fortificada e o fosso seco. A espacialização dos principais ambientes da fortaleza de Macapá encontra-se na figura 5.

⁵ Carta escrita por Mendonça Furtado a Sebastião José. Mariuá, 14 de novembro de 1755. In: Carneiro de Mendonça. *Anaes da Biblioteca e Arquivo Público do Pará: As fortificações na Amazônia*. Tomo IV, p. 282; Araújo 1998, p. 832-835.

⁶ Souza, A.F. Fortificações no Brazil – Época da respectiva fundação, motivo determinativo della, sua importância defensiva, e valor actual”. 1885. *Revista trimensal do Instituto Histórico Geographico e Etnographico do Brazil*, tomo XLVIII, parte II, 63 e 64.



Figura 5. Identificação dos elementos de proteção e edificações intra e extramuralhas que compõem o complexo fortificado da FSJM

Fonte: Base cadastral (AutoCAD) SEINF/AP, modificada

Durante o período imperial, a FSJM foi a principal estrutura de defesa da Amazônia. Com a Independência do Brasil em 1822, a estrutura passou ao esquecimento e abandono. Em 1857 e 1863 passou a fortificação de 1^a classe pelo Ministério do Exército, porém os recursos eram insuficientes para a sua manutenção. Até ser desativada em 1908, a FSJM foi usada como prisão para civis e militares. No início do século XX, a Marinha por meio do serviço de sinalização Náutica do Canal Barra Norte, implantou um farolete no baluarte N. Sr^a da Conceição, cujas bases são visíveis até a atualidade.

Com a criação do Território Federal do Amapá, em 1944, reparos urgentes foram empreendidos pelo Governador Janary Nunes com o objetivo de instalar para o uso de instituições públicas, passando a abrigar, em 1945 até 1975, a Imprensa Oficial, quando passou a ser quartel da Guarda Territorial. Em 22 de março de 1950, a FSJM foi tombada pelo atual Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

Entre 1950 e 1960, a fortificação foi utilizada como hospedagem de famílias que imigravam para Macapá, cadeia pública para presos da Justiça sob a vigilância da Guarda Territorial, Museu Territorial e centro sociocultural e de lazer, onde eram comemoradas as datas cívicas, salvas de tiro, desfiles escolares, festas e outros. Em 1964 passou ao Comando da Guarda servindo de presídio político e, a seguir, sede do Clube Social do Círculo Militar. Em 1975, a Guarda Territorial foi transformada em Polícia Militar, permanecendo na FSJM apenas o Pelotão da Banda de Música. Entre 1978/79 foi cedida pela DSPU (Patrimônio da União) quando foi elaborado o primeiro projeto de restauração da FSJM pelos arquitetos Pedro e Dora Alcântara, com pesquisa iconográfica e documental e a remoção do sinalizador. Em 1991 são realizadas prospecções arqueológicas.

Entre 1995 e 1997, o Governo do Estado inicia os projetos para obras de restauração das edificações internas cujas obras ocorrem entre 1997 e 1998. Entre 2000 e 2001 é elaborado novo projeto de urbanização e paisagismo no entorno, incluindo pesquisas arqueológicas que culminam com as obras do entorno da FSJM entre 2001 e 2003. Obras pontuais são empreendidas pelo IPHAN a partir de 2010, especialmente, em pontos externos da contraescarpa e nas abóbadas e celas da casamata leste.

3.2 FORTE DO CASTELO DO SANTO CRISTO DO PRESÉPIO DE BELÉM (FCSPB).

Às margens da Baía do Guajará, localiza-se o Forte do Castelo do Santo Cristo do Presépio de Belém, no Pará, cujas origens remontam ao século XVII, com a fundação da cidade em 12 de janeiro de 1616 por Francisco Caldeira Castelo Branco (Figura 6).



Figura 6. (a) Pormenor do mapa de Belém c. 1640, onde se observa o FC junto à praia (Marques, 2006). (b) Imagem de satélite do FCPB e seu entorno (2016).
 Fonte: <http://www.google.com/earth/>.

Inicialmente, um forte de faxina e terra, com alojamentos cobertos de palha, artilhado com doze peças, foi batizado de Forte do Presépio de Belém, em referência ao núcleo do povoado de Nossa Senhora de Belém e destinava-se a conter eventuais agressões dos indígenas e quaisquer ataques dos ingleses e holandeses que frequentavam a região (Barreto, 1958). No contexto do levante dos índios Tupinambá (1617-21), a povoação e o forte foram atacados. Danificada, essa primitiva fortificação foi substituída por outra mais sólida, de taipa de pilão e esta, por sua vez, em 1621, por uma terceira, agora com um baluarte artilhado com quatro peças, um torreão, e alojamento para 60 praças. Esta última foi batizada de Forte Castelo do Senhor Santo Cristo, ou simplesmente Forte do Santo Cristo (Barreto 1958).

Arruinada pelos combates e pelo clima, sofreu reparos em 1632 e 1712. A Carta Régia de 30 de maio de 1721 autorizou os seus reparos e de outras fortificações da região, sendo contratado para tal, em Lisboa, o pedreiro Francisco Martins. Em 1728, o Sargento-mor Engenheiro Carlos Varjão Rolim, foi trazido de São Luís do Maranhão para dirigir os trabalhos de reconstrução do forte. Novos reparos foram efetuados em 1759 e em 1773 (Garrido 1940, Barreto 1958).

No mapa da cidade de Belém de c. 1640, desenho de origem holandesa, nota-se o FCPB como uma praça baixa, com quatro canhões tendo mais acima, a muralha com mais quatro canhões encravados nas canhoneiras, o portão de entrada, ladeado por duas aberturas circulares (troneiras), um suposto baluarte (à esquerda), o fosso, e a ponte que levava ao continente (Marques 2006).

Posteriormente, a planta do FCPB de 1696 (Figura 7) apresenta a indicação da entrada (A), corpos da guarda (B) e armazéns (C), sendo um deles de forma circular no meio do pátio, praça baixa (D) e esplanadas (E). Trata-se de projeto de adequação do forte ao sistema construtivo militar de quatro baluartes, propondo-se assim a construção de mais dois baluartes (G) e (H) (Marques 2006).

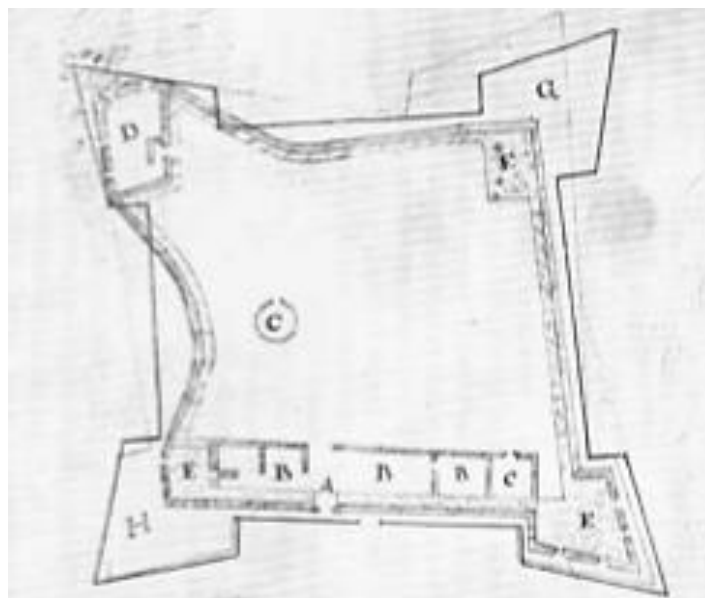


Figura 7. Planta do FCPB de 1696, com indicação de projeto de adequação do forte ao sistema construtivo militar de quatro baluartes.

Fonte: Marques 2006.

No prospecto da cidade de Belém, do Estado do Gram Para de 1756 (Figura 8) observam-se a ponta do baluarte do Forte São Pedro Nolasco e na curva da Baía do Guajará com o Rio Guamá, as muralhas do Forte do Castelo, ambos com as bandeiras da Coroa Portuguesa usada no século XVII (Figura 9).



Figura 8. Prospecto da cidade de Belém, do Estado do Gram Para de 1756 desenhada do original pelo Capitão Eng^o Johan Andre Schwebel. Fonte: Biblioteca Nacional/RJ.

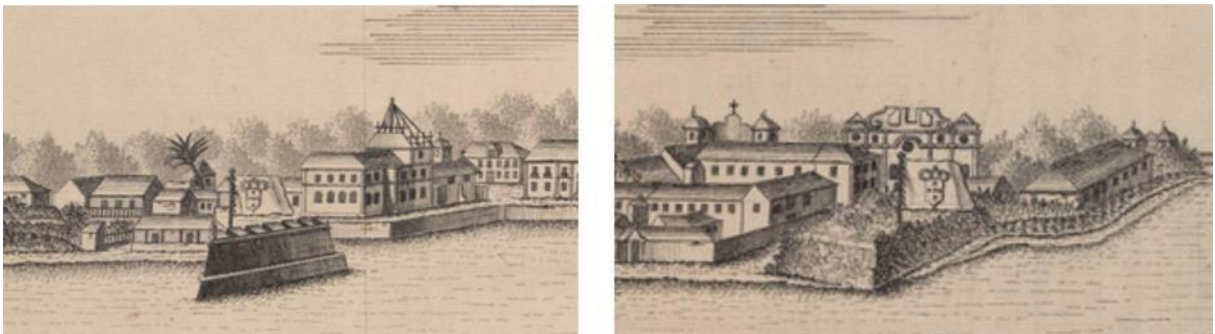


Figura 9.- Detalhe dos fortes retratados no prospecto da cidade de Belém, do Estado do Gram Para de 1756 e a bandeira real sinalizando a Coroa Portuguesa, sendo à esquerda, o Baluarte de Nossa Senhora das Mercês ou Forte São Pedro Nolasco e à direita, o Forte do Castelo.

Fonte: Biblioteca Nacional/RJ.

A planta da cidade do Pará de 1791 (Figura 10) apresenta uma Belém com seus dois núcleos urbanos iniciais já consolidados: a Cidade e a Campina. São as áreas que hoje integram o chamado Centro Histórico de Belém. O desenho permite observar com riqueza de detalhes os três fortes que se distribuem na faixa litorânea da Baía do Guajará destacados: o Forte do Castelo (1), o Baluarte de Nossa Senhora das Mercês (2) e a Bateria de Santo Antônio (3) (Norat & Costa 2016).



Figura 10. Planta da Cidade do Pará de 1791 com a indicação dos três fortes principais na faixa continental.

Fonte: Reis, 2001, modificada por Norat & Costa 2016.

O FCPB no final do século XVIII apresenta a transformação da esplanada em um terrapleno mais largo, a indicação de um possível redente na contraescarpa lateral junto ao Colégio dos Jesuítas. Profundas transformações estruturais marcam a trajetória deste forte.

Na atualidade, o FCPB integra o complexo denominado de Feliz Lusitânia cuja área foi alvo de intervenções urbanísticas associadas à restauração de grandes obras da arquitetura civil e religiosa que correspondem ao primeiro sítio de ocupação da cidade.

Constata-se assim que o próprio Forte resulta de intervenções diversas ao longo de sua existência, de um fortim de faxina de madeira e paliçada, reconstruído em taipa e, por vezes, arruinado e que chegou à atualidade com traços dessa história arquitetônica. Auxiliada pela iconografia histórica, as referências de 1728, 1753, 1808, 1831, 1834, 1870, 1871 comprovam suas transformações estruturantes que alteraram substancialmente suas formas e características arquitetônicas (Vianna 1905, Ferreira 1970, Ferreira 2004, Marques 2006, Meira Filho 2015).

Exemplo das transformações urbanas na cidade pode ser observado no mapa que representa as “defesas da Barra e Cidade do Gram-Pará” (c. 1724) o qual apresenta as principais edificações religiosas e militares do núcleo originário da cidade (Figura 11). Algumas dessas estruturas desapareceram, mas boa parte ainda persiste. As desaparecidas são

a Capela do Santo Cristo, que se localizava em frente ao FCPB (Fortaleza) e o Baluarte de Santo Antônio, às proximidades da Igreja e Convento de Santo Antônio. O baluarte de Nossa Senhora das Mercês ou Forte São Pedro Nolasco, projetado na baía, sobreviveu parcialmente, pois restam apenas as suas bases consolidadas após as pesquisas arqueológicas. Das estruturas remanescentes destacam-se o Colégio dos Jesuítas (atual Museu de Arte Sacra) e Igreja de Santo Alexandre, a Igreja da Sé de Belém e a Igreja e Convento dos Mercedários, além do próprio FCPB. Este último, porém, tem sua feição bastante diferente da que chegou aos dias de hoje: na época, apresentava dois baluartes voltados para o continente e outros dois para a baía, além da casa de pólvora circular e a praça baixa.



Figura 11. Detalhe do mapa das *defesas da Barra e Cidade do Gram-Pará* c. de 1724 com as primeiras edificações religiosas e militares, algumas remanescentes e outras desaparecidas e em destaque, o FCPB (Fortaleza).

Fonte: AHU.

A planta do Forte, assinada pelo Engenheiro Carlos Varjão Rolim, de 1728 (Figura 12) enumera os seus elementos constituintes a partir da ponte sobre o fosso seco: a porta de entrada (1) seguida pelos compartimentos laterais do corpo da guarda (2), a casa que serve de prisão acessada pelo corpo da guarda à esquerda da portada (3) e o armazém (4) acessado a partir da praça central. Um baluarte (5) voltado para o continente com seis canhoneiras e no ângulo oposta a praça baixa (6). Nesta imagem nota-se também a representação de uma rampa, seu muro de contenção e a esplanada mais larga, além de escada e pavimentação. A casa de pólvora circular não foi desenhada.

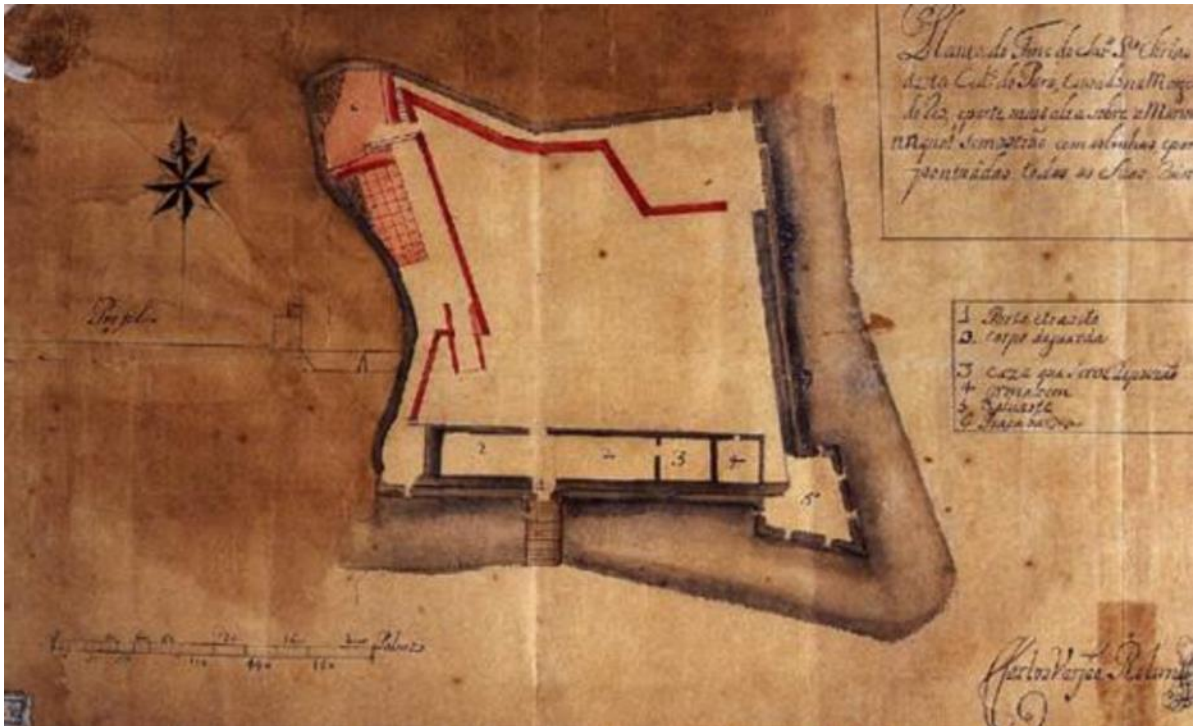


Figura 12. Planta do Forte, assinada pelo Engenheiro Carlos Varjão Rolim, de 1728.
Fonte: AHU.

À época da Independência, o FCPB foi reedificado, para ser desativado na Regência pelo Aviso Ministerial de 24 de dezembro de 1832, que extinguiu os Comandos dos Fortes, Fortins e pontos fortificados, desarmando-os. No ano seguinte, passou a ser chamado de Castelo de São Jorge, ou simplesmente Forte do Castelo (Barreto 1958, Teixeira 2010).

Durante a Cabanagem (1835-40) foi utilizado como quartel-general dos revoltosos, sendo quase arruinado na troca de tiros com a armada do mercenário inglês John Taylor, contratado pela Regência para dar fim à insurreição. Seria então reconstruído e rearmado a partir de 1850 durante o governo de Jerônimo Francisco Coelho, Presidente da Província do Pará, quando ganha novos quartéis para tropa, casa do comandante, ponte sobre o fosso, portão e uma muralha de cantaria pelo lado do rio Guamá. Em 1868 ainda estão em progresso obras complementares, estando a praça artilhada com vinte e sete peças: dois canhões Parrot, dois canhões Withworth, quatro obuses Paixhans e antigos canhões de alma lisa: doze de calibre 24, dois de 18 e cinco de 9. Novamente desarmada pelo Aviso Ministerial de 12 de dezembro de 1876 (Souza 1885), passa a abrigar o Arsenal de Guerra (Garrido 1940).

Na década de 1950 abrigava diversos serviços da 8ª Região Militar. Em 1962 foi tombada pelo Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Várias modificações se sucederam

para abrigar a sede social do Círculo Militar de Belém, que manteve um restaurante, um bar, depósitos e um salão de festas no local. Em 1978, tentou-se negociar a retirada do Círculo Militar e seu restaurante, para uma intervenção de restauração no imóvel. Em 1980, com as muralhas parcialmente destruídas, a edificação passou por obras de emergência para garantir a estabilidade do conjunto remanescente. Sob a responsabilidade do Ministério da Defesa, a partir de 1983, com recursos da Fundação Pró-Memória, o SPHAN realizou obras de conservação e restauração no FCPB.

Na reconstituição das etapas de alteração arquitetônicas que pontuam a trajetória do FCPB, organizada por Marques (2006), em relatório das pesquisas arqueológicas envidadas no último projeto de intervenção, ficam evidenciados o quanto a estrutura teve feições radicalmente remodeladas ao longo do tempo, inclusive a que resultaria desse extenso processo de pesquisas e obras (Figura 12).

Na figura 13, (a) a cópia da “Planta da Obra de Fortificação a que impropriamente chamão o Castello da Cidade do Pará”, de 1808, mostra a muralha com muitas canhoneiras, o terrapleno e suas três rampas de acesso, a casa de pólvora em forma circular, o forno das balas ardentes, e no fosso, próximo à baía, um forno duplo. Em (b) a cópia do “Plano da nova Bateria que se construiu no Lugar da antiga obra de Fortificação denominado Castello da Cidade do Pará”, datado de 1808, nota-se o arredondamento da forma da muralha e sua transformação em parapeito à barbete e o deslocamento da casa de pólvora para a parede lateral leste. Em (c), a cópia do FCPB a partir do “Plano da Bateria do Castello da Cidade do Pará em 1834” assinala a divisão interna do espaço coberto do corpo da guarda, uma pequena área quadrada com duas colunas na transição do prédio para o pátio, e a ausência do forno dentro do fosso. Em (d) a cópia da “Planta do Forte do Castelo”, datada de 1869, mostra o FCPB em que se configura uma ampliação da área coberta para o espaço junto à parede lateral voltada para o Colégio dos Jesuítas e o limite frontal do quartel, com a construção do muro presumivelmente a partir de meados do século XIX. Em (e), a cópia do desenho do FCPB do ano de 1871/AHEX com planta, fachada e dois cortes transversais, demonstra a construção de vários ambientes junto à parede lateral leste, voltada para o antigo Colégio dos Jesuítas. Em (f), a cópia do desenho “Forte do Castelo e Bateria do Arsenal de Guerra do Pará”, datado de 1900 assinala a existência de um parapeito entre o forte e o antigo Hospital Militar, e a escada no fosso que dava acesso para a baía do Guajará (Marques 2006).

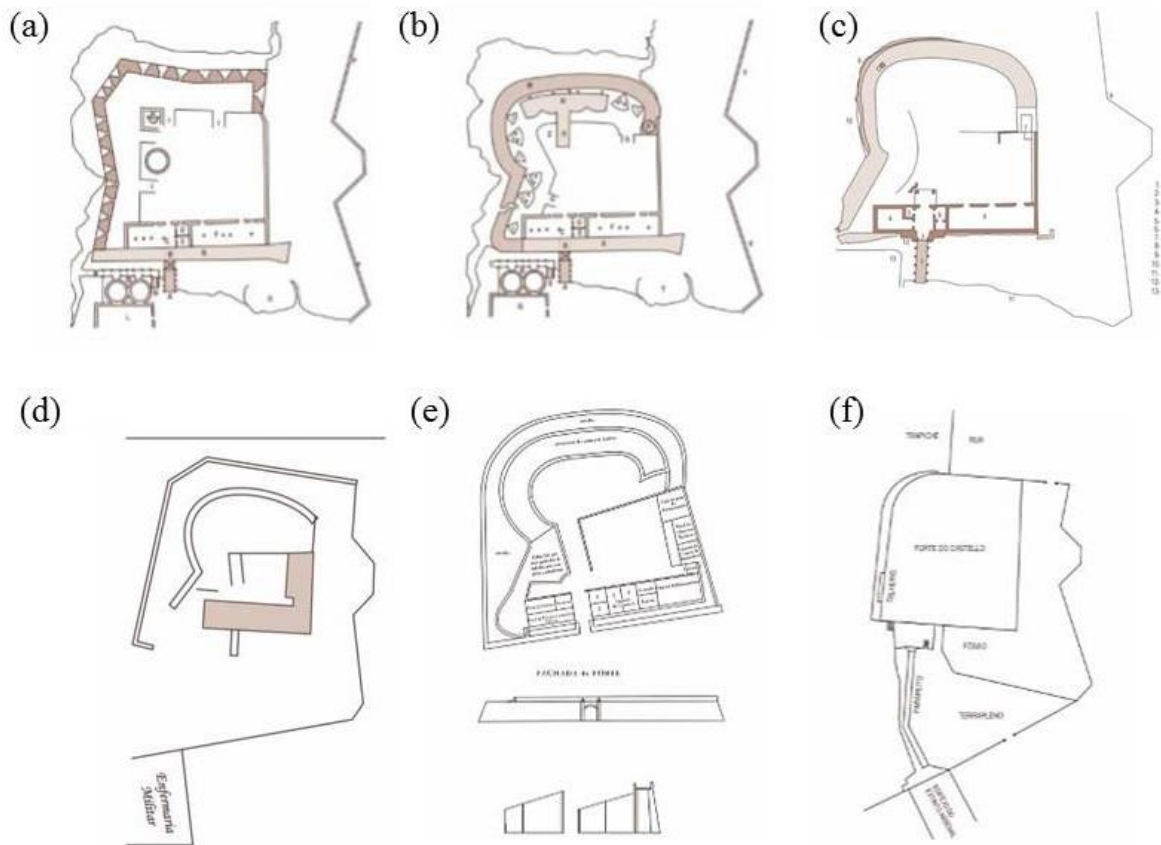


Figura 13. Transformações do FCPB segundo relatório das pesquisas arqueológicas empreendidas por Marques (2006) (adaptada).

Entre 1997 e 2002, uma ampla intervenção resultou em sua adequação como espaço museológico, ocorrendo a demolição de estruturas extemporâneas do século XX como as do restaurante do Círculo Militar, do cassino e das hospedarias de trânsito dos militares ali estabelecidas, além da demolição parcial do muro de aquartelamento do século XIX (Figura 13) e da qual foram mantidos cerca de 50 cm como testemunho e o seu portal de acesso (Norat & Costa 2016).

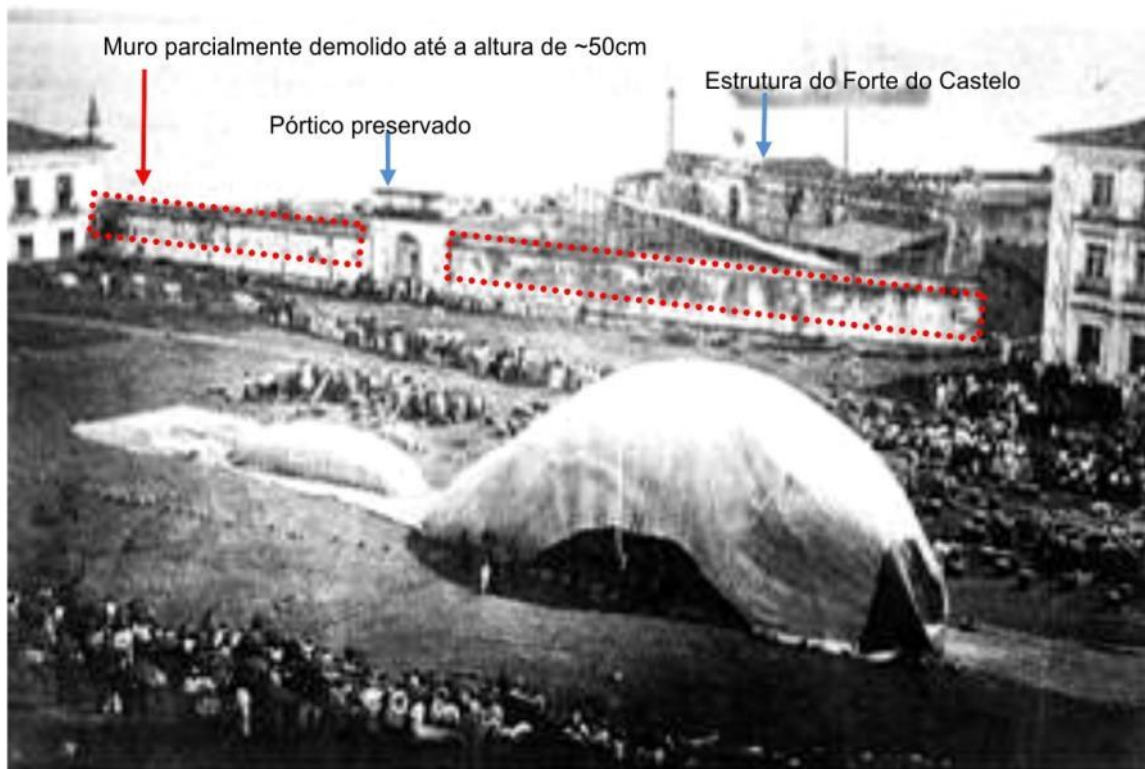


Figura 14. O muro fronteiriço construído no século XIX do FCPB e demolido parcialmente em 2002, em imagem da tentativa de ascensão de balão denominado Santa Maria de Belém, realizada por Julio Cesar Ribeiro de Souza em 12 de julho de 1884.

Fonte: <http://peryserranegra.blogspot.com.br/2010/01/aerostacaoaviacao.html> (modificada) citado por Norat & Costa 2016.

Nesse momento, a ponte de concreto extemporânea foi substituída por nova ponte executada em estrutura metálica e piso em pranchas de madeira, intencionalmente mais leve que a demolida. O projeto paisagístico buscou maior visibilidade para a estrutura e sua correlação com a cidade. Canhões e obras de arte dispostas nos gramados fronteiriços da esplanada assim como novos espaços de contemplação, belvedere e escadas executadas em estrutura metálica foram acrescentadas ao contexto paisagístico (Figura 15).



Figura 15. (a) À esquerda, o pórtico e a estrutura remanescente do muro de aquartelamento (século XIX) e, em segundo plano, a entrada principal do FCPB; (b) À direita, belvedere e escada inserida em estrutura metálica que acessa o fosso seco.

Fonte: Norat & Costa 2016.

3.3 REAL FORTE PRÍNCIPE DA BEIRA (RFPB) E FORTE CONCEIÇÃO OU BRAGANÇA (FCB)

No extremo oriental da Amazônia brasileira, encontra-se o Real Forte Príncipe da Beira (Figura 16), no município Costa Marques, em Rondônia, às margens do Rio Guaporé. Apresenta tipologia arquitetônica similar à Fortaleza de São José de Macapá e é uma das maiores fortificações portuguesas do século XVIII na Amazônia com a obra realizada entre 1776 e 1783 (Ferreira 1970, Nunes 1985, Ferreira 2004, Ferreira 2005).

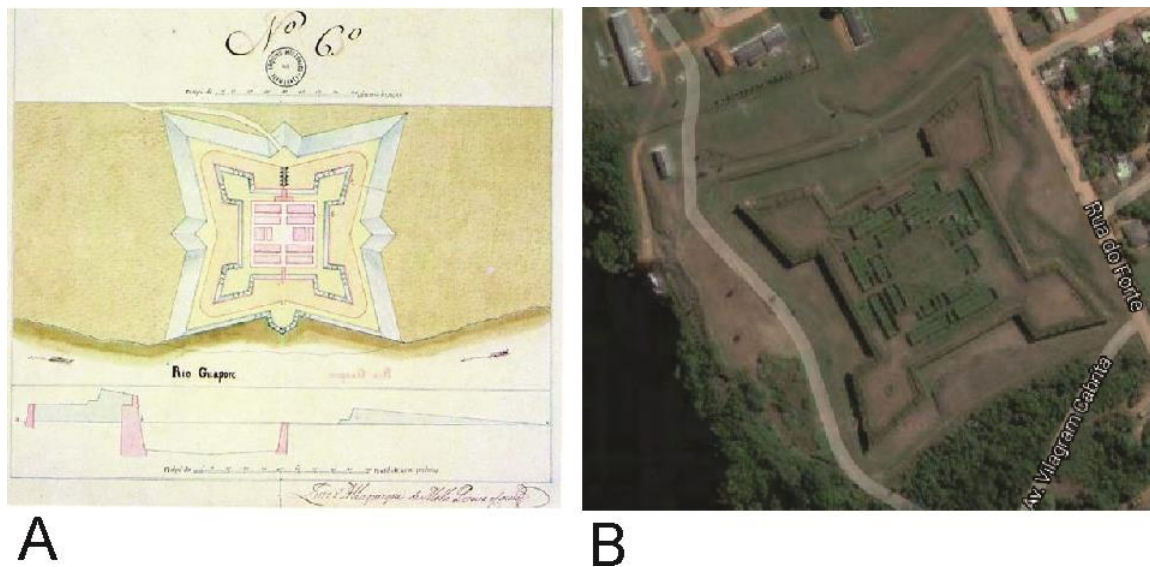


Figura 16. (A) Planta do Forte do Príncipe da Beira (Ferreira, 2005). (B) Imagem de satélite, 2014 (<http://www.google.com/earth/>).

A Fortaleza de Nossa Senhora da Conceição ou de Bragança (FCB) situa-se também às margens do Rio Guaporé e suas ruínas e outras estruturas do século XX são ainda perceptíveis, porém encontram-se abandonadas. Construída para proteger as terras das missões espanholas do Reino do Peru, sendo Governador e Capitão Geral da Capitania de Mato Grosso João Pedro da Câmara, suas obras iniciaram em 26 de setembro de 1767 e continuaram até 1769, vindo a substituir o velho fortim de Nossa Senhora da Conceição, construído em 1760. Segundo relatos históricos, o FCB continuou sendo utilizado até 1783, quando finalmente seu efetivo foi transferido para o Forte Príncipe da Beira (Marques & Leite Filho 2010).

No artigo intitulado “O Real Forte Principe da Beira e outras estruturas do Rio Guaporé: história, arquitetura e materiais construtivos” (ver item 5.4) são pormenorizados os aspectos históricos e as estruturas remanescentes dessa praça.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento dos trabalhos envolveu a pesquisa documental e bibliográfica sobre aspectos históricos e tipológicos dos objetos e sobre materiais e técnicas de caracterização; levantamento de campo com produção da cartografia arquitetônica da FSJM; levantamento fotográfico digital e de imagens termográficas por infravermelho (IRT), temperatura superficial das muralhas na FSJM, no FCPB e no RFPB; coleta de micro-organismos e vegetação na FSJM e no FCPB; coleta de materiais nas fortificações, análises laboratoriais, tratamento e interpretação dos dados obtidos.

Os materiais foram provenientes dos monumentos cuja seleção considerou sua representatividade regional, origem e contextualização histórica, condições de acessibilidade, estado de conservação, aspectos arquitetônicos e construtivos e sua disposição geográfica. De forma esquemática, os procedimentos são observados no organograma (Figura 17) e discriminadas nos itens a seguir.

Os materiais estudados foram rochas, argamassas, tijoleiras e biológicos (micro e macro) para os quais foram realizadas análises de acordo com as especificidades das amostras. Empregaram-se as técnicas de microscopia ótica, difratometria de raios-X (DRX) para a caracterização mineralógica; fluorescência de raios-X (FRX) portátil, espectrometria de absorção atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), espectrofotometria, microscopia eletrônica de varredura com sistema de energia dispersiva (MEV/EDS), para análises químicas diversas, além de granulometria a laser, ensaios de resistência à compressão, absorção em água, porosidade e densidade aparente, massa unitária pelo picnômetro de Hubbar, bem como procedimentos específicos para a identificação de micro-organismos e espécimes vegetais.

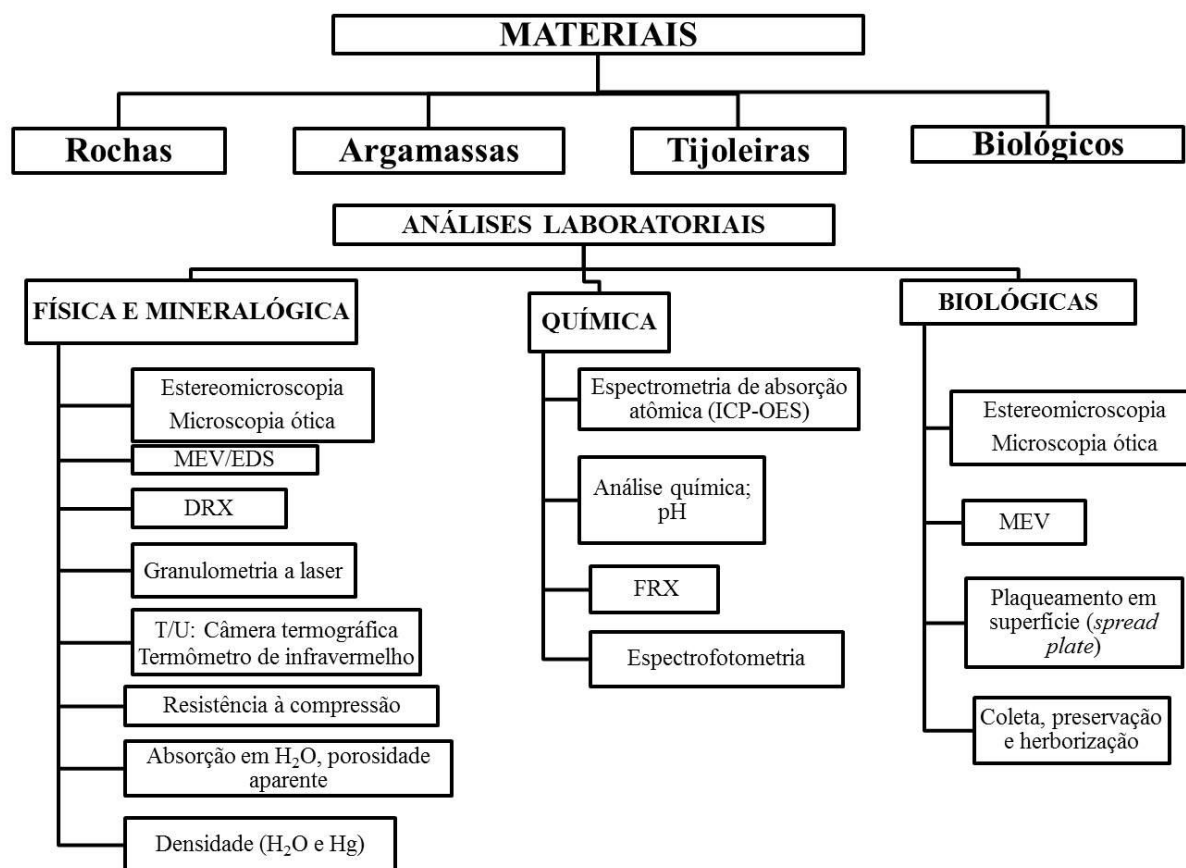


Figura 17. Organograma dos materiais e métodos para caracterização física e mineralógica, química e biológica na pesquisa.

4.1 AMOSTRAGEM

Os materiais de pesquisa foram as rochas, tijoleiras e argamassas utilizadas nas construções das fortificações pesquisados (FSJM, FCPB, RFPB). Complementarmente foram realizadas coletas no FCB e ainda em sítios de entorno e locais de possíveis proveniências de matéria-prima na FSJM e no Rio Pedreira (RP), além dos locais denominados “Paiol” e “Labirinto” no sítio do RFPB. A maior parte do material coletado foi proveniente da FSJM, sendo este o objeto principal de pesquisa. A amostragem por monumento é apresentada nas tabelas 2 a 6.

Tabela 2. Amostragem de materiais construtivos (rochas, argamassas e tijoleiras) e produtos de neoformação e inorgânicos coletada da FSJM e arredores no município de Macapá/Amapá/Brasil

FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ (FSJM - SJ)				
	Amostra	Procedência	Aplicação/características	Coleta
Nº	MATERIAL	ROCHAS		
1	SJ.R.01/13	Baluarte N. Sra. da Conceição	Base do cunhal	07/09/2013
2	SJ.R.02/13	Baluarte N. Sra. da Conceição	Cortina	07/09/2013
3	SJ.R.03/13	Baluarte Oeste/Redente	Cortina/dreno	11/09/2013
4	SJ.R.04/13	Falésia	Sítio físico	11/09/2013
5	SJ.R.05/13	Falésia	Sítio físico	11/09/2013
6	SJ.R.01/14	Muralha Acesso Principal	Muralha	31/03/2014
7	SJ.R.02/14	Baluarte N. Sra. da Conceição	Cunhal	02/04/2014
8	SJ.R.03/14	Baluarte N. Sra. da Conceição	Cunhal - bloco	02/04/2014
9	SJ.R.04/14	Baluarte N. Sra. da Conceição	Cortina	02/04/2014
10	SJ.R.05/14	Revelim	Cunhal	03/04/2014
11	SJ.R.06/14	Baluarte Madre de Deus	Cordão	03/04/2014
12	SJ.R.07/14	Baluarte Oeste/Redente	Cortina	04/04/2014
13	SJ.R.08/14	Portada principal	embasamento	04/04/2014
14	SJ.R.09/14	Baluarte são pedro	Muralha	04/04/2014
15	SJ.R.10/14	Baluarte são pedro	Muralha	04/04/2014
16	SJ.R.11/14	Baluarte N. Sra. da Conceição	Cunhal	04/04/2014
17	SJ.R.12/14	Baluarte N. Sra. da Conceição	Muralha	04/04/2014
18	SJ.R.01/15	Casamata sul - cela 10	Soleira	04/06/2015
19	SJ.R.02/15	Falésia	Sítio físico	18/07/2015
Nº	MATERIAL	ARGAMASSAS		
1	SJ.A.01/13	Casamata leste – Cela 5	Reboco (argamassa de reconstituição)	10/09/2013
2	SJ.A.02/13	Casamata Leste – Cela 9	Reboco (argamassa antiga)	10/09/2013
3	SJ.A.03/13	Casamata Sul – Cela 12	Reboco (argamassa antiga)	10/09/2013
4	SJ.A.04/13	Casamata Sul – Cela 2	Fragmento de reboco (argamassa antiga)	10/09/2013
5	SJ.A.05/13	Mureta terraplano sul	Argamassa de reconstituição (rejunte). Intervenção de 1997/1998	10/09/2013
6	SJ.A.06/13	Alvenaria da Ruína do Revelim	Argamassa antiga (reboco/assentamento)	10/09/2013
7	SJ.A.07/13	Muralha externa Baluarte N. Sr ^a da Conceição	Argamassa de assentamento (antiga)	11/09/2013
8	SJ.A.08/13	Muralha externa Baluarte N. Sr ^a da Conceição	Argamassa de assentamento (antiga ?)	11/09/2013
9	SJ.A.01/14	Muralha parede central de acesso	Reboco	31/03/2014
10	SJ.A.02/14	Muralha parede central de acesso	Argamassa de reconstituição (cimentícia)	31/03/2014
11	SJ.A.03/14	Baluarte oeste	Argamassa de assentamento (antiga)	04/04/2014
12	SJ.A.04/14	Revelim	Argamassa de assentamento	04/04/2014
13	SJ.A.05/14	Acesso principal	Argamassa de assentamento	04/04/2014
14	SJ.A.01/15	Mureta	Argamassa de assentamento	04/06/2015
15	SJ.A.02/15	Baluarte	Argamassa de reconstituição	04/06/2015
16	SJ.A.03/15	Baluarte	Argamassa de assentamento (argila amarela, cal e pedregulhos em preenchimento de muralha)	04/06/2015
17	SJ.A.04/15	Poterna norte	Argamassa de reboco com pintura	05/06/2015

(continua)

	Amostra	Procedência	Aplicação/características	Coleta
18	SJ.A.05/15	Acesso principal (casa dos sub-oficiais)	Argamassa (pedregulho) de rejunte e assentamento de piso	05/06/2015
19	SJ.A.06/15	Casa do corpo da guarda	Argamassa de rejunte e assentamento de piso	18/07/2015
20	SJ.A.07/15	Baluarte N. Srª da Conceição	Argamassa de assentamento com conchinhas (parapeito em tijoleira)	18/07/2015
21	SJ.A.08/15	Bbaluarte N. Srª da Conceição	Argamassa de assentamento (antiga?) - "amarela" mureta interna base inferior	18/07/2015
22	SJ.A.09/15	Baluarte São Pedro	Argamassa de assentamento + fragmentos de arenito interna na cortina da muralha	20/07/2015
23	SJ.A.10/15	Contra-escarpa - esplanada	Argamassa de reconstituição (intervenção IPHAN- cinza escura) h~1,10m	20/07/2015
24	SJ.A.11/15	Contra escarpa externa	Argamassa de assentamento h:0,30m (amarela + cal+pedregulho)	20/07/2015
Nº	MATERIAL	TIJOLEIRAS		
1	SJ.T.01/13	Revelim (área posterior)	Tijoleira - maciça de muralha - fragmento	07/09/2013
2	SJ.T.02/13	Área de pavimentação do entorno do Paiol	Tijoleira de piso	10/09/2013
3	SJ.T.01/14	Revelim	Tijoleira	03/04/2014
4	SJ.T.02/14	Baluarte São Pedro	Cordão	03/04/2014
5	SJ.T.03/14	Baluarte São Pedro	Cordão	03/04/2014
6	SJ.T.04/14	Baluarte oeste	muralha	04/04/2014
7	SJ.T.05/14	Revelim		04/04/2014
8	SJ.T.06/14	Baluarte N. Sra da Conceição		04/04/2014
9	SJ.T.01/15	Casamata sul - Cela 8 - tijoleiras alojadas neste ambiente	Bloco cerâmico (antigo?) - resquícios de argamassa - 22x11x11 cm (LxCxH)	04/06/2015
10	SJ.T.02/15	Casamata sul - Cela 8 - tijoleiras alojadas neste ambiente	Tijoleira recente (1998?) - fragmento partido	04/06/2015
11	SJ.T.03/15	Casamata sul - Cela 8 - tijoleiras alojadas neste ambiente	Tijoleira recente (1998?) - fragmento partido 23,5x13,5x5 cm (LxCxH)	04/06/2015
12	SJ.T.04/15	Casamata sul - Cela 8 - tijoleiras alojadas neste ambiente	Tijoleira antiga (?) 29x15x5 cm (LxCxH)	04/06/2015
13	SJ.T.05/15	Casamata sul - Cela 8 - tijoleiras alojadas neste ambiente	Fragmento de Tijoleira antiga (?)	04/06/2015
14	SJ.T.06/15	Paiol	Tijoleira de piso (paiol?) nova 19x19 cm	04/06/2015
15	SJ.T.07/15	Casa dos Sub-oficiais (entrada)	Tijoleira de piso - casa dos sub-oficiais entrada	04/06/2015
16	SJ.T.08/15	Casa dos Suboificias	Tijoleira piso	05/06/2015
Nº	MATERIAL	NEOFORMAÇÕES E INORGÂNICOS		
1	SJ.I.01/13	Pingadeira – externa - Casamata sul	Depósito/Precipitação de Carbonato	07/09/2013
2	SJ.I.02/13	Casamata leste – Cela 2	Estalactite	10/09/2013
3	SJ. I.03/13	Casamata Leste – Cela 2	Estalagmite	10/09/2013
4	SJ.I.01/14	Muralha do acesso principal	Impermeabilizante ?	01/04/2014
5	SJ.I.01/15	Casamata leste – Cela 5	Estalactite	04/06/2015
6	SJ.I.02/15	Casamata leste – Cela 5	Estalagmite	04/06/2015
7	SJ.I.03/15	Sedimento Rio Amazonas	Areia de praia	06/06/2015
8	SJ.I.04/15	Sedimento Rio Amazonas	Areia de praia	06/06/2015

Tabela 3. Amostragem de rochas coletada em sítios às margens do Rio Pedreira/Amapá

RIO PEDREIRA (RP)				
	Amostra	Procedência	Aplicação/características	Coleta
Nº	MATERIAL	ROCHAS		
1	RP.R.01/14	Comunidade Saúde	2 blocos de arenitos usados como "monumentos"	01/04/2014
2	RP.R.02/14	Comunidade Saúde	2 blocos de arenitos usados como "monumentos"	01/04/2014
3	RP.R.03/14	Rio Pedreira - Pedreira na localidade 'Vicente' - Porto das Pedras - 22N0512032 0041074	Sítio natural/pedreira	01/04/2014
4	RP.R.04/14	Arenito de rocha aflorado em pedreira acessada a partir do Porto das Pedras (Vicente)	Sítio natural/pedreira	01/04/2014

Tabela 4- Amostragem de materiais construtivos coletada no FCPB no município de Belém/Pará

FORTE DO CASTELO (FCPB - FC)				
	Amostra	Procedência	Aplicação/características	Coleta
Nº	MATERIAL	ROCHAS		
1	FC.R.01/15	Calabouço	parede de alvenaria mista h:80cm	05/10/2015
2	FC.R.02/15	Calabouço	parede de alvenaria mista	05/10/2015
3	FC.R.03/15	Calabouço	granito de parede de alvenaria mista	05/10/2015
4	FC.R.04/15	Calabouço	arenito/conglomerado de parede de alvenaria mista	05/10/2015
5	FC.R.05/15	Calabouço	parede de alvenaria mista h:46cm	05/10/2015
6	FC.R.06/15	Calabouço	parede de alvenaria mista h:25cm (gnaisse)	05/10/2015
7	FC.R.07/15	Calabouço	arenito (pedra vermelha)	05/10/2015
8	FC.R.08/15	Mureta superior interna curva	conglomerado	05/10/2015
9	FC.R.09/15	Mureta superior externa curva	mármore (?) branco	05/10/2015
10	FC.R.10/15	Mureta superior externa curva	rocha cinza com vênulas branco	19/10/2015
11	FC.R.11/15	Mureta superior externa curva	rocha verde h: 1,10m	19/10/2015
12	FC.R.12/15	Mureta superior externa curva	mármore (?) branco h:0,70m	19/10/2015
13	FC.R.13/15	Mureta superior externa curva	granito	19/10/2015
14	FC.R.14/15	Base da parede do calabouço	granito cinza (h: 0,18m)	19/10/2015
15	FC.R.14/16	Barbeta curva interna	rocha vulcânica cinza	09/05/2016
Nº	MATERIAL	ARGAMASSAS		
1	FC.A.01/14	Mureta interna	argamassa de assentamento antiga	14/02/2014
2	FC.A.01/15	Muro interno Praça	argamassa de assentamento antiga com conchinhas	05/10/2015
3	FC.A.02/15	Muro interno Praça	argamassa de assentamento (reconstituição)	05/10/2015
4	FC.A.03/15	Muro interno Praça	argamassa de assentamento (reconstituição)	05/10/2015
5	FC.A.04/15	Calabouço	argamassa de reboco antiga com conchinhas	05/10/2015
6	FC.A.05/15	Muralha externa lateral (para o fosso)	argamassa de assentamento (reconstituição) - h: 0,54m	19/10/2015

(conclusão)

Nº	MATERIAL	TIJOLEIRAS		
1	FC.T.01/15	Calabouço (parede externa)	Fragmento de tijoleira de alvenaria mista	05/10/2015
2	FC.T.02/15	Muralha externa lateral (para o fosso)	Fragmento de tijoleira de arco de dreno	05/10/2015
3	FC.T.03/15	Pavimentação	Fragmento de tijoleira de recomposição nova	19/10/2015

Tabela 5. Amostragem de materiais construtivos (rochas, argamassas, tijoleiras) e solos coletados no RFPB e sítios dos arredores tais como o Labirinto (PBL), Paiol (PBP), Forno (PBF), Portinho (PBp), Rio Guaporé (PBG) e Estrada do porto (PBE) no município de Costa Marques/Rondônia

REAL FORTE PRÍNCIPE DA BEIRA (RFPB - PB)				
	Amostra	Procedência	Aplicação/características	Coleta
Nº	MATERIAL	ROCHAS		
1	PB.R.01/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha de alvenaria de prédio interno (crosta) (h:0,60m)	29/12/2015
2	PB.R.02/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha (crosta com fungo) (h:0,62m)	29/12/2015
3	PB.R.03/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha de alvenaria de prédio interno (interior do bloco) (h:0,75m)	29/12/2015
4	PB.R.04/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha - crosta cavernosa (Perfil laterítico - sítio físico - fosso) (h:1,23m)	29/12/2015
5	PB.R.05/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha - crosta cavernosa (Perfil laterítico - sítio físico - fosso) (h:0,90m)	29/12/2015
6	PB.R.06/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha - crosta não orientada do topo da superfície	29/12/2015
7	PB.R.07/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha - bloco de crosta laterítica de alvenaria de pedra	29/12/2015
8	PBL.R.01/15	Labirinto	Rocha (crosta laterítica)	28/12/2015
9	PBL.R.02/15	Labirinto	Crosta laterítica de barranco posição natural	28/12/2015
10	PBL.S.01/15	Labirinto: caminho de acesso	Solo (formigueiro)	28/12/2015
11	PBP.R.01/15	Paiol	Rocha de parede lateral	28/12/2015
12	PBP.S.01/15	Paiol	Solo	28/12/2015
13	PBF.R.01/15	Forno	Rocha da parede interna do forno	28/12/2015
14	PBp.R.01/15	Portinho	Rocha (gabro?) tipo machadinha na área do porto (solta)	28/12/2015
15	PBG.R.01/15	Rio Guaporé	Rocha (granito)	28/12/2015
16	PBG.R.02/15	Rio Guaporé	Rocha vulcânica	28/12/2015
17	PBG.R.03/15	Rio Guaporé	Rocha (jasper)	28/12/2015
18	PBE.R.01/15	Estrada do porto	Argila do horizonte mosqueado	29/12/2015
19	PBE.R.02/15	Estrada do porto	Silte - sedimento de planície de inundação - branco coeso e cimentado	29/12/2015
20	PBE.R.03/15	Porto margem do Rio Guaporé	Rocha vulcânica (dacito pórfiro com fenocristais)	29/12/2015
Nº	MATERIAL	ARGAMASSAS		
1	PB.A.01/15	Forte Príncipe da Beira	Argamassa de ligação (h: 1,20m)	29/12/2015
2	PB.A.02/15	Forte Príncipe da Beira	Argamassa de emboço (h: 1,60m)	29/12/2015
3	PB.A.03/15	Forte Príncipe da Beira	Argamassa de reboco (h: 1,60m)	30/12/2015
4	PB.A.04/15	Forte Príncipe da Beira	Argamassa de assentamento de tijoleira (PB.T.02/15) de base de arremate	31/12/2015
5	PBF.A.01/15	Forno	Argamassa de ligação	28/12/2015

(continua)

(Conclusão)

Nº	MATERIAL	TIJOLEIRAS	
1	PB.T.01/15	Forte Príncipe da Beira	Tijoleira de acabamento acima do embasamento (h:0,58m) 29/12/2015
2	PB.T.02/15	Forte Príncipe da Beira	Tijoleira de arremate de base possivelmente recebia argamassa de reboco 29/12/2015
3	PBP.T.01/15	Paiol	Tijoleira 28/12/2015

Tabela 5. Amostragem de materiais construtivos (rochas e tijoleira) nas ruínas remanescentes do FCB no município de Costa Marques/Rondônia/Brasil

FORTALEZA N. SRª DA CONCEIÇÃO OU BRAGANÇA (FCB - FB)				
	Amostra	Procedência	Aplicação/características	Coleta
Nº	MATERIAL	ROCHAS		
1	FB.R.01/15	Forte Conceição ou Bragança	Rocha (granito)	28/12/2015
2	FB.R.02/15	Forte Conceição ou Bragança	Rocha (crosta)	28/12/2015
3	FB.R.03/15	Forte Conceição ou Bragança	Bloco de rocha (vulcânica)	28/12/2015
Nº	MATERIAL	TIJOLEIRAS		
1	FB.T.01/15	Forte Conceição ou Bragança	Tijoleira	28/12/2015

Os materiais biológicos foram coletados com o apoio de pesquisadores do Instituto de Ciências Biológicas/ICB (microorganismos e vegetação) restritos à FSJM e ao FCPB (Tabela 7).

Tabela 6. Quantitativo de materiais biológicos coletados na FSJM e no FCPB

COLETA MATERIAL BIOLÓGICO		
FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ/AP (FSJM)		
MATERIAL	Quantitativo	Coleta
Micro-organismos	1	07/09 a 11/09/2013
Micro-organismos	11	18 a 20/07/2015
Botânica	39	18 a 20/07/2015
Total Geral	51	
FORTE DO CASTELO DE BELÉM/PA (FCPB)		
MATERIAL	Quantitativo	Coleta
Micro-organismos	5	04/05/2015
Micro-organismos	9	11/05/2015
Botânica	44	13/05/2015
Total Geral	58	

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Documentação

Compreende a pesquisa bibliográfica, iconográfica e documental, relacionada aos aspectos históricos, tipológicos e arqueológicos do objeto principal e de forma complementar dos demais monumentos e ainda sobre rochas, tijoleiras e argamassas, com embasamento teórico e prático de técnicas de instrumentação e caracterização mineralógica dos materiais.

As pesquisas sobre a documentação e cartografia histórica foram realizadas no Arquivo Histórico do Estado do Pará, Arquivo Histórico do Exército (antigo Real Archivo Militar/DPHECEX/Palácio Duque de Caxias/RJ), Arquivo Nacional (AN/RJ) e nos Arquivos Histórico Ultramarino e da Torre do Tombo em Lisboa/Portugal.

4.2.2 Levantamento de campo

Corresponde às pesquisas *in loco* para fins de cadastro dos materiais componentes das muralhas e aspectos arquitetônicos dos objetos de pesquisa. Para atender aos objetos da pesquisa, o cadastro completo das muralhas foi realizado no objeto principal (FSJM) enquanto nos demais FCPB e RFPB, a documentação limitou-se ao mapeamento fotográfico.

No caso de FSJM, o método para a captura de dados para representação gráfica digital das muralhas observou as dimensões e o tempo disponível para o trabalho de campo, sendo que o procedimento abarcou a tomada de imagens com Câmera Digital Canon Rebel T3, objetiva de 18-55 mm, utilizando-se miras em papel dispostas na muralha para auxiliar o posterior tratamento das imagens, além de instrumentos auxiliares, como mangueira de nível e trenas metálica e de fibra de vidro (10m, 20m, 50m e 100m). As fotos foram retificadas e tratadas no software *Photoshop* e exportadas para o desenvolvimento do desenho do perfil das muralhas no programa *AutoCad 2016* (Figuras 18 e 19).



Figura 18. (A) Imagens digitais retificadas de trechos da muralha do Baluarte São Pedro (B) Fotomontagem das imagens retificadas para subsidiar a cartografia das muralhas.

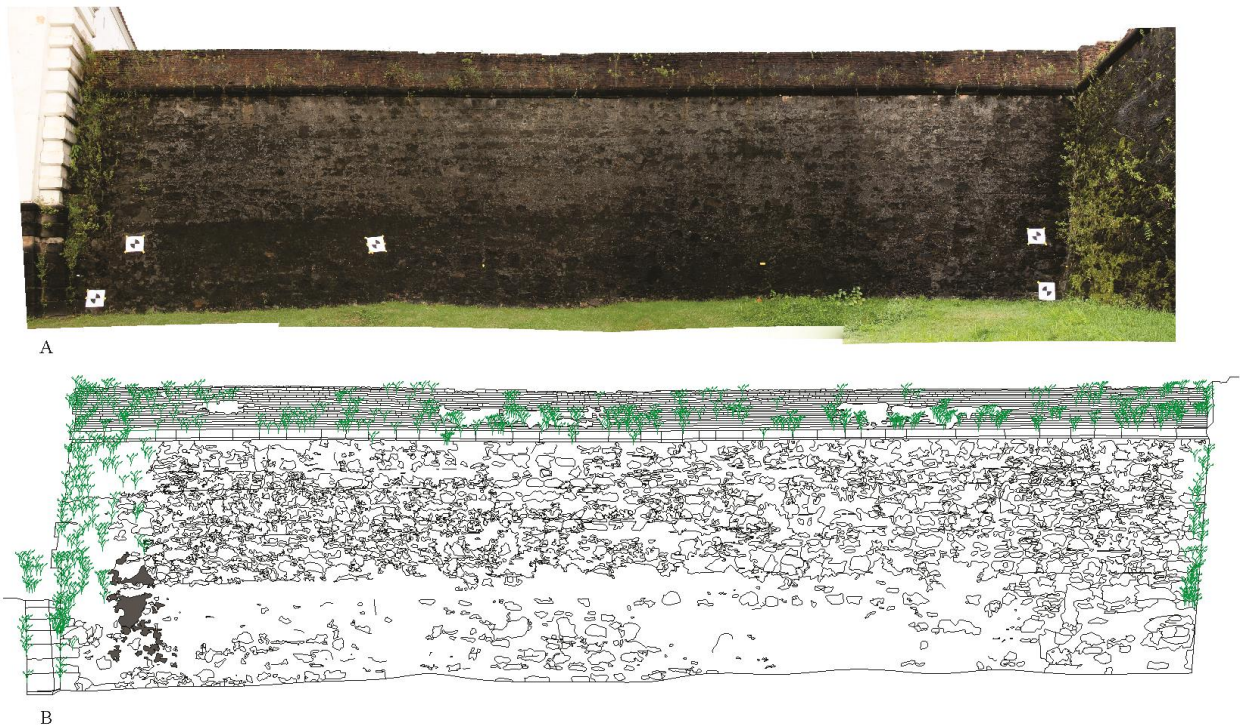


Figura 19. (A) Fotomontagem com base nas imagens digitais retificadas de trecho da muralha frontal do acesso à SJ (B) Desenho da muralha no programa *AutoCad 2016*.

A mensuração da temperatura superficial areal das paredes externas das fortificações foi realizada com câmera de infravermelho termográfica digital (IRT) fabricante Flir, modelo T300, série 48805340. Já para a medição pontual da temperatura usou-se termômetro de infravermelho modelo 830-T1 (Texto), tomando-se os dados em pontos desde a extremidade e áreas intermediárias das muralhas. Em cada ponto, as medidas ocorreram em duas alturas, sendo a temperatura T1 em $H_1 \sim 1,20\text{m}$ e para a T2 em $H_2 \sim 2,10\text{m}$. Os valores foram tratados em programa *Excel*, com a média das temperaturas coletadas, organizados em tabelas e gráficos, considerando as elevações (cortinas, faces, flancos) e orientação solar.

4.2.3 Análises

Microscopia ótica e eletrônica:

Materiais construtivos e microbiológico e foram observados sob o estereomicroscópio modelo Leica EZ4D e por microscópio ótico modelo Nikon Eclipse 80i, com câmera acoplada Nikon DS-Fi-1. Lâminas delgadas foram analisadas com auxílio de microscópio de luz transmitida/refletida modelo Leica DM2700 P acoplado com câmera fotográfica modelo Leica MC170 HD. A microscopia eletrônica de varredura (SEM) acoplado ao sistema analítico (EDS) foi realizada com equipamento Zeiss modelo LEO-1430, com EDS a seco Sirius-SD. Os fragmentos foram metalizados com Au por 2min em metalizador EMITECH K-550.

Difração de Raios X (XRD)

Empregou-se a XRD para a identificação mineralógica dos materiais construtivos e neoformações pelo método do pó em difratômetro modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60) da PANalytical, com goniômetro PW3050/60 (θ/θ), tubo de raios X cerâmico com anodo de Cu ($K\alpha_1=1,540598 \text{ \AA}$), modelo PW3373/00, foco fino longo (2200 W- 60 kV), filtro $K\beta$ de níquel. As condições instrumentais de varredura foram: 5 a $75^\circ 2\theta$, tamanho do passo $0,02^\circ 2\theta$ e tempo/passo de 10s, fenda divergente e automática e anti-espalhamento de 4° ; máscara de 10 mm; amostra em movimentação circular com frequência de 1 rotação/s para as amostras coletadas na primeira fase da pesquisa. As amostras coletadas posteriormente foram analisadas em difratômetro modelo Empyrean da PANalytical, tubos de raios-X cerâmico de anodo de Co ($K\alpha_1= 1,789010 \text{ \AA}$), foco fino longo, filtro $K\beta$ de Fe, detector PIXCEL3D-Medpix3 1x1, no modo scanning, com voltagem de 40 kV, corrente de 35mA, tamanho do passo $0,0263^\circ$ em 2θ , varredura de 4° a 75° em 2θ , tempo/passo de 30,6 s, fenda divergente: $1/4^\circ$ e anti-espalhamento: $1/2^\circ$, máscara: 10 mm.

4.2.4 Análises químicas

As argamassas “antigas” (ANM) e de reconstituição (REM) foram submetidas à ensaios para determinação do pH e das concentrações de Ca, Al, Fe, Mg, K, Na, Mn, Zn, Ba, Cr, Pb, Cu, Ni, Cd, Co e P, visando avaliar sua potencial fertilidade para o desenvolvimento de flora e fauna. A aferição do pH foi realizada por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão na solução argamassa/água na proporção 1:2,5. Depois foram pesados 10 cm³ de TFSA em copo plástico, adicionado 25 ml de água destilada e levado para mesa agitadora por 15 minutos e posterior repouso por 1h. A seguir, a leitura foi realizada em um potenciômetro com eletrodo combinado, após a calibração.

Para determinação dos elementos químicos mencionados foram pesadas 0,5 g de cada amostra na fração argila (<0,063 mm), e adicionado 10ml de HNO₃, realizado em sistema fechado por radiação de microondas (MARSX pres, CEM Corp. Matthews, NC, EUA), de acordo com o método EPA 3051 (USEPA, 1994). Os elementos foram determinados por espectrômetro com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES, Modelo Vista-MPXCCD, VARIAN), de acordo com o método Spectro (1999). Para validar os resultados empregou-se o material de referência em solo (SRM 2710, NIST, EUA). US EPA, 1994. Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, 1994. Método 3051: Digestão ácida por micro-ondas de sedimentos, lamas, solos e óleos. Washington DC, 14 pp. SPECTRO. 1999. Guia do usuário de Spectro ICP-OES.

A determinação de P foi realizada de acordo com método Embrapa (1998), com solução de Mehlich-1 (0,0125 mol L⁻¹ de H₂SO₄ e 0,050 mol L⁻¹ de HCl). Foram pesados 10g de cada amostra, adicionado 100 ml de solução de Melich 1, realizada a agitação, deixando em repouso por uma noite. Posteriormente, retirou-se 5 ml do sobrenadante, adicionando-se 5 ml de solução ácida de molibdato de amônio diluído. A leitura foi realizada em Spectrophotometer, modelo UV-M51 UV/VIS, BEL Engineering S.R.L.

Fluorescência de Raios X (XRF): foi possível realizar análises químicas semiquantitativas em equipamento portátil Brucker, Modelo S1 Turbo SD.

Análises granulométricas: para algumas amostras de material construtivo ligeiramente friável e fino (rochas e argamassas) foi utilizado o analisador de tamanho de partículas a laser, modelo Fritsch Analysette 22 MicroTec Plus, com a amostra desagregada em água destilada, a qual foram adicionadas 2 gotas de pirofosfato de Na 0,9g/l. Os dados foram tratados com o software *Mscontrol VO*.

Análise de resistência à compressão: essa análise complementar foi realizada em Máquina Universal de Ensaio Mecânicos fabricada pela AROTEC Modelo WDW 100E com velocidade de ensaio de 0,5 Mpa/s considerando a margem prevista na NBR 5739 (Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos em concreto, adaptado) (Fig. 20). As dimensões dos corpos de prova prismáticos foram limitadas face a impossibilidade de remoção de corpos maiores, sendo a área da seção de compressão e altura do corpo indicadas no Programa WinWdW Eletronic Universal Testing Machine Measure & Control System, para a elaboração dos gráficos de deformação considerando a relação $\sigma = \frac{F}{A}$.

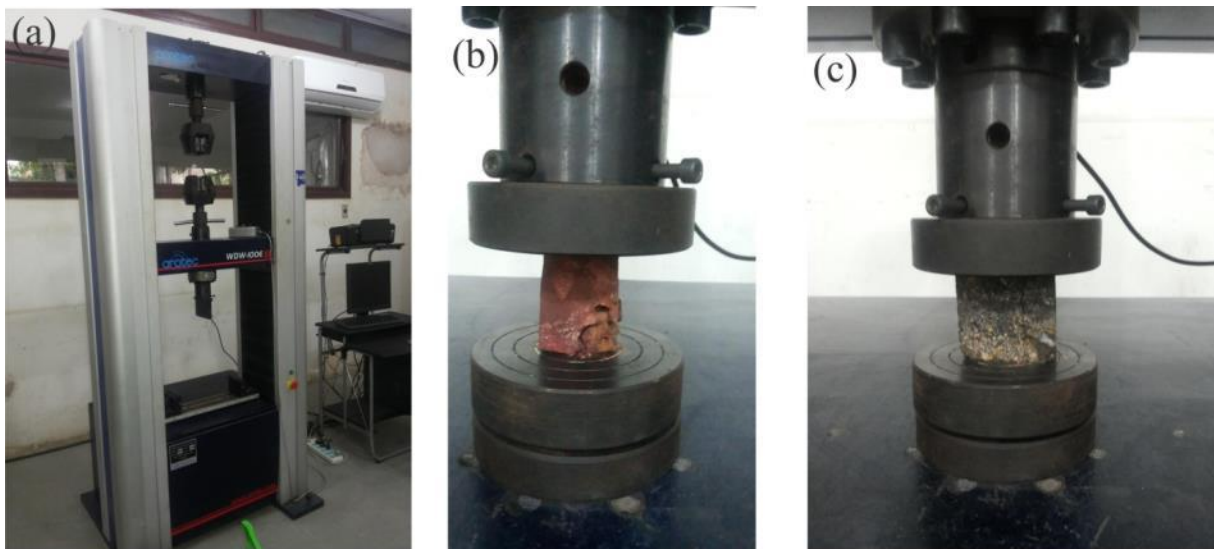


Figura 20. Ensaio de resistência à compressão em rochas realizados no Laboratório de Resistência dos Materiais/IFPA

Testes físicos: Para os ensaios físicos foram preparadas cubos em duplicatas com dimensões aproximadas de 1x1x1cm e quando necessário procurando elaborar cubos que representassem as diferentes fases de queima. Os respectivos cubos foram pesados previamente à temperatura ambiente e então secos em estufa por 24h à temperatura de 105°C de acordo com a ABNT NBR 15270-3:2005 e ABNT NBR 15310. O resfriamento das amostras realizado em dessecador, para que não absorvessem a umidade do ar.

Absorção em água (Aa): para a obtenção desse parâmetro, as amostras foram submersas em recipiente com H₂O deionizada por 24h. Após a imersão foi removido o excesso de água da superfície com auxílio de um pano e pesados novamente para se obter a massa saturada (Figura 21), segundo a equação: $Aa = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100(\%)$

Onde:

Aa- Absorção de água (%)

Mu- Massa do corpo saturado em água (g)

Ms- Massa do corpo seco (g).

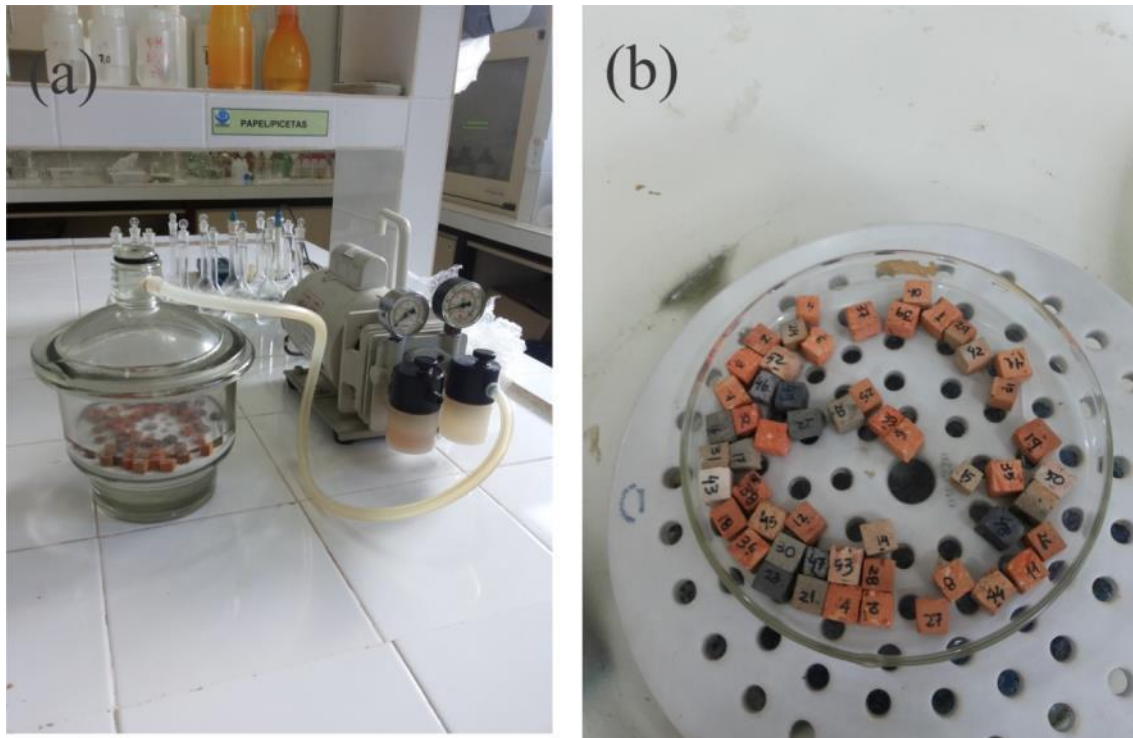


Figura 21. Etapas de ensaio para determinação da absorção em água dos corpos cerâmicos. As amostras foram cortadas nas dimensões $\sim 1\text{cm}^3$ em duplicata

Porosidade aparente (Pa): realizada a partir da norma C373-88 (ASTM), sendo as amostras previamente secas em estufa por 24h e, posteriormente, dispostas em aparato para pesagem em recipiente com água deionizada (Figura 22) e os cálculos realizados de acordo

com a equação: $Pa = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \times 100(\%)$

Onde:

Pa: Porosidade aparente (%)

Mu: Massa dos corpos cerâmicos saturados com água (g)

Ms: Massa dos corpos cerâmicos secos (g)

Mi: Massa do corpo cerâmico imerso em água (g).

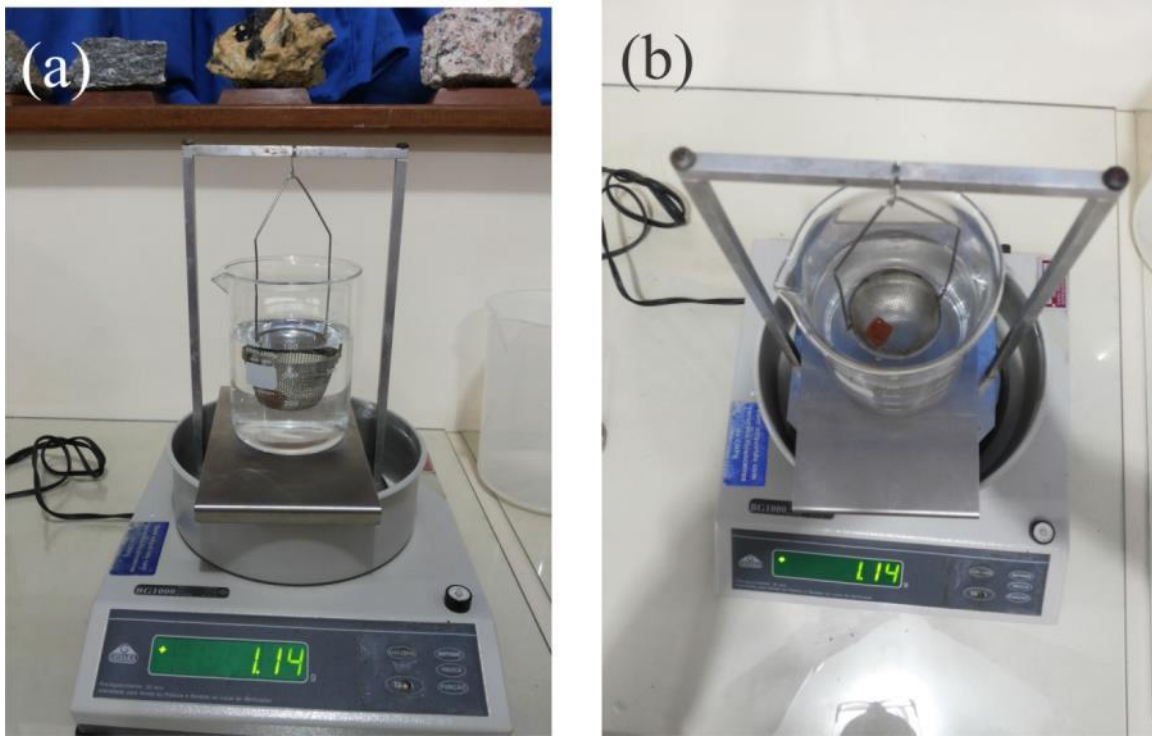


Figura 22. Aparato para pesagem das amostras de tijoleiras cerâmicas para determinação da porosidade aparente (Pa)

Densidade aparente (ρ): obtida a partir da razão entre a porosidade aparente (Pa) e absorção em água aparente (Aa), de acordo com a fórmula: $\rho = \frac{Pa}{Aa}$

Onde:

ρ : densidade aparente do corpo cerâmico;

Pa: Porosidade aparente (%);

Aa: Absorção de água aparente(%).

Densidade aparente pelo picnômetro de Hubbar (com Hg): consiste na determinação da massa da amostra a partir de sua relação com a massa unitária do Hg, de forma a complementar os parâmetros Aa, Pa e ρ , posto que a amostra preexistente poderia apresentar poros sem comunicação que não absorvessem a H₂O. A metodologia é baseado na norma italiana Normal 4/80 do *Instituto Centrale per il Restauro* (ICR) apresentada por Sanjad (2007) e utilizada no NTPR/UFBA (Figura 23).

Os cálculos seguiram a fórmula: $Pu = \frac{M3}{M1-M2+M3} x PHg$

Onde:

ρ_a = Densidade aparente da amostra (g/cm³)

ρ_{Hg} = Densidade do mercúrio (200,59 g/cm³)

M₁ = Massa do picnômetro cheio de mercúrio (g)

M₂ = Massa do picnômetro com mercúrio + amostra (g)

M₃ = Massa da amostra seca (g)



Figura 22. Etapas do ensaio para determinação da densidade em Hg pelo picnômetro de Hubbar

Identificação do material biológico

Micro-organismos

Para o ensaio, utilizou-se a técnica de *spread plate*, em que alíquotas de 0,1 ml de H₂O foram transferidas para placas de Petri estéreis adicionando-se o meio Ágar Sabouraud com cloranfenicol, em duplicata. Após crescimento, as colônias foram isoladas em Ágar Sabouraud e efetuou-se o isolamento e a identificação dos fungos filamentosos. A identificação foi realizada com base nas características macroscópicas e microestruturais das colônias segundo parâmetros da taxonomia clássica e bibliografia especializada (Ellis 1976, Domsch *et al.* 1980, Barnet & Hunter 1998, Lacaz *et al.* 1998, Hoog *et al.* 2011) (Figura 24).



Figura 23. (a, b) Coletas *in loco* de materiais biológicos no Forte do Castelo. (c) Cultura de fungos da Fortaleza de São José de Macapá

Flora vascular

A identificação das espécies (caracteres vegetativos e reprodutivos) observou critérios de acordo com o tipo e locais de ocorrência, época de floração e frutificação (Angiospermas), hábito e luminosidade. Para as angiospermas baseou-se na comparação com material herborizado depositado nos herbários MG, IAN, MFS e HF, bem como os tipos e fotos dos tipos quando possível (Lorenzi 2000, 2008, 2012, Boza *et al.* 2008, Mouga & Proença 2002, Perez 2010, Perez & Roque 2008) para plantas daninhas e biodeteriorantes. A identificação das pteridófitas foi feita por especialistas e mediante a consulta de chaves analíticas e literaturas especializadas (Labiak & Prado 2005a, 2005b, Prado 2005, Prado & Labiak 2005, Prado & Moran 2008, Costa & Pietrobon 2010, Prado 2015, Maciel 2016), bem como para plantas daninhas (Lorenzi 2000, 2008). O sistema de classificação adotado obedece aos de Smith *et al.* (2006) para samambaias. Para as Licófitas, Kramer & Green (1990), e para Monilófitas, Smith *et al.* (2006), além de consulta de material-tipo e fotos do tipo nos herbários, obras princeps e CINB (validade das espécies) (Figura 25).



Figura 24. Coletas de espécimes vegetais no FCPB

4.2.5 Tratamento e interpretação dos dados

Esta etapa consistiu na interpretação dos dados coletados e resultados obtidos nas análises laboratoriais e trabalhos de campo. De acordo com a natureza dos dados foram utilizados desenhos, gráficos, tabelas e mapas dos parâmetros físico-químicos e biológicos, que foram organizados de acordo com os materiais (orgânicos e inorgânicos) e os monumentos de origem, direcionados na produção dos artigos da tese apresentados e em outros subsequentes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões foram organizados em quatro artigos, sendo três submetidos, os quais abordam os materiais construtivos com a caracterização química, física e mineralógica associados à análise de possíveis procedências de matérias primas e logística de produção para as rochas (FSJM) e tijoleiras cerâmicas (FSJM, RCPB, RFPB, FCB), além de composição mineralógica e química para investigação de fertilidade potencial de argamassas antigas e de reconstituição associada aos aspectos de comportamento das muralhas à temperatura/insolação e dos materiais construtivos à colonização biológica. O quarto artigo versa especificamente sobre as estruturas do RFPB e demais elementos encontrados no sítio, com a apresentação dos materiais construtivos e sua aplicação nas estruturas arquitetônicas e em correlação ao contexto geológico e possíveis fontes de matérias-primas.

5.1. ARTIGO 1: CHARACTERIZATION, USING AND PROVENANCE OF BUILDING ROCKS USED IN THE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ FORTRESS (BRAZIL)

imail - Received resubmission MATERIALSCHAR_2017_220

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ui=2&ik=bf3ed70cef&view=pt&q=...>



Rose Norat <rosenorat2@gmail.com>

Received resubmission MATERIALSCHAR_2017_220

1 mensagem

Materials Characterization <Evisesupport@elsevier.com>

30 de janeiro de 2017 03:59

Responder a: mtl@elsevier.com

Para: rosenorat2@gmail.com

This message was sent automatically. Please do not reply.

Ref: MATERIALSCHAR_2017_220

Title: Characterization, usage and provenance of building rocks in São José de Macapá Fortress (Brazil).

Journal: Materials Characterization

Dear Mrs. Norat,

Thank you for resubmitting your manuscript for consideration for publication in Materials Characterization. Your resubmission was received in good order.

To track the status of your manuscript, please log into EVISE® http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?JRNL_ACR=MATERIALSCHAR and go to 'My Submissions'.

We appreciate your resubmitting your work to this journal.

Kind regards,

Materials Characterization

Have questions or need assistance?

For further assistance, please visit our [Customer Support](#) site. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about EVISE® via interactive tutorials. You can also talk 24/5 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email.

Copyright © 2017 Elsevier B.V. | [Privacy Policy](#)

Elsevier B.V., Radarweg 29, 1043 NX Amsterdam, The Netherlands, Reg. No. 33156677.

Characterization, usage and provenance of building rocks in São José de Macapá Fortress (Brazil).

ABSTRACT

The use of rocks in historical buildings is common, and in the Amazon it is characterized by the use of local materials, resistant to bioclimatic conditions due to tropical weathering. Recognizing that conservation involves the knowledge of materials, this paper aims to characterize the rocks in Portuguese fortifications in the Amazon, according to its architectural application and analysis of possible provenance of raw materials, having as a case study the São José de Macapá Fortress in Amapá, Brazil, dating from the 18th century. For this purpose, mapping, a mesoscopic analysis was carried out, with associated analytical techniques of optical microscopy, SEM/EDS, XRD and XRF, and resistance to compression. The results indicated the use of sedimentary rocks and lateritic crusts from the geological environment of the building site and its surroundings, classified, in the same geological context, as ferruginized sandstones (FSS), ferruginous lateritic crusts (FLC) and iron stones (IST) all of them composed predominantly of goethite, hematite, quartz and kaolinite. Due to its compositional, textural and physical characteristics, it was possible to correlate its uses and functions in the fortress, indicating a formal and constructive logic that suited the raw material available to the builders.

Keywords: ferruginized sandstones; lateritic crusts; iron stone; fortification; Amazon.

1. INTRODUCTION

The use of rocks for shelter goes back to the occupation of caves, where man sought protection and began his development as a group, or family, leaving marks in the form of paintings and rock engravings. Later, the rocks were used in dolmens, menhirs, circular arrangements and megaliths, and their application gradually expanded, concurrently with the acquired abilities of man to extract and treat this material. Egyptians, Greeks and Romans, among others, developed techniques and art works whose language traversed time and space. In the American continent, pre-Columbian civilizations employed the rocks in monumental constructions, as structural material as well as decoration and intricate stonework, as observed in Inca, Mayan and Aztec's constructions.

In Brazil, since the 17th century, the works of civil, religious and military architecture used the rocks one of the main building materials in foundations, masonry, decorative elements and pavements. Among that heritage, the fortifications are marks of military engineering and were fundamental to the European settlements and consolidation the current territorial limits of the country. According to the dimensions and typologies of these structures received compatible names such as a fortresses, forts, blockhouses or batteries.

In the Amazon, despite the difficulties in establishing a presence during the first few centuries, arrivals were not limited to Portuguese colonizers, but also English, French, Dutch and Irish. They built defensive structures in more perishable materials such as palisades and rammed earth technique, which were later destroyed in conflicts or abandoned in the middle of the forest. Rebuilt by the Portuguese in more resistant materials, the fortresses spread across the region, in some cases on the same site chosen by their predecessors. Over time, these fortifications also disappeared of the landscape or turned into very fragile ruins, referenced in historical documents and bibliographies on the subject [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12].

Only in Belém (northern amazon region, Pará state), at least twelve structures among forts and batteries were built, and others defense systems were designed, but nowadays only

the Fort of Presépio or Castelo (1616) and the exposed foundations of the Bulwark of Nossa Senhora das Mercês or Fort São Pedro Nolasco (1665) remain [13]. Other important fortifications still exist to a greater or lesser degree of preservation in the Amazon, such as: the Fortress of São José, in Macapá city, Amapá state (1764-1782); the Fort Santo Antônio, in Gurupá, Pará state (1623); the Fort of Santo Antônio dos Pauxis (1698-1854) and the remaining of Fort of Serra da Escama (1910) in Óbidos, also in Pará; in the extreme west of the region, on the banks of the Guaporé river, the Real Fort Príncipe da Beira (1776-1783) and the ruins of Fort Conceição or Bragança (1759-1772), in Costa Marques, Rondônia. There are references to the ruins of the Fort São Joaquim (1778) on the left bank of Branco river, in Bonfim, Roraima. In Amapá, the remains of the Cumaú Fort, of English origin (1632), later rebuilt by the Portuguese as Fort Santo Antônio of Macapá or the Cumaú (1688) were the subject of recent studies for its preservation.

To build these fortifications, the builders resorted to the use of local raw materials, when available and suitable, or materials brought from other sources, made accessible by the exploration of colonies, or through commerce. Nevertheless, the search for materials at the site or in its immediate surroundings, helped the construction process, in economic and transportation aspects, and by speeding up completion of the project.

It is also known that the exposure of materials to climatic conditions and weathering is related to a greater or lesser extent in the adequacy or monument's susceptibility, once built. In the Amazon, such issues are not negligible due to the rigorous tropical climate that favors the chemical and biochemical weathering of materials permanently exposed. Technological research on historical constructions has been increasing in recent years with the characterization of materials and the products of their deterioration, including biological ones.

In the study of rocks, their composition, origin and degradation related to the intensity of weathering are observed [14,15,16,17]. For instance the geotechnical properties of limestone from the Mokattam quarry (Egypt) influence the conservation of monuments [18]. In the study of Egypt's pyramids, temples, and tombs, Klem & Klem [19] analyzed the clays of the Nile river and rocks most commonly used in such constructions, indicating sources, quarrying systems and transport logistics.

Other research investigated the origin of raw materials as a function of the properties of stones, also with the purpose of helping preservation and restoration of historical monuments, understanding extractive relations and commercial routes [20,21,22,23,24,25].

Bidner *et al.* [26] describe the rocks and their alterations under temperate climatic conditions, such as the Kufstein fortress, Tyrol (Austria), especially in the interior, where high humidity conditions developed. Starting from the diagnosis, they suggest a program for its restoration and reuse. The limestones of the Gate of the King of Belgrade Fortress (Serbia) covered by black crusts with deposition of salts that caused its deterioration were object of an investigation [27]. Such surveys, although in conditions very different from those found in the Amazon, have in common the analysis carried out in fortifications.

In Brazil, research about historical materials also expanded, but in reference to military architecture mostly focussed on aspects of historiography, archeology, urbanism, typology and construction systems, with particular attention to historical iconography, including in Portuguese works [1,2,3,4,5,6,8,9,13,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39]. Oliveira [33] in survey about the Salvador (Bahia state) fortifications describe the materials and fortresses's constructive systems, such as the use of earth, gravel, lime, mortars, oils, ceramic, stone and wood, and the design aspects of fortified structures.

Hence, research on construction materials in Portuguese fortifications in the Amazon opens new perspectives of approach that aim to increase knowledge of such monuments and their conservation. As a case study, the São José of Macapá Fortress (FSJM) was chosen for represents one of the most important monument where the use of surroundings's rocks are

dominant, which are in great balance with the prevailing tropical climatic conditions, lending to monument a largest surviving. Therefore, the research developed with the objective of mapping and characterizing the different rocks used in the fortress's construction, as well as evaluating possible sources of these raw materials. Located at the Amazon river mouth, on the coast of Amapá state, the fortress construction begun in 1764 and its inauguration took place in 1782, although not all exterior structures were completed [4,5,8,9,37].

The south-southeast of Amapá region, where the fortress is located, is geologically constituted by rocks equivalent to Barreiras Formation of Miocenic Age, later lateritized with the development of immature profiles, in which cavernous and/or columnar ferroaluminous crusts are frequent. Within this package, dark brown rusty sandstone and iron stones are also found very often, appearing on the ground or exposed in ravines of rivers and road cuts [40].

On these geological units Quaternary sediments, represented by clays and sands, were deposited in the form of mud's plains, fluvial and marine bars, that form great part of the region landscape around the fortress and the Macapá city [40,41,42,43,44,45,46]. In addition to the rocks, the building materials in the fortress include ceramic bricks and laying and plastering mortars on masonry (Fig. 1).

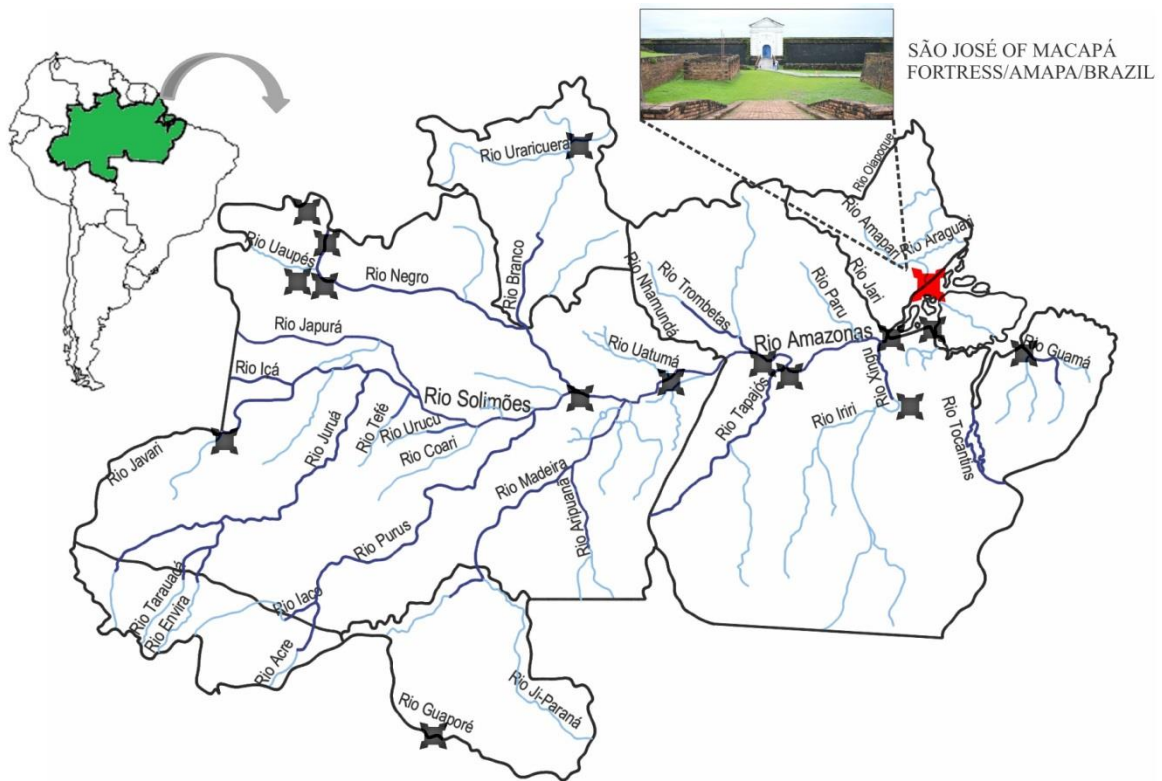


Fig. 1. Simplified map of Brazil northern region highlighting the main rivers of the Amazon river basin and the location of some established fortifications, most of which disappeared. The Fortress of São José de Macapá (FSJM) is located in the eastern portion of the region, practically under the equator, olden time a strategic defense zone to Amazon entrance through the Amazon river.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Mapping

Initially, a general survey of the entire fortress was made both internally and in its external structures and surroundings, including the bank of Amazon river. Next, the detail mapping was developed, in which the different types of building materials were recognized visually, including the rocks, which are the most abundant materials used both in the foundations and in the structural walls. On this occasion, it was verified that part of constructive rocks arise nearby and at the same time served as substrate of the fortress.

2.2. Sampling

For the present study, rocks samples of the FSJM were collected that represented all types rocks identified during the mapping and, at the same time, different functions in the walls and the construction site. Similarly, rocks samples were collected on the banks of the Pedreira river and sites near its banks, identified as possible FSJM's sources raw material. The location, function and provenance of each sample collected shows in Table 1. The collecting processes was carried out in four periods of fieldwork between 2013 and 2015, considering the criteria of representativeness, application, accessibility, minimal visual impact and integrity of the monument (Fig. 2).

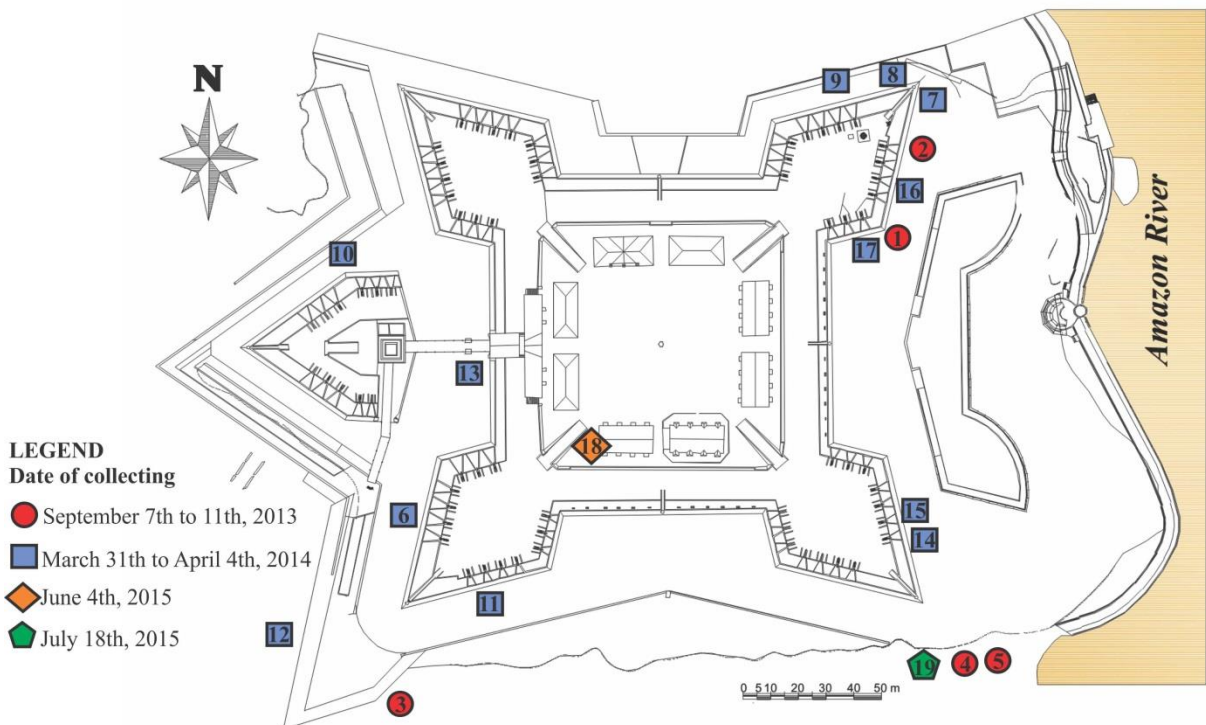


Fig. 2. Location of the samples rocks collected in the FSJM to evaluate its importance in the fortress structure and its relation with environment of immediate surroundings (Source: SEINF/GEA, modified).

Table 1
Identification of rock samples collected in FSJM and its immediate surroundings.

Samples	Collection places [N° on mapping or geographic coordinates]	Function	Collection date
SJ.R.01/13	Bulwark of N. Sra. da Conceição [1]	Base corner	Sep 7 th 2013
SJ.R.02/13	Bulwark of N. Sra. da Conceição [2]	Wall	Sep 8 th 2013
SJ.R.03/13	West wall covered road [3]	Wall/drain	Sep 11 th 2013
SJ.R.04/13	Cliff [4]	Deployment site	Sep 11 th 2013
SJ.R.05/13	Cliff [5]	Deployment site	Sep 11 th 2013
SJ.R.01/14	Wall of the main entrance [6]	Wall	Mar 31 th 2014
SJ.R.02/14	Bulwark of N. Sra. da Conceição [7]	Corner	Apr 2 th 2014
SJ.R.03/14	Bulwark of N. Sra. da Conceição [8]	Corner/stone block	Apr 2 th 2014
SJ.R.04/14	Bulwark of N. Sra. da Conceição [9]	Wall	Apr 2 th 2014
SJ.R.05/14	Ravelin [10]	Corner	Apr 3 th 2014
SJ.R.06/14	Bulwark of Madre de Deus [11]	Cord line of wall	Apr 3 th 2014
SJ.R.07/14	West wall covered road [12]	Wall	Apr 3 th 2014
SJ.R.08/14	Main entrance [13]	Base line	Apr 3 th 2014
SJ.R.09/14	Bulwark of São Pedro [14]	Wall	Apr 4 th 2014
SJ.R.10/14	Bulwark of São Pedro [15]	Wall	Apr 4 th 2014
SJ.R.11/14	Bulwark of N. Sra. da Conceição [16]	Corner	Apr 4 th 2014
SJ.R.12/14	Bulwark of N. Sra. da Conceição [17]	Wall	Apr 4 th 2014
SJ.R.01/15	South bunker - cell 10 [18]	Sill	Jun 4 th 2015
SJ.R.02/15	Cliff [19]	Deployment site	Jul 18 th 2015
RP.R.01/14	Pedreira River/ Community <i>Saúde</i> [22N0510721 0042889]	sandstone block arranged as monument	Apr 1 th 2014
RP.R.02/14	Pedreira River/ Community <i>Saúde</i> [22N0510721 0042889]	sandstone block arranged as monument	Apr 1 th 2014
RP.R.03/14	Pedreira River/ Quarry in <i>Vicente</i> locality, Porto das Pedras [22N0512857 0040310]	Natural site/quarry	Apr 1 th 2014
RP.R.04/14	Pedreira River/ Quarry in <i>Vicente</i> locality, Porto das Pedras [22N0512857 0040310]	Natural site/quarry	Apr 1 th 2014

2.3. Analysis

For identification and characterization of rocks used in the FSJM, the following analytical techniques were used after the mesoscopic descriptions and image capture by conventional digital camera. For description of samples color Munsell Soil Color Charts 2000, Revised Washable Edition were used.

Optical and electronic microscopy: rocks fragments observed under the stereomicroscope and thin slides were analyzed using a Leica DM2700 P model transmitted/reflected light microscope coupled with a Leica MC170 HD camera. Then small amounts of these rocks were selected and observed by scanning electron microscopy (SEM) coupled to the analytical system (EDS), concentrating mainly on iron oxyhydroxides and quartz grain morphology. Zeiss model LEO-1430 was used for this purpose, with dry Sirius-SD for EDS. The fragments were metallized with Au for 2 minutes in metallizer EMITECH K-550.

X-Ray Diffraction (XRD): XRD was used to complement the mineralogical identifications and thus to strengthen the rocks characterization, the majority formed by microcrystalline minerals that difficult to characterize by optical microscopy. In this opportunity used a PANalytical X'Pert PRO MPD model (PW 3040/60) with goniometer PW3050/60 (θ/θ), diffractometer with a ceramic X-ray tube (Cu anode, $K\alpha_1 = 1.540598 \text{ \AA}$), Kb Ni filter, and an X'celerator PSD (Position-Sensitive Detector), long fine focus (2200 W-60 kV). Instrumental conditions used are as follows: scan range 5 to $75^\circ 2\theta$, tube power of 40 kV and 30 mA, step size of 0.02° , time/step of 10s, divergence slit and anti-scattering 4° , mask of 10 mm and sample spinning with a rotation time of 1.0 s.

X-Ray Fluorescence (XRF): It was possible to carry out semi quantitative chemical analysis to strengthen the identification of building rocks. For this purpose the Bruker portable equipment, Model S1 Turbo SD was used.

Granulometric analysis: for some samples of slightly friable and fine constructive material, the techniques of granulometric characterization by laser were also used. For this purpose, the Fritsch Analysette 22 MicroTec Plus laser particle size analyzer was used, with the sample disaggregated in distilled water, to which 2 drops of Na pyrophosphate 0.9 g/l. The data were treated with the Mscontrol VO software.

Compressive strength analysis: This complementary analysis was performed in a Universal Mechanical Testing Machine manufactured by AROTEC Model WDW 100E with a test speed of 0.5 MPa/s considering the margin provided for in NBR 5739 (Compression tests of cylindrical concrete specimens, adapted). The dimensions of prismatic specimens were limited in view of the impossibility of removing larger bodies, being the compression area of the section and body height indicated in the WinWdW Eletronic Universal Testing Machine Measure considering the relationship $\sigma = \frac{F}{A}$.

3. RESULTS

3.1. The rocks of Fortress of São José de Macapá (FSJM)

Three main types of constructive rocks were identified in the FSJM: ferruginized sandstones (FSS), the most frequent rocks, followed by ferroaluminous lateritic crusts (FLC) and, limitedly, iron stones (IST). These rocks were used in specific structural and architectural functions in the fortress as a whole.

The ferruginized sandstones predominate in the composition of the walls from the base to the cord line that separates them from the parapet. But other rocks and ceramic bricks compose the mixed masonry of the walls (Fig. 3a). Carefully faceted FSS were used in bulwarks corner, in addition to most of walls's cord line, in this case in semi-cylindrical form (Fig. 3b). The semi-spherical bases of the sentinel boxes executed in FSS have in recent years whitewashed (detail of Fig. 3b). Lateritic crusts, worked or not, were seated on the walls and eventually on rare blocks in corners bastions, always associated with other rocky or non-rocky materials (Fig. 3d,e). The iron stones were used locally in the walls, generally in settlement

layers or dispersed in irregular filling spaces left by other materials, as a form of recycling (Fig. 3c).



Fig. 3. (a) Face of São Pedro bulwark, exemplifying the FSS predominance from the base, corners bastions until the cord line of walls and to a lesser extent scale FLC's and IST's blocks, ceramic bricks and remnants of laying mortars; (b) Detail of base sentinel boxes (whitewashed), cord line and faceted corners in FSS; (c) IST on the walls; (d) Nodular/cavernous FLC on the walls; (e) columnar/tubular FLC (lying down) on faces of N.Sr^a da Conceição bulwark.

Ferruginized Sandstones (FSS)

The ferruginized sandstones, distinguished by their reddish black (10R2.5/1) color, by its high density and heavy cohesion. They are the most frequent rocks and with more elaborate use in FSJM (Fig. 3b; Fig. 4a,b). In addition, they often have cross-stratification and plane-parallel (perhaps because the block size limits the total view of the crusade) (Fig. 4 c,d).

The color locally can be very dusky red (10R2.5/2) to dusky red (10R3/2) and still yellowish brown (10YR5/8). These sandstones are generally composed of grains in the medium to coarse sand fraction. Some samples presented 4.91% clay fraction, 40.72% silt and 56% sand. The grains are composed of quartz cemented by iron oxyhydroxides, in which goethite is the dominant mineral phase. Hematite forms the red variations and Al-goethite the ochres (Fig. 4).

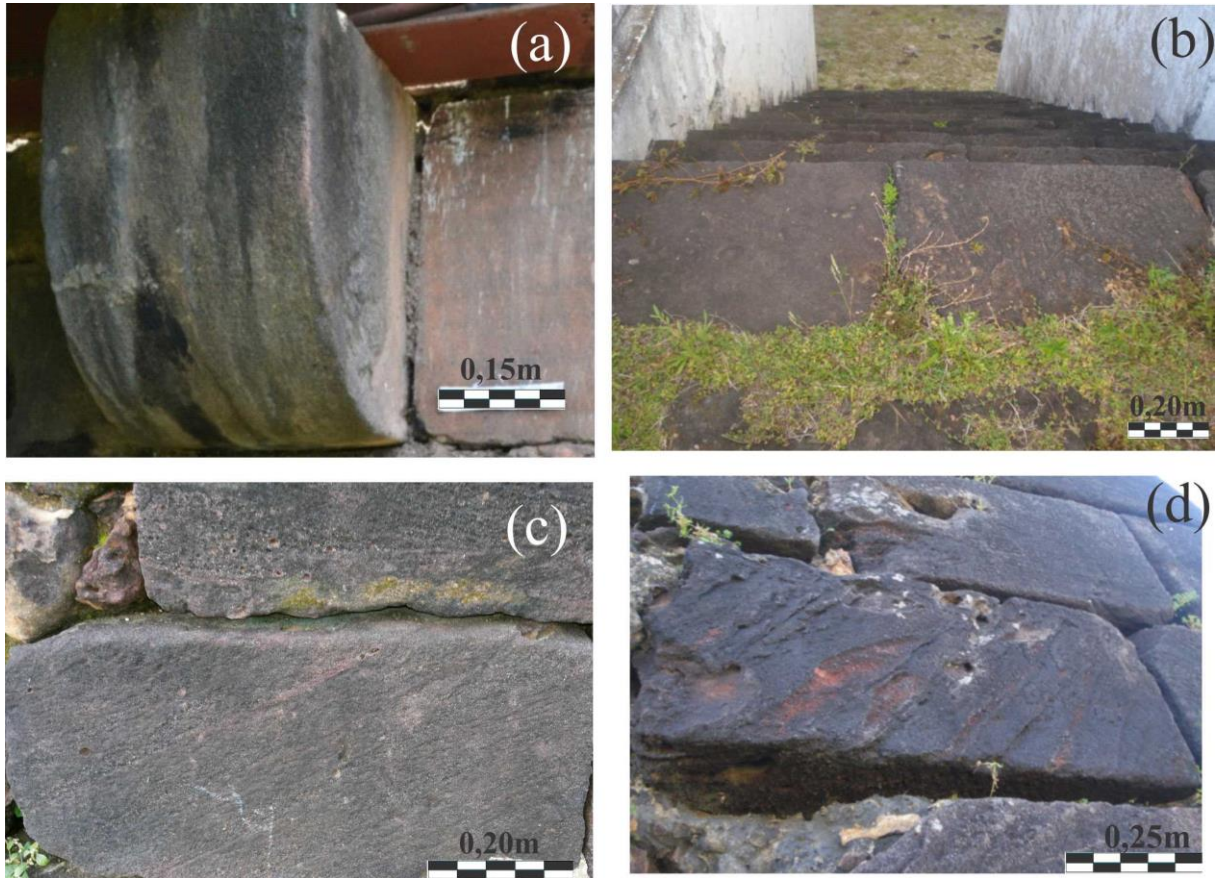


Fig. 4. Several other FSS applications in FSJM: (a) drawbridge console; (B) staircase steps; (C, d) examples of stonework blocks of FSS in corners where the characteristic color and cross-stratification are very evident.

The quartz grains, besides to being very variable in size, have irregular to very irregular contours, besides being fractured (Fig. 5 e Fig. 6). They are usually monocrystalline and occupy around 45% by volume, while cement 55% of the rock (Fig. 5 a, b). However there are other examples of FSS where the grains can reach about 80% or more in relation to the rock cement (Fig. 5 e, f). The cement consists of oxyhydroxides of Fe (Fig. 5 e Fig. 6).

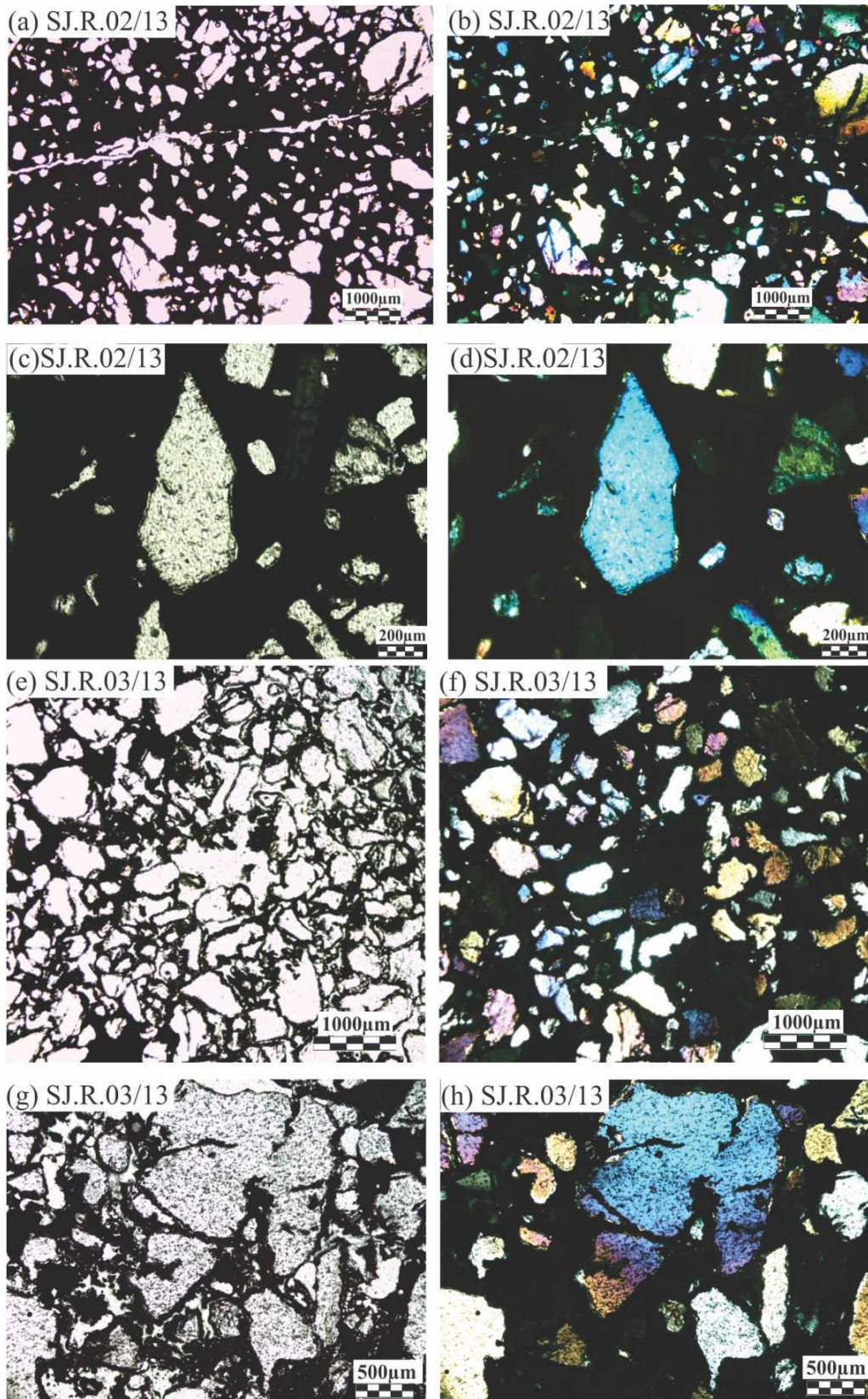


Fig. 5. Photomicrographs of FSS samples SJ.R.02/13 (bulwark of N. Sr^a da Conceição) and SJ.R.03/13 (west wall covered road): (a, b) General texture of SJ.R.02/13 sample in which quartz grains are cemented by oxyhydroxides of Fe; (c, d) detail of angular grain of SJ.R.02/13 sample; (e, f) General texture of SJ.R.03/13 sample where poorly selected quartz grains occur predominantly in ferruginized cement; (g, h) Detail of SJ.R.03/13 sample in which observed grain of quartz quite fractured and with corrosion borders. (a, c, e, g: natural light; b, d, f, h: crossed nicols).

The XRD analysis (Fig. 6) shows that iron oxyhydroxides are mainly represented by ferric goethite, whose composition is confirmed by SEM/EDS analysis (Fig. 7). However hematite is also present, confirmed by XRD (Fig. 6), although much less. Zircon grains were observed (Fig. 7a, b) which is a common heavy mineral in sandstones in general. The ferric goethite, besides occurring as a cement, develops aureoles around quartz grains (Fig. 7 d, f), when showing in microcrystalline form, forming botryoidal aggregates (Fig. 8). Although not identified by XRD, kaolinite can be inferred by the SEM / EDS analyzes included in goethite cement and still in quartz grain (Fig. 7), but of rare occurrence.

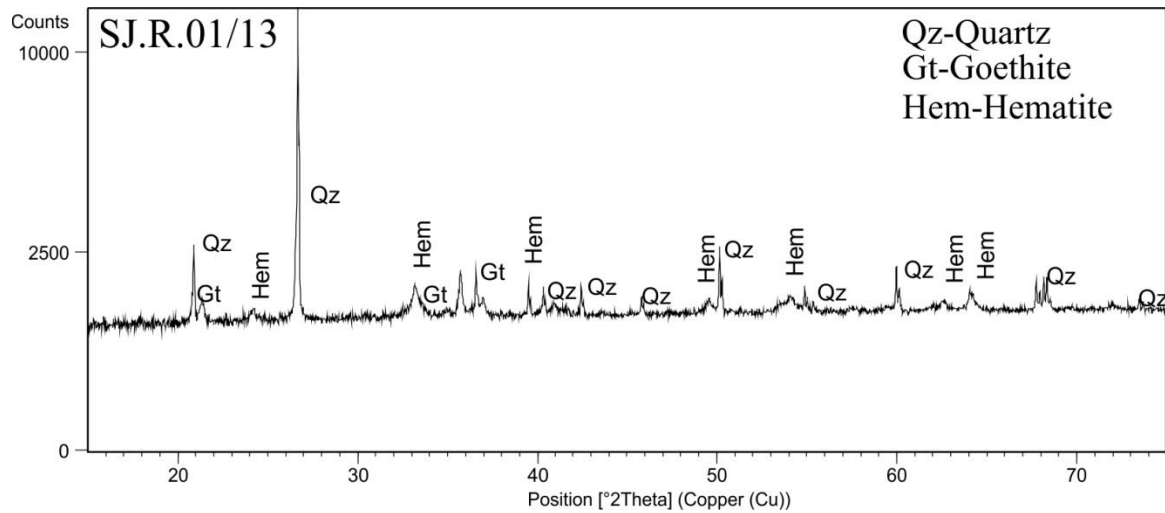


Fig.6. X-ray diffraction (XRD) of FSS (SJ.R.01/13 sample: base of corner of N. Sra. da Conceição bulwark) in which the domain of quartz, goethite and restricted hematite.

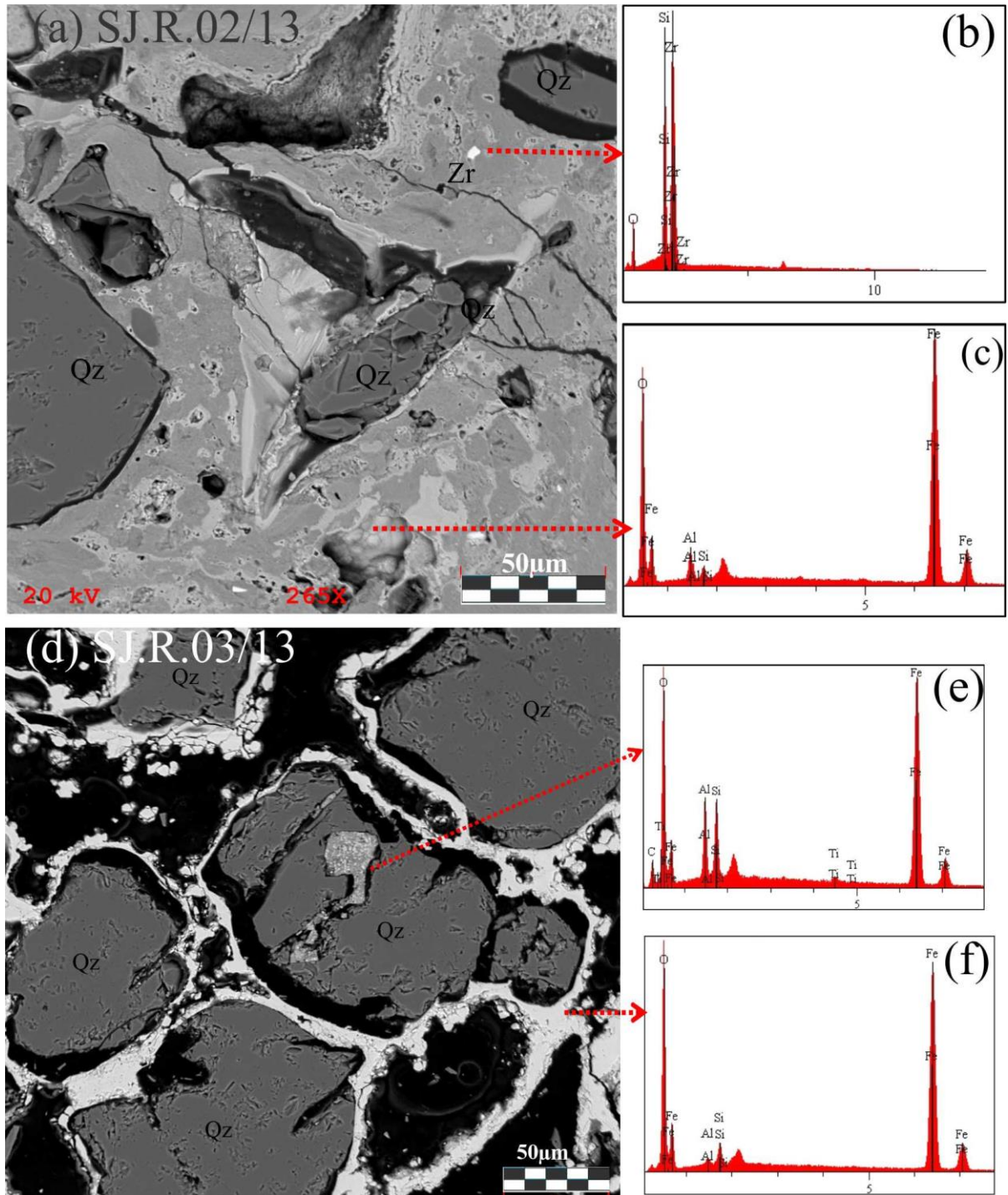


Fig. 7. Photomicrographs obtained by MEV and chemical analysis by EDS of small aliquots subtracted from ferruginized sandstone of FSJM: in the SJ.R.02/13 sample (a) quartz grains (Qz) immersed in Fe hydroxide cement, the ferric goethite, possibly containing relics of kaolinite in goethite cement (c), besides rare zircon grain (Zr) (b). Below, aliquot of SJ.R.03/13 sample (d) showing quartz grains (Qz) with corrosion edges of Fe hydroxide (ferric goethite) and possible relict inclusion of kaolinite in quartz grain (e).

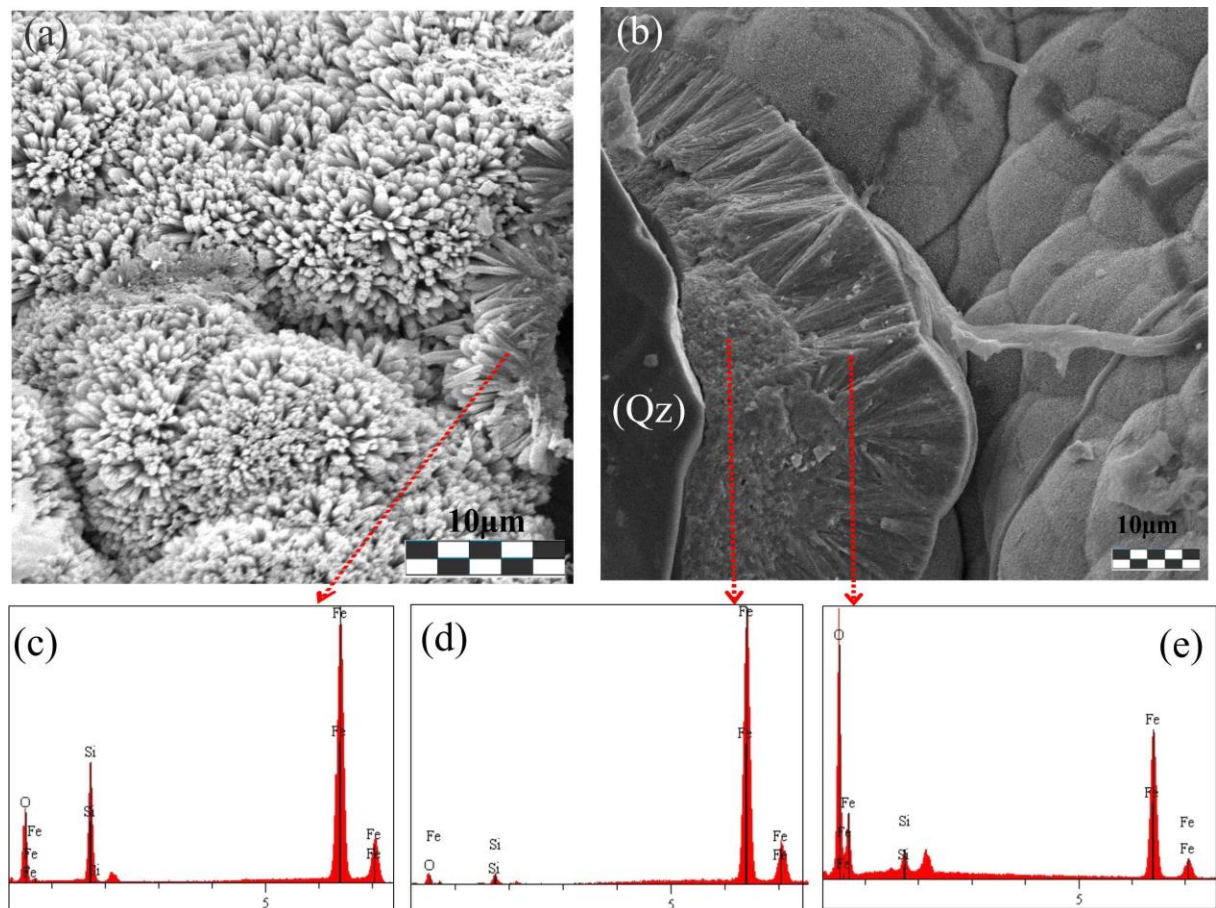


Fig. 8. Photomicrographs obtained by MEV and chemical analysis by EDS of small aliquots subtracted from ferruginized sandstone of FSJM (SJ.R.05/14 sample: corner of Ravelin): (a, c) microcrystalline ferric goethite forming botryoidal aggregates; (b, d, e) quartz grain (Qz) surrounded by ferric goethite aureole with acicular micro crystals forming botryoidal aggregates.

Ferroaluminous Lateritic Crusts (FLC)

Ferroaluminous lateritic crusts (FLC) are represented by reddish brown material, preserving the mottled, cohesive, cavernous, columnar aspect and also nodular and tubular characteristics (Fig. 9). They are comparable to ferroaluminous lateritic crusts described by Costa [40] and found in immature lateritic profiles. In fact, similar lateritic profile to these crusts were identified in this work at the surroundings of the FSJM, next to ravines of the Amazon river, also described by Guerra [41], and still locally in the base of the fortress. In particular, the crust is formed by nodules and/or concretions of reddish brown Fe-oxhydroxides cemented by a clayey material with a yellowish to lilac coloration.

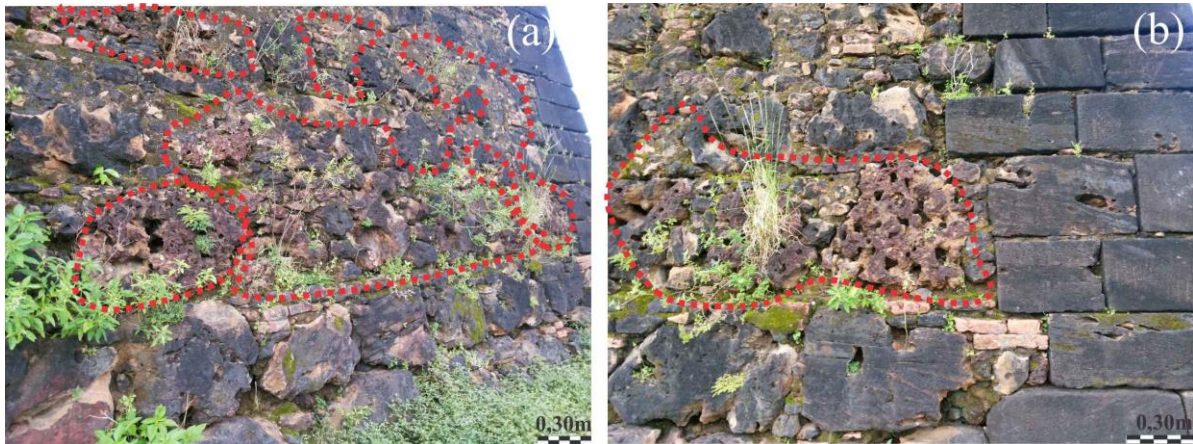


Fig. 9. (a) Blocks of FLC dispersed on face of the N. Sr^a. da Conceição bulwark highlighted in the contour; (b) Columnar/tubular crusts arranged horizontally in the same bastion.

As an example of this FLC crust the SJ.R.12/14 sample (face of N. Sr^a da Conceição bulwark), presents as silt, with cavernous aspect, microporous and colors by weak red (10R4/4) with residual portions of light red mottled clay (10R6/6), brownish yellow (10YR6/6) and whitish very pale brown (10YR8/3).

In the microscope characterization, the FLC is microporous and consists of quartz grains of varying size (<1mm to 2mm Ø), angular, irregular, with corroded edges, immersed in cement (> 60% by volume) of oxyhydroxides of Fe and subalternly clay minerals (Fig. 10).

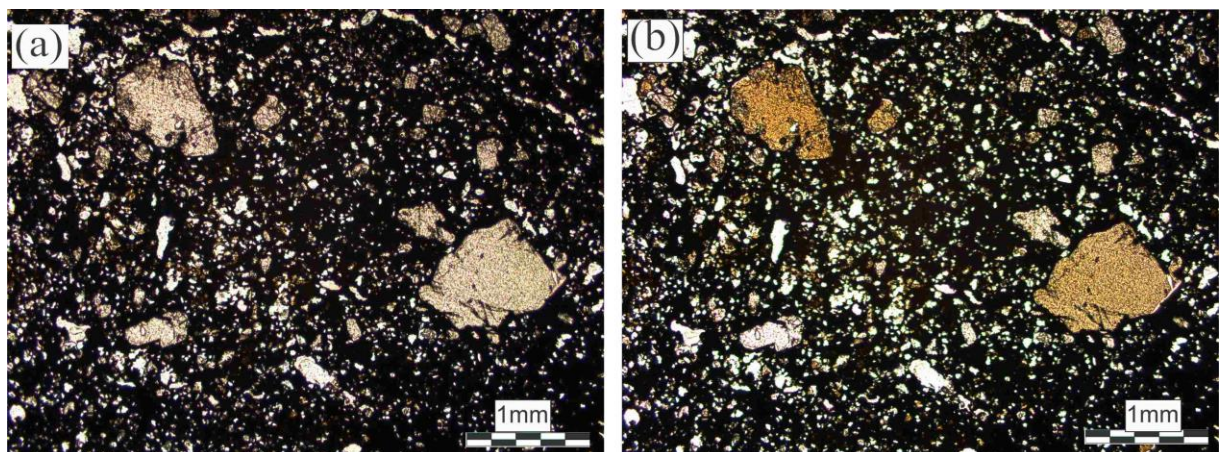


Fig. 10. Photomicrograph of FLC (SJ.R.12/14 sample: face of N. Sr^a. da Conceição bulwark), in which observed the quartz distribution and the oxyhydroxide matrix of Fe and clay minerals (a: natural light, b: nicols crossed).

The semiquantitative chemical composition obtained by SEM/EDS of FLC (SJ.R.07/14 sample: silt-sandy, nodular cavernous lateritic crust by west wall of the covered road) confirms the presence of Si and O dominated quartz grains (Qz), and the cement by kaolinite and hydroxides of Fe, besides Ti, which according to the XRD analysis correspond to goethite, hematite and anatase (Fig. 11).

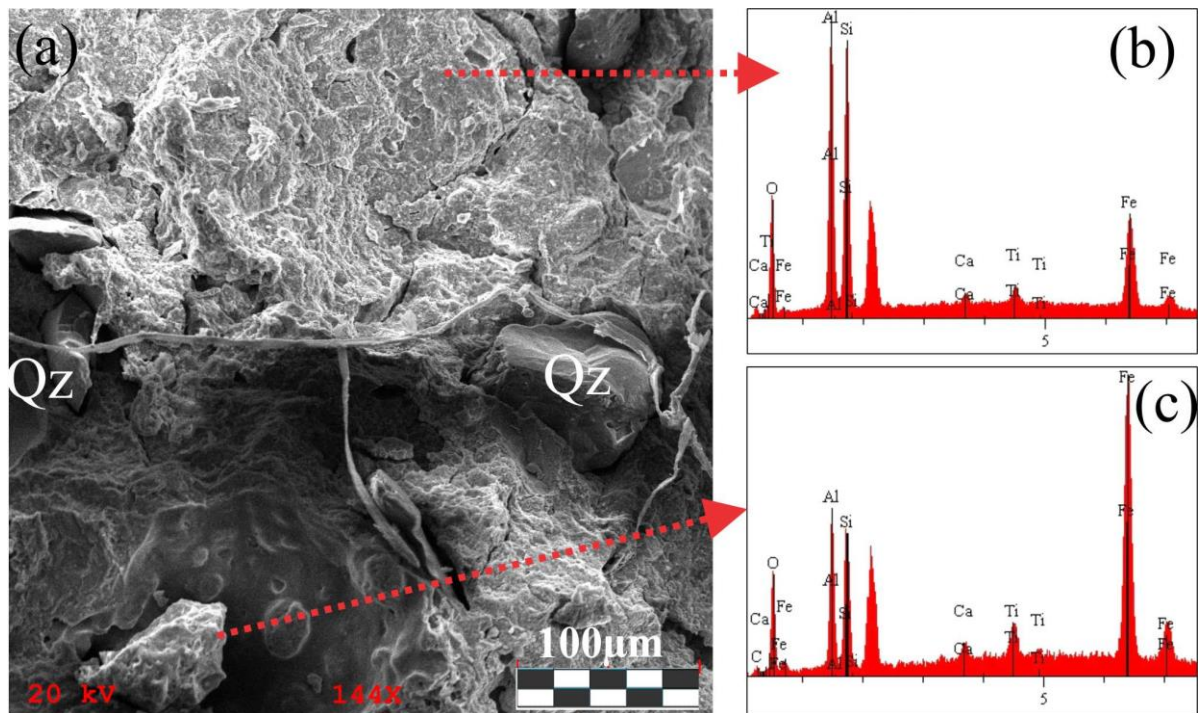


Fig. 11. (a) Photomicrography obtained by MEV and chemical analysis by EDS of aliquots of SJ.R.07/14 sample representing nodular cavernous FLC (west wall of covered road): (a) quartz grains (Qz) dispersed in plasma dominated by goethite associated to kaolinite (b, c), with traces of Ti minerals, perhaps anatase, and Ca (maybe contamination of the mortar). Observed the occurrence of possible rhizomes in rock cavities with function of remove nutrients and fix the vegetation on substrate.

Ironstones (IST)

The IST are uncommon rocks in FSJM (Fig. 3a, c). They are presented in dark reddish brown (2.5YR3/3) to dark red (2.5YR3 / 6) and yellowish brown portions (10YR5/8), very fine granulation, compact, hard and sometimes slightly laminated or flocked, given by the alternation of dark brown and yellowish brown tones. The IST has more restricted and sparse use in the walls, in the central square paving and in some internal sills of the buildings and bunkers applied next to other sills of FSS (Fig. 12).

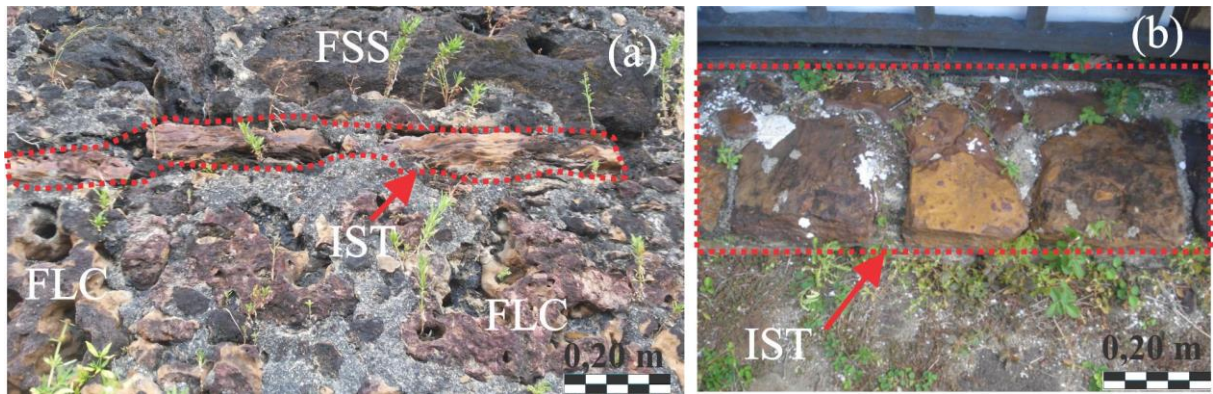


Fig. 12. (a) Curtain of the N. Sra. da Conceição bulwark where observed some IST rocks dispersed in line; (B) Sill of the southern bunker in internal area of the FSJM executed in blocks of IST.

Under optical microscope (SJ.R.01/15 sample) a ferruginous plasma can be observed, involving very fine quartz grains with vary variable sizes and shapes, sub angular, and therefore poorly selected, but hyaline (Fig. 13). At SEM/EDS the presence of quartz is confirmed by the Si and O levels, while the oxyhydroxides of iron by the high Fe tenors (represented by goethite according to XRD analysis) and according to these analyzes associated to kaolinite, indicated by the contents of Al, Si and O (Fig. 14). In the same way as the goethite, the occurrence of kaolinite was confirmed by XRD. These characteristics of IST are equivalent to described for these rocks by Costa [40].

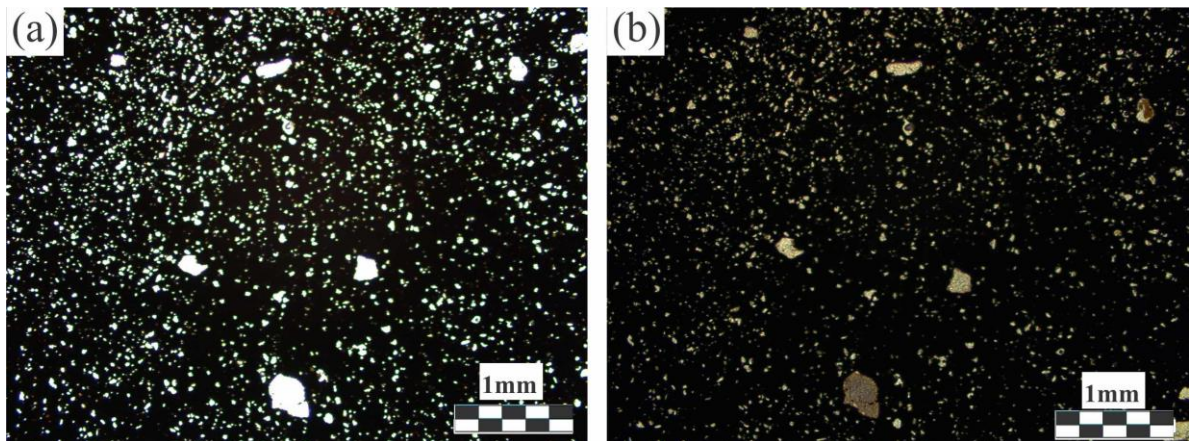


Fig. 13. Photomicrography of IST fragment (SJ.R.01/15 sample: face of N. Sr^a. da Conceição bulwark) where very fine and poorly selected quartz grains are immersed in ferruginous plasma (a: natural light, b: nicols crossed).

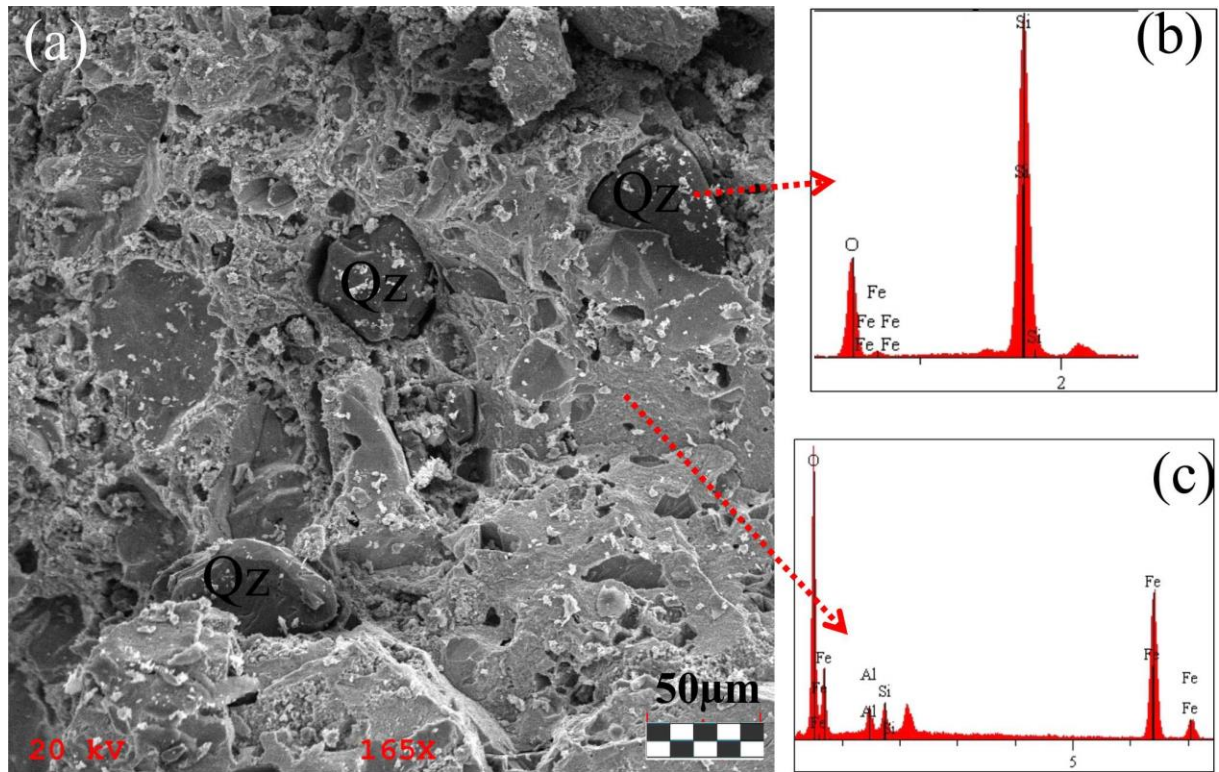


Fig. 14. Photomicrography obtained by MEV and chemical analysis by EDS of small aliquot to the IST (SJ.R.04/14 sample: face of N. Sr^a. da Conceição bulwark): (a, b) Quartz grains (Qz) immersed in ferruginous plasma of goethite with possible relicts of kaolinite (c).

Semiquantitative chemical composition by Portable X-Ray Fluorescence (XRF)

Semiquantitative results for the FSS and FLC samples (Table 2) indicate the predominance of SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , with varying percentages according to the nature of these two different rocks. The concentrations reflect the mineralogical composition of these rocks, mainly quartz, kaolinite and goethite/hematite, a typical composition of ferruginized sandstones and immature lateritic crusts derived from aluminosilicate rocks such as the sandstones and clayey siltstones of Barreiras Formation [40].

Table 2

Partial and semi-quantitative chemical composition of rock samples (FSS and FLC) from the FSJM and its immediate environment obtained by portable XRF.

ROCK	SAMPLE	SiO_2 (Wt %)	Al_2O_3 (Wt %)	Fe_2O_3 (Wt %)	TiO_2 (Wt %)	CaO (Wt %)	P_2O_5 (Wt %)	Mn (Wt %)
Ferruginized Sandstones (FSS)	SJ.R.02/13	26,80	4,45	45,30	0,44	0,31	0,19	0,30
	SJ.R.02/14	29,70	5,64	45,40	0,45	0,29	0,23	0,30
	SJ.R.03/13	25,10	4,53	26,00	0,25	0,09	0,12	0,18
	SJ.R.03/13	23,30	5,52	14,00	0,23	0,09	-	0,09
	SJ.R.03/13	28,80	4,19	29,80	0,25	0,08	-	0,19
	SJ.R.03/13	28,50	4,11	28,80	0,24	0,13	-	0,17
	SJ.R.03/13	21,80	3,51	22,80	0,22	0,11	-	0,16

Ferruginous Lateritic Crusts (FLC)	SJ.R.04/13	32,70	25,20	14,20	1,64	-	-	0,09
	SJ.R.04/13	30,20	20,70	14,90	1,55	-	-	0,10
	SJ.R.04/13	27,20	18,40	14,10	1,44	-	-	0,09
	SJ.R.04/13	20,80	23,70	11,90	1,61	-	-	0,07
	SJ.R.04/13	34,40	26,80	11,50	1,70	-	-	0,08

Compressive resistance

Compression resistance analysis of the FSS and FLC rocks of FSJM and the Pedreira river showed that, although the values were below the resistance range for sedimentary rocks, the FSS are more resistant and cohesive than FLC, reaching up to 15MPa while the FLC samples did not reach 4Mpa (Fig. 15).

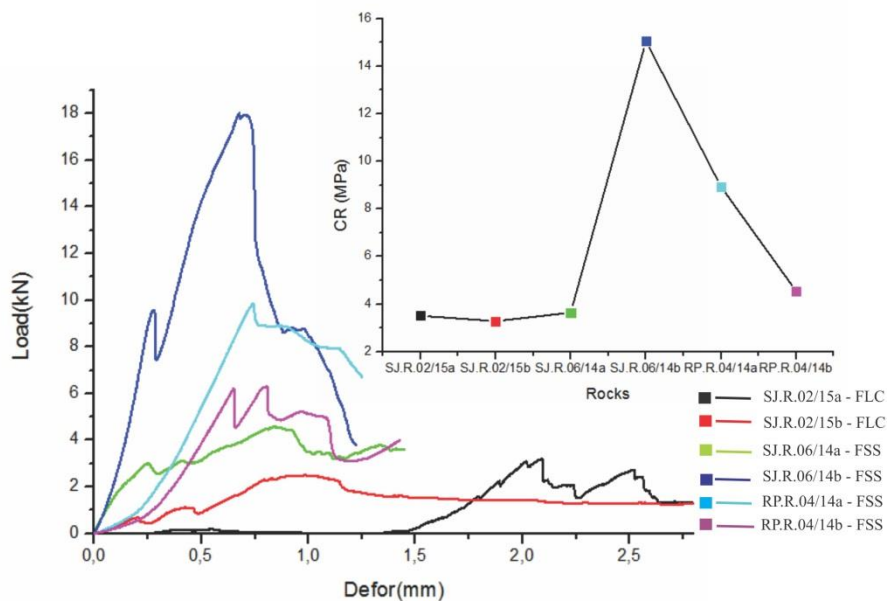


Fig. 15 – Compressive resistance (CR) test behavior for lateritic crust (SJ.R.02/15 sample) and ferruginous sandstones (SJ.R.06/14 sample) from the FSJM and outcrops at the Pedreira river (RP.R.04/14), in this case identified as possible sources of raw material.

3.2. The site of implantation and provenance of the FSJM rocks.

The construction of the FSJM, according to the works report of 1854, sent by J. M. de Oliveira Figueiredo to the imperial government, took place on high ground above the varying water levels and composed of red earth and white clay, whose property was “soften in water and stiffen in the heat of the sun” [1]. It reports clearly to the occurrence of ferroaluminous lateritic crusts (FLC) and the subjacent mottled material that outcrop in the vicinity of ravine the Amazon river.

The terrain thus corresponded to a rocky promontory of ferroaluminous lateritic crust, certainly as part of an immature lateritic profile. This promontory in turn had the Amazon river in the eastern and southern portion as boundary and wetland areas in the rest surroundings, with a large intermittent lake to West, which “in the summer were totally dry” as described in the plan of 1761 elaborated by Captain Eng^o Gaspar João de Gronfelde (Fig. 16 a). In the drawing of 1765 and 1772, it is possible to observe in the extremity the wall of

the covered road situated “beyond the undercut banks, on the ground low and wetland” (Fig. 16 b, c). Nowadays, these areas are landfilled and only fragments of the lake remain in the Floriano Peixoto Square and the channels of Av. Mendonça Júnior (Fig. 16).

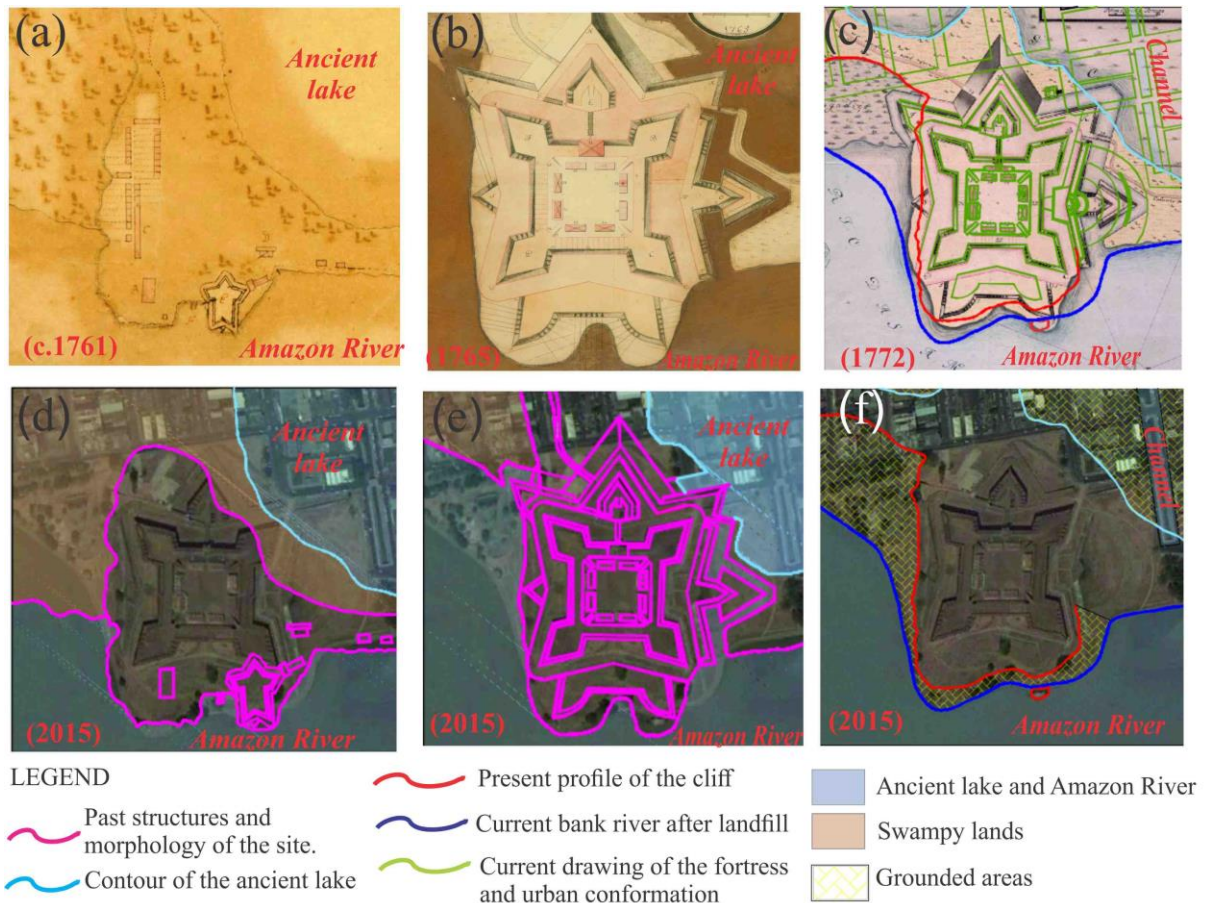


Fig. 16. (a) Map of the São José de Macapá Village of a.1761; (b) Drawing of FSJM and surroundings in 1765; (c) Drawing prospect of FSJM in 1772 with the overlap of its current structure and urban changes; (d, e, f) Satellite image (2015) with the overlapping of the outline of the previous structures and physical site from the historical plants of 1761 (d) and 1765 (e) with the contours of the old lake, the cliff and fluvial coast after grounding (f). Source: AHEX e <http://www.google.com/earth/>, modified.

The concern with finding nearby rocks goes back to the beginning of the FSJM construction and this is evident in correspondence of Mendonça Furtado to Sebastião José de Carvalho e Melo of November 14, 1755, when he reports: “I am convinced that we will have enough stone on the island of Santana, which is less than three leagues away from that location, and with four large canoes we will be able to supply the construction site very well” [47], while Figueiredo, in an 1854 report, cites the thick walls of the square in “dark stonework skillfully crafted, and extracted from the rocks that there are two tides above the mouth of the Pedreira river, located 20 ½ miles north of the Macapá village”, completing the information on the existence of rocks, that were processed and laid in the external walls of the square [1].

In fact, the general appearance and the petrographic and chemical-mineral characteristics observed in the FSS of the FSJM compared to those of the Pedreira river show that they are equivalent, reinforcing Figueiredo's historical report in 1854. On the site there is strong evidence of large-scale rock extraction, although part seems to be from modern times. The FSS of Pedreira river are also rocks of dark reddish gray (10R3/1) to dusky red (10R3/2) colors with brownish yellow (10YR6/8) portions, of fine to coarse granulometry, where angular to subangular grains, some with corrosion edges and partially well selected, predominate in the oxyhydroxide matrix of Fe, in which the predominant mineral is goethite, confirmed by XRD (Fig. 18). The granulometric similarities between these FSS in the FSJM and in the quarry are evidenced in Fig. 17 and Fig. 19.

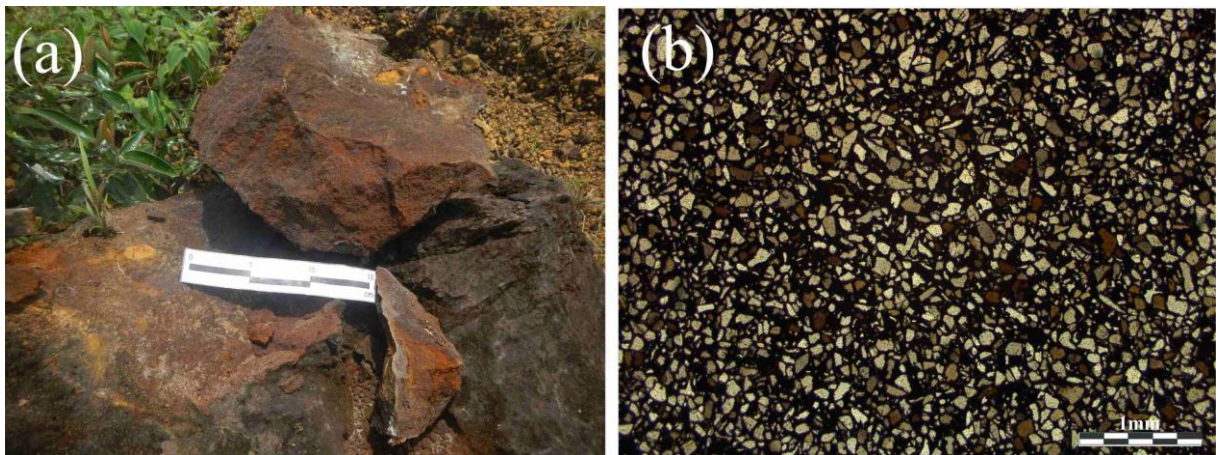


Fig. 17. (a) Exhibition of FSS in the locality Vicente near the Pedreira river; (B) photomicrography (RP.R.04/14 sample) in which irregular quartz grains are in the iron oxyhydroxide.

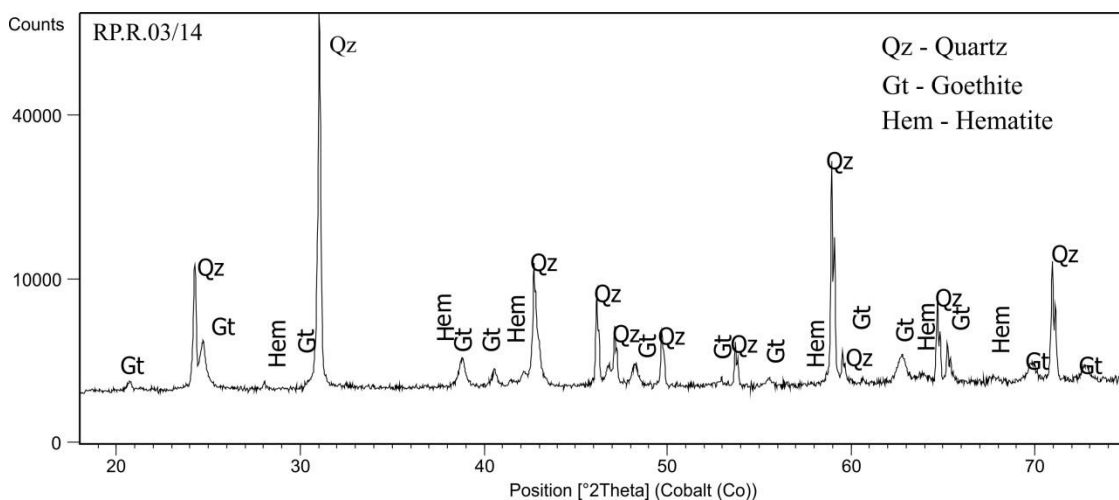


Fig.18. X-ray diffraction (XRD) of FSS in the Vicente locality near the Pedreira river (RP.R.03/14 sample) in which is identified the domain quartz, goethite, with restricted hematite.

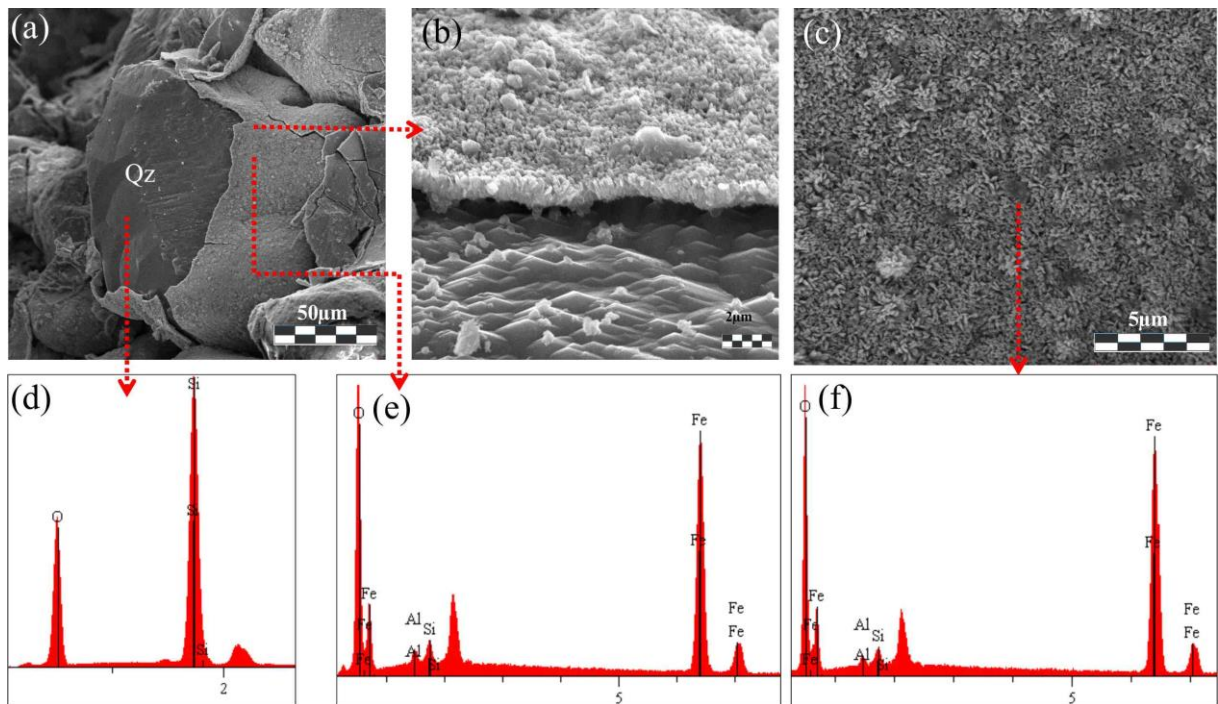


Fig. 19. Photomicrography obtained by MEV and chemical analysis by EDS (RP.R.03/14 sample: FSS of the banks the Pedreira river): quartz grain (Qz) in the image (a) confirmed by SEM/EDS analysis (d) with Fe oxide film (b) according to EDS spectrum interpreted as corresponding to ferric goethite.

While these places seem to have been the main source of FSS and IST, the actual building site must have been the main source of FLC, used in the elements of the FSJM construction, since the fortress, as it has already been shown, sits directly on immature lateritic profile, which has in its upper portion a thick layer formed by FLC (Fig. 20).

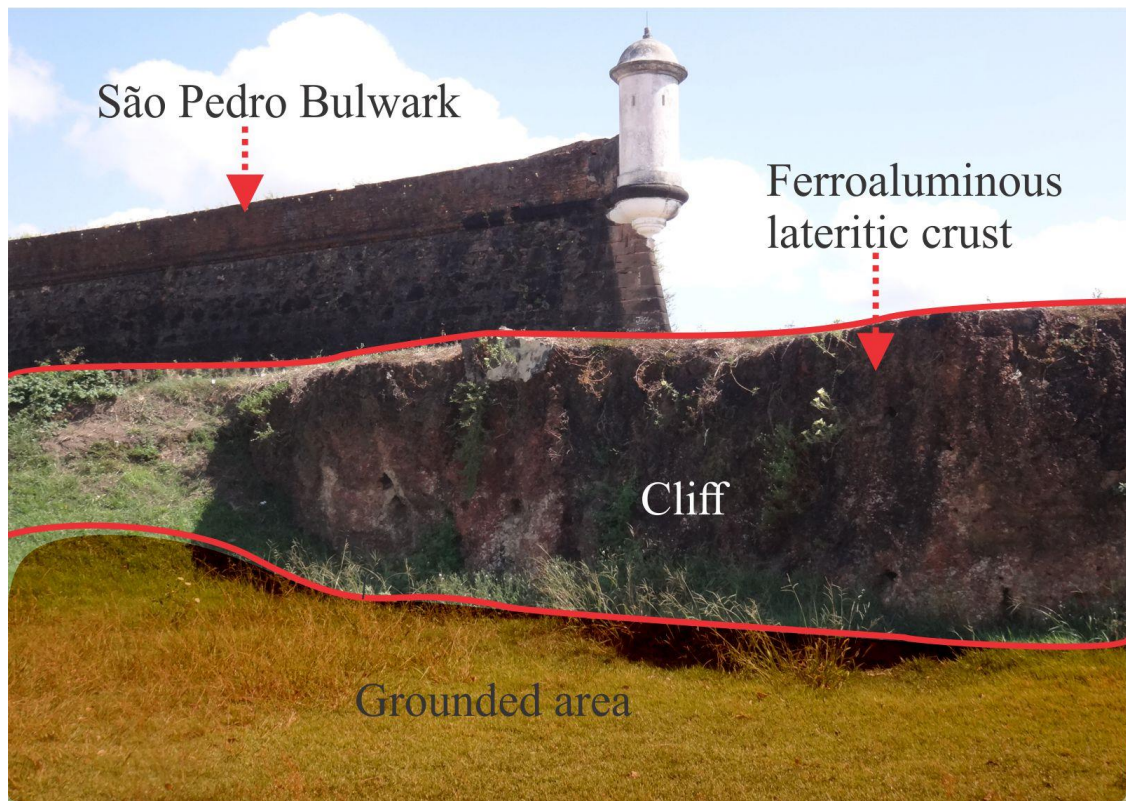
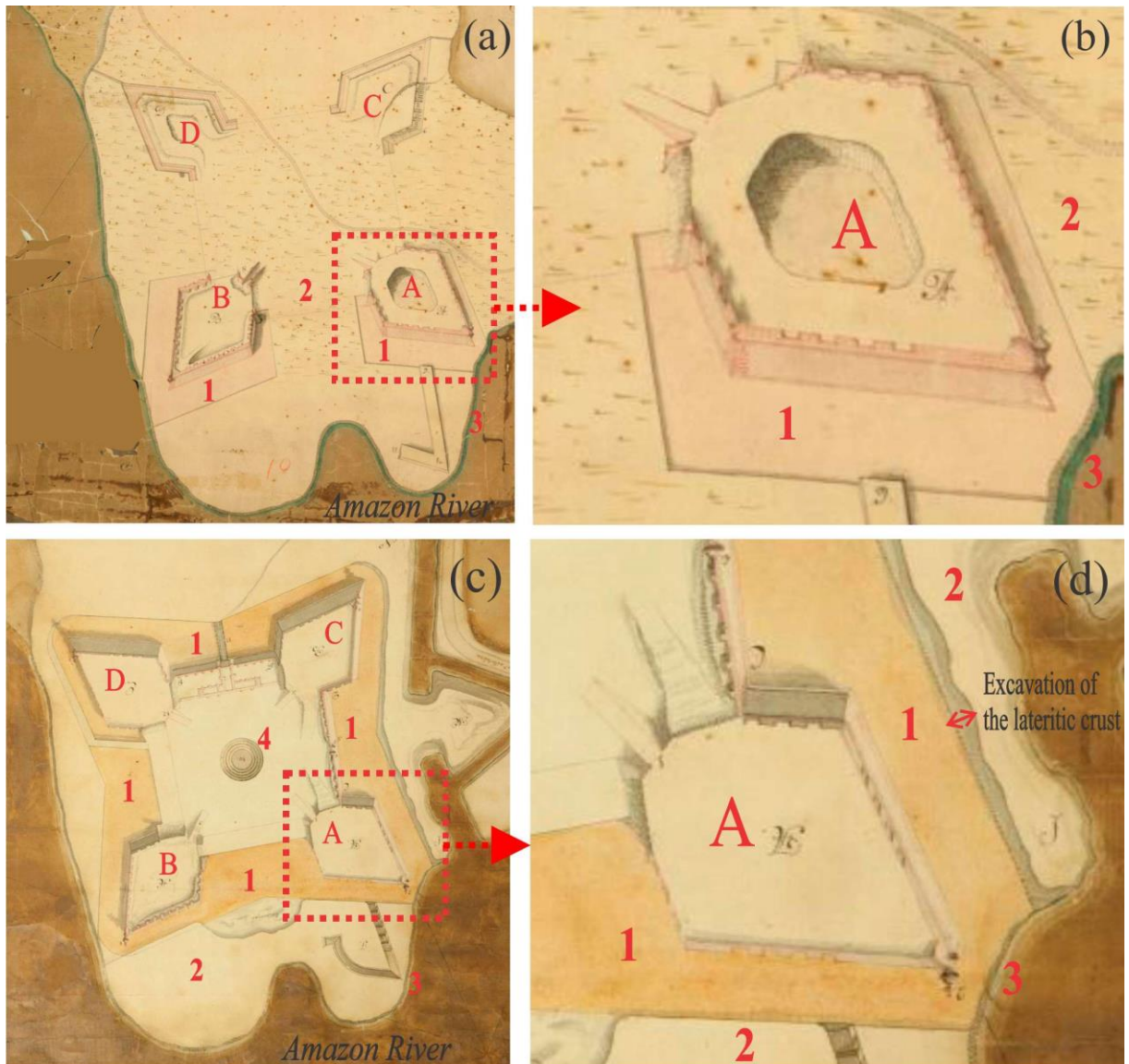


Fig. 20. Old cliff developed established over immature lateritic profile on earlier Amazon river margin. Photo: Marcondes Lima da Costa, 2014.

The drawings that show stages of the FSJM's construction also corroborate this interpretation, as can be observed in the plans of March 22, 1766 and June 6, 1768 (Fig. 21). In the first (Fig. 21a), the descriptive legend informs that the "bulwark Conceição" (A) had its wall completed (Fig. 21b) while the "São Pedro" (B) was being built, which at that moment presented the works above the cord line. In this drawing, the excavation of the ground for creation of the dry moat (1) rounding up these two bastions and starting in the others (C, D) is already noted. A little more than two years later, with the construction work in advanced stages (Fig. 21c), it is possible to observe in the 1768 plan the elevation of the four bulwarks (A, B, C, D), the complete excavations of the terrain for the dry moat delimitation (1) and of the drainage well in the central square (4), besides the clear difference of the level excavated since the top of the ground until the lower limit of the moat (Fig. 21d).



LEGEND

- | | |
|--|--|
| A Bulwark of Nossa Senhora da Conceição | 1 Excavation area to the dry moat |
| B Bulwark of São Pedro | 2 Top level of terrain |
| C Bulwark of São José | 3 Cliff |
| D Bulwark of Madre de Deus | 4 Excavation to the drainage well |

Fig. 21: Drawing prospects for the state of the works in FSJM: on March 22, 1766 (a) and in detail the N. Sr^a da Conceição bulwark (b). Below, the state of the works on June 6, 1768 (c) and in detail the same bulwark with the clear delineation of the lowered dry moat and the original level of the terrain (d). Source: AHEx, modified.

Similarly to the FSS of the Pedreira river, FLC samples collected from the cliff are equivalent to those found in the walls of the fortress. The FLC from the cliff (sample SJ.R.05/13) also reddish brown, remembering derivation of the mottled horizon, exhibits columnar and tubular or cavernous features, formed by silt-clayey material, with granulometric distribution equivalent to crusts of the fortress. In the set, nodules and concretions of staining dusky red (10R3/4) to reddish black (2.5YR2.5/1) are observed, with predominance of Fe-oxyhydroxides in yellow (2.5Y7/6) matrix, also silt-clayey. Its mineralogical composition is also identical to the crust of the fortress (Fig. 22), confirmed by XRD and SEM/EDS analysis in which quartz grains (Qz) and zircon residuals immersed in the kaolinite matrix and with concretions of iron oxyhydroxide represented by goethite are observed (Fig. 23).

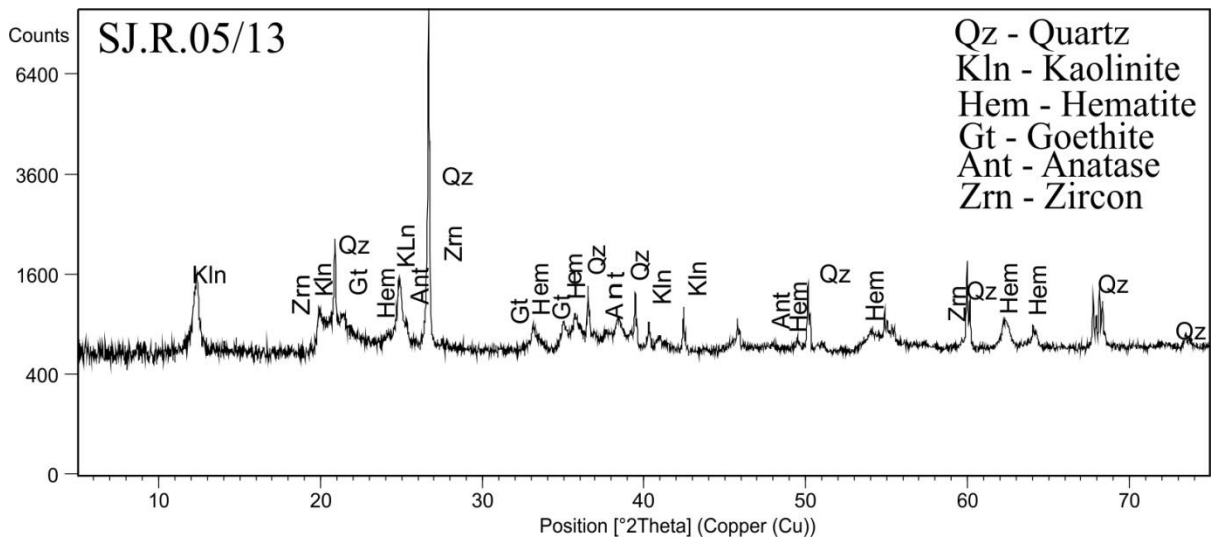


Fig. 22. Minerals identified by XRD in FLC sample of lateritic profile next to FSJM (SJ.R.05/13 sample).

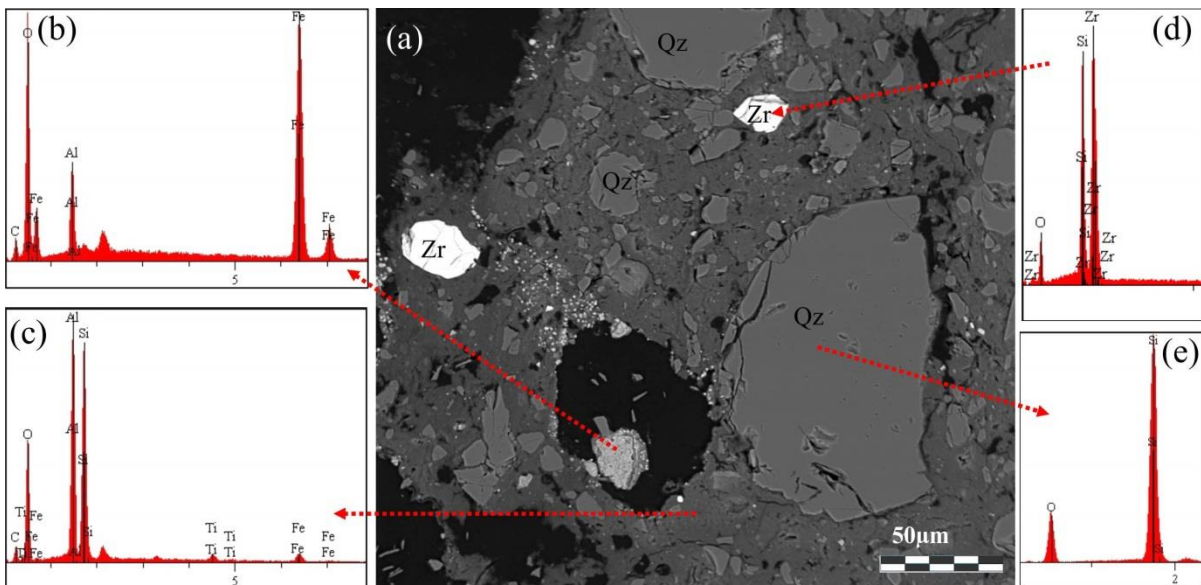


Fig. 23. Photomicrography obtained by MEV and chemical analysis by EDS (SJ.R.05/13 sampl: FLC of lateritic profile next to FSJM): quartz grains (Qz) and zircon relicts were observed in the image (a), confirmed by the EDS analysis (spectra d, e) immersed in the kaolinitic matrix (c) and iron oxyhydroxide concretions represented by Al-goethite (b).

The granulometric patterns of FLC and FSS type rocks from the FSJM and possible places of provenance of raw materials, such as the lateritic profile of the cliff and sites along the Pedreira river are reported in Fig. 24.

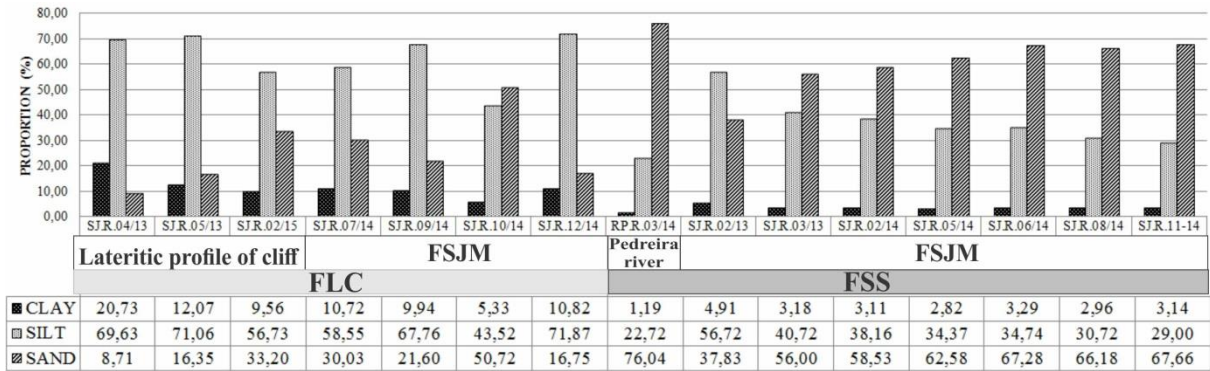


Fig. 24. Granulometry of ferroaluminous lateritic crusts (FLC) of the cliff profile next the fortress and the own FSJM and the ferruginized sandstones (FSS) from the sites on the banks of the Pedreira river and the FSJM.

The different rocks applications in the FSJM show that in addition to the occurrence or accessibility of extraction, their textural characteristics were determinant in their use and function in the work as a whole (Fig. 25) as can be observed in table 3, that shows the three rocks types, their general characteristics, mineralogy and application in the fortress.

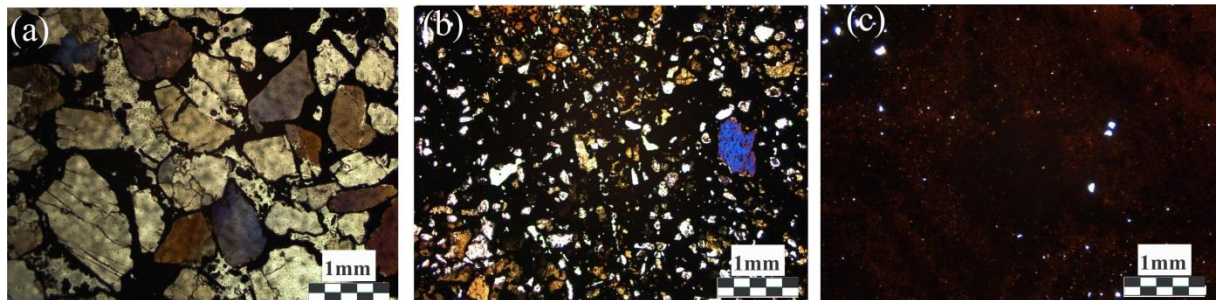


Fig. 25. Photomicrography of three types of rock samples used in FSJM construction: (a) SJ.R.08/14 corresponding to the ferruginized sandstone (FSS); (b) SJ.R.07/14 corresponding to the ferroaluminous lateritic crust (FLC); (c) SJ.R.04/14 corresponding to iron stone (IST).

Table 3:
Sedimentary rocks and lateritic crusts used in the construction of FSJM, with their general characteristics, predominant mineralogy and application in the monument.

ROCK	General characteristics	Mineralogy	Application
Ferruginized sandstones (FSS)	Blocks of dark brown to reddish color, where quartz grains occur predominantly to the ferruginous matrix, with strong cohesion. They can be cross-stratified and plane-parallel.	Quartz Goethite Hematite Zircon (relict mineral)	Walls and masonry of inner buildings; structural substrate; corners bulwarks; staircases; basement of portal access; cord line of walls; console of drawbridge; base support sentinel boxes; still; floor coverings in buildings and paving on central square.
Ferroaluminous lateritic crust (FLC)	Blocks of ferroaluminous crusts of reddish brown color with varied portions of ocher colors, lilac to whitish and features: (1) Nodular/Cavernous (2) Columnar/Tubular	Quartz Goethite Hematite Kaolinite Zircon (relict mineral)	Arranged mainly on the walls and masonry inner buildings on fortified square. Punctually appears between FSS blocks in rare corners. Columnar structures of FLC are commonly arranged horizontally on the walls
Iron stone (IST)	Fragments of rocks from brown to dark red color and ocher portions, with very fine granulation, compact, hard, and sometimes slightly laminated or flocked.	Quartz Goethite Al-goethite	Sparse on the walls, paving the central square and some sills of internal buildings and bunkers. Punctual and restricted use

4. DISCUSSIONS

The documents and drawings clearly demonstrate the soil excavations and removal of material from the upper portion of lateritic profile, which is represented by the FLC. The São Pedro and N. Sr^a da Conceição bulwarks were the first to be built, and the greatest concentration of these rocks is located there, compared with the other bastions and the curtain of the fortress, where the FSS is predominant (Fig. 21).

However the FLC has generic use and does not present special treatment, except in rare blocks in stonework applied in corners. Due to its richness in large tubular cavities, giving it greater fragility and lower compressive resistance as shown, the FLC is used to a lesser extent and in a less elaborate form, occurring almost exclusively as fills of walls and masonry of internal buildings. They are irregular blocks of varying dimensions, with their horizontal arrangement of columnar structures, indicating, perhaps, care in the settlement to minimize the loss of clayey material by leaching, but mainly by their position of greater static stability. Even so, the lateral flow of water leads to the loss of clayey material, making it suitable to sheltered small animals and at the same time favors the development of small vegetation, which if not removed can reach medium size (Fig. 9 e 11).

The FSS, the most frequent rocks in the building, and also more resistant due to its mineralogical constitution, quartz grains are cemented by ferric goethite, which gives its great cohesion and hardness, in addition to its grain size of medium to coarse sand allow more precise cuts and good faceting with more noble use and of greater resistance to compression, is used as structural material, unlike FLC. They present differentiated works in masonry and application in more strategic places, some with beautiful stonework, attending to the precision required to accuracy military engineering. Also to the walls and masonry of the internal buildings were used as a structural base and in the lashing of the edges, among other specific architectural elements as the corners of the bulwarks, staircases, sills, basement and curved

pieces such as the cord line of walls, drawbridge consoles and bases of support of the sentinel boxes. They also fill, in less elaborate cuts, most of the walls and paving of the central square. In the case of the cord line there are some stretches interspersed with ceramic bricks that follow the design of the other blocks in FSS (Fig. 3).

The ISTs, although having similar characteristics, are rare in frequency and, for this reason, they have certainly not been regularly employed. However, these rocks were used in sills alongside FSS, possibly because of their compactness, polished and well-finished appearance, rather different from the FLC irregular surfaces. There is no logic in their application, but rather the filling of gaps, perhaps because they occur on a smaller scale in the vicinity and the FSS has been preferred.

Considering only the proportions of sand, silt and clay (Fig. 26), the FSS of the fortress could have been extracted from the banks of the Pedreira river. The same can be said for the IST, appearing in the region of the Pedreira river. In turn, the FLC blocks came from the lateritic profile of the present cliffs and fossils of the Amazon river next to the fortress, and this seems even more evident from the lateritic profile under the FSJM (Fig. 26 a, b, c) especially in the first built bulwarks, those of São Pedro (Fig. 26 j) and N. Sr^a da Conceição (Fig. 26 f), where they are most concentrated.

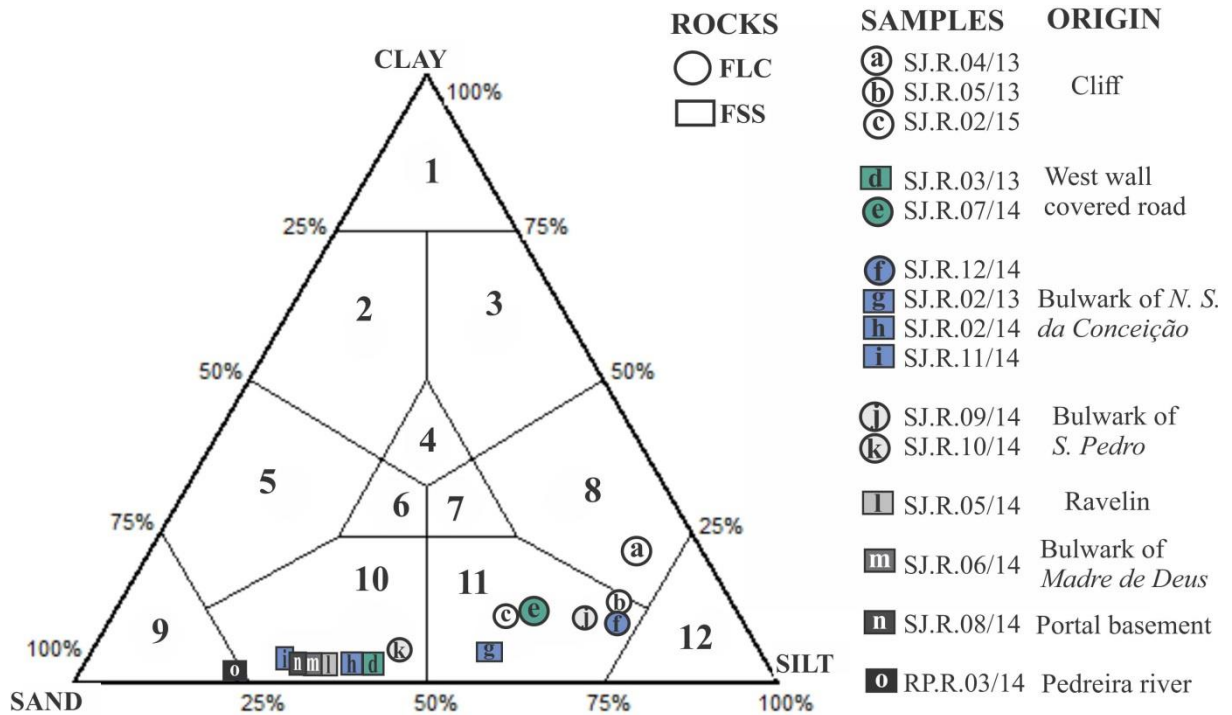
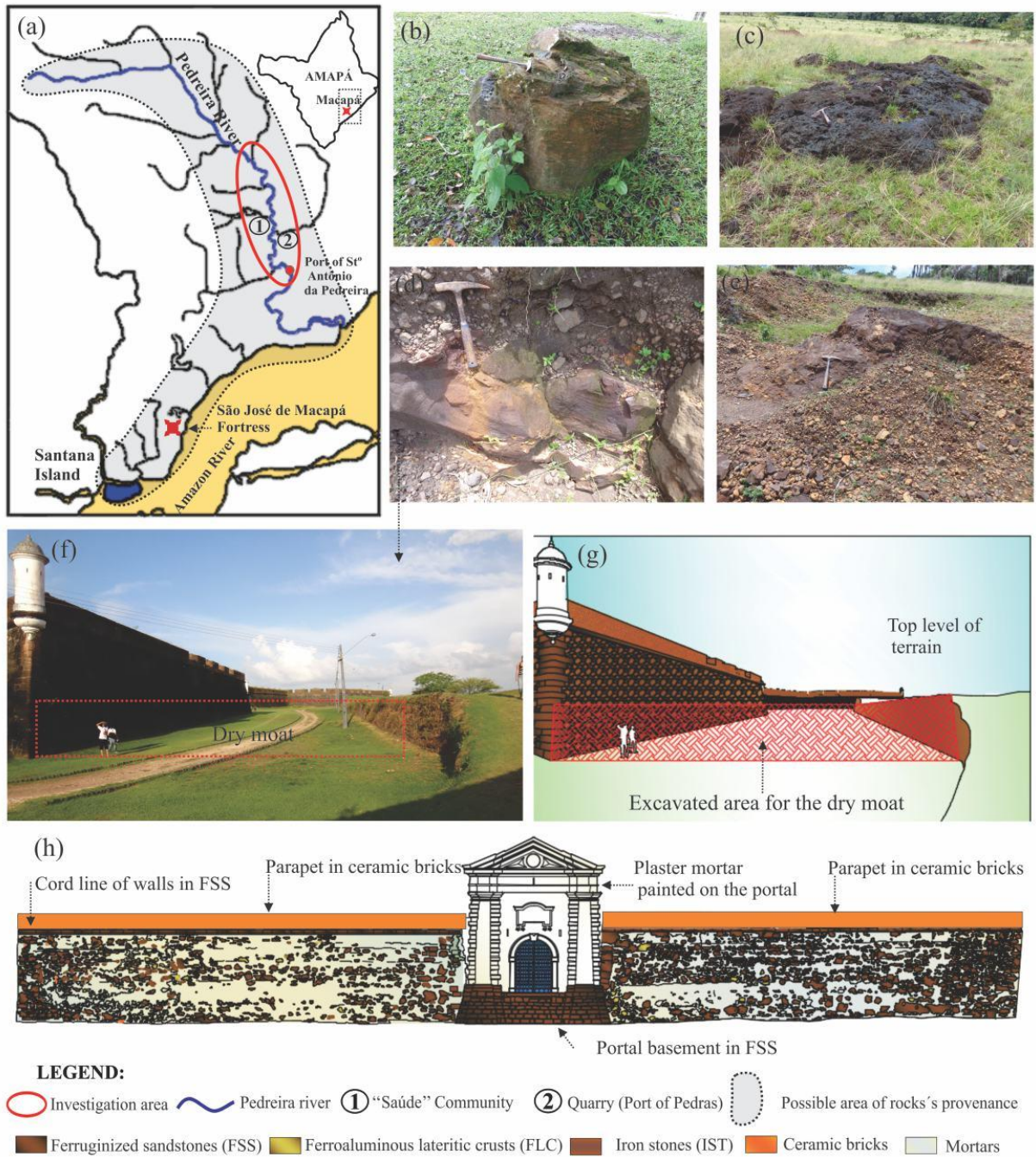


Fig. 26. Ternary diagram with the grouping of FSJM rocks, its surrounding (cliff) and margin of Pedreira river by its granulometric characteristics (Based on the Shepard diagram, 1954).

Another correlation, this time with FSJM as reference, demonstrates that blocks of similar characteristics are arranged in proximities in the monument (Fig. 26 l, m, n), which by their grouping pattern must represent the same or near source extraction. This is evident, for example, in the set of blocks make up the portal basement or in the flank of the São José bulwark, and in some corners where cross-stratification structures are recurrent.

Fig. 27 summarizes the possible provenance areas of the rocks found in FSJM, from the headwaters of the Pedreira river to the outskirts of the fortress and the southern part of

Santana island and its concentration in the walls, along with other construction materials, such



as bricks and mortars.

Fig. 27. (a) Possible provenance areas of FSJM rocks; (b) FSS in the "Saúde" community on the banks of the Pedreira river; (c, d, e) quarry and IST outcrops in Porto das Pedras, on the right bank of the Pedreira river; (f) excavated areas to create the dry moat around the FSJM walls; (g) graphic representation of the same area in (f); (h) wets wall and portal access to FSJM indicating the main building materials. (Photos b,c,d,f: Marcondes Lima da Costa).

5. CONCLUSIONS

European builders, added to the efforts of indigenous and black people and artisans, working as slaves or construction workers, erected the FSJM according to the typology of military fortification bastion that followed the parameters of modernity in the 18th century. For this purpose they made rational use of the rocks found in the Amazonian landscape, whose analysis and interpretation revealed the logic of extraction, functionality and application in the architectural structure compatible with monumentality that required the protection of the entrance to the Amazon river at the time. Not only did they make use of the available material, but selected and employed it appropriately considering their textural and physical characteristics, which give them different aspects of cohesion, hardness, malleability and strength.

The FSS proved to be the best rocks used in the construction, either by the great occurrence in nearby or even more distant sites, whose extraction and transportation counted on the significant human contingent for the heavy work required by the enterprise, or for its intrinsic characteristics that enabled its strategic structural use, or for more elaborate finishes.

Other rocks were used and had their role appropriate to their nature and occurrence as demonstrated for FLC and IST. Even when apparently unfavorable, as in the case of columnar/tubular FLC, the builders applied them horizontally, aiming at less susceptibility to leaching and for its stability.

As a result of weathering, these rocks do not exhibit significant signs of change, but in the case of FLC, which present more irregular surfaces and chemical fertilizer components, it is possible to notice a greater bioreceptivity when compared with the other rocks. Commonly these FLC serve as substrate for the development of plants that, if uncontrolled, can reach arboreal size, leading to deterioration of the monument.

Regarding the provenance of these rocks, despite the historical references to the Santana island, most of the documents and reports of the oral memory refer to the Pedreira river and its surroundings as the main source of the FSS and IST, described as dark rocks applied in the FSJM walls. It is intended to advance this investigation, including not only Santana island, but also reaching the head of the river Pedreira, whose study was impossible due to high rainfall and tides, which prevented passage of the boat under one of the river bridges.

This study showed the practically exclusive use of local raw materials and that its peculiarities make the FSJM an iconic example, perhaps more than for its architectural typology, replicated in several parts of the world, but precisely because it presents in its construction different possibilities of employment of so-called common rocks found in profusion in the Amazon.

Acknowledgments

The authors wish to thank: IPHAN and SECULT/AP for permission to research and collect samples; IG and ITEC/UFGA laboratories (LAMIGA, LCM, LAPETRO, LABMEV, Sedimentology, Lamination and LACORE); AHEX; Mr. Adervan Dias Lacerda, Director by Museum of Archaeology and Ethnology/AP; Group of Mineralogy and Geochemistry Applied/GMGA; Laboratory of Resistance of Materials of the Federal Institute of Pará/IFPA; National Counsel of Technological and Scientific Development/CNPq, PETROBRAS, Secretariat of Policies for Women and Ministry of Science, Technology and Innovation by supporting research “Mineralogy applied to study materials at military engineering and its conservation on Amazon” and by granting a bank fee and research grant to the second author.

References

- [1] Vianna, Arthur. As Fortificações da Amazônia. In Annaes da Bibliotheca Archivo Publico do Pará, Brazil. Typ. e Encadernação do Instituto Lauro Sodré, Tomo Quatro. Pará, 1905, pp. 227-293.
- [2] Barbosa, Vieira. Forte do Castelo – Sua breve História. Belém, 1953.
- [3] Reis, Artur C. F. O estado das fortificações da Amazônia na quinta década do século XVIII. In Revista do Patrimônio e Artístico Nacional, Ministério da Educação e Cultura. Rio de Janeiro, 1956.
- [4] Ferreira, A. R. Viagem Filosófica às Capitanias do Grão-Pará, Rio Negro, Mato Grosso e Cuiabá, Vol. I. São Paulo, Gráficos Brunner Ltda, 1970. 73 p.
- [5] Alcântara, Dora; Alcântara Pedro. Relatório sobre a Fortaleza de São José de Macapá, 1978.
- [6] Nunes, José Maria de Souza. Real Forte Príncipe da Beira. Rio de Janeiro: Fund. Emílio Odebrecht, Spala Editora, 1985, 375 p.
- [7] Castro, Adler Homero Fonseca de. O fecho do Império: História das Fortificações do Cabo Norte ao Amapá de Hoje. In: Flávio dos Santos Gomes. (Org.). Nas Terras do Cabo Norte: Fronteiras, Colonização e Escravidão na Guiana Brasileira - Séculos XVIII/XIX. Belém: Editora Universitária/UFPA, 1999. pp.129-193.
- [8] Ferreira, A. M. Fortificações Portuguesas no Brasil. Lisboa, Elo-Publicidade, Artes Gráficas, AS, 2004, 144 p.
- [9] Magalhães, M. P. Arqueologia na Fortaleza de São José de Macapá. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Ciências Humanas, Belém, v. 1, n. 3, 2006. pp: 33-59.
- [10] Albuquerque, M. Arqueologia da Fortaleza de São José de Macapá. Rio de Janeiro, Revista Da Cultura, Ano VIII, nº 14. Fundação Cultural Exército Brasileiro (2008) 40-46.
- [11] Barreto, Annibal. Fortificações do Brasil. Rio de Janeiro, Biblioteca do Exército, 2ª Edição, p. 208, 2010.
- [12] Meira Filho, Augusto. Evolução Histórica de Belém do Grão-Pará: Fundação e História 1616-1823. Organização Márcio Meira. 2ª Ed. Belém: M2P Arquitetura e Engenharia, 580 p, 2015.
- [13] Norat, Roseane da Conceição Costa; Costa, Marcondes Lima da. A linha de defesa do rio-mar: perdas e transformações da engenharia militar em Belém/PA (Brasil). In: Congresso Ibero-Americano Patrimônio, suas matérias e imatérias. Lisboa, Portugal (2016).
- [14] Götze, J.; Siedel, H. Microscopic scale characterization of ancient building sandstones from Saxony (Germany). In Materials Characterization 53. Alemanha (2004) 209– 222.
- [15] Frank-Kamenetskaya, O.V.; Vlasov, D. Y.; Egorova, V.; Karpenkov, E.; Rytikova, V. V. Creation of the database on a state of Saint Petersburg stone monuments on the basis of complex monitoring results. Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia, Special Issue, MAEGS, 16 (2009) 116-117.
- [16] Ehling, A.; Bowitz, J. Building sandstones in Germany - historical use and modern analytical methods. Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia, Special Issue, MAEGS – 16 (2009) 112-113.
- [17] Dionísio, Amélia; Braga, Maria Amália Sequeira; Waerenborgh, João Carlos. Clay minerals and iron oxides-oxyhydroxides as fingerprints of fi ring effects in a limestone monument. Applied Clay Science 42 (2009) 629-638.
- [18] Park, H.D.; Shin G.H. 2009. Geotechnical and geological properties of Mokattam limestones: Implications for conservation strategies for ancient Egyptian stone monuments. Engineering Geology 104 (2009) 190-199.
- [19] Klemm, Dietrich D.; Klemm, Rosemarie. The building stones of ancient Egypt – a gift of its geology. African Earth Sciences 33 (2001) 631-642.

- [20] Calogero, Sandro; Bertelle, Mariangela; Antonelli, Fabrizio; Lazzarini, Lorenzo. A Mössbauer study of some coloured marbles (cipollino mandolato, rosso antico and fior di pesco): implications on the nature of their colour. *Journal of Cultural Heritage* 1 (2000) 429–444.
- [21] De Vecchi, Giampaolo; Lazzarini, Lorenzo; Lünel, Taylan; Mignucci, Anna; Visona, Dario. The genesis and characterisation of ‘Marmor Misium’ from Kozak (Turkey), a granite used in antiquity. *Journal of Cultural Heritage* 1, (2000) 145-153.
- [22] Antonelli, Fabrizio; Lazzarini, Lorenzo; Luni, Mario. Preliminary study on the import of lavic millstones in Tripolitania and Cyrenaica (Libya). *Journal of Cultural Heritage* 6 (2005) 137–145.
- [23] Lazzarini, Lorenzo; Borrelli, Ernesto; Bouabdelli, Mohamed; Antonelli, Fabrizio. Insight into the conservation problems of the stone building “Bab Agnaou”, a XII cent. Monumental gate in Marrakech (Morocco). *Journal of Cultural Heritage* 8 (2007) 315-322.
- [24] Antonelli, Fabrizio; Lazzarini, Lorenzo; Cancelliere, Stefano; Dessandier, David. Volubilis (Meknes, Morocco): Archaeometric study of the white and coloured marbles imported in the Roman age. *Journal of Cultural Heritage* 10 (2009) 116-123.
- [25] Antonelli, Fabrizio; Lazzarini, Lorenzo. Mediterranean trade of the most widespread Roman volcanic millstones from Italy and petrochemical markers of their raw materials. *Journal of Archaeological Science* 37 (2010) 2081-2092.
- [26] Bidner, Thomas; Lanz, Barbara; Mitterer, Sonja; Recheis, Arno; Hauser, Walter; Franzen, C.; Mirwal, Peter W. Material properties, room-climate measurements and building history an interdisciplinary project to set the conditions of restoration and re-use for the fortress of Kufstein, Tyrol, Austria. *Building and Environment* 38 (2003) 1133-1141.
- [27] Matovic, Vesna; Eric, Suzana; Kremenovic, Aleksandar; Colomban, Philippe; Sreckovic-Batocanin, Danica; Matovic, Nenad. 2012. The origin of syngenite in black crusts on the limestone monument King’s Gate (Belgrade Fortress, Serbia): the role of agriculture fertiliser. *Journal of Cultural Heritage* 13 (2012) 175–186.
- [28] Nunes, A. L. P. *As Fortalezas de Transição nos Cartógrafos do Séc. XVI. Segundo Congresso sobre monumentos militares portugueses.* Lisboa, Associação Portuguesa de Protecção e Desenvolvimento da Cultura, 1983.
- [29] Telles, P. C. S. *História da Engenharia no Brasil (séculos XVI a XIX).* Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- [30] Santiago, C. C.; Oliveira, M. M. *Comentários sobre a Fortificação Portuguesa no Brasil, especialmente o caso de Salvador.* Padrão, Salvador: Consulado Português, v. 1, n.n.3 (1994) 11-15.
- [31] Teixeira, M; Valla, M. *O Urbanismo Português: Séculos XIII-XVIII, Portugal-Brasil.* Lisboa: Livros Horizonte, 1999.
- [32] Derenji, Jussara da Silveira. *As cidades da rede de defesa interna da Amazônia. Óbidos, Santarém e Manaus.* In: *Colóquio Internacional Universo Urbanístico Português 1415-1822, Actas* (2001) 481-496.
- [33] Oliveira, Mário Mendonça de. *As fortificações portuguesas de Salvador quando Cabeça do Brasil.* Salvador: Omar G / Fundação Gregório de Mattos. v. 1. 264 p, 2004.
- [34] Oliveira, Mário Mendonça de. *Memória para Intervenção na Bateria do Castelo.* In: *Secretaria Executiva de Cultura do Estado do Pará. (Org.). Feliz Lusitânia/Forte do Presépio - Casa das Onze Janelas - Casario da Rua Padre Champagnat..* 1 ed. Bélem: Secretaria Executiva de Cultura do Estado do Pará, v. 4 (2006) 71-99.
- [35] Marques, Fernando Luiz Tavares. 2006. *Investigação arqueológica na Feliz Lusitânia.* In: *Secretaria Executiva de Cultura do Estado do Pará. (Org.). Feliz Lusitânia/Forte do Presépio - Casa das Onze Janelas - Casario da Rua Padre Champagnat.* 1 ed. Bélem: Secretaria Executiva de Cultura do Estado do Pará, v. 4 (2006) 147-187.

- [36] Oliveira, Mário Mendonça de. As Fortalezas e a Defesa de Salvador. Brasília, DF: Iphan/Programa Monumenta, p. 228, 2008.
- [37] Albuquerque, Marcos; Lucena, Veleda. Arqueologia amazônica: o potencial arqueológico dos assentamentos e fortificações de diferentes bandeiras, in: Arqueologia Amazônica 2/Organizado por Edithe Pereira e Vera Guapindaia. Belém: MPEG; IPHAN; SECULT (2010) 968-1019.
- [38] Cruxen, Edison. A arquitetura militar portuguesa no período de Expansão Ultramarina e suas origens medievais. V Encontro Luso-Brasileiro de História Medieval. Revista do Corpo Discente do Programa de Pós-Graduação em História da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Aedos, Porto Alegre (2011) 113-129.
- [39] Camilo, Janaína. Homens e pedras no desenho das fronteiras amazônicas (1764/1782). Actas do Congresso Internacional Espaço Atlântico de Antigo Regime: poderes e sociedades, 21 p (2008).
- [40] Costa, M. L. Aspectos Geológicos dos Lateritos da Amazônia. Rev. Brasileira de Geociências, 21 (12) (1991) 146-160.
- [41] Guerra, Antônio Teixeira. Alguns aspectos geomorfológicos do litoral amapaense. Rio de Janeiro: Boletim Geográfico, Nº98. (1951) 167-178.
- [42] Guerra, Antônio Teixeira. Contribuição ao estudo da geologia do Território Federal do Amapá. Rio de Janeiro: Revista Brasileira de Geografia, Nº1 (1952) 3-26.
- [43] Allison, Mead A., Lee, Michael T. Ogston, Andrea S., Aller, Robert C. Origin of Amazon mudbanks along the northeastern coast of South America. Marine Geology 163 (2000) 241-256.
- [44] Allison, Mead A; Lee, Michael T. Sediment exchange between Amazon mudbanks and shore-fringing mangroves in French Guiana. Marine Geology 208 (2004) 169-190.
- [45] Costa, M. L.; Behling, H.; Suguio, K.; Kaempf, N.; Kern, D. C. Paisagens Amazônicas sob a ocupação do homem pré-histórico: uma visão geológica. In: Wenceslau Teixeira, Beata Madari, Vinicius M. Bentes, Dirse C.Kern e Newton Falcão. (Org.). As Terras Pretas de Índio - Caracterização e Manejo Para Formação de Novas Áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009, v. 1 (2009) 15-38.
- [46] Anthony, Edward J.; Gardel, Antoine; Proisy, Christophe; Fromard, François; Gensac, Erwan; Peron, Christina; Walcker, Romain; Lesourd, Sandric. The role of fluvial sediment supply and river-mouth hydrology in the dynamics of the muddy, Amazon-dominated Amapá-Guianas coast, South America: A three-point research agenda. Journal of South American Earth Sciences 44 (2013) 18-24.
- [47] Mendonça, Marcos Carneiro de. 1894-1988. A Amazônia na era pombalina: correspondência do Governador e Capitão-General do Estado do Grão-Pará e Maranhão, Francisco Xavier de Mendonça Furtado: 1751-1759 /Marcos Carneiro de Mendonça. -- 2. ed. -- Brasília : Senado Federal, Conselho Editorial. 3 v. (Edições do Senado Federal ; v. 49 A-B-C, 560 p.), 135ª Carta (2005) 519-522.
- [48] Shepard, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal of Sediment Petrology, 24(3) (1954) 151-158.

5.2. ARTIGO 2: THE CONTRIBUTION OF BIOLOGICAL COLONIZATION TO TROPICAL WEATHERING DETERIORATION OF FORTRESSES IN THE AMAZON, BRAZIL.



Rose Norat <rosenorat2@gmail.com>

Submission Confirmation

1 mensagem

Building and Environment <eesserver@eesmail.elsevier.com>
 Responder a: Building and Environment <bae2@elsevier.com>
 Para: rosenorat2@gmail.com, rosenorat@gmail.com

9 de março de 2017 15:37

Original Research Paper

Dear Roseane Norat,

We have received your article "The contribution of biological colonization to tropical weathering deterioration of fortresses in the Amazon (Brazil)" for consideration for publication in Building and Environment.

Your manuscript will be given a reference number once an editor has been assigned.

To track the status of your paper, please do the following:

1. Go to this URL: <https://ees.elsevier.com/bae/>
2. Enter the login details:
 Your username is: rosenorat2@gmail.com
 If you need to retrieve password details, please go to: http://ees.elsevier.com/bae/automail_query.asp.
3. Click [Author Login]
 This takes you to the Author Main Menu.
4. Click [Submissions Being Processed]

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System
 Building and Environment

 Please note that the editorial process varies considerably from journal to journal. To view a sample editorial process, please click here:
http://ees.elsevier.com/eeshelp/sample_editorial_process.pdf

 For further assistance, please visit our customer support site at <http://help.elsevier.com/app/answers/list/p/7923>
 Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EES via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.

The contribution of biological colonization to tropical weathering deterioration of fortresses in the Amazon (Brazil).

R. Norat^a, M. L. da Costa^b, R. Paiva^c, S. Costa^d, P. Souza^e, A. Ferreira^f, L. Carmo^g

^a Federal University of Pará (UFPA), Conservation and Restoration Laboratory (LACORE), Augusto Correa Street, 1, Guamá, Belém, Pará 66110075, Brazil, rosenorat2@gmail.com

^b UFPA, Geosciences Institute, marcondeslc@gmail.com

^c UFPA, Biological Sciences Institute, rpaiva@ufpa.br

^d UFPA, Biological Sciences Institute, sol@ufpa.br

^e UFPA, Biological Sciences Institute, pjsousabio@gmail.com

^f UFPA, Biology student

^g UFPA, Biology student, langela.carmo@yahoo.com.br

ABSTRACT

The Amazon climatic conditions are favorable to the development of biological agents that act in the deterioration of the buildings materials. These agents may be microorganisms such as algae, fungi, lichens and mosses or superior plants, as well as small and medium-sized animals, which can trigger chemical-physical changes potentiated by humidity and high temperatures of the tropical climate. The objective of this paper is studying the main agents and mechanisms of biodeterioration in the fortifications of the Amazon and their impacts on the conservation of cultural heritage, using as case studies two fortress located in the northern region of Brazil: 1) the São José of Macapá Fortress (Amapá) and 2) the Castelo Fort in Belém (Pará) constructed at the mouth of the Amazon river and Guajará bay. The methodology combined techniques of infrared image (IRT), surface temperature analysis and solar orientation; collection and identification of microorganisms and vascular flora, through optical microscopy, spectrophotometry, SEM and literature reference. For the mortars samples, chemical and mineralogical characterization were held using pH determination, atomic absorption spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-OES) and X-ray diffractometry (XRD). The mycological study resulted in the isolation of fungi, being prevalent the rates of *Penicilium*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Acremonium*. As the flora, 37 species distributed in 23 families were identified and classified according to their potential for bioreceptivity in high, medium and low impact and correlated to sites and materials for their bioavailability, as auxiliary tools in general management and conservation fortresses.

Keywords: Bioreceptivity; Botany; Microorganisms; Building Materials.

1. INTRODUCTION

The proliferation of plants, microorganisms and animals in construction materials is a natural and frequent process. Terms such as "biodegradation" or "biodeterioration" are usually associated with negative situations of color change and physical and chemical degradation. However, the interpretation depends on the researcher's approach, since changes can be seen as protective and even aesthetically pleasing [1,2].

Biodeterioration refers to any undesired or unintended changes in the material properties, due to the action of microorganisms and/or organisms belonging to various groups, or by their metabolism products, generally when extracting nutrients and looking for fixation [1,3,4,5,6,7], while bioreceptivity define the materials properties that contribute to the establishment, anchoring and development of fauna and/or flora [1].

Many studies focused on evaluating biodeterioration interference in materials cultural heritage buildings [8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20]. *In-situ* analytical methods with

portable instruments aid, among which infrared thermography (IRT), have been disseminated to aid in the deterioration diagnosis [21,22,23,24,25]. Risk analysis is associated with tests and the biodeterioration correlation [26,27]. The relationship of the environment and climatic factors with the biodeterioration processes is a problem that if not controlled can cause problems for overall building structure [14,18,19,28].

Coutinho *et al.* [29] present a vast literature review about biodiversity, biodeterioration and bioreceptivity of ceramic bricks and tiles. Biochemical mechanisms of rock alteration by fungi are presented [11,16] also protective techniques to inhibit or reduce the growth of microorganisms[15].

Searches present the isolation and characterization of fungi in buildings materials by morphological methods and dietary physiology [30,31]. Different types of mortars, degree of carbonation and pH values and relative humidity are related to the conditions that favor microbial multiplication [32,33,34,35,36]. Several studies shows the impacts by rocks bioreceptivity and aesthetic changes caused by biopatina, analyzes of thermo-hygric properties and mechanical pressure due to the shrinking and swelling biofilms [37,38,39,40,41]. The importance of surface roughness in rock bioreceptivity was demonstrated [26,42,43,44,45].

The upper plants are the most effective and their action is felt, especially the roots, which are preferentially installed in cracks and joints between materials [5]. Mosses and higher plants have chemical degradative effects on rocks similar to those caused by lichens, but mechanical damage caused by of higher plants is worse because they have roots and not rhizomes [45,46,47,48]. The fertility of civil construction waste is presented by Jesus *et al.* [49] that demonstrate the best performance for the use of crushed mortar, followed by mixtures associated by ceramic block, vegetal soil and concrete.

In general, studies on biodeterioration in historical monuments focus on biofilms and exclude other more common biological agents, such as flora, whose impact is most aggressive. In the Amazon, where biological action is favored by the tropical climate these studies are fundamental, since the lack of maintenance associated with the absence or precariousness of biological control mechanisms implies greater celerity deterioration. However, studies with this approach are restricted [18,19].

In the case of military fortifications the challenge of preservation is enhanced by its monumentality and use conditions, as well as accessibility, architectural features, operational and financial costs. Hence, this research aims to identify the main agents and mechanisms of biodeterioration in Amazon fortresses and its impacts on this conservation, having as a case study São José Fortress (FSJM), in Macapá (Amapá) and Castelo Fort (FCPB), in Belém (Pará) (Fig. 1).

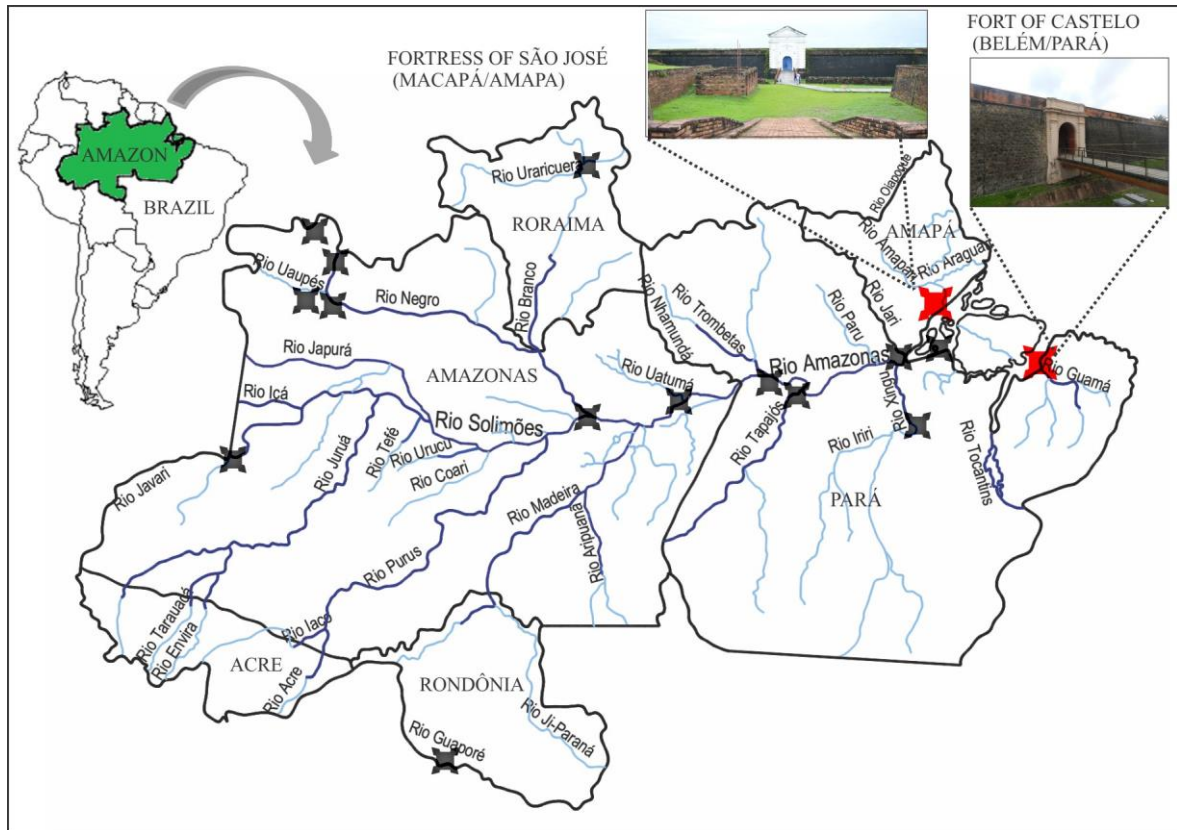


Fig. 1 Location of the main fortifications in the northern region of Brazil, in particular FSJM and FCPB (red) [Author: Roseane Norat, modified].

Biofilms and flora associated with biodeterioration were used, as species identification, degradation patterns, as well as their correlation with the insolation and surface temperature in the walls and building materials substrates, such as rocks, ceramic bricks, “ancient” (ANM) and recent reconstitution mortars (REM). Despite the architectural differences between the fortresses, both using techniques, construction materials and similar climatic conditions, which allow the comparison the behavior and susceptibility to biological colonization. Based on these premises, studies of biological materials that act to a greater or lesser extent, causing biodeterioration of these structures, are important information tools to suggest guidelines for maintenance, as well as to assist in the management and preventive conservation of cultural heritage in the Amazon.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Sampling

Sampling (rock, brick, mortar, biological material) observed criteria, occurrence, accessibility and care regarding the visual impact and monuments integrity, which are listed by protection as cultural heritage. The botanical material in FSJM were carried out in a single period, but in FCPB, due to its periodic maintenance occurred in four periods. The place’s conditions were verified for natural luminosity and surface temperature of walls. The data on sunshine and biological manifestation were mapped by visual observations with a digital

cartographic database (AutoCAD) provided by SEINF/AP (FSJM) and by SECULT/AP (FCPB).

To collect microbiological material, swabs were moistened in saline solution and processed in laboratory by the surface plating method (spread plate). The flora were done observing walls structure. The specimens were screened, identified, counted, herborized and incorporated into Herbarium Normélia Vasconcelos (HF) (UFPA).

2.2. Methods

2.2.1. Wall surface temperature

Digital thermographic infrared camera (IRT) (Flir T300) and an infrared thermometer (model 830-T1, Texto) at two heights: T1 at H1=1.20m and T2 at H2=2,10m were used, considering the elevations and solar orientation.

2.2.2. Laboratory analysis

Optical and electronic microscopy: were used the Leica EZ4D stereomicroscope and Nikon Eclipse 80i optical microscope, with Nikon DS-Fi-1 coupled camera and the scanning electron microscopy (SEM) coupled to the analytical system (EDS), Zeiss SEM model LEO-1430, with Sirius-SD dry EDS, metallized with Au for 2 minutes in EMITECH K-550.

Chemical analysis

The pH measurement was performed by a combined electrode immersed in suspension in the mortar/water solution in a ratio of 1:2.5. Afterwards, 10 cm³ of TFSA were weighed into a plastic cup, 25 ml of distilled water was added and the shaker table was taken for 15 minutes, rested for 1 hour and reading in potentiometer with combined electrode.

To determine the chemical elements (Table 2), 0.5g of each sample was weighed in the clay fraction (<0.063 mm), and 10 mL of HNO₃, weighed by microwave radiation (MARSX pres, CEM Corp. Matthews, NC, USA) according to EPA method 3051 [50]. The elements were determined by an inductively coupled plasma spectrometer (ICP-OES, Model Vista-MPXCCD, VARIAN) [51]. The soil reference material (SRM 2710, NIST, USA) was used to results validation.

The determination of P was performed with Mehlich-1 solution (0.0125 mol L⁻¹ of H₂SO₄ and 0.050 mol L⁻¹ of HCl). 10g of each sample was weighed, 100 ml of Melich 1 solution was added, shaken, allowed to stand overnight. Subsequently 5 ml of the supernatant was removed, adding 5 ml of dilute ammonium molybdate acid solution [52] and reading on Spectrophotometer, model UV-M51 UV / VIS, BEL Engineering S.R.L.

X-Ray Diffraction (XRD)

Powder method and PANalytical Empyrean diffractometer were used, Co anode X-ray tubes ($K\alpha_1 = 1.789010 \text{ \AA}$), long fine focus, Fe K β filter, PIXCEL3D-Medpix3 detector 1x1, in the scanning mode, with a voltage of 40 kV, a current of 35 mA, a step size of 0.0263°, scan 4°-75° in 2 θ , time/step 30.6s, divergent slit: 1/4°, anti-spreading: 1/2°, mask: 10 mm.

Identification of biological material

Microorganisms: For assay the spread plate technique was used. Aliquots of 0.1 ml of H₂O were transferred to sterile Petri dishes and the medium containing Sabouraud Agar with chloramphenicol added in duplicate. After growth the colonies were isolated and identification of the filamentous fungi were performed, based on the macroscopic and microstructural colonies characteristics according to classical taxonomy and specialized bibliography parameters [53,54,55,56,57].

Vascular flora: The species (vegetative and reproductive characters) observed criteria according to the type and places occurrence, flowering and fruiting season (Angiosperms),

habit and luminosity. For angiosperms was held the comparison with herborized material deposited in the herbaria MG, IAN, MFS and HF, and the types and photos when possible [58,59,60,5,46,47,48] for weeds and biodeteriorants. Pteridophytes identification was done by specialists and through the consultation of analytical keys and specialized literatures [61,62,63,64,65,66,67,68], also for weeds [58,59]. The classification system adopted obeys those of Smith *et al.* [69] for ferns. For the Licophyta [70] and for Moniliophyta [69] in addition to consultation of type-material and photos type in the herbariums, works princeps and CINB (validity of the species).

3. RESULTS

3.1. Insulation and surface temperature.

General surface temperature in the morning and afternoon showed differences in behavior in the fortifications, possibly due to the different implantation and orientation conditions, in opposite margins considering the mouth of Amazon river and Guajará bay. The western FSJM face is turn of continent while in FCPB is facing for bay, more susceptible to ventilation effects and marine aerosol.

In FSJM, the lowest absolute temperature in the morning was $T=20^{\circ}\text{C}$ (elevation E14 facing S/SW) at a flank angle with a high concentration of moisture, mosses and vegetation, while the highest $T=41^{\circ}\text{C}$ (elevation E7 facing N/NW). In the afternoon, the lowest $T=20.5^{\circ}\text{C}$ (elevation E1 facing E) and the highest of $T=54.5^{\circ}\text{C}$ (elevation E16 facing W). In general, the faces E and S (elevations E3, E4, E5, E6) maintained averages between 22.3°C and 29.2°C in morning and afternoon periods, while the western facades (elevations E13, E15, E16, E18) presented in both periods between 37.8°C and 45.8°C (Fig. 2).

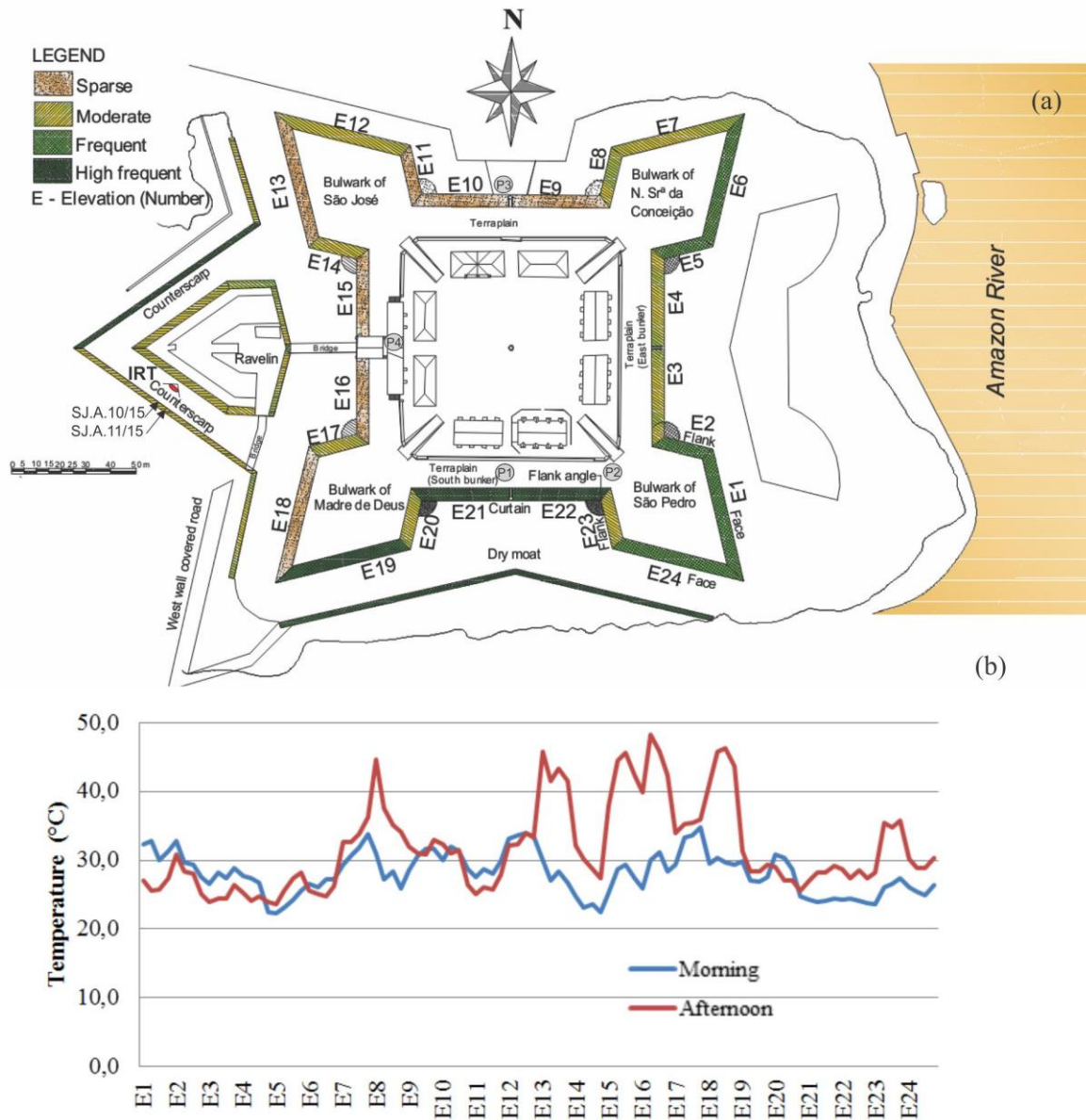


Fig. 1 – (a) FSJM plan indicating vegetation in the walls according to solar orientation and architectural aspects, and including microorganisms collection points (P1, P2, P3, P4), capture of IRT and ANM (SJ.A.11/15) and REM (SJ.A.10/15) mortars; (b) averages of surface temperatures in morning and afternoon. (Source (a): database SEINF/GEA, modified).

The absolute lowest temperature in FCPB in the morning was $T=24^{\circ}\text{C}$ (elevation E1 facing S) in a shaded area under the access bridge, while the highest $T=46^{\circ}\text{C}$ (elevation E14 facing NW) at external curved wall facing the Guajará bay. In the afternoon, the lowest temperature was $T=27^{\circ}\text{C}$ (elevation E4 facing NW, in low wall and curve, and elevation E10 facing W, in shaded inner wall), while the highest $T=46^{\circ}\text{C}$ at the same elevation of the curve facing the bay (elevation E14 facing the NW) (Fig. 3).

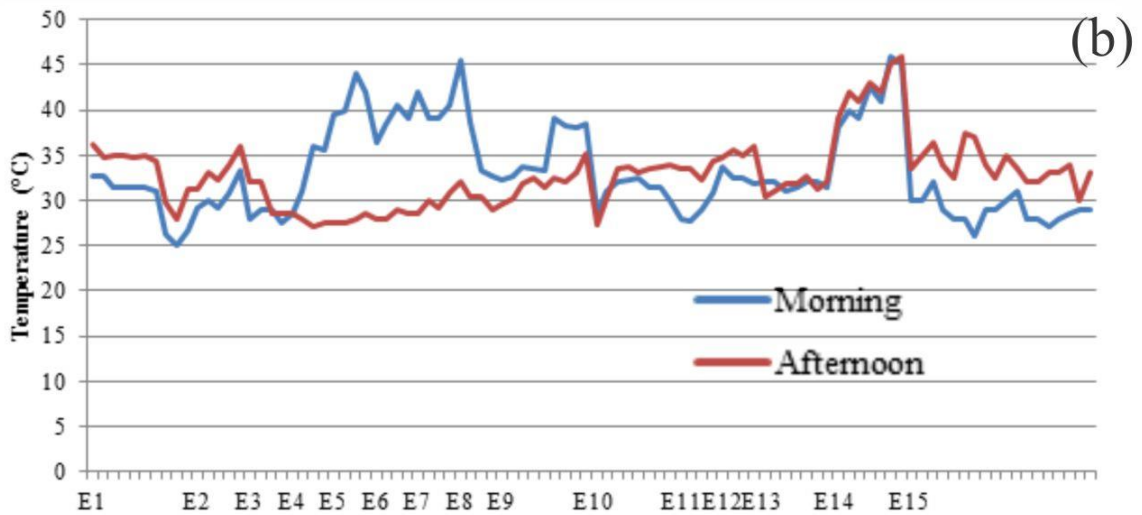
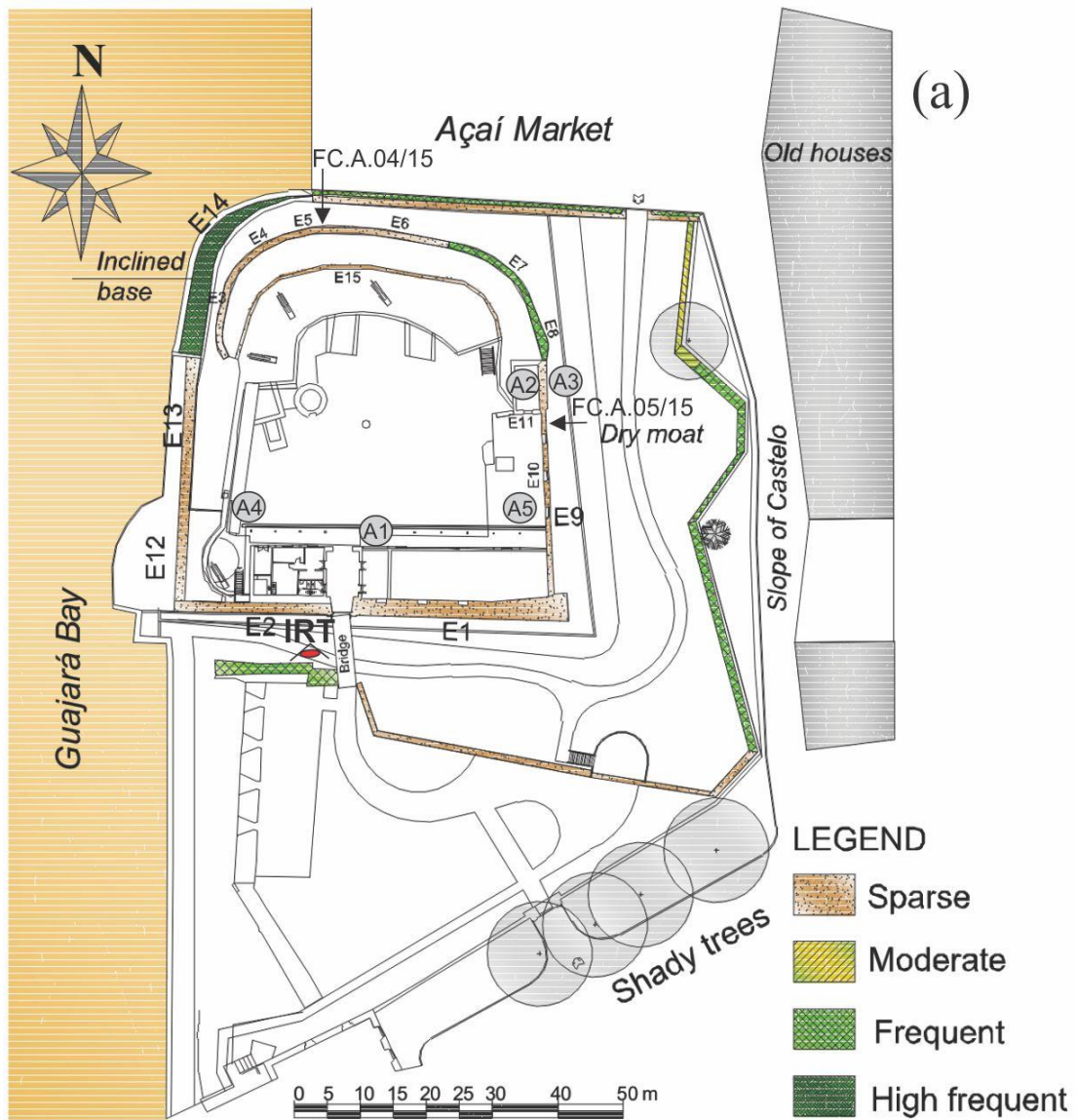


Fig. 2 – (a) FCPB plan indicating vegetation in the walls according to solar orientation and architectural aspects and including microorganisms collection points (A1, A2, A3, A4), capture IRT and ANM (FC.A.04/15) and REM (FC.A.05/15) mortars; (b) averages of surface temperatures in morning and afternoon. (Source (a): database SECULT/PA, modified).

By means of IRT, it is possible to observe in FSJM (Fig.4a,b) the differentiated behavior of "ancient" (ANM) and reconstitution (REM) mortars. The areas where ANM predominate are densely vegetated and reflected by bluish areas with a $T > 27.6^{\circ}\text{C}$, while in the upper areas the REM concentrated (works carried out 2010/2012 and in 2014, 2015 and 2016 according verification in loco), vegetation is not observed. The ferruginized sandstones presented higher T (orange zones reaching 41.6°C) in relation to settlement mortars (yellow and blue areas), which variation of temperature in the same wall of 14°C on the covered road counterscarp in northeast facing.

Similar behavior observed in FCPB (Fig.4c,d), where areas with ANM show greater wear potential by drainage from the low battery, resulting in moisture concentration and consequent colonization of plants in mortar grouts (bluish areas with $T > 28.8^{\circ}\text{C}$), while in the drier areas, ferruginized sandstones reach up to 43.4°C (reddish areas) with variation of temperature in the same wall of 14.6°C in elevation of the counterscarp facing North (N).

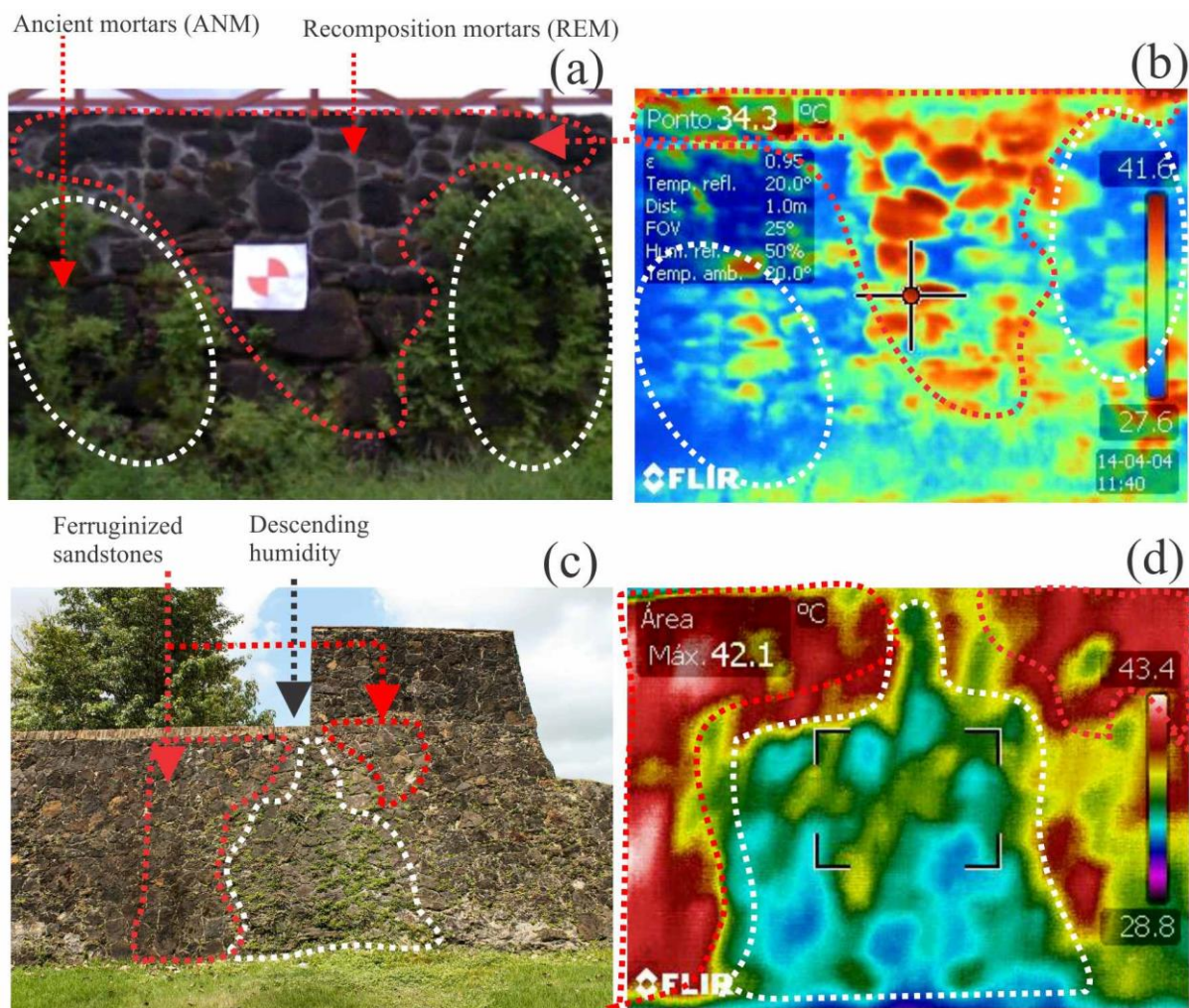


Fig. 3 – Photographic and thermographic images (IRT) of counterscarp in FSJM (a,b) and in FCPB (c,d), presenting different behaviors between ANM and REM mortars, humidity concentration areas and rocks correlating to greater or lesser susceptibility to biological colonization.

3.2. Mortars chemical and mineralogical parameters

The IRT images (Fig.4) shows that vegetation installed preferentially along the mortars and then begins invade rocky blocks and bricks. Analysis of pH and chemical components, possible nutrients and micronutrients such as P, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn and Cu, among others, as aids for evaluation potential fertility by ANM and REM mortars (Tables 2 and 3).

Table 1- pH values and available P in ANM and REM mortars of FCPB and FSJM.

MONUMENT	SAMPLE	LOCATION	TYPE	pH	P (mg/L)
FCPB	FC.A.04/15	Upper curved wall in terreplein (Elevation E5, Fig. 4)	ANM	9,02	0,1704
FCPB	FC.A.05/15	External wall facing the dry moat (Elevation E9, Fig. 4)	REM	8,71	2,0139
FSJM	SJ.A.11/15	Counterscarp (Fig. 5)	ANM	7,89	0,7737
FSJM	SJ.A.10/15	Counterscarp (Fig. 5)	REM	9,87	0,0383

Table 2 - Concentrations of chemical elements in ANM e REM mortars of FCPB and FSJM.

SAMPLE	Type	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (ppb)	Cu (ppb)	Na (ppb)	Ba (ppb)	Cr (ppb)	Pb (ppb)	Ni (ppb)	Cd (ppb)	Co (ppb)
FC.A.04/15	ANM	13,31	2,49	0,78	10,28	6,70	0,03	31,82	3,69	468,27	11,06	13,81	8,36	3,35	1,15	0,83
FC.A.05/15	REM	13,08	6,40	0,09	3,60	32,78	0,36	61,99	11,71	119,66	15,20	10,32	9,03	9,04	5,58	3,10
SJ.A.11/15	ANM	13,21	2,44	0,65	9,83	6,36	0,03	23,75	3,56	416,58	10,65	12,97	8,94	3,07	0,97	1,20
SJ.A.10/15	REM	12,54	0,24	0,54	16,41	28,42	0,03	43,12	2,81	1130,04	11,08	55,37	10,63	2,33	4,28	0,61

The mineralogical composition of ANM and REM mortars by XRD indicated the dominance of quartz (as sands components as coarse aggregates) and calcite (by the lime use as a binder) as dominant minerals. The kaolinite (from clays used as fine aggregate) appears in the mortars of FSJM, while hematite is recurrent, except for REM of FCPB. Dolomite (FCPB) and brucite (FSJM) identified only in REM type mortars (Fig. 5). In some REM of FSJM synthetic commercial pigments (Pó Xadrez) composed of synthetic iron oxides, in addition to Ca and Mg carbonate (15-40%), carbon black and naphthalene sulfonic acid (1-5%), boric acid (0.2-1%) and trimethylolpropane (TMP) (black pigment), according to commercial standard.

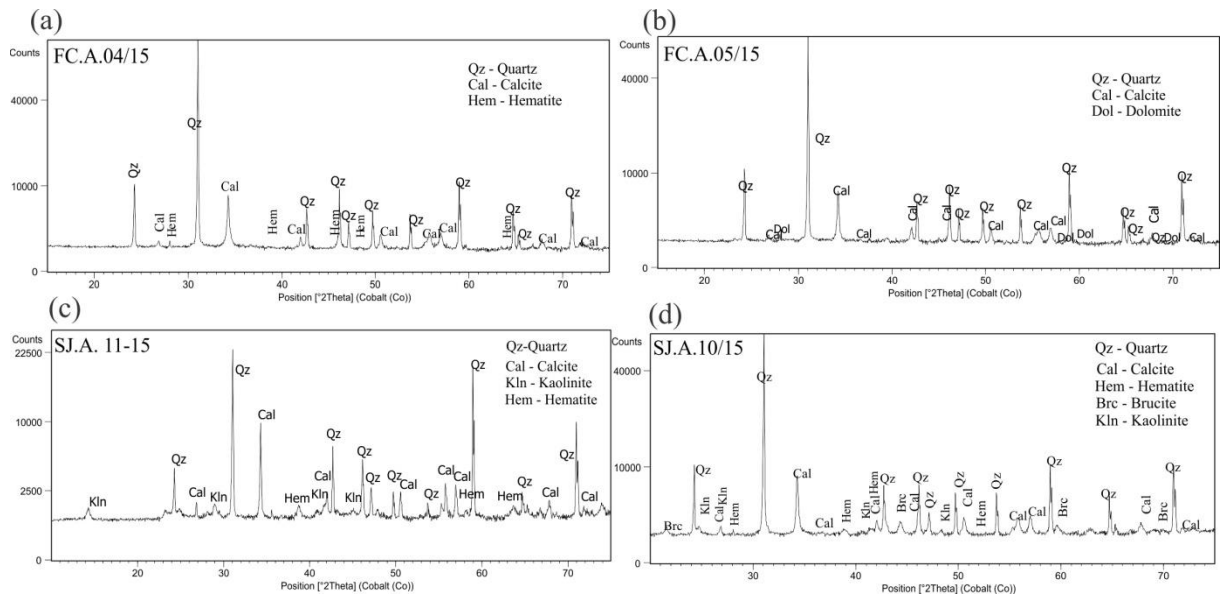


Fig. 4 – XRD mineralogy of ANM and REM mortars: quartz and calcite are dominant, followed by kaolinite, hematite, dolomite and brucite. It is noted that CaO or even portlandite, not identified, have been rapidly transformed into calcite, after their contact with environmental water (pluvial).

3.3. Microbiological material

The mycological studies from mortars and ceramic bricks surfaces resulted in the identification and isolation of 121 fungal colonies, most prevailing *Penicillium*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Acremonium*. In addition to the high fungi occurrence with no reproductive structures, these are described as sterile hyaline Mycelium and sterile dark Mycelium. Seven *taxa* were common in the fortresses studied: *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma* (Table 3).

Table 3- Microbiological material isolated in FCPB and FSJM.

TAXA	FCPB				FSJM			
	A1	A3	A4	A5	P1	P2	P3	P4
Collects places								
Substrat	C	M	M	M	M	C	M	C
<i>Absidia</i>								X
<i>Acremonium</i>	X				X	X		
<i>Alternaria</i>			X					
<i>Aspergillus</i>	X				X			X
<i>Cladosporium</i>	X		X				X	
<i>C. oxysporum</i>	X	X	X	X				
<i>Curvularia</i>	X	X						X
<i>Fusarium</i>	X		X					
<i>Nigrospora</i>				X				
<i>Paecilomyces</i>	X							X
<i>Pastalotopsis</i>	X							
<i>Penicillium</i>	X	X			X		X	X
<i>Phialophora</i>						X		
<i>Trichoderma</i>	X					X		X
<i>Volutella</i>			X					
Coelomycetes	X							
Sterile hyaline Mycelium	X		X			X		
Sterile dark Mycelium	X	X	X				X	X

Collects places: FSJM-P1: internal masonry wall in South bunker; P2: floor in South bunker; P3: arc north potern; P4: floor sub-officers house (Fig. 2). FCPB-A1: floor building terrace; A2: gunpowder barn; A3: external wall; A4: external building wall; A5: internal scarp (Fig. 3). Substrat: M: Mortars; C: Ceramic bricks.

In FCPB case, its structure in general is well cared because are subject to periodic cleaning, which consists in biological materials removal, resulting in few areas suitable for collection. In FSJM, the collects were also partially impaired due to the painting in some vaulted environments that covered microbial biofilms observed in previous visits. Photomicrographs of some isolated fungi of the fortresses are presented in Fig.6.

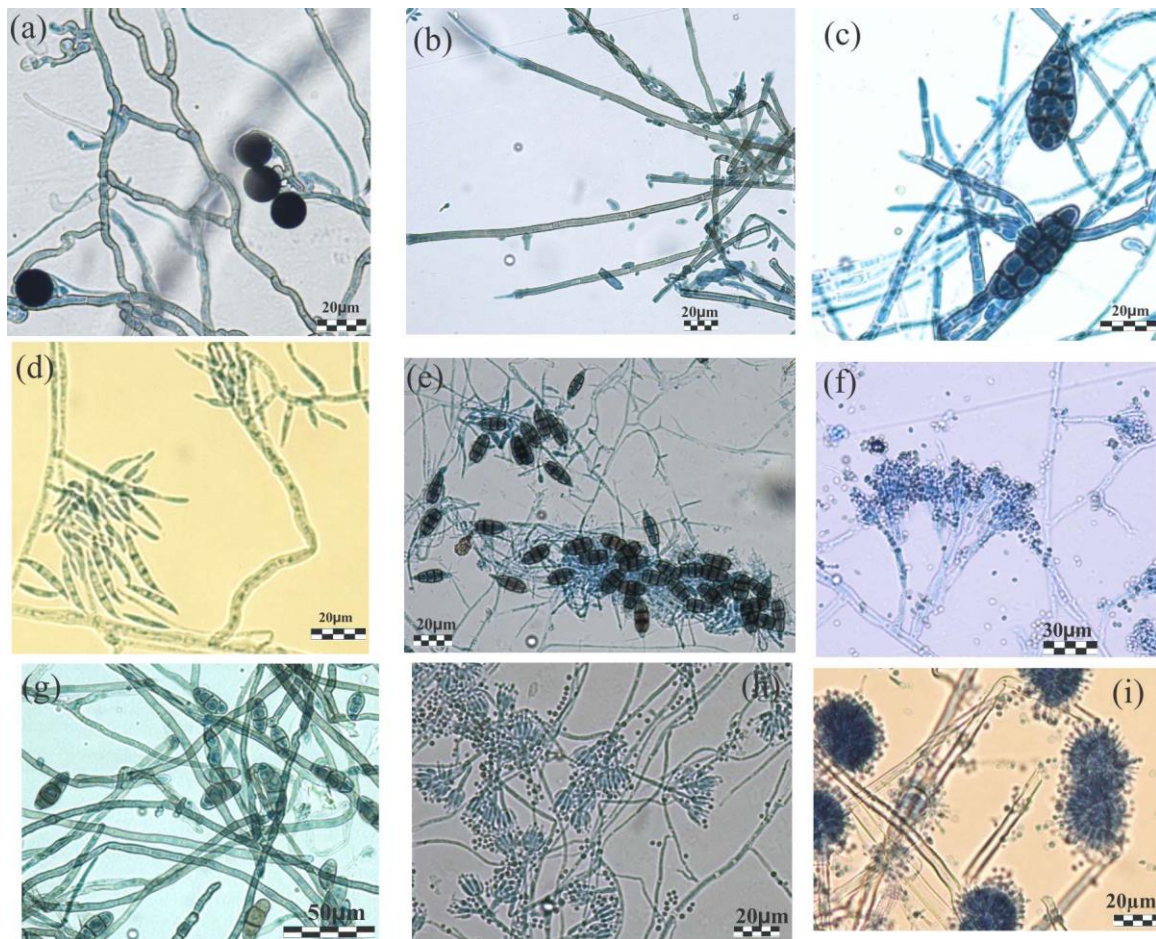


Fig. 5 – Photomicrographs of fungi isolated collects of FCPB (a,b,c,d,e) and FSJM (f,g,h,i): (a) *Nigrospora*, (b) *Cladosporium oxysporum*, (c) *Alternaria*, (d) *Fusarium*, (e) *Pastalotiopsis*, (f) *Paecilomyces*, (g) *Curvularia*, (h) *Penicillium*, (i) *Aspergillus*.

In addition to the fungi colonies, the green biofilms action resulting from the algae presence such as Cyanophyceae *Gloeocapsa gelatinosa* Kützing are common in the various construction materials substrates, as can be observed in glazed layer disintegration presenting fragments of ceramic matrix and loose quartz grains on the surface brick of FSJM (Fig.7).

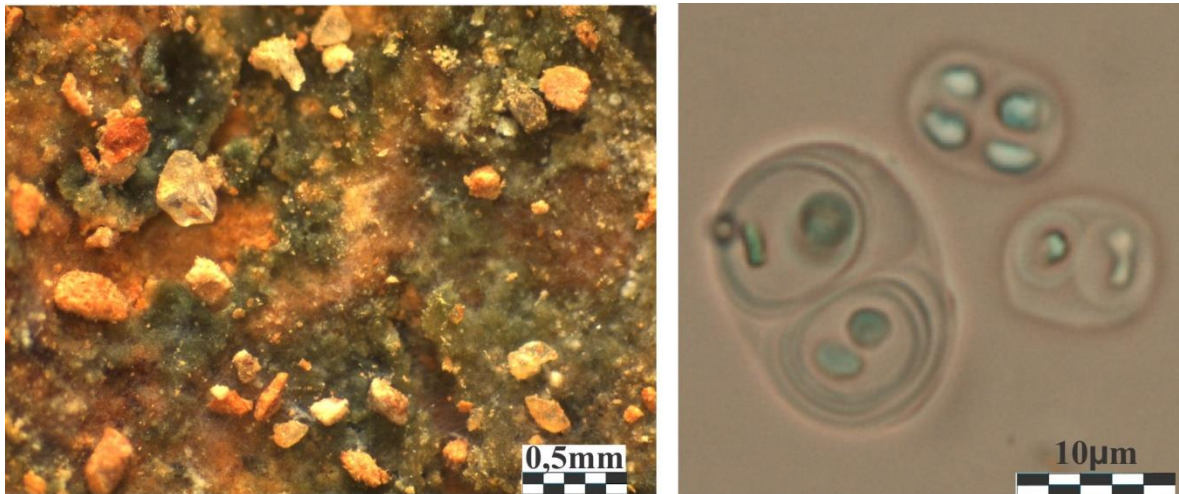


Fig. 6. (a) Green biofilm by algae Cyanophyceae *Gloeocapsa gelatinosa* on FSJM ceramic brick (SJ.T.04/14 sample); (b) Cyanophyceae *Gloeocapsa gelatinosa* isolated.

In addition to fungi and algae, developing rhizoids and various microorganisms such as diatoms were identified, especially in porous materials, from rough surfaces such as bricks and mortars, altered in a typical biochemical weathering (Fig.8). The diatoms presence (Fig.8b) may be in part related to the clay raw material used for the brick production, possibly sedimentary clays. The diatoms structure resists the firing bricks process [19].

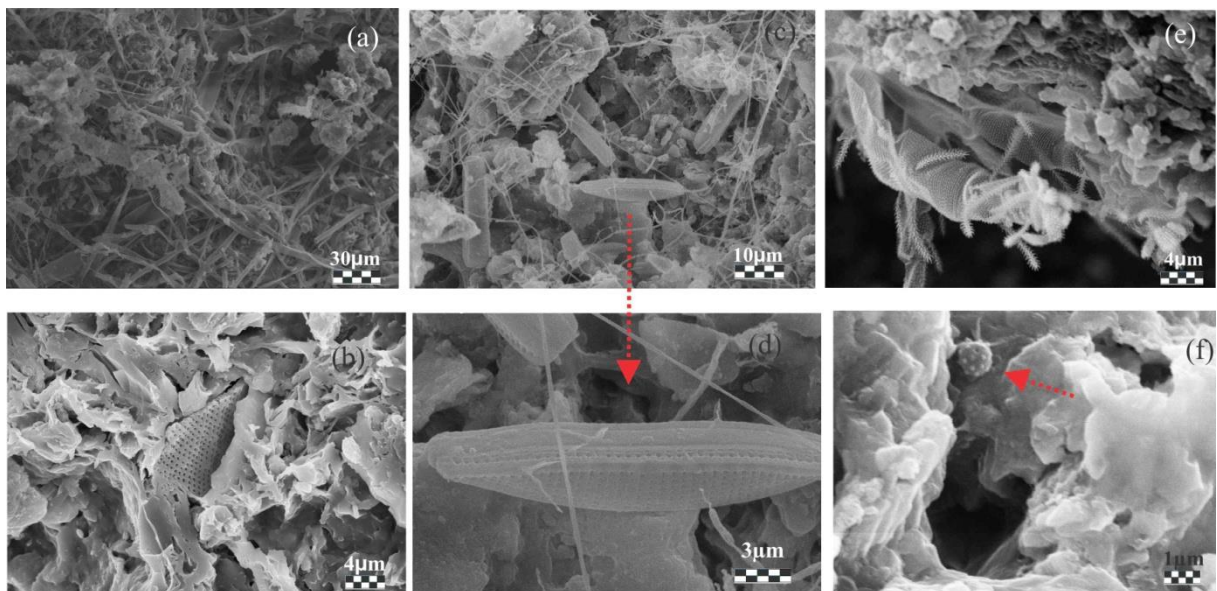


Fig. 7. Microorganisms in surfaces and pores of FSJM bricks and mortars: (a) rhizoids and algae on brick surface (SJ.T.04/14); (b) diatoms fragment immersed within the ceramic matrix (FC.T.02/15); (c, d) *Pennales* diatoms and hyphae on brick surface (SJ.T.01/14); (e) possible appendage of insect in brick (SJ.T.08/15); (f) possible mite in pores mortar (SJ.A.07/15).

3.4. Vascular flora

A total of 37 plant species were identified colonizing the internal and fortifications external walls, distributed in 23 families (Table 4). Among these, six species occur in the two monuments. The greatest diversity, possibly due to its larger size, architectural typology and mainly due to the lower control and maintenance compared to FCPB, was found in FSJM.

Table 4-

Plant species identified in FCPB and FSJM classified by family, species, habit, luminosity condition, biological control and biodeterioration degree impact.

Familie	Species	Habit	Luminosity	Control	Occurrence		Impact
					FCPB	FSJM	
Poaceae	<i>Eragrostis tenella</i> (L.) P.Beauv. ex Roem. & Schult.	H	FS - HS - S	M		xxxx	+
	<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	H	FS - HS - S	M		xxxx	+
	<i>Paspalum densum</i> Poir.	H	FS - HS - S	M		xxxx	+
	<i>Paspalum decumbens</i> Sw.	H	FS - HS - S	M		xxxx	+
	<i>Schizachyrium brevifolium</i> (Sw.) Nees ex Buse	H	FS - HS - S	M		xxxx	+
Cyperaceae	<i>Rhynchospora pubera</i> (Vahl) Boeckeler	H	FS - HS - S	M	xxx		+
Piperaceae	<i>Piperomia pellucida</i> (L.) Kunt.	H	FS-HS	M		xx	+
Loganiaceae	<i>Spigelia anthelmia</i> L.	H	HS-S	M	x		+
Urticaceae	<i>Pilea microphylla</i> Liebm.	H	HS-S	M	xxxx	xxxx	+
Turneraceae	<i>Turnera ulmifolia</i> L.	H	FS-HS	MC		xx	++
	<i>Piriqueta cistoides</i> (L.) Griseb.	S	FS-HS	M		x	++
Amaranthaceae	<i>Alternanthera tenella</i> Colla	H	FS-HS	M	x		++
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia prostrata</i> Ailton (Small)	H	FS-HS	M	xxx	xx	++
	<i>Astraea lobata</i> (L.) Klotzsch	H	FS-HS	M		x	++
Oxalidaceae	<i>Oxalis</i> sp.	H	FS-HS	M		x	++
Asteraceae	<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson	H	FS-HS	M	xx		++
	<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC. Ex Wight	H	FS-HS	M		x	++
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus niuri</i> L.	H	FS-HS	M	x		++
Brassicaceae	<i>Hemiscola aculeata</i> (L.) Raf.	H	HS-S	M	xx	xx	++
Rubiaceae	<i>Borreria verticillata</i> (L.) G. Mey	H	FS-HS	M	xxx	xxx	++
	<i>Declieuxia tenuiflora</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) Steyerl. & J.H. Kirkbr.	S	FS-HS	M		x	++
Lygodiaceae	<i>Lygodium venustum</i> Sw.	HL	FS-HS	C		x	++
Myoporaceae	<i>Capraria biflora</i> L.	SS	FS-HS	M		x	++
Urticaceae	<i>Laportea aestuans</i> (L.) Chew	S	FS-HS	M		x	++
Verbenaceae	<i>Priva lappulaceae</i> (L.) Pers.	S	FS-HS	M		x	++
Nyctaginaceae	<i>Boerhaavia diffusa</i> L.	H	FS	MC		x	++
Solanaceae	<i>Physalis angulata</i> L.	H	FS-HS	M		x	++
	<i>Solanum stramonifolium</i> Jacq.	S	FS-HS	C		x	+++
	<i>Solanum paniculatum</i> L.	HWR	FS	C	x		+++
Leguminosae-Papilionoideae	<i>Rhynchosia minima</i> (L.) DC.	LCP	FS-HS	M		xx	++
	<i>Crotalaria retusa</i> L.	SS	FS-HS	C		xxx	+++
	<i>Desmodium triflorum</i> (L.) DC.	SS	FS-HS	C		xx	+++
	<i>Desmodium adscendens</i> (Sw.) DC.	SS	FS-HS	C		xx	+++
Lomariopsidaceae	<i>Nephrolepis brownii</i> (Desv.) Hovenkamp & Myiam	HWR	FS - HS - S	C	xx	x	+++
Moraceae	<i>Ficus amazonica</i> (Miq.) Miq.	T	FS-HS	C		x	+++
	<i>Ficus maxima</i> Mill.	T	FS-HS	C	xx	x	+++
	<i>Ficus microcarpa</i> L.	T	FS-HS	C	xx		+++
Pteridaceae	<i>Pteris vittata</i> L.	HWR	FS - HS - S	C	xxxx		+++
	<i>Pytirogramma calomelanos</i> (L.)	HWR	HS-S	C		x	+++

	Link						
Lamiaceae	<i>Cantinoa mutabilis</i> (Rich.) Harley & J.F.B. Pastore	SS	FS - HS - S	C		x	+++
Leguminosae-Caesapinoideae	<i>Chamaecrista nictitans</i> (L.) Moench	SS	FS-HS	C		x	+++
Muntingiaceae	<i>Muntingia calabura</i> L.	T	FS-HS	C		x	+++
Myrtaceae	<i>Psidium</i> sp.	S	FS-HS	C		x	+++

Habit-H:herbaceous; HWR:herbaceous with woody rhizome; HL:herbaceous liana; SS:sub shrub; S:shrub; LCP:liana climbing plant; T:tree. Luminosity–FS:full sun; HS:half shade; S:shadow. Control-M:mechanic (manual); MC:mechanic and/or chemical;C: chemical. Occurrence - Sparse:x; Moderate:xx; Frequent:xxx; High frequent:xxxx. Impact degree: Low:+; Medium:++; High:+++.

4. DISCUSSIONS

The differential biocolonization development of the walls and internal buildings shows a strong relation with the construction materials, architectural typology, spatial arrangement, insolation, wind direction and, consequently, rainfall and humidity, either relative to the air, or to those conditioned to the architectural structures by capillarity or descending infiltrations.

In walls, the highest vegetation density occurs mainly in the elevations towards the great Amazon river (FSJM) and Guajará bay (FCPB), from which a great part of the humidity brought by the rising tidal winds, usually NE-SW. It is also clear the propensity due to the spatial arrangement and consequent solar orientation, reflecting the walls surface temperature.

FSJM present isolated implantation in a large open area and with less interference from external elements. Its western area faces the continent while eastward turns towards the river. The milder temperatures measured in East and South elevations ($T < 30^{\circ}\text{C}$) in the morning and afternoon periods are reflected in the greater vegetation proliferation in these walls, while in those facing west ($T > 54^{\circ}\text{C}$) the vegetation is more sparse (Fig. 2).

At FCPB, the West faces turn to Guajará bay and the North to the Aa Market with influence of oceanic wind. The houses of Slope of Castelo (East) and large arboreal vegetation of the square and sidewalks (South) print a milder microclimate with extensive shaded areas nearby, as well as the architectural typology with faces and walls curved in different heights. Constant FCPB cleaning prevented a more effective analysis of the occurrence of vascular flora in its walls, but it was still possible to identify the East facing east are also quite susceptible to vegetation (Fig.3).

Architectural design aspects influence biological proliferation. Sloping walls and raised areas are more susceptible to vegetation. In the fortifications bastions case, such as FSJM, the flank and curtain angles presented favorable conditions for humidity and shading, causing large occurrence of biofilms, lichens, mosses and vegetation, especially those the East and South faces, always with temperatures lower than those in the neighborhood (Fig. 3).

As for building materials, the fortifications are predominantly constructed with rocks from the region, such as ferruginized sandstones, lateritic crusts and iron stones, but in FCPB there are rocks of external origin such as marbles, granites, gneisses and limestones applied in walls and the paving part. Among these rocks, lateritic crusts are the most susceptible to biological proliferation due to their physical characteristics, rough surfaces and nodular/cavernous and columnar/tubular aspects, which the cavities behave as substratum for the establishment of small plants and animals [8,21,26,37,40].

Old bricks are also more weathered due to the time factor, and have a greater roughness and porosity, making them seem more bioreceptible. Bricks use is more evident in FSJM, where small walls, ramps and pavements are entirely in this material, bound or protected by mortars. Its biodeterioration is more pronounced than in rocks in general, except

lateritic crusts. However, when cementing the blocks of rocks and bricks, it is in mortars that fill cracks and pores, where vegetation is preferentially established. Due to its higher porosity and subjection to moisture concentration as verified by the IRT and chemical composition that presents nutritional components favorable to plant fertilizer, they become potentially more bioreceptive [32,33,34,35,49,71].

The physical, chemical, mineralogical and fertility parameters of mortars confirmed that ANM are generally composed of lime (CaO and/or CaOH₂ and also calcite), sand (quartz grains dominantly) and clayey material (mainly kaolinite). The REM may present the use of commercial lime with or without cement addition, therefore also with CaO, CaOH₂, calcite by rehydration, besides sand (also represented by quartz), clayey material in a low proportion (kaolinite) or absent as confirmed by XRD (Fig. 5).

Although pH values are at an alkaline level, which in principle does not constitute favorable conditions for the development plant life, it is possible that both progressive carbonation and contact with rainwater (pH 5.6) favor the reduction of alkalinity to levels favor microbial multiplication and vegetation [32,34].

Macronutrients concentrations such as available P and K were below 2 ppm, levels considered low for soil fertility. However, other nutrients such as Ca (12.54-13.31 ppm) and Mg (0.24-6.40ppm) in addition to micronutrients such as Fe, Cu, Mn and in lower concentrations Zn and Ni, are present in these samples and are important for plant development. Besides, the lime use (derived from calcite or dolomite) to correct the acidity in soils prevent Mn and Al from becoming toxic to plant growth, so they can act by balancing the Al presence in mortars (3.60-16.41 ppm), usually resulting from clayey minerals such as kaolinite [71]. This significant content of nutrient chemical elements considering the mortars substrate reflects the mineral constitution confirmed by the XRD analysis in which calcite, brucite and dolomite can respond for the available contents of Ca and Mg, and subjacent Mn, Zn and Cu. The bioreptivity by architectural features and materials found in FSJM and in FCPB can be observed in Fig. 9 and Fig.10.

In addition to aspects related by building materials and walls characteristics, in architectural and spatial terms, there is also great susceptibility to biological proliferation in internal vaulted environments, mortared and whitewashed ceilings, located under the terreplein, such as in bunkers cells, dungeons, gunpowder barn, guardhouse, which generally concentrate high humidity and sufficient light to perform photosynthesis at milder temperatures than exterior ones. Such conditions favor the microorganism proliferation such as algae, fungi, lichens and mosses, in addition to the development of stalactites and stalagmites carbonaceous. These environments and areas near ducts and drains with descending infiltrations as well as thick walls with capillary moisture are the main sites with aesthetic changes caused by biopatina in extensive patches of reddish orange, green and/or black color [8,11,15,16,20,33] (Fig. 9 e,f).



Fig. 8. Bioreceptivity in FSJM: (a) lichens and mosses in bricks of internal scarp in humid areas towards drainage and bottom near the ground; (b) nodular lateritic crust with rough surface favoring the vegetation development; (c) sparse vegetation in west curtain, but concentrated in the raised area of the cord line and in the grooved parapet cracks; (d) ceramic roof toe of internal drainage of vaults bunkers with green algae biofilm and vegetation (*Pilea microphylla*); (e) green and black biofilms in humid areas in South bunker cells; (f) reddish orange biofilm on dungeon walls.



Fig. 9. Bioreceptivity in FCPB: (a) surface tilted towards the Guajará bay with vegetation at the joints between rocks; (b) wall facing the Aai Market with vegetation on the upper, this sidewalk presents accumulation of human excretory fluid (urine), which may justify less occurrence in the lower area; (c) dry moat counterscarp, with vegetation in the upper and in the horizontal shoulder, and worker in vegetation cutting procedure (red contour).

Isolated fungi colonies presented genera with allergenic potential, as well as causing opportunistic infections. Although these agents, when developing in building materials, may participate in the deterioration of these substrates [15,20,33,37]. However, the main impact of these microorganisms is their previous association, serving as a substrate for the development of tree species, which can reach a high degree biodeterioration. The mortar, bricks and rocks disintegration observed in the fortifications due to the mechanical action of bryophytes also affects part of the primary succession (Fig. 11a,b).

The leaching process, followed by water retention and accumulation of material in cracks, leads to the succession of other plants with true roots, mainly *Pilea microphylla* (Fig.9d), considered a secondary succession species, not demanding under conditions of soil, with good humidity and diffuse light conditions [46,47,59]. This species was observed in all areas of FSJM and FCPB, densely distributed in shadow and half shade environments, being considered the most abundant species, but easy to control. The biochemical weathering caused by these plant organisms can be clearly observed from ceramic brick from FCPB with the rhizoids penetration which allow the water retention and trigger other chemical reactions by dissolution (Fig.11c,d).

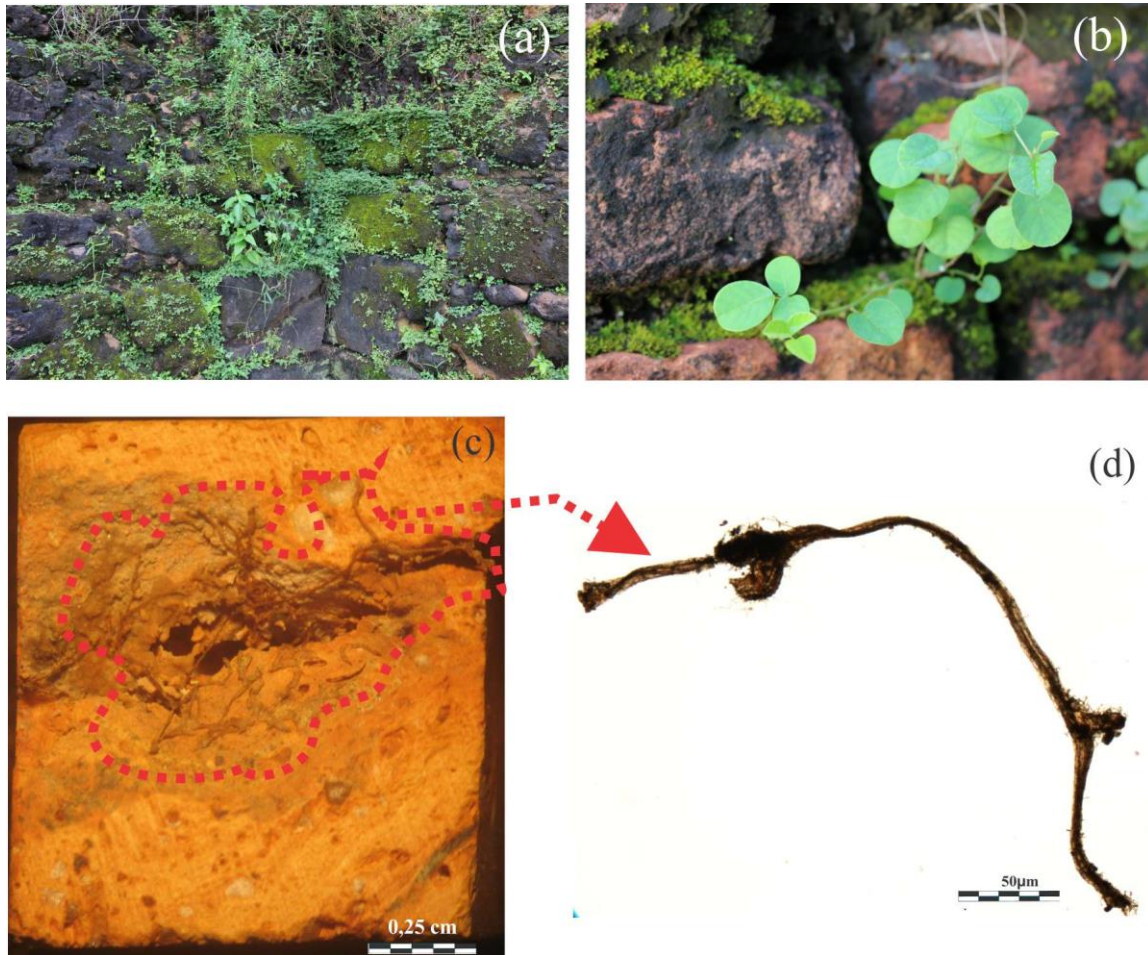


Fig. 10. Biological succession in FSJM (a,b) and biochemical weathering in FCPB (c,d): (a) rocks with rough surfaces and cracks with mortars serving as a substrate for biological proliferation; (b) parapet in rough bricks and mortar with lichens, mosses and high biodeterioration sub-shrub (*Desmodium triflorum*); (c) ceramic brick fragment from FCPB (FC.T.02/15 sample) where observed the material susceptibility to biochemical weathering by rhizoid penetration; (d) rhizoid photomicrograph by sample.

From the characteristics plants identified in fortifications considering the type of rooting, penetration capacity and control, whether mechanical (manual) and/or chemical (herbicide), it was possible to establish the impact degree and biodeterioration potential in three levels: low, medium and high (Table 4). The chemical control of the vegetation by means herbicides can be efficient, but it must consider several factors of efficacy and safety to monument, the man and environment, as well the use criteria, application and products choice [5]. The plants classified as low deterioration have short roots and superficial penetration with easy manual (mechanical) control (Fig.12).



Fig. 11. Species classified as low biodeterioration: In FCPB-(a)*Peperomia pellucida*, (b)*Pilea microphylla*, (c)*Rhynchospora pubera*, (d)*Spigelia anthelmia*; In FSJM- (e)*Melinis repens*.

The medium biodeterioration group present the superficial depth rooting and dense lateral growth of the branches were observed, characterizing them as weed plants of anthropic environments and by the fine roots of penetration superficial of mechanical control (manual) and possibly associated with herbicides (Fig. 13).



Fig. 12. *Alternanthera tenella* Colla, (b) *Euphorbia prostrata*, (c) *Emilia fosbergii*, (d) *Phyllanthus niuri*, (e) *Hemiscola aculeata*, collected in FCPB; (f) *Astraea lobata*, (g) *Boerhaavia diffusa*, (h) *Emilia sonchifolia*, (i) *Laportea aestuans*, (j) *Priva lappulaceae*, (k) *Rhynchosia minima*, (l) *Physalis angulata*, (m) *Turnera ulmifolia*, (n) *Piriqueta cistoides* collected in FSJM and (o) *Borreria verticillata* collected from FCPB.

The plants with high biodeterioration (Fig.14) have deep, extensive and robust main roots as well as secondary roots that are exposed and develop in the adjacencies (*Ficus maxima*, *Ficus microcarpa*). If uncontrolled, these species can lead to the monument destruction of its primary roots that aggressively penetrate between the rocks and bricks disaggregating the mortar joints, while its secondary roots extend into the adjacent surfaces and fissures, leading to disintegration and architectural elements collapse, causing successive damages, aggravated by the extension and its positioning. They are arboreal plants that require herbicides for their biological control, besides the knowledge of the substrate for the application and correct extirpation under penalty of further damage. Reproductive aspects of these species are also worrying, such as the *Nephrolepis brownii*, which presents prostrate rhizomes between rocks, as well as asexual reproduction by spores, which hinders its control, while *Pteris vittata* disperses asexually by spores and vegetatively of rhizomes that are regenerated, and a specific study control methods is necessary to reduce their progress.

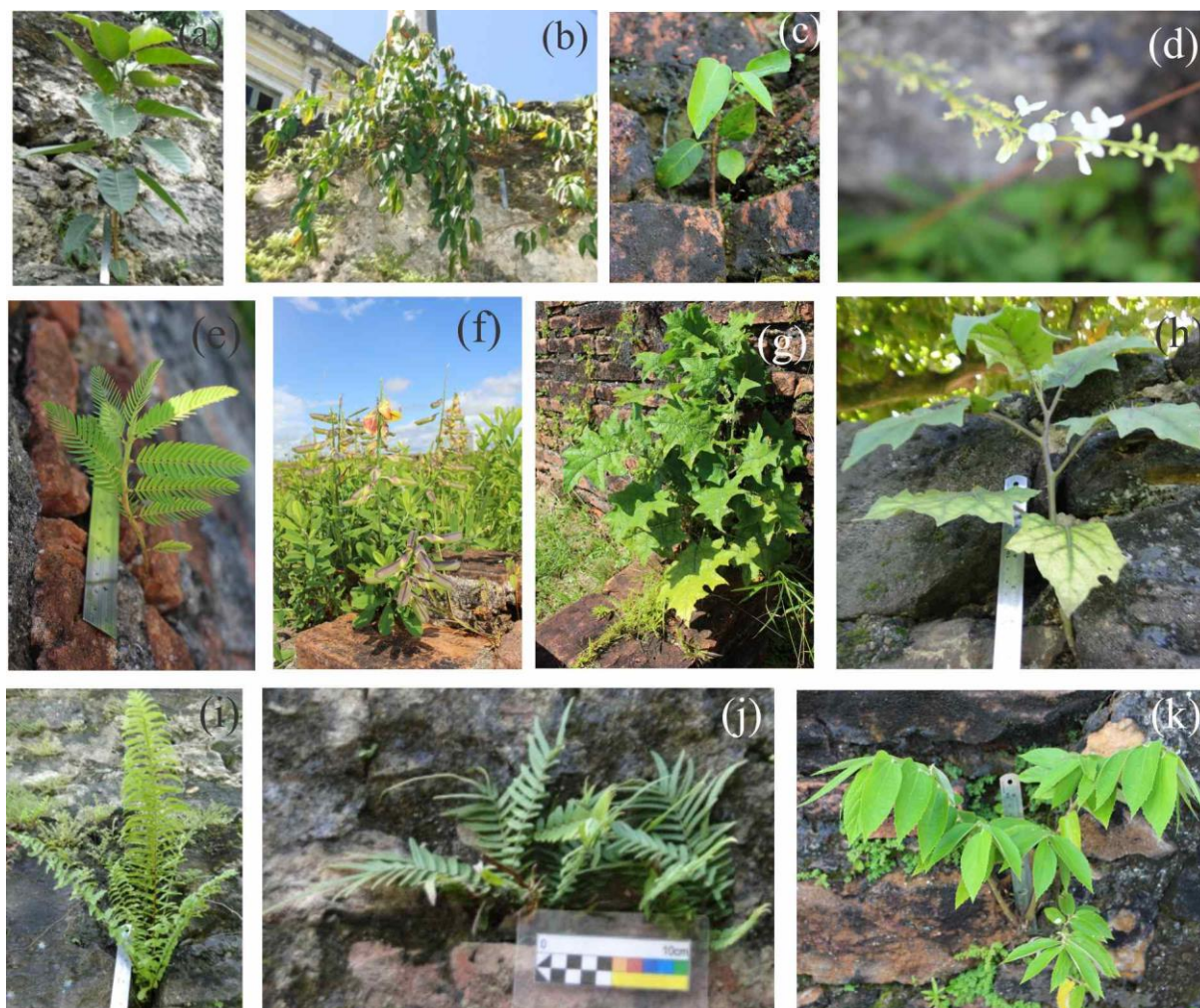


Fig. 13. Species classified as high biodeterioration impact: (a) *Ficus maxima* Mill, (b) *Ficus microcarpa*, (c) *Ficus maxima*, (d) *Desmodium adscendens*, (e) *Chamaecrista nictitans*, (f) *Crotalaria retusa*, (g) *Solanum stramonifolium*, (h) *Solanum paniculatum*, (i) *Nephrolepis brownii*, (j) *Pteris vittata*, (k) *Muntingia calabura*, (j). (a, b, h, i, j from FCPB; c, d, e, f, g, k from FSJM).

Based on the information set regarding the architectural typology of the fortifications, implantation, insolation, humidity, winds and physical, chemical and materials' mineralogical characteristics, it was possible to identify the main microsities prone to biological proliferation and consequent biodeterioration, using as an example FSJM and synthesized in Fig. 19, based in Lisci *et al.* [45].

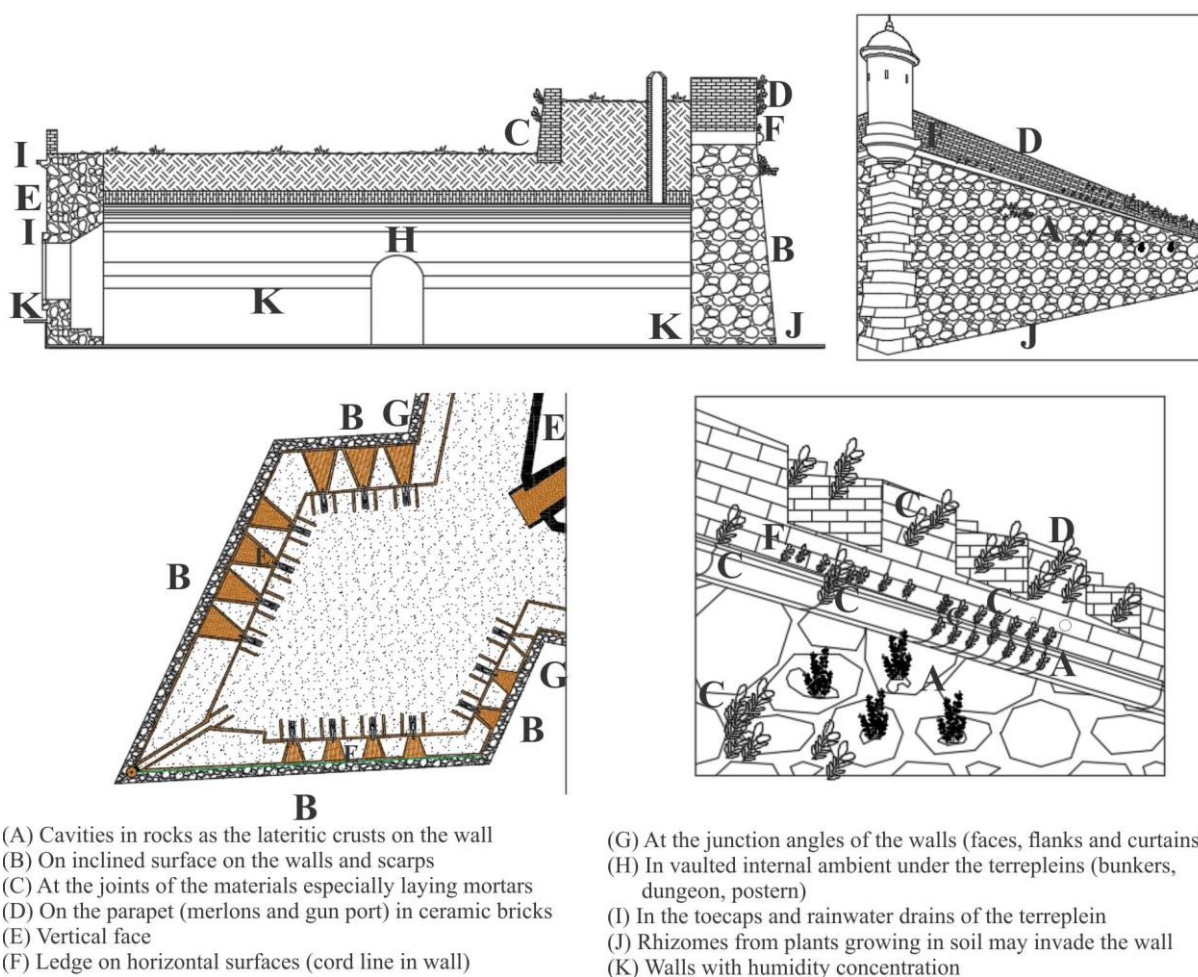


Fig. 14. Bioreceptivity in fortifications by FSJM architectural aspects, based in Lisci *et al.*[45].

5. CONCLUSIONS

Biodeterioration is one of the most important problems in the maintenance of cultural heritage, such as large monuments. In the Amazon, the understanding about the behavior of materials and their bioreceptivity allied to the architectural aspects and climatic conditions have been shown important indicators for the protective maintenance measures.

Mortars were more susceptible to biological proliferation, also because they presented relative potential fertility, historical or reconstitution type, aggravated by the time of weathering exposure. Rocks such as lateritic crusts and weathered ceramic bricks with the loss of vitrified layer were also very bioreceptive, mainly due to their rough and irregular surfaces. Healing or at least minimizing sources of moisture by capillarity or offspring are important measures to inhibit the growth of microorganisms indoors.

Plants with deep, extensive and robust main roots are the most aggressive and if not controlled can lead to the monument destruction, mainly by physical disintegration. Although biofilms do not initially exhibit large structural risks, they have a direct impact on aesthetic aspects due to the occurrence of biopatina in contrast to generally whitewashed walls, in addition to the risks to human health, requiring care in case use of these spaces, some in

unsanitary conditions. Without control, its gradual association can reach tree-bearing parts with a high degree of impact and intense biodeterioration.

Despite these aspects, some plant species attract attention for the structure, foliage and/or flowering beauty. As spontaneous plants, they require little maintenance, so if they were adopted at specific areas and controlled, the species would have landscape potential and even value the monuments.

The bioreceptivity sites identification can also induce a more efficient management, optimize resources and time in biological control. It is possible to establish strategies according to the material and microsites and the architectural typology, as demonstrated in the comparison between FSJM and FCPB, such as periodical cleaning, and treatment on vulnerable points. Biological control requires the deepening of studies to adequately define effective procedures and treatments, which is intended in subsequent stages, considering the results obtained in this research and the premise of applying alternative techniques to herbicides, which are potentially non-polluting to air, groundwater table and soils.

Acknowledgments

The authors thank: IPHAN (Amapá/Pará); SECULT (Amapá/Pará); FUMBEL (Belém/Pará) for research and collect samples permission; ICB, IG and ITEC/UFPA laboratories (Mycology, Botany, LAMIGA, LCM, LAPETRO, LABMEV, Sedimentology and LACORE); PPGG/UFPA; Evandro Chagas Institute; Laboratory of Soils/UFRA; Brazilian Agricultural Research Company/EMPRAPA; Museum of Archaeology and Ethnology/AP; Group of Mineralogy and Geochemistry Applied/GMGA; the National Counsel of Technological and Scientific Development/CNPq and by granting a bank fee and research grant to the second author.

References

- [1] O. Guillitte, Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies, *Sci. Total Environ.* 167 (1995) 215–220.
- [2] International Council on Monuments and Site (ICOMOS), *Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns*, Ateliers 30 Impression, Champigny/Marne, 2008.
- [3] D. Allsopp, K. Seal, *Introduction to Biodeterioration*, Edward Arnold, London, 1986.
- [4] V. M. John, *Avaliação da durabilidade de matérias componentes e edificações: emprego do Índice de Degradação*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFRGS, Porto Alegre, 1987.
- [5] T. Mouga, N. Proença, *Metodologias de controlo da flora infestante de monumentos: O caso da Porta Especiosa da Sé Velha de Coimbra. Ciência e Técnicas Aplicadas ao Património*, Património estudos, n. 3. (2002) 63-69.
- [6] H. A. Videla, *Biocorrosão, Biofouling e Biodeterioração de Materiais*, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 2003.
- [7] D. Allsopp, K. Seal, C. C. Gaylarde, *Introduction to Biodeterioration*, 2a. ed., Cambridge University Press, London, 2004.
- [8] Th. Warscheid, J. Braams, *Biodeterioration of stone: a review. Int. Biodeter. Biodegr.* 46 (2000) 343-368.
- [9] A. Z. Miller, P. Sanmartín, L. Pereira-Pardo, A. Dionísio, C. Saiz-Jimenez, M. F. Macedo, B. Prieto, *Bioreceptivity of building stones: a review. Sci. Total Environ.*, 426 (2012)1-12.
- [10] C. C. Santiago, M. M. Oliveira, *Estudo de Degradação Biológica de um Mural. Revista de Arquitetura e Urbanismo – RUA v.1 (1) (1988) 53-72.*

- [11] M. A. De La Torre, G. Gomez-Artaçon, C. Vizcaino, M. T. Garcia, Biochemical mechanisms of stone alteration carried out by filamentous fungi living in monuments. Kluwer Academic Publishers. Netherlands Biogeochemistry 19 (1993) 129-147.
- [12] M. E. Silva, H. M. P. Roeser, Mapeamento de deteriorações em monumentos históricos de pedrasabão em Ouro Preto. Revista Brasileira de Geociências, 33(4) (2003) 331-338.
- [13] C. V. G. Lopes, F. J. P. C. Carvalho, N. Krieger, Deterioração: ataque de microorganismos a monumentos históricos. Ciência Hoje, 34 (2003) 34-39.
- [14] L. K. Herrera, H. A. Videla, The importance of atmospheric effects on biodeterioration of cultural heritage constructional materials. Int. Biodeter. Biodegr. 54 (2004) 125-134.
- [15] V. O. Aina, A. A. J. Adewumi, H. Haruna, A. Zakari, Isolation and identification of fungi associated with the deterioration of painted wall surfaces within Kaduna Polytechnic, Asian J. Med. Sci. 3 (6) (2011) 250-253.
- [16] A. K. Pandey, A. Shrivastav, P. Bhatnagar, S. Sarsaiya, M. K. Awasthi, Diversity of monument deterioration-causing fungi at gwalior fort (M.P.) India. Annals of Environmental Science 5 (2011) 35-40.
- [17] K. Sharma, K. P. Verma, Motilal, Fungal Involvement in Biodeterioration of Ancient Monuments: Problem and Prospects. Journal of Phytology, 3 (2011) 15-17.
- [18] M. L. Costa, T. A. B. C. Sanjad, R. S. Paiva, The mineralogy and chemistry of the German and Portuguese tiles used to face a historic building in the Amazon region and their natural susceptibility to tropical weathering. Acta Amazonica 43 (2013) 323-330.
- [19] T. A. Sanjad, M. L. Costa, R. S. Paiva, F. O. Palácios, Ação microbiológica nos azulejos históricos das fachadas em Belém, região amazônica. Pós: Revista do Programa de Pós-Graduação em Artes, 4 (8) (2014) 124-133.
- [20] A. T. Fazio, A. Cavicchioli, D. S. A. Penna, F. S. Chamberg, D. L. A. de Faria, Towards a better comprehension of biodeterioration in earthen architecture: study of fungi colonisation on historic wall surfaces in Brazil, Journal of Cultural Heritage 16 (2015) 934-93.
- [21] C. Meola, R. Di Maio, N. Roberti, G. M. Carlomagno, Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures. Engineering Failure Analysis, 12 (6) (2005) 875-892.
- [22] E. Quagliarini, E. Esposito, A. del Conte, The combined use of IRT and LDV for the investigation of historical thin vaults, Journal of Cultural Heritage, 14 (2) (2013) 122-128.
- [23] A. Kylili, P. A. Fokaides, P. Christou, S. A. Kalogirou, Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. Applied Energy, 134 (1) (2014) 531-549.
- [24] M. Tortora, S. Sfarra, M. Chiarini, V. Daniele, G. Taglieri, G. Cerichelli, Non-destructive and micro-invasive testing techniques for characterizing materials, structures and restoration problems in mural paintings, Applied Surface Science, 387 (30) (2016) 971-985.
- [25] H. Morillas, J. García-Galan, M. Maguregui, C. García-Florentino, I. Marcaida, J. A. Carrero, J. M. Madariaga, In-situ multianalytical methodology to evaluate the conservation state of the entrance arch of La Galea Fortress (Getxo, north of Spain). Microchemical Journal 128 (2016) 288-296.
- [26] B. Prieto, B. Silva, Estimation of the potential bioreceptivity of granitic rocks from their intrinsic properties. Int. Biodeter. Biodegr. 56 (4) (2005) 206-215.
- [27] M. Guizzardi, J. Carmeliet, D. Derome, Risk analysis of biodeterioration of wooden beams embedded in internally insulated masonry walls. Construction and Building Materials 99 (2015) 159-168.
- [28] P. S. Griffin, N. Indictor, R. J. Koestler, The biodeterioration of stone: a review of deterioration mechanisms, conservation case histories, and treatment. Int. Biodeterior. 30 (1991) 187-207.

- [29] M. L. Coutinho, A. Z. Miller, M. F. Macedo, Biological colonization and biodeterioration of architectural ceramic materials: an overview. *Journal of Cultural Heritage* 16 (2015) 759–77.
- [30] A. A. Gorbushina, J. Heyrman, T. Dornieden, M. Gonzalez-Delvalle, W. E. Krumbein, L. Laiz, K. Petersen, C. Saiz-Jimenez, J. Swings, Bacterial and fungal diversity and biodeterioration problems in mural painting environments of St. Martins church (Greene–Kreiansen, Germany). *Int. Biodeter. Biodegr.* 53 (2004) 13–24.
- [31] V. Jurado, A. Z. Miller, S. Cuezva, A. Fernandez-Cortes, D. Benavente, M. A. Rogerio-Candelera, J. Reyes, J. C. Cañaveras, S. Sanchez-Moral, C. Saiz-Jimenez, Recolonization of mortars by endolithic organisms on the walls of San Roque church in Campeche (Mexico): a case of tertiary bioreceptivity. *Construction and Building Materials* 53 (2014) 348–359.
- [32] M. Wilimzig, E. Bock, Attack of mortar by bacteria and fungi. In: Heitz, E., Flemming, H.C., Sand, W. (Eds.), *Microbially Influenced Corrosion of Materials. Scientific and Engineering Aspects.* (1996) 311–322.
- [33] M. A. Shirakawa, M. B. B. Monteiro, S. S. Selmo, M. A. Cincotto, Identificação de Fungos em revestimento de argamassa com bolor evidente. *Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas* (1995) 402–410.
- [34] M. A. Shirakawa, I. B. Beech, R. Tapper, M. A. Cincotto, W. Gambale, The development of a method to evaluate bioreceptivity of indoor mortar plastering to fungal growth. *Int. Biodeter. Biodegr.* 51 (2003) 83–92.
- [35] T. H. Tran, A. Govin, R. Guyonnet, P. Grosseau, C. Lors, E. Garcia-Diaz, D. Damidot, O. Devès, B. Ruot, Influence of the intrinsic characteristics of mortars on biofouling by *Klebsormidium flaccidum*, *Int. Biodeter. Biodegr.* 70 (2012) 31–39.
- [36] S. Manso, G. Mestres, M. P. Ginebra, N. De Belie, I. Segura, A. Aguado, Development of a low pH cementitious material to enlarge bioreceptivity. *Construction and Building Materials* 54 (2014) 485–495.
- [37] J. Chen, H. P. Blume, L. Beyer, L. Weathering of rocks induced by lichen colonization: a review. *Catena* 39 (2000) 121–146.
- [38] M. V. L. Grbić, J. B. Vukojević, Role of fungi in biodeterioration process of stone in historic building. *Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad* 116 (2009) 245–251.
- [39] M. V. L. Grbić, J. Vukojević, G. S. Simić, J. Krizmanić, M. Stupar, Biofilm forming cyanobacteria, algae and fungi on two historic monuments in Belgrade, Serbia. *Arch. Biol. Sci., Belgrade*, 62 (3) (2010) 625–631.
- [40] M. Korkanç, A. Savran, Impact of the surface roughness of stones used in historical buildings on biodeterioration. *Construction and Building Materials* 80 (2015) 279–294.
- [41] O. Guillitte, R. Dreesen, Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building materials. *Sci. Total Environ.* 167 (1995) 365–374.
- [42] B. Silva, B. Prieto, T. Rivas, M. J. Sanchez-Biezma, G. Paz, R. Carhallal, Rapid biological colonization of a granitic building by lichens *Int. Biodeter. Biodegr.* 40, p. (1997) 263–267.
- [43] Tomaselli, Luisa; Lamenti, Gioia; Bosco, Marco; Tiano, Piero. (2000). Biodiversity of photosynthetic micro-organisms dwelling on stone monuments. *Int. Biodeter. Biodegr.* 46, p.251–258.
- [44] A. Z. Miller, A. Dionísio, L. Laiz, M. F. Macedo, C. Saiz-Jimenez, The influence of inherent properties of building limestones on their bioreceptivity to phototrophic microorganisms, *Annals of Microbiology* 59 (2009) 705–713.
- [45] M. Lisci, M. Monte, E. Pacini, Lichens and higher plants on stone: a review. *Int. Biodeter. Biodegr.* 51 (2003) 1–17.
- [46] H. S. Boza, D. A. Sorí, A. C. Pérez, Las plantas y el deterioro de edificaciones no patroniales Del Centro Histórico de La habana Vieja. *Revista Del Jardín Botánico Nacional* 29 (2008) 145–150.

- [47] A. C. Pérez, R. R. Roque, Plantas epilíticas del Castillo de La Fuerza em El Centro Histórico de La Habana Vieja. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 27 (2008) 61-64.
- [48] A. C. Pérez, Plantas epilíticas deteriorantes de la Fortaleza San Carlos de la Cabaña. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 30-31 (2010) 219-222.
- [49] J. A. Jesus, J. R. Batista, A. V. S. de Melo, Crescimento de mudas de plantas ornamentais em diversos substratos compostos com resíduos sólidos da construção civil, V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica – CONNEPI, 2010.
- [50] US EPA. United States Environmental Protection Agency, 1994. Method 3051: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Washington DC, 1994.
- [51] EMPRABA, Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo: métodos usados na Embrapa solos 3, 1988.
- [52] SPECTRO, User's Guide of Spectro ICP-OES, Manual do Usuário, 1999.
- [53] M. B. Ellis, *More Dematiaceous Hyphomycetes*, Commonwealth Mycological Institute, Cabi, London, 1976.
- [54] K. H. Domsch, W. Gams, T. Anderson, *Compendium of Soil Fungi*, Academic Press Inc., New York, 1980.
- [55] H. L. Barnett, Hunter, B. B. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*, fourth ed. Burgeis. Pub. Com Minneapolis, 1998.
- [56] S. C. Lacaz, E. Porto, M. E. Heins-Vaccari, T. N. Mello, *Guia para Identificação: Fungos, Actinomicetos e Algas de Interesse Médico*. Ed. Sarvier, São Paulo, 1998.
- [57] G. S. De Hoog, J. Guarro, *Atlas de Clinical Fungi*, Virgili, Centraalbureau voor Schimmelcultures, 1995.
- [58] H. Lorenzi, *Plantas daninhas do Brasil: Terrestres, Aquáticas, Parasitas e Exóticas*, 3. ed. Nova Odessa, Plantarum, São Paulo, 2000.
- [59] H. Lorenzi, *Plantas daninhas do Brasil: Terrestres, Aquáticas, Parasitas e Exóticas*. 4.ed. Nova Odessa: Plantarum, São Paulo, 2008.
- [60] H. Lorenzi, *Botânica Sistemática - 3ª Ed.* Nova Odessa: Plantarum, São Paulo, 2012.
- [61] P. H. Labiak, J. Prado, As espécies de *Lellingeria* A.R Sm. & R.C. Moran (Grammitidaceae – Pteridophyta) do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 28 (1) (2005a) 1-22.
- [62] P. H. Labiak, J. Prado, As espécies de *Terpsichore* A.R. Sm. e *Zygophlebia* L.E. Bishop (Grammitidaceae) do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 19 (4) (2005b) 867-887.
- [63] J. Prado, Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil: Pteridophyta – Polypodiaceae. *Rodriguésia* 56 (2005) 76-84.
- [64] J. Prado, P. H. Labiak, Flora da reserva Ducke, Amazonas, Brasil: Pteridophyta – Vittariaceae. *Rodriguésia* 56 (2005) 108-113.
- [65] J. Prado, R. C. Moran, Revision of the neotropical species of *Triplophyllum* (Tectariaceae). *Brittonia* 60 (2008) 103-130.
- [66] J. M. Costa, M. R. Pietrobon, Samambaias e licófitas do Parque Ecológico do Gunma, município de Santa Bárbara do Pará, estado do Pará, Brasil. *Rodriguésia* 61 (2010) 223-232.
- [67] J. Prado, Pteridaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB92006> (accessed 06.20.15).
- [68] S. Maciel, *Nephrolepis* (Lomariopsidaceae–Polypodiopsida) na Amazônia brasileira. *Rodriguésia* 67 (1) (2016) 77-84.

- [69] A. R. Smith, K. M. Pryer, E. Schuettpelz, P. Korall, H. Schneider, P. G. Wolf, A classification for extant ferns. *Taxon* 55 (2006) 705-731.
- [70] K. U. Kramer, P. S. Green, Pteridophytes and gymnosperms, in: K. Kubitzki (ed.), *The Families and Genera of Vascular Plants*. Springer-Verlag, Berlin, v. 1, 1990.
- [71] IPNI. International Plant Nutrition Institute, Instituto da Potassa e Fosfato, *Manual Internacional de Fertilidade do Solo*, Trad. Alfredo Scheid Lopes. 2ªed. rev. e amp. Piracicaba, 1998.

5.3. ARTIGO 3: CERAMIC BRICKS USED IN FORTRESSES ON THE AMAZON (BRAZIL).

Gmail - Submission Confirmation

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ui=2&ik=bf3ed70cef&view=pt&sea...>



Rose Norat <rosenorat2@gmail.com>

Submission Confirmation

MSEA <eesserver@eesmail.elsevier.com>
Responder a: MSEA <msea@elsevier.com>
Para: rosenorat2@gmail.com, rosenorat@gmail.com

9 de março de 2017 16:16

Please note that this is an automated e-mail.

Dear Mrs. Norat,

Thank you for your submission, entitled "Ceramic bricks used in fortresses on the Amazon (Brazil)", which has now been received. Your submission is now with the Editor who will assign your manuscript to one or two expert reviewers for evaluation. The general turnaround between submission and receipt of review is between 2-3 months. Thank you for your patience during this time and please notify us if you have questions or concerns.

Otherwise, you may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author. The URL is <https://ees.elsevier.com/msea/>.

Your username is: rosenorat2@gmail.com

If you need to retrieve password details, please go to: http://ees.elsevier.com/msea/automail_query.asp

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

PLEASE NOTE: No additional authors will be added post submission unless editors receive agreement from all authors and detailed information is supplied as to why the author list should be amended.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System
Materials Science & Engineering A

.....
For further assistance, please visit our customer support site at <http://help.elsevier.com/app/answers/list/p/7923>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EES via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.

Ceramic bricks used in fortresses on the Amazon (Brazil)

Roseane Norat^a, Marcondes Lima da Costa^b, Thais Sanjad^c

^aFederal University of Pará (UFPA), Conservation and Restoration Laboratory (LACORE), Augusto Correa Street, 1, Guamá, Belém, Pará 66110075, Brazil, rosenorat2@gmail.com

^bUFPA, Geosciences Institute, marcondeslc@gmail.com

^cUFPA, LACORE, thaisabcs2@gmail.com

ABSTRACT

Bricks are important building materials applied in various functions in military fortifications. Considering this material, the objective of this research is to characterize the historical (HCB) and recomposition (RCB) ceramics bricks correlating to their applications in fortresses in the Amazon. As a case study, this research analyzed São José Fortress in Macapá (Amapá) (FSJM), Fort of Castelo in Belém (Pará) (FCPB), Real Fort Príncipe da Beira (RFPB) and fragments from the ruins of Conceição or Bragança Fort (FCB) in Costa Marques (Rondônia). Bricks based on quartz and hematite, certainly metakaolinite, sometimes contain muscovite, mullite, albite and anatase suggesting raw material for its manufacture and different fired temperatures. The historical documentation and geological evidence surrounding the FSJM and the RFPB show that the raw materials used the river clay. Different sintering conditions indicate defects in the manufacturing processes, either by the bricks arrangement in traditional kilns, or by the time they were subjected to the fired rather than by the kiln temperature, in recent productions. RCB present compositional and microtexture differences in relation to HCB, however they are aesthetically adapted to precedents. The most recent areas with RCB stand out in the visual context more for the differences laying mortars than for the differences identified among themselves. The FSJM presented more extensive use than others fortresses possibly due to the availability good quality raw material of kaolinite clays typical Amazon basin rivers, associated to time availability and financial resources for its production.

Keywords: Ceramic; characterization; conservation.

1. INTRODUCTION

The fortifications built in the Amazon make use natural geological resources extracted as raw materials such as rocks and clays, applied in masonry and other functions. Rocks predominate in the walls, but are generally associated with ceramic bricks produced from clays in the surrounding region. In some structures, especially in the buildings that integrate these fortified squares, the bricks can assume preponderant characteristics, turning the rocks into auxiliary elements in some construction parts. This material is one of the oldest used by man in constructions, molded in clay, initially denominated of adobe sun-dried. As construction techniques evolved, this material began to be fired and referred as bricks.

The raw material properties importance in ceramic manufacture has been known since antiquity. Vitruvius, in the 1th century BC, wrote about bricks production which should contain "sandy clay, which has stones or coarse sand", because in those conditions of beginning they would be "heavy", but later, when the walls were hit by the rains, they would undo, dissolve and become rough. Hence, recommended the use of "clayey earth abundant with clay, red earth or even vigorous gravel" giving the construction a light texture and making them easily to be mortared [1].

As the industrial revolution begun, press and extrusion machines were developed for the bricks manufacture especially in the 19th century, followed by the evolution of continuous and downstream kilns to replace traditional ones. Traditional and industrialized bricks of more recent production are observed in the fortifications, the first generally remnants of the construction periods that in Brazil took place from the 17th century and is consolidated in the 18th century, while the others were arranged in later stages in complements, reforms and restorative interventions throughout the 20th and 21th centuries [2,3].

The refractory properties of certain clays to continuous exposure at elevated temperatures and corrosive conditions have also been explored since the earliest in stoves, furnaces and kilns, especially by ceramists and metallurgists [2]. Several studies evaluate the chemical components addition that improve the raw material properties and, consequently, the ceramic products, with influence on their coloration, as in the case of red and yellow ceramics with the use clays naturally containing calcium carbonate or by its addition, or even laterite materials [2,3,4,5,6,7]. The finely ground lime [$\text{Ca}(\text{OH})_2$ or CaCO_3] was used to build massive masonry bricks from a lateritic material rich in Al and Fe hydroxides [2].

Refractory bricks made from clays (silica-alumina) depend on their chemical composition usually specified by the Al_2O_3 content between 30% and 40% and other components, at temperatures not much above 1400°C, usually between 1100°C and 1450°C. However, the bricks production in historical buildings, of more rudimentary manufacture, does not follow these standards, although it's making considers many practices of mixing from the natural materials properties and their fired temperatures that allows them to reach a good resistance, compactness and compatible attributes for civil construction, including in monumental works such as military fortifications. As it is fired, the brick obtains resistance similar some rocks, with the advantage of being manufactured in small dimensions, which facilitates the execution of varied constructions forms. In the fortifications, castles and walls, bricks were very appreciated for its qualities, being common the use of the clay removed from the castle's lands for the brick production [3].

Considering the ceramic materials importance, such as bricks used in various functions in historic buildings, several researches developed for their conservation and restoration, which make use of tests and analytical techniques to evaluate their characteristics, mineralogical constitution and chemistry, and hence its resistance to physical, chemical and biological wear, which is very intense in tropical, hot and humid regions such as the Amazon [3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]. On the other hand, the mineralogical materials constitution allows to determine the ceramic bricks fired temperature, which Fabbri and Guidotti [19] denominate "mineralogical thermometer" [5,7,11,19,20,21,22,23,24].

Lopez-Arce & Garcia-Guinea [11] evaluated the weathering in bricks of historic buildings in Toledo (Spain), as well as the mineralogical composition of the raw materials, the fired temperature considering the bricks location in the buildings and the occurrence of microorganisms cleaning or restoration treatments. Cultrone *et al.* [6] studied the bricks of medieval wall ramparts identifying two main types: one rich in quartz and red color and the other in calcium silicate and yellowish color, correlating the materials deterioration with their intrinsic characteristics.

The brick walls were, according to military engineers, more resistant than those of rammed earth, and did not shatter as much as stone when struck by projectiles [25] and highlights the São José of Macapá Fortress as the most elegant brick-making in Brazil, made on a large scale and indicates two possible reasons for these characteristics: the influence of Manuel Azevedo Fortes (Portuguese engineer, 1660-1749) in its design and the poor quality of the local stone in contrast with the abundance of clay, usually deposited by the Amazon river.

Considering the importance of these materials, this research aims to identify and characterize the bricks and their application in the fortifications of Amazon (Brazil), having as a case study the São José Fortress, located in the city of Macapá (state of Amapá) (FSJM), the Castle Fort in Belém (state of Pará) (FCPB), the Real Fort Príncipe da Beira (RFPB) and the ruins of Conceição or Bragança Fort (FCB) in Costa Marques (state of Rondônia) (Figure 1).

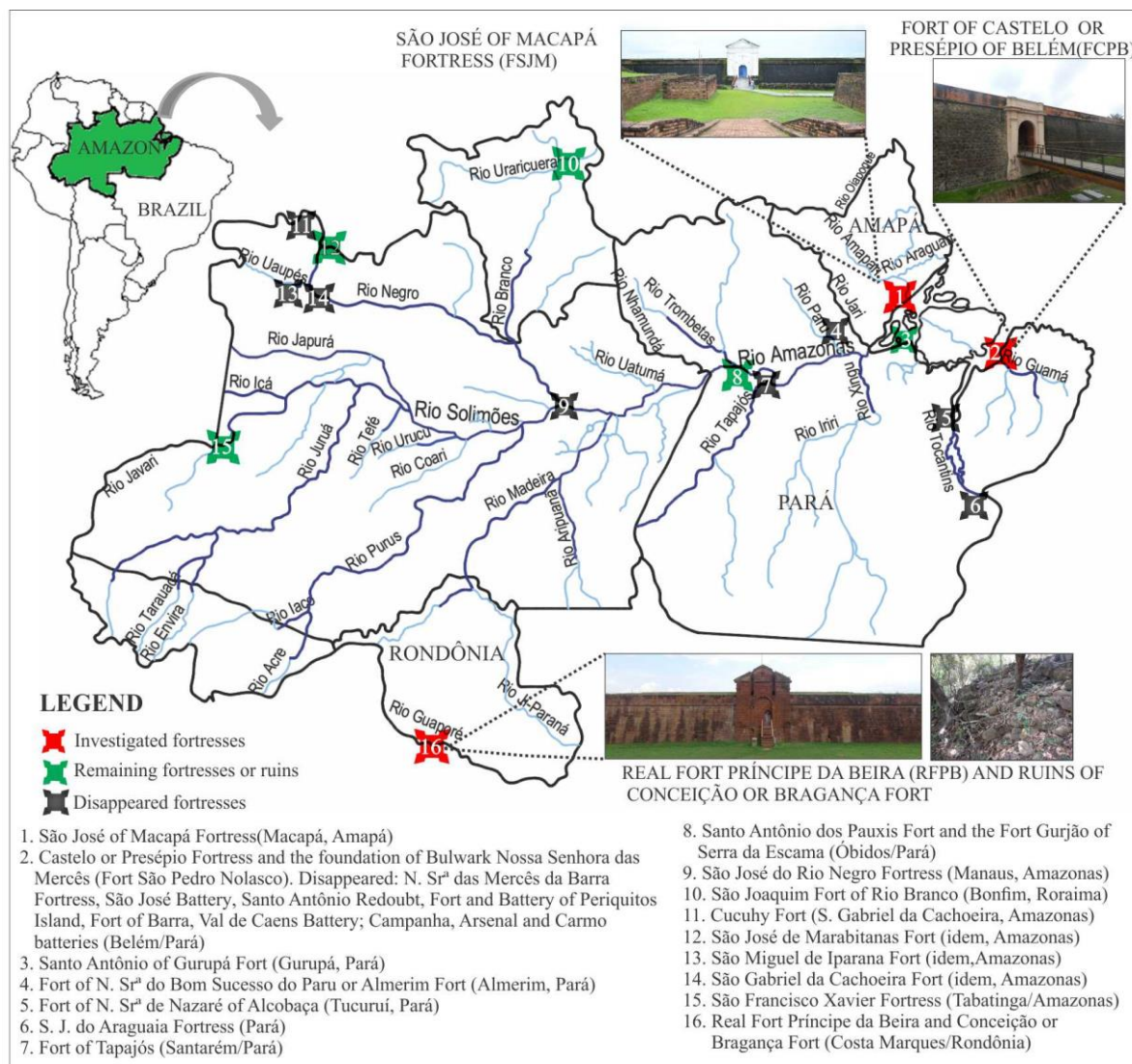


Fig.1. Location of the main fortifications established in Amazon, including the ones that already disappeared. In red color mark, the FSJM in the state of Amapá, the Fort of Castelo (FCPB) in the state of Pará and Real Forte Príncipe da Beira (RFPB) in the state of Rondônia, objects of the present research (Database Author: Roseane Norat, modified).

Among the three fortifications, the more intensive use of historical and recombination ceramics bricks took place in the FSJM, and therefore is also very diversified. In the others, the use of bricks are restricted to elements and architecture details. For this research, a mesoscopic analysis was carried out, with associated analytical techniques of optical and electronic microscopy, SEM/EDS, XRD and XRF, and physical tests as apparent absorption in water (Aa), apparent porosity (Ap), apparent density (ρ) and apparent density by the Hubbar pycnometer with Hg, applied in historic (HCB) and recombination (RCB) ceramic bricks. The mineral constitution based on quartz, hematite, metacaulinite (by original clay

with kaolinite) sometimes contains mullite and muscovite, reflect the use of local raw material and different sintering conditions. The study aim HCB conservation and assist the RCB production in restoration processes.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Sampling

After a general survey of each fortification both in its internal and external structures, the different materials used in the constructions were identified, including the wide use of bricks, and the areas for representative samples collection were defined. It was given attention to morphological characteristics, functional role in the construction and type of the ceramics, as these were classified in historic (HCB) and recomposition (RCB) ceramic bricks, with greater emphasis on the first type, either by the research focus or by the greater occurrence in the set of fortifications studied. The sampling sought to meet the objective of the work and avoid visual impacts and integrity of the fortresses. It was possible to collect complete samples of RCB only in the FSJM, since they were available for the discarding due to recent works undertaken in the bunkers. In general, sampling was more representative in FSJM, due to its greater grandeur, variety and to be the main theme of this study (Table 1).

Table 5 – Description of ceramic bricks samples collected at the FSJM, FCPB, RFPB and FCB fortresses. Color description based on Munsell Soil Color Charts 2000, Revised Washable Edition.

Samples	Collection places	Function	Collection date	Color description
FORTRESS OF SÃO JOSÉ DE MACAPÁ (FSJM)				
SJ.T.01/13	Ravelin	Wall masonry - interior scarp	Sep 7 th 2013	Homogeneous matrix reddish yellow (7.5YR 7/6) with pink (7.5YR 8/3) and black (7.5YR 2.5/1) points
SJ.T.02/13	Surrounding of gunpowder barn	Paving	Sep 10 th 2013	Matrix with many veins and mixing movements signals in reddish yellow (5YR 6/8) color with pink (7.5YR 8/3) and reddish brown (5YR 4/4) veins and portions
SJ.T.01/14	Ravelin	Wall of building (ruins)	Apr 3 th 2014	Matrix reddish yellow (5YR 6/8) with yellowish red (5YR 4/6) to very pale brown (10YR 8/2) micro veins and points
SJ.T.02/14	Bulwark of São Pedro	Cord line of wall	Apr 3 th 2014	Matrix reddish yellow (5YR 6/8) with pinkish white (7.5YR 8/2) points
SJ.T.03/14	Bulwark of São Pedro	Cord line of wall	Apr 3 th 2014	Homogeneous matrix light red (2.5YR 6/8) with mixing movements signals in veins and points in red (2.5YR 4/8) to pink (7.5YR 8/3)
SJ.T.04/14	West wall covered road	Wall masonry	Apr 4 th 2014	Homogeneous matrix reddish yellow (7.5YR 6/6) with some sparse points in pink (7.5YR 7/4) and pinkish white (7.5YR 8/2)
SJ.T.05/14	Ravelin	Wall of exterior scarp – under drawbridge	Apr 4 th 2014	Matrix reddish yellow (5YR 6/6) with pink (7.5YR 8/4) points and dark red (2.5YR 3/6) rare veins
SJ.T.06/14	Bulwark of N. Sra. da Conceição	Wall masonry - southeast flank	Apr 4 th 2014	External layer yellowish red (5YR 5/6) and interior matrix reddish yellow (7.5YR 7/6) with white (7.5YR 8/1) points
SJ.T.01/15	South bunker - cell 8 - Bricks saved in this ambient.	Ceramic block with mortars remnants (22x11x11 cm)	Jun 4 th 2015	External surface reddish yellow (5YR 7/8) with some micro points in dark reddish brown (5YR3/4), internal matrix pink (7.5YR 7/3) with some veins in very pale brown (10YR 8/3) and dark reddish brown (5YR3/4) points.

SJ.T.02/15	South bunker - cell 8 - Bricks saved in this ambient.	Bricks fragment	Jun 4 th 2015	External surface yellowish red (5YR 5/6) with some veins reddish brown (5YR 4/4) in internal layer to yellowish red (5YR 5/8) to pink (7.5YR 7/4) and some sparse points light gray (GLE Y1 7/N) in the center
SJ.T.03/15	South bunker - cell 8 - Bricks saved in this ambient.	Recomposition ceramic brick – (23,5x13,5x5 cm)	Jun 4 th 2015	External surface yellowish red (5YR 5/6) with internal layer reddish yellow (7.5YR 7/6) to gray (GLE Y1 5/N) with dark gray (GLE Y1 N/4) points
SJ.T.04/15	South bunker - cell 8 - Bricks saved in this ambient	Ceramic brick (29x15x5 cm)	Jun 4 th 2015	External surface reddish yellow (5YR 7/6 to 5YR 6/8).
SJ.T.05/15	South bunker - cell 8 - Bricks saved in this ambient.	Ceramic brick fragment	Jun 4 th 2015	External surface yellowish red (5YR 5/6) with internal layer reddish yellow (7.5YR 7/6)
SJ.T.06/15	Gunpowder barn	Paving (19x19 cm)	Jun 4 th 2015	External surface yellowish red (5YR 5/6) with internal layer reddish yellow (5YR 6/6) to transition border reddish yellow (7.5YR 7/6) and in the center in light gray (GLE Y1 7/N) color with dusky red (10R 3/3) points
SJ.T.07/15	Sub-officers house (access)	Paving	Jun 4 th 2015	Matrix with mixing movements signals in light red (2.5YR 6/8) with pink (7.5YR 8/3) to pinkish white (7.5YR 8/2) veins and points
SJ.T.08/15	Sub-officers house	Paving	Jun 5 th 2015	Matrix with mixing movements signals in reddish yellow (5YR 6/8) with dark red (2.5YR 3/6) points and reddish yellow (7.5YR 7/6) to pink (7.5YR 8/3) veins
FORT OF CASTELO DO SANTO CRISTO DO PRESÉPIO DE BELÉM (FCPB)				
FC.T.01/15	Dungeon (external surface)	Wall of masonry mixed	Oct 5 th 2015	Matrix colors in reddish yellow (5YR 7/8) and pink (5YR 7/4) with yellowish red (5YR 5/4) veins
FC.T.02/15	External lateral wall facing the dry moat	Drain arc fragment	Oct 5 th 2015	Homogeneous matrix yellowish red (5YR 5/6) with reddish brown (2.5YR 4/4) veins
FC.T.03/15	Terreplein	Paving	Oct 19 th 2015	Matrix reddish yellow (5YR 7/6) with reddish brown (5YR 5/3) points
REAL FORT PRINCIPE DA BEIRA (RFPB)				
PB.T.01/15	Quarters (2)	Finishing brick the basement (h:0,58m)	Dec 29 th 2015	External surface pink (7.5YR 7/3) with homogeneous internal matrix white (10YR 8/1) and some dusk red (10R 3/4) veins and points
PB.T.02/15	External wall of dungeon/prison of guards corp (access)	Finishing brick the basement possibly receiving plastering mortar	Dec 29 th 2015	External surface yellowish red (5YR 5/6) with internal portions in reddish brown (7.5YR 8/4) to the center in gray (GLE Y1 6/N) color with some dark reddish brown (2.5YR 3/4) veins
PBP.T.01/15	Gunpowder barn (12°25'25"S 64°24'56"W)	Wall of masonry mixed	Dec 28 th 2015	Matrix yellowish red (5YR 5/6) to internal layer in pink (5YR 7/4) to pinkish white (7.5YR 8/2) and center in gray (GLE Y1 5/N) to dark gray (GLE Y1 4/N)
RUINS OF FORTRESS NOSSA SENHORA DA CONCEIÇÃO OR BRAGANÇA (FCB)				
FB.T.01/15	Wall facing the Guaporé river (12°24'50"S 64°26'15"W)	Possibly finish drain	Dec 28 th 2015	Non-homogeneous matrix with pinkish white (7.5YR 8/2), pink (7.5YR 8/4) and to reddish yellow (5YR 6/6) points at the center in gray (GLE Y1 6/N) matrix with some dark gray (GLE Y1 4/N) points

2.2. Laboratory Analyses

The following analytical techniques were used for the identification and characterization of bricks after the mesoscopic descriptions, in which the color was described based on the Munsell Soil Color Charts 2000, Revised Washable Edition (Table 1).

Optical and electronic microscopy: Thin layer fragments and slides were investigated under Leica EZ4D stereomicroscope and Leica DM2700 P transmit/reflected light microscope coupled with the Leica MC170 HD camera, respectively. Complementarily small aliquots of selected samples were also observed by Scanning Electron Microscopy (SEM) coupled to its analytical system (EDS). Zeiss model LEO-1430 was used for this purpose, with Sirius-SD Dry EDS. The fragments were metallized with Au for 2min in EMITECH K-550 metallizer.

X-Ray Diffraction (XRD): XRD was used to complement previous mineralogical identifications. The powder method used a PANalytical X'Pert PRO MPD model (PW 3040/60) with goniometer PW3050/60 (θ/θ), diffractometer with a ceramic X-ray tube (Cu anode, $K\alpha_1 = 1.540598 \text{ \AA}$), K β Ni filter, and an X'celerator PSD (Position-Sensitive Detector), long fine focus (2200 W- 60 kV). Instrumental conditions used are as follows: scan range 5 to 75° 2 θ , tube power of 40 kV and 30 mA, step size of 0.02°, time/step of 10s, divergence slit and anti-scattering 4°, mask of 10 mm and sample spinning with a rotation time of 1.0 s. Samples collected later were analyzed by PANalytical Empyrean diffractometer, Co anode X-ray tubes ($K\alpha_1 = 1.789010 \text{ \AA}$), long fine focus, Fe K β filter, PIXCEL3D-Medpix3 1x1 detector in scanning mode, with a voltage of 40 kV, a current of 35 mA, a step size of 0.0263 ° in 2 θ , a scan of 4 ° to 75 ° in 2 θ , a time / step of 30.6 s, a divergent slit: 1/4 ° and anti- Scattering: 1/2 °, mask: 10 mm.

X-ray fluorescence (XRF): XRF was used to determine the semiquantitative chemical composition of part of these bricks, in order to identify the nature of the raw material used for its production, using the Bruker portable equipment, Model S1 Turbo SD was used.

Physical tests: For measurement apparent absorption in water (Aa), apparent porosity (Ap), apparent density (ρ) and density apparent by the Hubbar pycnometer with Hg(ρ_a) were used cubes in duplicates with dimensions approximately 1x1x1cm and when necessary, trying to elaborate cubes that represented the different fired. The respective cubes were pre-weighed at room temperature and dried in electronic kilns for 24 hours at 105°C [26,27]. The cooling of the samples carried out in a desiccator, so that they did not absorb the air humidity.

(Aa): to obtain this parameter the samples were submerged in a container with deionized H₂O for 24 hours. After the immersion the excess water was removed from the surface with the aid of a cloth and weighed again to obtain the saturated mass, according to the equation: $Aa = \frac{W_s - W_d}{W_d} \cdot 100(\%)$

Where:

Aa- Apparent water absorption (%)

Ws- Weight of the saturated sample in water (g)

Wd - Weigh of dry sample (g).

(Ap): made from standard C373-88 (ASTM), the samples were previously dried in an kiln for 24h and then arranged in an apparatus for weighing in a container with deionized water and the calculations performed according to the equation: $Ap = \frac{W_s - W_d}{W_s - W_i} \cdot 100(\%)$

Where:

Ap: Apparent porosity (%)

Ws: Weight of the saturated sample in water (g)

Wd: Weigh of dry sample (g)

Wi: Weight of the saturated sample immersed in the liquid (g).

(ρ): obtained from the ratio between apparent porosity (Ap) and apparent water absorption (Aa), according to the formula: $\rho = \frac{Pa}{Aa}$

Where:

ρ : apparent density of the sample;

Ap: Apparent porosity (%);

Aa: Apparent water absorption (%).

(pa): consists of determining the mass of the sample from its relation with the unit mass of Hg, in order to complement the parameters Aa, Pa and ρ , since the preexisting sample could have pores without communication that did not absorb H₂O. The methodology is based on the Italian Norm 4/80 of the Instituto Centrale per il Restauro (ICR) and used in

$$\text{NTPR/UFBA: } \rho a = \frac{W_3}{W_1 - W_2 + W_3} \cdot \rho_{Hg}$$

Where:

ρa = Apparent density by sample (g/cm³)

ρ_{Hg} = Density of Hg (200,59 g/cm³)

W₁ = Weight of pycnometer filled with Hg (g)

W₂ = Weight of pycnometer with Hg + sample (g)

W₃ = Weigh of dry sample (g)

3. RESULTS

3.1. Production and use of ceramic bricks in Amazon fortresses.

It was possible to verify that the production of historic ceramic bricks (HCB) is directly related to the clayey available in the vicinity of the constructions and their manufacture took place in structures also erected near the construction site. This statements is based on the historical and iconographic documentation analyzed, associated to the field investigations, characterization of the historic bricks and possible sources of raw material in the environments fortress, where it was possible to collect material such as the FSJM and the RFPB.

This statement is also clear based on the historical cartography of the FSJM, which presents the production logistic of the building materials (Fig. 2 a, b, c) and the remaining structure of the old kiln found in the vicinity of the RFPB (Fig. 2 d).



Fig. 2: (a) Plan of the works at the FSJM on March 22th, 1766, where the location of the "old kiln for baking bricks" (c) and the "new kiln for bricks" (b) (Source: AHEx, modified); (D) ruins of the kiln surrounding the RFPB.

The kilns arranged on banks of swamp areas and the river, that is, close to both the raw material that could be removed from the river bank, usually clay with kaolinite confirmed by XRD both for the cliffs surrounding the FSJM, as well in sediments of Guaporé river bank vicinity of RFPB (Fig. 3), in which could be transported in canoes from other sources in the proximities or more distances.

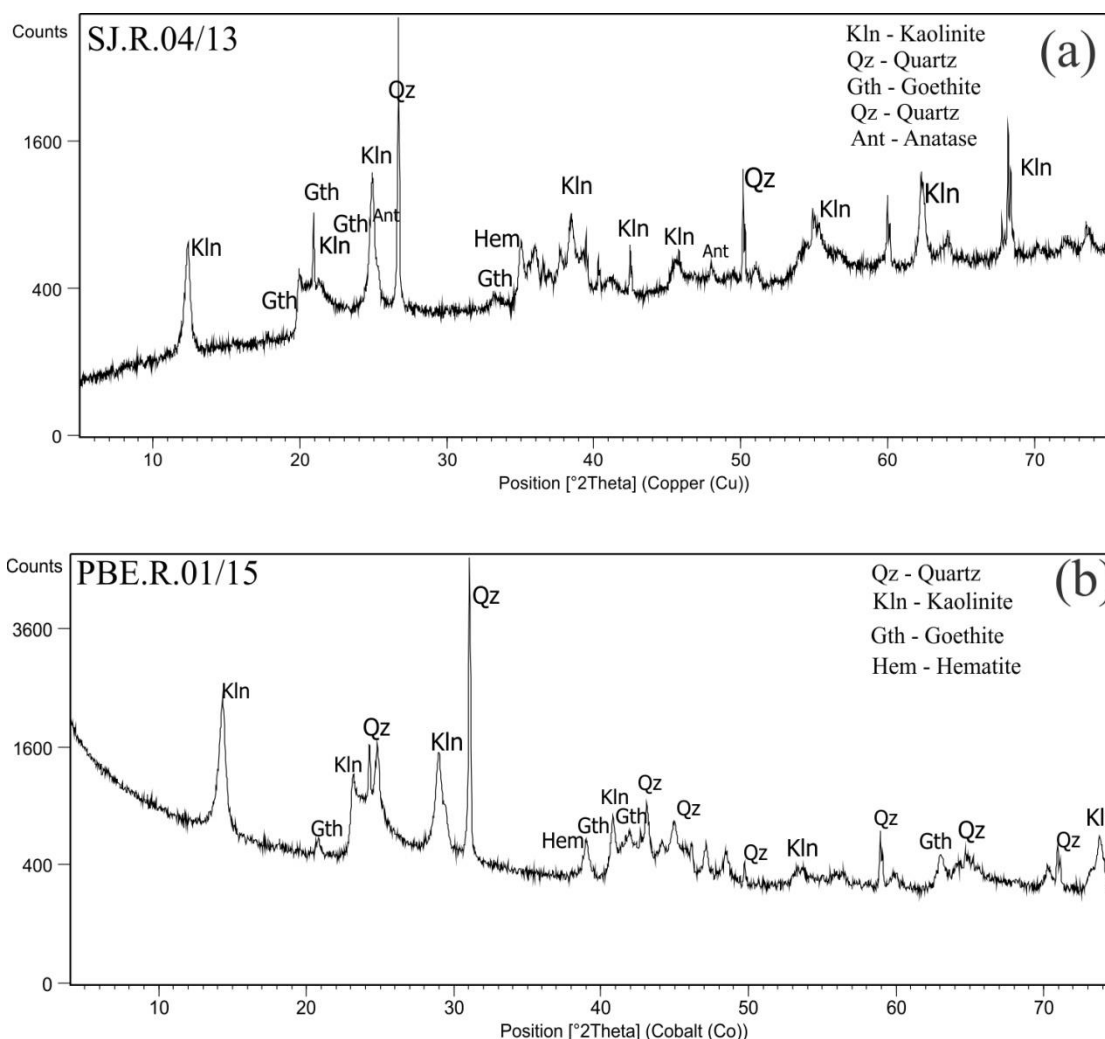


Fig. 3 . X-ray diffraction (XRD) of clayey material from the mottled horizon of the FSJM cliff (a) and the port road in front of the RFPB (b) confirm the occurrence of kaolinite in addition to other minerals such as Fe-oxyhydroxides (hematite and goethite), quartz and anatase.

As for the use, bricks are more evident in the FSJM, where they appear in different formats such as massive bricks, tiling or curved and in mixed compositions, applied in the paving and masonry as main or secondary material of internal buildings and walls, as well as ramps, parapets, gun ports, vaults, arches, sub-officers house and part of the wall cord line. The original floor bricks are still observed in various environments such as in the guard house, poterns and surroundings of the gunpowder barn, with insertions of some reintegrations. Entire areas and rooms, however, received new floor bricks, such as in bunkers and some internal buildings.

Bricks have different shapes, however, in all the fortifications surveyed, the rectangular ones are predominant, used in both paving and masonry and other constructive elements, with a small differences between bricks of HCB and RCB types (Fig. 4)

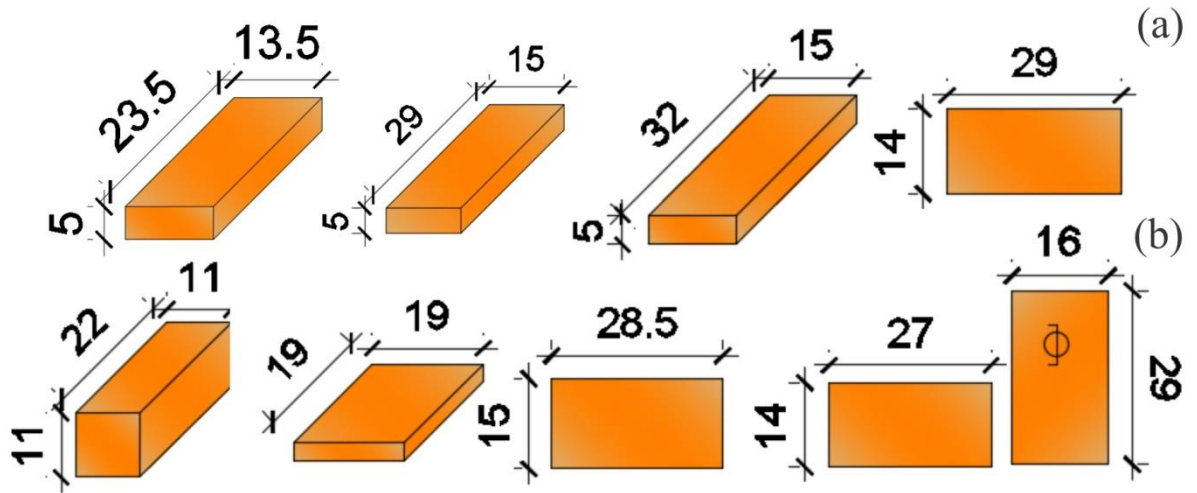


Fig. 4 – Examples of recurrent patterns of bricks of HCB (a) and RCB (b) applied in various functions in the FSJM: paving, masonry, ramps, walls (dimensions in cm).

The bricks that compose part of the cord line of the walls in FSJM are composed of curved and prismatic pieces, that together with three other rectangular blocks are arranged horizontally in the inferior part, and replicate the design of the strings carved in sandstone. These pieces received mortars for coating and whitewash paint, but most of the parts were uncovered and subject to weathering (Fig. 5).

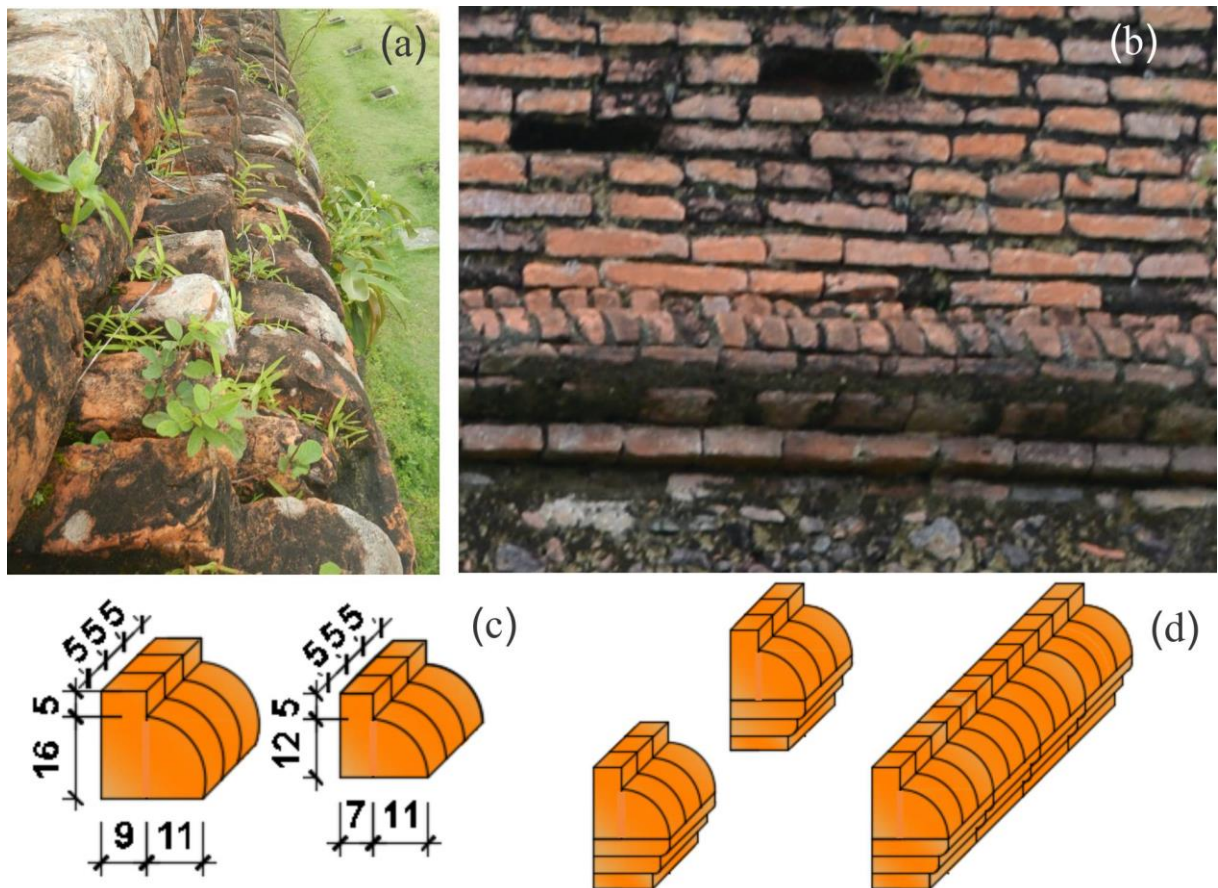


Fig. 5 – Scheme of bricks (HCB) that compose stretches of the wall cord in the FSJM, with small variations (dimensions in cm).

3.4. Physical properties: water absorption (Aa), apparent porosity (Ap), apparent density (ρ) and apparent density by Hubbar pycnometer (ρ_a)

In general, the H₂O water absorption of HCB samples from the FSJM showed higher values ($20.84 \leq 26.37\%$), whereas the samples of the FCPB, RFPB and FCB (except FC.T.02/15 sample) presented compatible rates with RCB ($14.88 \leq 19.89\%$). Despite HCB, the PB.T.02/15 sample presented the lowest percentage of absorption (5.89%) (Fig. 6). These results were verified in the tests of apparent porosity in H₂O with the highest percentages for HCM of FSJM ($33.43 \leq 38.43\%$), above the rate of the RCBs ($25.46 \leq 31.96$). The PB.T.02/15 sample had the lowest percentage of porosity (11.99%) (Fig. 7).

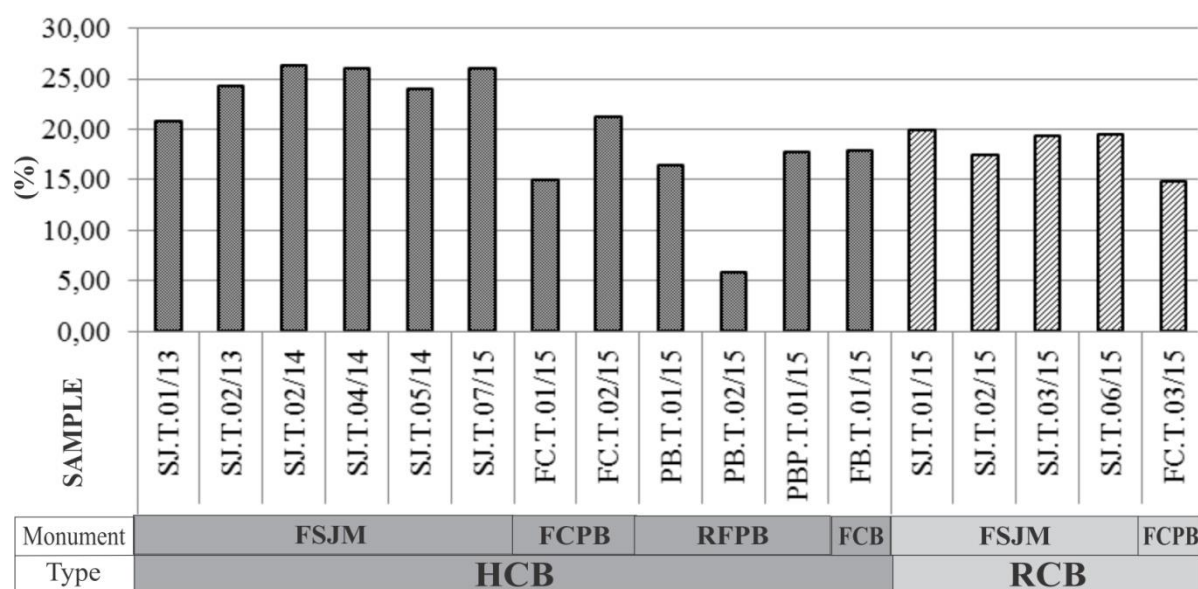


Fig. 6 – Rate of absorption in H₂O for ceramic bricks of the HCB types from the FSJM, FCPB, RFPB and FCB ruins and for RCB from FSJM and FCPB samples.

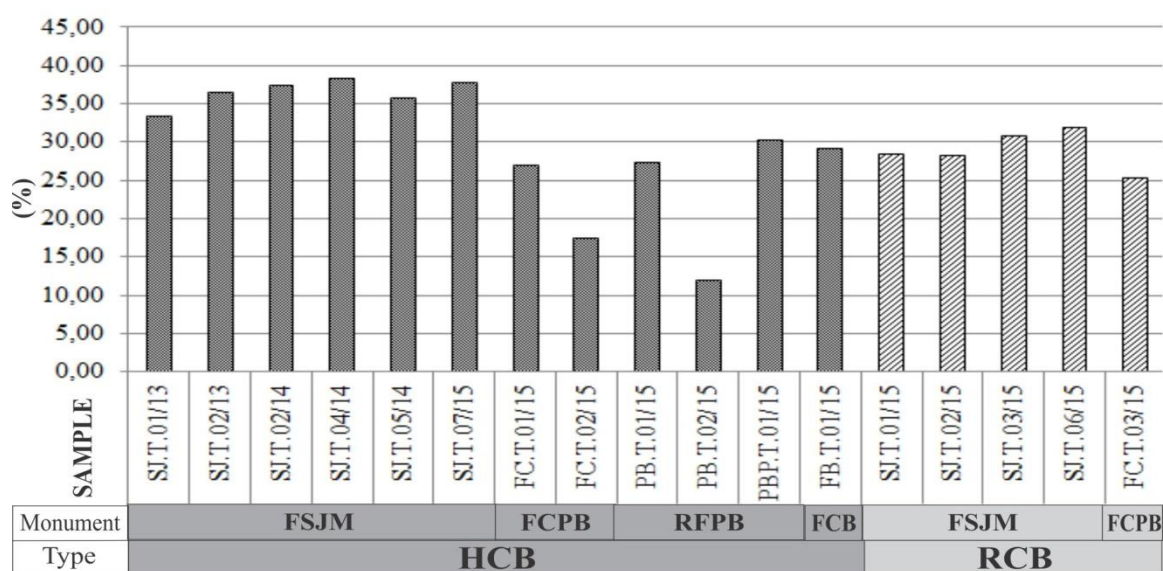


Fig. 7 – Rate of apparent porosity in H₂O for ceramic bricks of HCB types from FSJM, FCPB, RFPB, and FCB ruins and for RCB from FSJM and FCPB samples.

HCB samples from FSJM showed lower apparent density ($1.42 \leq 1.61 \text{ g/cm}^3$), generally with values below the rate of the RCB ($1.44 \leq 1.71 \text{ g/cm}^3$) and also the HCB of the other fortresses (Fig. 8). The RFPB sample (PB.T.02/15) had the highest density (2.04 g/cm^3). The apparent density values, obtained from the absorption of Hg by the Hubbar pycnometer, were generally similar to those performed for the apparent density in H_2O (Fig. 9).

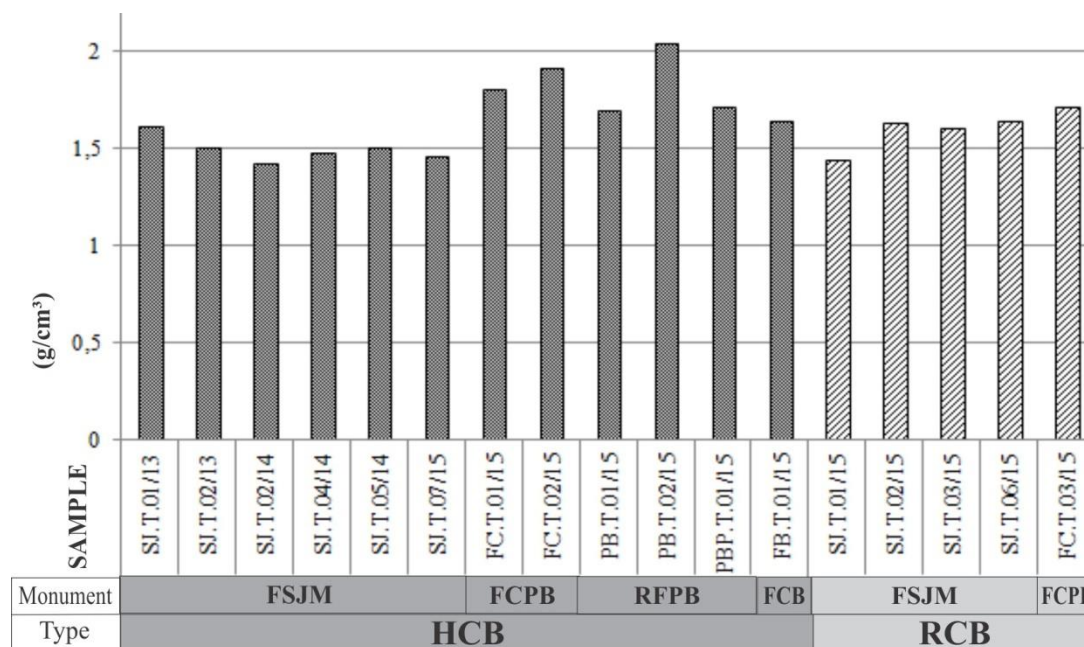


Fig. 8 – Apparent density in H_2O for ceramic bricks of HCB types from FSJM, FCPB, RFPB and FCB ruins and for RCB from FSJM and FCPB samples.

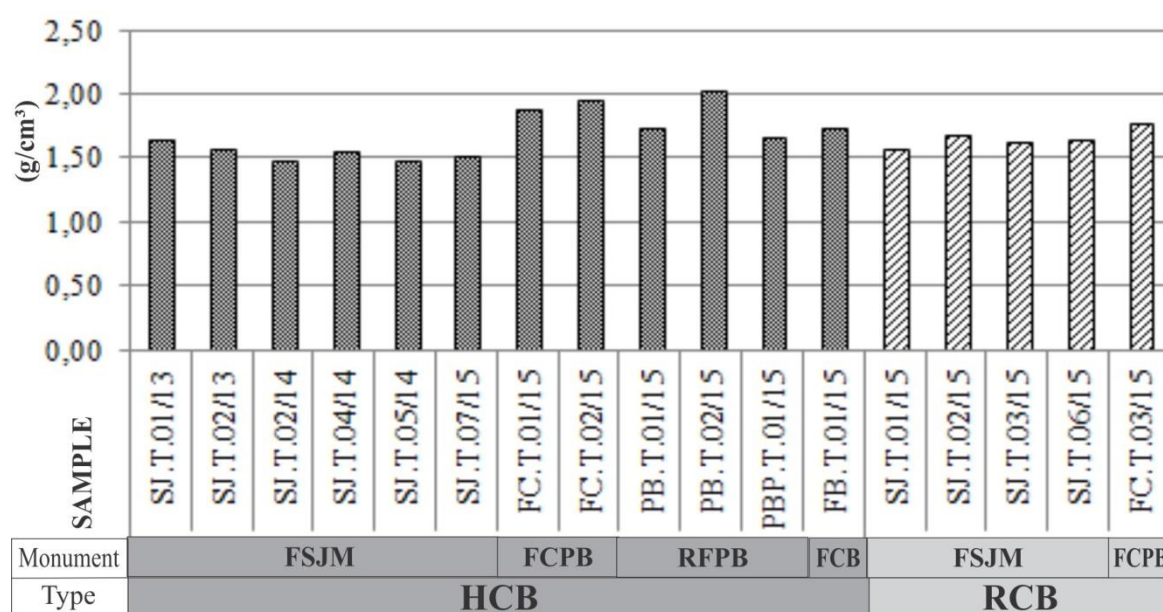


Fig.9 – Apparent density from the absorption of Hg in Hubbar pycnometer for HCB from the FSJM, FCPB, RFPB and FCB ruins and for RCB from FSJM and FCPB samples.

3.5. Textural, mineralogical and chemical characteristics

Historic Ceramic Bricks (HCB)

The general observation of the bricks in the fortresses researched demonstrated differences between those from the FSJM and FCPB in comparison to the RFPB and the ruins of the FCB. HCB from FSJM and the FCPB are similar in terms of color, texture and mineralogical patterns. In general, they constitute an orange-colored matrix throughout the ceramic body, with whitish residual portions, which depict the domain of the originally clayey matrix containing nodules of dark brown to wine color, which represent hematite concentrations. Quartz grains are mesoscopically visible in the matrix as a whole. Linear and curved marks are common in shades ranging from ocher, to pale yellow, pink or white, which shows the preparation movements of the ceramic paste. They are very porous and their exposed external surfaces are partially modified by microorganisms colonization, mosses and vegetation of different degrees, reflecting weathering action in tropical climate (Fig. 10).

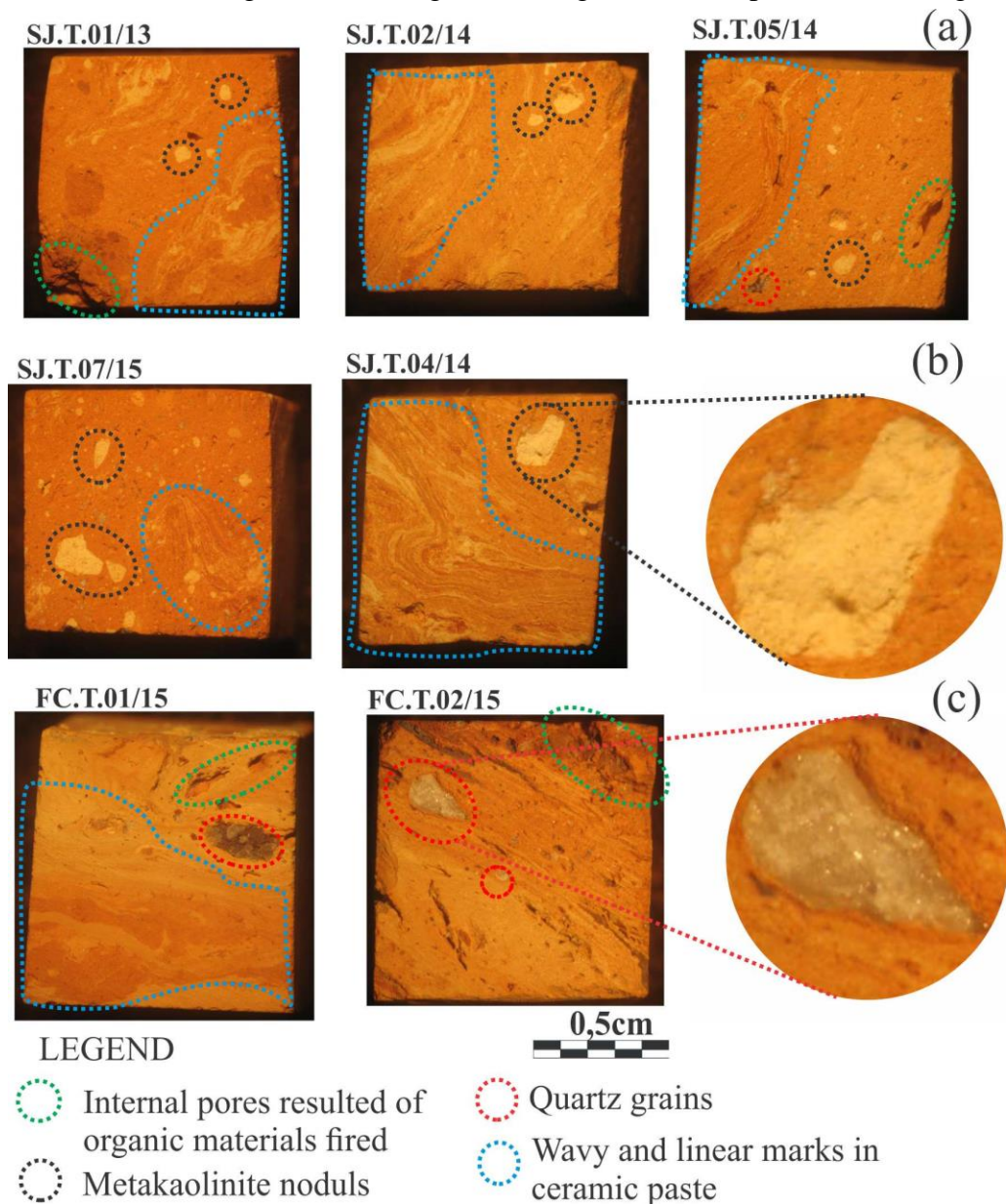


Fig. 10. Photomicrographs of HCB samples cut into cubes and originating from the FSJM (a, b: samples SJ.T.01/13, SJ.T.02/14, SJ.T.05/14, SJ.T.07/14 and SJ.T.04/14) and the FCPB (c: samples FC.T.01/15 and FC.T.02/15), in which the textural and similarities of color, porosity and movement marks of craft production.

HCB from the RFPB (collected in the fort and external gunpowder barn) and from the FCB ruins showed significant differences, although of a kaolinite matrix such as the FSJM and the FCPB. These differences are especially related to the predominant coloration from white to pale pink until light yellow, occurring dark brown to wine nodules due to oxyhydroxide of Fe concentration, besides other white, dark gray and dark brown spots, indicating also the incomplete sintering. However, they are also very porous and have mesoscopically visible quartz grains in the matrix. Although not as clearly as those observed in the FSJM and FCPB samples, also in these bricks there are marks representing the handmade preparation movements of the ceramic paste. In the RFPB it is possible to observe stacks of ceramic bricks scattered in the fortification next to blocks of laterite crusts, resulting from the partial collapse of several ruined internal structures (Fig. 11).

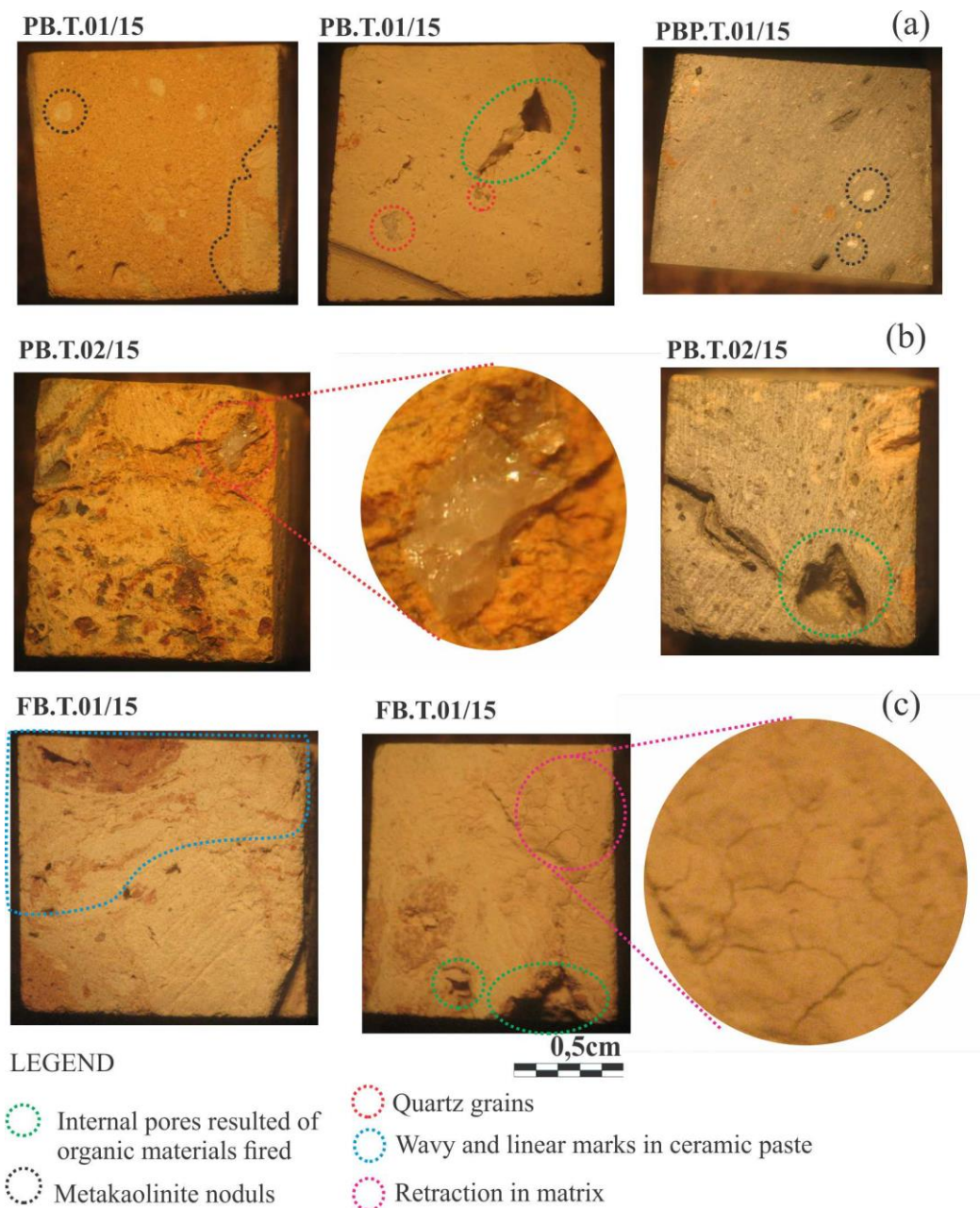
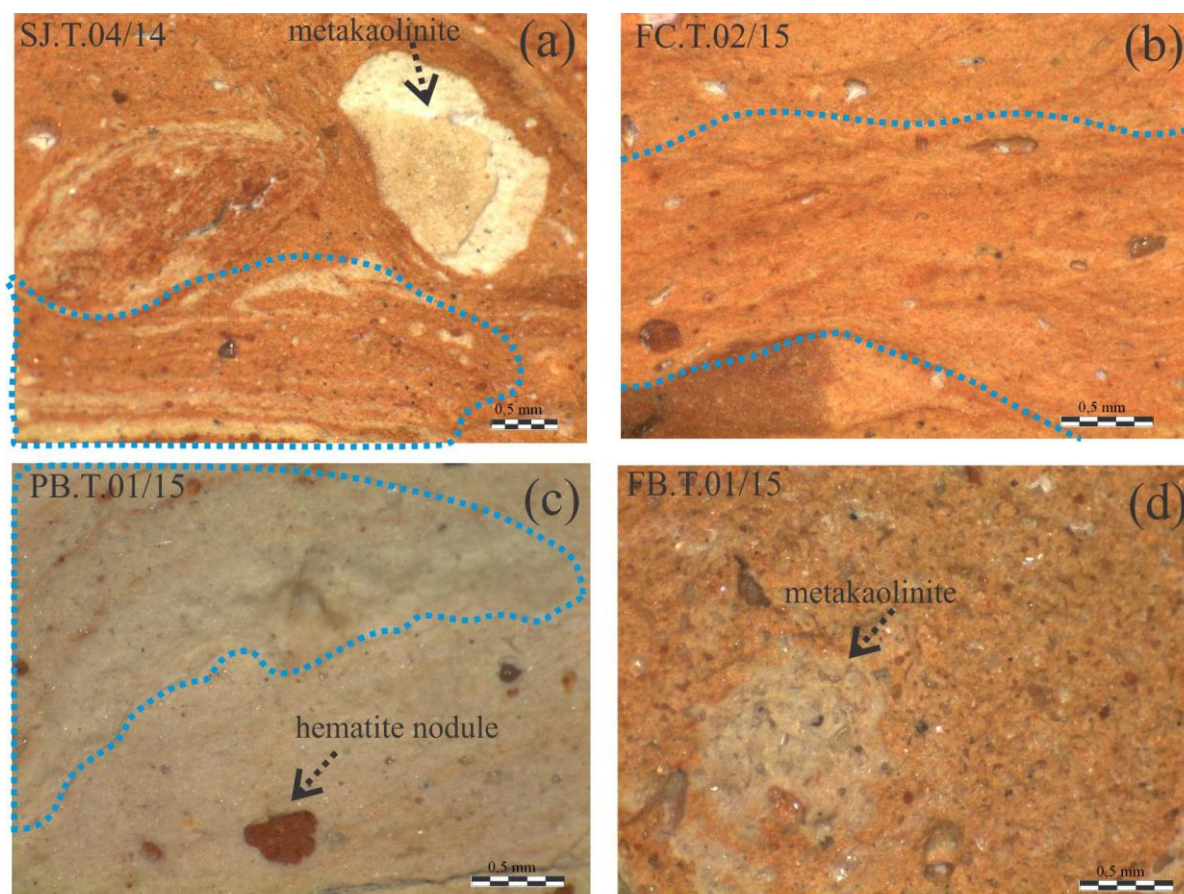


Fig. 11. Photomicrographs of HCB samples cut into cubes and derived from the RFPB: (a, b) collected from the fortress (PB.T.01/15, PB.T.02/15) (PBP.T.01/15) and the FCB ruins (c: FB.T.01/15) in which are indicated its texture characteristics, color differentiation and incomplete sintering, porosity and movement marks that show the craft production.

The differences in coloration suggest, in addition to the chemical and mineralogical composition of ceramic paste, that the fired occurred in traditional kilns reflecting in their incomplete or differential sintering of the bricks, which differs according to their position inside the kiln. The presence of Fe-oxyhydroxides nodules (Fig. 12) in the ceramic matrix are indications that the clayey raw material contained spots that had previously been pigmented red, due to the higher concentration of Fe-oxyhydroxides, generally represented by goethite and hematite according to XRD (Fig 3).



LEGEND

 Wave and linear marks in ceramic paste

Fig.12. Photomicrographs of polished section of the HCB samples from the fortresses studied: FSJM (a: SJ.T.04/14), FCPB (b: FC.T.02/15), RFPB (c: PB.T.01/15) and the FCB ruins (d: FB.T.01/15), where the different textures between them and the undulating marks of the craft production are observed.

Under the optical microscope, and especially in thin slides, a microcrystalline matrix background is observed, slightly oriented, indicating the flux produced by the preparation of ceramic paste pre-firing, where it is possible to recognize thin lamellae of mica in a fundamental mass corresponding to the firing of the mineral kaolinite present in the clay. The fired certainly transformed kaolinite in metakaolinite, which presented amorphous in the XRD. It is also observed the quartz grains, as well as brown to reddish spots corresponding to the cryptocrystalline hematite (Fig. 13). This mineralogical constitution is typical of most ceramic bricks and is confirmed by the XRD analysis (Fig. 14, Fig. 15 and Fig. 19).

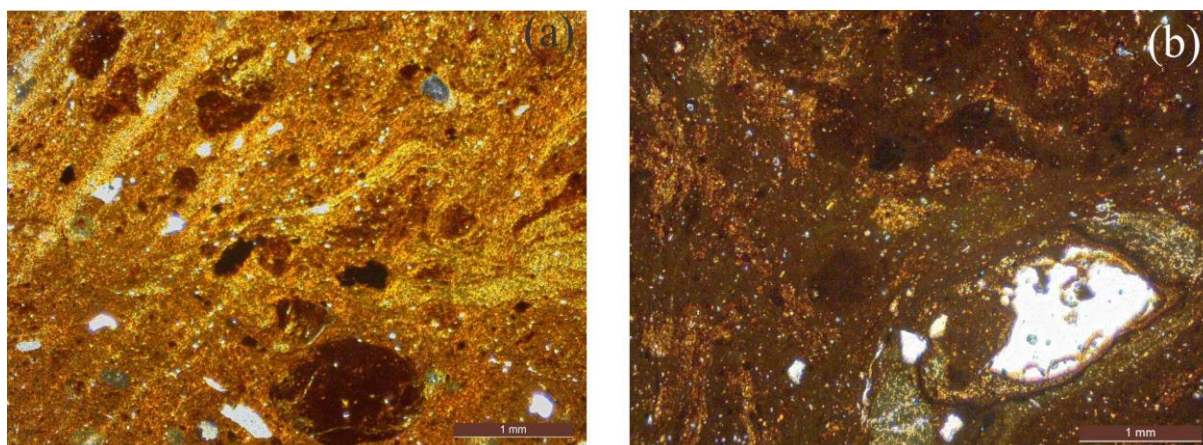


Fig. 13. Photomicrographs (thin slides) of HCB samples from FSJM: (a) SJ.T.01/13 (Ravelin) and (b) SJ.T.02/13 (paving around the gunpowder) where observed microcrystalline matrix with thin lamellae of mica in addition to quartz grains and reddish brown spots corresponding to cryptocrystalline hematite (a, b: crossed nicols).

MEV/EDS analysis allowed the identification of the clay mineral domain, originally interpreted as kaolinite (Si, Al and O domain) (Fig. 16c), transformed into metakaolinite (amorphous in XRD) involving a quartz grain (Si and O domain) (Figure 16b). The presence of lower concentrations of K refers to the muscovite indicated by XRD; the Ca may indicate contamination by mortars containing lime or even addition to the ceramic paste of Ca carbonate; the Fe, the hematite presence indicated by XRD and Ti, generally present as anatase. The presence of muscovite immersed in the ceramic matrix is categorically demonstrated in SEM/EDS analyzes (Figure 17).

There is evidence of mullite in a FCPB brick sample, however muscovite is absent. The presence of mullite suggests a fired temperature, much higher than the others investigated (Fig. 15). It may be the result of the instability of fired in artisanal kilns. The Fe-oxhydroxides are present as aggregates of pseudomorphic crystals, related to Fe sulfides, such as pyrite and/or marcasite, which are associated with clayey sediments, usually rich in organic matter, when developed aggregates of raspberry type. This is well illustrated in the SEM/EDS analyzes (Fig. 18).

It is notable the high C concentration, which may represent ashes arising from the vegetable fired remains contained in the original raw material used, and also justify partially the many pores identified in these samples. These characteristics suggest the used clays of flood plains and/or tides, which usually contain these types of sulphides (Fig. 18) and a lot of vegetal material (Fig. 16).

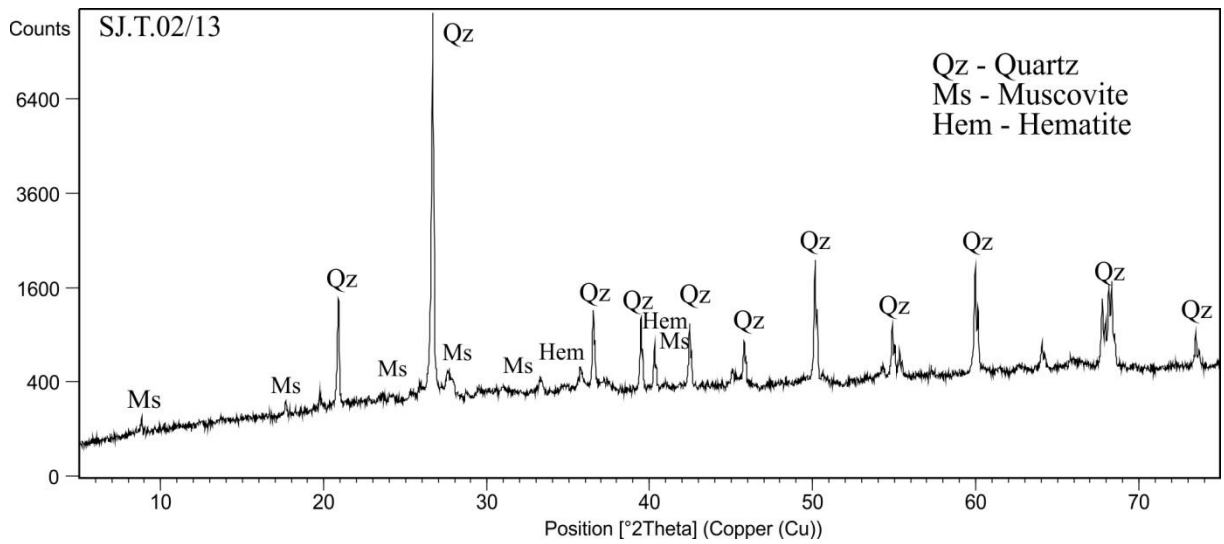


Fig.14. X-ray diffraction (XRD) of HCB from the FSJM (SJ.T.02/13 sample) in which quartz, muscovite and hematite are identified.

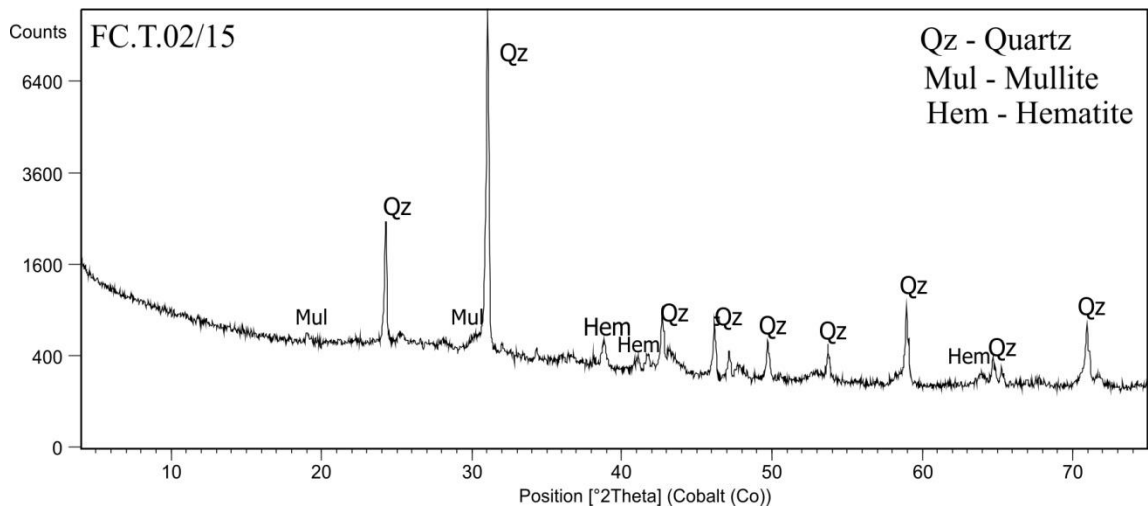


Fig. 15. X-ray diffraction (XRD) of HCB from FCPB (sample FC.T.02/15) in which the quartz, hematite and discrete mullite peak are identified.

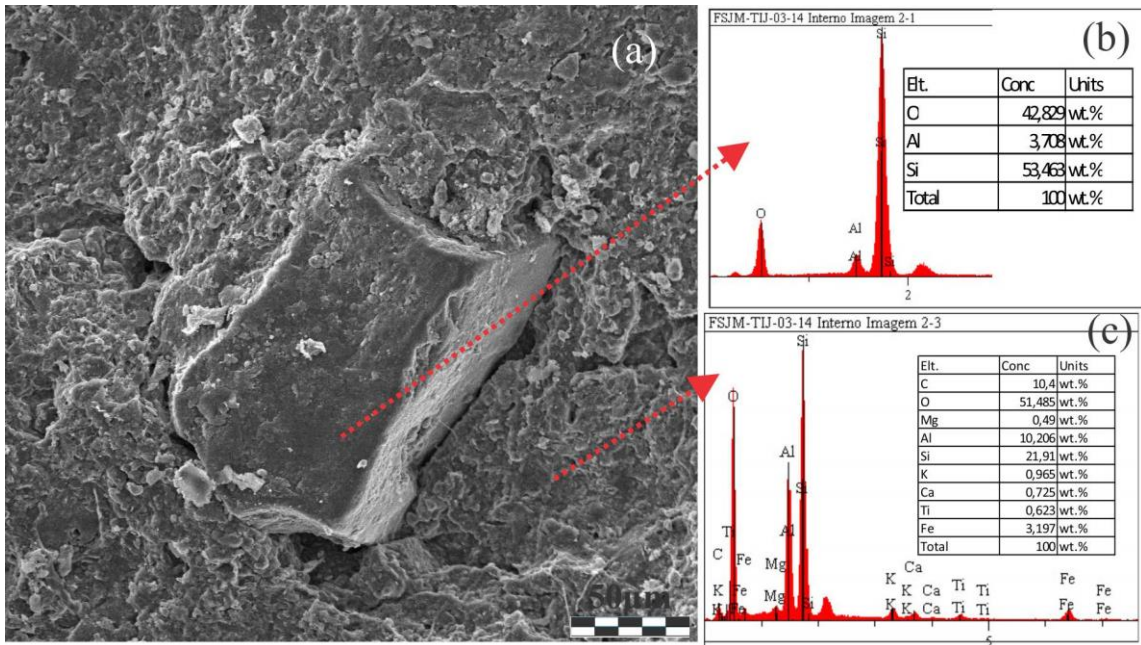


Fig. 16 25. Photomicrography and chemical analysis by EDS corresponding to the HCB fragment matrix from FSJM (sample SJ.T.03/14) identifying the clay mineral originally interpreted kaolinite (c), transformed into metakaolinite (amorphous to XRD) involving a quartz grain (b), containing traces of K, Fe and Ti minerals possibly muscovite, hematite and usually anatase; Ca probable contamination of mortar and C, possibly ashes by the fired of vegetable organic matter.

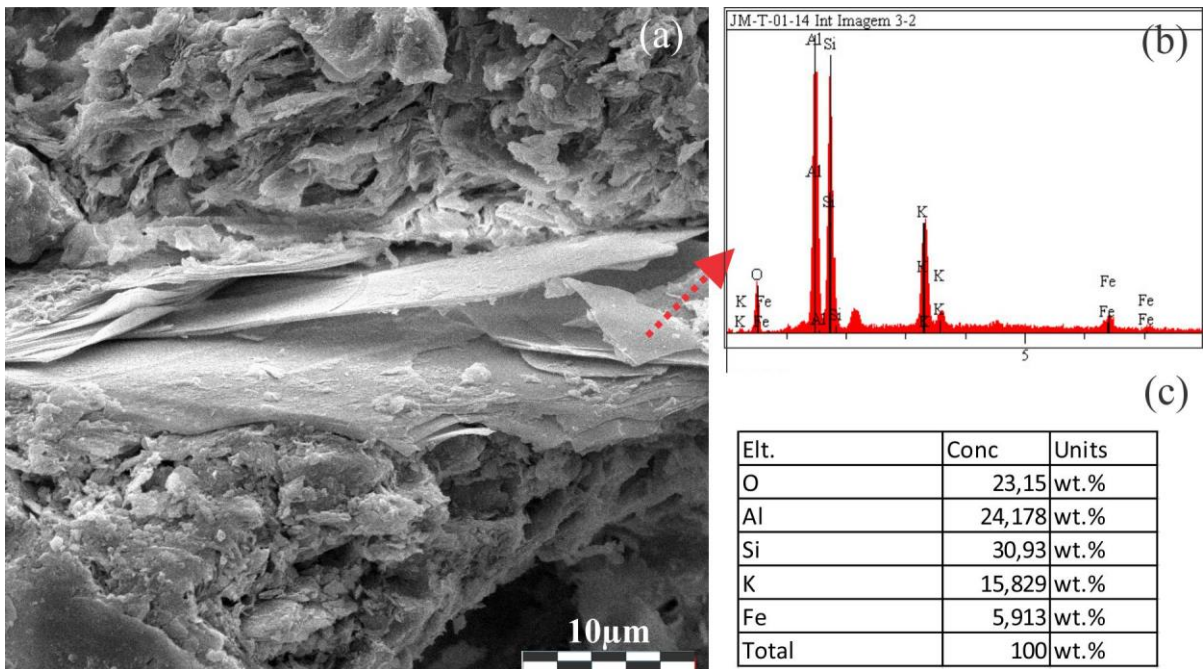


Fig.17. Photomicrography obtained by MEV and chemical analysis by EDS of HCB fragment from FSJM (sample SJ.T.01/14) shows amorphous mass (metakaolinite) and muscovite observed by the habit micacious (a) and chemical constitution (b, c).

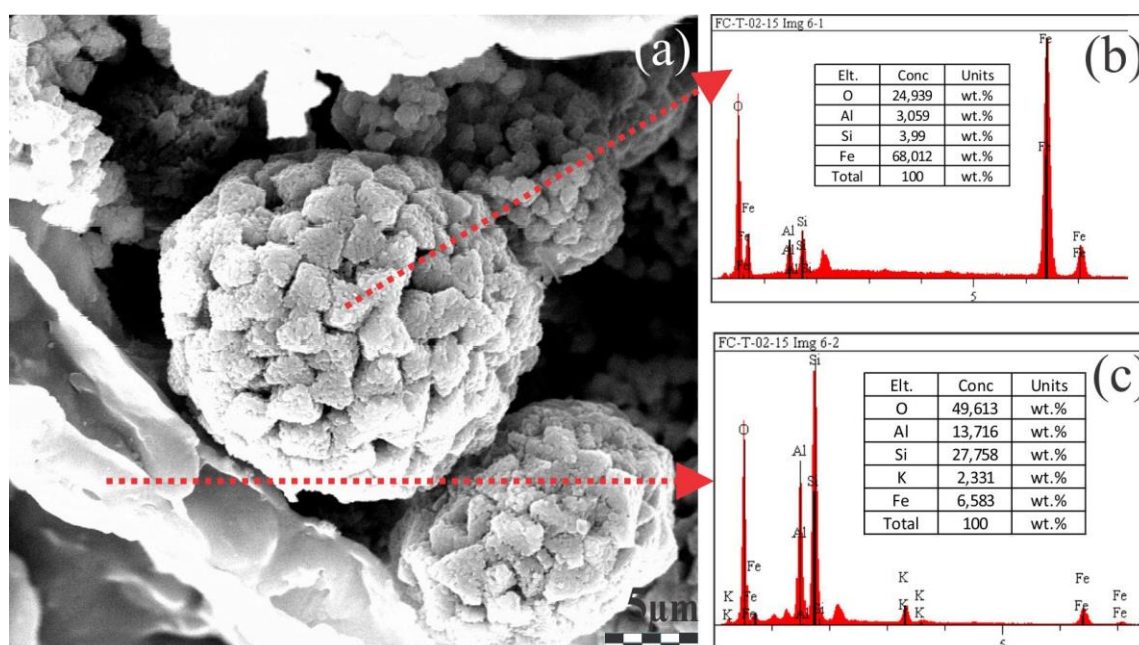


Fig.18. Photomicrography and chemical analyzes (SEM/EDS) of HCB fragment ceramic matrix of the FCPB (sample FC.T.02/15) with spheroid agglomerates of hematite pseudomorph of pyrite, probably surrounded by matrix derived from clay material with mica (c) in a paste matrix of originally kaolinite composition (b, c).

In the RFPB, the bricks that are morphologically distinguished from the others are also formed by the metakaolinite mass, in which there is a higher quantity of muscovite, quartz and anatase, but they are poor or almost absent in hematite (Fig. 19 and Fig. 20). However, in some areas, it is observed a microvenular type manifestation formed of aggregates of hematite, muscovite and metakaolinite. Rare micrometric hematite nodules were also observed (Fig. 21). Chemical analysis (ESD) also presented expressive values of C, which may also indicate residues of organic matter or its carbonized equivalent (coal).

The XRD of the samples from the RFPB (PB.T.01/15) and the FCB ruins confirm quartz, muscovite and anatase, as well as only hematite in the first one (Fig. 19 and Fig. 20). The kaolinitic clayey matrix is confirmed by SEM/EDS and by the amorphous phase of XRD corresponding to metakaolinite (Fig. 21 and Fig. 22). It is likely that the builders have employed clays of both saprolites derived from acidic volcanic rocks, poor in iron, outcropping near the fortress, as well as river-lake sediments containing residues of organic matter.

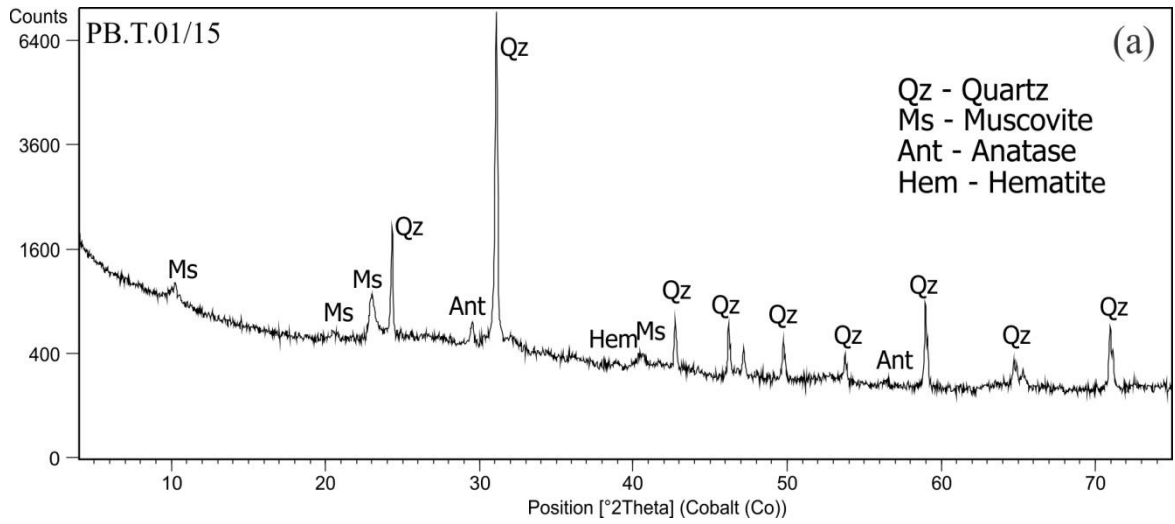


Fig.19. X-ray diffraction (XRD) of HCB from RFPB (PB.T.01/15 sample) in which quartz, muscovite, anatase and hematite are identified.

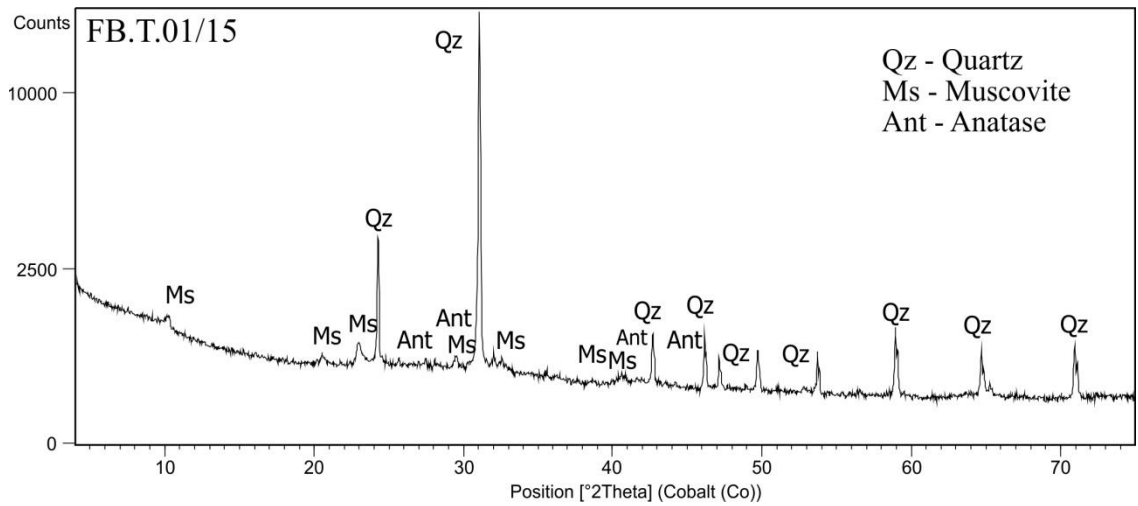


Fig.20. X-ray diffraction (XRD) of HCB from the FCB ruin (sample FB.T.01/15) where the hematite is absent.

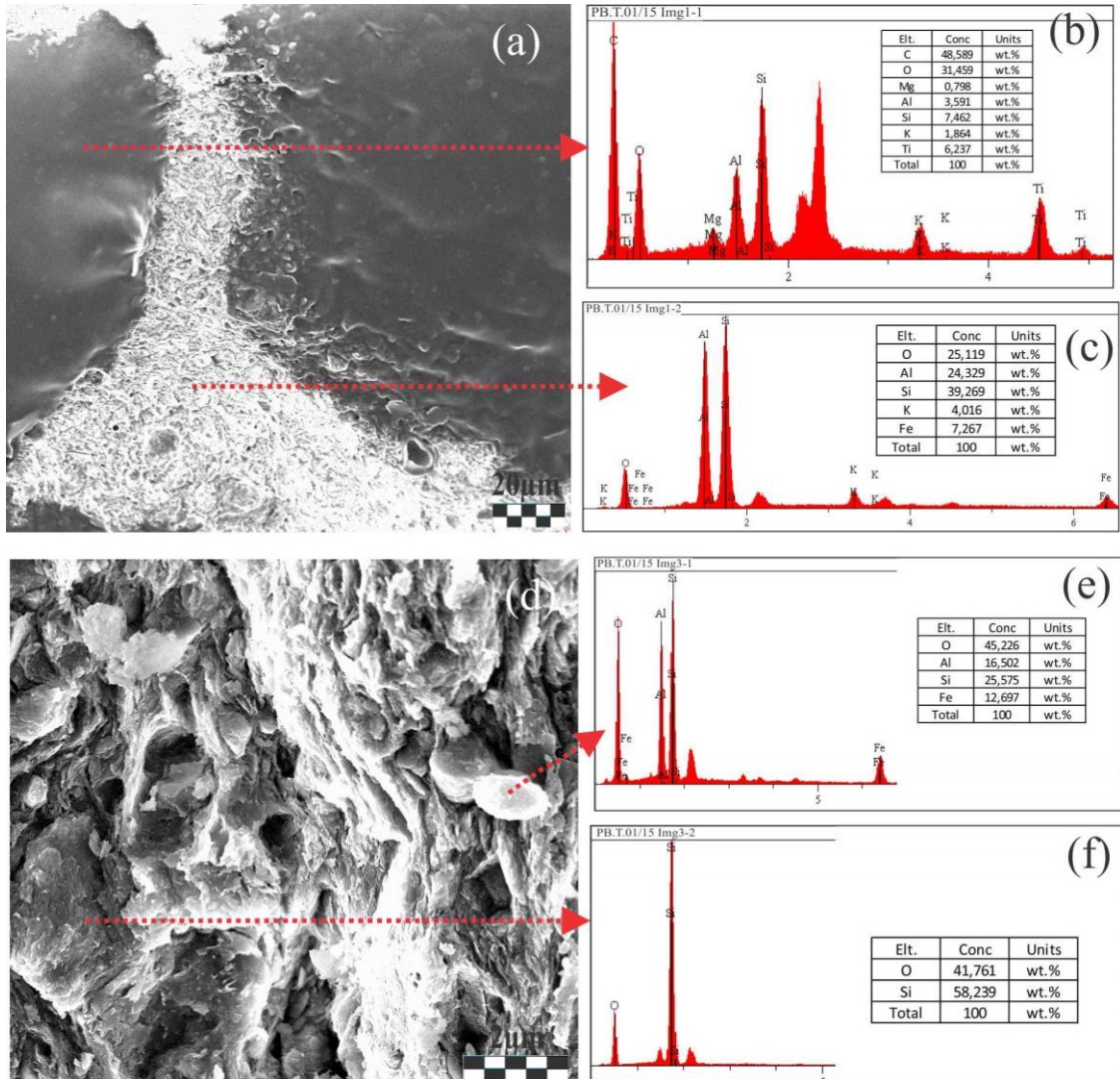


Fig.21. Photomicrographs obtained by MEV and chemical analysis by EDS of HCB fragment from the RFPB (sample PB.T.01/15): matrix related to metakaolinite (a, b) containing traces of Fe, Mg, K and Ti minerals, possibly hematite (c, e), muscovite (b, c) and anatase (b), in addition to quartz (f).

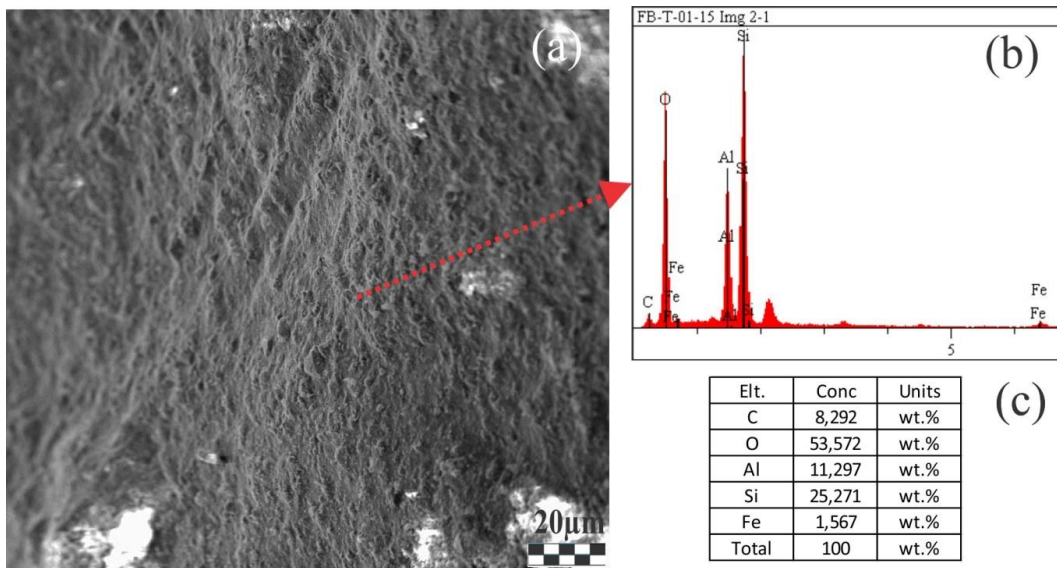


Fig.22. Photomicrography and chemical analysis (SEM/EDS) of HCB fragment from the FCB ruins (sample FB.T.01/15) showing a solid microcrystalline texture (metakaolinite) (a, b) containing little Fe and still C.

The semiquantitative chemical analysis results of the external faces exposed directly to the weathering in comparison to the less altered internal surfaces of HCB samples of the FSJM (Table 2), indicated mostly SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃, which reflect the mineralogical composition. The high contents of SiO₂ and Al₂O₃ depict the kaolinite clay transformed into metakaolinite. The surfaces exposed to the weathering and with decomposition are distinguished from the internal ones by the presence of decreasing Al₂O₃, which suggests that the matrix formed by clay/metakaolinite was partially leached leading to the decrease of this component and even of SiO₂, but not substantially, as the quartz grains remained, and relatively concentrated, thus balancing the SiO₂ contents. The same criterion can be stated for Fe₂O₃, also represented by hematite nodules, which are more physically resistant to leaching.

Table 6 - Partial and semi-quantitative chemical composition of HCM from FSJM (sample SJ.T.01/13) obtained by portable XRF, external and internal faces of the brick with different levels of changes.

SAMPLE	SiO ₂ (Wt %)	Al ₂ O ₃ (Wt %)	Fe ₂ O ₃ (Wt %)	TiO ₂ (Wt %)	K ₂ O (Wt %)	CaO (Wt %)	Total
SÃO JOSÉ OF MACAPÁ FORTRESS (FSJM)							
SJ.T.01/13	59,60	22,30	6,76	0,81	2,08	1,25	92,8
SJ.T.01/13	51,80	19,20	4,65	0,72	1,54	1,06	78,97
SJ.T.01/13	60,30	22,50	5,78	0,82	2,03	1,30	92,73
SJ.T.01/13	59,80	23,00	6,10	0,81	2,12	1,11	92,94
SJ.T.01/13	57,20	20,50	6,58	0,78	1,87	1,38	88,31
SJ.T.01/13i	49,80	17,70	4,32	0,74	1,66	0,81	75,03
SJ.T.01/13i	53,50	19,10	6,42	0,80	1,76	0,94	82,52
SJ.T.01/13i	35,30	11,90	5,02	0,63	1,26	0,78	54,89
SJ.T.01/13i	54,90	19,60	4,92	0,79	1,84	0,97	83,02
SJ.T.01/13i	54,60	19,70	5,50	0,80	1,84	1,30	83,74
SJ.T.01/13i	59,20	22,10	6,74	0,80	2,12	1,17	92,13
SJ.T.01/13i	60,80	22,10	5,86	0,81	2,01	1,20	92,78
SJ.T.01/13i	54,90	20,40	5,17	0,76	1,82	1,84	84,89
SJ.T.01/13i	63,50	23,40	5,55	0,81	2,02	1,27	96,55
SJ.T.01/13i	63,40	23,70	5,39	0,83	2,13	1,15	96,6
SJ.T.01/13ir	59,90	20,10	6,07	0,82	1,91	2,70	91,5
SJ.T.01/13ir	52,00	17,70	4,47	0,75	1,71	0,85	77,48
SJ.T.01/13ir	60,30	20,60	6,12	0,81	1,92	3,13	92,88
SJ.T.01/13ir	55,30	19,40	4,76	0,80	1,94	1,02	83,22
SJ.T.01/14i	56,60	16,30	6,12	0,89	1,75	0,38	82,04
SJ.T.01/14i	60,10	19,80	7,70	0,80	1,75	0,50	90,65
SJ.T.01/14i	53,40	17,00	5,48	0,75	1,66	0,45	78,74

(i: internal face; ir: internal rough).

Recomposition Ceramic Bricks (RCB)

The RCB observed in FSJM and FCPB show more uniform orange color, especially on the external faces. However, in the analysis from FSJM samples observed that the internal areas present coloration that varies from ocher to pale yellow to gray in the central part (Fig. 23). These bricks were identified in greater occurrence in the FSJM applied in several works carried out during the 20th century, including interventions in 1997/1998 and in 2011/2012 period [28] continuous field observations. In the FCPB can be observed its great use also in the works undertaken between the years of 1997/2002 especially in the paving of floors [29], observed in analysis of architectural and landscape projects).

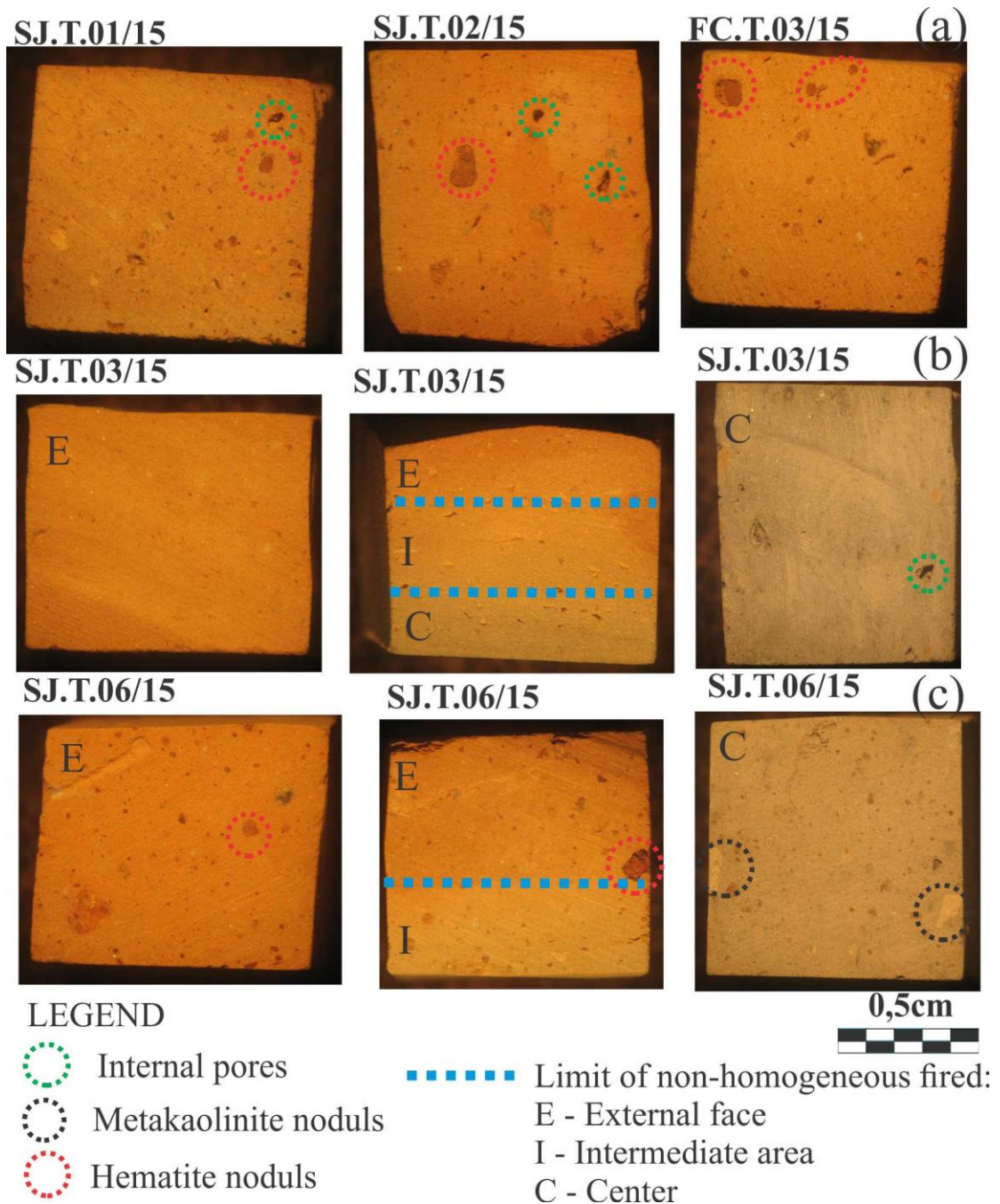


Fig. 23. Photomicrographs of RCB type, cut into cubes and originating from the FSJM (SJ.T.01/15, SJ.T.02/15, SJ.T.03/15, SJ.T.06/15) and the FCPB (FC.T.03/15) show similarity of color and texture (a). Non homogeneous sintering can be observed in SJ.T.03/15 (b) and SJ.T /06/15 (c) samples from the orange external face (E) to the pale yellow in the intermediate area (I) to gray in the center (C).

The RCB are bricks with more uniform silty-sandy matrix, both in granulometry as in the homogenization of the ceramic paste that presents small quartz grains and Fe-oxyhydroxide nodules, possibly hematite confirmed by XRD, as well as muscovite and albite (Fig. 25). However, the nonhomogeneous fired is observed from the orange external face with brown nodules, followed in the intermediate zone of clear appearance with white portions suggestive of the presence of metakaolinite, with brown stained aureole characteristics of hematite and the central nucleus predominantly gray with discrete other colored spots

possibly related to Fe-oxyhydroxides, perhaps goethite, beyond white and dark gray spots (Fig. 24).



Fig. 24. Photomicrographs of a polished section of RCBC from FSJM (SJ.T.03/15 sample) where non-homogeneous fired is observed: (a) external surface of orange color in sandy silica mass with nodules of Fe-oxyhydroxide and meager quartz grains; (b) intermediate area of light gray color with white nodule aureolated of brown possibly hematite stain; (c) gray central nucleus and white nodules or halos in brown and ochre.

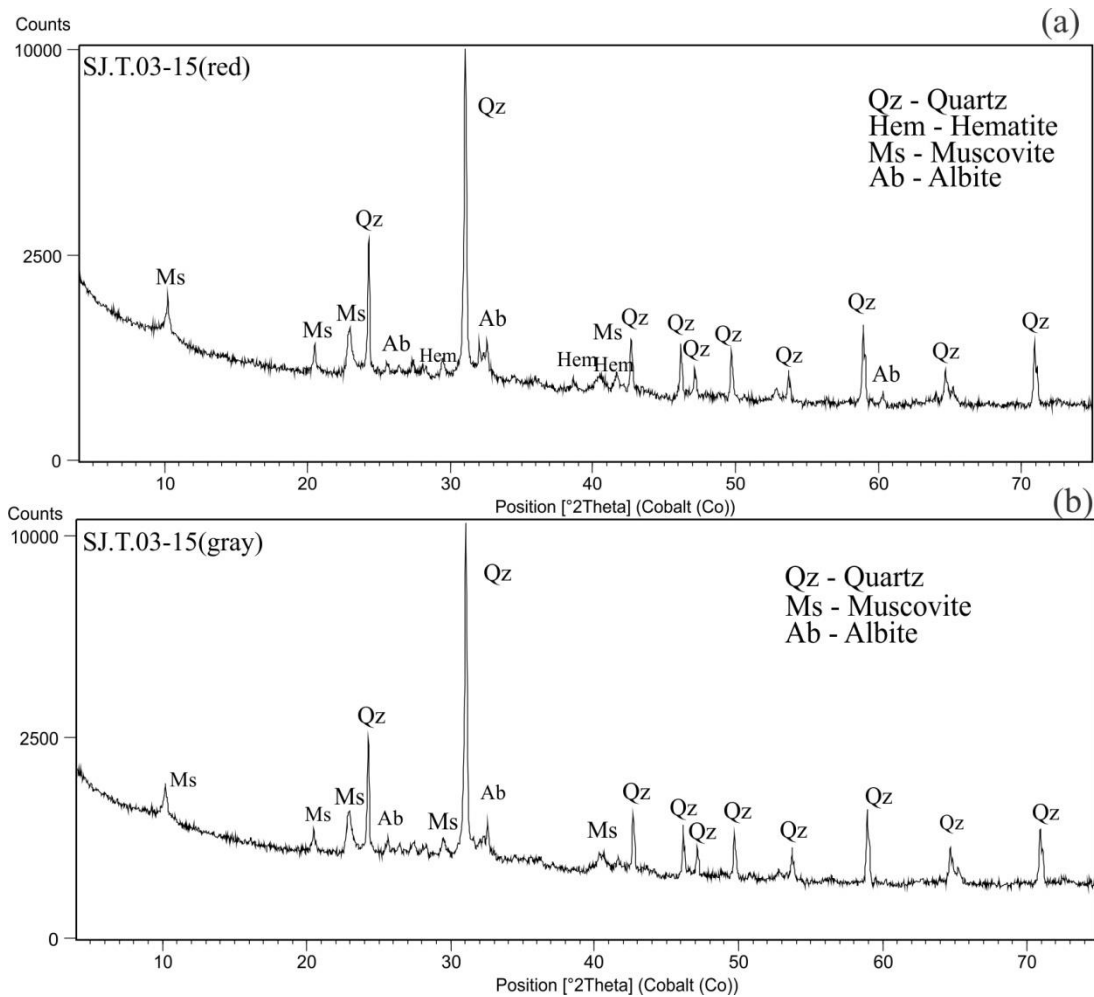


Fig.25. X-ray diffraction (XRD) of RCBC from FSJM (SJ.T.03/15 sample) in which quartz, muscovite and albite are identified in the external face (red, a) and in nucleus areas (gray, b) differentiating by the hematite occurrence only in external face (red).

4.DISCUSSIONS

The use of ceramic bricks complies into some military engineering principles, such as its application to the parapet and gun port [3,25]. Although not used in the curtains, they are commonly used for the construction of vaults, filling or discharge arches and in details such as the sentinel boxes (whitewashed), for facilitating the construction of cylindrical and/or curves forms, as well as paving the rooms floors of a fortress, in "brick and in the circulations where they could undergo heavier traffic, like the brick to the top" [25].

From the fortresses searched, FSJM undoubtedly represents the best and most wide use of ceramic bricks, which is partly justified by the abundance of clay in the environment [25]. The others fortresses also make use of this material, however, only in specific structures and in smaller quantity and variety of application, especially in the curves,, in mixed masonry, on buildings paving and to compose details of moldings of spans and shoulders, that were coated with mortars and whitewash paint. In the external walls, both in the FSJM as in the FCPB, the use of brick is punctual occurring in sporadic filling near the rocks. However in the FSJM the parapet and gun ports in their entire length and parts of the cord line are in ceramic bricks. The exception occurs in the RFPB where the whole walls and parapet are exclusively executed in blocks of rocks (lateritic crusts) restricting the bricks to the cylindrical sentinel boxes. In the FCB ruins also the curtains vestiges do not present ceramic bricks.

As time passed, two groups of bricks began to form the fortresses: the historical (HCB), which correspond to the periods of construction and older alterations delimited until the 19th century; and those of recomposition (RCB) used in various interventions, especially the from the mid-20th century, with emphasis on the 1990s and the beginning of the 21th century [28,30,31,32,33]. RCB were especially identified in FSJM and FCPB probably because they are more widely used structures and located in more developed urban centers, whereas the RFPB structures presents more critical conservation situation. Although it has the Brazilian Army effort of conservation, it reflects in long periods of abandonment, to which the fortress was subjected [34,35]. The Fig. 26 shows the bricks in various functions in the fortifications surveyed.



Fig. 26. Different applications of ceramic bricks in the Amazon fortresses: (a, b) HCB and RCB in profusion of use and functions in the FSJM (Amapá); (c, d) HCB in mixed masonry walls and RCB in pavements in the FCPB (Pará); (e, f) HCB in the composition of arches and filling of predominantly stone masonry parts in the RFPB (Rondônia).

Regarding the production of HCB for Amazon fortresses it is evident the use of local raw material, usually clays rich in kaolinite, mainly taken from the mottled horizons of immature lateritic profiles [36,37], as evidenced by XRD in samples of sites, where it is still possible access the cliffs or river bank as in the FSJM and the RFPB, these being both the saprolites derived from acidic (iron poor) volcanic rocks as well as rich river-lake sediments in waste organic matter. The use of local raw material for ceramic production reflects the usual practice of builders in various historical periods [5,16,25].

The artisanal kilns for the production of bricks [2,3] were on the edge of the cliff and near the buildings and rivers, as identified in these same fortresses, possibly to facilitate the

use of matter removed from the local and nearby. In the FSJM, two brick kilns were identified: the "old" one with a square section, with the upper part open and the "new", more distant, rectangular section, apparently with two front openings, larger and more distant. This suggests the need for expansion of production and possible depletion of clay near the first kiln, justified by the size of the work and the wide use of this construction material in the FSJM, which differs from the other fortifications searched (Fig. 2).

As for the bricks behavior under weathering observed that the weathered faces had a lower content of Al_2O_3 , probably due to the loss of a clayey matrix originally kaolinite, since the fired in traditional kilns is not always uniform, while the SiO_2 contents decrease in smaller proportion [5,11]. Mineralogy reflects the general characteristics of bricks and the different fired temperatures that can be reached are produced in old traditional kilns as identified in the research or in recent industrial kilns.

In the fortresses that suffered major interferences over time as FSJM and FCPB, besides the HCB are very evident those of the type RCB. Although the HCB showed differentiation in the sintering between the ceramic pieces, common in craft kilns, they generally had a more uniform firing color than the RCB.

The presence of kaolinite confers plasticity on the clays and can induce a refractory behavior in the ceramics, while lamellar muscovite, identified in both HCB and RCB, may cause defects or have a fluxing action during firing due to the presence of K [7]. Other constituents of the raw material represented by feldspars, iron oxides and hydroxides (goethite and hematite) and titanium oxide (anatase), identified in the possible extraction areas are reflected in the mineralogy of the ceramic bricks. Among these, feldspars and iron oxides and hydroxides can also act as fluxing favoring vitrification during the firing process, densifying and providing better mechanical resistance to the building material [2,22,23].

However, HCB was very porous, allowing the formation of hematite pseudomorph of pyrite agglomerates of the raspberry type (Fig. 12), from which it can be deduced that the possible fluxing in at least some samples did not form the liquid phase that would allow the pores filling. In addition, expressive values of C identified by EDS suggest residues of organic matter or its carbonized equivalent, which in general also result in the formation of pores and fractures.

This may also be related to coarse-sized sand quartz particles (Fig. 3 and Fig. 4), which tend to cause the appearance of cracks caused by quartz transformation at temperatures of the order of 570°C , leading to a reduction in mechanical resistance [7]. In contrast, the presence of sands in the RCB containing quartz grains in a more uniform granulometry can adjust the plasticity and clay workability and reduce the retraction of drying and burning, resulting in more homogeneous ceramic material [7]. These characteristics may justify the lower water absorption and porosity indexes of RCB and HCB tile from the RFPB, in view of the lower dry packing rate of clays that present a higher amount of kaolinite and a lower free SiO_2 content in the quartz shape [7].

The HCB of the various fortresses showed amorphous material (metakaolinite), which shows that these bricks fired a temperature above 550°C but below 600°C . The possible presence of anatase in some samples also demonstrates this [24]. The hematite also acts as an indicator of high temperatures and its punctual presence reinforces the differences in burning in kettle-type kilns [24]. The hematite also acts as an indicator of high temperatures and its punctual presence reinforces the differences in fired in kilns [21,24]. The identification of mullite in HCB sample induces that certain bricks reached temperatures between 950°C and 1100°C even in traditional kilns, possibly very close to the heat source [19,20,22].

In the case of RCB, non-homogeneous firing was observed, while the external face were sintering while in the interior the light and gray materials show incomplete fired.

Possibly this is a reflection more of the time in which the bricks were exposed to the fired, insufficient for the uniform material sintering, than properly by the temperature reached in furnaces possibly more modern and of recent production [2,10,11].

The microtexture differences, shape and coloration observed between HCB and RCB are perceptible in both FSJM and FCPB, but they do not compromise the esthetic reading of the set. The application of the RCB is more evident by the laying mortar differentiation than by the characteristics that differentiate them from the HCB. Table 3 and Fig. 27 present the general characteristics and applications of ceramic bricks in the Amazon fortresses.

Table 7 –
Types, general characteristics and applications of ceramic bricks in FSJM, FCPB, RFPB and FCB.

Monument	Ceramic bricks	General characteristics	Application
FSJM	HCB	Orange color matrix from external to internal faces, with whitish residual portions and dark brown to wine colored. Quartz grains are mesoscopically visible in the matrix. They are very porous and show movement marks of the artisan production linear and curved marks in shades ranging from ocher, to pale yellow, pink or white, shows the preparation movements of the ceramic paste.	General paving of internal buildings and surroundings of the gunpowder barn; arranged to the cutlass in the paving of the access and poterns; in mixed masonry as main or secondary material; ramps, parapets, gun ports, internal scarps, walls, vaults, arches, sub-officers house, sentinel boxe (whitewashed), drains and in part of the cord of the wall
FCPB	HCB		Paving of internal buildings, mixed masonry as secondary material, vaults, arches, parapet (towed), arch of drains
RFPB	HCB	The mass was white to pale pink until light yellow, with dark brown to wine nodules, besides other white, dark gray and dark brown spots. They are also very porous and have mesoscopically visible quartz grains in the matrix.	Sentinel boxe (whitewashed), arches and vaults, mixed masonry, paving and to compose details of moldings of spans and shoulders that were coating mortars.
PAIOL (RFPB)	HCB	They show movement marks of the artisanal production.	Mixed masonry, constructive details and possibly paving
FCB	HCB		Paving
FSJM	RCB	Silt-sandy matrix mass with orange to red external face, intermediate area of light and sandy appearance with white portions and spots of reddish-brown color and gray central nucleus with discrete ocher-colored spots and white dots.	In general recompositions in parapets, walls, ramps, internal scarp, counterscarp, and paving, some buildings are totally redone as in cells bunkers and internal buildings floors
FCPB	RCB		In new built structures and pavements including the curved terreplein

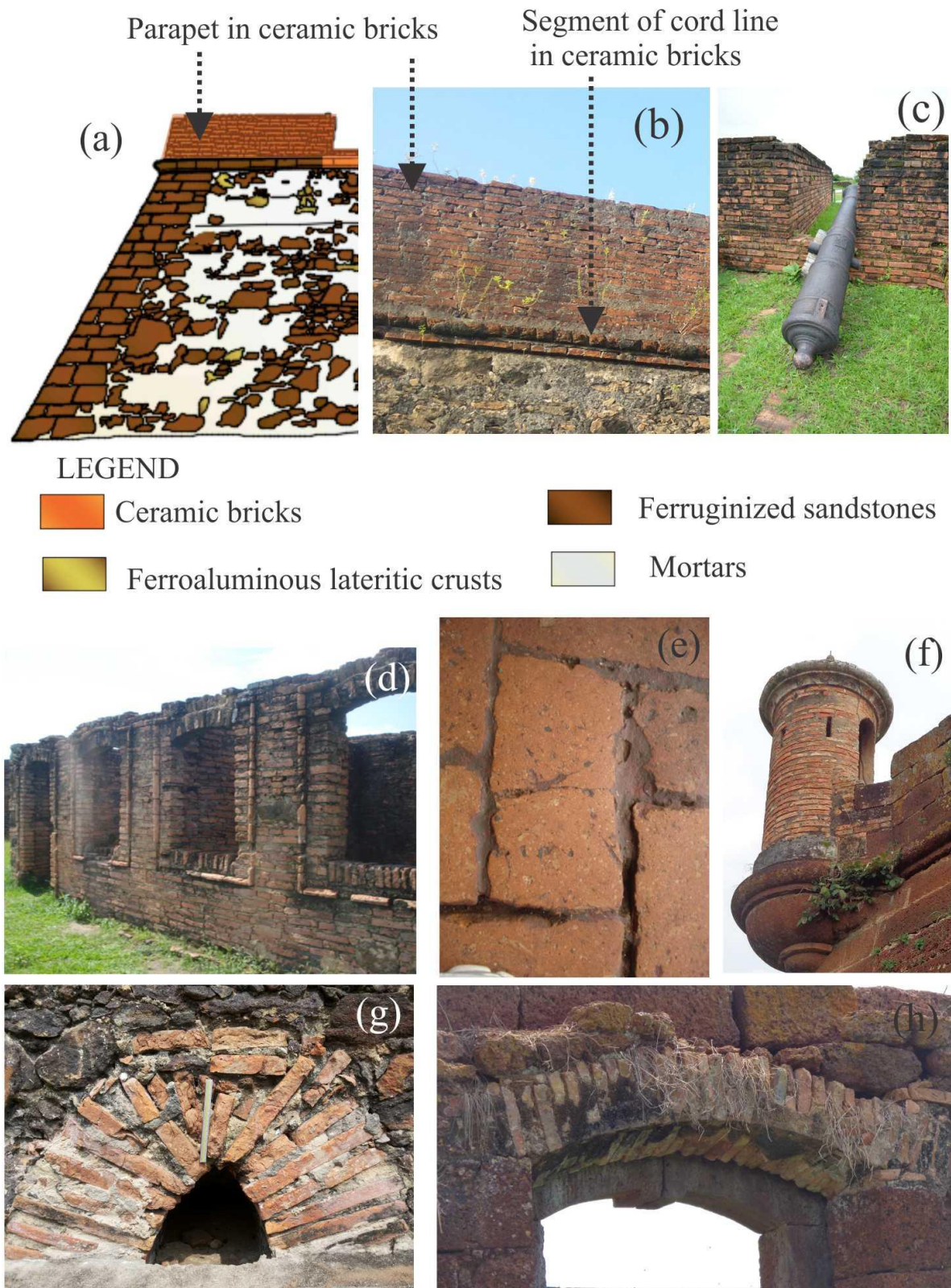


Fig. 27 - Main applications of ceramic bricks in the Amazon fortresses: (a) wall design of FSJM shows bricks in mixed masonry, parapet and gun ports; (b) parapet and cord line of wall in FSJM; (c) gun port in FSJM; (d) masonry in building of Ravelin in FSJM; (e) paving in access (sub-officers house) in FSJM; (f) sentinel box in RFPB; (g) drain in FCPB; (h) arch span in RFPB.

5. CONCLUSIONS

Despite the relative greater resistance of rocks in the construction of military fortifications, even for the possible greater aesthetic value, ceramic bricks are also important building materials and were applied especially in elements of curved shapes, whose work, even if possible with other materials such as rocks was undoubtedly facilitated by the use of bricks. Although they are unnatural materials, it exhibit similar behavior to some rocks, with the advantage that can be shaped into forms and dimensions desired by the consumer, as in the case of the cord line of walls observed in the FSJM. This fortification presents the greatest quantity and diversification uses of massive brick, being perhaps the most representative in the country in that use. The logistics and scale of production indicate how much the builders and the local workforce were organized to erect the fortress and its complementary structures.

The differences identified between the historical and recomposition bricks allow the attentive observer not to commit historical or aesthetic falsehoods. Hence, the durability does not seem to depend on the historical fact, since composite bricks presented incomplete sintering in the same way as some old ones, which results in less durability to the extent that they are exposed to tropical weathering, turn them more vulnerable to deterioration.

Field observations of the fortresses themselves and their surroundings showed that the builders had abundant raw material and the labor necessary for large-scale production, a fact also better demonstrated in the FSJM. In spite of the smaller use in the other fortifications, its specific applications demonstrate the importance of this material in the military typology and its permanence as testimonies of Brazilian architecture, history, culture and social formation. The data on the behavior, physical, chemical and mineralogical characteristics of different ceramic bricks or from different fortresses and geological contexts evidenced in this research are important subsidies for their conservation and restoration.

Acknowledgments

The authors wish to thank: Belém Municipality, IPHAN (Pará/Amapá/Rondônia) and SECULT (Pará/Amapá) for permission to research and collect samples; IG and ITEC/UFGA laboratories (LAMIGA, LCM, LAPETRO, LABMEV, Sedimentology, Lamination and LACORE); AHEX; Mr. Adervan Dias Lacerda, Director by Museum of Archaeology and Ethnology/AP; Group of Mineralogy and Geochemistry Applied/GMGA; Brazilian Army - 17th Jungle Infantry Brigade and 1st Special Frontier Squad. To Mr. Elvis, a resident of the village of the RFPB. Historical Archive of the Army/AHEX, Directorate of the Historical and Cultural Patrimony of the Army/DPHECEX. International Committee of Fortifications and Military Heritage/IcoFort. National Counsel of Technological and Scientific Development/CNPq, PETROBRAS, Secretariat of Policies for Women and Ministry of Science, Technology and Innovation by supporting research “Mineralogy applied to study materials at military engineering and its conservation on Amazon” and by granting a bank fee and research grant to the second author.

References

- [1] Vitruvius, Vitruvius: Tratado de Arquitectura. Tradução do latim: M. Justino Maciel (trad.), Thomas N. Howe (II). IST Press, Lisboa, 2006.
- [2] P. de S. Santos, Ciência e Tecnologia de Argilas. 2^a ed. rev. amp. Volume 1, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1989.

- [3] L. C. A. N. Santos, A Arqueologia da Arquitetura e a produção de tijolo na Bahia do século XVI ao XIX. Universidade Federal da Bahia, UFBA (Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), 433 p, 2013.
- [4] I. Calliari, E. Canal, S. Cavazzoni, L. Lazzarini, Roman bricks from the Lagoon of Venice: a chemical characterization with methods of multivariate analysis. *Journal of Cultural Heritage* 2 (2001) 2-29.
- [5] F. Antonelli, S. Cancelliere, L. Lazzarini, Mineralogical and petrographic characterisation of historic bricks in the Arsenal, Venice. *Journal of Cultural Heritage* 3 (2002) 59–64.
- [6] G. Cultrone, I. Sidraba, E. Sebastián, Mineralogical and physical characterization of the bricks used in the construction of the Triangul Bastion, Riga (Latvia). *Applied Clay Science* 28 (2005) 297-308.
- [7] C. M. F. Vieira, R. M. Pinheiro, Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. *Cerâmica* 57 (2011) 319-323.
- [8] K. Van Balen, Expert system for evaluation of deterioration of ancient brick masonry structures. *The Science of the Total Environment*, 189/190 (1996) 247-254.
- [9] A. Moropoulou, A. S. Cakmak, N. Lohvyn, Earthquake resistant construction techniques and materials on Byzantine monuments in Kiev. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 19 (2000) 603-615.
- [10] P. Cardiano, S. Ioppolo, C. De Stefano, A. Pettignano, S. Sergi, P. Piraino, Study and characterization of the ancient bricks of monastery of San Filippo di Fragalà in Frazzanò (Sicily). *Analytica Chimica Acta* 519 (2004) 103–111.
- [11] P. Lopez-Arce, J. Garcia-Guinea, Weathering traces in ancient bricks from historic buildings. *Building and Environment* 40 (2005) 929-941.
- [12] J. Galindo, J. Paredes, A. Muñoz, Estudio y caracterización de los ladrillos de um puente histórico em Buga (Valle Del Cauca). *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* N.º 48 (2009) 130-140.
- [13] E. Ugurlu, H. Böke, The use of brick–lime plasters and their relevance to climatic conditions of historic bath buildings. *Construction and Building Materials* 23 (2009) 2442–2450.
- [14] Özkaya, Özlem Aslan; Böke, Hasan. Properties of Roman bricks and mortars used in Serapis temple in the city of Pergamon. *Materials Characterization* 60 (2009), 995-1000.
- [15] F. Antonelli, L. Lazzarini, Mediterranean trade of the most widespread Roman volcanic millstones from Italy and petrochemical markers of their raw materials. *Journal of Archaeological Science* 37 (2010) 2081-2092.
- [16] A. J. Finlay, J. M. McComish, C. J. Ottley, C. R. Bates, D. Selby, Trace element fingerprinting of ceramic building material from Carpow and York Roman fortresses manufactured by the VI Legion. *Journal of Archaeological Science* 39 (2012) 2385-2391.
- [17] M. L. Costa, T. A. B. C. Sanjad, R. Paiva, The mineralogy and chemistry of the German and Portuguese bricks used to face a historic building in the Amazon region and their natural susceptibility to tropical weathering. *Acta Amazonica (Impresso)*, V. 43 (2013) 323-330.
- [18] M. L. Coutinho, A. Z. Miller, M. F. Macedo, Biological colonization and biodeterioration of architectural ceramic materials: An overview. *Journal of Cultural Heritage* 16 (2015) 759–77.
- [19] Fabbri, B.; Guidotti, C. R. *Il restauro della ceramica*. Firenze: Nardini Editore, 1993. 213p.
- [20] T. A. B. C. Sanjad, R. S. Angélica, M. M. de Oliveira, W. A. de M. Costa, Caracterização mineralógica de azulejos de Salvador e Belém dos séculos XVI, XVII e XIX. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 57(4) (2004) 255-260.
- [21] A. Dionísio, M. A. S. Braga, J. C. Waerenborgh, Clay minerals and iron oxides-oxyhydroxides as fingerprints of firing effects in a limestone monument. *Applied Clay Science* 42 (2009) 629–638.

- [22] M. G. da Silva, Avaliação da incorporação combinada dos resíduos de cascalho de perfuração de poço petrolífero e de polimento do porcelanato em cerâmica vermelha. 157f. (Tese de Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Centro de Ciências Exatas e da Terra, Natal. UFRN, 2012.
- [23] R. A. L. Soares; R. J. S. Castro, R. M. Nascimento, Estudo da potencialidade da aplicação de uma argila contaminada com calcário na produção de placas cerâmicas. *Cerâmica* 58 (2012) 475-480.
- [24] S. F. S. Rodrigues, M. L. Costa, H. Pöllmann, D. C. Kern, M. I. da Silveira, R. Kipnis, Pre-historic production of ceramics in the Amazon: Provenience, raw materials, and firing temperatures. *Applied Clay Science* 107 (2015) 145–155.
- [25] M. M. Oliveira, As Fortificações Portuguesas de Salvador Quando Cabeça do Brasil. Omar G/ Fundação Gregório de Mattos. v. 1., Salvador, 2004.
- [26] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15270-3: Blocos cerâmicos de vedação: especificações. Rio de Janeiro-RJ, 2005.
- [27] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15310: Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro-RJ, 2005.
- [28] Amapá (Governo), Fortaleza de São José de Macapá: Restauração 1997/1999. Organização Roseane Norat. (Relatório). Macapá, 1999.
- [29] F. L. T. Marques, Investigação arqueológica na Feliz Lusitânia. In: Secretaria Executiva de Cultura do Estado do Pará. (Org.). Feliz Lusitânia/Forte do Presépio - Casa das Onze Janelas - Casario da Rua Padre Champagnat. 1 ed. Secretaria Executiva de Cultura do Estado do Pará, v. 4, Belém, 2006, pp. 147-187.
- [30] A. Vianna, As Fortificações da Amazônia. In Annaes da Bibliotheca Archivo Publico do Pará, Brazil. Typ. e Encadernação do Instituto Lauro Sodré, Tomo Quatro, Pará, 1905, pp. 227-293.
- [31] M. P. Magalhães, Arqueologia na Fortaleza de São José de Macapá. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Ciências Humanas*, Belém, v. 1, n. 3 (2006) 33-59.
- [32] M. Albuquerque, V. Lucena, Arqueologia amazônica: o potencial arqueológico dos assentamentos e fortificações de diferentes bandeiras. In: *Arqueologia Amazônica 2/Organizado por Edithe Pereira e Vera Guapindaia*. MPEG; IPHAN; SECULT, Belém, 2010, pp. 968-1019.
- [33] R. C. C. Norat, M. L. Costa, A linha de defesa do rio-mar: perdas e transformações da engenharia militar em Belém/PA (Brasil). In: *Congresso Ibero-Americano Patrimônio, suas matérias e imatérias*, Lisboa, 2016.
- [34] J. M. de S. Nunes, Real Forte Príncipe da Beira, Fund. Emílio Odebrecht, Spala Editora, Rio de Janeiro, 1985.
- [35] F. L. T. Marques, D. Leite Filho, Arqueologia em fortificações na fronteira oeste da amazônia colonial: possibilidades de pesquisa também enquanto espaços de contatos interétnicos. 1º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira, 2009.
- [36] M. L. Costa, Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Rev. Brasileira de Geociências*, 21 (12) (1991) 146-160.
- [37] M. L. Costa, H. Behling, K. Suguio, N. Kaempf, D. C. Kern, Paisagens Amazônicas sob a ocupação do homem pré-histórico: uma visão geológica. In: Wenceslau Teixeira, Beata Madari, Vinicius M. Bentes, Dirse C.Kern e Newton Falcão. (Org.). *As Terras Pretas de Índio - Caracterização e Manejo Para Formação de Novas Áreas*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, v. 1, 2009, pp. 15-38.

5.4. ARTIGO 4: O REAL FORTE PRÍNCIPE DA BEIRA E OUTRAS ESTRUTURAS DO RIO GUAPORÉ: HISTÓRIA, ARQUITETURA E MATERIAIS CONSTRUTIVOS

RESUMO

Na fronteira do Brasil com a Bolívia, território disputado pelas coroas portuguesa e espanhola no século XVIII ergueu-se o Real Forte Príncipe da Beira (RFPB), monumento construído quase inteiramente em blocos de crostas lateríticas extraídas de topo de perfil laterítico maduro e trabalhadas em cantaria. Além desta fortificação outras estruturas históricas aliam-se à paisagem natural imprimindo ao local, qualidades especiais com atributos histórico, cultural, geológico e antropológico. O objeto deste artigo é apresentar o RFPB e as demais estruturas ali encontradas: a Fortaleza de Nossa Senhora da Conceição ou Bragança (FCB), antecedente ao RFPB além do paiol externo, forno e o Labirinto, possível local de maior procedência de matéria prima para a construção do RFPB que se integram à natureza e geologia da região, que além das rochas lateríticas apresenta granitos e rochas vulcânicas.

Palavras-chave: crostas lateríticas; fortificação; Amazônia.

1. INTRODUÇÃO

A delimitação da Amazônia ocidental é marcada pelas fortificações militares instaladas em locais que delimitam fronteiras. Nesse contexto inserem-se o Real Forte Príncipe da Beira (RFPB) que sucedeu a Fortaleza de Nossa Senhora da Conceição ou Bragança (FCB) situadas em Costa Marques, Rondônia, às margens do rio Guaporé, na fronteira do Brasil com a Bolívia.

O RFPB configura-se como das mais impressionantes obras militares na região, com apurado trabalho de cantaria e entalhes desenvolvidos em blocos espessos de crostas lateríticas provenientes do entorno geológico do próprio terreno de implantação e áreas próximas, cujos vestígios de extração e acampamento mantem-se no chamado “Labirinto”.

Em busca deste forte empreendeu-se a viagem entre os dias 25 e 31 de dezembro de 2015. Mera coincidência de datas permite uma analogia poética com a saída de Francisco Caldeira Castelo Branco no natal de 1615 de São Luis para aportar em 12 de janeiro de 1616 na ponta firme de terra onde se estabeleceria a Feliz Lusitânia, atual Belém do Pará e de onde iniciou-se esta nova empreitada, que em pleno século XXI foi facilitada por via aérea até Porto Velho/RO, via Manaus/AM, e o trecho terrestre Porto Velho-Ji Paraná-Costa Marrques-Forte Príncipe da Beira (via BR-364 e BR-429). A maior parte da estrada é asfaltada, porém quinze

travessias de rios, igarapés e baixios com pontes em concreto inacabadas forçaram o uso de desvios e das pontes pretéritas e precárias em madeira. Outros trechos da estrada não foram asfaltados por se configurarem como sítios arqueológicos, possivelmente ainda exigindo pesquisas ou ações mitigadoras. Esses entreveros resultaram em uma viagem de cerca de 13h para completar os 739 km de distância entre a capital e o Forte.

Na vila está instalado o 1º Pelotão Especial de Fronteira que entre outras atividades cuida na medida do possível do Forte, com carpinas, limpeza e abertura do espaço aos visitantes. Em seu Hotel de Trânsito ficaram instalados os pesquisadores, suporte fundamental para a pesquisa.

O esforço da viagem e o cansaço são esquecidos ao se avistar na escuridão o contorno do forte, fracamente iluminado pelas luzes incertas dos poucos postes da rua. O silêncio da noite quebrado pelo assobio e voar dos insetos e o barulho das raras almas que cercaneavam o Forte somente aumentaram a surpresa pela visão do monumento imponente. Chegou-se ao Forte. Mas as descobertas da viagem só estavam começando. Muito mais se teria pelo seu entorno geológico, o rio Guaporé, as ruínas do FCB, a vila e seus cidadãos que convidam a uma imersão na história do país e na natureza marcante do seu entorno (Fig. 1).

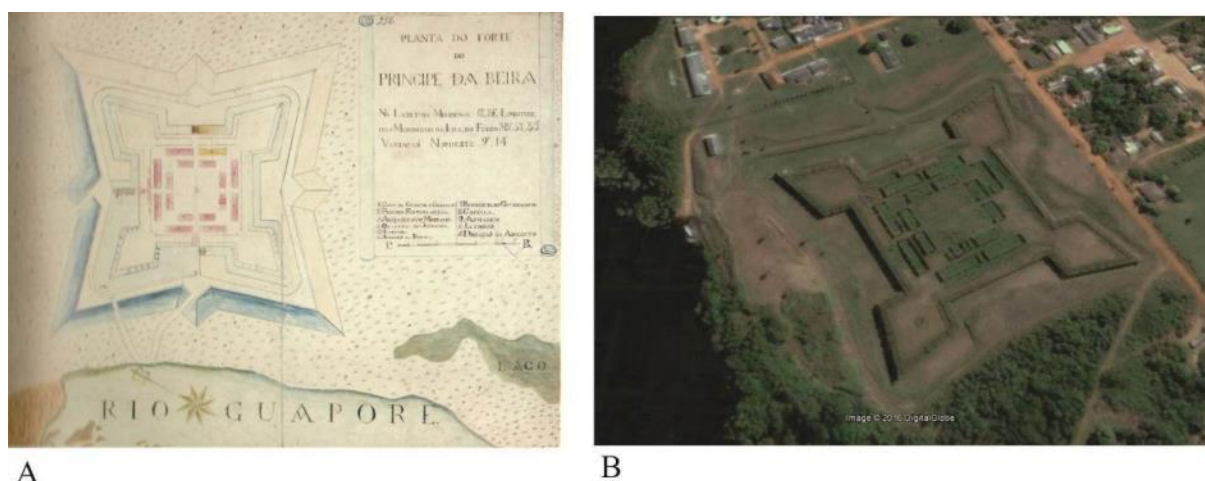


Fig.1. (A) Planta do Forte do Príncipe da Beira com a enumeração das obras já concluídas (1789?) (Nunes, 1985). (B) Imagem de satélite do RFPB (Fonte: Google Earth, 28/05/2004).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de investigar as estruturas arquitetônicas, foram realizadas coletas de materiais construtivos (rochas, tijoleiras cerâmicas, argamassas) tanto do RFPB quanto das demais estruturas remanescentes, além de materiais do contexto geológico que poderiam auxiliar a interpretação quanto à procedência de matérias primas para as construções.

Também foram realizados levantamento fotográficos com câmera digital e de infravermelho (IRT) e de temperatura superficial das muralhas.

As coletas no sítio do RFPB estenderam-se ao monumento em si e às estruturas do paiol (P), forno (F) e portinho (p), Labirinto(L), leito rochoso do rio Guaporé, sedimentos na estrada do porto (E) e ainda nas ruínas do FCB (Tabela 1). A coleta observou critérios de representatividade dos materiais no conjunto da obra, acessibilidade em relação aos sítios ou bens históricos, neste caso também considerando menor impacto visual ou à sua integridade, já que são estruturas históricas, sendo o RFPB tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional/IPHAN.

Tabela 8 - Identificação dos tipos de amostras e procedências coletadas no sítio do RFPB.

Nº	Amostra	Procedência	Amostragem	Data	Coordenadas
1	PB.A.01/15	Forte Príncipe da Beira	Argamassa de ligação (h: 1,20m)	29/12/2015	20L03452876 8625746
2	PB.A.02/15	Forte Príncipe da Beira	Argamassa de emboço e reboco (h: 1,60m)	29/12/2015	20L0345287 8625746
3	PB.T.01/15	Forte Príncipe da Beira	Tijoleira de acabamento acima do embasamento (h:0,58m)	29/12/2015	20L0345288 8625741
4	PB.T.02/15	Forte Príncipe da Beira	Tijoleira de arremate de base possivelmente recebia argamassa de reboco	29/12/2015	20L0345302 8625758
5	PB.R.01/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha de alvenaria de prédio interno (crosta) (h:0,60m)	29/12/2015	20L0345290 8625740
6	PB.R.02/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha (crosta com fungo) (h:0,62m)	29/12/2015	20L0345292 8625736
7	PB.R.03/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha de alvenaria de prédio interno (interior do bloco) (h:0,75m)	29/12/2015	20L0345292 8625737
8	PB.R.04/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha - crosta cavernosa (Perfil laterítico - sítio físico - fosso) (h:1,23m)	29/12/2015	20L0345333 8625833
9	PB.R.05/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha - crosta cavernosa (Perfil laterítico - sítio físico - fosso) (h:0,90m)	29/12/2015	20L0345229 8625781
10	PB.R.06/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha - crosta não orientada do topo da superfície	29/12/2015	20L0345230 8625773
11	PB.R.07/15	Forte Príncipe da Beira	Rocha - bloco de crosta laterítica de alvenaria de pedra	29/12/2015	20L0345308 8625759
12	PB.L.01/15	Labirinto	Rocha (crosta laterítica)	28/12/2015	12°25'94.6"S 64°23'46.9"W
13	PB.L.02/15	Labirinto	Crosta laterítica de barranco posição natural	28/12/2015	12°25'95.3"S 64°23'48.7"W
14	PB.L.03/15	Labirinto: caminho de acesso	Solo amarelo (formigueiro)	28/12/2015	12°25'36"S 64°23'21"W
15	PB.P.01/15	Paiol	Rocha de parede lateral	28/12/2015	12°25'25"S 64°24'56"W
16	PB.P.02/15	Paiol	Tijoleira	28/12/2015	12°25'25"S 64°24'56"W
17	PB.P.03/15	Paiol	Solo (vermelho)	28/12/2015	12°25'25"S 64°24'56"W
18	PB.F.01/15	Forno	Argamassa de ligação	28/12/2015	12°25'44.2"S 64°25'21.3"W
19	PB.F.02/15	Forno	Rocha da parede interna do forno	28/12/2015	12°25'44.2"S 64°25'21.3"W
20	PB.p.01/15	Portinho	Rocha (gabro?) tipo machadinha na área do porto (solta)	28/12/2015	12°25'44"S 64°25'21"W
21	PB.G.01/15	Rio Guaporé	Rocha (granito)	28/12/2015	20L0343622 8627209
22	PB.G.02/15	Rio Guaporé	Rocha vulcânica	28/12/2015	20L0343622 8627210

23	PB.G.03/15	Rio Guaporé	Rocha: fragmento de coloração avermelhada (jaspelito?)	28/12/2015	20L0343622 8627211
24	PB.E.01/15	Estrada do porto	Argila do horizonte mosqueado	29/12/2015	12°25'41.21"S 64°25'28.84"O
25	PB.E.02/15	Estrada do porto	Silte - sedimento de planície de inundação - branco coeso e cimentado	29/12/2015	12°25'41.21"S 64°25'28.84"O
26	PB.E.03/15	Porto margem do Rio Guaporé	Rocha vulcânica (dacito pórfiro com fenocristais)	29/12/2015	12°25'41.21"S 64°25'28.84"O
27	PB.B.01/15	Fortaleza de Bragança	Rocha (granito)	28/12/2015	20L0343715 8627253
28	PB.B.02/15	Fortaleza de Bragança	Rocha (crosta)	28/12/2015	20L0343715 8627253
29	PB.B.03/15	Fortaleza de Bragança	Bloco de rocha (vulcânica)	28/12/2015	20L0343715 8627253
30	PB.B.04/15	Fortaleza de Bragança	Tijoleira	28/12/2015	20L0343715 8627253

Neste trabalho, os dados apresentados refletem a análise de campo realizada a partir do reconhecimento geral do RFPB tanto internamente quanto em suas estruturas externas e entorno geológico, aliadas à informações históricas.

3. RESULTADOS

3.1. Labirinto

A memória oral aponta o lugar denominado de “Labirinto” como possível fonte de matéria prima para a fortificação. O local corresponde a um complexo de várias estruturas enfileiradas com blocos de rochas aparelhadas indicativas de área de extração de material construtivo (Marques 2008) acessado pela estrada de terra que liga a sede do município de Costa Marques à vila do Forte Príncipe, cerca de 4,6 km após a “68” grande curva da estrada nas coordenadas 12°25'36"S 64°23'21"W.

Apesar do possível uso das rochas revolvidas pelo recorte do perfil laterítico para escavação e configuração do fosso seco, estas não seriam suficientes para a envergadura do monumento. Eis que a busca de fontes de matéria prima em terrenos próximos era uma necessidade. Além das rochas, amostra de solo de coloração amarela foi coletada para averiguação de eventual uso na composição das argamassas.

A proposição do guia da expedição e detentor das muitas histórias que cercam o local, parece ser fundamentada nas inúmeras evidências encontradas: proximidade de extração de matéria prima em relação à implantação do monumento; ocorrência de pilhas de blocos empilhados dispostas em várias frentes organizadas, constituindo caminhos, hoje encobertos pela mata (Fig. 2A); existência de locais nitidamente de extração nos barrancos dos perfis, com sinais de recortes e marcas da extração (Fig. 2C); ruína de estrutura de edificação constituída por blocos de pedra com vão de acesso central, com dimensões aproximadas internas de 4,80x5,80m, sendo a espessura das paredes de cerca de 0,50m (Fig. 2 B).



Fig. 2. (A) Pilhas de blocos lateríticos extraídos e empilhados em vários circuitos na mata no local chamado de Labirinto. (B) Ruínas de possível estrutura de acampamento na mata. (C) Recorte no barranco do perfil laterítico com sinais de extração da matéria prima.

3.2. Paiol

Corresponde a uma estrutura com características típicas de paiol, inclusive com abertura para ventilação indireta em “Y” nas paredes laterais similar aos do paiol da praça de Macapá/AP. Essa estrutura fica em local externo à fortificação, com acesso pela pista do aeroporto da vila nas coordenadas 12°25'25"S 64°24'56"W. A estrutura em ruínas no meio da floresta seria bastante similar ao da iconografia histórica que corresponderia ao espaço “vazio” da praça central do RFPB (Marques 2008). O paiol, ou armazém de pólvora, embora inicialmente projetado para a área interna, teria sido construído no exterior hoje encoberto pela floresta (Fig. 3).

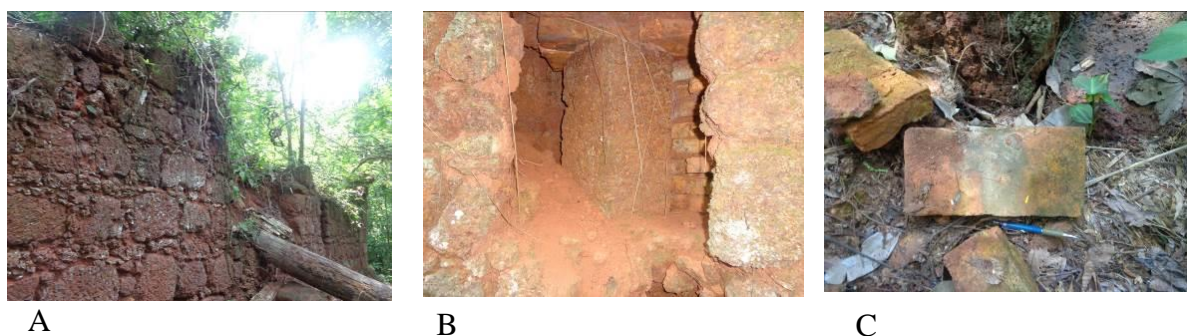


Fig. 3. (A) Ruínas das paredes laterais do paiol no meio da floresta. (B) Detalhe construtivo da abertura em “Y” para ventilação e segurança do paiol sendo utilizado bloco de crosta para criar esse efeito no meio da parede em alvenaria mista de rochas e tijoleiras cerâmicas argamassadas. (C) Tijoleiras maciças cerâmicas dispersas no entorno das ruínas possivelmente usadas nas paredes e pisos da estrutura.

3.3. Forno e Porto

A estrutura do antigo forno de produção possivelmente para as tijoleiras cerâmicas localiza-se nas proximidades do RFPB, com acesso por estrada em declive quase paralela à muralha sul. Trata-se de estrutura de seção circular com acesso por vão central em arco pleno formado por blocos de rochas de crostas lateríticas sugestivas do próprio terreno. Os sinais de

uso pela produção e altas temperaturas a que chegava o forno em funcionamento para a queima do material cerâmico estão demarcados pelas manchas enegrecidas tanto nas rochas quanto nas argamassas. A estrutura das paredes de seção circular afunila-se na direção do topo onde a abertura corresponde à chaminé de saída da fumaça proveniente da queima cerâmica. Deste nível avistam-se as muralhas do RFPB nas proximidades (Fig. 4).



Fig. 4. (A) Ruínas do forno para queima e produção de tijoleiras cerâmicas com estrutura de seção circular e paredes em blocos de crostas lateríticas. (B) Vista interna do forno cujas paredes afunilam-se em direção ao topo. (C) Manchas enegrecidas nas rochas e argamassas das paredes internas do forno pelas altas temperaturas atingidas durante a queima do material cerâmico.

Seguindo e descendo a via em direção ao rio Guaporé chegou-se a um ponto nas margens onde se observou grande ocorrência de “cauxi” espongiário de água doce utilizado para dar consistência à cerâmica. Este ponto também seria de um pequeno porto perto do monumento (Fig. 5).



Fig. 5. (A) Vista do portinho às margens do Rio Guaporé descendo a estrada que ladeia o antigo forno de cerâmica. (B) Vegetação de igapó com espongiário de água doce denominado cauxi. (C) Detalhe do cauxi em tronco de vegetação de igapó que se estende nas margens do rio.

O porto em frente ao RFPB é identificado na iconografia histórica, demonstrando a permanência de uso e sua importância no contexto sociocultural e construtivo do monumento. A estrada que apresenta declividade gradual até as margens do Rio Guaporé partindo do baluarte de N. Sra. da Conceição foi escavada até o nível horizonte mosqueado, abaixo da crosta laterítica (Fig. 6A e 6C). Sedimento de planície de inundação de coloração esbranquiçada, coeso e cimentado foi observado na descida próxima ao rio (Fig. 6B).

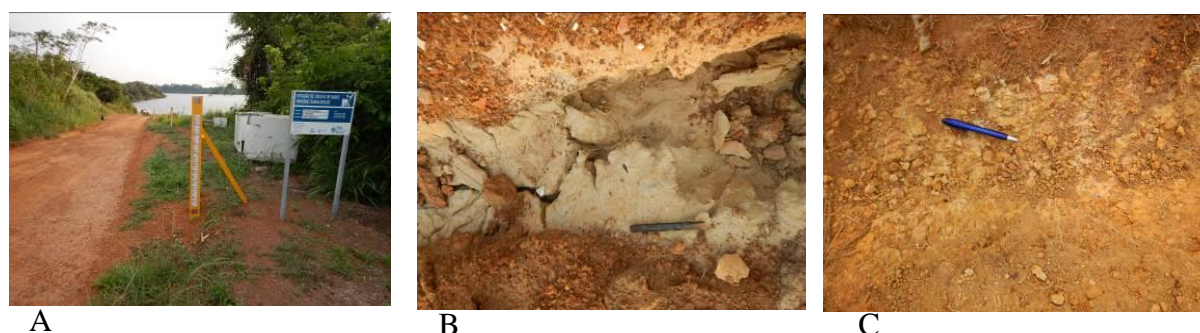


Fig. 6. (A) Estrada do porto em frente ao RFPB cujo nível chega ao horizonte mosqueado do perfil laterítico. (B) Sedimento de planície de inundação de coloração esbranquiçada, coeso e cimentado. (C) Nível do horizonte mosqueado do perfil laterítico na estrada do porto (Fotos: MLC, 2015).

A margem direita do rio é ocupada por rocha vulcânica previamente identificada como dacito pórfiro com fenocristais bem desenvolvidos, de cor cinza escura. Alguns pontos apresentam bordas de alteração intempérica. Em áreas próximas das margens são vislumbrados diversos pontos indicativos de atividades antrópicas pré-históricas pelo uso destas rochas como polidores (Fig. 7).

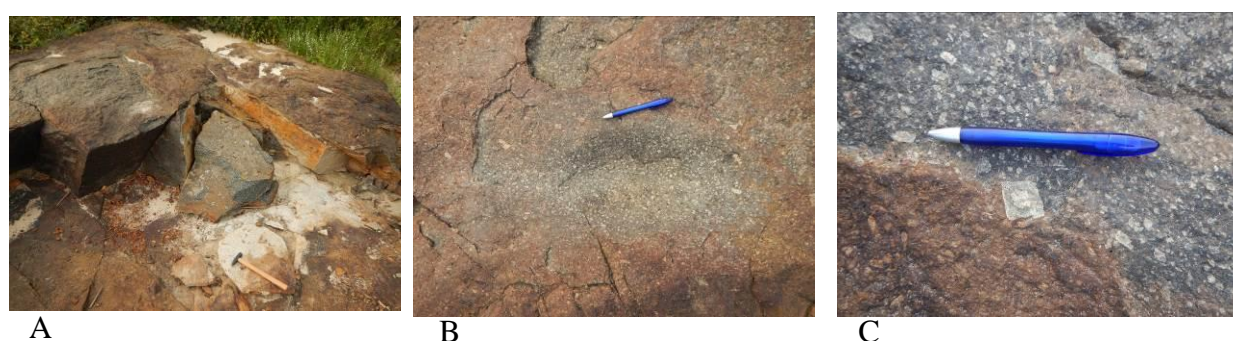


Fig. 7. (A) Rochas vulcânicas nas margens do Rio Guaporé: dacito pórfiro intemperizado. (B) Marcas de uso como polidor da rocha vulcânica nas margens do rio. (C) Dacito pórfiro com fenocristais (Fotos: MLC, 2015).

3.2. Fortaleza de Nossa Senhora da Conceição ou Bragança e o leito do Rio Guaporé

3.2.1. Antecedentes históricos

A FCB situa-se às margens do Rio Guaporé “... em distancia de mil braças pouco mais ou menos” do RFPB (Nunes 1985), cerca de três quilômetros à jusante no Guaporé (Marques & Leite Filho 2010). As ruínas e vestígios das bases dessa fortificação e outras estruturas do século XX são ainda perceptíveis, porém encontram-se abandonadas. A partir da vila segue-se em estrada de terra até as proximidades da área onde se localizava o antigo aeroporto desativado, nas coordenadas 20L0343715 8627253.

Construída para proteger as terras das missões espanholas do Reino do Peru, sendo Governador e Capitão Geral da Capitania de Mato Grosso João Pedro da Câmara, suas obras iniciaram em 26 de setembro de 1767 e continuaram até 1769 e viria a substituir o velho fortim de Nossa Senhora da Conceição, construído em 1760. Planta de 1767 feita por Tomás e Souza indicava a forma de pentágono pelo sistema Vauban. Apesar de o sargento-mor José Matias de Oliveira Roxo, engenheiro e comandante ter informado sobre a má escolha do local, a falta de “pedra e cal” e a “ruindade” do barro, foram gastos considerável soma de 1767 a 1771 em suas obras (Nunes 1985).

Em 1769 Luis Pinto de Sousa Coutinho, sucessor de João Pedro da Câmara, trocou o nome da fortificação para Bragança, em homenagem à família real portuguesa. A forma geral era de um paralelogramo tendo a oeste extensa muralha para o rio Guaporé e na face oposta dois baluartes em cada extremidade nordeste e noroeste, separados por cortina onde ficava o portão de entrada, cercada por fosso hídrico. As plantas do forte de 1770 apresentam várias construções internas. Uma forte enchente causaria estragos irreparáveis em suas instalações em 1771 (Nunes 1985).

Em outro desenho já com a denominação Bragança, observam-se as modificações executadas na muralha fronteira ao rio que lhe imprimiram formato mais regular, próximo do que se percebe nos vestígios encontrados no local (Fig. 8B). Em seu interior havia vários prédios como quartéis, casa do governador, casa do engenheiro, casa do capitão, casa do tesoureiro, capela, hospital, armazém de víveres e casas dos oficiais. Em volta do forte constata-se outras construções de apoio, como fornos, ferrarias, guaritas de sentinelas, casas de soldados casados, quartel de negros, poço, hortas e outros (Marques & Leite Filho 2010).

Em 1774 o Governador da Capitania Luiz d’Albuquerque de Mello Pereira e Cáceres apresentou um “Plano do Exame” após passar vários meses no local, atento aos defeitos de situação e de construção e os estragos do tempo e das águas nas enchentes do rio, onde fez por ordem real nas “*grdes. ruinas da incompleta, e mal situada Forta. Da Concam. construída na*

margem direita. Do Ro. Guaporé sobre o Meridiano de 314°42' e no paralelo, ou latitude Austral de 11°42'". Neste plano são indicados em relação à parte, as dependências internas apontando as instalações arruinadas e as “grandes cavernas” e aberturas na terra e nos flancos da fortaleza causadas pelas águas ao longo da margem do rio (Nunes 1985) (Fig. 8A). O FCB continuou sendo utilizado até 1783, quando finalmente seu efetivo foi transferido para o Forte Príncipe da Beira (Marques & Leite Filho 2010).

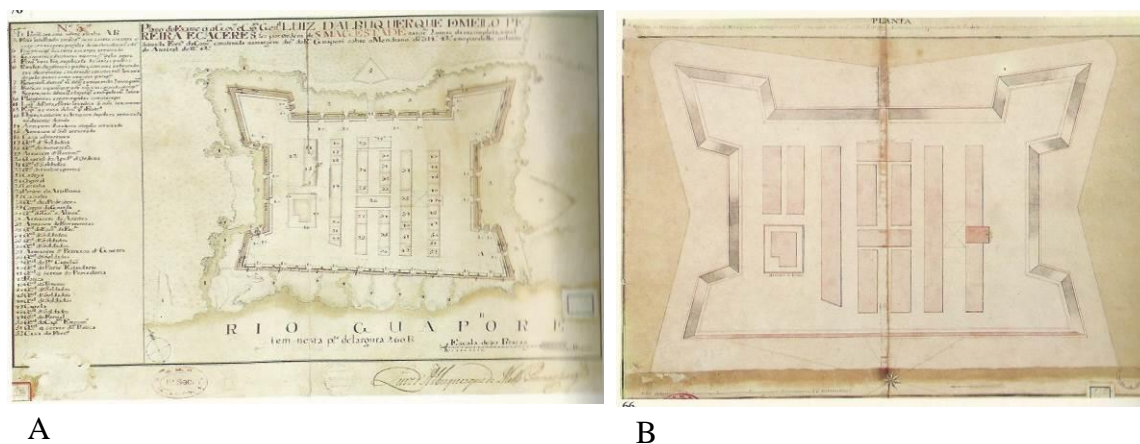


Fig. 8. (A) Planta da fortaleza de N. Sr^a da Conceição segundo resultado de inspeção do governador Luís de Albuquerque em 1774 contendo a descrição das dependências internas e o estado em que se encontravam (B) Planta da Fortaleza de Bragança onde se observam as modificações executadas na muralha fronteiria ao rio Guaporé (Fonte: Nunes 1985).

3.2.2. As ruínas da FCB e as rochas do Rio Guaporé

Ao chegar às proximidades das ruínas primeiramente observou-se que a vegetação era mais rarefeita, sugestiva de serrado, portanto de clima seco, possível resquício de ambientes de transição savana-floresta (Costa *et al.* 2009). Manchas de umidade de cerca de h:1,00m marcavam os troncos das árvores indicativas de planície de inundação (Fig. 9). No entorno das ruínas, a vegetação sem vida evidenciava os sedimentos aluvionais de enchentes. Essas características confirmam as informações históricas sobre a necessidade de troca de local para se estabelecerem as forças portuguesas na fronteira oeste já que era uma região de interesse e do antigo domínio espanhol.

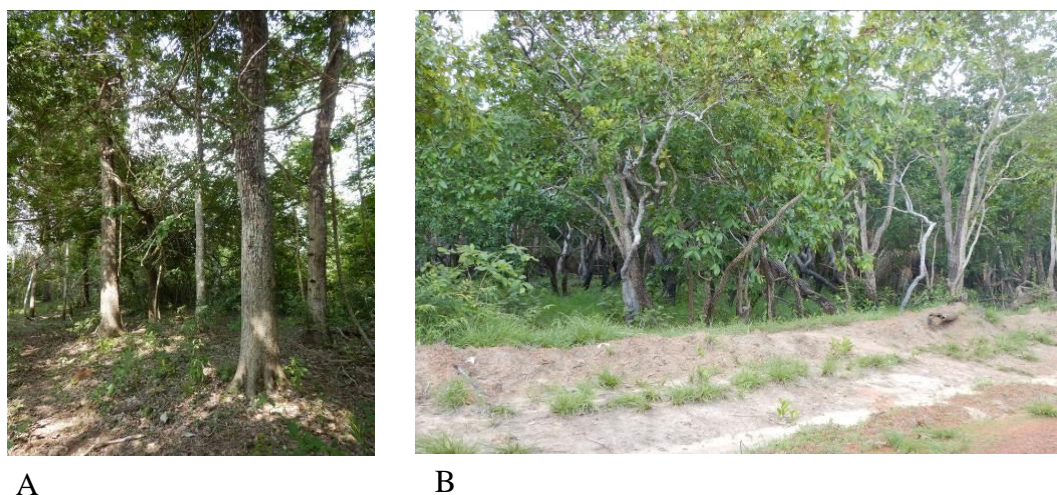


Fig. 9. (A) Vegetação com marcas de inundação perceptíveis nos troncos das árvores em área próxima do antigo Forte Conceição ou Bragança. (B) Vegetação de clima semiárido ou mais seco que o atual (Fotos: MLC, 2015).

Adentrando o terreno percebem-se os vestígios das bases da construção e do contorno discreto do que seriam os antigos baluartes. Alguns outros vestígios esparsos indicam construções internas, tanto do período colonial, quanto de outras que seriam do século XX, segundo relatos do guia local, confirmadas pelos vestígios de outros materiais extemporâneos e de objetos de cultura material recente como ferro de passar roupa, ladrilhos e outros (Fig. 10). Todo o sítio é de grande interesse e potencial para pesquisas arqueológicas.



Fig. 10. (A) Fragmento de cultura material recente (século XX): ferro de passar roupa no sítio do FCB. (B, C) Vestígios de base de possível baluarte do FCB em blocos de rochas. Fotos: MLC 2015(A); RN 2015 (B,C).

O contorno mais preservado da FCB é a muralha reta construída às margens do rio Guaporé. Essa construção apresenta o uso diversificado de rochas provenientes do entorno, caracterizado tanto pelo uso de crostas lateríticas quanto por granitos e rochas vulcânicas. Estas últimas são mais duras e de difícil trabalhabilidade e possivelmente foram extraídas das áreas próximas ao próprio leito do rio (Fig.11).

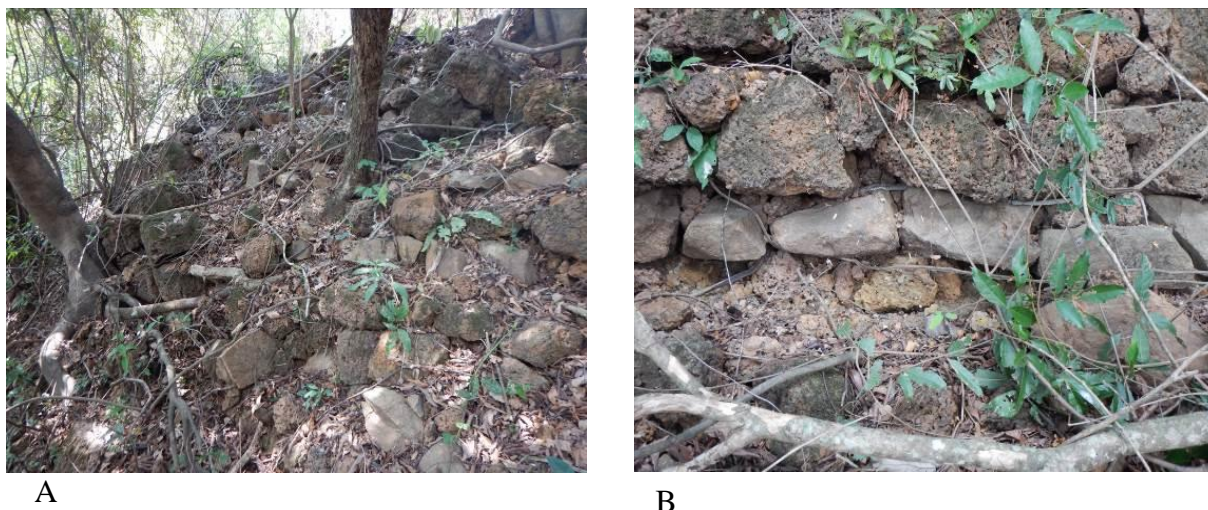


Fig. 11. (A) Remanescente da muralha do FCB voltada para o Rio Guaporé. (B) Detalhe das linhas sobrepostas de diferentes rochas aplicadas na cortina da muralha do FCB: crostas lateríticas, granitos e rochas vulcânicas encontradas no leito rio Guaporé. Fotos: MLC 2015(A,B).

No leito do rio Guaporé em frente ao monumento, ocorre extensivo lajedos de granitos e rochas vulcânicas máficas (Fig. 12). São claramente identificáveis a zona de contato das áreas de domínio granítico e as de rocha vulcânica. Diversas alterações como esfoliação esferoidal e fraturas são perceptíveis nas rochas. Há blocos empilhados em vários pontos (Fig. 13).

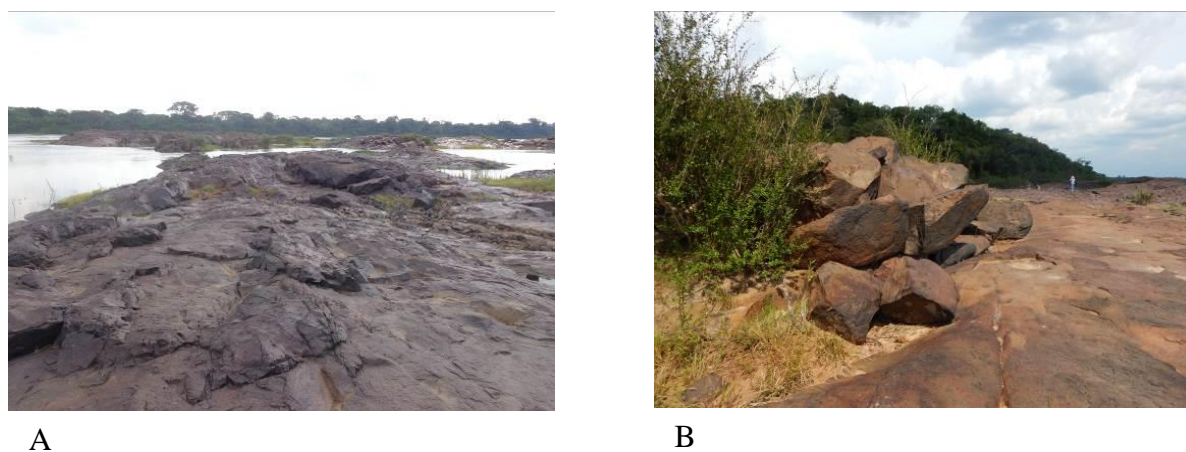


Fig. 12. (A) Trecho do Rio Guaporé em frente ao FB, onde são observadas rochas vulcânicas máficas e graníticas. (B) Blocos de granitos às margens do Rio Guaporé em frente ao sítio do FB. Fotos: RN 2015 (A), MLC 2015(B).



A



B

Fig.13. (A) Bloco de granito no afloramento de rochas do leito do Rio Guaporé em frente ao FB. (B) Blocos de granitos no leito Rio Guaporé em frente ao sítio do FB. Fotos: MLC 2015(A, B).

Também são perceptíveis marcas de polimentos que indicam o uso dessas rochas como amoladores em granitos que referenciam a ocupação humana pretérita. Outros vestígios de cultura material foram encontrados tais como fragmento de cerâmica com incisões geométricas e de louça esmaltada branca (Fig.14).



A



B

Fig.14. (A) Amolador em granito no leito do rio Guaporé em frente ao FCB. (B) Fragmentos de cultura material em louça branca com decoração e em cerâmica com desenhos em incisão encontrados nos arredores do sítio FCB no afloramento de rochas do rio Guaporé em frente às ruínas da fortificação. Fotos: MLC 2015(A, B).

Nos vestígios das muralhas os blocos de rochas são cortados sem maior precisão, apenas para preenchimento destas, à exceção da canaleta de escoamento de águas executado em crosta laterítica cujo detalhe ainda persiste nesta face da muralha (Fig. 15). Vestígios de tijoleiras cerâmicas, possivelmente usadas em pisos aparecem dispersos no sítio.

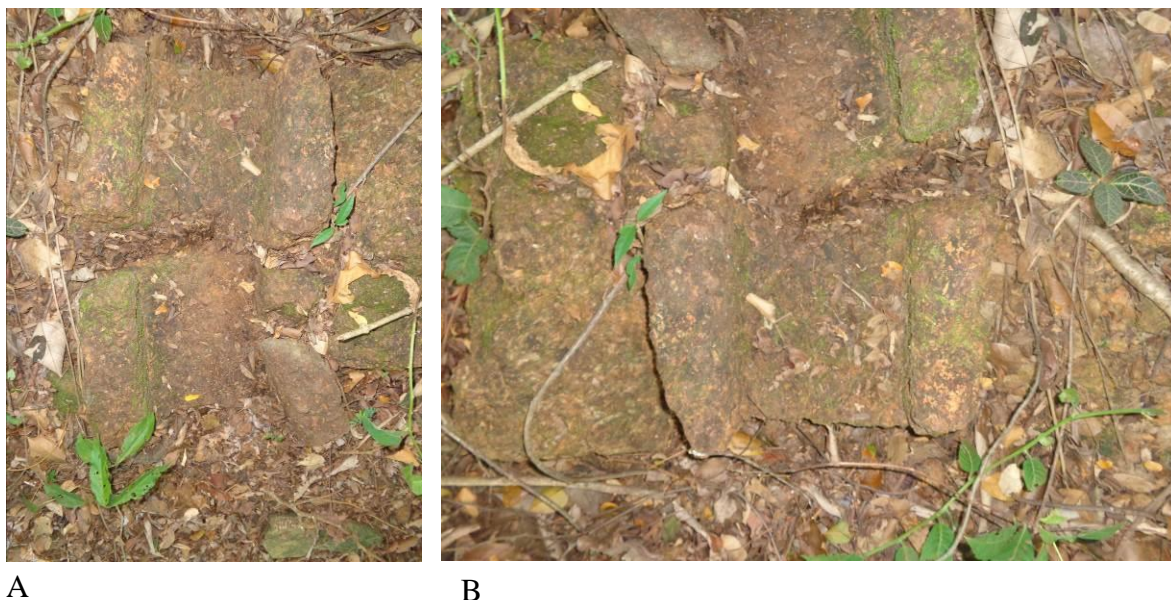


Fig.15. (A, B) Possível canaleta de águas pluviais na muralha do FCB voltada para o rio Guaporé entalhada em blocos de crostas laterítica.

3.3. O Real Forte Príncipe da Beira (RFPB)

3.3.1. Antecedentes históricos e tipologia arquitetônica

O RFPB é uma das maiores fortificações portuguesas do século XVIII na Amazônia, construído entre 1776 e 1783 (Ferreira 1970, Nunes 1985, Ferreira, 2004). Os antecedentes apontam para a viagem de Luís de Albuquerque de Mello Pereira e Cáceres, ao longo do rio Guaporé ao término de 1773 e no ano de 1774, de fevereiro a março, no curso do rio Madeira para estudar nova localização para uma fortaleza, visto a preocupação com a segurança da fronteira às investidas dos espanhóis pelo Peru, sem proteção maior que a FCB, derruída pela enchente de 1771.

Durante a exploração do Madeira o governador encontrou-se com técnicos que solicitara ao governo do Pará: o Ajudante de Infantaria e engenheiro Domingos Sambucetti (que trabalhou nas praças de Gurupá e Macapá) e um auxiliar, permanecendo até julho em estudos de campo na área do antigo forte (Nunes 1985).

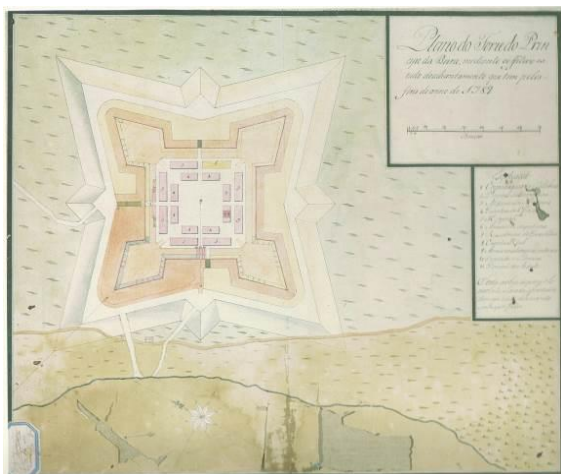
Para assegurar a presença portuguesa no disputado Guaporé e dedicar maior atenção à faixa meridional, complementando a linha de cobertura ocidental lusitana, Luís de Albuquerque encarregou Sambocetti de projetar uma fortificação escolhendo-se na região do velho forte o sítio mais apropriado, na área da antiga Guarda de Santa Rosa Velha (Nunes 1985, Marques & Leite Filho 2010).

Mesmo contrariando as orientações do Marquês de Pombal, que alertava aos dispêndios que ultrapassavam os recursos da capitania, o governador insistiu e em 20 de junho de 1776 lançou a pedra fundamental do RFPB registrando em ata: “... *em distancia de mil braças pouco mais ou menos da antiga Fortaleza Conceição ... assim porque está livre das maiores escressencias do dito Rio, como porque há naturalmente o mais sólido e o mais acomodado em todos os sentidos que podia desejar-se...*” (Nunes 1985).

Com as dificuldades de mão-de-obra e ferramentas inadequadas do início, após a aprovação da Corte, intensificou as obras e solicitou a vinda de engenheiros, técnicos diversos, oficiais, artífices e trabalhadores inicialmente do Pará e depois do Rio de Janeiro, chegando a ter mais de 200 pessoas trabalhando (Nunes 1985).

Em registros de correspondência do arquiteto genovês responsável pela construção, Domingos Sambocetti, de 1777, há relatos quanto a utilização de “pedreira nas cercanias” e de remessas de cal de Belém transportadas pelo Rio Madeira, além de registros quanto a descoberta de “formações calcárias no sul da capitania que acarretou melhores condições de transportes e prazos mais compatíveis”. Estes então teriam sido transportadas em comboios do “Paraguai e o Jauru, alcançando o Guaporé por caminho terrestre”.

A obra foi concluída em 1783 pelo Engenheiro Ricardo Franco de Almeida Serra, posto que o genovês Sambocetti faleceu de malária em 1780. Restariam obras internas a concluir, mas Luís de Albuquerque inauguraria mesmo assim. Sua tipologia arquitetônica é similar à Fortaleza de São José de Macapá (FSJM), abaluartada e formada por quadrado com quatro baluartes pentagonais nos vértices com guaritas e muretas intercaladas por 14 canhoneiras, sendo 3 por flanco e 4 por face (Fig. 16).



A

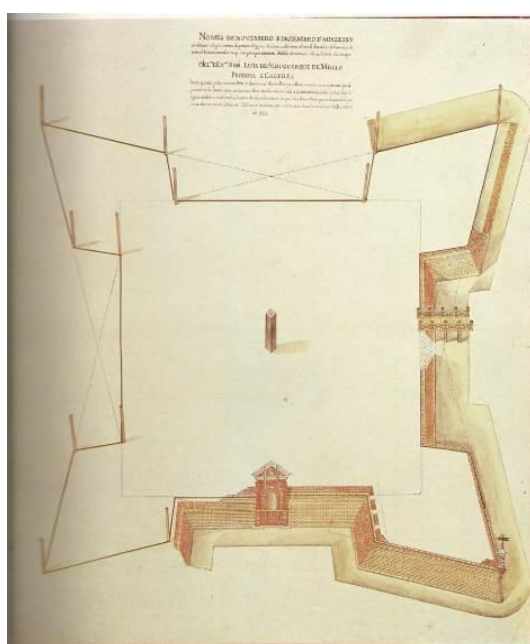


B

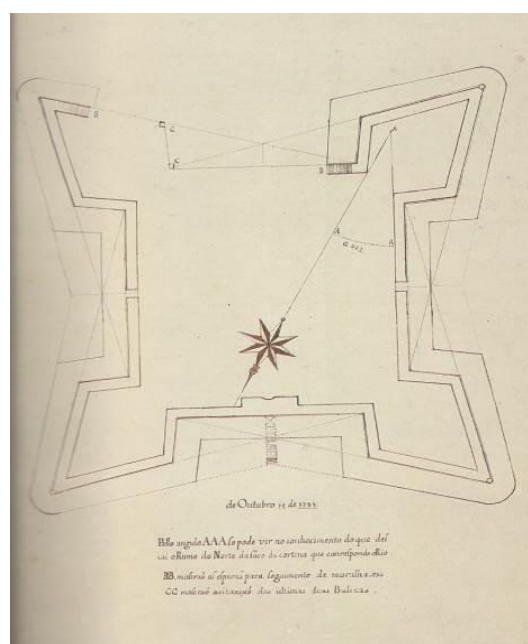
Fig.16. (A) Plano do Forte do Príncipe da Beira, 1789 (Nunes 1985). (B) Vista da muralha norte e portada de acesso do RFPB em 2015.

Os baluartes são denominados de Nossa Senhora da Conceição (noroeste) e Santa Bárbara (sudeste) adjacentes ao rio, e ainda o de Santo Antônio de Pádua (nordeste) e Santo André Avelino (sudeste) conforme descrição de Antônio Ferreira Coelho, Escrivão da Fazenda Real, em 1776 (Nunes 1985).

A portada ao centro da cortina da muralha ao norte (Fig. 16B) apresenta frontão triangular segmentado para as engrenagens da ponte levadiça que ligava a praça d'armas ao revelim em frente. Na praça central ficavam dispostos os quartéis da guarnição, dependências do governador, capela, paiol subterrâneo, armazéns, prisões e cisterna. Haveria um acesso subterrâneo à mataria da serra como alternativa de fuga (Fig. 17).



A



B

Fig. 17. (A) Planta com o estado das obras no RFPB nos meses de novembro e dezembro de 1775 onde se observam o fosso central da praça e as muralhas parcial norte com a portada, o baluarte de N. Sra. da Conceição, a muralha oeste e ponte sobre o fosso e a elevação parcial do baluarte Santa Bárbara. (B) Planta de obras em construção do RFPB datada de outubro de 1784 com o aparente avanço das muralhas (Nunes 1985).

Após sua ocupação inicial e uso, o RFPB foi abandonado e praticamente desapareceu em ruínas no meio da floresta. Somente entre 1913/1914 seria redescoberto pelo marechal Cândido Rondon que constatou seu estado de arruinamento conforme registros fotográficos atestam. A partir de 1930, em retorno com a Inspeção de Fronteiras, trabalhos de limpeza e levantamentos foram efetivados, sendo o espaço ocupado pelo Exército brasileiro que tem hoje nas cercanias estabelecido o 1º Pelotão de Fronteiras, que lhe dá suporte, à visitação e relativa manutenção (Fig. 18).

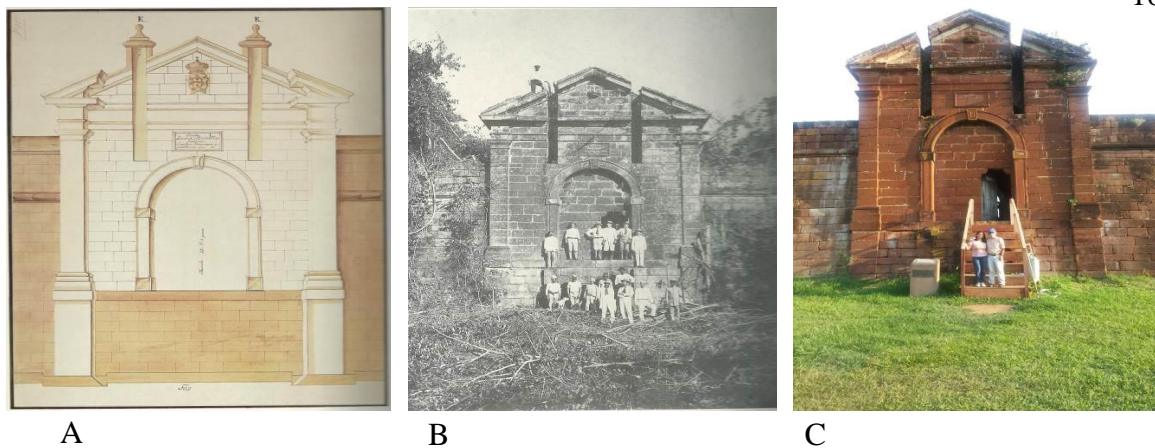


Fig.18. (A) Desenho de um projeto para a entrada principal do RFPB (Nunes, 1985). (B) Portão da entrada do RFPB então inteiramente recoberto pela mata na ocasião de sua “redescoberta” em 1913 (Nunes, 1985). (C) Chegada dos pesquisadores ao RFPB em 27 de dezembro de 2015.

3.3.2. Os materiais construtivos do RFPB

O RFPB foi assentado sobre perfil laterítico de crosta ferro aluminosa descrito por Rondon como Serra do Ouro Fino: “um espigão do contraforte dos Parecis, que se desenvolve paralelo ao Guaporé” (Nunes 1985). As muralhas foram erguidas com blocos de rochas provenientes de crostas lateríticas de coloração que variam do amarelo ao laranja e do lilás ao marrom-avermelhado, refletindo a posição mais para o topo ou mais próxima ao mosqueado (Fig. 19).

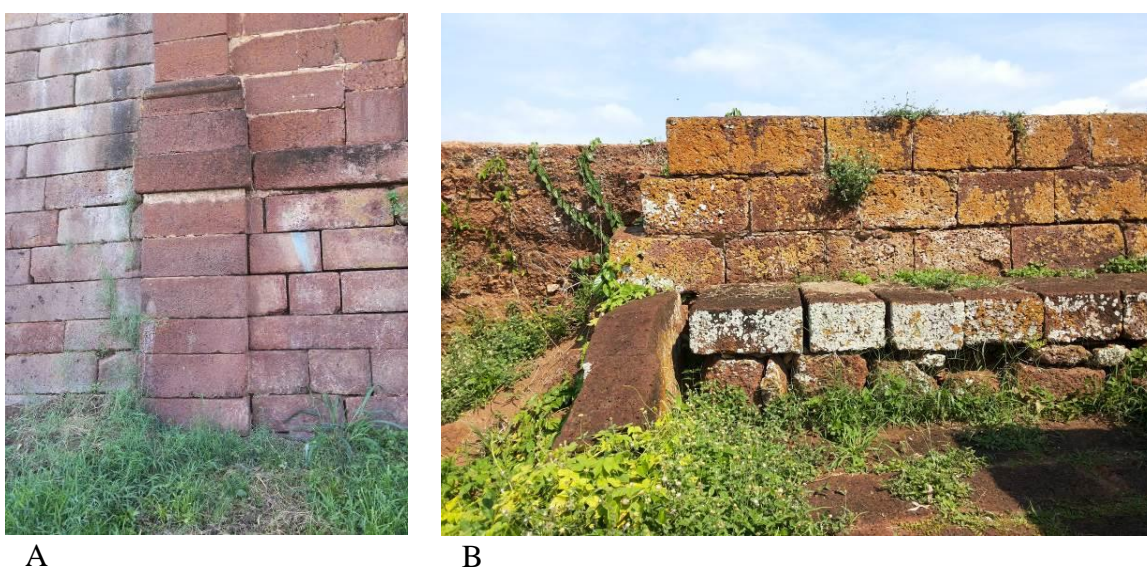


Fig.19. (A) Base e pilastra da portada na muralha norte do RFPB onde blocos de diferentes dimensões e formatos de crostas lateríticas ferroaluminosas foram aplicados na construção. (B) Blocos regulares de crostas lateríticas na mureta interna do terrapleno. Fotos: RN, 2015 (A); MLC 2015(B).

Diferentemente do monumento militar de Macapá/AP, nota-se neste uma maior precisão e sobretudo maior domínio quanto ao uso das rochas locais de forma que cortes precisos em cantaria permitiram que as rochas aparelhadas fossem dispostas uma a uma na

construção, talhadas ora de forma mais angulosa, ora curvilínea ou aliando formas retas e curvas de acordo com seu posicionamento e função (Fig. 20).

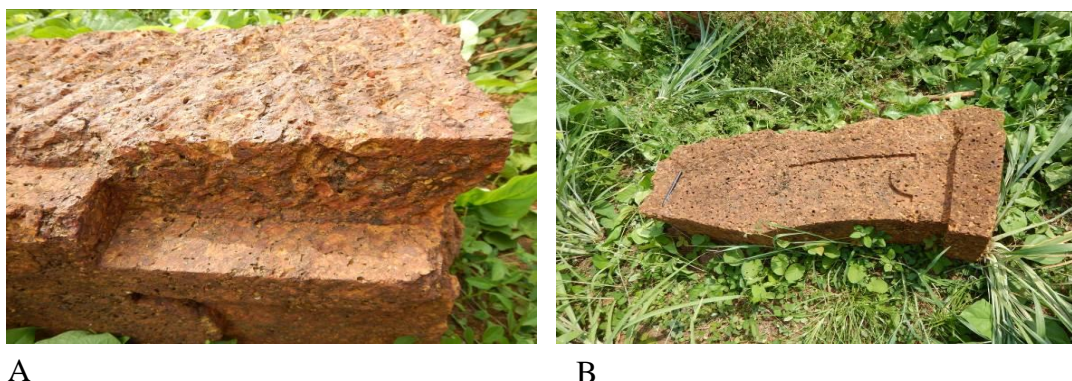


Fig. 20. (A) Bloco de crosta laterítica entalhado, com vestígios do trabalho de serralheria para recorte de encaixe possivelmente de moldura de vão, disperso no terrapleno. (B) Outro bloco de crosta laterítica, quase “pele de onça” de corte especial levemente arqueado com desenho em baixo relevo possivelmente para guarnição de vão, disperso no terrapleno. Fotos: MLC, 2015.

Na composição das muralhas são em geral 17 fiadas de rochas com altura média de 32cm, variando as dimensões de largura dos blocos na composição das saias das cortinas, delimitadas na parte superior pela linha do cordão, também todo executado em crostas de corte misto de extremidades retas e bojo central arredondado. A mureta apresenta mais 4 fiadas de blocos regulares contrafiados (Fig. 21).



Fig.21. Muralha da face norte do Baluarte de Santo Antônio de Pádua onde se observam as linhas claras de blocos de crostas lateríticas que chegam a 17 fiadas (as da base parcialmente encobertas pela vegetação e solo), interceptada pela linha do cordão seguida de mureta com 4 fiadas. Os blocos são contrafiados e apresentam dimensões variadas, contudo a altura é regular com cerca de 32cm.

Não há indícios na muralha de argamassas de reboco exceto as de assentamento. Contudo as rochas foram de tal forma bem talhadas e assentadas que mesmo estas argamassas são quase em junta seca. As áreas mais abertas ocorrem pela desagregação das argamassas em geral por lixiviação, biodeterioração especialmente por vegetais de raízes penetrantes associadas ou não a problemas estruturais que se refletem já nas muralhas externas (Fig. 22).



Fig. 22. (A) Deslocamento de bloco que compõe o cordão da muralha e desagregação da linha de blocos da mureta do terra pleno com risco de desabamento, além de marcas de lixiviação e biodeterioração ocasionadas por fungos, algas, líquens e vegetação. (B) Degradação ocasionada por vegetação com enraizamento profundo nas muralhas e alto risco de desagregação entre blocos.

As bases das guaritas em meia esfera também são em blocos de crostas lateríticas de topo, mais coesas. Somente as paredes cilíndricas e cobertura das guaritas são em tijolos maciços, rebocados com argamassa de coloração amarelo-alaranjada (Fig. 23).

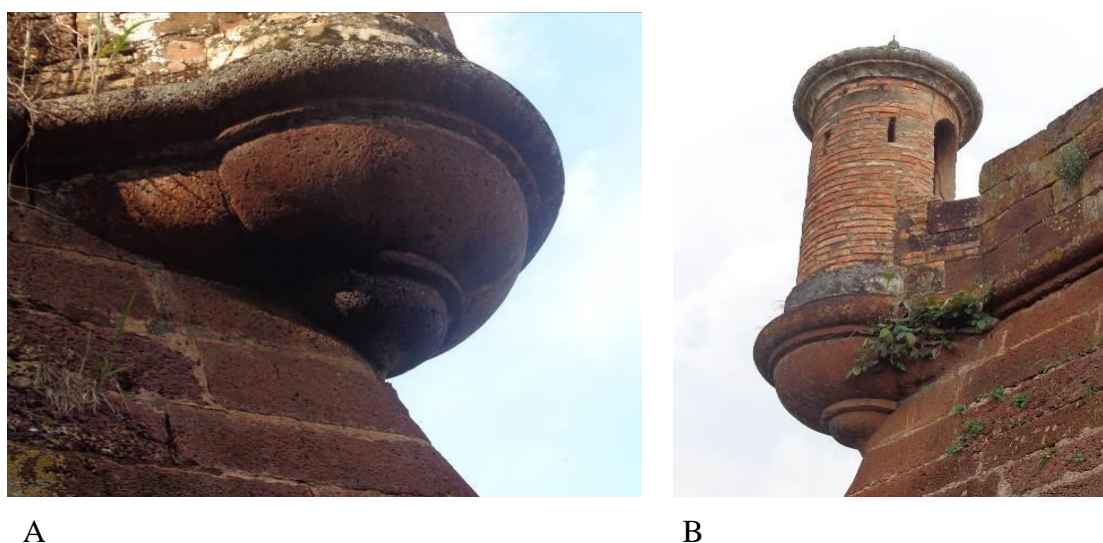


Fig. 23. (A) Base de guarita do baluarte Santo André Avelino em bloco de crosta laterítica entalhado em formas curvas composto por bola, concha, bacia e cordão. (B) Guarita do Baluarte de Santo Antônio de Pádua em paredes de tijoleiras cerâmicas maciças que além de moldarem as formas cilíndricas e arremates da cobertura são mais leves, o que é mais seguro para essa estrutura em balanço apoiada nas bases salientes em blocos de crosta maciça.

As paredes das guaritas eram argamassadas e pintadas. Em pelo menos duas guaritas (as dos baluartes de Santo André Avelino e de N. Sr^a da Conceição) observam-se vestígios de pintura com imitação de blocos de pedra de coloração rosada com as linhas de marcação dos blocos nas cores branca ou cinza. Esse acabamento também aparece na parte superior do frontão triangular da portada de acesso (Fig. 24).

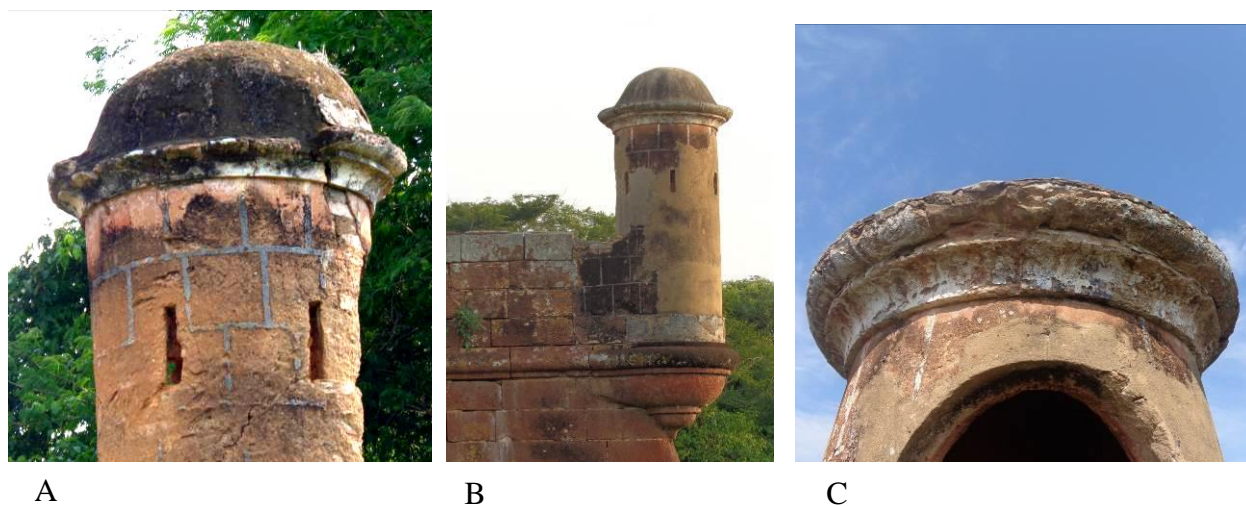


Fig.24. (A) Vestígios de pintura de coloração rosa e desenhos imitativos de blocos de pedra contrafiados na cor cinza na guarita do baluarte de Santo André Avelino. (B) Guarita do baluarte de N. Sr^a da Conceição com pintura imitativa de blocos de pedra demarcados em branco, porém com aspecto mais regular, talvez extemporânea. (C) Detalhe do arremate da cobertura da guarita do baluarte de N. Sr^a da Conceição com vestígios de pintura e de regularização de argamassa extemporânea.

Arremates dos cunhais curvos ocorrem nas arestas das faces dos baluartes onde estão dispostas as guaritas (Fig. 25), enquanto que nas arestas dos flancos e faces de baluartes as linhas dos blocos são retilíneas e inclinadas (Fig. 26).

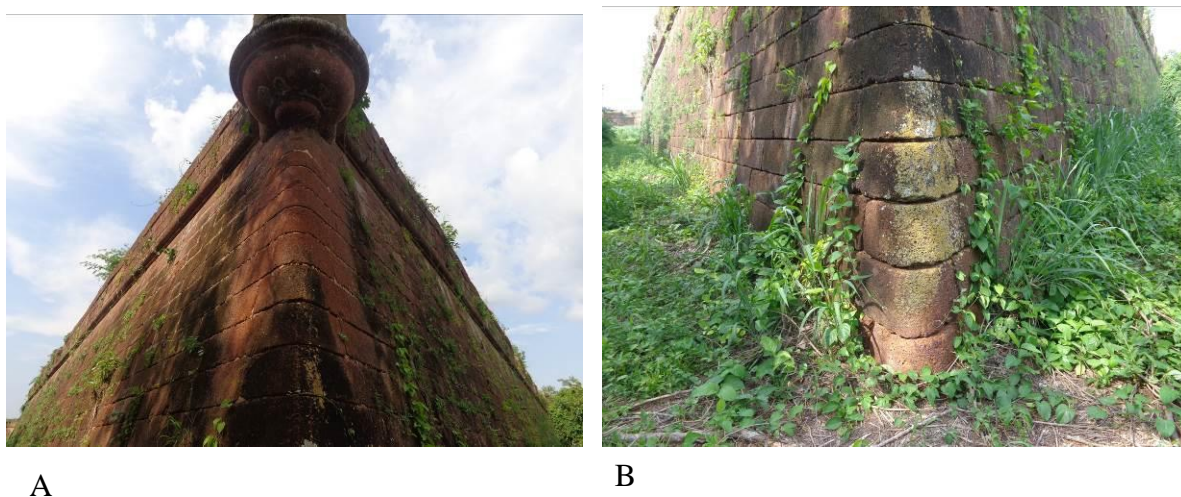


Fig.25. (A) Detalhe do ângulo das faces Baluarte Santa Bárbara onde se observam os cunhais curvos em composição com as bases das guaritas cilíndricas. (B) Detalhe dos blocos de rochas (crostas lateríticas) com cortes curvos e faces inclinadas que demonstram o desenho personalizado e a posição de cada um na construção.

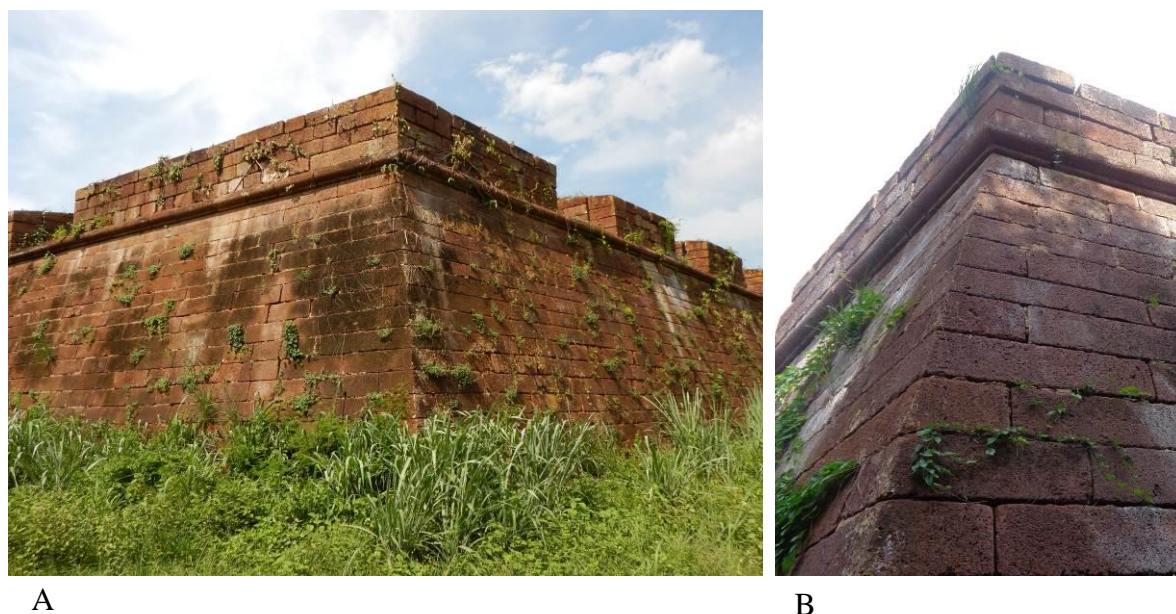


Fig.26. (A) Vértice do flanco e face do baluarte de N. Srª da Conceição onde se observam os blocos angulares. (B) Detalhe do vértice dos flancos do baluarte de Santa Bárbara com corte anguloso e faces inclinadas que demonstram o desenho personalizado e a posição de cada um na construção.

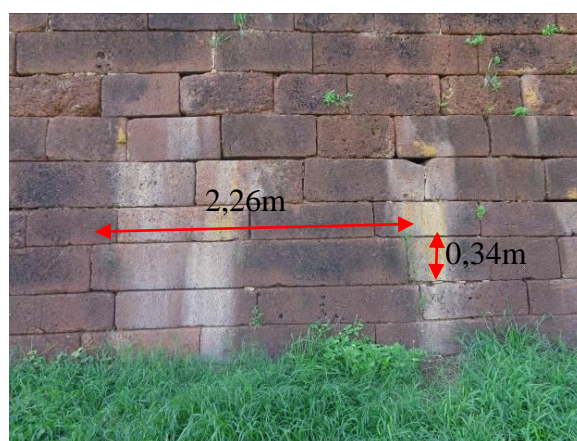
O uso da “pedra canga” como material básico da construção do RFPB que seriam lavradas em paralelepípedos de meio metro são citados por Nunes (1985). No entanto, os blocos são de dimensões muito variadas e estão dispostos de certa forma aleatoriamente nas muralhas. Há também outros de cortes especiais, que atendem a funções específicas como para os arremates curvos ou em ângulos inclinados de cunhais, no cordão das muralhas, bases de guaritas em tripla composição (bacia, concha e bola), molduras e ombreiras de vãos portas e janelas, pisos curvos como no altar-mor da capela, entre outros (Figs. 27, 28 e 29).

Em breve amostragem foram identificados grupos de blocos tratados conforme sua função e forma, sendo os mais recorrentes indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões e formas gerais dos mais recorrentes tipos de blocos de rochas aplicados nas muralhas e edificações do RFPB.

Grupo	Tipo	Dimensões em cm (LxHxC)	Aplicação
BL	Bloco de arremate ou de aplicação na muralha com altura inferior a 30 cm	40x27 68x25	Arremate de canaleta Muralha
BLp	Blocos regulares de dimensões variadas com largura entre 50 e 70 cm e alturas aproximadas entre 31,5 e 33 cm. Compõem a maioria dos blocos aplicados nas muralhas.	50x33 54x32 65x32 70x31,5	Muralhas
BLm	Blocos regulares de dimensões variadas com largura entre 87 e 98 cm e alturas predominante de 32 cm até 35 cm	87x32 90x32 90x35 98x32	Muralhas
BLg	Blocos regulares de dimensões variadas com largura entre 120 e 162 cm e alturas predominante de 32 cm até 36 cm	120x32 124x32 134x36 162x32	Muralhas

BLx	Blocos regulares de dimensões variadas com largura acima de 1,80 cm. Aparecem esparsos nas muralhas	1,82x32 2,26x34	Muralhas
CE	Cortes Especiais	Dimensões variadas	Muralhas
BLc	Blocos curvos com aba superior e inferior em ressalto retilínea aplicado	Blocos em formato de meia esfera composta por	Cordão das muralhas
BLv	Blocos de seção regular com desenhos em baixo relevo	27 a 30x2,28	Ombreira de vãos de porta
BLi	Blocos de formato irregular com arestas inclinadas para amarração de cunhais	150-147x32x47-44 118-115x25x49-46 110-106x32x40-37	Encontro de flancos e faces de baluartes onde as dimensões inferiores são maiores que as superiores para compor a angulação das saias das muralhas
BLc	Blocos de formato irregular com arremate curvo para amarração de cunhais	164-156x32x56-43 147-136x32x36-30 ...	Encontro de faces de baluartes com arremate curvo onde as dimensões inferiores são maiores que as superiores para compor a angulação das saias das muralhas
BLu	Blocos em corte especial em “U”	55x33 (geral) com espessura de 12 a 15 cm e profundidade de 77 cm	Composição de canaleta
CEm	Cortes especiais: blocos de seção regular com desenhos em baixo relevo	Dimensões variadas	Molduras de vãos de janelas
CEa	Cortes especiais: blocos curvos com desenhos em baixo relevo	Dimensões variadas	Arcos de vãos de janelas e portas
CEb	Bloco de seção regular com desenho em linha em baixo relevo	35x35	Base de ombreiras de vãos de porta
CEc	Blocos em composição de linhas curvas e retas para composição de arremates de beiral	Dimensões variadas	Cimalhas das edificações internas



A



B

Fig.27. (A) Diferentes dimensões dos blocos de crostas lateríticas aplicados nas muralhas como este da cortina norte onde se observam os blocos de até 2,26m de largura. (B) Detalhe de blocos contrafiados e de diferentes larguras na face Santo Antônio de Pádua.



Fig. 28. (A) Diferentes formas e dimensões de blocos regulares compondo a base de pilastras das edificações internas da praça do RFPB. (B) Detalhe de blocos com encaixes tipo “L” na base da muralha da face oeste do baluarte Santo André Avelino. Fotos: RN 2015(A), MLC 2015 (B).



Fig. 29. (A, B) Blocos em cortes especiais para composição de possível canaleta para escoamento de águas pluviais do terrapleno identificadas nas laterais da portada de acesso da muralha norte.

Nas estruturas internas das edificações da praça central os tamanhos e formas são ainda mais variados destacando-se os blocos entalhados que compõem elementos estruturais específicos das edificações, tratados para ficarem aparentes. Estes apresentam desenhos em baixo relevo criando frisos e arremates específicos, como nas pilastras e bases dos cunhais e nos vãos de portas e janelas. As cimalthas das edificações internas também são entalhadas de forma a serem encaixadas para o arremate dos beirais em desenhos curvos escalonados e com frisos (Figs. 30 e 31).



Fig. 30. (A) Edificação da praça central do RFPB onde se observa o tratamento em destaque das pilastras de cunhais, molduras e cimbalhas dos beirais em blocos de rochas aparentes entalhadas de forma especial conforme função que contrastava com os panos de paredes em alvenaria mista de blocos de crostas com tijoleiras cerâmicas que eram encobertas por argamassa de reboco caiada. (B) Detalhe dos blocos que compõem cimbalhas que apoiavam a cobertura em beiral.



Fig. 31. (A) Base e ombreira de porta de acesso de edificação interna da praça central do RFPB em bloco de crosta laterítica com desenho em baixo relevo. (B) Vão em arco abatido de porta de acesso de edificação da praça central com a moldura em rocha entalhada preservada.

As escadarias que levam ao terraço junto ao calabouço e corpo da guarda (acesso norte) são em blocos regulares de crostas contrafiados. Na capela chama a atenção o piso de desenho curvo do altar-mor executado em blocos de crostas lateríticas, onde aparentemente haveria acurado trabalho decorativo para uma fortificação em plena Amazônia (Fig. 32).



A



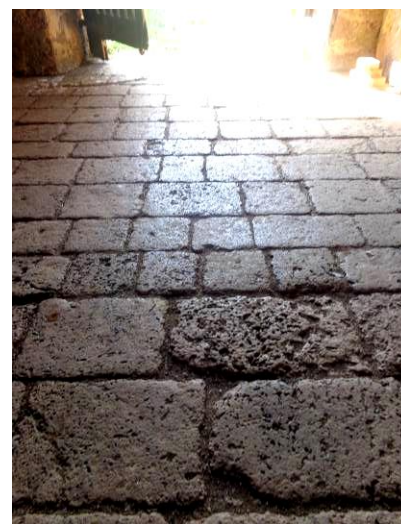
B

Fig. 32. (A) Escadaria ao lado do calabouço em blocos regulares e contrafiados de crostas lateríticas. (B) Pisos em blocos curvos que compunham o altar mor da Capela em crostas maciças.

Na praça central o nível do piso corresponde ao topo do perfil laterítico. O fosso central é delimitado por cercadura demarcada como blocos de crostas lateríticas de formato quadrangular, tendo ao centro portinhola de vedação em duas folhas de ferro forjado. No acesso principal o piso também é demarcado por blocos de crostas lateríticas (Fig. 33).



A



B

Fig.33. (A) Fosso central com fechamento em folha dupla de chapa metálica em ferro forjado, cercada por blocos de crostas lateríticas em composição quadrangular no nível de piso da própria praça central. (B) Pavimentação do acesso principal da praça d'armas em blocos rochas que podem ser apenas demarcadas no piso posto que a estrutura foi erguida no nível do topo do perfil laterítico.

A portada, como de praxe para destacar o ponto de referência do principal acesso ao monumento, recebia tratamento especial, destacando-se na muralha pela elevação do frontão triangular segmentado para permitir a instalação de ponte levadiça o qual apresenta primoroso trabalho, inclusive com o entalhe de coroa em alto relevo em crosta laterítica. O portão principal foi parcialmente vedado com blocos de crostas lateríticas permanecendo pequena abertura e um portão em madeira e ferragens bastante antigas, porém não correspondentes à real dimensão da portada (Fig. 34).



A



B

Fig. 34. (A) Portada e frontão triangular segmentado em blocos de crostas lateríticas. (B) Detalhe do frontão com elementos decorativos em relevo representado a coroa portuguesa abriga marimbondos e perda dos detalhes do primoroso de entalhe e fundo em pintura de cor rosada e a demarcação de blocos similar aos observados em guaritas de dois baluartes. Fotos: RN 2015 (A), MLC 2015 (B).

Placa entalhada no bloco com inscrições destacadas pelo contraste em branco nas letras inscritas em baixo relevo, apresenta arremate em boleado e localiza-se acima do vão da portada em arco com chave e arremate em relevo, bem como as pilastras das extremidades. Seus dizeres em latim referenciam a fundação do forte em 20 de junho de 1776 (Fig. 35).

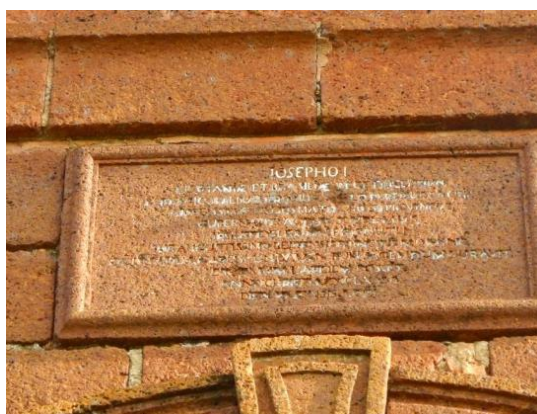


Fig.35. Detalhe da placa em bloco de rocha de crosta laterítica com inscrição em latim alusiva à data comemorativa da fundação do RFPB em 20 de junho de 1776.

Como material construtivo suplementar, as tijoleiras cerâmicas aparecem em uso bem mais restrito ocorrendo nas paredes e cobertura das guaritas, nos arremates sobre o embasamento dos prédios internos que recebiam argamassa de recobrimento, nas alvenarias das paredes mistas e nos acabamentos internos dos vãos em arco abatido que eram encobertos pela argamassa de reboco internamente, enquanto que nas fachadas recebiam molduras talhadas em blocos de crostas as quais ficavam destacadas e aparentes (Fig. 36).

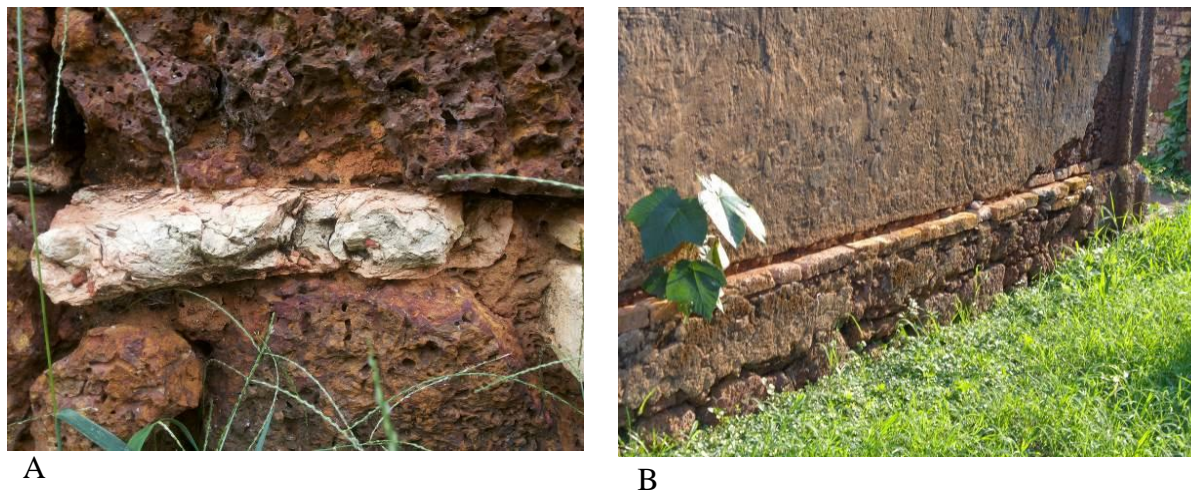


Fig. 36. (A) Tijoleira cerâmica em alvenaria mista de edificação interna do RFPB onde se observa o caulim típico do horizonte mosqueado do perfil laterítico. (B) Linha de tijoleiras no arremate do embasamento das edificações internas, que recebia acabamento em argamassa de reboco e caiação.

As dimensões das tijoleiras variam levemente, até pela feitura ou pela ação intempérica, sendo estas de formato retangular em média com 15-15,5cmx30cmx5,5cm e outras mais estreitas de 17cmx29cmx3-3,5cm.

Também no arremate superior do frontão do pórtico de acesso, observa-se nas cimalkas superiores o possível uso de tijoleiras cerâmicas em composição com outros blocos de crostas. Conforme vestígios, este acabamento possivelmente seria revestido com argamassa e receberia pintura à base de cal, pigmentada ou não. Apesar da distância há indícios visuais de que estas áreas argamassadas aparentam o mesmo trabalho de pintura imitativa de blocos de pedra similar ao observado nas guaritas, porém há também indícios de que pelo menos uma intervenção extemporânea procurando imitar tal padrão possa ter ocorrido em intervenções posteriores (Fig. 37).



Fig. 37. Arremate do frontão triangular segmentado no acesso ao RFPB, com indícios de uso de tijoleiras e rochas, aplicação de argamassa de reboco e pintura imitativa de blocos de pedra, similar ao trabalho observado nas guaritas dos baluartes de N. Srª da Conceição e de Santo André Avelino.

Quanto às argamassas observa-se o uso das de ligação e de reboco, de composição bastante próxima e coloração alaranjada. Os vestígios de uso de cal em sua composição são pouco evidenciados, possivelmente pela carência desse material que vinha de outras procedências.

De modo geral o uso das argamassas é restrito se comparada a outras fortificações, já que as muralhas internas e externas são em blocos de rochas aparentes, onde mesmo as argamassas de assentamento são restritas ao mínimo. Ainda assim, ficou evidenciado que todas as áreas em tijoleiras cerâmicas ou alvenarias mistas onde os blocos não tiveram trabalhos em cantaria mais apurada, eram rebocadas e recebiam pintura à base de cal (Fig. 38).

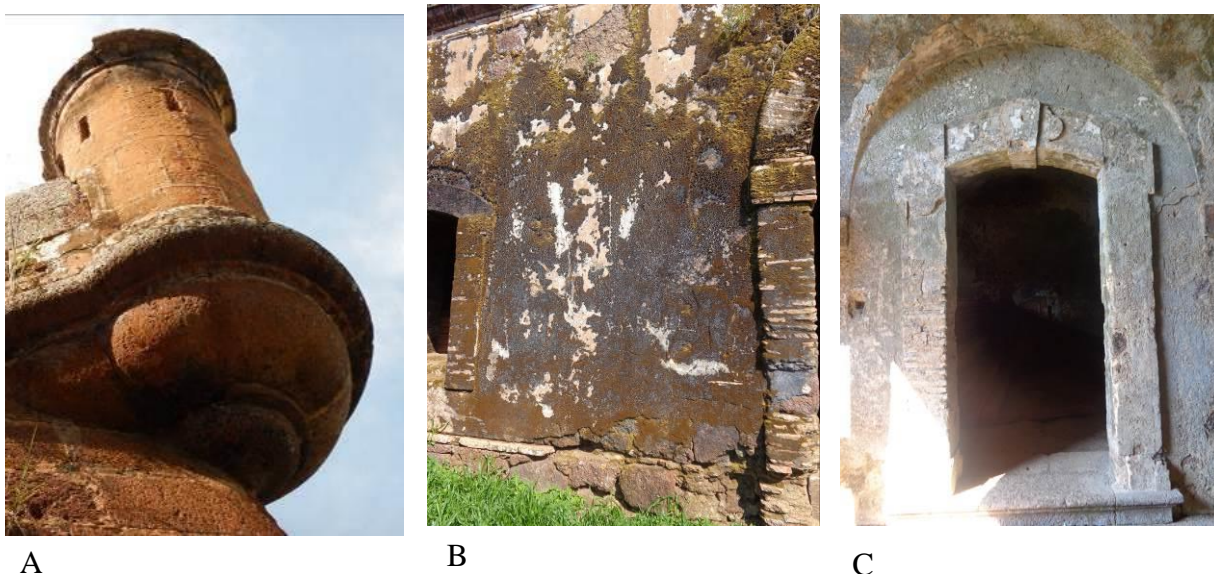


Fig. 38. (A) Guarita em alvenaria de tijoleiras cerâmicas maciças com recobrimento em argamassa de reboco e pintura de acabamento. (B) Parede externa do corpo da guarda com resquícios da argamassa de reboco, impregnada de musgos e líquens. (C) Parede do interior do corpo da guarda e molduras de vão de porta interna com acabamento em argamassa de reboco.

Ou seja, na sua plenitude, a obra do RFPB explorava a beleza das crostas lateríticas (Fig. 39) evidenciada pelo seu predomínio absoluto nas muralhas e nos detalhes aparentes das guarnições de vãos de portas e janelas, embasamentos, cimalkhas e cornijas que contrastavam com as paredes argamassadas e pintadas à base de cal possivelmente em cor branca.

Nota-se neste monumento militar não apenas o uso corriqueiro do material abundante no sítio de construção, mas principalmente o domínio e expertise na extração e tratamento das crostas lateríticas que se comparadas com outras rochas do entorno geológico (granitos, dacitos) são de fácil trabalhabilidade e prestam-se com facilidade ao corte e entalhes.

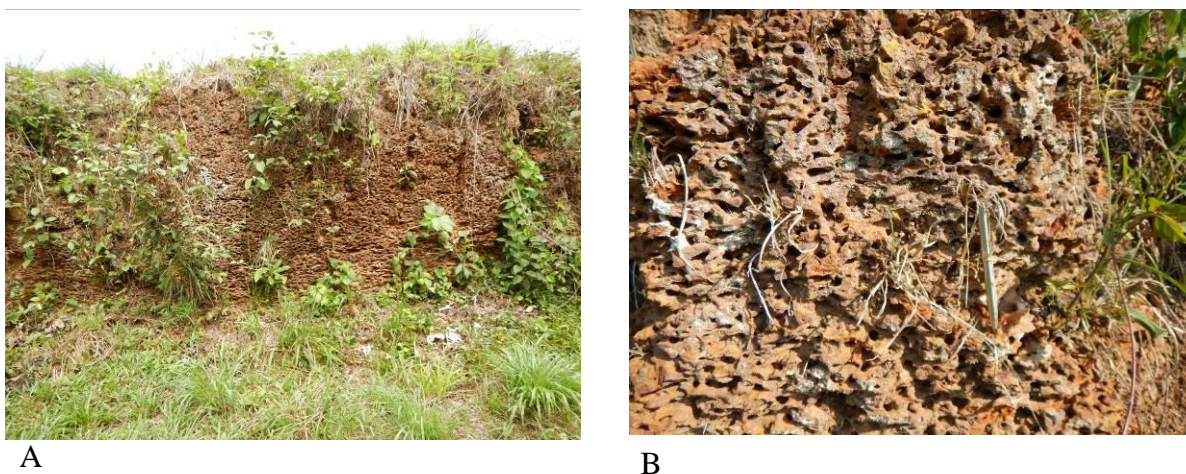


Fig. 39. (A) Perfil laterítico em frente à muralha norte que se configura como o contorno da contra escarpa do fosso seco. (B) Detalhe de crosta laterítica cavernosa do perfil em frente ao baluarte de Santo Antônio de Pádua. Fotos: MLC, 2015.

Contudo, a questão da conservação do monumento é preocupante. A falta de uso e os períodos de abandono ao longo do tempo resultaram na perda de cobertura das edificações internas que suscitaram ainda mais a ação intempérica. Os blocos em ruínas dividem espaços com a vegetação alta. Pilhas inteiras de blocos já desabados sejam da muralha interna ou das edificações estão dispostas por todos os lados (Fig. 41).

Ações emergenciais para contenção de desabamento foram efetivadas, mas estas também não tem mais eficácia: vedação de vãos com tijolos furados recentes em contraste com as paredes e escoras de madeira, já apodrecida jazem tanto quanto as estruturas pretéritas (Figs. 40 e 41). Outras tantas peças de madeira guardadas na casa dos oficiais esperavam para serem utilizadas em mais outras obras emergenciais enquanto se aguardam o período chuvoso.

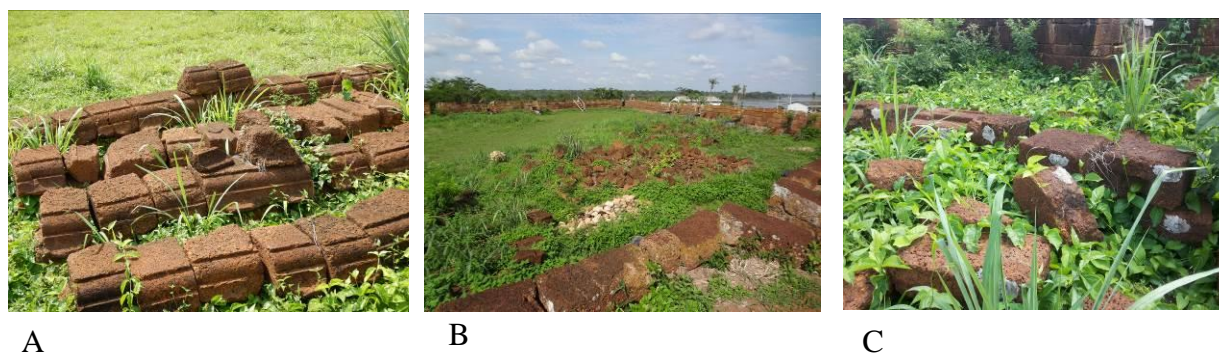


Fig. 40. (A) Blocos de cimalkas de prédios internos desabados empilhados. (B) Pilhas de blocos de rochas provenientes de muretas e outras áreas já desabadas. (C) Blocos numerados marcados com massa de cimento dispostos em vários pontos do terrapleno. Fotos: MLC, 2015 (A, B); RN, 2015 (C).

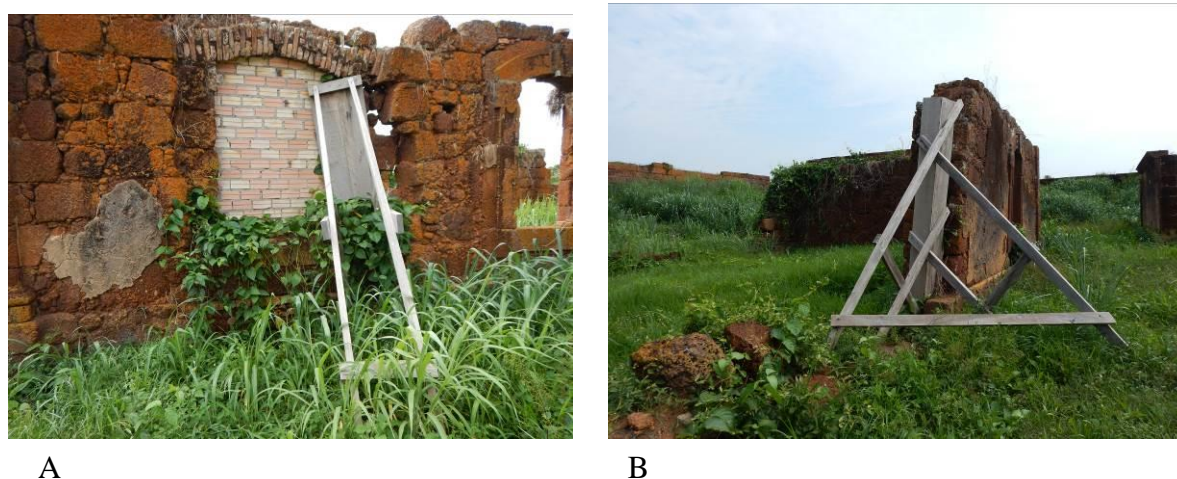


Fig.41. (A) Vedação de vão com tijolos furados e escoramento em madeira na tentativa de proporcionar maior estabilidade às paredes em risco de desabamento. (B) Tentativa de escoramento com peças de madeira, já comprometidas de prédio interno no RFPB. Fotos: MLC, 2015.

4. DISCUSSÕES

A FCB foi abandonada após enchente histórica enquanto o RFPB foi consolidado em local escolhido como apropriado e livre das inundações, que demonstrou ser escolha acertada, pois lá permanece até os dias atuais, mesmo com perdas parciais e riscos iminentes, ainda resistindo ao intemperismo tropical, ao vandalismo e abandono em diversos períodos de sua história.

As técnicas construtivas e tratamento e aplicação das rochas nas duas construções também são bastante diferenciadas. No FCB os blocos foram cortados para aplicação direta nas alvenarias sem maiores detalhes e tratamentos enquanto no RFPB chama a atenção ao mais leigo observador a destreza e precisão da cantaria dos blocos que compõem as muralhas, no geral íntegras e bem preservadas, salvo pelo intemperismo biológico e características próprias de certos blocos mais suscetíveis à ação intempérica.

Fica evidente no RFPB que as rochas das muralhas foram assim tratadas para ficarem aparentes, diferentemente do que se vê na obra da FSJM, a exceção dos blocos em cantaria dos cunhais, bases de guaritas e cordão parcial das muralhas, estes predominantemente em arenitos ferruginizados. Nesse monumento, a mistura dos materiais construtivos, seja das rochas (arenitos ferruginizados e crostas lateríticas principalmente), tijoleiras cerâmicas ou argamassas é muito mais evidente. Ao contrário, no RFPB a quase totalidade da obra faz uso das rochas provenientes das crostas lateríticas da própria localidade e arredores, constatado pelo perfil laterítico evidente no contorno do sítio e da contra escarpa que delimita o fosso seco e ainda pelo volume de blocos empilhados no local denominado de Labirinto.

Ao revolveram a terra para criação do fosso seco, delimitando o contorno e nível das muralhas os construtores possivelmente utilizaram esse material para as fundações e primeiras paredes elevadas. Diferente de Macapá, onde a contra escarpa recebe tratamento com pedras e tijoleiras assentadas e argamassadas, no RFPB o próprio perfil laterítico se traduz na contra escarpa (Fig. 42).



Fig. 42. (A) Vista geral a partir do terrapleno, onde se observa o perfil laterítico em frente à muralha norte que se configura como o contorno da contra escarpa do fosso seco. (B) Vista a partir da mureta superior do terrapleno norte onde se observa o fosso seco formado pela face do baluarte de Santo Antônio de Pádua e a contra escarpa representada pelo perfil laterítico *in situ*. Fotos: MLC, 2015.

De modo geral há dois grupos de crostas aplicadas: 1) blocos de crostas oriundas de camadas mais próximas do horizonte mosqueado que se apresentam mais suscetíveis ao intemperismo e 2) blocos provenientes de áreas mais próximas do topo do perfil laterítico e portanto menos suscetíveis às alterações intempéricas (Fig. 43).

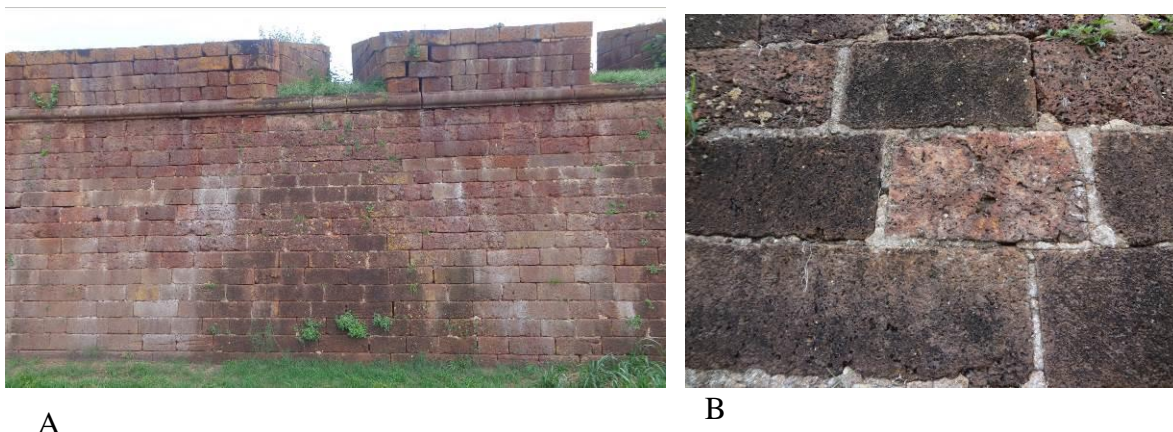


Fig.43. (A) Face do baluarte de Santo Antônio de Pádua onde são facilmente identificáveis os blocos de crostas lateríticas provenientes tanto do topo do perfil correspondendo a blocos de crostas maciças e mais resistentes, quanto de áreas mais próximas do mosqueado, estas mais suscetíveis ao intemperismo. (B) Detalhe de blocos de crostas maciças em contraste com outros mais cavernosos e próximos do mosqueado. Foto: RN, 2015 (A); MLC, 2015 (B).

As feições das crostas aparecem cavernosas, semicavernosas ou maciças. As cavidades das crostas cavernosas são facilmente suscetíveis à vegetação e animais, aumentando sua suscetibilidade à degradação (Fig. 44). A mineralogia perceptível apresenta grãos de quartzo, hematita e goethita.



Fig. 44. (A) Face oeste do baluarte de N. Srª da Conceição, onde vegetação aérea com raízes impregnadas nas muralhas desagregam os blocos entre as frestas apenas preenchidas com argamassas de ligação. (B) Clara visualização e distinção do comportamento dos blocos de rochas lateríticas nas muralhas, sendo as crostas cavernosas e as mais próximas do mosqueado mais suscetíveis ao intemperismo biológico. Foto: RN, 2015 (A); MLC, 2015 (B).

Nos cunhais assim como na base das guaritas que são pontos importantes na estabilidade e amarração das muralhas e sustentação de elemento em balanço, estas rochas são predominantemente do grupo 2. Também se observa tal cuidado nos blocos dos cordões e muretas dos terraplenos.

O desabamento parcial de paredes da mureta interna no nível do terrapleno permitiu identificar as camadas estratigráficas que representam os níveis sucessivos de aterramento e compactação para configuração das muralhas elevadas, delimitadas pelas muralhas externas e internas que dão a conformação do monumento (Fig. 45).

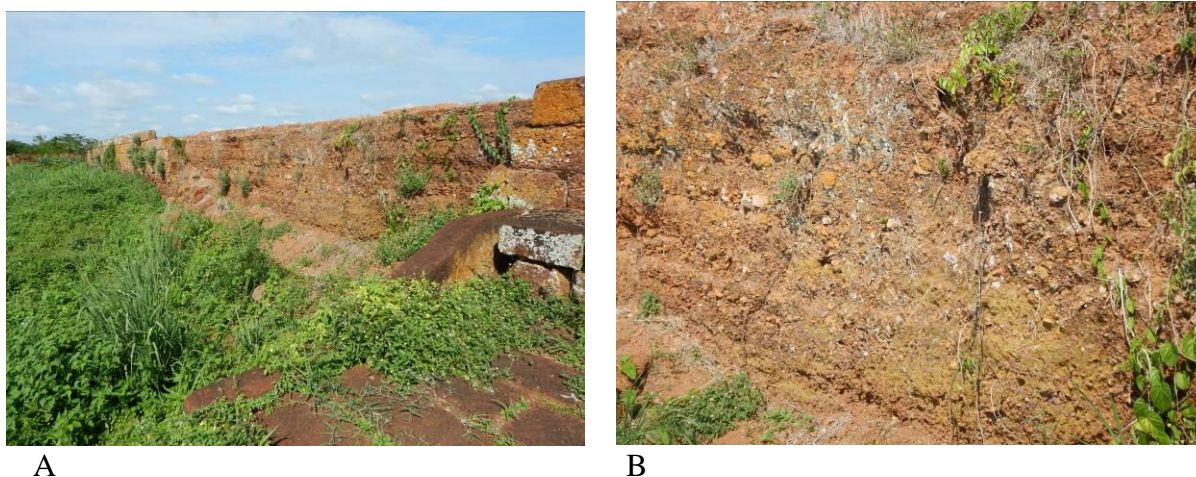


Fig. 45. (A) Vista da mureta interna do terrapleno que sofreu desabamento parcial evidenciando as camadas de aterro compactado oriundo do próprio terreno, possivelmente da escavação para a configuração do fosso seco e de arredores. (B) Estratigrafia “inversa” perceptível na configuração da mureta a partir do desabamento parcial da alvenaria de recobrimento deste elemento construtivo da fortificação. Fotos: MLC, 2015.

Quanto às argamassas observa-se o uso das de assentamento e de reboco, de composição bastante próxima e coloração alaranjada. Os vestígios de cal são sutis, possivelmente pela carência desse material que vinha de outras procedências, conforme a documentação histórica aponta. Também no RFPB como em boa parte das argamassas da FSJM (à exceção das identificadas em alguns pontos das muretas dos terraplenos), as argamassas não apresentam vestígios de conchas, ao contrário das argamassas mais antigas do Forte do Castelo em Belém/PA (FCPB) onde a ocorrência das conchas, provenientes de depósitos de sernambis são perceptíveis à olho nu.

As tijoleiras cerâmicas foram usadas em alguns arremates, detalhes, arcos, guaritas e em preenchimentos pontuais nas alvenarias mistas das edificações, todas em geral trabalhadas para serem recobertas com argamassa de reboco. As tijoleiras aparentes são basicamente as destinadas à pavimentação e restritas aos prédios internos. Tijoleiras mal cozidas apresentam evidências de sua procedência com a identificação de caulim da argila do horizonte mosqueado do próprio perfil laterítico do entorno, além de pedregulhos.

Sinais de alterações especialmente pela atuação biológica sejam pela vegetação aérea ou por microorganismos são evidentes. As paredes mais sombreadas apresentam maior grau de proliferação de fungos, líquens e musgos e vegetais. Muitos de alto grau de enraizamento

com porte arbóreo, impregnados entre blocos nas muralhas, que entre as cortinas externas e internas são preenchidas por terra batida, ou seja, solo apropriado e fértil para seu florescimento.

Manchas nas muralhas de coloração esbranquiçada indicam escoamento de fluxo de argila e de excremento de morcegos, que infestam especialmente os ambientes abobadados do acesso principal e calabouço, sob os terraplenos. Estes espaços tem ambiência similar a de grutas, sendo escuros, úmidos e fechados, propícios a biocolonização (fungos, algas, líquens, musgos) e a animais como os morcegos e roedores, que por sua vez ocasionam sérios problemas de insalubridade ao ambiente, seja pelos odores acentuados e pelos ácidos inclusive nítricos decorrentes de seus excrementos.

Também há vários pontos com manchas de umidade decorrentes do contato direto das muralhas com o material de preenchimento dos terraplenos e baluartes entre as muralhas externas e internas. Nesses pontos a desagregação das rochas pela perda da argamassa de assentamento é bastante evidente, alguns com sensível desaprumo.

Chama a atenção o fato da contra escarpa se apresentar sem acabamento ou alvenarias sendo esta apenas delimitada pelo perfil laterítico *in situ*, o que pode ser reflexo de várias possibilidades, como o perfil ter sido considerado suficientemente bom para esse papel, consequência dos poucos recursos na empreitada volumosa, pela obra nunca ter sido concluída na plenitude de projeto, ou mesmo a soma de tais circunstâncias. A ausência de acabamento difere da FSJM onde a contra escarpa recebeu tratamento com rochas e tijoleiras argamassadas. Alguns locais como no acesso e no tamponamento do poço central esse nível pode ter recebido um tratamento “falso” imitativo de blocos de rochas aplicadas, quando na verdade apenas parecem ter sido demarcados em baixo relevo e aplainados diretamente no terreno correspondente ao topo da crosta laterítica. Para dirimir essas e outras questões, além de documentos históricos como relatórios e correspondências de obras, outras viagens de pesquisa seriam necessárias para aprofundar as investigações *in loco*.

Quanto à pintura imitativa de blocos de pedra sobre áreas rebocadas, como observados em algumas áreas remanescentes de guaritas e no frontão triangular do pórtico de acesso, há a possibilidade de ser uma pintura pretérita ou extemporânea, resultado de intervenções já que em alguns pontos o desenho é manchado, quase grosseiro e há marcas de acabamentos e borrados. Porém suspeita-se de que alguns possam até ser originais e outros imitativos destes em áreas desaparecidas e refeitas em algum momento da sua história.

Os trabalhos de reforço estrutural de caráter emergencial identificados no local que também indicam certo tempo de execução e já não atendem ao risco iminente de desabamento

de várias paredes especialmente dos remanescentes das edificações da praça central. Isso induz à busca de ações concretas e permanentes para a salvaguarda do monumento.

5. CONCLUSÕES

Apesar da imponência do RFPB os riscos de arruinamento são evidentes, mesmo que tenham sido envidados esforços em diversos momentos de sua história. As paredes já desabadas e blocos espalhados, alguns até numerados, são sem dúvida passíveis de anastilose.

De modo geral, os aspectos construtivos da própria edificação e facilidade de acesso à matéria prima utilizada na sua construção, facilitam tanto ações de recuperação quanto de manutenção do monumento. Pode-se, por exemplo, citar a praça central onde o piso é o próprio nível da crosta, aparentemente considerado suficientemente adequado pelos construtores de forma a não necessitar de pavimentação em blocos de rochas tal como ocorre na FSJM onde predominam arenitos e até pedra de ferro na sua pavimentação.

Do uso dos materiais construtivos é evidente o predomínio das rochas caracterizadas pelas crostas lateríticas em detrimento de outras rochas também abundantes na região, porém de difícil trabalhabilidade como os granitos e dacitos. As rochas se sobrepõem às tijoleiras cerâmicas e argamassas na feitura do monumento, já que tanto a muralha externa quanto a interna foram trabalhadas com blocos em cantaria para ficarem aparentes.

As tijoleiras praticamente só aparecem nas guaritas, alguns arremates de arcos internos, detalhes e alvenarias mistas. Em todos os casos, seriam recobertos por reboco e pintura. As argamassas restringem-se às de assentamento dos elementos construtivos e as de reboco dos panos de paredes dos blocos internos e guaritas e arremates decorativos. Até mesmo molduras, pilastras, cunhais e cornijas foram executados em blocos de rochas, valorizados pelo contraste com o fundo caiado dos panos de alvenarias. Ou seja, a cor natural das crostas lateríticas foi valorizada esteticamente por esse artifício construtivo, acentuado pelos efeitos e variações da luz solar ao longo do dia, especialmente no final da tarde, que lhes evidencia o tom amarelo-alaranjado, conferido ao forte um brilho dourado.

Muitos aspectos surgiram a partir dessa primeira visita que merecem ser discutidos especialmente quanto às estruturas externas que no contexto histórico são muito importantes para a compreensão da logística de extração e transporte dos materiais empregados e de processos históricos que não se restringem ao RFPB as também se estendem às obras de apoio como o Paiol, o Labirinto, o Forno e a própria FCB.

O conjunto de informações das obras humanas e da natureza geológica do entorno imediato e arredores demonstram forte interligação que deve ser explorada por meio dos resultados das análises laboratoriais em conexão com a documentação histórica e icnográfica, fundamentais na interpretação dos dados coletados e para dirimir pelo menos em parte, as questões inicialmente levantadas.

Agradecimentos

Ao Exército Brasileiro – 17^a Brigada de Infantaria de Selva, ao Ten. Cel. Alberto Ramos/Comunicação Social. Ao 1^o Pelotão Especial de Fronteira – Capitão Alan Menezes dos Reis, Sargento Julio Codato e demais integrante do 1^oPEF. Ao CNPq por meio do Projeto “Mineralogia Aplicada ao Estudo de Materiais e sua Conservação na Engenharia Militar da Amazônia”, Edital MCTI/CNPq/SPM-PR/Petrobras nº 18/2013 (Processo nº 420095/2013-6). Ao Sr. Elvis, morador da vila e detentor das memórias históricas locais que foi guia na expedição realizada no dia 28 de dezembro de 2015. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPq de doutorado por meio do projeto Mineralogia Aplicada ao Estudo de Materiais e sua Conservação na Engenharia Militar da Amazônia (Processo nº 420095/2013-6). Ao Arquivo Histórico do Exército/AHEX, Diretoria do Patrimônio Histórico e Cultural do Exército/DPHECEX, Comitê Internacional de Fortificações e Patrimônio Militar/IcoFort. Ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional/IPHAN/RO pelas autorizações, orientações de acesso e apoio necessários ao desenvolvimento da pesquisa. Ao Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação/LACORE do ITEC/UFPA e aos Laboratórios de Micologia e Botânica do ICB/UFPA. Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica/PPGG/UFPA e ao Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada/GMGA.

Referências

- Albuquerque, Marcos. 2008. Arqueologia da Fortaleza de São José de Macapá. Rio de Janeiro, Revista Da Cultura, Ano VIII, nº 14. Fundação Cultural Exército Brasileiro, p. 40-46.
- Barreto, Annibal. 2010. Fortificações do Brasil. Rio de Janeiro, Biblioteca do Exército, 2^a Edição, 208 p.
- Castro, Adler Homero Fonseca de. 1999. O fecho do Império: História das Fortificações do Cabo Norte ao Amapá de Hoje. In: Flávio dos Santos Gomes. (Org.). Nas Terras do Cabo Norte: Fronteiras, Colonização e Escravidão na Guiana Brasileira – Séculos XVIII/XIX. Belém: Editora Universitária/UFPA, pp.129-193.
- Costa, M. L. Behling, H.; Suguio, K.; Kaempf, N.; Kern, D. C. 2009. *Paisagens Amazônicas sob a ocupação do homem pré-histórico: uma visão geológica*. In: Wenceslau Teixeira, Beata Madari, Vinicius M. Bentes, Dirse C.Kern e Newton Falcão. (Org.). As Terras Pretas de Índio - Caracterização e Manejo Para Formação de Novas Áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, v. 1, p. -15.
- Ferreira, A. M. 2004. *Fortificações Portuguesas no Brasil*. Lisboa, Elo-Publicidade, Artes Gráficas, SA, 144 p.
- Ferreira, A. M. 2005. Fortificações Portuguesas na Cartografia Manuscrita do Brasil. Rio de Janeiro, Revista *URBANismo*, nº 06. Centro de Estudos de Urbanismo e Arquitectura de Portugal. I Simpósio Luso-Brasileiro de Cartografia Histórica, Disponível em

<<http://revistas.ceurban.com/numero6/artigos/arnaldomedeiroferreira.htm>, Acesso em ago. 2011.

Ferreira, A. R. 1970. *Viagem Filosófica às Capitânicas do Grão-Pará, Rio Negro, Mato Grosso e Cuiabá, Vol. I*. São Paulo, Gráficos Brunner Ltda, 73 p.

Marques, Fernando Luiz Tavares. 2008. Acompanhamento Arqueológico das Escavações de Prospecção das Fundações das Estruturas do Forte Príncipe da Beira (Processo Iphan No. 01410.000002/2008-03). Relatório de Pesquisa Submetido à 16ª SR do IPHAN. Museu Paraense Emílio Goeldi Belém – Pará.

Marques, Fernando Luiz Tavares; Leite Filho, Deusdedit. 2009. Arqueologia Em Fortificações Na Fronteira Oeste da Amazônia Colonial: Possibilidades de Pesquisa Também Enquanto Espaços de Contatos Interétnicos. 1º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira.

Norat, Roseane; Costa, Marcondes Lima da. 2013. Materiais Construtivos Empregados em Fortificações da Amazônia In: I Congresso de História da Construção Luso Brasileira, 2013, Vitória. Anais do I Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira.

Nunes, J. M. S. 1985. *Real Forte Príncipe da Beira*. Rio de Janeiro: Fund. Emílio Odebrecht, Spala Editora. 375 p.

Vianna, Arthur. 1905. *As Fortificações da Amazônia*. In Annaes da Bibliotheca Archivo Publico do Pará, Brazil. Typ. e Encadernação do Instituto Lauro Sodré, Tomo Quatro. Pará. p. 227-293.

6 CONCLUSÕES

A construção das fortificações portuguesas na Amazônia exigiu esforço dos colonizadores e da mão de obra agenciada para os trabalhos, representada principalmente por indígenas, negros e artífices trabalhadores, atuando como escravos ou empregados. São obras monumentais cuja envergadura aliam conhecimento, técnica e força física, além de somar vultosos recursos para o empreendimento.

Por outro lado, construir nesta região exigia estratégias e logística adequada, o que, se ainda hoje é um desafio, imagina-se no período em que se estabeleceram nestas cercanias, adaptando-se às condições adversas do clima e aos entraves que certamente encontraram. São circunstâncias que avaliadas no contexto atual, ressaltam a importância dessas estruturas para a memória arquitetônica, histórica e cultural do país.

Das fortificações remanescentes na Amazônia, como se constatou na pesquisa, representam reduzido número perante o volume de estruturas desaparecidas, a pesquisa focou em duas fortificações de tipologias similares, porém em localizações opostas na região: a FSJM (Amapá) e o RFPB (Rondônia), e ainda uma das mais antigas, mesmo que tenha sido alvo de seguidas alterações ao longo de sua história: o FCPB (Pará). As circunstâncias da pesquisa de campo levaram também a outros sítios importantes, como as ruínas da FCB e as demais estruturas existentes no sítio do RFPB (Paioi, Forno, Labirinto) até fontes de possíveis matérias-primas nas margens do rio Guaporé, Amazonas ou Pedreira.

Ficou claro que os construtores fizeram uso racional da matéria-prima disponível na região, ainda que em certos casos tivessem que transportar de áreas distantes ou buscar alternativas viáveis para a construção. Os materiais construtivos utilizados nessas obras envolvem, primeiramente, as rochas, seguida das tijoleiras cerâmicas e as argamassas.

Das rochas, as mais recorrentes são aquelas encontradas em profusão e fácil acesso na paisagem amazônica, tais como os arenitos ferruginizados (FSS), as crostas lateríticas (FLC) e as pedras de ferro (IST). As análises revelaram também a lógica de extração, funcionalidade e aplicação na estrutura arquitetônica compatível em monumentalidade ao que exigia na época: a proteção da entrada para o rio Amazonas e, por conseguinte, para todo o universo de lendas e desafios que a floresta gerava, e ainda gera.

Em princípio, a escolha do local de implantação considerava as características geológicas locais, recaindo em promontórios rochosos típicos de crosta ferroaluminosas. No caso do FCB, o regime e ciclo de marés exigiu a mudança para sítio mais apropriado, que resultaria na construção do RFPB. Ficou evidente que o processo construtivo, com a escavação para a criação do fosso seco, também servia para prover as obras de matéria-prima,

sejam os blocos dos topos solidificados de crostas lateríticas, sejam as argilas do horizonte mosqueado e saprolito dos perfis lateríticos, mas logo partiam em busca de outros locais que pudessem dispor do volume necessário de matéria-prima para a construção.

Assim, para soerguer as muralhas, os construtores não apenas empregaram o material disponível, como dele fizeram uso e seleção adequada considerando suas características texturais e físicas que lhes imprimem diferentes aspectos de coesão, dureza, maleabilidade e resistência. Os FSS demonstraram-se as melhores rochas usadas na construção, seja pela grande ocorrência em sítios próximos ou até mais distantes, cuja extração e transporte contavam com o significativo contingente humano para os trabalhos pesados exigidos pelo empreendimento, seja por suas características intrínsecas, que lhe possibilitava utilização estratégica estrutural, de amarração ou para acabamentos mais elaborados. As rochas, como materiais predominantes nas fortificações, aparecem nas cortinas, alvenarias das edificações internas e auxiliares, em diversos usos e funções, tais como substrato, soleiras, degraus, embasamento, cordão, cunhais e apoios de guarita. No caso da FSJM, os FSS, mais coesos, têm uso mais nobre e cortes especiais em cantaria, diferentemente das FLC e IST que foram aplicadas mais dispersas nas cortinas das muralhas, fundações e alvenarias, em blocos irregulares e de variadas dimensões. Estas rochas tiveram seu papel adequado à sua natureza e ocorrência, como demonstrado na FSJM. Mesmo quando aparentemente desfavoráveis, como no caso das FLC colunares/tubulares, os construtores trataram de aplicá-las horizontalmente visando menor suscetibilidade à lixiviação.

Contudo, as FLC encontradas no RFPB e sua aplicação e cantaria com acentuado esmero e qualidade superior às da FSJM inclusive detalhes decorativos, indicam mais do que os atributos do material, a familiaridade dos construtores quanto ao uso da matéria-prima disponível. Neste aspecto vale destacar que os relatos históricos apontam para o aproveitamento de mão de obra oriunda das obras da FSJM, o que reforça a ideia de que os construtores rapidamente se adequaram à matéria-prima local. No caso do FCPB, além destas rochas, notou-se a ocorrência de rochas de procedência externa tais como granitos, sienogranitos, gnaisses e mármore concentrados em algumas áreas remodeladas no início do século XIX.

As tijoleiras cerâmicas e argamassas também são importantes materiais cuja produção contou com matéria-prima local, pelo menos em boa parte, como no caso das argilas. A logística de produção pôde ser observada com o auxílio da documentação histórica associada às análises físicas, químicas e mineralógicas. As tijoleiras de coloração alaranjada a avermelhada, produzidas em fornos que existiam no entorno das fortificações como

comprovados na FSJM e no RFPB, foram usadas em diferentes formatos, como tijolos maciços, ladrilhos e tijoleiras curvas aplicadas em rampas, parapeitos, alvenarias, abóbadas, cordão da muralha e pavimentação, e podem ser agrupadas em tijoleiras históricas (HCB) e as de recomposição (RCB). Sua constituição mineral, a base de quartzo e hematita, certamente metacaulinita, contém, por vezes, mulita e muscovita e confirmam o uso da matéria-prima do entorno geológico.

Na FSJM, seu uso é muito mais acentuado que nas demais, o que possivelmente reflete o melhor acesso a argilas, a envergadura da obra e talvez a maior dificuldade para se obter e transportar as rochas até a construção. No entorno do RFPB ainda se encontra o forno tipo caieiras, embora o uso das tijoleiras cerâmicas nesta fortificação ocorra de maneira mais restrita aos elementos arquitetônicos das edificações da praça central e detalhes. A menor aplicação deste material foi observada no FCPB.

Diferentes condições de sinterização indicam falhas nos processos de fabricação seja pela disposição das tijoleiras em fornos tradicionais tipo caieiras, seja pelo tempo a que foram submetidos à queima, mais do que pela temperatura do forno, nas produções recentes. Embora as análises das tijoleiras do tipo RCB apresentem diferenças composicionais e microtexturais em relação às HCB, estas adequam-se esteticamente às precedentes. As áreas de recomposição mais recentes com RCB destacam-se no contexto visual mais pelas diferenças de argamassas de assentamento do que pelas diferenças identificadas entre as tijoleiras em si.

As argamassas demonstraram-se como o substrato mais favorável à nutrição vegetal refletindo os processos de biodeterioração comuns em todas as fortificações estudadas, ainda que no FCPB tenha se observado maior cuidado no controle biológico e manutenção geral do monumento. Análises das argamassas antigas (ANM) e de reconstituição (REM), em geral constituídas de cal (CaO e/ou CaOH_2 , calcita), areia (grãos de quartzo) e material argiloso (principalmente caulinita), embora tenham apresentado pH alcalino e baixa concentração de P, indicaram concentrações de outros elementos químicos importantes para o desenvolvimento vegetal tais como Ca, Mg, K, além de micronutrientes como Mn, Zn e Cu.

As observações de campo indicaram a sequência de associação de vegetação que se instala preferencialmente nos substratos de argamassas e depois em tijoleiras e rochas. Foi possível também correlacionar os locais mais suscetíveis à biodeterioração associados aos aspectos arquitetônicos e insolação nas fortificações. Porém, os demais materiais construtivos e com superfícies rugosas, típicos das FLC ou faces intemperizadas de tijoleiras cerâmicas mostraram-se também bioreceptivos. A disposição das muralhas em relação à ventilação e insolação estão também relacionados a um maior ou menor grau de suscetibilidade à

vegetação e micro-organismos. Atenção a esses aspectos podem auxiliar em um plano de extirpação de espécimes, especialmente os classificados como alto ou médio impacto.

O conjunto de informações desta pesquisa atenta para a importância de se reconhecer adequadamente os materiais construtivos e principais agentes de biodeterioração nas fortificações portuguesas da Amazônia.

Diante do cenário encontrado pelos colonizadores europeus na região, observar a imponência e sabedoria aplicada desde a escolha do local para a construção desses monumentos da engenharia militar, bem como a retirada e manuseio dos materiais disponíveis reforçam a relevância da pesquisa e sua perspectiva de continuidade que visa em uma instância mais abrangente, estratégias para otimizar tempo e recursos na sua conservação e manutenção preventivas.

Pode-se assim, subsidiar processos de restauração mais abrangentes, ao se constatar as condições de vulnerabilidade e a quantidade de monumentos já desaparecidos ou em ruínas. Da mesma forma que certamente foi um desafio estabelecer essas construções na Amazônia no passado, também hoje continua sendo um desafio preservá-las e utilizá-las com parcimônia e sabedoria.

REFERÊNCIAS

- Aina V.O., Adewumi A. A. J., Haruna H., Zakari A. 2011. Isolation and identification of fungi associated with the deterioration of painted wall surfaces within Kaduna Polytechnic, *Asian J. Med. Sci.* **3** (6): 250-253.
- Albuquerque M., Lucena V. 2010. Arqueologia amazônica: o potencial arqueológico dos assentamentos e fortificações de diferentes bandeiras. In: *Arqueologia Amazônica* Pereira E., Guapindaia V. Belém: MPEG; IPHAN; SECULT, p. 968-1019.
- Albuquerque, M. 2008. Arqueologia da Fortaleza de São José de Macapá. Rio de Janeiro, *Revista da Cultura*, **8** (14): 40-46.
- Alcântara, D. Alcântara, P. 1978. *Relatório sobre a Fortaleza de São José de Macapá*. Macapá: Governo do Território Federal do Amapá.
- Allison M.A., Lee M. T. 2004. Sediment exchange between Amazon mudbanks and shore-fringing mangroves in French Guiana. *Marine Geology*, **208**: 169-190.
- Allison M.A., Lee M.T., Ogston, A.S., Aller R.C. 2000. Origin of Amazon mudbanks along the northeastern coast of South America. *Marine Geology* **163**: 241-256.
- Allsopp D., Seal K. 1986. *Introduction to Biodeterioration*. London, Edward Arnold, 136 p.
- Allsopp D., Seal K.J., Gaylarde C.C. 2004. *Introduction to Biodeterioration*, 2. ed., Cambridge University Press, Londres.
- Anthony E. J., Gardel A., Proisy C., Fromard F., Gensac E., Peron C., Walcker R., Lesourd S. 2013. The role of fluvial sediment supply and river-mouth hydrology in the dynamics of the muddy, Amazon-dominated Amapá-Guianas coast, South America: A three-point research agenda. *Journal of South American Earth Sciences*, **44**: 8-24.
- Antonelli F., Cancelliere S., Lazzarini L. 2002. Minerero-petrographic characterisation of historic bricks in the Arsenale, Venice. *Journal of Cultural Heritage*, **3**: 59-64.
- Antonelli F., Lazzarini L. 2010. Mediterranean trade of the most widespread Roman volcanic millstones from Italy and petrochemical markers of their raw materials. *Journal of Archaeological Science*, **37**: 2081-2092.
- Antonelli F., Lazzarini L., Cancelliere, S., Dessandier D. 2009. Volubilis (Meknes, Morocco): Archaeometric study of the white and coloured marbles imported in the Roman age. *Journal of Cultural Heritage*, **10**:116-123.
- Antonelli F., Lazzarini L., Luni M. 2005. Preliminary study on the import of lavic millstones in Tripolitania and Cyrenaica (Libya). *Journal of Cultural Heritage*, **6**: 137-145.
- Antonelli F.; Lazzarini L., Calogero S., Bertelle M. 2000. Mössbauer study of some coloured marbles (cipollino mandolato, rosso antico and fior di pesco): implications on the nature of their colour. *Journal of Cultural Heritage*, **1**: 429-444.
- Araújo R. M. 1998. *As cidades da Amazônia no século XVIII: Belém, Macapá e Mazagão*. Lisboa/Porto, FAUP Publicações, 357 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2005. *NBR 15270-3: Blocos cerâmicos de vedação: especificações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2005. *NBR 15310: Componentes cerâmicos -Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaios*. Rio de Janeiro.

- Baena A.L.M. 2004. *Ensaio corográfico sobre a Província do Pará*. Edições Senado Federal/Conselho Editorial, Brasília, 432 p.
- Barbosa Vieira. 1953. *Forte do Castelo: sua breve história*. Belém, [s.e.].
- Barnett H. L., Hunter, B. B. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Minneapolis, fourth ed. Burgeis. Pub. Com.
- Barreto A. 1958. *Fortificações no Brasil - Resumo Histórico*. Biblioteca do Exército Editora, Rio de Janeiro, 368 p.
- Barreto A. *Fortificações do Brasil*. 2010. Rio de Janeiro, Biblioteca do Exército, 2. ed., 208p.
- Belidor B. F. 1830. *La Science dès ingeniers– Dan La conduit dès travaux de fortification et d'Architecture Civile*. Paris, Chez Firmin Didot Frères, Libraires. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books>>. Acesso em: dez. 2013.
- Bidner T., Lanz, B., Mitterer S., Recheis A., Hauser W. Franzen C., Mirwal P.W. Material properties, room-climate measurements and building history an interdisciplinary project to set the conditions of restoration and re-use for the fortress of Kufstein, Tyrol, Austria. 2003. *Building and Environment*, **38**: 1133-1141.
- Borges, C.; Santos Silva, A.; Veiga, R. 2014. Durability of ancient lime mortars in humid environment. *Construction and Building Materials*, **66**: 606-620.
- Boza H. S., Sorí D. A., Pérez A. C. 2008. Las plantas y el deterioro de edificaciones no patroniales Del Centro Histórico de La habana Vieja. *Revista Del Jardín Botánico Nacional*, **29**:145-150.
- Calliari I.; Canal E.; Cavazzoni S., Lazzarini L. 2001. Roman bricks from the Lagoon of Venice: a chemical characterization with methods of multivariate analysis. *Journal of Cultural Heritage*, **2**: 2-29.
- Calogero S., Bertelle M.; Antonelli F.; Lazzarini L. A. Mössbauer study of some coloured marbles (cipollino mandolato, rosso antico and fior di pesco): implications on the nature of their colour. 2000. *Journal of Cultural Heritage*, **1**: 429-444.
- Camilo J. 2008. Homens e pedras no desenho das fronteiras amazônicas (1764/1782). In: Congresso Internacional Espaço Atlântico de Antigo Regime: poderes e sociedades. *Anais*.
- Cardiano P., Ioppolo S., De Stefano A.C. 2004. Pettignano, S. Sergi, P. Piraino. Study and characterization of the ancient bricks of monastery of San Filippo di Fragalà in Frazzanò (Sicily). *Analytica Chimica Acta*, **519**: 103-111.
- Castro A. H. F. O fecho do Império: História das Fortificações do Cabo Norte ao Amapá de Hoje. In: Gomes F.S. (Org.). *Nas Terras do Cabo Norte: Fronteiras, Colonização e Escravidão na Guiana Brasileira – Séculos XVIII/XIX*. Belém, Editora Universitária/UFGPA, 1999, p.129-193.
- Chen J., Blume H. P., Beyer, L. 2000. Weathering of rocks induced by lichen colonization: a review. *Catena* **39**:121-146.
- Costa J. M., Pietrobom M. R. 2010. Samambaias e licófitas do Parque Ecológico do Gunma, município de Santa Bárbara do Pará, estado do Pará, Brasil. *Rodriguésia*, **61**, 223-232.
- Costa M. L., Behling H., Suguio K., Kaempf N., Kern D. C. 2009. Paisagens Amazônicas sob a ocupação do homem pré-histórico: uma visão geológica. In: Teixeira W., Madari B., Bentes V. M., Kern D. C., Falcão N. (org.). *As terras pretas de índio: caracterização e manejo para formação de novas áreas*. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental. v. 1, p. 15-38.

- Costa M. L., Sanjad T. A. B. C., Paiva R. 2013. The mineralogy and chemistry of the German and Portuguese tiles used to face a historic building in the Amazon region and their natural susceptibility to tropical weathering. *Acta Amazonica*, **43**: 323-330.
- Costa, A. G. 2009. *Rochas e Histórias do Patrimônio Cultural do Brasil e de Minas*. Rio de Janeiro, Bem-Te-Vi, 292 p.
- Costa, M. L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Rev. Brasileira de Geociências*, **21** (12): 146-160.
- Coutinho M. L., Miller A. Z., Macedo M. F. 2015. Biological colonization and biodeterioration of architectural ceramic materials: an overview. *Journal of Cultural Heritage*, **16**: 759-77.
- Cruxen E. 2011. A arquitetura militar portuguesa no período de Expansão Ultramarina e suas origens medievais. *Aedos*, 113-129.
- Cultrone G., Sidraba I., Sebastián E. Mineralogical and physical characterization of the bricks used in the construction of the Triangul Bastion, Riga (Latvia). 2005. *Applied Clay Science*, **28**: 297-308.
- De Hoog G. S., Guarro J. 1995. *Atlas de Clinical Fungi*. Virgili, Centraalbureau voor Schimmelcultures, 720p.
- De La Torre M. A., Gomez-Arlacon G., Vizcaino C., Garcia M. T. 1993. Biochemical mechanisms of stone alteration carried out by filamentous fungi living in monuments. Kluwer Academic Publishers. *Netherlands Biogeochemistry*, **19**: 129-147.
- De Vecchi G., Lazzarini L., Lünel T., Mignucci A., Visona D. 2000. The genesis and characterisation of 'Marmor Misium' from Kozak (Turkey), a granite used in antiquity. *Journal of Cultural Heritage*, **1**: 145-153.
- Degryse P., Elsen J., Waelkens M. 2002. Study of ancient mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation. *Cement and Concrete Research*, **32**: 1457-1463.
- Derenji J. S. 2001. As cidades da rede de defesa interna da Amazônia. Óbidos, Santarém e Manaus. In: Colóquio Internacional Universo Urbanístico Português 1415-1822, Lisboa. *Anais*. 481-496.
- Dias S.C. G. 2010. Forte do Presépio: Espaço, Memória Educação e Tecnologia. In: 6º Seminário Regional de Cidades Fortificadas e Primeiro Encontro Técnico de Gestores de Fortificações. *Anais*.
- Dionísio A., Braga, M.A.S., Waerenborgh, J.C. 2009. Clay minerals and iron oxides-oxyhydroxides as fingerprints of fi ring effects in a limestone monument. *Applied Clay Science* **42**: 629-638.
- Domsch, K. H., Gams W., Anderson T. 1980. *Compendium of Soil Fungi*. New York, Academic Press Inc. 859 p.
- Ehling A., Bowitz J. 2009. Building sandstones in Germany - historical use and modern analytical methods. *Geologia*, **16**: 112-113.
- Ellis M. B. 1976. More Dematiaceous Hyphomycetes. *Commonwealth Mycological Institute*. 507p.
- Elsen J. Microscopy of historic mortars-a review. 2006. *Cement and Concrete Research*, **36**: 1416-1424.

- Embrapa. 1988. Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo: métodos usados na Embrapa solos. *Documentos*, **3**: 5.35.
- Fabrizi B.; Guidotti C.R. *Il restauro della ceramica*. Firenze, Nardini Editore, 1993. 213p.
- Fazio A. T.; Cavicchioli A.; Penna D. S.A.; Chambergo F. S.; Faria D.L.A. 2015. Towards a better comprehension of biodeterioration in earthen architecture: Study of fungi colonisation on historic wall surfaces in Brazil. *Journal of Cultural Heritage*, **16**: 934-93.
- Ferreira A. M. M. 2005. Fortificações Portuguesas na Cartografia Manuscrita do Brasil. Rio de Janeiro. *Revista URBANismo*, **6**. Disponível em <<http://revistas.ceurban.com/numero6/artigos/arnaldomedeiroferreira.htm>>. Acesso em: ago. 2011.
- Ferreira A. R. 1970. *Viagem Filosófica às Capitanias do Grão-Pará, Rio Negro, Mato Grosso e Cuiabá*. São Paulo, Gráficos Brunner Ltda, v. 1, 73 p.
- Ferreira, A. M. M. 2004. *Fortificações Portuguesas no Brasil*. Lisboa, Elo-Publicidade, Artes Gráficas, SA, 144 p.
- Finlay A. J., McComish J. M., Ottley C. J., Bates C. R., Selby D. 2012. Trace element fingerprinting of ceramic building material from Carpow and York Roman fortresses manufactured by the VI Legion. *Journal of Archaeological Science*, **39**: 2385-2391.
- Fonseca A. J., Pina F. Macedo M. F., Leal N., Romanowska-Deskins A., Laiz L., Gómez-Bolea A., Saiz-Jimenez C. 2010. Anatase as an alternative application for preventing biodeterioration of mortars: Evaluation and comparison with other biocides. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **6** (4): 388-396.
- Frank-Kamenetskaya O.V.; Vlasov D. Y., Egorova V.V., Karpenkov E.M., Rytikova V. V. 2009. Creation of the database on a state of Saint Petersburg stone monuments on the basis of complex monitoring results. *Geologia*, **16**: 116-117.
- Galindo J., Paredes J., Muñoz A. 2009. Estudio y caracterización de los ladrillos de un puente histórico em Buga (Valle Del Cauca). *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, **48**:130-140.
- Garrido C.M. 1940. Fortificações do Brasil. In: *Separata do Vol. III Subsídios para a História Marítima do Brasil*. Imprensa Naval, Rio de Janeiro.
- Gleize P. J. P., Nappi S., Silva D.A. 1999. Caracterização e Microestrutura de Revestimentos de Argamassa do Palácio Cruz e Souza de Florianópolis-SC. In: 3º Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1999. *Anais*. v. 2, p. 645-659.
- Gorbushina A.A., Heyrman J., Dornieden T., Gonzalez-Delvalle, Krumbein W E.; Laiz, Leonila; Petersen K., Saiz-Jimenez C., Swings J. 2004. Bacterial and fungal diversity and biodeterioration problems in mural painting environments of St. Martins church Greene-Kreiansen, Germany. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **53**: 13-24.
- Götze J., Siedel H. 2004. Microscopic scale characterization of ancient building sandstones from Saxony (Germany). *Materials Characterization*, **53**: 209-222.
- Grbić M.V.L., Vukojević J. B. 2009. Role of fungi in biodeterioration process of stone in historic building. *Proc. Nat. Sci.*, **116**: 245-251.
- Grbić M.V.L., Vukojević J. B., Simić G. S., Krizmanić J., Stupar M. 2010. Biofilm forming cyanobacteria, algae and fungi on two historic monuments in Belgrade, Serbia. *Arch. Biol. Sci., Belgrade*, **62** (3): 625-631.

- Griffin P. S., Indictor N., Koestler R.J. 1991. The Biodeterioration of Stone: a Review of Deterioration Mechanisms, Conservation Case Histories, and Treatment. *International Biodeterioration*, **30**: 187-207.
- Guerra A. T. 1951. Alguns aspectos geomorfológicos do litoral amapaense. *Boletim Geográfico*, **98**:167-178.
- Guerra A. T. 1952. Contribuição ao estudo da geologia do Território Federal do Amapá. *Revista Brasileira de Geografia*, **1**: 3-26.
- Guillitte O. 1995. Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies, *Sci. Total Environ.*, **167**: 215-220.
- Guillitte O., Dreesen R. 1995. Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building materials. *Sci. Total Environ.*, **167**: 365-374.
- Guizzardi M., Carmeliet J., Derome D. 2015. Risk analysis of biodeterioration of wooden beams embedded in internally insulated masonry walls. *Construction and Building Materials* **99**: 59-168.
- Herrera L. K., Videla H. A. 2004. The importance of atmospheric effects on biodeterioration of cultural heritage constructional materials. *Int. Biodeter. Biodegr.*, **54**:125-134.
- ICOMOS, ISCS. 2008. *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*. Champigny/Marne: Ateliers 30 Impression, 86 p.
- IPNI. 1998. *Manual Internacional de Fertilidade do Solo*. Piracicaba: Potafos, 177 p. il.
- Jeannete D. 1997. Importance of the pore structures during the weathering process of Stones in monuments. In: PAQUER H., CLAUER N. (Eds.). *Soils and sediments mineralogy and geochemistry*. Alemanha, Springer, p. 177-190.
- Jesus J. A., Batista J. R., Melo A. V. S. 2010. Crescimento de mudas de plantas ornamentais em diversos substratos compostos com resíduos sólidos da construção civil. In: 5º Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica.
- John V. M. 1987. Avaliação da durabilidade de matérias componentes e edificações: emprego do Índice de Degradação. MS Dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 115 p.
- Jurado V., Miller A. Z., Cuezva S., Fernandez-Cortes A., Benavente D., Rogerio-Candelera M.A., Reyes J., Cañaveras J. C., Sanchez-Moral S., Saiz-Jimenez C. 2014. Recolonization of mortars by endolithic organisms on the walls of San Roque church in Campeche (Mexico): A case of tertiary bioreceptivity. *Construction and Building Materials*, **53**: 348-359.
- Kanan M.I. 2008. *Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal*. Brasília, Iphan, Programa Monumenta. 172 p.
- Klemm D.D., Klemm R. 2001. The building stones of ancient Egypt – a gift of its geology. *African Earth Sciences*, **33**: 631-642.
- Korkanç, M.; Savran, A. 2015. Impact of the surface roughness of stones used in historical buildings on biodeterioration. *Construction and Building Materials*, **80**: 279-294.
- Kramer, K. U., Green, P. S. 1990. Pteridophytes and gymnosperms. In: Kubitzki K. (ed.). *The Families and Genera of Vascular Plants*. Berlin, Springer-Verlag, v.1.
- Kylili A., Fokaides P.A., Christou P., Kalogirou S.A. 2014. Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. *Applied Energy*, **134** (1): 531-549.

- Labiadh M. R., O. M. B., Hajjem B. T., Mensi R. 2009. Characterization of waterproof-covering mortars on Ottoman monuments of “Ghar El Melh ” (Tunisia). *Construction and Building Materials*, 423-433.
- Labiak, P. H., Prado J. 2005a. As espécies de Lellingeria A.R Sm. & R.C. Moran (Grammitidaceae – Pteridophyta) do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, **28** (1):1-22.
- Labiak, P. H., Prado J. 2005b. As espécies de Terpsichore A.R. Sm. e Zygophlebia L.E. Bishop (Grammitidaceae) do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, **19** (4): 867-887.
- Lacaz S. C., Porto E., Heins-Vaccari M. E., Mello T. N. 1998. *Guia para Identificação: Fungos, Actinomicetos e Algas de Interesse Médico*. São Paulo, Ed. Sarvier, 445p.
- Lazzarini L., Borrelli E., Bouabdelli M., Antonelli F. 2007. Insight into the conservation problems of the stone building “Bab Agnaou”, a XII cent. Monumental gate in Marrakech (Morocco). *Journal of Cultural Heritage*, **8**: 315-322.
- Lazzarini L., Calliari I., Canal E., Cavazzoni S. 2001. Roman bricks from the Lagoon of Venice: a chemical characterization with methods of multivariate analysis. *Journal of Cultural Heritage*, **2**: 2-29.
- Lisci M., Monte M., Pacini E. 2003. Lichens and higher plants on stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **51**: 1-17.
- Lopes C.V.G., Carvalho F.J. P. de C., Krieger N. 2003. Deterioração: ataque de microorganismos a monumentos históricos. *Ciência Hoje*, **34**: 34-39.
- Lopez-Arce P., Garcia-Guinea J. 2005. Weathering traces in ancient bricks from historic buildings. *Building and Environment*, **40**: 929-941.
- Lorenzi H. 2000. *Plantas daninhas do Brasil: Terrestres, Aquáticas, Parasitas e Exóticas*. São Paulo, Ed. Nova Odessa, Plantarum. 608 p.
- Lorenzi H. 2012. *Botânica Sistemática*. 3.ed. São Paulo, Ed. Nova Odessa, Plantarum. 768 p.
- Lorenzi H. 2008. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 5.ed. São Paulo, Ed. Nova Odessa, Plantarum. v.1. 368p.
- Loureiro A. M. S., Angélica R. S., Sanjad T.AB.C., Oliveira M.M., Costa M. L. 2015. Eflorescência salina na igreja de Santo Alexandre, Belém-PA. *Ambiente Construído*, **15** (3): 71-83.
- Luca A., Mohanu D. 2009. Use of the petrographic criteria for the comparative studies of fresco mortars at the “Doamnei” Church (Bucharest, Romania). *Geologia*, **16**: 122-124.
- Maciel S. 2016. Nephrolepis (Lomariopsidaceae–Polypodiopsida) na Amazônia brasileira. *Rodriguésia*, **67** (1): 77-84.
- Magalhães M.P. 2006. Arqueologia na Fortaleza de São José de Macapá. *Bol. Mus. Para*, **1** (3): 33-59.
- Manso S., Mestres G., Ginebra M. P., De Belie N., Segura I., Aguado A. Development of a low pH cementitious material to enlarge bioreceptivity. *Construction and Building Materials*, **54**:485-495.
- Maravelaki-Kalaitzaki P., Bakolas A., Moropoulou A. 2003. Physico-chemical study of Cretan ancient mortars. *Cement and Concrete Research*, **33**: 651-661.

- Marques F.L.T. 2006. Investigação arqueológica na Feliz Lusitânia. In: Secretaria Executiva de Cultura do Estado do Pará (Org.). *Feliz Lusitânia/Forte do Presépio - Casa das Onze Janelas - Casario da Rua Padre Champagnat*. 1 ed. Belém, Secult, v. 4, p. 147-187.
- Marques F.L.T., 2008. *Acompanhamento Arqueológico das Escavações de Prospecção das Fundações das Estruturas do Forte Príncipe da Beira*: Relatório de Pesquisa submetido à 16ª SR do IPHAN. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi.
- Marques F.L.T., Leite Filho D. 2009. Arqueologia em fortificações na fronteira oeste da Amazônia colonial: possibilidades de pesquisa também enquanto espaços de contatos interétnicos. In: 1º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira. *Anais*.
- Matovic V., Suzana E., Kremenovic A., Colomban, P., Sreckovic-Batocanin D., Matovic N. 2012. The origin of syngenite in black crusts on the limestone monument King's Gate (Belgrade Fortress, Serbia) – the role of agriculture fertiliser. *Journal of Cultural Heritage* **13**: 175-186.
- Maurenbrecher A.H.P. 2004. Mortars for repair of traditional masonry. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, **9** (2): 62-65.
- Meira Filho A. 2015. *Evolução histórica de Belém do Grão-Pará: fundação e história 1616-1823*. Organização Márcio Meira. 2ª Ed. Belém: M2P Arquitetura e Engenharia, 580 p, 2015.
- Mendonça M. C. 1988. *A Amazônia na era pombalina: correspondência do Governador e Capitão-General do Estado do Grão-Pará e Maranhão, Francisco Xavier de Mendonça Furtado: 1751-1759*. 2. ed. Brasília, Senado Federal, Conselho Editorial, 3 v., p. 519-522.
- Meola C., Maio R. D., Roberti N., Carlomagno G. M. 2005. Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures. *Engineering Failure Analysis*, **12**(6): 875-892.
- Miller A. Z., Coutinho M. L., Macedo M. F. 2015. Biological colonization and biodeterioration of architectural ceramic materials: an overview. *Journal of Cultural Heritage*, **16**: 759-77.
- Miller A. Z., Dionísio A., Laiz L., Macedo M. F., Saiz-Jimenez C. 2009. The influence of inherent properties of building limestones on their bioreceptivity to phototrophic microorganisms. *Annals of Microbiology*, **59**:705-713.
- Miller A.Z., Sanmartín P., Pereira-Pardo L., Dionísio A. 2012. Saiz-Jimenez C., Macedo M.F., Prieto B. Bioreceptivity of building stones: A review. *Science of the Total Environment*, **426**: 1-12.
- Morillas H., García-Galan J., Maguregui M., García-Florentino C., Marcaida I., Carrero J. A., Madariaga J. M. 2016. In-situ multianalytical methodology to evaluate the conservation state of the entrance arch of La Galea Fortress (Getxo, north of Spain). *Microchemical Journal*, **128**: 288-296.
- Moropoulou A., Cakmak A. S., Lohvyn N. 2000. Earthquake resistant construction techniques and materials on Byzantine monuments in Kiev. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **19**: 603-615.
- Mouga T., Proença N. 2002. Metodologias de controlo da flora infestante de monumentos: O caso da Porta Especiosa da Sé Velha de Coimbra. *Ciência e Técnicas Aplicadas ao Património*, **3**.
- Norat, R. 1999. *Fortaleza de São José de Macapá: restauração 1997/1999*. Macapá: Governo do Amapá. (Relatório).

- Norat, R., Costa M.L. 2013. Materiais Construtivos Empregados em Fortificações da Amazônia. In: 1º Congresso de História da Construção Luso-Brasileira, Vitória. *Anais*.
- Norat, R., Costa M.L. 2016. A linha de defesa do rio-mar: perdas e transformações da engenharia militar em Belém/PA (Brasil). In: Congresso Ibero-Americano Patrimônio, suas matérias e imatérias, Lisboa. *Anais*.
- Nunes, A. L. P. 1983. *As Fortalezas de Transição nos Cartógrafos do Séc. XVI*. Segundo Congresso sobre monumentos militares portugueses. Lisboa, Associação Portuguesa de Protecção e Desenvolvimento da Cultura.
- Nunes, A. L. P. 2005. *Dicionário de Arquitectura Militar*. Casal de Cambra, Caleidoscópico – Edição e Artes Gráficas, 261 p.
- Nunes, J. M. S. 1985. *Real Forte Príncipe da Beira*. Rio de Janeiro, Fund. Emílio Odebrecht, Spala Editora, 375 p.
- Oliveira J.L. 1968. Fortificações da Amazônia. in: Rocque C. (org.). *Grande Enciclopédia da Amazônia* (6 v.). Belém do Pará, Amazônia Editora Ltda.
- Oliveira M. M. 2004. *As fortificações portuguesas de Salvador quando Cabeça do Brasil*. Salvador, Omar G.; Fundação Gregório de Mattos. v. 1. 264 p.
- Oliveira M. M. 2006. Memória para Intervenção na Bateria do Castelo. In: Secult (Org.). *Feliz Lusitânia/Forte do Presépio - Casa das Onze Janelas - Casario da Rua Padre Champagnat*. 1 ed. Belém, Secult, v. 4, p. 71-99.
- Oliveira M. M. 2008. *As Fortalezas e a Defesa de Salvador*. Brasília, Iphan/Programa Monumenta, p. 228.
- Özkaya Ö.A., Böke H. 2009. Properties of Roman bricks and mortars used in Serapis temple in the city of Pergamon. *Materials Characterization*, 60: 995-1000.
- Pandey A. K., Shrivastav A., Bhatnagar P., Sarsaiya S., Awasthi M.K. 2011. Diversity of monument deterioration-causing fungi at gwalior fort (M.P.) India. *Annals of Environmental Science*, 5: 35-40.
- Park H.D., Shin G.H. 2009. Geotechnical and geological properties of Mokattam limestones: Implications for conservation strategies for ancient Egyptian stone monuments. *Engineering Geology*, 104: 190-199.
- Pérez A.C., Roque R.R. 2008. Plantas epilíticas del Castillo de La Fuerza em El Centro Histórico de La Habana Vieja. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 27: p.61-64.
- Pérez, A. C. 2010. Plantas epilíticas deteriorantes de la Fortaleza San Carlos de la Cabaña. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 30-31.
- Prado J. 2005. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil: Pteridophyta – Polypodiaceae. *Rodriguésia*, 56: 76-84.
- Prado J. Pteridaceae. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB92006>>. Acesso em: 25 jan. 2016.
- Prado J., P. H. Labiak. 2005. Flora da reserva Ducke, Amazonas, Brasil: Pteridophyta – Vittariaceae. *Rodriguésia*, 56: 108-113.
- Prado J., R. C. Moran. 2008. Revision of the neotropical species of *Triplophyllum* (Tectariaceae). *Brittonia*, 60: 103-130.

- Prieto B., Silva B. 2005. Estimation of the potential bioreceptivity of granitic rocks from their intrinsic properties. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **56** (4): 206-215.
- Quagliarini E., Esposito E., del Conte A. 2013. The combined use of IRT and LDV for the investigation of historical thin vaults. *Journal of Cultural Heritage*, **14** (2):122-128.
- Reis A.C.F. 1956. O estado das fortificações da Amazônia na quinta década do século XVIII. *Revista do Patrimônio e Artístico Nacional*, **13**: 241-353.
- Reyes-Zamudio V., Angeles-Chávez C., Cervantes J. 2010. Clay minerals in historic buildings. *Akademiai Kiado: J Therm Anal Calorim DOI*.
- Rodrigues S. F. S., Costa M. L., Kern, D., Pöllmann H. K., Silveira M. I.; Kipnis R. 2015. Pre-historic production of ceramics in the Amazon: Provenience, raw materials, and firing temperatures. *Applied Clay Science*, **107**:145-155.
- Rodrigues, J. D., Costa D. (Ed). 1996. *Conservation of granitic rocks*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Sanjad T.A. Caminha A., Simões R., Oliveira M. M., Costa W.A.M. 2004. Caracterização mineralógica de azulejos de Salvador e Belém dos séculos XVI, XVII e XIX. *R. Esc. Minas, Ouro Preto*, **57**(4): 255-260.
- Sanjad T.A., Costa M.L., Paiva R.S., Palácios F. O. 2014. Ação microbiológica nos azulejos históricos das fachadas em Belém, região amazônica. *Revista do Programa de Pós-Graduação em Artes*, **4** (8):124-133.
- Santiago C.C. 2007. *Argamassas tradicionais de cal*. Disponível em <<http://books.scielo.org>>. Acesso em: mai. 2014.
- Santiago, C.C.; Oliveira, M. M. 1988. *Estudo de Degradação Biológica de um Mural*. *Revista de Arquitetura e Urbanismo*, **1** (1): 53-72.
- Santiago, C.C.; Oliveira, M. M. 1994. *Comentários sobre a Fortificação Portuguesa no Brasil, especialmente o caso de Salvador*. Padrão, Salvador: Consulado Português, v. 1, n.n.3, p. 11-15.
- Santos P. de S. 1989. *Ciência e Tecnologia de Argilas*. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltd., 2. ed. rev. amp., v.1, 499p
- Santos, L.C.A.N. 2013. A Arqueologia da Arquitetura e a produção de tijolo na Bahia do século XVI ao XIX. PhD *Thesis*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 433 p.
- Schueremans L., Cizer Ö., Janssens E., Serré G., Van Balen K. 2011. Characterization of repair mortars for the assessment of their compatibility in restoration projects: Research and practice. *Construction and Building Materials*, **25**: 4338-4350.
- Sharma K., Verma K.P., Motilal. 2011. Fungal Involvement in Biodeterioration of Ancient Monuments: Problem and Prospects. *Journal of Phytology*, **3**:15-17.
- Shepard F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sediment Petrology*, **24**(3): 151-158.
- Shirakawa M.A., Beech I.B., Tapper R., Cincotto M.A.; Gambale W. 2003. The development of a method to evaluate bioreceptivity of indoor mortar plastering to fungal growth. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **51**: 83-92.
- Shirakawa M.A., Monteiro M.B.B., Selmo S.S., Cincotto M.A. 1995. Identificação de Fungos em revestimento de argamassa com bolor evidente. *In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. *Anais*. p. 402-410.

- Silva A. Santos, Cruz T., Paiva M. J., Candeias A., Adriano P., Schiavon N., Mirão J. A. P. 2011. Mineralogical and chemical characterization of historical mortars from military fortifications in Lisbon harbour (Portugal). *Environ Earth Sci*, **63**:1641-1650.
- Silva B., Prieto B., Rivas T., Sanchez-Biezma M. J., Paz G., Carhallal R. 1997. Rapid biological colonization of a granitic building by lichens. *International Biodeteration and Biodegradation*, **40**:263-267.
- Silva M.E., Roeser H. M. P. Mapeamento de deteriorações em monumentos históricos de pedra-sabão em Ouro Preto. 2003. *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(4): 331-338.
- Silva M.G. 2012. Avaliação da incorporação combinada dos resíduos de cascalho de perfuração de poço petrolífero e de polimento do porcelanato em cerâmica vermelha. PhD Thesis, Centro de Ciências Exatas e da Terra, UFRN, Natal, 157f.
- Smith A. R., Pryer K. M., Schuettpelz E., Korall P., Schneider H., Wolf P. G. 2006. A classification for extant ferns. *Taxon* **55**: 705-731.
- Soares R.A.L., Castro R. J. S., Nascimento R.M. 2012. Estudo da potencialidade da aplicação de uma argila contaminada com calcário na produção de placas cerâmicas. *Cerâmica*, **58**: 475-480.
- Souza A.F. de. 1885. Fortificações no Brazil. *Revista do Instituto Histórico, Geographico e Ethnographico do Brazil. Tomo XLVIII, Parte II*, Rio de Janeiro, Typographia Universal de Laemmert & C.
- Souza M. A., Ribeiro D. V.; Santiago C. C. 2014. Propriedades das argamassas de propriedades das argamassas de cal com adição de grude de gurijuba (*Arius spp.*). In: 10º Fórum Ambiental da Alta Paulista. *Anais*. v. 10, n. 9, p. 1-15.
- Spectro. *User's Guide of Spectro ICP-OES*: manual do usuário, 1999.
- Teixeira M., Valla M. 1999. *O Urbanismo Português: Séculos XIII-XVIII, Portugal-Brasil*. Lisboa, Livros Horizonte.
- Teixeira, P. R. R. 2010. Forte do Presépio. *DaCultura*, **17** (10).
- Telles P. C. S. 1984. *História da Engenharia no Brasil (séculos XVI a XIX)*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos.
- Tomaselli L., Lamenti G., Bosco M., Tiano P. 2000. Biodiversity of photosynthetic microorganisms dwelling on stone monuments. *International Biodeteration and Biodegradation*, **46**:251-258.
- Tortora M., Sfarra S., Chiarini M., Daniele V., Taglieri G., Cerichelli G. 2016. Non-destructive and micro-invasive testing techniques for characterizing materials, structures and restoration problems in mural paintings. *Applied Surface Science*, **387** (30): 971-985.
- Tran T. H., Govin A., Guyonnet R., Grosseau P., Lors C., Garcia-Diaz E., Damidot D., Devès O., Ruot, B. 2012. Influence of the intrinsic characteristics of mortars on biofouling by *Klebsormidium flaccidum*. *Int. Biodeter. Biodegr.*, **70**: 31-39.
- Ugurlu E., Böke H. 2009. The use of brick–lime plasters and their relevance to climatic conditions of historic bath buildings. *Construction and Building Materials*, **23**, 2442-2450.
- Urosevic M.; Pardo E. Sebastián; Cardel C. 2011. Physical properties of carbonate rocks used as a modern and historic construction material in Eastern Andalusia, Spain. *Materiales de Construcción*, **61** (301): 93-114.

Us Epa. 1994. *Method 3051: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils*.

Van Balen K. Expert system for evaluation of deterioration of ancient brick masonry structures. 1996. *The Science of the Total Environment*, **189** (190): 247-254.

Vauban S.P. 1769. *Traité de la defense des places: ouvrage original de M. Le Maréchal de Vauban*. Paris. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=YaFTrvy-ZHEC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: jan. 2014.

Veiga M.R., Aguiar José.; Silva A. S., Carvalho F. 2004. *Conservação e Renovação de Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, p. 126.

Vianna A. 1905. As Fortificações da Amazônia. In: Vianna A. (ed.). *Annaes da Bibliotheca Archivo Publico do Pará*. Belém, Typ. e Encadernação do Instituto Lauro Sodré, Tomo Quatro, p. 227-293.

Videla, H. A. *Biocorrosão, Biofouling e Biodeterioração de Materiais*, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 2003.

Vieira C.M.F., Pinheiro R.M. 2011. Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 57: 319-323.

Vitrúvio. 2006. *Tratado de Architectura*. Tradução do latim: M. Justino Maciel (trad.), Thomas N. Howe (II). Lisboa, IST Press, 456 p.

Warscheid Th., Braams J. 2000. Biodeterioration of stone: a review. *Int. Biodeter. Biodegr*, **46**: 343-368.

Wilimzig M., Bock E. 1996. Attack of mortar by bacteria and fungi. In: Heitz E., Flemming H.C., Sand W. (Eds.). *Microbially Influenced Corrosion of Materials—Scientific and Engineering Aspects*. Heidelberg, Springer, p. 311-322.

Sites Pesquisados:

<http://www.google.com/earth/>

<http://fortalezas.org/index.php>

<http://peryserranegra.blogspot.com.br/2010/01/aerostacaoaviacao.html>

GLOSSÁRIO⁷

Baluartes: Elemento de uma obra fortificada, de desenho normalmente pentagonal, com forma de ponta de lança, conhecido também como bastião.

Bateria baixa: Bateria situada em plano inferior à principal.

Bateria: Local onde fica instalado um conjunto de canhões.

Calabouço: andar mais profundo de um castelo, geralmente utilizado como prisão, armazém ou porão.

Canhoneira: Abertura no parapeito de uma muralha, através da qual o canhão pode atirar. Conhecida também como troneira.

Casa do órgão. Ambiente onde se localizava o órgão, que se caracteriza como porta interna, a qual, recolhida, possibilitava o acesso ao interior da fortificação

Casamata: Espaço coberto com estrutura abobadada situada nos muros, e muitas vezes, nos flancos dos baluartes, para alojar peças de artilharia.

Contra escarpa: declive do fosso, oposto à escarpa, tendo no alto o caminho coberto.

Corpo da guarda: ambiente destinação à guarda.

Cortina: Trecho de muralha entre dois baluartes, que poderia ser protegido pelo tiro de flanco destes.

Escarpa: face interior do fosso perpendicular ao fundo.

Esplanada: declive suave que vai do parapeito do caminho coberto até o campo exterior, livre de obstáculos. O termo designa, por vezes, o recinto de um baluarte.

Estrada coberta ou caminho coberto: caminho no alto da contra escarpa, para além do fosso, destinado à circulação dos defensores, protegido por um reparo geral que servia de parapeito. São funções destes o caminho de ronda à volta do recinto fortificado, posição de infantaria para defesa avançada dos reparos, local de instalação de obstáculos de contra mobilidade, ponto de partida para uma incursão sobre os sitiados ou local de abrigo em caso de retirada.

Flanco ou través: parte do baluarte que liga a face à cortina e que tinha por função defender a cortina, o flanco e a face do baluarte oposto e o fosso.

Fortaleza abaluartada: fortificação adaptada à defesa contra armas de fogo, já desenvolvidas, que perdeu todas as características medievais e tem o baluarte como elemento caracterizante.

⁷ Desenvolvido especialmente com base em Nunes (2005) e Oliveira (2008).

Fortaleza: vasta e poderosa obra fortificada destinada a alojar uma guarnição e defender uma povoação e seus contornos.

Forte: pequena fortificação isolada que, podendo ser autônoma, depende muitas vezes de uma praça principal.

Fortificação: expressão genérica que designa todos os trabalhos e obras de defesa militar, de uma vasta área, de um país, de uma região ou de um local, podendo ainda ser tomada no sentido de ciência ou arte de fortificar.

Fortim: pequeno Forte.

Fosso ou cava: escavação em todo circuito da fortaleza ou só nas partes mais expostas que dificultava o acesso às entradas e a aproximação às muralhas. Podia ser seco (fosso seco) ou cheio de água (fosso hídrico ou aquático).

Guarita: pequeno elemento coberto que se destaca dos ângulos das cortinas e baluartes, para abrigo e defesa das sentinelas.

Ponte levadiça: Ponte móvel que pode ser levantada ou abaixada sobre um fosso ou espaço vazio, que permite o acesso à entrada de uma fortaleza.

Poterna: saída dissimulada que conduzia para fora da praça.

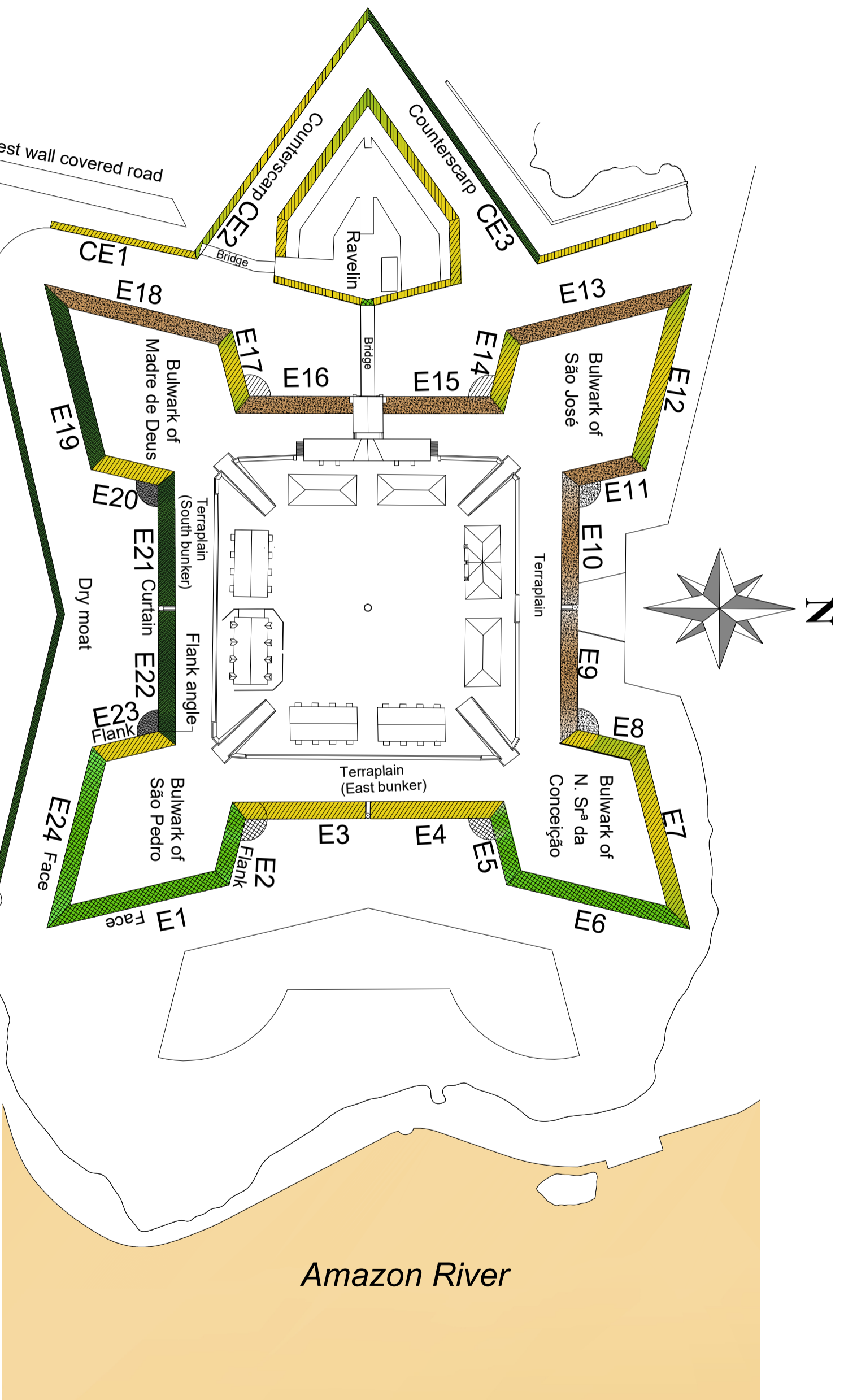
Redente: qualquer obra de fortificação em forma de ângulo saliente no traçado do polígono ou no exterior, que não apresente outra designação específica.





Revelim: obra exterior destinada a cobrir portas e cortinas, de forma triangular, podendo, ter flancos. A gola do revelim era normalmente a contra escarpa.

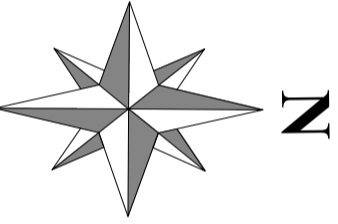
Terrapleno: Plataforma rasgada longitudinalmente no reparo e protegida pelo parapeito, destinando à manobra das bocas de fogo e ao movimento dos homens. Enchimento de terra compactado e regularizado.


APÊNDICES

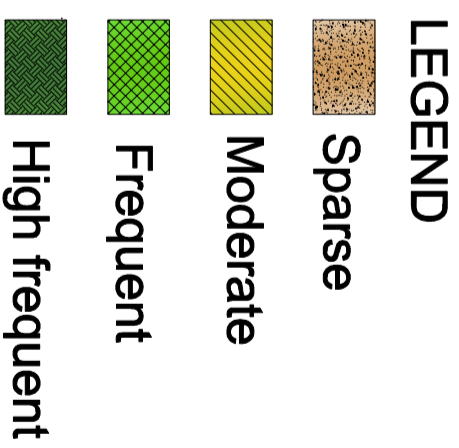
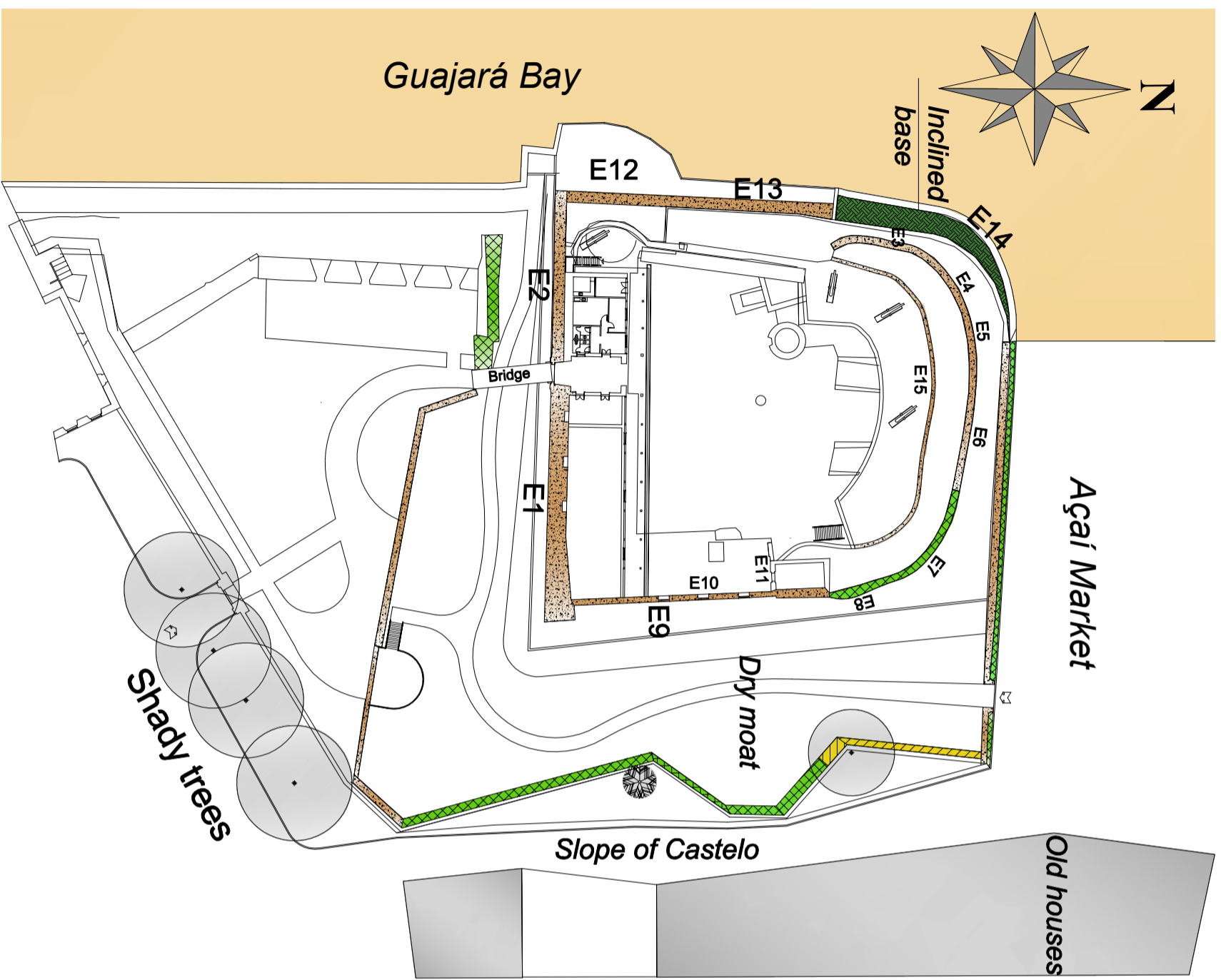
APÊNDICE A - CARTOGRAFIA




- LEGEND**
-  Sparse
 -  Moderate
 -  Frequent
 -  High frequent



		PPGG/IG	
		PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA	
MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ		CIDADE/MONUMENTO: MACAPÁ/AP	
ESPECIFICAÇÃO: PLANTA BAIXA - ORIENTAÇÃO/BIORECEPTIVIDADE			
DOUTORANDA: ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT		Nº: Nº 201301780004	
ORIENTADOR: PROF. DR. MARCONDES LIMA DA COSTA		CIDADE: BELÉM	
		ESTADO: PARÁ	
		DATA: FEVEREIRO/2017	
		ESCALA: 1/1250	
		PRONCIAN: 01	
		FOLHA: 01/02	



		PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA	
		MONUMENTO: FORTE DO CASTELO DO PRESÉPIO DE BELÉM	
DOUTORANDA: ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT		CIDADE/MONUMENTO: BELÉM/PA	
ORIENTADOR: PROF. DR. MARCONDES LIMA DA COSTA		ESCALA: 1/750	
PLANTA BAIXA - ORIENTAÇÃO/BIORECEPTIVIDADE		DATA: FEVEREIRO/2017	
Nº: Nº 201301780004		PRONCIAN: 02	
CIDADE: BELÉM		ESTADO: PARÁ	
Nº: 02/02		Página: 204	

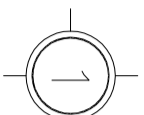
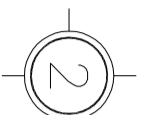
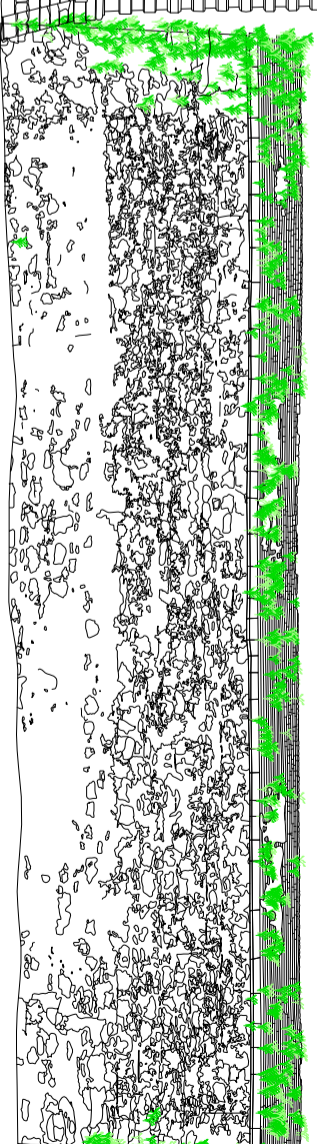
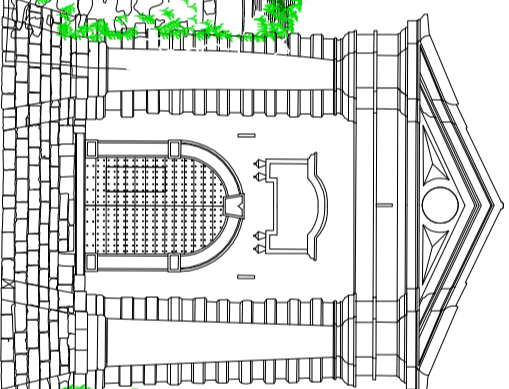
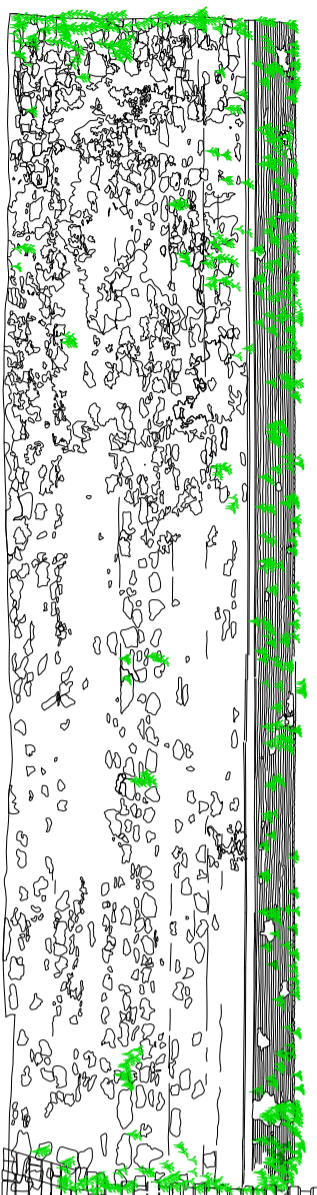
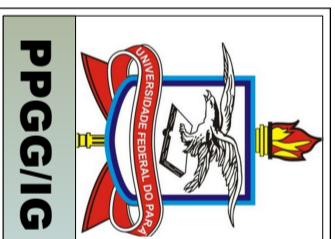


IMAGEM E15 E E16
ESC. 1:200

7.51



ELEVAÇÃO E15 E E16
ESC. 1:200



PESQUISA:
MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA

MONUMENTO:
FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ

ESPECIFICAÇÃO:
ELEVAÇÕES E15 E E16

DOUTORANDA:
ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT

ORIENTADOR:
PROF.º DR. MARCONDES LIMA DA COSTA

CIDADE: BELÉM

ESTADO: PARÁ

DATA: FEVEREIRO/2017

PROJECIONAMENTO: MACAPÁ/AP

ESCALA: 1/200

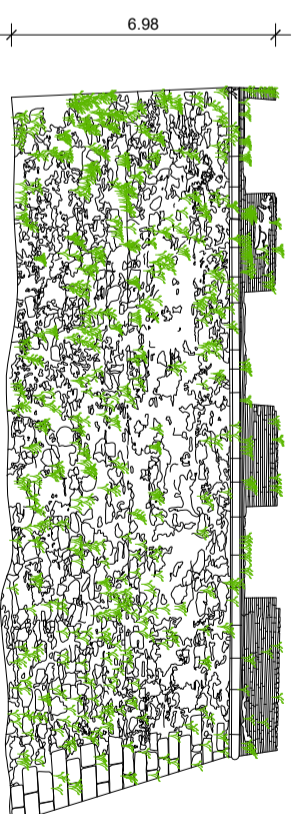
PROJECIONAMENTO: 01

PÁGINA: 206

01/15



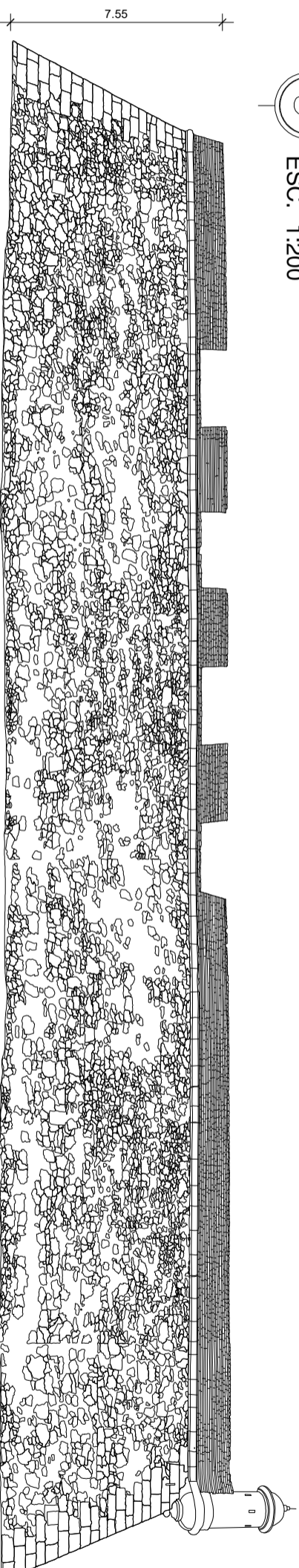
1
IMAGEM E17
ESC. 1:200




2
ELEVAÇÃO E17
ESC. 1:200



3
IMAGEM E18
ESC. 1:200



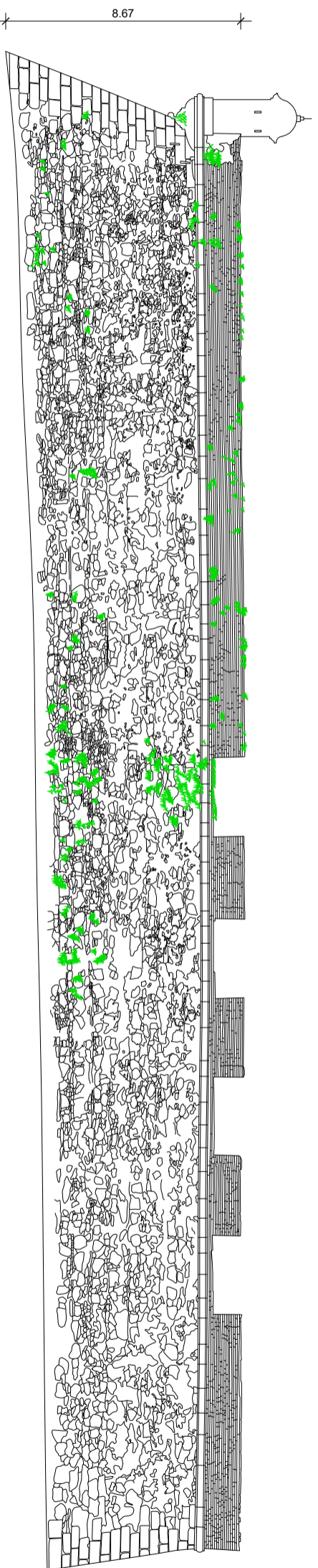
4
ELEVAÇÃO E18
ESC. 1:200

	
PESQUISA MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA	
MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ	
ESPECIFICAÇÃO: ELEVAÇÕES E17 E E18	
DOUTORANDA: ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT	
ORIENTADOR: PROFF. DR. MARCONDES LIMA DA COSTA	
CIDADE/MONUMENTO: MACAPÁ/AP	DATA: FEVEREIRO/2017
ESCALA: 1/200	PROJETAÇÃO: 02
ESTADO: PARÁ	PÁGINA: 206
BELEM	02/15

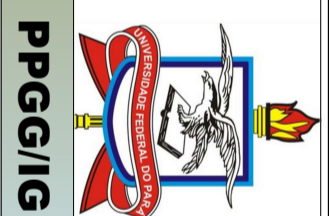
PPGG/IG



1
IMAGEM E19
 ESC. 1:200



2
ELEVAÇÃO E19
 ESC. 1:200



PESQUISA:
**MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO
 EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA**

MONUMENTO:
FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ

ESPECIFICAÇÃO:
ELEVAÇÃO E19

DOUTORANDA:
 ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT

ORIENTADOR:
 PROF.º DR. MARCONDES LIMA DA COSTA

CIDADE: BELÉM

ESTADO: PARÁ

DATA: FEVEREIRO/2017

PROJECIONAMENTO:
 MACAPÁ/AP

ESCALA: 1/200

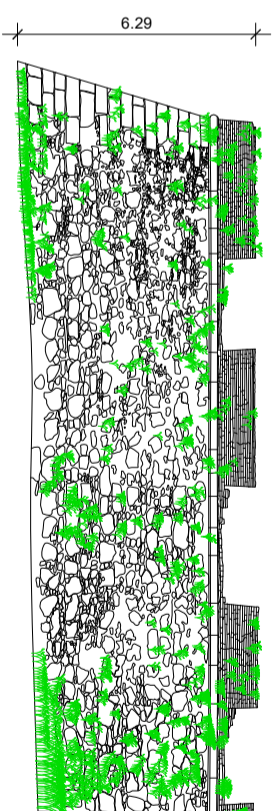
PROJECIONAMENTO:
 Nº 201301780004

PÁGINA:
03 / 207

03/15



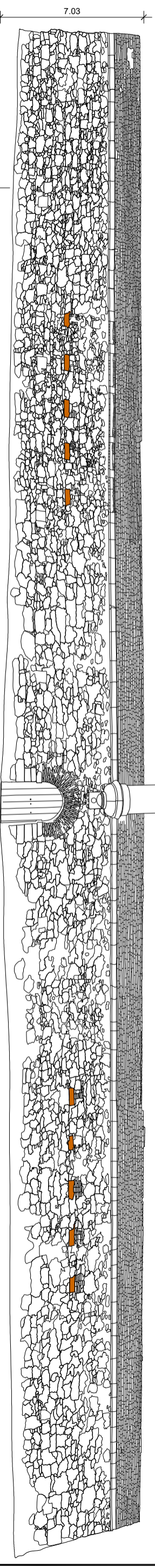
1
IMAGEM E20
ESC. 1:200



2
ELEVAÇÃO E20
ESC. 1:200



3
IMAGEM E20 E E21
ESC. 1:200

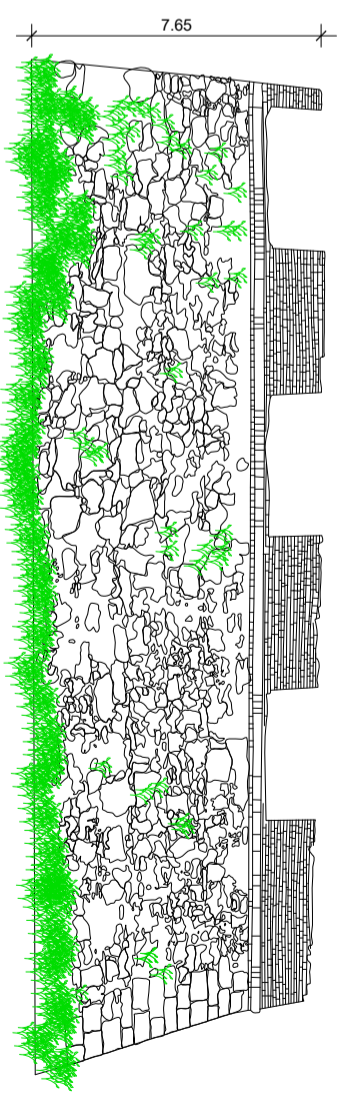


4
ELEVAÇÕES E20 E E21
ESC. 1:200

<p>PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA</p>			
<p>MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ</p>		<p>CIDADE/MONUMENTO: MACAPÁ/AP</p>	
<p>ESPECIFICAÇÃO: ELEVAÇÕES E20, E21 E E22</p>			
<p>DOUTORANDA: ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT</p>		<p>Nº: 201301780004</p>	
<p>ORIENTADOR: PROFº DR. MARCONDES LIMA DA COSTA</p>		<p>CIDADE: BELÉM</p>	
		<p>ESTADO: PARÁ</p>	
		<p>DATA: FEVEREIRO/2017</p>	
		<p>PRÓXIMA: 04</p>	
		<p>PÁGINA: 208</p>	
		<p>04/15</p>	



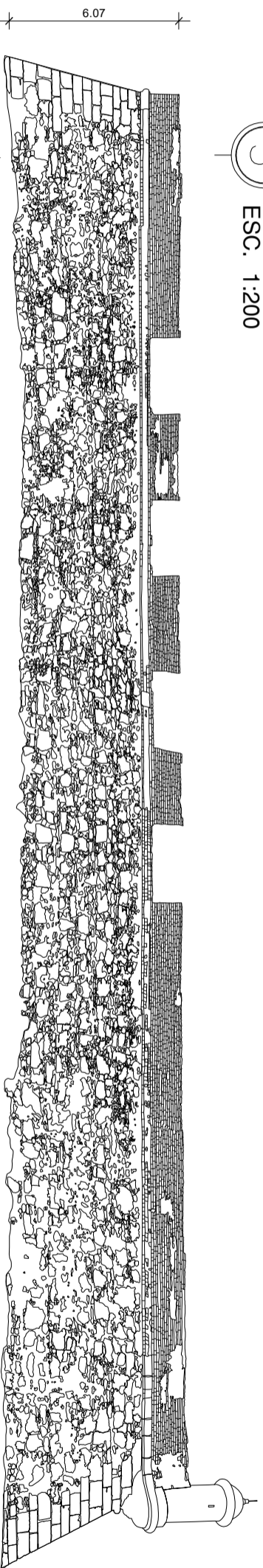
1
IMAGEM E23
 ESC. 1:200




2
ELEVAÇÃO E23
 ESC. 1:200



3
IMAGEM E24
 ESC. 1:200

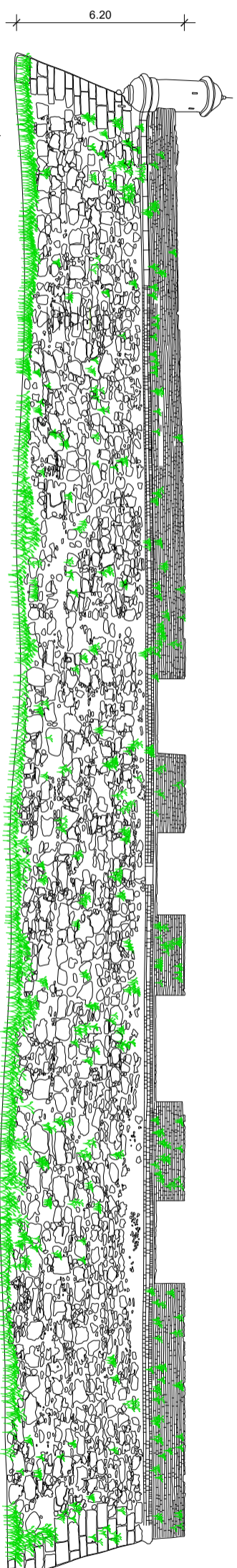


4
ELEVAÇÃO E24
 ESC. 1:200

	
PPEG/IG	
PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA	
MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ	
ESPECIFICAÇÃO: ELEVAÇÕES E23 E E24	
DOUTORANDA: ROSEANNE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT	Nº: Nº 201301780004
ORIENTADOR: PROF.º DR. MARCONDES LIMA DA COSTA	CIDADE: BELÉM
	ESTADO: PARÁ
DATA: FEVEREIRO/2017	ESCALA: 1/200
PRONCIAN.º: 05	F.º parte: 209
05/15	



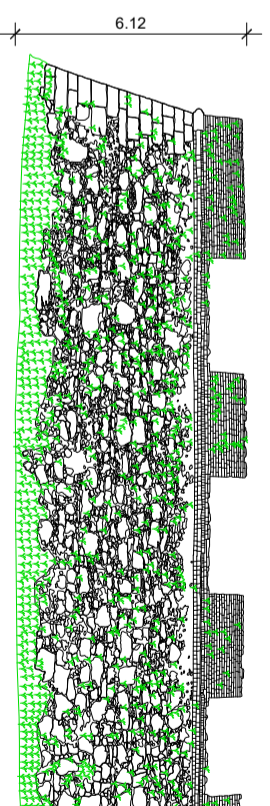
1
IMAGEM E01
ESC. 1:200




2
ELEVAÇÃO E01
ESC. 1:200



3
IMAGEM E02
ESC. 1:200

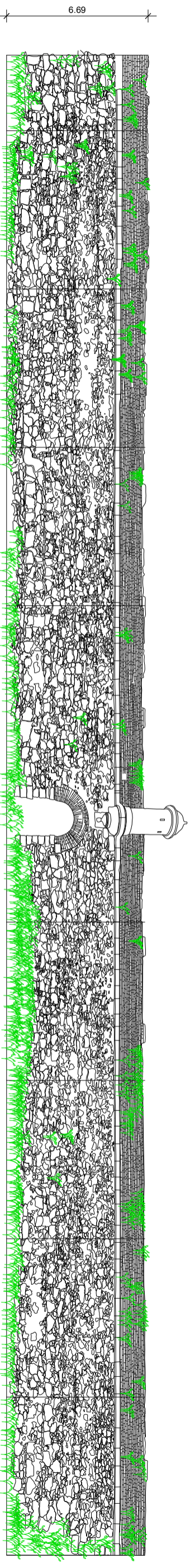


4
ELEVAÇÃO E02
ESC. 1:200

	
PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA	
MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ	
ESPECIFICAÇÃO: ELEVAÇÕES E01 E E02	
DOUTORANDA: ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT	Nº: Nº 201301780004
ORIENTADOR: PROFº DR. MARCONDES LIMA DA COSTA	CIDADE: BELÉM
	ESTADO: PARÁ
	DATA: FEVEREIRO/2017
	PRÓXIMA: 06
	06/15



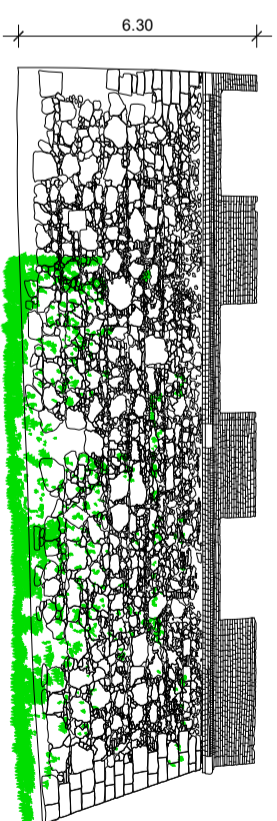
1
IMAGEM E03 E E04
ESC. 1:200




2
ELEVACÃO E03 E E04
ESC. 1:200



3
IMAGEM E05
ESC. 1:200

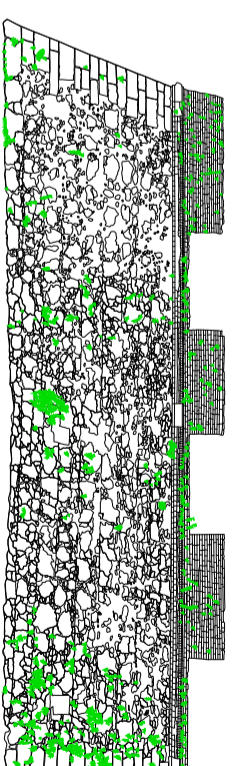


4
ELEVACÃO E05
ESC. 1:200

		PESQUISA:	
		MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA	
MONUMENTO:		CIDADE/MONUMENTO:	
FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ		MACAPÁ/AP	
ESPECIFICAÇÃO:		ESCALA:	
ELEVACÕES E03, E04 E E05		1/200	
DOUTORANDA:		DATA:	
ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT		FEVEREIRO/2017	
ORIENTADOR:		PRÓCIPAL Nº:	
PROF.º DR. MARCONDES LIMA DA COSTA		Nº 201301780004	
CIDADE:		ESTADO:	
BELÉM		PARÁ	
PPGG/IG		PÁGINA Nº:	
		07	
		211	
		07/15	



5.81

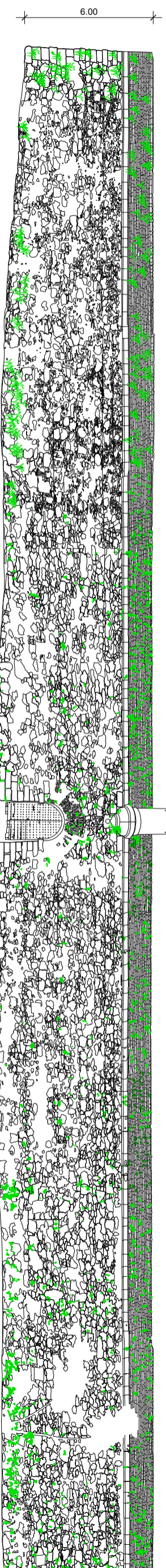


1
IMAGEM E08
ESC. 1:200

2
ELEVACÃO E08
ESC. 1:200



3
IMAGEM E09 E E10
ESC. 1:200



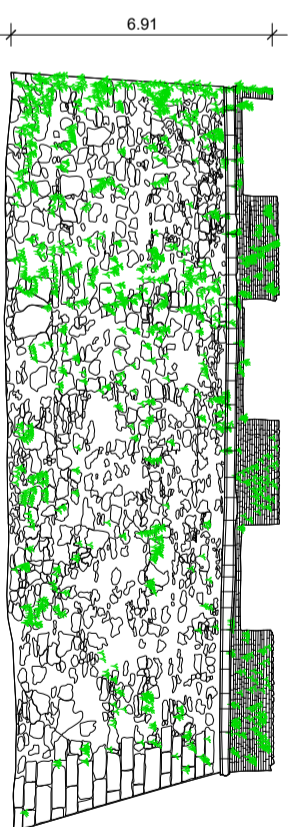
4
ELEVACÃO E09 E E10
ESC. 1:200

6.00

<p>PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA</p>			
<p>MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ</p>		<p>CIDADE/MONUMENTO: MACAPÁ/AP</p>	
<p>ESPECIFICAÇÃO: ELEVACÕES E08, E09 E E10</p>			
<p>DOUTORANDA: ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT</p>		<p>Nº: 201301780004</p>	
<p>ORIENTADOR: PROFº DR. MARCONDES LIMA DA COSTA</p>		<p>CIDADE: BELÉM</p>	
		<p>ESTADO: PARÁ</p>	
		<p>DATA: FEVEREIRO/2017</p>	
		<p>PROJECIONAMENTO: 09</p>	
		<p>ESCALA: 1/200</p>	
		<p>REGISTRO: 09/15</p>	



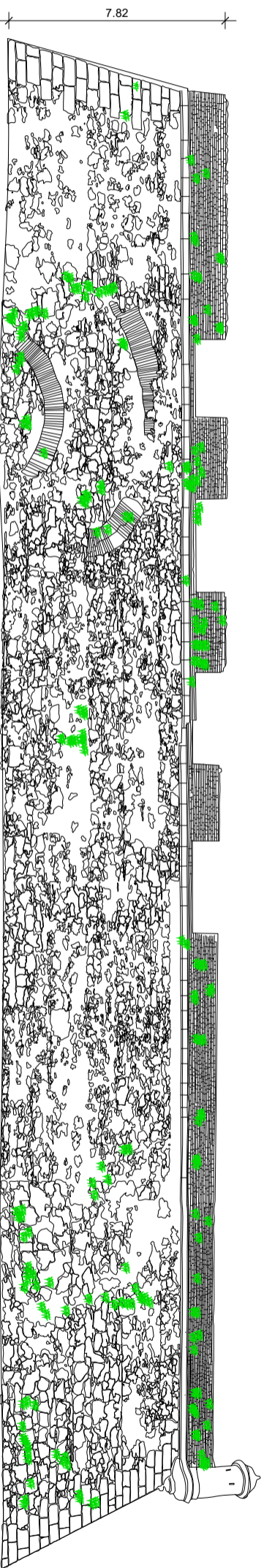
1
IMAGEM E11
ESC. 1:200



2
ELEVAÇÃO E11
ESC. 1:200



3
IMAGEM E12
ESC. 1:200



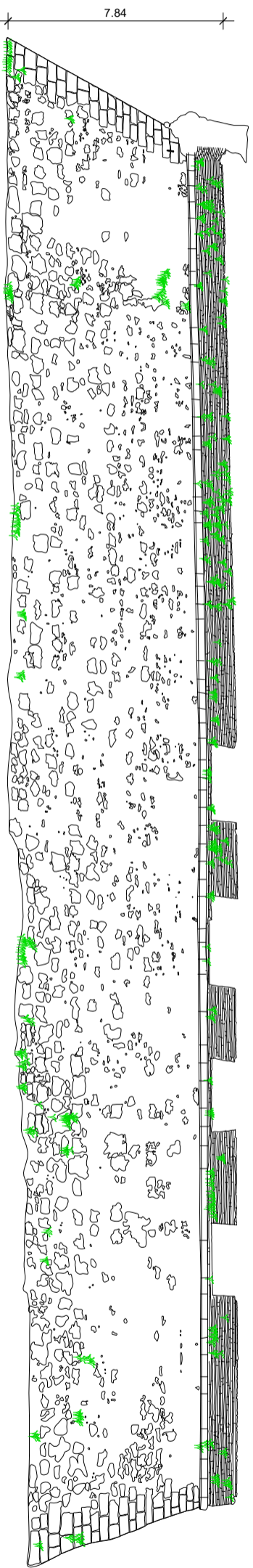
4
ELEVAÇÃO E12
ESC. 1:200

PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA	
MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ	
ESPECIFICAÇÃO: ELEVAÇÕES E11 E E12	
DOUTORANDA:	
ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT	
ORIENTADOR:	
PROF.º DR. MARCONDES LIMA DA COSTA	
CIDADE/MONUMENTO: MACAPÁ/AP	
ESCALA: 1/200	
DATA: FEVEREIRO/2017	
PROJETAÇÃO: 10	
FIGURA: 214	
10/15	

PPGG/IG



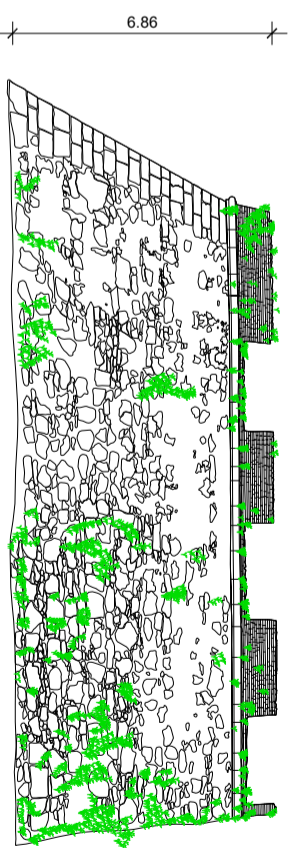
1
IMAGEM E13
ESC. 1:200





2
ELEVAÇÃO E13
ESC. 1:200



3
IMAGEM E14
ESC. 1:200



4
ELEVAÇÃO E14
ESC. 1:200

			
PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA			
MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ		CIDADE/MONUMENTO: MACAPÁ/AP	
ESPECIFICAÇÃO: ELEVAÇÕES E13 E E14			
DOUTORANDA: ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT		N.º: N.º 201301780004	
ORIENTADOR: PROF.º DR. MARCONDES LIMA DA COSTA		CIDADE: BELÉM	
		ESTADO: PARÁ	
		DATA: FEVEREIRO/2017	
		PROJECION.º: 11	
		Folha nº: 215	
		11/15	



1
IMAGEM CONTRA ESCARPA 01
ESC. 1:200



2
ELEVAÇÃO CONTRA ESCARPA 01
ESC. 1:200

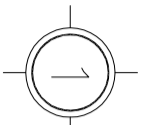


3
IMAGEM CONTRA ESCARPA 02
ESC. 1:250

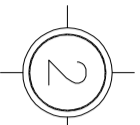


4
ELEVAÇÃO CONTRA ESCARPA 02
ESC. 1:250



		PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA	
		MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ	
ESPECIFICAÇÃO: CONTRA ESCARPAS 01 E 02		CIDADE/MONUMENTO: MACAPÁ/AP	
DOUTORANDA: ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT		DATA: FEVEREIRO/2017	
ORIENTADOR: PROF.º DR. MARCONDES LIMA DA COSTA		ESCALA: 1/200 E 1/250	
Nº: Nº 201301780004		PRÓXIMA PÁGINA: 12 / 216	
CIDADE: BELÉM		ESTADO: PARÁ	
PPGG/IG		12/15	

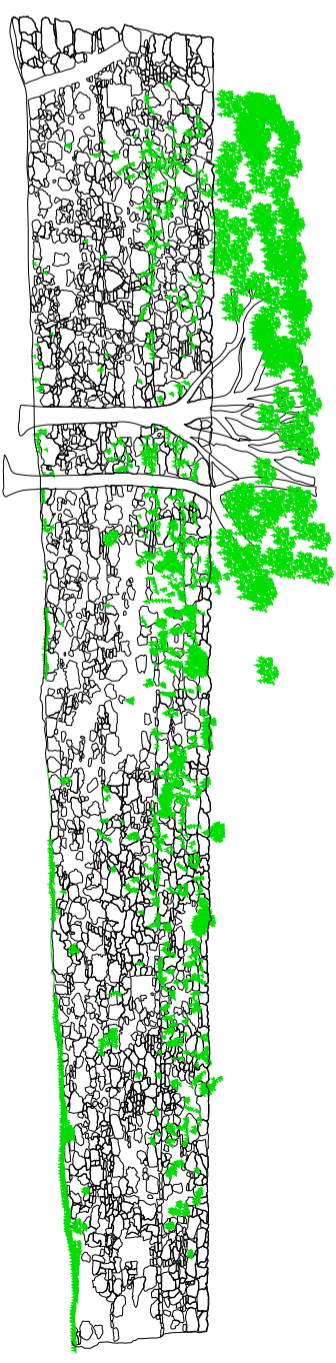


1
IMAGEM CONTRA ESCARPA 03
ESC. 1:250



2
ELEVAÇÃO CONTRA ESCARPA 03
ESC. 1:250

			
<p>PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA</p>			
<p>MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ</p>		<p>CIDADEN/INUMENTO: MACAPÁ/AP</p>	
<p>ESPECIFICAÇÃO: CONTRA ESCARPA 03</p>			
<p>DOUTORANDA: ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT</p>		<p>Nº: 201301780004</p>	
<p>ORIENTADOR: PROFº DR. MARCONDES LIMA DA COSTA</p>		<p>CIDADE: BELÉM</p>	
		<p>ESTADO: PARÁ</p>	
		<p>DATA: FEVEREIRO/2017</p>	
		<p>PROJECIONAMENTO: 13</p>	
		<p>Folha: 217</p>	
		<p>13/15</p>	



1

IMAGEM ESTRADA COBERTA 01
ESC. 1:200

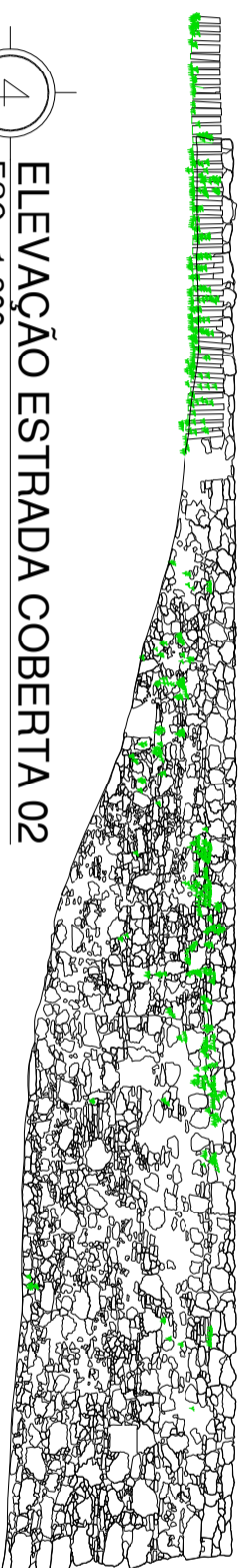
2

ELEVAÇÃO ESTRADA COBERTA 01
ESC. 1:200




3

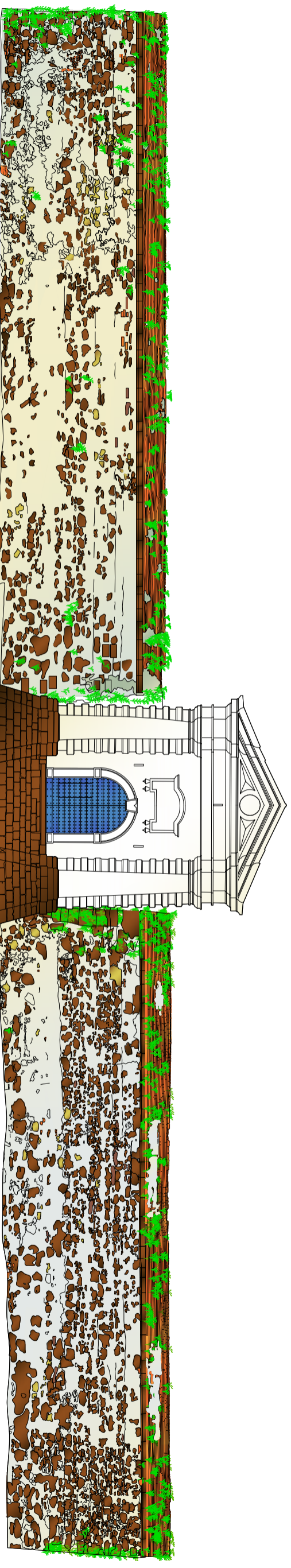
IMAGEM ESTRADA COBERTA 02
ESC. 1:200



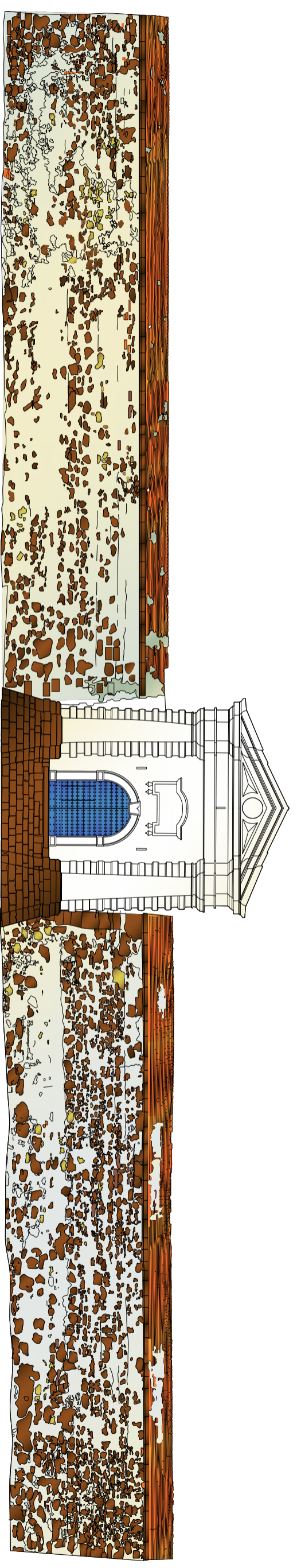
4

ELEVAÇÃO ESTRADA COBERTA 02
ESC. 1:200

	
<p>PESQUISA: MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA</p>	
<p>MONUMENTO: FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ</p>	
<p>ESPECIFICAÇÃO: ESTRADA COBERTA 01 E 02</p>	
<p>DOUTORANDA: ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT</p>	<p>Nº: 201301780004</p>
<p>ORIENTADOR: PROFº DR. MARCONDES LIMA DA COSTA</p>	<p>CIDADE: BELÉM</p>
	<p>ESTADO: PARÁ</p>
<p>DATA: FEVEREIRO/2017</p>	<p>PROJECIONAMENTO: MACAPÁ/AP</p>
<p>PROJECIONAMENTO: 14/218</p>	<p>ESCALA: 1/200</p>
<p>14/15</p>	



1
ELEVAÇÃO/VEGETAÇÃO E15 E E16
ESC. 1:200



2
ELEVAÇÃO MATERIAIS CONSTRUTIVOS E15 E E16
ESC. 1:200

- LEGENDA:
- Tijoleira cerâmica
 - Arento ferruginizado
 - Crostas lateríticas
 - Pedra de ferro
 - Argamassa (resquícios)
 - Argamassa/Reboco



PESQUISA:		MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO	
EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA			
MONUMENTO:		FORTALEZA DE SÃO JOSÉ DE MACAPÁ	
ESPECIFICAÇÃO:		ELEVAÇÕES E15 - E16: VEGETAÇÃO E MATERIAIS	
DOUTORANDA:	Nº:	DATA:	
ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT	Nº 201301780004	FEVEREIRO/2017	
ORIENTADOR:	CIDADE:	PRORCIANº:	
PROFº DR. MARCONDES LIMA DA COSTA	BELÉM	15	219
	ESTADO:		
	PARÁ		
			15/15



PARECER

SOBRE A DEFESA PÚBLICA DE TESE DE DOUTORADO DE ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT

A banca examinadora da tese de doutorado de **ROSEANE DA CONCEIÇÃO COSTA NORAT** orientada do Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA), composta pelos professores doutores Thais Alessandra Caminha Sanjad (UFPA), Mário Mendonça de Oliveira (UFBA), Pedro Luiz Braga Lisboa (MPEG) e Rômulo Simões Angélica (UFPA), após apresentação de sua tese intitulada “**MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SUA BIODETERIORAÇÃO EM FORTIFICAÇÕES DA AMAZÔNIA**” emite o seguinte parecer:

A candidata realizou a sua apresentação de forma clara, organizada e segura em tempo hábil de 56 minutos. Durante a arguição demonstrou domínio da temática abordada e respondeu com segurança as perguntas que lhe foram formuladas pela banca. A tese foi apresentada na forma de quatro artigos, sendo três deles submetidos a periódicos internacionais. Essas condições atendem plenamente às exigências fundamentais para acesso ao título de doutor.

Dessa forma a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado de Roseane da Conceição Costa Norat.

Belém, 29 de março de 2017

Marcondes Lima da Costa - Orientador (UFPA)

Thais Alessandra Bastos Caminha Sanjad – Membro (UFPA)

Mário Mendonça de Oliveira – Membro (UFBA)

Pedro Luiz Braga Lisboa – Membro (MPEG)

Rômulo Simões Angélica- Membro (UFPA)