



CATOLICA
ESCOLA DAS ARTES

PORTO

METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DE FENÓMENOS DE BIODETERIORAÇÃO
POR MANCHAS NEGRAS NA PINTURA MURAL DO SÉCULOS XV E XVI COM O
APOIO DE PROCESSOS FOTOGRAMÉTRICOS E SISTEMAS DE REGISTO VETORIAL:
O CASO DE ESTUDO DA IGREJA PAROQUIAL DE SANTA MARINHA, VILA MARIM
(VILA REAL)

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Conservação e Restauro de Bens Culturais

João Paulo Sandes Dias dos Santos



CATOLICA
ESCOLA DAS ARTES

PORTO

METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DE FENÓMENOS DE BIODETERIORAÇÃO
POR MANCHAS NEGRAS NA PINTURA MURAL DO SÉCULOS XV E XVI COM O
APOIO DE PROCESSOS FOTOGRAMÉTRICOS E SISTEMAS DE REGISTO VETORIAL:
O CASO DE ESTUDO DA IGREJA DE SANTA MARINHA, PAROQUIAL DE VILA
MARIM (VILA REAL)

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Conservação e Restauro de Bens Culturais

Especialização em Património Integrado

João Paulo Sandes Dias dos Santos
376917001

Trabalho efetuado sob a orientação de

Doutor Frederico Henriques

E coorientação de

Prof^a Doutora Patrícia Moreira

Prof^a Doutora Eduarda Vieira

Porto,

fevereiro 2021

Dedicatória

Agradeço especialmente aos meus pais pelo apoio incondicional em todos os momentos difíceis da minha trajetória acadêmica. Este trabalho é dedicado a eles.

Agradecimentos

Aos amigos e professores que tive oportunidade conhecer na Escola das Artes, e funcionários da Universidade Católica Portuguesa por todo o apoio e pela ajuda, e que muito contribuíram para a realização deste trabalho e a todos os outros diretamente envolvidos, ou que contribuíram para o seu sucesso.

Agradeço em especial aos colegas que estiveram envolvidos nessa pesquisa, o Doutor Bruno Campos e à mestre Alexandra Marco, ao Padre Parente por ter nos recebido em sua casa.

Aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado, com especial destaque para a equipa de orientação.

Resumo

Esta dissertação está focada no levantamento arquitetónico conjugado com a fotogrametria, esperando-se que a conjugação destas metodologias se torne mais eficaz para o levantamento e documentação do edifício, o que possibilitará aumentar a quantidade de informações detalhadas para o estudo do fenómeno de alteração com provável origem biológica, denominado por manchas negras, que ocorre em algumas igrejas dos séculos XV e XVI do norte de Portugal. A sua aplicação está focada a um caso de estudo, em particular, da igreja de Santa Marinha, Paroquial de Vila Marim, em Vila Real.

A fotogrametria e o levantamento arquitetónico por si não são novidade. Contudo, a sua conjugação para dar suporte a uma leitura integrada do problema das manchas negras, pretende ser um contributo no sentido de possibilitar a ampliação da abordagem ao problema da biodeterioração da pintura mural por manchas negras e a necessidade da sua compreensão através da integração de variáveis como a morfologia do edifício, sua tipologia construtiva, os materiais empregues na sua construção, a ação de agentes meteorológicos, a localização das pinturas no edifício e as manchas negras nas pinturas, e a possibilidade de estabelecer ou não uma correlação entre as mesmas.

Através deste estudo almeja-se compreender melhor o processo de formação das manchas negras e possivelmente sustentar as variáveis plausíveis da origem deste problema, considerando as técnicas e materiais utilizados durante sua construção e/ou reformas posteriores, que possam ter sido a causa ou a agravante ao normal funcionamento do esquema construtivo. De igual modo, visa-se ainda fornecer uma ferramenta que possa vir a ser usada na gestão de conservação para este fenómeno.

Nesta dissertação apresenta-se o levantamento arquitetónico com o mapeamento das anomalias, trabalhando-o por fotogrametria e registo vetorial no edifício da Igreja de Santa Marinha da freguesia de Vila Marim em Vila Real.

A base teórico-metodológica para realização desta dissertação consiste na compilação de diversos trabalhos como a consulta de um artigo relativo à História da Construção e os Construtores do Mosteiro de Alcobaça e, em particular, no trabalho desenvolvido na dissertação de mestrado de Alexandra Marco, dedicados ao tema da biodeterioração em pintura mural a Norte de Portugal.

Através do levantamento arquitetónico do interior e exterior, atualizaram-se os dados acerca do

estado de conservação do edifício, criaram-se diversos mapas de danos observáveis no edifício e nas pinturas murais, para então caracterizar o estado de conservação geral do imóvel, e compreender quais as necessidades emergentes da conservação dos espaços.

Palavras chave: Fotogrametria, levantamento arquitetónico, registo vetorial, pintura mural, biodeterioração, manchas negras.

ABSTRACT

This dissertation focuses on the architectural surveying combined with photogrammetry of the Vila Marim parish church, located in Vila Real district, in the Northern part of Portugal, whose mural paintings dating from the 15th 16th present an alteration process of black stains, of possible biological origin. This study aims to obtain a more effective tool towards the understanding of the black stains phenomena, which occurs in other mural paintings of the region.

The technique of photogrammetry and the architectural survey aren't new applied to cultural heritage study. Although, combined intend to support an integrated reading of the black stains problem and being a contribution, to a new approach to the comprehension of the biodeterioration on mural painting by black stains through the integration of multiple variables. Thus, we aim to gather different issues that can be or cannot be related with the black stains occurrence, such as materials used in the building construction, building typology, the action of the atmospheric agents, previous reforms and restorations that could have been contributed to change the hygrothermal inertia of the building. Besides we hope to obtain a conservation management tool to the future.

This dissertation presents an initial part of architectural survey and the anomaly mappings, using photogrammetry and vectorial register of the church of Santa Marinha located in Vila Marim, in Vila Real district.

The theoretical and methodological basis used in this dissertation consists of the compilation of several previous studies such as an article on the history of Building and Builders of the Alcobaça Monastery (Melo&Ribeiro: 2011) and the data gathered in Alexandra Marco's masters dissertation (2016), dedicated to the theme of biodeterioration in mural painting in northern Portugal.

Through the architectural survey of the interior and exterior of the building, the state of conservation data was updated, and several maps of the damages were created both for the building and for the murals, to help with the characterization of the state of conservation and to use as a tool to plan the emerging needs for local conservation.

Key words: Photogrammetry, Architectural Surveying, vector record, Mural Painting, Black Stains, Biodeterioration.

ÍNDICE

Dedicatória	3
Agradecimentos.....	4
Resumo.....	5
Lista de Figuras	10
Lista de Tabelas.....	11
Lista de Abreviaturas usadas no texto.....	12
CAPÍTULO I.....	13
Metodologia da investigação.....	13
1.1. Enquadramento e objetivos	13
1.2. Metodologia	15
1.2.1. Seleção do objeto de estudo	15
1.2.2. Calendarização e descrição das etapas	15
1.2.3. Metodologia e recursos utilizados.....	16
CAPÍTULO II	18
2. Construções Medievais Portuguesas	18
2.1. Os edifícios românicos a Norte de Portugal.....	18
2.2. Sistemas construtivos medievais em alvenaria de pedra.....	18
2.3. Alterações e alterabilidades nos materiais pétreos	24
2.3.1 Tipologias das anomalias das construções	24
2.3.2 O processo de degradação	26
CAPÍTULO III	30
3. Metodologias para levantamento do edifício.	30
3.1. O levantamento arquitetónico tradicional.	31
3.2. Levantamento arquitetónico por fotogrametria.....	33
3.2.1. Sistemas de registo vetorial.....	36
3.2.2. Representação da estereotomia da pedra.....	38
3.2.3. Modelação tridimensional de edifícios.....	39
CAPÍTULO IV	41
4. Estudo de caso da Igreja de Santa Marinha, Paroquial de Vila Marim (Vila Real)	41
4.1. Panorama histórico de Vila Marim	41
4.1.1. Estado de conservação.....	41
4.2. Levantamento do edifício.....	43
4.2. Resultados obtidos:	48
4.3.1. Planta baixa e alçados	48
4.3.2. Levantamento fotogramétrico	51
4.3.3. Estereotomia da pedra	52
4.3.4. Modelo 3D.....	54
4.3.5. Mapa de danos.....	56
4.3.6. Atualização do estado de conservação	61

5. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro62

REFERÊNCIAS67

APÊNDICE A73

APÊNDICE B77

APÊNDICE C82

APÊNDICE D91

Lista de Figuras

Figura 1: Folha de verso número 20 de Viliard de Honnencourt, observa-se na ilustração gráfica soluções para o estaleiro de obras no corte e estruturação de alvenaria.....	19
Figura 2: Organograma do canteiro de obras do Mosteiro da Batalha.	20
Figura 3: Assinaturas ou siglas de canteiros.	21
Figura 4: À esquerda observa-se uma ilustração gráfica de cantaria sem guarnição e à direita cantaria com guarnição.	22
Figura 5: Exemplo gráfico de uma construção em alvenaria com argamassa.	22
Figura 6: Da esquerda para a direita tem-se os exemplos de parede de pedra com um pano, parede de pedra com dois planos e parede de pedra com dois panos e enchimento.	23
Figura 7: À esquerda um exemplo da alvenaria sem argamassa ou argamassa de cal. À direita da alvenaria com argamassa de cimento.	28
Figura 8: Representação de um esquema ou esboço do levantamento da Quinta da Bouça.	32
Figura 9: Exemplo de um esboço de planta baixa da nave da Igreja de Nossa Senhora da Assunção.	32
Figura 10: Visão aproximada do gráfico de conectividade com o caminho entre linhas, pontos e polígonos, na criação de uma imagem vetorial.	37
Figura 11: Modelo de representação matricial e vetorial.	37
Figura 12: Representação gráfica de uma base de capela.	39
Figura 13: Pintura mural localizada na parede esquerda da nave da igreja, com detalhe para mancha negra localizada na região dos pés dos santos.	42
Figura 14: Vista aérea, mapa de situação do objeto de estudo dentro do território português.	43
Figura 15: Mapa de Portugal com destaque para Vila Real.	44
Figura 16: Mapa do Concelho de Vila Real, com destaque para Vila Marin.	44
Figura 17: Vista aérea da igreja de Santa Marinha.	45
Figura 18: Esboço da planta baixa, realizado para notações do levantamento da igreja de Vila Marim.	46
Figura 19: Esquema ou esboço em projeção ortogonal, realizado para o levantamento da igreja de Vila Marim.	46
Figura 20: Evidência de selagem de juntas da pedra com argamassa de cimento tipo Portland.	47
Figura 21: Foto do interior da igreja.	48
Figura 22: Planta baixa obtida com o levantamento arquitetónico tradicional.	49
Figura 23: Vistas alçados obtidas com o levantamento arquitetónico tradicional.	50
Figura 24: Alçado oeste obtido com as imagens fotogramétricas, onde se utilizou o Photoshop para limpar a poluição visual do seu contorno.	51
Figura 25: Vista 3D superior, Alçado lateral norte da igreja, obtido com as imagens fotogramétricas onde se utilizou o Photoshop para limpar a poluição visual do seu contorno.	51
Figura 26: Volumetria incompleta do interior da Igreja obtido com o processo fotogramétrico.	52
Figura 27: Imagem fotogramétrica sobreposta com desenho do levantamento arquitetónico, vista do alçado Este.	53
Figura 28: Estereotomia da pedra, no software AutCAD®.	54
Figura 29: Estereotomia no software AutCAD®, alçado Norte.	54
Figura 30: Processo de criação 3D no software Revit®.	55
Figura 31: Representação 3D no software Revit®.	55
Figura 32: Estereotomia da pedra, alçados Este e Oeste.	56
Figura 33: Construção do mapa de danos, detalhes no apêndice.	57
Figura 34: Nicho com portinhola existente na parede lateral da capela mor, onde se nota a separação entre ambos os panos que compõem a parede fortificada, provavelmente dupla.	58
Figura 35: Planta baixa com detalhe para os pontos onde as paredes tem o dobro de espessura.	58
Figura 36: Comparação da pedra na parede interna e externa lateral sulda capela mor.	59
Figura 37: Estudo utilizando o modelo 3, comparando a pedra na parede interna e externa lateral norte da nave, com detalhe para a região da pedra na mesma localização interna e externa.	60
Figura 38: Mancha delimitada apenas na volumetria da pedra.	63

Figura A 1: Planta baixa com indicação de cortes da Igreja de Santa Marinha	74
Figura A 2: Fachada Este e Oeste da Igreja de Santa Marinha	75
Figura A 3: Fachada Norte e Sul da Igreja de Santa Marinha.....	76
Figura B 1: Estereotomia da pedra fachadas Este e Oeste	78
Figura B 2: Estereotomia da pedra fechadas Norte e Sul	79
Figura B 3: Estereotomia da pedra, cortes BB e CC	80
Figura B 4: Estereotomia da pedra corte AA	81
Figura C 1: Mapeamento de anomalias, fachada Norte.	83
Figura C 2: Mapeamento de anomalias, fachada Sul.	84
Figura C 3: Mapeamento de anomalias, fachadas Oeste.....	85
Figura C 4: Mapeamento de anomalias, fachada Este.	86
Figura C 5: Mapeamento de anomalias e pintura mural , Corte BB.	87
Figura C 6: Mapeamento de anomalias e pintura mural, corte CC.	88
Figura C 7: Mapeamento de anomalias e pintura mural, detalhes 1, 2 e 3 dos cortes, pinturas.	88
Figura C 8: Mapeamento de anomalias e pintura mural, corte AA	89
Figura D 1: Pintura da parede norte da nave da igreja	92
Figura D 2: Pintura da parede norte da capela mor da igreja	92
Figura D 3: Pintura da parede este da capela mor	92
Figura D 4: Pintura da parede norte da capela mor	92

Lista de Tabelas

Tabela 1: Programas informáticos de fotogrametria (3DFLOW / AGISOFT)	17
Tabela 2: Programas informáticos na vertente de levantamento arquitetónico (AUTODESK)	17
Tabela 3: Organograma do processo realizado durante o estudo.....	64

Lista de Abreviaturas usadas no texto

HR – Humidade Relativa

T – Temperatura

SIPA - Sistema de Informação para o Património Arquitetónico

DGPC - Direção Geral do Património Cultural

3D – Três Dimensões, altura, profundidade e largura. Palavra utilizada para definir o espaço tridimensional.

ICOMOS - *International Council on Monuments and Sites*

DEM – *Digital Elevation Model*

CAD – *Computer Aided Design* – Nome genérico de sistemas computacionais de desenhos técnicos – desenho assistido por computador.

BIM – *Building Information Modeling* – Plataforma informática utilizada para modelagem com informação da construção.

CAPÍTULO I

Metodologia da investigação

1.1. Enquadramento e objetivos

O tema desta dissertação – *Metodologia para o mapeamento de fenómenos de biodeterioração por manchas negras na pintura mural dos séculos XV e XVI com o apoio de processos fotogramétricos e sistemas de registo vetorial: o caso de estudo da igreja paroquial de Santa Marinha de Vila Marim (Vila Real)* - surge a partir do projeto de doutoramento da investigadora Alexandra Marco, bolsista FCT (SFRH/BD/125596/2016), que se intitula *Innovative Biotechnology Solutions for Black Stain Removal and Preventive Conservation of Historical and Culturally Important Mural Paintings*. A tese da investigadora tem enquadramento no projeto “BIO4MURAL” (PTDC/HAR-ARQ/29157/2017), que visa o estudo de manchas negras, um tipo de alteração que até à data foi detetada somente em frescos e construções dos séculos XV e XVI, na região a Norte de Portugal. Quanto à origem do fenómeno em estudo, no momento em que se redige a presente dissertação, presume-se que seja de origem biológica, e para a qual não são conhecidas soluções para a eliminação ou prevenção do seu aparecimento. Neste projeto propusemo-nos ajudar a construir uma estratégia que permita uma abordagem holística do problema através da leitura integrada das possíveis variáveis que estejam na origem das mesmas.

A presente dissertação possui os seguintes objetivos:

Objetivo principal:

Aplicar uma metodologia de levantamento arquitetónico com apoio da fotogrametria, para criar diversos mapas de danos observáveis no edifício, nas pinturas murais e na respetiva estereotomia¹.

¹ O termo é aplicado, por extensão ao estudo minucioso das formas das pedras. Fonte: Dicionário Infopédia da Língua Portuguesa (consultado a 20/10/2020)

Objetivos secundários:

1. Através da conjugação dos dois métodos, realizar o levantamento interior e exterior do edifício, possibilitando ampliação da abordagem do problema, manchas negras, direcionando através da integração de variáveis como a morfologia do edifício, sua tipologia construtiva, os materiais empregues na sua construção, a ação de agentes meteorológicos, a localização das pinturas no edifício e as manchas negras nas pinturas, e a possibilidade de estabelecer ou não uma correlação entre as mesmas.
2. Caracterizar o estado de conservação geral do imóvel, e compreender quais as necessidades emergentes da conservação dos espaços.
3. Tentar perceber o fenómeno da extensão espacial das manchas negras e se a sua ocorrência pode ou não estar relacionada com outras variáveis que não apenas a presença da água, as características do edifício ou de algum tipo de condicionante tecnológica utilizada durante a construção, a pedra utilizada ou com alguma ação de intervenção de restauro.

1.2. Metodologia

1.2.1. Seleção do objeto de estudo

Escolheu-se o caso de estudo da Igreja de Santa Marinha, Paroquial de Vila Marim, por esta evidenciar a tipologia de manchas negras em estudo e fazer parte dos casos de estudo do projeto BIO4MURAL. No edifício estão patentes pinturas dos séculos XV e XVI, em suporte de granito, com uma camada fina de cal, em condições ambientais não controladas (MARCO: 2016).

Atualmente, a informação relativa ao espaço arquitetónico é reduzida, sendo que a fonte principal se encontra na página *on-line* “SIPA - Sistema de Informação para o Património Arquitetónico²” e da Direção Geral do Património Cultural (DGPC). Segundo esta fonte, a igreja dedicada a Santa Marinha terá sido edificada entre os séculos XIII e XIV e sofreu remodelações ao longo dos séculos, em que a principal alteração ocorreu no século XVIII com a construção da torre sineira e de um novo arco cruzeiro, que obrigou ao alteamento da nave e da capela-mor³.

1.2.2. Calendarização e descrição das etapas

Considerando que o edifício é o suporte das pinturas murais, entende-se que por consequência, o estado de conservação do mesmo pode ter um efeito direto no estado de conservação das pinturas, existindo uma ligação intrínseca entre os dois elementos. O principal contributo desta dissertação é caracterizar e documentar do ponto de vista gráfico este espaço arquitetónico. Deste modo, a presente dissertação pretende concretizar as seguintes etapas:

Primeira etapa:

- Pesquisa bibliográfica visando recolher informações relativas ao caso de estudo,

² A base de dados SIPA é um sistema de informação e documentação sobre património arquitectónico, urbanístico e paisagístico português, de origem ou matriz portuguesas, gerido pela Direção-Geral do Património Cultural (DGPC).

³ DIREÇÃO GERAL DO PATRIMONIO CULTURAL (DGPC) - Igreja de Santa Marinha, Paroquial de Vila Marim, in: <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/156245> (Consulta a 10/12/2019).

não somente sua história, bem como suas especificidades técnicas e materiais de sua construção, boa parte será a partir da compilação do material já previamente recolhido nas pesquisas de mestrado e artigos da investigadora Alexandra Marco, outra parte será por pesquisas em bibliotecas e publicações.

- Este material inclui o levantamento histórico, o levantamento da informação de materiais de construção, a tipologia construtiva de igreja, a localização das pinturas murais, a história de possíveis intervenções, a envolvente do edifício
- Levantamento de plantas, alçados e de relatórios de intervenções dos edifícios, se existirem em arquivo, levantamento arquitetónico utilizando tanto ferramentas convencionais (fita métrica e medidores digitais), como através da fotogrametria.

Segunda Etapa:

- Organização e tratamento da informação recolhida durante o trabalho de campo e de arquivo.
- Interpretação dos resultados e criação de mapas de danos que assinalem as alterações estudadas.
- Construção de um modelo tridimensional com cruzamento dos dados obtidos.

1.2.3. Metodologia e recursos utilizados

Para elaborar o levantamento de um edifício podem ser adotadas diferentes abordagens. Uma mais práticas e específicas, enquanto outras são mais morosas e rigorosas, devendo sempre considerar-se a adequação dos meios aos objetivos (AGUIAR: 2007).

No sentido de documentar o edifício, o método utilizado consistiu no uso da fotogrametria como apoio ao levantamento arquitetónico e ao registo gráfico vetorial. Sabemos, através da experiência empírica realizada em trabalhos de campo, que a fotogrametria⁴ é uma ferramenta que permite gerar imagens inteiras a partir das fotografias digitais, assim como o processamento de modelos 3D. Para tal utiliza-se o *software* fotogramétrico *3DF Zephyr*® e *Agisoft Metashape*®, no qual as imagens obtidas podem ser colocadas num programa com base para operações de geometria projetiva, como *softwares* de arquitetura como o exemplo do *AutoCAD*® e *Revit*® da empresa *Autodesk*. Esta operação realiza-se para a obtenção de um levantamento mais realista dos detalhes.

⁴ Fotogrametria é a ciência e tecnologia que reconstrói o espaço tridimensional, a partir de imagens bidimensionais
Fonte: Portal Educação (portaleducacao.com.br)

Ao produzir um modelo arquitetónico da igreja, pretende-se:

- Fazer o registro gráfico da estereotomia da pedra;
- Criar mapas de danos dos paramentos;
- Perceber a implantação das pinturas murais no contexto do património integrado do edifício;
- Detetar e indicar a localização específica das manchas negras nas pinturas murais

Espera-se desta forma compreender o fenómeno da extensão espacial das manchas negras, se a sua ocorrência pode estar relacionada com outras variáveis que não apenas a presença da água, as características do edifício ou de algum tipo condicionante tecnológica utilizada durante a construção, a pedra utilizada ou fruto de alguma ação ou intervenções de restauro.

Relativamente aos *software* utilizados, de momento, é importante referir o uso dos seguintes programas informáticos de referência: Para a fotogrametria utilizou-se o *3DF Zephyr*® e o *Agisoft Metashape*® (Tabela 1). Para o levantamento arquitetónico e estereotomia (registro gráfico e vetorial) recorreu-se ao *Revit*® e *AutoCAD*® (Tabela 2).

Tabela 1: Programas informáticos de fotogrametria (3DFLOW / AGISOFT)

NOME	PLATAFORMA	FUNCIONALIDADE	TIPO DE FOTOGRAFIA	PREÇO	LICENÇA
<i>3DF Zephyr</i> ®	<i>Microsoft Windows</i> ®	Trabalha com múltiplas imagens e modelação automática	Aérea, <i>Closerange</i> , UAS	gratuito e US\$4.20 0,00	Versão de uso gratuito até 50 fotografias e paga para funcionalidades adicionais
<i>Agisoft Metashape</i> ®	<i>Microsoft Windows</i> ® / <i>Mac OS</i> ®	Trabalha com múltiplas imagens e modelação automática	Aérea, <i>Closerange</i> , UAS	3.254,07 € /ANO 271,17 € /MES	Requer licença paga /Versão Standard 30 dias.

Fonte: 3DFLOW / AGISOFT

Tabela 2: Programas informáticos na vertente de levantamento arquitetónico (AUTODESK)

NOME	PLATAFORMA	FUNCIONALIDADE	PREÇO	LICENÇA
<i>Revit 2017</i> ®	<i>Microsoft Windows</i> ® / <i>Mac OS</i>	Desenvolvimento de projetos arquitetónicos e modelação 3D	3.044 € /ANO 382 € /MÊS	Requer licença paga/ licença estudantil
<i>AutoCAD</i> ®	<i>Microsoft Windows</i> ® / <i>Mac OS</i> ®	Projetos arquitetónicos 2 D e 3D	1.670 € /ANO 139 € /MÊS	Requer licença paga/ licença estudantil

Fonte: AUTODESK

CAPITULO II

2. Construções Medievais Portuguesas

2.1. Os edifícios românicos a Norte de Portugal

O estilo arquitetónico românico em Portugal desenvolveu-se a partir da região norte, possivelmente por volta do final do século XI inícios do XII, tendo grande contributo da reforma monástica, pois grande parte dos edifícios românicos que restam são mosteiros (FERREIRA DE ALMEIDA: 2019).

A introdução do estilo coincide com o reinado de D. Afonso, período marcado pelo processo de reconquista do Sul aos árabes e afirmação da independência de Portugal. Todo este processo histórico marcou a arquitetura, ou seja, na ausência de castelos a igreja era a melhor fortaleza, com diversas características como a solidez e espessura dos muros (presença de paredes duplas), torres, aberturas estreitas (FERREIRA DE ALMEIDA: 2019).

Estas características são marcantes na arquitetura românica, o que torna os edifícios religiosos similares a fortificações: paredes grossas com poucas aberturas, uso de ameias⁵, torres, seteiras, fendas estreitas e austeridade decorativa. Neste período as igrejas possuem uma estrutura longitudinal, de uma só nave, com absides retangulares e são quase inteiramente feitas em granito a norte (COSTA: 2018).

Construções feitas em granito na região norte de Portugal perduraram a sua utilização bastante tempo, vindo a intensificar-se durante o período do românico e o final da idade média, sendo utilizado como material base na fabricação de suas estruturas e a que Carlos A. F. Almeida designou de designou “civilização de granito”, tendo seu uso aplicado em diversas obras, tais como, igrejas, castelos e dentre outras (FERREIRA DE ALMEIDA: 2019).

2.2. Sistemas construtivos medievais em alvenaria de pedra

Os sistemas construtivos medievais no norte de Portugal possuem pouca variação. Isto é resultado da alternância entre os dois tipos de rochas predominantes no solo, o xisto e o granito.

⁵ O termo *ameia* diz respeito a cada uma das aberturas no alto da muralha, ou do edifício, para por elas se atirar sobre o inimigo. (Mais usado no plural). Fonte: Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2020, <https://dicionario.priberam.org/ameia> [consultado em 01-11-2020].

Estes tipos de solos determinaram as características da arquitetura tradicional: uma edificação simples e rígida, geralmente de alvenaria de pedra aparente, com cobertura de duas águas; frequentemente edificada com um único compartimento térreo ou sobradado (COSTA:2016).

Miguel Costa (2016) afirma que a arquitetura vernacular no norte de Portugal evidencia como característica fundamental as construções em pedra, quer seja em edifícios religiosos, quer seja uma edificação unifamiliar. Esta característica observa-se na morfologia, da organização ou até dos sistemas construtivos utilizados.

Villard de Honnecourt⁶, o mais conhecido mestre de obras do século XIII, que trabalhou de estaleiro em estaleiro para aprender o seu ofício e constitui uma das principais fontes para a compreensão da metodologia de construção medieval, documentou pormenorizadamente as diversas construções que viu. Nos manuscritos estão referências a procedimentos práticos do traçado ou corte de pedras. Estes parecem tratar das suas experiências, com soluções desenhadas ao natural ou de memória (Figura 1).

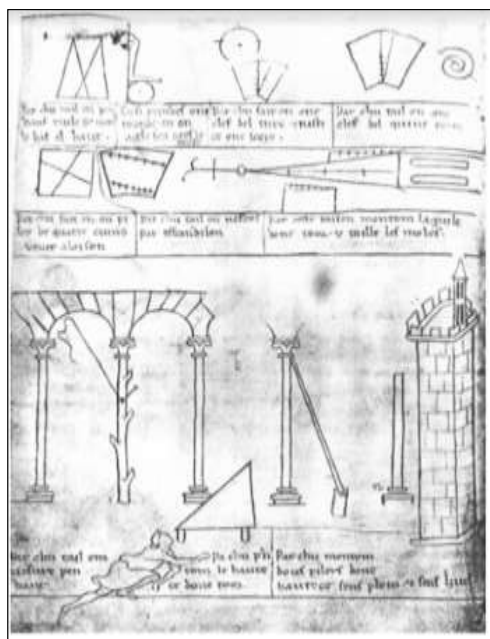


Figura 1: Folha de verso número 20 de Villard de Honnecourt, observa-se na ilustração gráfica soluções para o estaleiro de obras no corte e estruturação de alvenaria.

Fonte: Borges Filho, 2005

⁶ Villard De Honnecourt, (nascido em 1225, Picardy, Fr.— morreu em 1250), arquiteto francês lembrado principalmente pelo caderno de desenho compilado enquanto viajava em busca de trabalho como pedreiro mestre. O livro é composto por esboços e textos.

Fonte: <https://www.britannica.com/biography/Villard-de-Honnecourt>

Diante da complexidade dos sistemas construtivos medievais convém apresentar um esquema geral da hierarquia dos construtores. Dado que não se dispõe de fontes escritas que explicitem essa hierarquia para a construção monástica, usaremos o exemplo de uma construção régia como a do Mosteiro da Batalha que nos ajuda a perceber quer a hierarquia profissional quer a complexidade e etapas da construção. Este exemplo permite uma percepção melhor das operações realizadas desde o mandato de construção até o canteiro de obras.

Assim, e no caso de estudo do Mosteiro da Batalha dado tratar-se de um edifício com porte de catedral europeia a construção seguiu a seguinte lógica.

Através da vontade Real estava definida uma hierarquia que estipulava a promoção das obras: o promotor tinha o objetivo de impulsionar e promover a construção juntamente com o provedor, que iria proporcionar os recursos e abastecer a obra; a seguir está o administrador, o responsável por coordenar a obra; abaixo deste administrador estavam os setores de oficiais administrativos da obra, dentro dos quais existia um responsável para cada tipo de ofício da obra. Seguidamente, na cadeia hierárquica, surgiria o mestre de obras ou arquiteto mestre e abaixo deste as restantes posições ocupadas por trabalhadores, especializados ou não (Figura 2) (GOMES:2011).

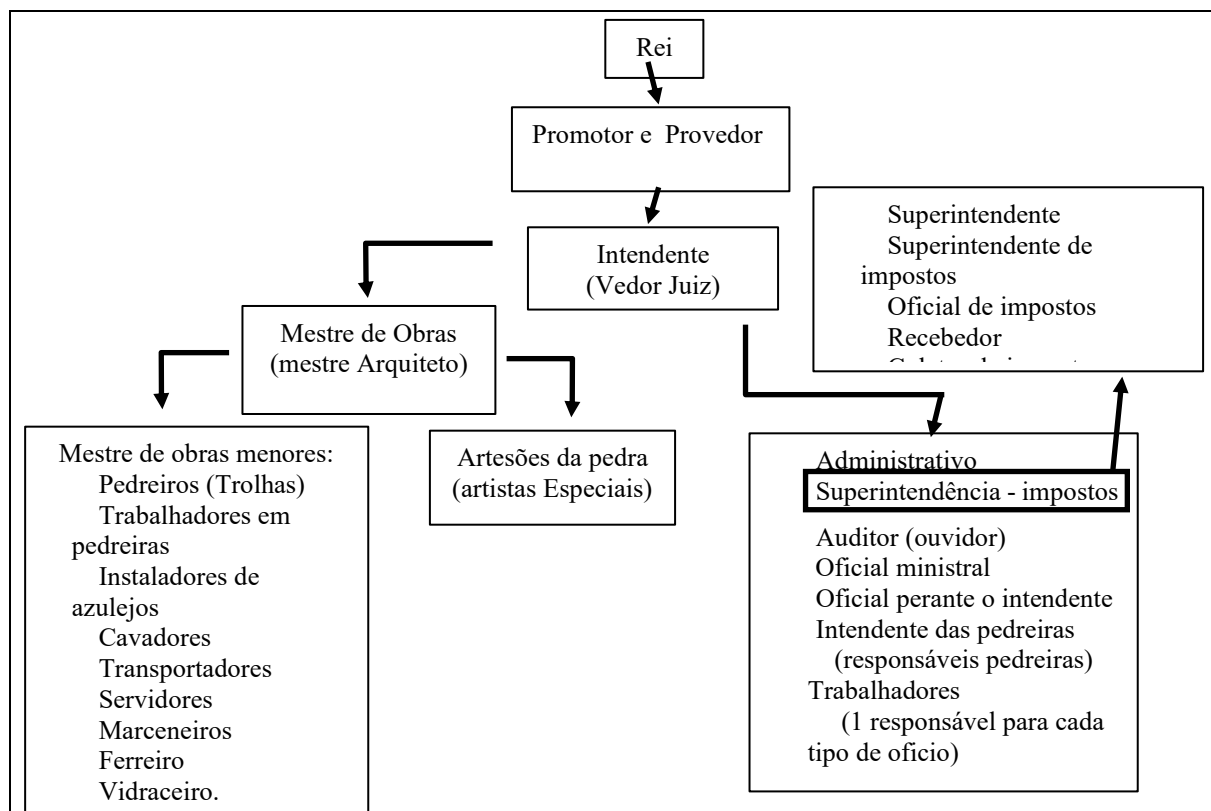


Figura 2: Organograma do canteiro de obras do Mosteiro da Batalha.
Fonte: (GOMES:2011).

Ao analisar a hierarquia dentro do estaleiro de obras pode-se ter uma ideia geral para melhor entendimento da complexidade do seu sistema construtivo.

O processo para escolha das pedreiras utilizadas para as construções geralmente se dava pela sua proximidade do estaleiro de obras. As tarefas do operário das pedreiras iam desde a descoberta do afloramento rochoso, à extração dos blocos de rocha e o tratamento das pedras. A exploração da pedreira era feita a céu aberto, evidenciando o aspeto original das rochas graníticas.

O bloco de granito após retirado e cortado, era marcado com uma sigla ou um sinal (Figura 3), não havendo certeza sobre sua função, que tanto poderia servir para identificação do trabalhador para receber o seu salário, como para marcar o posicionamento da pedra na própria construção (BORGES FILHO 2005).

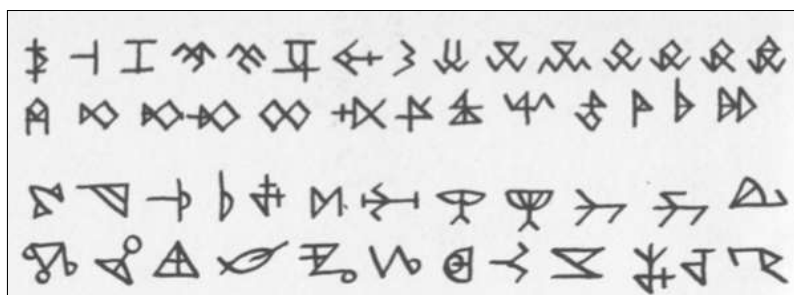


Figura 3: Assinaturas ou siglas de canteiros.
Fonte: BORGES FILHO, 2005

A escolha do tipo de construção pode tornar o sistema construtivo complexo. Geralmente as construções em pedra podem ser classificadas em dois tipos: de cantaria e de alvenaria (MASCARENHAS: 2006):

- a) Cantaria: sistema com o qual não se faz o uso de argamassa, neste caso quando as pedras têm um formato mais irregular, procura-se melhorar o seu assentamento preenchendo os espaços com pedras de menor dimensão, às quais chamamos de guarnição (figura 4).

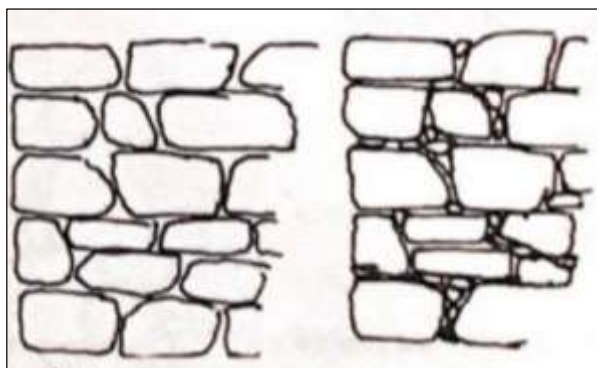


Figura 4: À esquerda observa-se uma ilustração gráfica de cantaria sem guarnição e à direita cantaria com guarnição.

Fonte: Jorge Mascarenhas, 2006

- b) Alvenaria: o sistema recebe este nome, quando as pedras da edificação são assentes com argamassa, como se pode verificar na figura 5. A parede possui as juntas preenchidas.

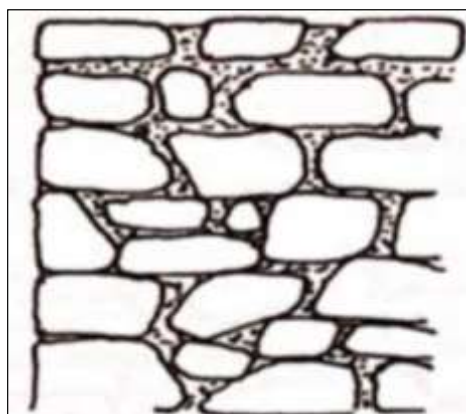


Figura 5: Exemplo gráfico de uma construção em alvenaria com argamassa.

Fonte: Jorge Mascarenhas, 2006

Para além da tipologia do assentamento das pedras (alvenaria e cantaria), uma construção pode evidenciar três formas de montagem da estrutura: um pano, dois panos e dois panos com enchimento. Chama-se a este processo de montagem de paredes, como se exemplifica na figura 6.

A escolha do tipo de construção, com um ou dois panos ou com dois panos com enchimento, normalmente varia de acordo com o clima e o tipo de proteção térmica que se deseja obter (MASCARENHAS: 2006).

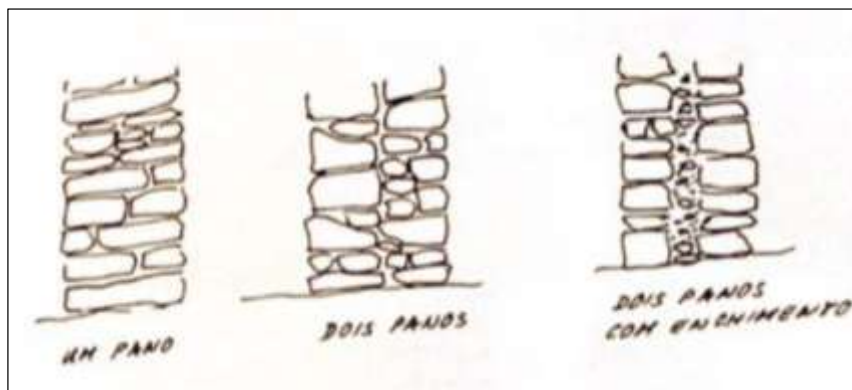


Figura 6: Da esquerda para a direita tem-se os exemplos de parede de pedra com um pano, parede de pedra com dois planos e parede de pedra com dois panos e enchimento.

Fonte: Jorge Mascarenhas, 2006.

Conforme descrito acima (BORGES FILHO: 2005) a descoberta, extração e preparação dos blocos de rocha eram uma parte complexa do sistema construtivo medieval. Nestas operações os operários enfrentam diversos obstáculos, desde a disponibilidade de encontrar matéria prima, aos problemas de desvio das águas, da remoção de uma camada do terreno, às ameaças de desabamento e outros perigosos acidentes. Naquele tempo qualquer tipo de ferimento, por mais simples que fosse, poderia conduzir à morte, tanto pelo desconhecimento médico em relação ao que se sabe hoje, quanto pela falta de recursos para algum tipo de tratamento nas zonas das pedreiras (BORGES FILHO: 2005).

Ao ler o trabalho de Mascarenhas (2006), percebe-se que este autor quando se refere ao tipo de construção, constata que a escolha das técnicas utilizadas durante a construção pode envolver diversos fatores, os quais podem variar de acordo com o clima do local. Assim, a construção do edifício terá por base o que se deseja evitar ou aquilo que se deseja aproveitar das condições climáticas.

Problemas num estaleiro de obras são o que trata a coletânea de desenhos do período medieval deixados por Villard de Honnecourt. Borges Filho (2006), no seu doutoramento, menciona soluções possíveis nos seus desenhos. Estes problemas necessitavam de revisões diárias, durante a execução da construção. O caso de Honnecourt é um exemplo que demonstra a possibilidade de criar soluções no canteiro de obras. Entretanto, estas soluções emergentes podem ser responsáveis pela aparição de outros problemas estruturais.

De facto, fatores como a escolha do tipo de construção para a região e problemas no estaleiro de obras, são agentes revelantes no contexto de estruturas em pedra e podem tornar-se

causadores de problemas futuros, sem deixar de mencionar a escolha do tipo de pedreira, e a alteração ou alterabilidade do material escolhido e da sua posterior colocação em obra.

2.3. Alterações e alterabilidades nos materiais pétreos

Qualquer construção, sobretudo as de pedra, sofrem nas suas paredes externas a ação direta das condições atmosféricas (temperatura e humidade relativa, radiação ultravioleta e poluentes) como também a ação humana (SOUSA, et al: 2007).

Problemas estruturais e superficiais são passíveis de ocorrer em todos os tipos de construções, provocados por todas estas condicionantes, em especial a água em todos os seus estados. Para tal é necessário enumerar os tipos de anomalias que podem vir a suceder.

2.3.1 Tipologias das anomalias das construções

O uso de uma tipologia específica possibilita a caracterização dos aspetos da deterioração em função: do tipo de pedra, dos aspetos arquitetónicos, das condições de exposição etc. Através de uma classificação por tipologias torna-se possível definir os padrões de deterioração, identificar zonas mais danificadas ou mais suscetíveis aos processos da deterioração e formular hipóteses quanto aos agentes e processos responsáveis pela deterioração (SIMÕES et al.:2002).

Antes de definir os tipos de anomalias que podem ocorrer nas construções é necessário compreender as suas origens, os danos causados na sua estrutura quando são internos, ou estão sobre a superfície dos materiais.

A água, como principal agente de deterioração, desencadeia ou agrava todo o processo, podendo ser absorvida principalmente por ascensão capilar, infiltrações de águas pluviais ou diretamente das chuvas, ou por condensação, sendo possível ocorrer ciclos de gelo e degelo da mesma causados pelas mudanças de temperatura, migração de sais solúveis e cristalização dos mesmos, ataques biológicos, químicos e corrosão de metais (KARACA: 2010).

Dentre as causas de anomalias podem-se considerar as seguintes (SOUSA et al: 2007):

- A água em seu estado líquido, tem uma ação nociva quer para sua estrutura, quer para a camada superficial da pedra;
- As eflorescências, que resultam da cristalização de sais resultantes da água no

interior da construção que ao do estado líquido ao gasoso arrasta os sais para a superfície, podendo sair também pelas suas juntas. A humidade pode ser proveniente de diferentes causas, como a infiltração gravitacional através do telhado ou das paredes devido à água da chuva, a ascensão capilar através do solo, ou a condensação do ar;

- Para além da ascensão capilar, o solo, que constitui a base das edificações, também pode originar outros problemas associados à acomodação das terras, causar movimentações mecânicas e danos no edifício, como a fendilhação e fraturas. As grandes amplitudes higrotérmicas podem causar stress nos materiais;
- O desenvolvimento de biocolonização por microrganismos resulta de um conjunto de variáveis a que se junta a presença de água e nutrientes na estrutura dos materiais, cujo desenvolvimento depende igualmente dos fatores como Humidade Relativa - HR e Temperatura – T;
- Os poluentes atmosféricos atacam as superfícies provocando alterações com a deposição de partículas sólidas e gases que originam alterações químicas da composição dos materiais. Uma das mais comuns alterações no caso dos granitos resulta na hidrólise dos silicatos, na base da qual estão agentes como a água, a temperatura e até os microrganismos, e de que resulta a caulínização dos feldspatos em sílica dissolvida e minerais de argila (Barros: 1991) Os danos relacionados são geralmente superficiais, contudo podem vir a comprometer as estruturas;
- A ação humana também pode causar degradação na construção. Um exemplo deste tipo de dano são os ciclos de uso do edifício, se é aberto todos os dias ou uma só vez por semana, pois altera a ventilação e os valores higrotérmicos no seu interior a frequência e tipo de limpezas efetuadas (se húmidas ou a seco), já que as húmidas interagem com os valores de HR e T e implicam se feitas com produtos inadequados, desgaste mecânico e químico. Este fator depende também da formação e sensibilidade das zeladoras que executam estas tarefas.

Segundo a classificação feita pelo *International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS)⁷, os tipos de anomalias estão divididos por grupos e subgrupos, de acordo com as características

⁷ O glossário de pedra do ICOMOS: Conselho Internacional dos Monumentos e Sítios, organização não-governamental mundial associada à UNESCO, é uma rede de especialistas e beneficia das trocas interdisciplinares entre os seus membros, formado principalmente por arquitectos, historiadores, arqueólogos, historiadores da arte, geógrafos, antropólogos, engenheiros e urbanistas. Faculdade de Arquitetura.

FONTE: <http://www.icomos.pt/index.php>

apresentadas. A lista definida pelo ICOMOS, que seguidamente se apresenta, enumera os danos e alterações na pedra, sejam de natureza intrínseca como extrínseca:

- a. Fenda e deformação:
 - Fratura; fenda em estrela; fissura; *craquelure* e divisão
- b. Destacamento em área:
 - Bolha; estalado; delaminação; desagregação; fragmentação; destacamento pelicular; descamação.
- c. Danos e perda de material:
 - Alveolização ou escavado; erosão; danos de origem mecânica; microcarsificação; lacuna ou falta; perfuração; *pitting*.
- d. Alteração cromática e depósitos:
 - Crosta; depósito; alteração cromática; eflorescência: incrustação; filme; aspeto brilhante; grafite; patina; sujidade; subflorescência.
- e. Colonização biológica
 - Colonização biológica (algas, bactérias, líquenes, fungos e plantas).

2.3.2 O processo de degradação

O próprio material pétreo possui em seu interior sais, ora de origem do próprio material, ora de origem externa (BALDINUCCI; 1681). A ação dos eventos climáticos, através de ciclos secos e húmidos, quentes e frios; juntamente com água, quer pelos processos de congelamento e descongelamento, migração e cristalização de sais solúveis; além dos ataques biológicos e químicos agem nesses sais e são os responsáveis pelo processo de degradação dos elementos (KARACA: 2010).

Assim, as construções em pedra sofrem três formas de degradação (BURFORD, et al: 2012):

- Física, que é provocada pela ação mecânica sobre os materiais usados na construção;
- Química, causada pela alteração dos componentes químicos dos materiais;
- Biológica, relacionada com o crescimento e desenvolvimento de organismos vivos associados ao material da construção (ALARCÃO: 2002).

Freitas (1992), ao estudar o comportamento da humidade em paredes de edifícios, entende que as condições climatéricas afetam diretamente o edifício, no que se refere à durabilidade, à estanquicidade, à deterioração estética e ao desempenho térmico dos materiais e componentes de construção, causando anomalias, influenciando humidade e temperatura no interior dos elementos de construção, em função das condições climatéricas interiores e exteriores. Estes fatores causam e/ou aceleram processos de alteração como fissuras, degradação e o desenvolvimento de microrganismos. A porosidade do granito possibilita a absorção da humidade que penetrando o material percorre até ao reboco, causando a curto prazo alterações químicas visíveis e posteriormente físicas, podendo a longo prazo, causar a fragilização estrutural do edifício.

Sem dúvida que a água, a temperatura e os contaminantes atmosféricos são as principais fontes de anomalias nas construções. A humidade infiltrada acaba por sair da parte interna da estrutura arquitetónica, o que acaba por alterar parte dos materiais que se encontram em seu caminho. A água é transportada por todos os pontos fracos da construção, vazios e fendas. À medida que prossegue o seu caminho, vai ficando mais rica em materiais dissolvidos até que as condições ambientais provocam sua evaporação e a deposição desses materiais previamente dissolvidos que, dependendo da poluição, podem agravar ainda mais a patologia existente (APPLETON: 2003).

Os trabalhos de Freitas (1992) e Appleton (2003) são complementares porque deixam claro que tanto as anomalias estruturais internas quanto as anomalias superficiais, são causadoras de danos na construção. Além disto, ambas estão interligadas, tomando como exemplo uma alteração visível de um reboco ou camada externa de uma parede.

Ao realizar uma análise profunda pode-se descobrir um dano estrutural sério a partir de danos aparentemente superficiais. Estes danos aparentes podem esconder alterações com a capacidade de conseguir fragilizar a estrutura do edifício.

Mascarenhas (2006), reitera ao afirmar que nas paredes sem argamassas ou com argamassas de cal a humidade é facilmente escoada para o exterior, sendo facilitada a ocorrência da troca gasosa e térmica através dos materiais (Figura 7). Nas paredes com argamassas de cimento tipo Portland (Figura 7) ou paredes duplas preenchidas com sobras de construção ou enchimentos (Figura 6) o escoamento da água é mais difícil, podendo esta ficar retida nas juntas horizontais. Neste caso os ciclos de congelação e degelo aumentam ainda mais o risco das alterações ocorrerem.

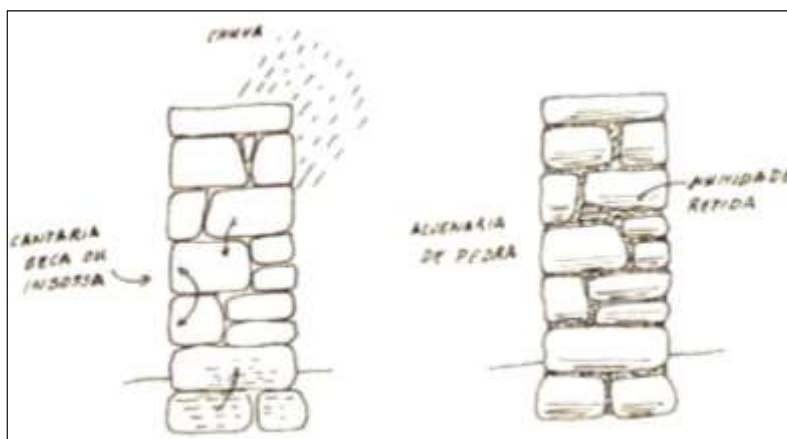


Figura 7: À esquerda um exemplo da alvenaria sem argamassa ou argamassa de cal. À direita da alvenaria com argamassa de cimento.
Fonte: Mascarenhas, Jorge 2006

Para além do estudo dos meios de degradação, a presente dissertação também visa entender as anomalias e a relação entre as suas paredes de pedra.

Desde o momento que a rocha sai da pedreira ela começa o seu processo de deterioração e envelhecimento. Este processo é resultado da sua subordinação aos fatores físicos, químicos e biológicos. Ao longo do tempo, na superfície da pedra, acumulam-se água, materiais orgânicos e materiais inorgânicos. (DE LOS RIOS et al: 2004).

Warscheid (1990) e De Los Rios (2004) estabeleceram que os monumentos construídos em pedra de uma forma geral são afetados pelo crescimento de microrganismos, que são responsáveis pela criação de um biofilme⁸ sobre a pedra. Gaylard (1999) e Ortega-Morales (2000) atestaram que, para além da criação do biofilme, que atua como uma espécie de adesivo e retém ao longo do tempo a sujidade e todo o tipo de partículas, criam nichos com alteração de temperatura e humidade localizadas.

Estas patinas dos biofilmes podem variar tanto nas suas formas quanto nas suas cores, de acordo com as características do grupo de organismos que os compõem, com as condições ambientais entre outros fatores de menor relevância que possam incidir sobre a matéria. A coloração, que é o indício mais visível, pode diversificar-se desde amarelo-esverdeado, verde-escuro, preto, rosa, cinzento e castanho (CAPPITELLI: 2009).

⁸ Os biofilmes são comunidades biológicas com um elevado grau de organização, onde as bactérias formam comunidades estruturadas, coordenadas e funcionais. Estas comunidades biológicas encontram-se embebidas em matrizes poliméricas produzidas por elas próprias. Os biofilmes podem desenvolver-se em qualquer superfície úmida, seja ela biótica ou abiótica
Fonte: M.E. Davey; G.A. O'toole (dezembro 2000), Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics, pp 847-867.

Nas investigações sobre este tipo de manchas, uma boa percentagem da sua formação está relacionada com o crescimento de biofilmes pigmentados, atribuindo-se a presença de fungos, organismos que têm capacidade de produzir pigmentos, particularmente melaninas ou compostos análogos (GORBUSHINA: 1991).

As rochas biocolonizadas usualmente possuem uma constante absorção de água, o que permite a produção e manutenção dos biofilmes sobre as superfícies, levando a funcionar como depósito de nutrientes para outros micro-organismos, assim como para partículas orgânicas e inorgânicas (URZI: 1998, pp 45 apud MARCO: 2016, p.70).

Warscheid (1990) através de ensaios em superfícies rochosas, constatou que alguns micro-organismos produzem ácidos orgânicos. A produção e migração destes e outros ácidos produzidos pelo metabolismo fúngico são responsáveis pela desagregação da rocha granítica (BURFORD: 2003).

O processo de degradação biológica ao ser analisado de forma mais detalhada, nos faz compreender a existência de uma variada comunidade que pode existir dentro de uma única patina ou mancha, muitos com a capacidade de produzir pigmentos, cuja tonalidade é o indício mais visível, podendo para além da coloração variar suas formas. O fato de existir mais de um tipo de organismo a conviver num mesmo biofilme, implica a necessidade de compreender a colonização biológica e todos seus componentes antes de se criar um processo de limpeza do mesmo, pois o que pode erradicar um organismo, ao mesmo tempo pode contribuir para o crescimento de outro.

CAPÍTULO III

3. Metodologias para levantamento do edifício.

O património edificado relaciona-se com diversas áreas, principalmente quando se trata de intervenções ligadas ao restauro, recuperação ou conservação do mesmo. O levantamento arquitetónico possui grande valia para todas as áreas durante o estudo. Com este levantamento é possível entender os métodos utilizados na edificação e os motivos que levaram à utilização deste. (DINIZ: 2014).

Segundo o *Guide to recording historic buildings* (1990), realizar o levantamento e representar a realidade construída é o resultado da necessidade de se intervir tendo um nível determinado de informação do edifício a ser intervencionado. Este levantamento e documentação produzida serve para além do estudo, perpetua a memória de uma situação atual para gerações futuras. É um instrumento para o conhecimento, trazendo luz sobre a evolução do edifício, sua forma estrutura, uso e decoração, ou simplesmente como repositório de informações em catástrofes.

O levantamento, além da área disciplinar da arquitetura, pode ter diversos fins possíveis, podendo-se destinar a documentação gráfica produzida do edificado a conservação e restauro, a análises arqueológicas, do histórico arquitetónico, para divulgação e visualização, realização de inventários, avaliações imobiliárias, assuntos judiciais entre outros (MATEUS: 2012)

Diferentes métodos de levantamento, utilizados sozinhos ou em conjunto, podem ser necessários. Cada investigação em particular pode vir a utilizar um método, dependendo do objetivo que se pretende alcançar com o levantamento.

Considerando a área da conservação e restauro, seus fins específicos podem equacionar variáveis diversas. Devendo-se escolher o método, nível de precisão e tipos de dados que se deve recolher. (MATEUS: 2012)

Faz-se necessário definir quais os métodos que se adequam à recolha das informações pretendidas a sua sistematização, registo gráfico e representação. Tais levantamentos podem ser apresentados sobre diversas formas: plantas, cortes, alçados, modelos 3D, fotografias, fotografias retificadas, orto-imagens, texto, quadros e tabelas, gravações áudio e de vídeo, entre outros (COELHO: 2016).

André Coelho (2016) ao afirmar que a escolha entre os diferentes tipos de levantamento depende de cada projeto, em termos de precisão e detalhe, deixa tácito que o projeto pode

evoluir para diferentes estágios, partindo de um simples desenho com alçados feito com medidas tiradas de forma manual e até fotografias aéreas.

Antes de se realizar o levantamento, alguns passos devem ser realizados, tal como investigar as condições locais com antecedência. Assim, é possível montar uma pré-descrição com o máximo de informações. Para se ter uma melhor percepção do edifício a ser levantado e toda sua conjuntura, deve-se recorrer ao uso de imagens satélite, mapas, fotos aéreas e qualquer outro material disponível. A visita prévia deve ser complementada por uma pesquisa nestas fontes. A articulação entre estes dois momentos é que dará a ideia do todo. (Pezzuti et al: 2017).

As técnicas utilizadas para realizar o levantamento arquitetónico são inúmeras e cada vez mais diversas. Recentemente, Blake e seus colegas de investigação (2013) dividiram em dois tipos de métodos a realização do levantamento: o direto e o indireto.

- a. O levantamento direto executa-se em contato direto com o objeto, de forma bastante básica e direta, como o próprio nome diz, empregando o uso de ferramentas simples como a fita métrica, o nível de bolha de ar, os fios-de-prumo, as réguas e outros utensílios, até uma camara fotográfica para ajudar guardando imagens para o futuro desenho. Geralmente é feito o planeamento, os esboços ou esquemas do edifício a ser levantado e as medições que serão registadas nos esboços para então serem feitas as plantas do edifício.
- b. No levantamento indireto, o objeto a ser medido não tem contato direto com o equipamento. Em grande parte dos casos a sua escolha é por se tratar de objetos grandes com pontos de difícil acesso. Alguns exemplos desse tipo de método são o varrimento laser 3D, a topografia tradicional com estação total, a fotogrametria com drone, entre outros. E com a criação de novos objetos tecnológicos inúmeras opções podem vir a surgir.

De acordo com os objetivos que se deseja abranger, podem ser utilizados diferentes métodos de trabalho ou a combinação entre eles. Para evitar uma apresentação exaustiva de todas as possibilidades neste trabalho, optou-se por apresentar apenas a combinação de métodos que será utilizada. Assim sendo, a abordagem selecionada foi o levantamento tradicional direto juntamente com a fotogrametria com *drone*.

3.1. O levantamento arquitetónico tradicional.

O levantamento arquitetónico é de certa forma um processo inverso ao construtivo, pois parte do edifício já construído para se efetuar sua representação e compreensão gráfica (ALBYA et

al:2008).

Colistra (2011) considera que para a utilização do método tradicional de contato direto deve-se em primeiro lugar: realizar um planeamento rigoroso e a seguir, executar o trabalho de campo. Este inicia-se com a produção dos esquemas e/ou esboços (figuras 8 e 9) feitos antes de se aferir as medições.

Com a realização de esquiços pode se obter uma interpretação geral do edifício, facto que facilita o seu levantamento e futuro registo.



Figura 8: Representação de um esquema ou esboço do levantamento da Quinta da Bouça.
Fonte: HAP.

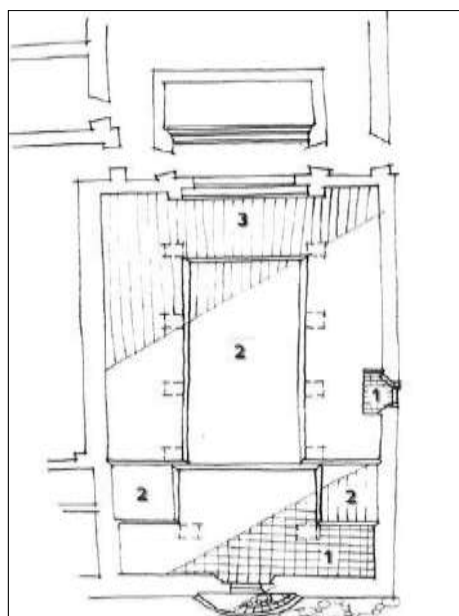


Figura 9: Exemplo de um esboço de planta baixa da nave da Igreja de Nossa Senhora da Assunção.
Fonte: SCIELO

Os esboços ou esquiços, são os desenhos geralmente feitos a mão livre para o levantamento arquitetónico, cuja finalidade é servir de base para assinalar as medidas auferidas do objeto. Estes devem ser considerados como um documento autêntico, passíveis de ser usados por outras pessoas além do autor, que, por conseguinte, caracterizam-se pela clareza e legibilidade, considerando-se o uso de fotografias para ajudar tanto a criação dos esboços como para o levantamento (COLISTRA: 2011).

3.2. Levantamento arquitetónico por fotogrametria.

A arte de fotografar para documentar e guardar um registo está sempre em evolução. Desde a heliografia⁹, a primeira fotografia permanente do mundo, realizada por Joseph Nicéphore Niépce em 1826 até às modernas câmaras digitais (OLIVEIRA: 2011).

Contudo, os conceitos da fotogrametria começaram muito antes da fotografia inventada, remontam a história para muito tempo antes. Leonardo da Vinci escreveu que a perspetiva é visualizar um objeto através de uma folha de vidro, onde todos os objetos atrás desse vidro podem ser marcados e desenhados à sua imagem. Portanto, todas as coisas transmitem imagens para o olho por linhas em formato piramidal, onde esta imagem piramidal é seccionada o mais próximo possível do olho, criando uma perspetiva em tamanho tão perfeita quanto o objeto (DOYLE:1964).

Os estudos de Da Vinci continuaram a inspirar novos estudos da aparência, pontos, linhas, ângulos, superfícies e volumes no plano da imagem. Pintores como Leone Alberti¹⁰ publicaram estudos sobre perspetiva. A partir dos estudos da perspetiva, matemáticos começaram a estudar a geometria projetiva, que é a base fundamental da fotogrametria, estudos como o de H. Lambert¹¹, onde discute as propriedades geométricas de uma imagem em perspetiva para descobrir o local no espaço onde a imagem foi cortada, ou seja, o ponto onde foi criada (DOYLE:1964)

⁹ Heliografia: Gravura com a luz solar, Niépce recobriu uma placa de estanho com betume branco da Judéia que tinha a propriedade de se endurecer quando atingido pela luz, onde após 8 horas de exposição, se tinha uma imagem.
Fonte: <https://jornalismosp.espm.edu.br/joseph-nicephore-niepce-inventor-da-heliografia/>

¹⁰ Leon Battista Alberti (Génova, 18 de fevereiro de 1404 — Roma, 25 de abril de 1472) foi um arquiteto, teórico de arte e humanista italiano. Ao estilo do ideal renascentista, foi filósofo da arquitetura e do urbanismo, pintor, músico e escultor.
Fonte: Leon Battista Alberti – Wikipédia, a enciclopédia livre (wikipedia.org)

¹¹ Lambert, J. Heinrich 1-1., FreiePerspektive, Zurich, 1759.

A primeira fotografia aérea foi realizada por Félix Nadar que utilizou um balão para subir a 80 m do chão e fotografar Paris em 1858. Mas o trabalho mais antigo destes tempos pioneiros a sobreviver é uma vista aérea de Boston feita por James Wallace Black e Samuel Archer King, tirada a 360 metros de altura e tem o título de *Boston, as the Eagles and the Wild Goose see it* (OLIVEIRA: 2011).

A invenção da fotografia digital por Russel Kirsh e a sua equipa em 1957, preparou o futuro da fotografia e da fotogrametria. Entretanto as primeiras fotografias digitais com equipamentos que permitiriam seu uso corrente só foram tiradas aos planetas do sistema solar pelas sondas do projeto Mariner, entre meados dos anos 1960 e início dos anos 1970 (OLIVEIRA: 2011).

A fotogrametria atual é o resultado de inúmeras pesquisas e invenções realizadas desde a antiguidade clássica. A medição e a perspetiva perfeita sempre foi uma preocupação, desde os testes com desenhos estereoscópicos no século XVI até ao uso de satélites.

A história do processo fotogramétrico pode ser dividida em quatro etapas. Nos últimos 60 anos do século XIX, aparece a fotografia e os primeiros livros teóricos sobre o tema. Nos primeiros 60 anos do século XX, os novos fundamentos matemáticos, o uso de câmaras em aviões e instrumentos retificadores/restituídos analógicos. Entre 1960 e 1990 passa-se a fazer uso de computadores e a aerotriangulação. A partir dos anos 1990 a coleta de dados é maioritariamente digital e obtêm-se a visão pelo ponto de vista da máquina (*drones*) (OLIVEIRA: 2011).

É interessante destacar que a transição da terceira para a quarta fase é uma mistura entre o digital e o analógico. Nos anos 1970 Helava e Gilbert Louis Hobrough digitalizavam as imagens de uma máquina analógica e transformavam-nas em dados para um computador (OLIVEIRA:2011).

Estando sempre em evolução, a fotogrametria pode ser definida como a arte, ciência e tecnologia de obter informações confiáveis sobre objetos físicos e o meio ambiente através do processo de registo, medição e interpretação de imagens, padrões fotográficos e padrões de energia radiante eletromagnética, entre outros fenómenos (LERMA et al: 2013).

A partir das imagens de entrada da fotografia digital, são obtidas não apenas imagens, mas também nuvens de pontos coloridas (num estágio inicial) e modelos 3D fotorrealistas (num estágio final). No entanto, a realização de diversos ajustes, como calibração e orientação da câmara, são considerados essenciais para confirmar a qualidade dos resultados da saída.

Tradicionalmente, a partir de pesquisas fotogramétricas a construção de planos/ mapas, elevações e seções transversais e plotagem de contornos eram os resultados finais típicos do

trabalho (LERMA et al: 2013).

O mais importante do trabalho fotogramétrico é a documentação virtual que permite a navegação e a exploração através do local do património com uma representação métrica precisa e confiável (HADABAY et al: 2019). Este trabalho também é considerado uma das técnicas indiretas de maior sucesso para medir e reconstruir objetos em 3D a partir de uma, duas ou múltiplas imagens (LERMA, et al: 2013).

A fotogrametria é caracterizada por sua versatilidade e é aplicável em uma ampla gama de escalas usando uma variedade de técnicas analíticas e programas como o *3DF Zephyr*®, *RealityCapture*® ou *OneDroneMap*®. As diversas fotografias tiradas do ambiente, respeitando um padrão de distanciamento do objeto e sempre na horizontal e vertical, são utilizadas para a execução do projeto e combinadas pelo *software* para formar um modelo tridimensional. Com uma escala mais ampla pode-se montar um modelo 3D em tamanho real para a realização de um cenário virtual.

O fluxo de trabalho geral para o processamento fotogramétrico descrito a seguir, faz parte das recomendações contidas no guia *online* de boas práticas para a aplicação da fotogrametria no património cultural¹². No decorrer do trabalho uma parte será gerada automaticamente pelo *software* empregue, enquanto outros elementos devem ser gerados por quem trabalha no projeto:

- Planeamento;
- Reconhecimento;
- Aquisição de imagem (utilizando camaras fotográficas, drones, etc.);
- Pré-processamento de imagem;
- Importação de imagens;
- Cálculo da orientação interior e exterior, identificação de pontos de referência no conjunto de imagens, formação de nuvem de pontos dispersos com base nessas identificações dos pontos;
- Incorporação de dados de controlo, otimização do alinhamento;

¹² Photogrammetric Applications for Cultural Heritage. Guidance for Good Practice (Online) novembro 2019. www.historicengland.org.uk

- Formação de nuvem densa de pontos analisando todas as imagens e projetando a maioria dos dados dos pixéis nos pontos 3D, desde que possam ser correspondidos e identificados em pelo menos duas das imagens de entrada;
- Edição em nuvem densa de pontos (opcional);
- Geração de saídas de dados (alta resolução malha, orto-imagens, DEM etc.), com as quais será feito um melhor aproveitamento das imagens para criar um mapeamento de danos e alterações;
- Processamento e análise adicionais desses dados em outro *software* (*CAD*, *GIS* etc.);
- Apresentação;
- Arquivo.

O equipamento que se faz necessário para a realização do levantamento fotogramétrico consistem em camara fotográfica e acessórios, *drone*, computador com software adequado.

A documentação baseada em realidade virtual segue este último passo. Aqui apenas os dados de entrada verdadeiros são usados para criar, eventualmente, os modelos 3D fotorrealistas (LERMA et al: 2013).

3.2.1. Sistemas de registo vetorial

O ser humano sempre estudou as formas geométricas, os vetores são usados desde o século XVIII. O conceito de vetor a usar é o estabelecido pela física. Na física, o vetor pode ser entendido como uma classe de objetos definidos por três valores que são direção, intensidade e sentido, que tem início num ponto e o fim noutra ponto. O vetor como conceito matemático pode ter uma interpretação mais visual, ou seja, o vetor pode ser expresso a partir de uma representação gráfica (TABOADA: 2016).

Desse modo, o vetor aqui abordado é a conceção mais visual, com interpretação gráfica, com a utilização de programas que possibilitam a criação de linhas e polígonos através de cálculos realizados pelos computadores (Figura 10). Neste caso pode-se usar para a construção visual os programas fotogramétricos que são capazes de gerar automaticamente nuvens de pontos com os modelos poligonais, e também programas do tipo CAD. Existem também os *softwares* de animações, cujas imagens consistem em uma representação criada a partir da utilização de primitivas geométricas (como pontos, linhas e formas) baseadas em expressões matemáticas

vetoriais – os designados vetores (VILELA: 2019).

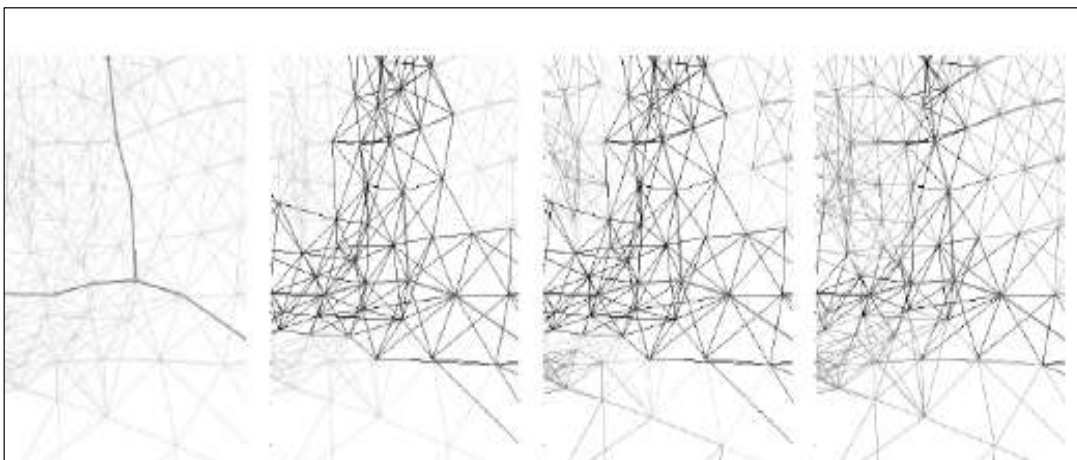


Figura 10: Visão aproximada do gráfico de conectividade com o caminho entre linhas, pontos e polígonos, na criação de uma imagem vetorial.
Fonte: HORMANN & REIMERS (2002).

Através do uso de *software* de manipulação, as imagens vetoriais podem ser transformadas em mapas de pontos, processo chamado de rasterização, ou inversamente, *bitmaps*. Através do processo de vectorização estes mapas podem ser transformados em imagens, com pontos e linhas nos quais servem para a orientação das imagens (Figura 11) (TABOADA: 2016).

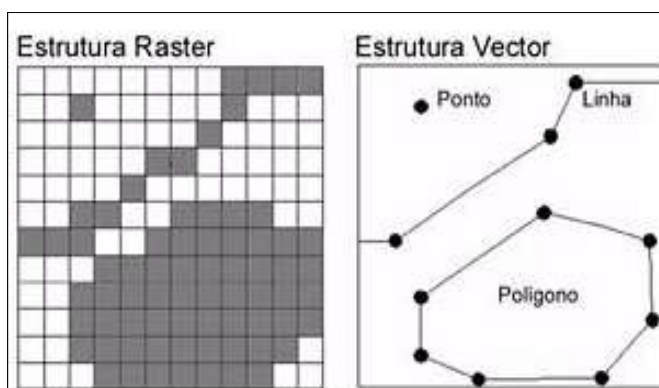


Figura 11: Modelo de representação matricial e vetorial.
Fonte: VITRUVIUS

Através destas nuvens de pontos, o sistema cria uma triangulação que permite orientar as várias imagens colocadas no sistema, para obter uma única imagem, a modelação do objeto dá-se a partir deste momento, com a construção da nuvem dispersa de pontos. Após a construção desta última, procede-se à construção da nuvem densa de pontos.

Este processo gera a criação da imagem, que nesta pesquisa, poderá ser utilizada num sistema CAD para registo gráfico, onde se poderá verificar a estereotomia da pedra (COELHO: 2016)

3.2.2. Representação da estereotomia da pedra

De acordo com o Dicionário Infopédia da Língua Portuguesa o termo Estereotomia deriva do grego, onde *stereos*, sólido; e *tome*, corte. É a ciência que estuda o corte, o entalhe e a divisão dos sólidos empregues na indústria e na construção civil (como pedras e madeiras). O termo é aplicado, por extensão, também ao estudo minucioso das formas das pedras.

Para a arquitetura, a estereotomia estuda os cortes e as formas de ligações da pedra, ajudando a identificar as técnicas utilizadas e os materiais de construções. Para realizar a estereotomia torna-se necessário realizar uma representação gráfica com o método de levantamento (direto, indireto).

No caso de usar a fotogrametria é possível, a partir dos pontos adquiridos e das fotos retificadas, criar representações bidimensionais do objeto com o auxílio de um programa de desenho. Para isto basta orientar o plano de desenho com o plano da superfície e utilizar entidades básicas como linhas, polilinhas e arcos para conseguir retirar um molde virtual do pretendido (Figura 12). Com este processo obtém-se a representação convencional no sistema diédrico. Esta é a solução mais simples para utilizadores de programas convencionais de CAD em arquitetura (DINIZ: 2016).

Aqui também é possível voltar à representação dos vetores descrita acima. Com a utilização de *wireframe*, pode-se perceber a estrutura básica do objeto (esqueleto), é uma forma de visualização do desenho em linhas de construção dos vetores. O combinado de linhas são os objetos sem a renderização proporcionada pelo *software* (TABOADA: 2016).

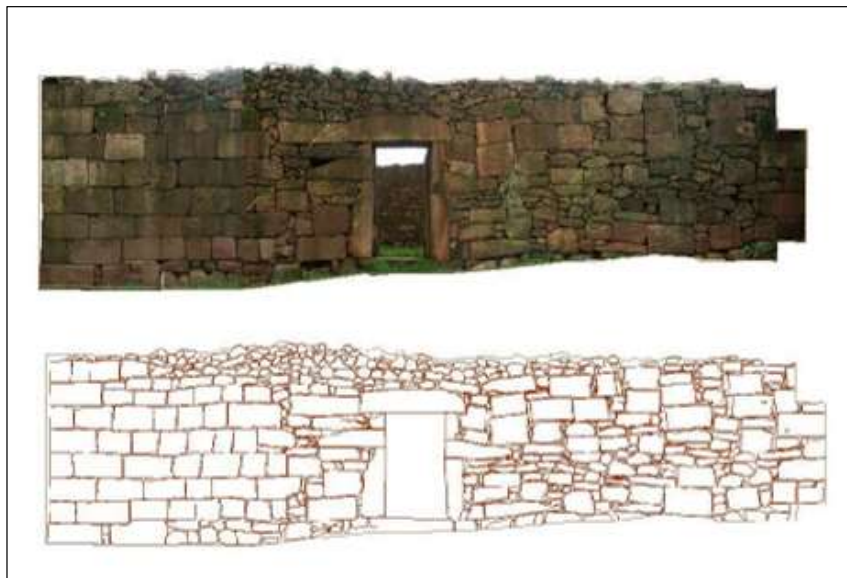


Figura 12: Representação gráfica de uma base de capela.
Fonte: DINIZ: 2016

O processo de produção da estereotomia será feito substancialmente, através da importação da imagem obtida através da fotogrametria, para o programa CAD, sendo a imagem sobreposta ao levantamento arquitetónico prévio, onde poderão ser verificadas diferenças e ajustadas para o fim pretendido do registo das juntas e mapeamento da pedra (COELHO: 2016).

3.2.3. Modelação tridimensional de edifícios

Através do levantamento arquitetónico feito por fotogrametria, pode-se fazer um mapeamento dos materiais e técnicas dos imóveis, para permitir a reconstrução da geometria 3D.

No âmbito da tecnologia 3D, cabe aqui fazer uma referência a importância do sistema *Building Information Modeling (BIM)*. A solução baseada no *BIM* fornece um modelo 3D digital que facilita a leitura espacial e um banco de dados capaz de incluir uma variedade de atributos com recursos para representar características descritivas, com uma grande aplicação nas atividades de gerenciamento de património. (GODINHO et al: 2020).

Atualmente os *software* que existem no mercado e que são utilizados para desenvolvimento de projetos sob metodologias *BIM* no que diz respeito ao desenvolvimento de modelos 3D, são o *ArchiCAD®* e *Revit®*.

O BIM, que é comumente utilizado em novos edifícios, tem sido aplicado para casos de estudo do património histórico. Nestes casos, a sua implementação enfrenta alguns problemas, como a predominância de edifícios incompletos, obsoletos ou fragmentados (GODINHO, 2020).

Alguns problemas podem ser apontados em relação à geometria complexa dos edifícios ou dos locais onde foram construídos, podendo vir a dificultar a leitura durante o recolhimento de dados para a construção do modelo. A possibilidade de haver essas lacunas no reconhecimento exige flexibilidade para representar edifícios históricos, nos quais a heterogeneidade dos dados também pode ser um problema, pois a organização hierárquica e de alguma forma hermética das informações no *BIM* não a cumpre com facilidade. Embora exista essa possibilidade, que pode ser solucionada, geralmente exigem mais tempo para representar em detalhes. (GODINHO et al: 2020).

Recentemente foi realizado um trabalho de levantamento no Palácio da Pena, por Godinho et al, no qual o uso da tecnologia *BIM* serviu para realizar o levantamento 3D, ao mesmo tempo, para anexar informações de outros sectores de funcionamento do edifício ao modelo digital. Esse conjunto de informações, que podem ser coordenados e utilizados de uma só vez, facilitam o trabalho e funcionamento do Palácio, desta forma o projeto é considerado uma plataforma BIM. Tornando o modelo 3D em um conjunto de informações para diferentes fins.

Sobre o programa *Revit*® pode-se dizer que foi o programa escolhido para a modelação da Igreja de Santa Marinha em Vila Marim (Vila Real). A sua plataforma de uso fácil permite a compatibilização de todos os dados no projeto, desde o orçamento, especificação, e até mesmo cálculo de cargas. (FURTADO: 2020).

A escolha entre o *Revit*® e o *ArchiCAD*® para este projeto, deve-se à facilidade que o *Revit*® tem de incorporar projetos criados no *AutoCAD*®. Por serem ambos *software* da mesma empresa, possuem também interface parecida. Com base na experiência em *AutoCad*® e *Revit*® e a e interação com os dois programas, tornou mais prática a sua utilização.

CAPÍTULO IV

4. Estudo de caso da Igreja de Santa Marinha, Paroquial de Vila Marim (Vila Real)

4.1. Panorama histórico de Vila Marim

Vila Marim é uma freguesia do concelho de Vila Real. Está situada na vertente nascente da Serra do Alvão e o seu nome deriva do nome Romano *Marinus* (RIBEIRO: 2007).

“A partir de 1291, no entanto, a sua história está intimamente ligada a Vila Real, mandada povoar em 1289 e a cujo termo aquela passou a pertencer: tendo a nova vila sido instalada em território anteriormente incluído na freguesia de Vila Marim, a paróquia da sede do termo (São Dinis) continuou a depender eclesiasticamente de Santa Marinha de Vila Marim até ao início do século XIV”. (Ribeiro Aires (2007) — *História das Freguesias do Concelho de Vila Real*. Vila Real: Maronesa. p. 717).

Possui como património cultural construído de destaque a Torre de Quintela e a Igreja Paroquial de Vila Marim com frescos quatrocentistas e quinhentistas (RIBEIRO: 2007).

4.1.1. Estado de conservação

A igreja possui características arquitetónicas comuns aos edifícios religiosos da região: com planta longitudinal, de altar orientado para oriente, sacristia posicionada na lateral da capela-mor, fachada principal mais alta que o corpo da nave e em empena-campanário, de nave única, capela-mor retangular mais estreita e separada da nave pelo arco triunfal, e com estrutura em cantaria de granito (MOUTINHO: 1995).

A informação documental relativa ao espaço arquitetónico da igreja é reduzida. Os principais documentos para encontrar referências encontram-se na página oficial SIPA da DGPC. As informações contidas nesta documentação referem que a igreja é dedicada a Santa Marinha e, provavelmente, foi edificada entre os séculos XIII e XIV. Também informa que ao longo dos séculos sofreu remodelações, tendo a principal alteração ocorrido no século XVIII com a construção da torre sineira e de um novo arco cruzeiro, modificações estas que obrigaram ao alteamento da nave e da capela-mor (DGCP).¹³

¹³ Pesquisa Página DGP- <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/156245> (Consulta a 10/12/2019).

Estas alterações podem provocar mudanças no comportamento higrométrico do edifício, fato que pode, ou não, implicar o início de algum processo interno de alteração nas suas paredes, especialmente onde as pinturas murais se inserem. O simples alteamento de um telhado pode acarretar uma modificação estrutural das paredes, como por exemplo, o percurso que as águas pluviais fazem ao cair do beiral, se ao cair, atingir diretamente as paredes pode fazer com que estas absorvam uma parte da água, que passará a fluir para o seu interior. Há que considerar também a possibilidade da queda de diversos tipos de detritos entre as paredes durante a obra de remodelação (APPLETON: 2003).

À primeira vista, a igreja de Santa Marinha encontra-se em bom estado de conservação. Observa-se a preocupação dos paroquianos de Vila Marim em manter a igreja em bom estado, mandando fazer pequenas obras de manutenção. Entretanto, ao realizar-se uma análise em suas paredes internas decoradas com pintura mural é possível notar a existência de manchas negras em determinados pontos (Figura 13).



Figura 13: Pintura mural localizada na parede esquerda da nave da igreja, com detalhe para mancha negra localizada na região dos pés dos santos.

Créditos: João Sandes, 2020

4.2. Levantamento do edifício

Após situar o edifício da igreja de Santa Marinha dentro da sua perspetiva histórica, a partir da documentação disponível, é necessário situar geograficamente a posição da freguesia de Vila Marim. No sentido de perceber, de forma aprofundada, as variáveis envolvidas na sua construção e nas posteriores remodelações. De acordo com a pesquisa realizada no *website* da DGCP, sabe-se que houve um grande projeto de reforma, modificações estas que obrigaram ao alteamento da nave e da capela-mor, consequentemente levantando toda a sua estrutura de telhado.

A região que delimita a zona de estudo está situada no Norte de Portugal (Figura 14), no distrito de Vila Real, que faz fronteira com Espanha e se limita com os distritos de Braga, Porto, Viseu e Bragança. (Figura 15), Vila Marim está integrada no distrito de Vila Real, (Figura 16).



Figura 14: Vista aérea, mapa de situação do objeto de estudo dentro do território português.

Fonte: Google Earth



Figura 15: Mapa de Portugal com destaque para Vila Real.

Fonte: Google Maps



Figura 16: Mapa do Concelho de Vila Real, com destaque para Vila Marin.

Fonte: Google Maps

Estas referências ajudam a perceber o contexto da edificação para uma abordagem direta. A figura 17 permite ter uma ideia geral do ambiente no qual a igreja de Santa Marinha está inserida e cria uma planta localização do edifício. Com sua orientação Oeste-Leste e implantação numa zona rural num caminho com pouca movimentação de trânsito, tendo poucas construções privadas a sua frente, em seu entorno a casa paroquial e um cemitério ao fundo e lateral sul. No fundo encosta um pequeno curso de água a 8 metros, possuindo pouca vegetação em seu entorno, sendo em sua maioria vegetação rasteira e algumas árvores. Internamente apresenta um ambiente frio e húmido, possuindo pavimento em granito (nave) ocupado por tampas de túmulos.



Figura 17: Vista aérea da igreja de Santa Marinha.
Fonte: Google Earth

Provido de todos os dados de situação, localização e imagens, tratou-se de conhecer melhor a geometria da edificação, esboçar a planta de situação, realizar representações gráficas e executar desenhos à mão livre em planta baixa e fachada (Figuras 18 e 19).

Ao realizar-se o levantamento arquitetónico durante o trabalho de campo, já havia o conhecimento prévio do traçado do edifício, sendo necessário confirmar as suas medidas. A execução dos esboços facilitou a compreensão da espacialidade e dos métodos de construção do edifício.

METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DE FENÓMENOS DE BIODETERIORAÇÃO POR MANCHAS NEGRAS NA PINTURA MURAL DO SÉCULOS XV E XVI COM O APOIO DE PROCESSOS FOTOGRAMÉTRICOS E SISTEMAS DE REGISTO VETORIAL: O CASO DE ESTUDO DA IGREJA DE SANTA MARINHA, PAROQUIAL DE VILA MARIM (VILA REAL)

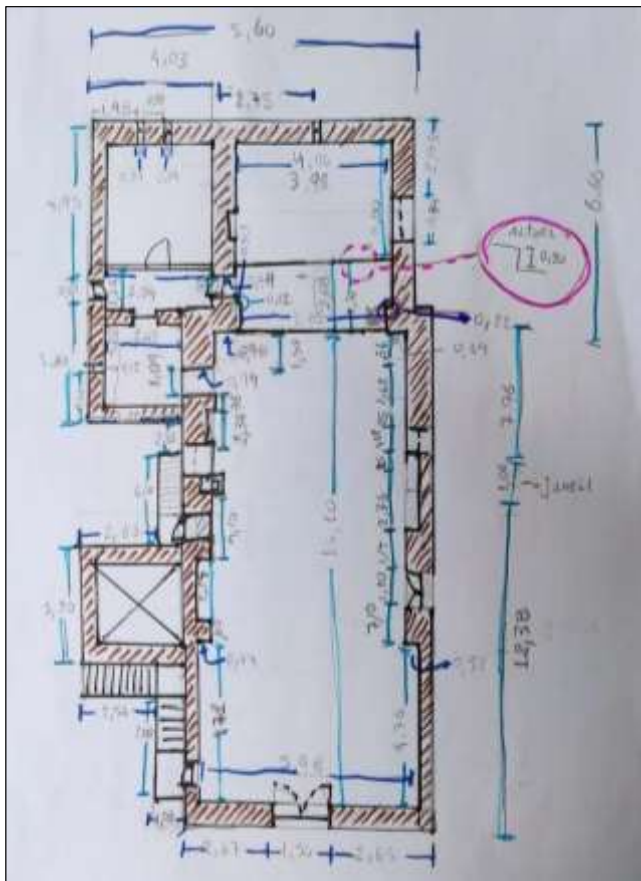


Figura 18: Esboço da planta baixa, realizado para notações do levantamento da igreja de Vila Marim.
Créditos: João Sandes, 2020

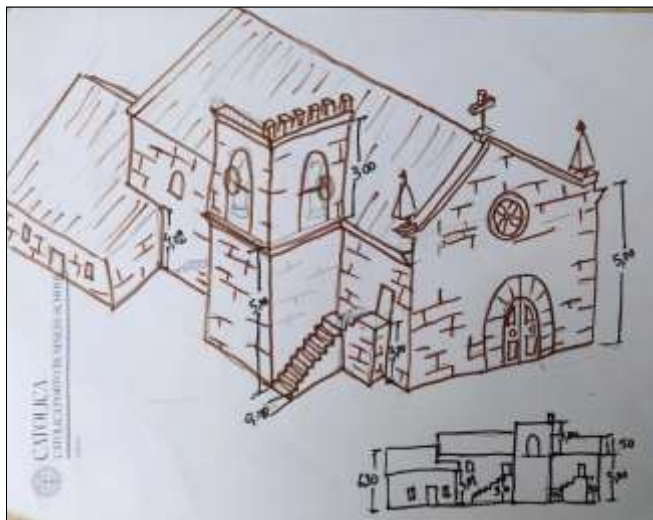


Figura 19: Esquema ou esboço em projeção ortogonal, realizado para o levantamento da igreja de Vila Marim.
Créditos: João Sandes, 2020

Durante o levantamento arquitetónico foi possível observar praticamente por quase toda a igreja, interna e externamente, até a altura de 2 metros, a selagem de juntas com argamassa de cimento tipo Portland, figura 20, e juntas abertas em zonas pontuais externamente



Figura 20: Evidência de selagem de juntas da pedra com argamassa de cimento tipo Portland.
Créditos: João Sandes, 2020

Após a execução dos esboços e da aferição das medidas realizou-se o levantamento fotogramétrico da igreja de Santa Marinha.

A execução fez-se por meio de um *drone* DJI Mavic 2 pro, com camera da Hasselblad, que realizou voos de captura de imagens nos sentidos vertical e horizontal. As fotografias foram realizadas no interior (Figura 21) e no exterior do edifício.

A obtenção das imagens seguiu um conjunto de normas para que as fotografias respeitassem as distâncias e os quadrantes para serem utilizados de modo eficiente e eficaz no *software* fotogramétrico para a produção da imagem final pretendida.

O *drone* utilizado demonstrou um bom desempenho no uso externo. O equipamento dentro da igreja, deparou-se com pequenos problemas de resolução, uma vez que a sua câmara não conseguiu captar fotografias com qualidade devido à iluminação de alguns ambientes. Não obstante, o resultado final não ficou prejudicado, pois com o levantamento tradicional, e

algumas fotografias capturadas com uma camara fotográfica CANON EOS 700D 18-55MM IS STM+55-250MM IS STM, auxiliou a realização da leitura onde as imagens perderam qualidade.



Figura 21: Foto do interior da igreja.
Créditos: João Sandes, 2020

Foram capturadas um total de 1103 fotografias e seleccionadas 850 para a produção das imagens usadas nos passos seguintes. Depois de seleccionadas, as fotografias de interior e exterior foram processadas no *software* e associadas aos dados coletados do levantamento arquitetónico. A partir deste processo obtiveram-se os desenhos e imagens da igreja em estudo.

4.2. Resultados obtidos:

4.3.1. Planta baixa e alçados

Com os dados obtidos do levantamento arquitetónico e utilizando o *AutoCAD®*, pode-se produzir a planta baixa do edifício e os alçados correspondentes. Esta auxilia à compreensão de toda a construção da Igreja Santa Marinha. A planta baixa permite fazer uma melhor observação dos alçados da igreja.

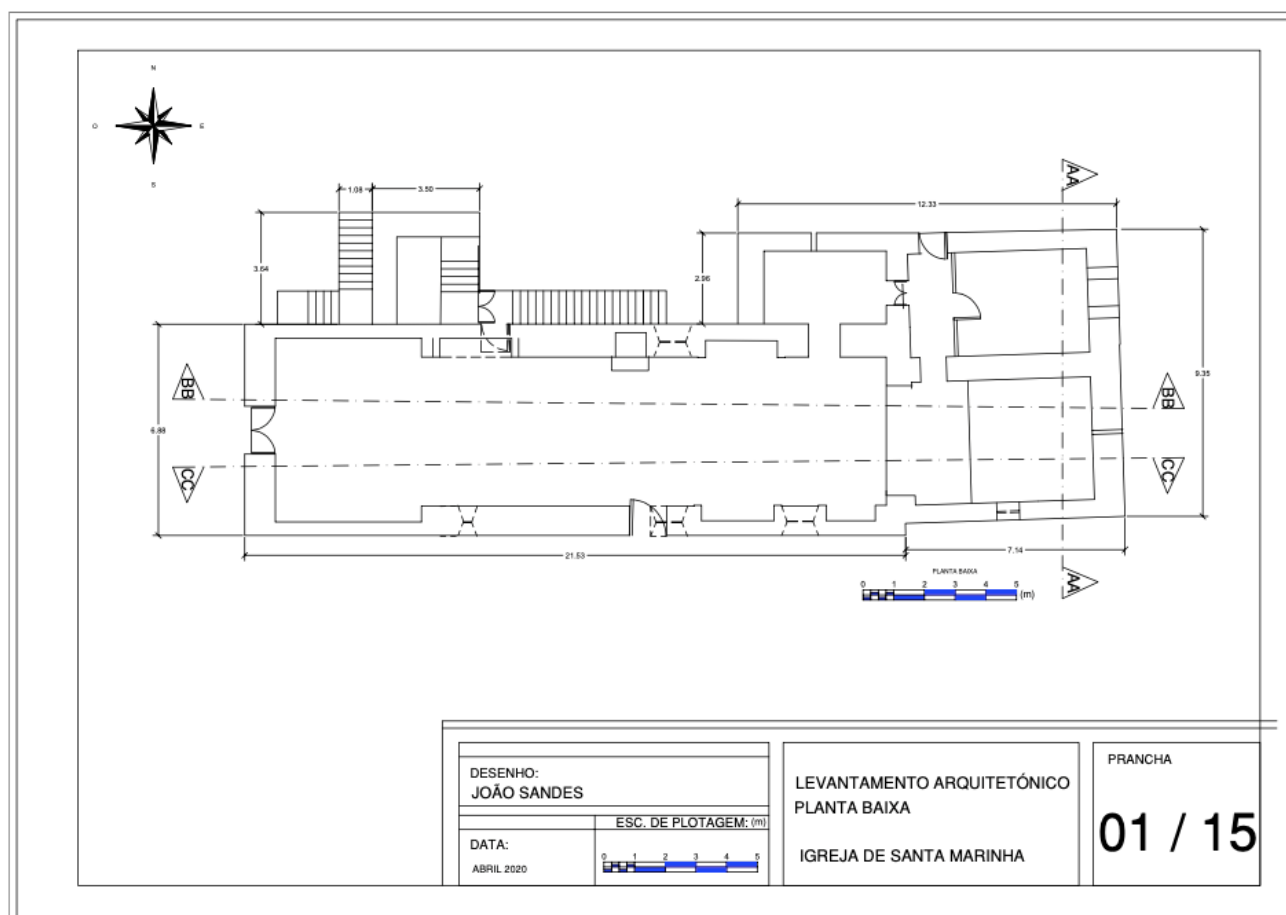


Figura 22: Planta baixa obtida com o levantamento arquitetónico tradicional.
Créditos: João Sandes, 2020

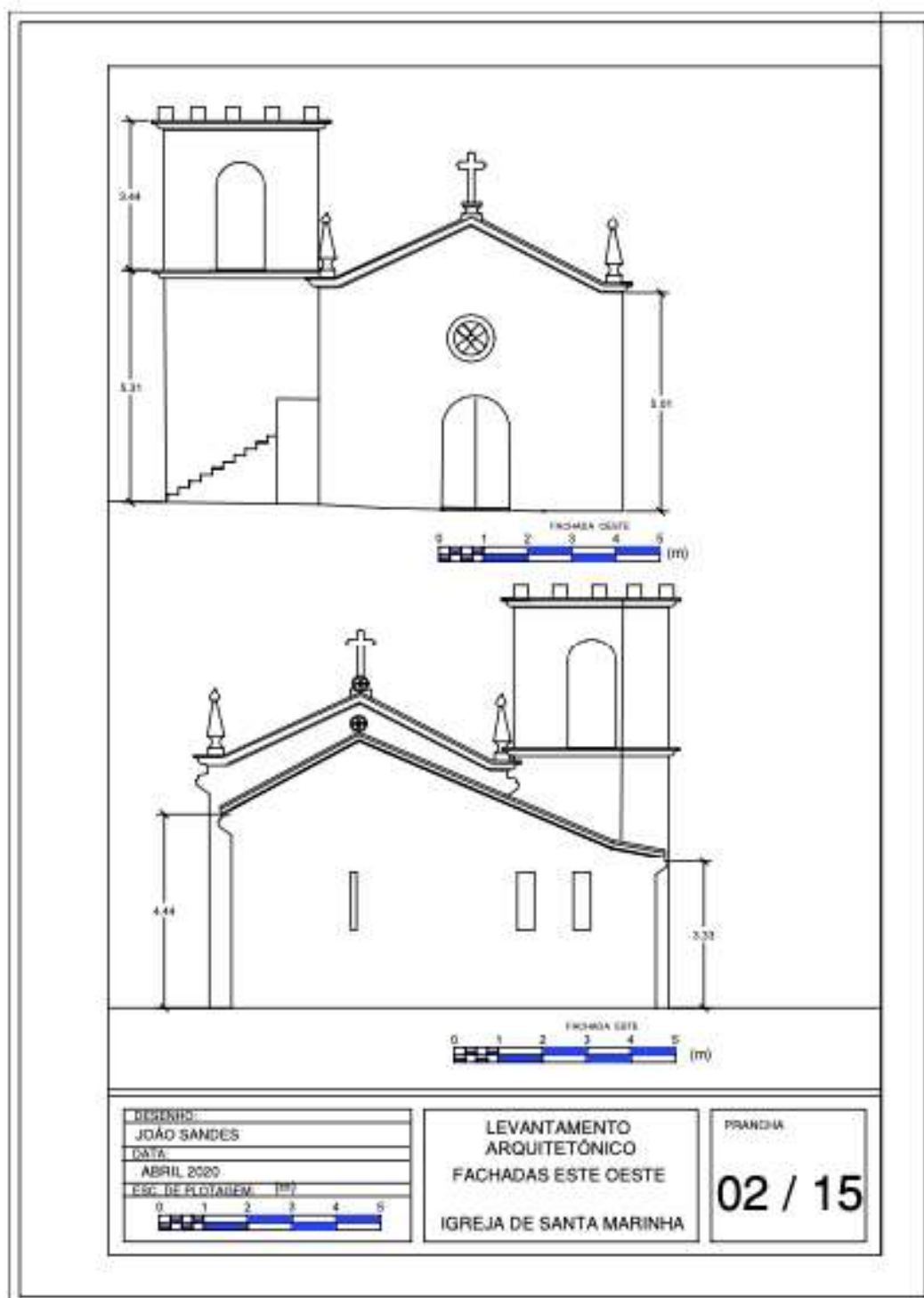


Figura 23: Vistas alçados obtidas com o levantamento arquitetónico tradicional.
Créditos: João Sandes, 2020

4.3.2. Levantamento fotogramétrico

O primeiro levantamento fotogramétrico teve como objetivo fotografar todo o alçado exterior, o que resultou numa imagem dos alçados inteiros sem interferências na sua visualização (Figura 24 e 25).



Figura 24: Alçado oeste obtido com as imagens fotogramétricas, onde se utilizou o Photoshop para limpar a poluição visual do seu contorno.
Créditos: João Sandes, 2020



Figura 25: Vista 3D superior, Alçado lateral norte da igreja, obtido com as imagens fotogramétricas onde se utilizou o Photoshop para limpar a poluição visual do seu contorno.
Créditos: João Sandes, 2020

A realização do levantamento fotogramétrico no interior do edifício foi prejudicada pela falta de experiência nos levantamentos fotográficos em ambientes com pouca iluminação, e pelos

contratempos devidos à pandemia que nos encontramos. Desta forma não foi possível o aproveitamento de todas as imagens após o tratamento fotogramétrico. Mesmo repetindo a visita, a imagem obtida não ficou inteiramente completa. No entanto, a volumetria obtida com a fotogrametria, como exemplificado na figura 26, permitiram prosseguir com o esquema de desenhos, complementando com imagens capturadas com uma câmara fotográfica Canon e com esquemas do levantamento tradicional, resultou no termino do levantamento interno. No *software* CAD pode ser feito o complemento dos pontos em falta, a partir das imagens da camara.



Figura 26: Volumetria incompleta do interior da Igreja obtido com o processo fotogramétrico.
Créditos: João Sandes, 2020

4.3.3. Estereotomia da pedra

A partir das imagens criadas com o processo fotogramétrico deu-se início ao mapeamento dos alçados do edifício, com a utilização do programa *AutoCAD*®.

As imagens produzidas pela fotogrametria foram sobrepostas aos desenhos obtidos no levantamento arquitetónico (Figura 27). Com isto iniciou-se um novo desenho, com o qual foi possível verificar uma pequena diferença de 0,15 cm de altura por 10 cm de largura no alçado posterior da igreja.

Estes tipos de diferenças são expectáveis e são os problemas que devem ser corrigidos nesta fase da pesquisa. Os ajustes servem para que se obtenha uma representação na escala exata do edifício. A forma de se resolver este tipo de correção é bastante simples, da mesma forma que se analisa uma escala gráfica, por comparação, a fotogrametria é uma imagem em escala obtida de um objeto, o levantamento arquitetónico, também utiliza uma escala, que na horizontal é

fiel, porém na vertical pode-se conter falhas, nomeadamente pelo difícil acesso, como em grandes monumentos. Neste caso deve-se escolher um ponto horizontal da imagem fotogramétrica, coloca-se este face a face com o mesmo ponto do desenho levantado, e a partir desse ponto obtém-se as medidas exatas das alturas.

O objetivo principal dessa última etapa do trabalho é obter todo o traçado da pedra (Figuras 27 e 28) criando assim a estereotomia das paredes da edificação. Deste modo é possível mapear de acordo com o Sistema Internacional de Unidade¹⁴ as áreas onde ocorrem as anomalias.

Neste caso específico da igreja de Santa Marinha, após o tratamento fotogramétrico, as imagens parecerem estar claras e visíveis. No entanto, para uma observação das juntas, houve perda nomeadamente em regiões muito claras da imagem. O equipamento esteve condicionado a situações climáticas adversas durante o levantamento, apesar da claridade, havia sempre névoa e gotículas de água a cair durante a maior parte do tempo, fato este que deixou pequenas áreas da edificação com uma leitura reduzida de pormenores. Entretanto, isto não foi impeditivo para alcançar os objetivos propostos nesta investigação. Novamente foram utilizadas imagens obtidas com câmara fotográfica Canon durante o levantamento arquitetónico, para poder entender o traçado. O que gerou um alargamento do tempo de produção, obtendo o resultado expectável da leitura das juntas (figura 29).

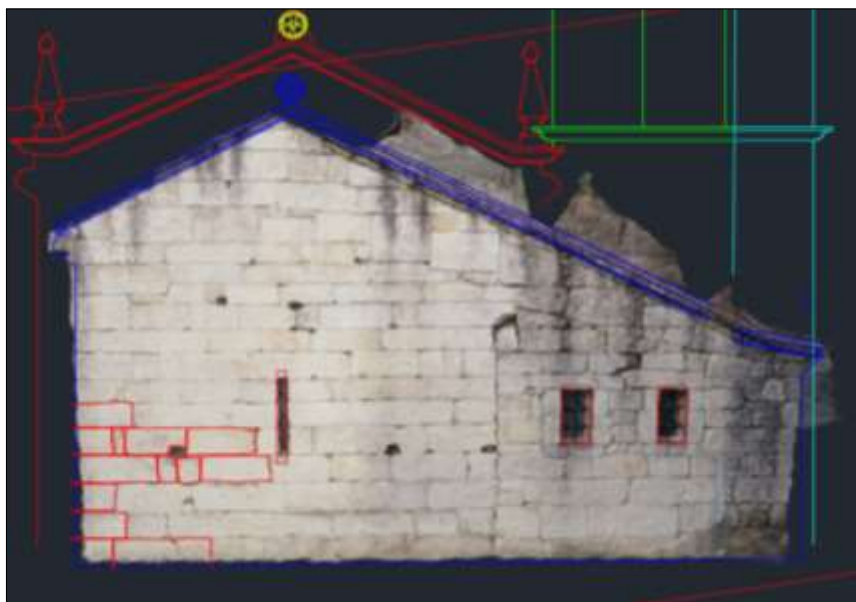


Figura 27: Imagem fotogramétrica sobreposta com desenho do levantamento arquitetónico, vista do alçado Este.
Créditos: João Sandes, 2020

¹⁴ O Sistema Internacional de Unidades, também conhecido como SI, é inspirado no sistema métrico e é o mais usado no mundo. É um conjunto padronizado de definições de unidades de medida, utilizado hoje em quase todo o mundo moderno, com exceção de Estados Unidos, Myanmar e a Libéria, que utilizam o sistema imperial.
Fonte: Britannica Escola. <https://escola.britannica.com.br/artigo/Sistema-Internacional-de-Unidades-SI/483009>

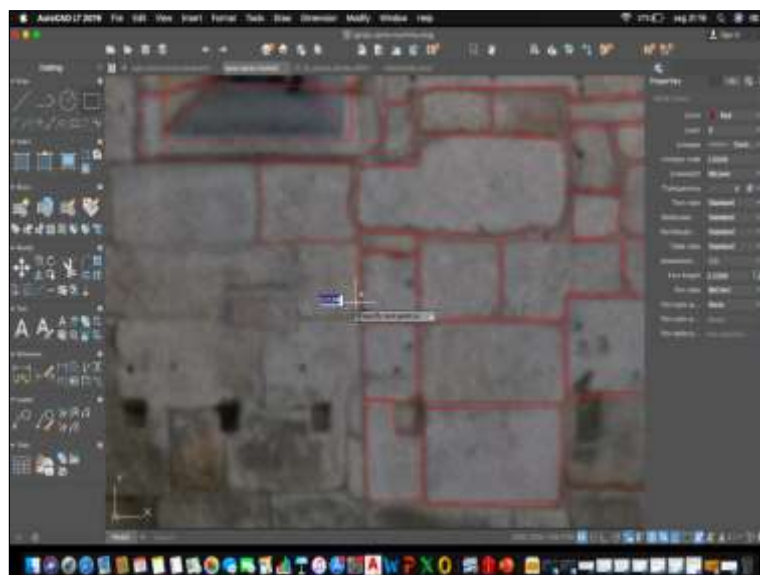


Figura 28: Estereotomia da pedra, no software AutCAD®.
Créditos: João Sandes, 2020

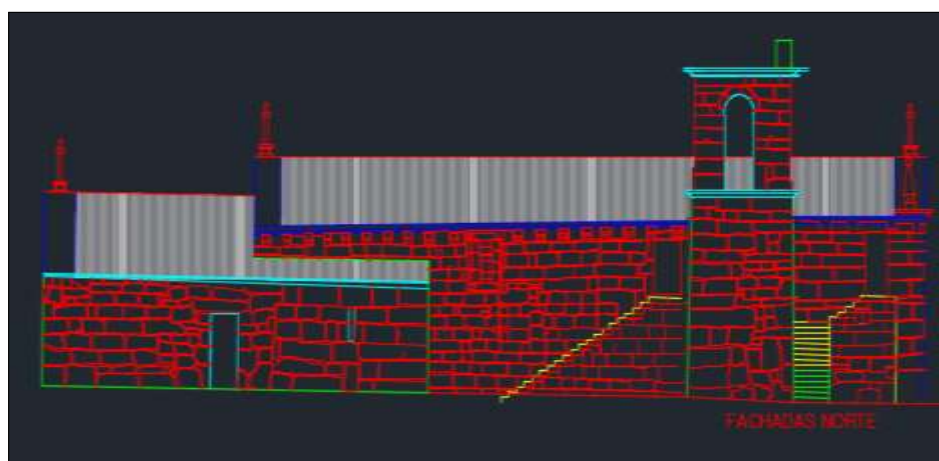


Figura 29: Estereotomia no software AutCAD®, alçado Norte.
Créditos: João Sandes, 2020

4.3.4. Modelo 3D

O modelo 3D obtido através da utilização do programa *Revit*® (Figura 30 e 31) o qual, conjugado com as imagens obtidas no programa fotogramétrico, possibilita uma perspetiva das anomalias, sendo então possível o registo destas, com o qual se pode ter dados objetivos para o seu estudo.

A Figura 30 mostra-nos o processo de produção, estando, portanto o processo incompleto e não

finalizado. A Figura 31 já mostra o projeto em fase final. Porém, como todo processo de produção das imagens fotogramétricas e estereotomia da pedra consomem muito tempo, o *Revit®* foi produzido com atenção maior voltada para sua volumetria, como tal deu-se menos relevância a detalhes como portas e ornamentos. Este facto não impediu a produção da volumetria para entendimento da sua construção.

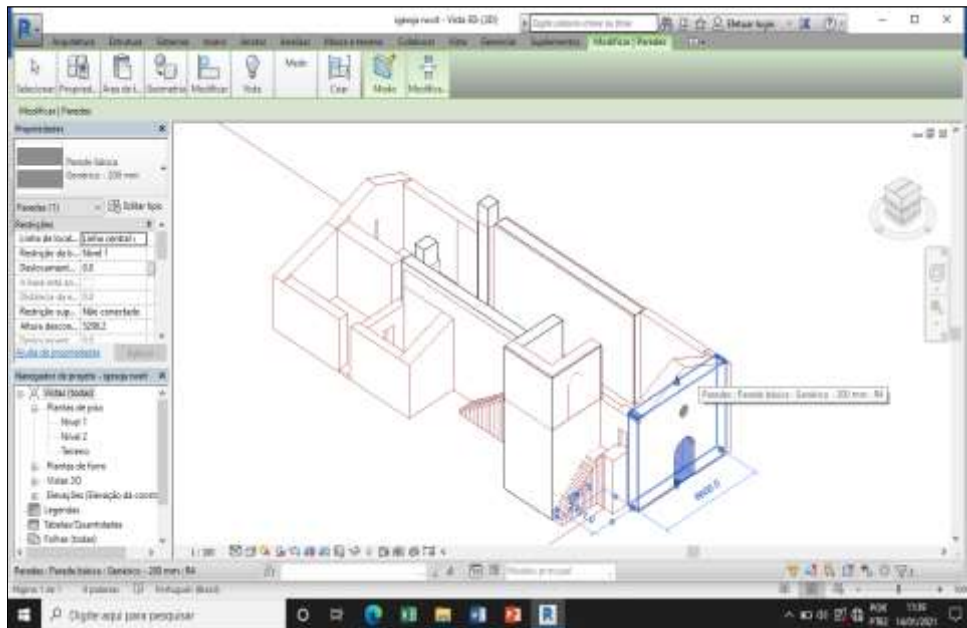


Figura 30: Processo de criação 3D no software Revit®.
Créditos: João Sandes, 2020

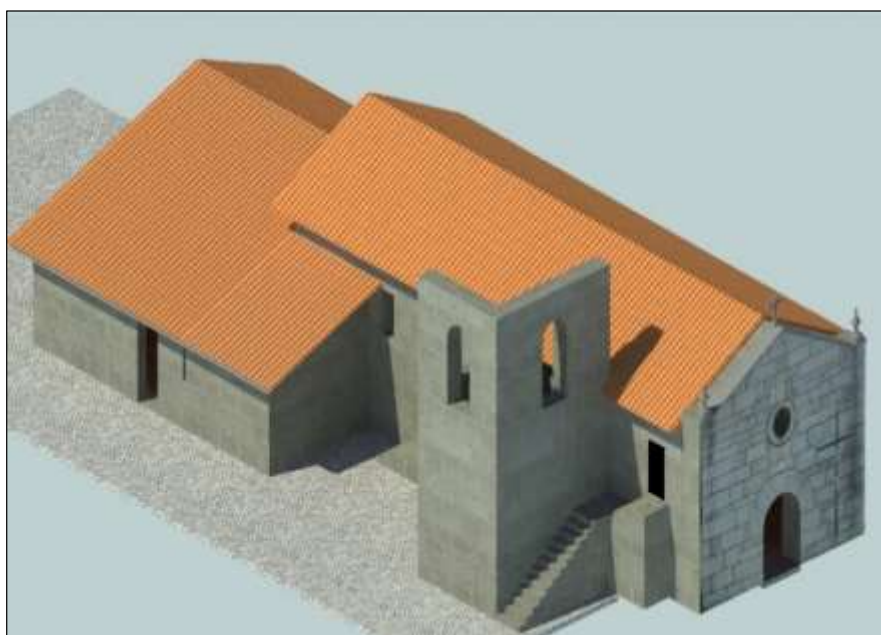


Figura 31: Representação 3D no software Revit®.
Créditos: João Sandes, 2020

4.3.5. Mapa de danos

Tendo sido terminado o levantamento da estereotomia da pedra, (Figura 32), que compõe o edifício da igreja de Santa Marinha é possível avançar no projeto com criação de um mapa de danos (Figura 33). Para mais detalhe consultar Apêndice C.

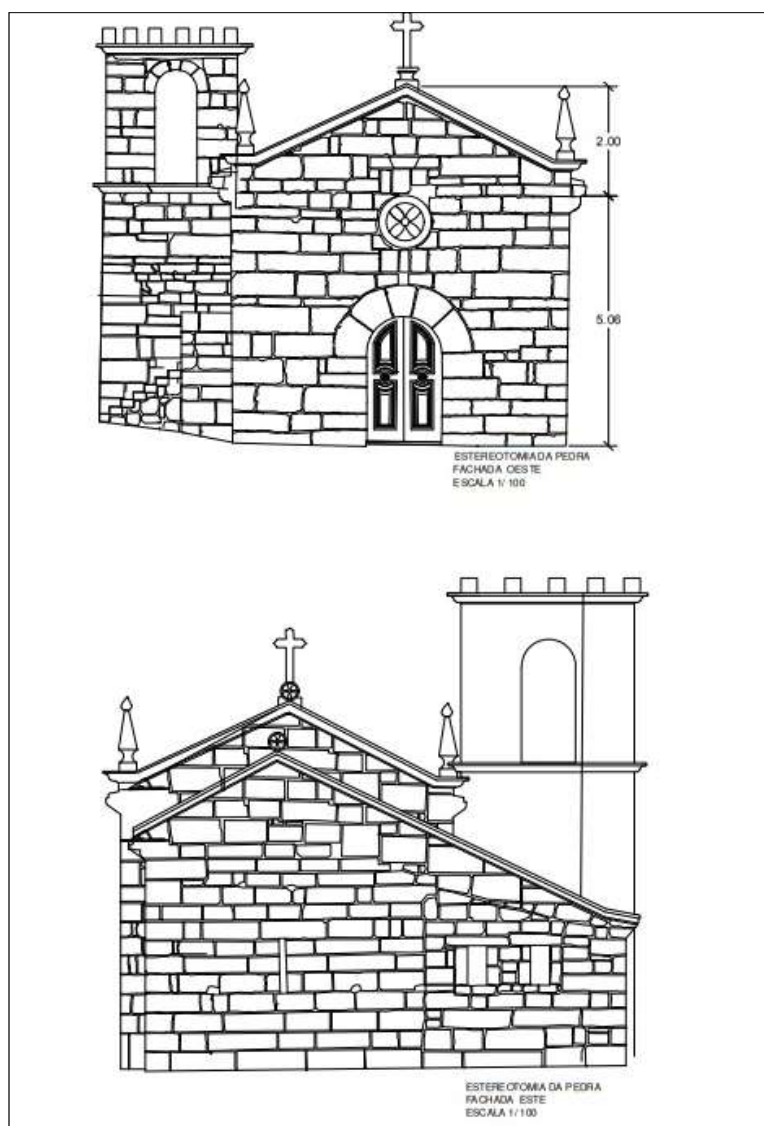


Figura 32: Estereotomia da pedra, alçados Este e Oeste.
Créditos: João Sandes, 2020

Assim, foi elaborado um mapa de danos com o qual é possível observar melhor as áreas afetadas por alterações. A vantagem de se trabalhar com um mapa de danos está contida na possibilidade de localizar de forma rápida a posição das anomalias.

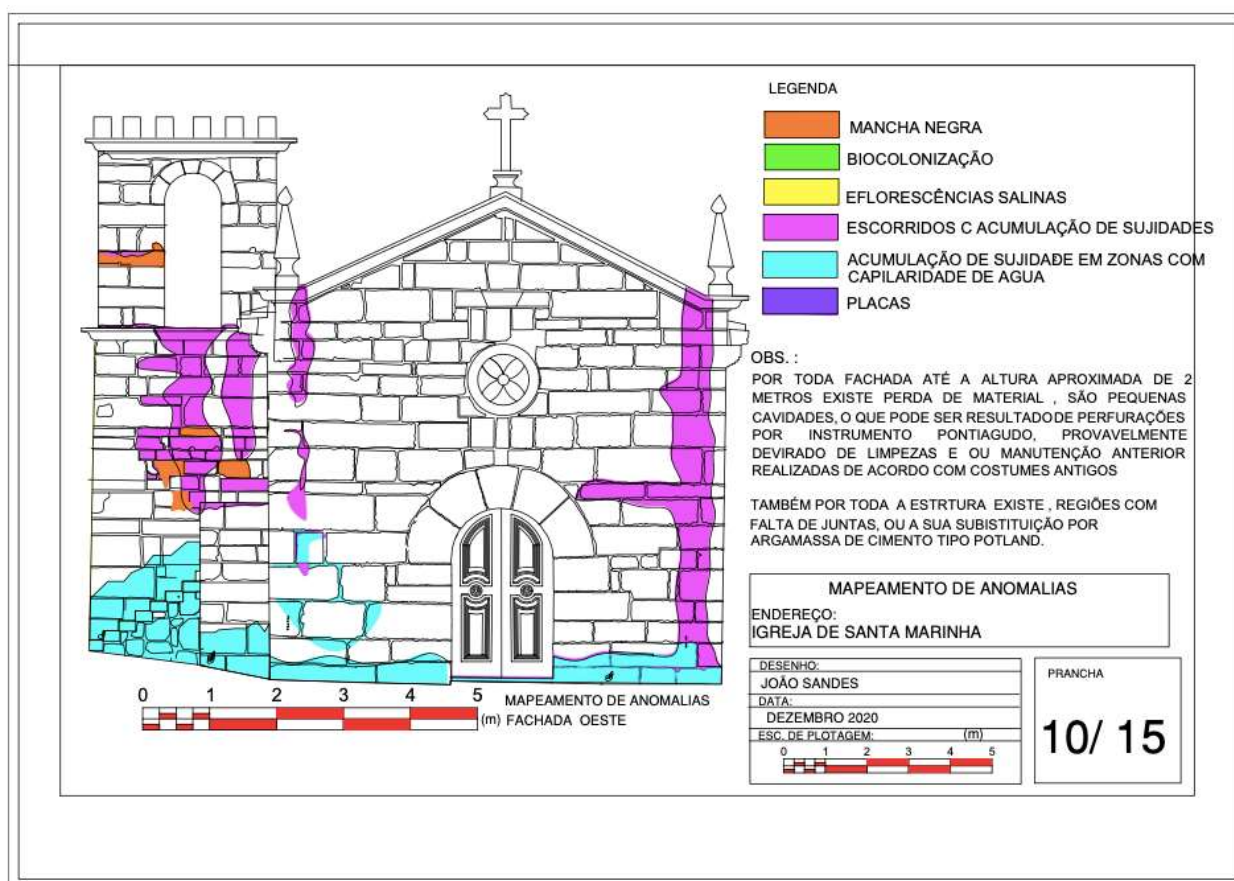


Figura 33: Construção do mapa de danos, detalhes no apêndice.
 Créditos: João Sandes, 2020

Durante o levantamento *in situ* foi possível observar em alguns pontos com acesso ao interior das paredes da igreja, (Figura 34), a separação entre os panos constituintes da parede. Tais vazios podem denunciar a possibilidade de existência de parede dupla, praticamente quase em toda a sua essência construtiva, onde suas paredes possuem o dobro de espessura (figura 35). Esse fato é observado nos edifícios românicos durante a idade média: paredes grossas fortificadas e, provavelmente duplicadas para se chegar à espessura desejada.



Figura 34: Nicho com portinhola existente na parede lateral da capela mor, onde se nota a separação entre ambos os panos que compõem a parede fortificada, provavelmente dupla.
Créditos: João Sandes, 2020



Figura 35: Planta baixa com detalhe para os pontos onde as paredes tem o dobro de espessura.
Créditos: João Sandes, 2020

Além disso, é possível fazer uma comparação entre os diferentes pontos em que surgem as anomalias na pedra. Esta comparação auxilia, de modo geral, no entendimento de suas origens e na percepção da área abrangida pelas anomalias, (Figura 36).

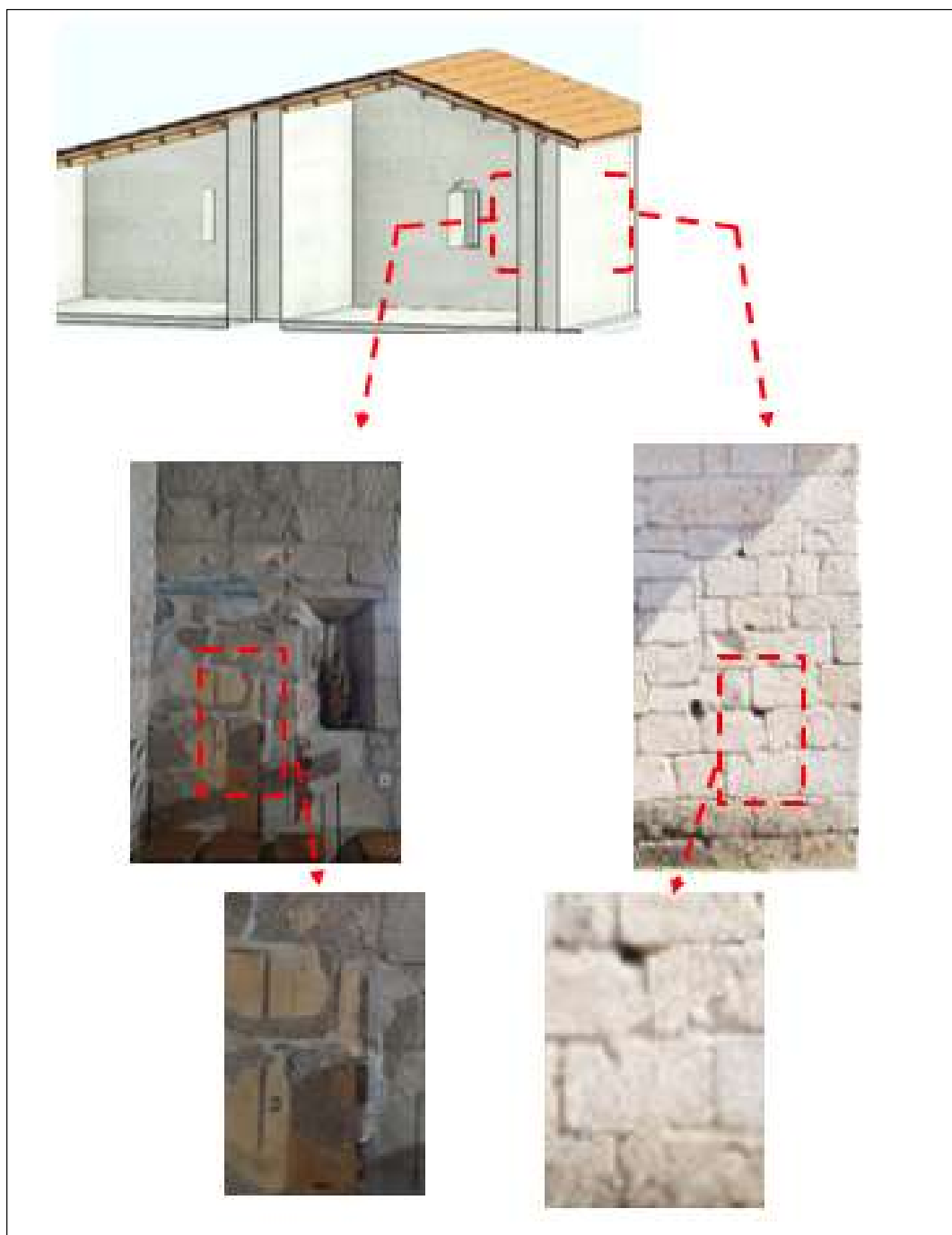


Figura 36: Comparação da pedra na parede interna e externa lateral sulda capela mor.
Créditos: João Sandes, 2020

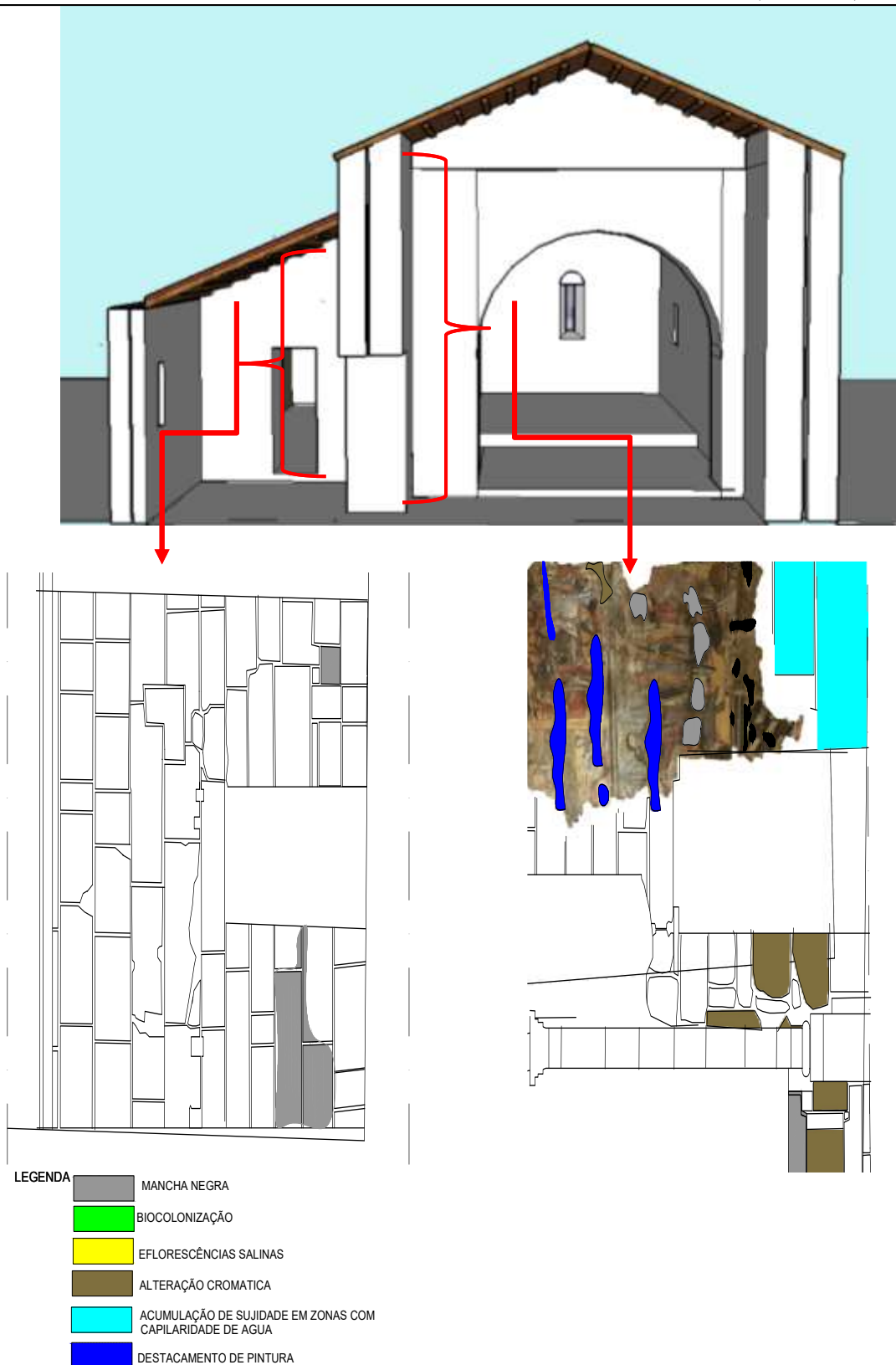


Figura 37: Estudo utilizando o modelo 3, comparando a pedra na parede interna e externa lateral norte da nave, com detalhe para a região da pedra na mesma localização interna e externa.
Créditos: João Sandes, 2020

4.3.6. Atualização do estado de conservação

Visto que à primeira vista a igreja apresenta bom estado de conservação, e após uma observação mais cuidadosa começa a se perceber melhor o seu estado de conservação, juntamente com o estudo realizado, através do levantamento arquitetónico conjugado com a fotogrametria, o que possibilitou a criação de um registo onde pode-se perceber melhor o edifício no conjunto:

A realização da estereotomia, permitiu perceber, para além do diferente corte da pedra em lados opostos da mesma parede, argamassas em falta na parte superior externa e a sua substituição por argamassa de cimento tipo Portland na parte interior até a altura de 2 metros.

O estudo detalhado do corte da pedra, comprova a existência de uma construção com dois panos, ou seja, duas paredes, o espaço entre os panos, que ainda não se pôde estudar; algumas aberturas na construção possibilitaram visualizar uma argila misturada com detritos de outros materiais entre eles existiu, que podem ter sido deixados propositalmente no momento de sua construção, ou acumulados no momento de sua reforma que possibilitaram a elevação da altura do telhado.

As imagens obtidas dos alçados por inteiro, possibilitaram a visualização de marcas de escorrências nas partes superiores, e na base da construção por capilaridade, a construção com paredes espessas e pouca luminosidade possui contacto direto com o solo e seu interior apresenta um clima húmido e frio.

O mesmo se aplica as manchas negras, que após observação das imagens, nota-se que possuem diferentes localizações nos lados opostos do mesmo local da parede.

Observaram-se também eflorescências salinas no lado norte externo e interno na pintura da parede norte do altar. Para além das sujidades e as manchas negras, evidencia também colonização biológica, e placas, que de acordo com a classificação do glossário do ICOMOS, ocasionadas por colonizações calcificadas.

Internamente, para além de apresentar humidade, manchas negras e sais, também apresenta destacamentos na pintura, o que pode ser ocasionado devido a humidade.

5. Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

O caso de estudo da presente dissertação tratou da metodologia para identificar de forma objetiva zonas de manchas negras na igreja de Santa Marinha em Vila Real. Face ao diagnóstico do capítulo anterior, neste capítulo foi possível detetar através do levantamento, os elementos que compõem sua estrutura e a camada estética do edifício. Visou-se compreender o sistema construtivo utilizado e entender quais possíveis causas de suas anomalias.

Descrita aqui como mancha negra, percebe-se após o estudo realizado que, apesar de não terem uma direta ligação com zonas externas e internas do edifício, elas podem partilhar do mesmo agente causador, o que criou bastante curiosidade, pois dentre suas prováveis causas, uma delas poderia dever-se ao acúmulo de humidade em seu interior. No processo de troca gasosa de dentro para fora da construção, ela levaria consigo todas as impurezas que encontra em seu caminho, isso explicaria alguns pontos onde surge, que é ao redor de algumas juntas feitas com argamassa tipo Portland, porém ao se realizar um estudo mais aprofundado do seu aparecimento por toda as paredes, nota-se seu surgimento em pequenas regiões de forma separada, e onde não possuem juntas ao redor, o que não explicaria o seu surgimento, para além de ser em pontos elevados e longe de humidades. Outra característica estranha, é o aparecimento limitado a volumetria de determinadas pedras (Figura 38), sugerindo a existência de algum tipo de particularidade nas pedras em questão. Onde as pedras ao seu redor não apresentam manchas.



Figura 38: Mancha delimitada apenas na volumetria da pedra.
Créditos: João Sandes, 2020

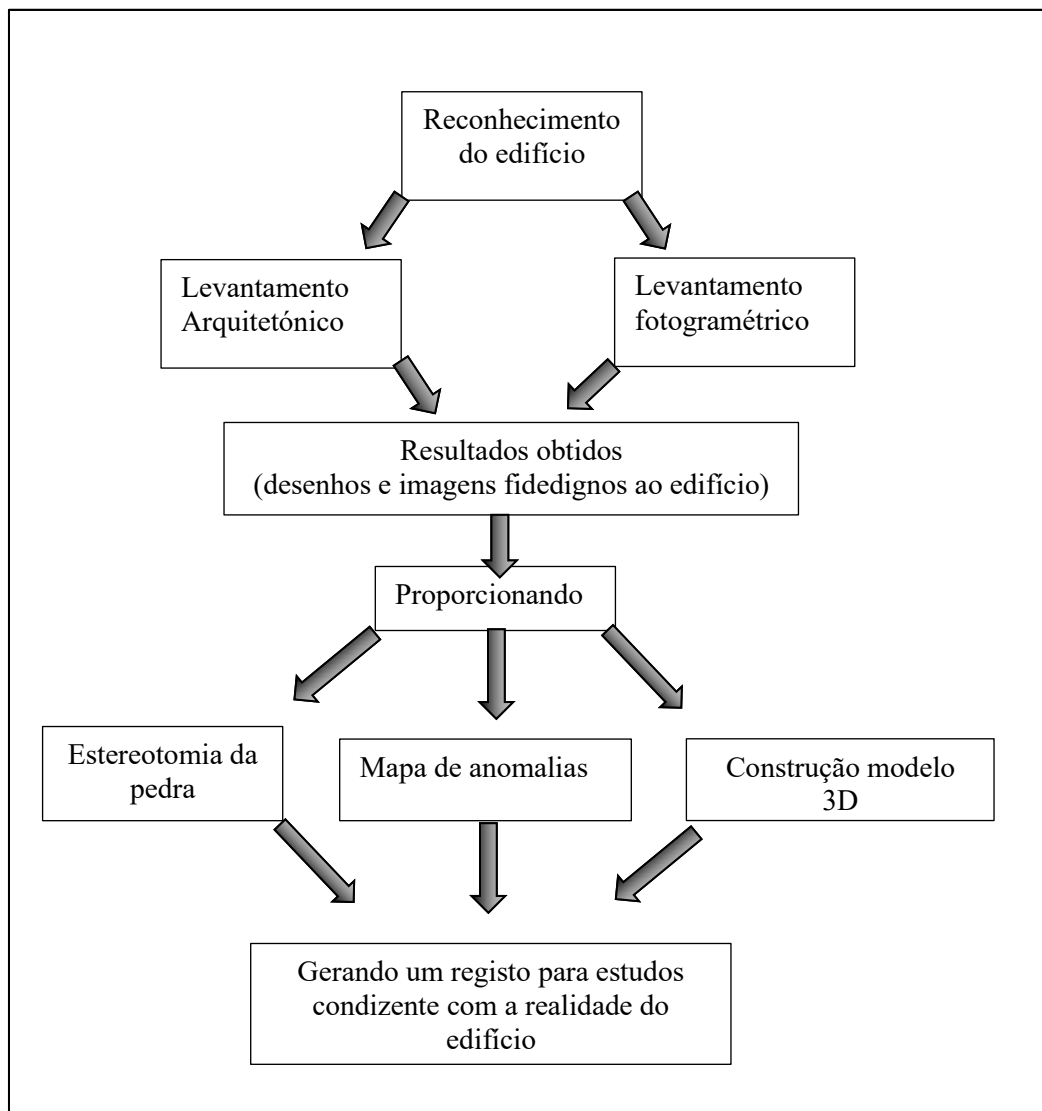
Portanto ao observar o trabalho, detectamos as seguintes características:

- As manchas surgem em sua maioria de forma orgânica, tanto interna como externamente, como foi mostrado no mapa de anomalias, o que facilitaria a compreensão do surgimento através da tentativa de evaporação da humidade retida, levando consigo as impurezas encontradas no caminho;
- Algumas pedras seu surgimento limita-se a volumetria da própria pedra, que também pode ser visto no mapa de anomalias, algumas pedras afetadas em toda sua extensão e as pedras em seu redor não;
- Outro exemplo que diverge da possibilidade de ser através da humidade é seu surgimento em zonas superiores, em apenas alguns pequenos pontos, que é o que ocorre na pintura interna da nave principal (figura 37), onde a parede dos dois lados não recebe água originada da chuva, recebendo apenas humidade de forma capilar, e a sua mancha de um lado apresenta na base, e do outro encontra-se na zona superior da pintura, em formato circular.

Seu aparecimento ainda é caso para estudo, surgindo tanto no alçado norte como no alçado sul, tanto interna como externamente. Sugerindo nalgumas regiões da construção, a humidade como agente causador, e noutras partes onde não existe humidade e aparecem em pequenos pontos, deixa aberto a outros possíveis agentes causadores.

O processo do estudo realizado com a utilização de material métrico tradicional para aferição das medidas e equipamentos eletrónicos para capturas de imagens, como um drone Marverik e uma câmara fotográfica Canon, onde foram capturadas mais de 1000 fotografias, após a aquisição destes dados, foram utilizados programas informáticos, como o *AutoCad®* para a realização dos desenhos 2D e o Agisoft *Metashape®* para tratamento das imagens e fotogrametria, seguido do *Revit®* para realização do modelo 3D, resultando da seguinte forma:

Tabela 3: Organograma do processo realizado durante o estudo.



Créditos: João Sandes, 2021

Foi demonstrado que a realização da fotogrametria aliada ao método de levantamento tradicional de edificações constitui-se em uma ferramenta para a realização de um mapeamento detalhado de um edifício. No caso específico da igreja de Santa Marinha, portanto os objetivos propostos nesta pesquisa, foram atingidos:

- Foi possível detalhar a localização específica das manchas negras (Figura 33) onde se pode ter uma visualização e identificação clara dos pontos onde as manchas situam-se, cumprindo assim um dos principais objetivos da presente dissertação;
- Através do trabalho de pesquisa descobriu-se nas consultas dos documentos do SIPA

que houveram reformas onde foram realizadas modificações estruturais, elevaram a altura das paredes para que o telhado pudesse ficar mais alto;

- Através do estudo e das imagens obtidas e da volumetria criada, pode-se identificar e observar a correspondência do corte da pedra entre o interior e o exterior da construção;
- através das imagens obtidas pode-se perceber melhor a implantação das pinturas murais;
- também pode-se documentar a estereotomia da pedra externamente e internamente;
- Através da análise dos mapas e fotografias pode-se ter uma percepção melhor do estado de conservação do imóvel, apesar de aparentar em bom estado, externamente nota-se manchas decorrente da humidade e capilaridade através das fundações, como as juntas em sua maior parte são de argamassa de cimento tipo Portland isso dificulta as trocas gasosas entre o interior o exterior, retendo a humidade que se acumula em seu interior o que pode acarretar mais problemas futuros, com os ciclos de gelo e degelo, ação dos sais solúveis e acúmulo de suidades e comunidades biológicas. Internamente para além dos mesmos resultados, são mais visíveis as manchas de humidade, sais e filmes negros em suas paredes, como trata-se de um edifício românico com paredes espessas e aberturas para ventilação reduzidas em relação ao tamanho, o ambiente demonstra um clima mais húmido o que facilita o processo para biocolonização;
- Como forma de resolver as necessidades emergentes, seria necessário realizar durante o período mais quente do ano, a remoção das juntas de argamassa tipo Portland e deixar que as paredes pudessem respirar e evaporar o máximo de tempo possível, para então poder realizar a limpeza das manchas com o tratamento mais adequado após estudo e análise das mesmas, para então realizar o fechamento das juntas, com argamassa tradicional a base de cal. Existem outras formas de se realizar a drenagem da humidade das paredes, das mais onerosas as mais praticas e rápidas, dependendo do orçamento disponível e decisão dos responsáveis pelo edifício.

Independentemente das restrições impostas pelo Governo para travar a Pandemia da Covid19, de algumas dificuldades técnicas no controlo do drone e, a pouca experiência com iluminação interna para fotografia, estas não impactaram negativamente o resultado deste trabalho. Portanto havendo a possibilidade de um trabalho futuro, será necessário ultrapassar obstáculos, como por exemplo, adequar a captura de imagens nos espaços interiores, devido à pouca iluminação. Tal pode acontecer modificando a forma de interagir e manusear os equipamentos e, a aquisição de material indispensável, como tripés e holofotes.

Na possibilidade de estudos posteriores, fica aberta a questão de poder analisar a humidade e talvez uma solução para a acumulação de água nos vazios nas paredes, pois ficaram evidentes

notórias manchas de humidades externa e principalmente internas na parte inferior e mediana das paredes, o que indica a acumulação da humidade no interior da parede e do granito. Também justificaria, um estudo do enchimento no interior da parede, possivelmente entre as duas camadas do edifício, um estudo mais estrutural, onde seriam necessário a possibilidade de realizar pequenas aberturas para prospecção em seu interior, com todos os devidos cuidados e depois serem, devidamente, repostos.

Esta dissertação é um contributo para as investigações no campo da conservação e restauro de edificações mais concretamente em património integrado (pintura mural) O futuro será continuação e aprofundamento da presente investigação, para conseguir uma melhoria de técnicas e métodos para a realização do levantamento dos edifícios e estudo do material utilizado no interior de suas paredes.

REFERÊNCIAS

- AIRES, J. R. (2007). *História das freguesias do concelho de Vila Real*. Vila Real: Maronesa Comunicação Social Lda.
- APPLETON, J. (2013). *Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Tecnologias de Intervenção*. Amadora: Alfragide.
- BARROS, Aires L. (1991) *Alteração e Alterabilidade das Rochas*. Instituto Nacional de investigação Científica, Centro de Petrologia e Geoquímica da Universidade de Lisboa.
- BLAKE, B. et al (2013). *Metric survey for Heritage Documentation – Documentation for Conservation, A manual for teaching metric survey skills*. English Heritage.
- BURFORD, E.P. et al (2003). Fungal involvement in bioweathering and biotransformation of rocks and minerals. *Mineralogical Magazine*, **vol. 67**: 1126–1154.
- COLISTRA, D. (2011). *Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria Corso di Disegno dell'architettura 2A*. 2011-2012.
- COSTA, M. R. (2016). *Arquitetura, contexto e mudança nas regiões de montanha do norte da Beira*. Universidade do Algarve - Ceaacp/Cepac.
- DE LOS RIOS, A. et al (2004). In situ microscopical diagnosis Biodeterminatio. *Biodeterioration & Biodegradation*, **54**: 113 – 120.
- DOYLE, F. J. (1964). The Historical Development of Analytical Photogrammetry. *The Autornetric Corporation*. Washington, D. C.
- GAYLARDE, C. C. e Morton, L.H. G. (1999). Deteriogenic Biofilmes on Buildings and their Control: a review. *Biofouling*, **vol.14**: 60 – 73.
- GOMES, S. A. (2011). *História da Construção – Os Construtores: Les Bâisseurs du chantier*

gothique du Monastère de Bataille. 171 - 189. Braga.

GORBUSHINA, A.A. et al (1993). Role of black fungi in colour change and biodeterioration of antique marbles. *Geomicrobiol.* **J 11**: 202–220.

KARACA, Z. (2010). Water absorption and dehydration natural stones versus time. *Construction and Building Materials*. 787 – 791.

KOCH, W. (1982). *Estilos de Arquitetura*. Editorial Presença.

MARCO, A. (2016). *Estudo Preliminar do Crescimento Microbiano, Avaliação da Actividade de Biocidas e Proposta de Intervenção Futura*. Dissertação de mestrado em Conservação e Restauro de Bens Culturais. Universidade Católica do Porto, Porto.

MASCARENHAS, J. M. R.D. (2006). *Sistemas de construção: descrição ilustrada e detalhada de processos construtivos utilizados correntemente em Portugal*. Lisboa: Livros Horizonte.

MELO, A.S. ;RIBEIRO, M. Carmo (2011) (Coord.) *História da Construção. Os Construtores*. CITECEM.

MOUTINHO, M. (1995). *Arquitetura Popular Portuguesa*. Editorial Estampa.

ORTEGA-MORALES, O. et al (2000). Phototrophic Biofilms on Ancient Mayan Buildings in Yucatan, Mexico. *Current Microbiology*. **vol 40**: 80 – 84.

SOUSA, M. C. B. e CAMACHO, C. F. (1960). *Plano de Conservação Preventiva: Bases orientadoras, normas e procedimentos*. Lisboa: Instituto dos Museus e da Conservação.

TEIXEIRA, G. B. et al, (1998). *Diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. Lisboa: CRAT.

URZ, C. e REALINI, M. (1998). Colour changes of Noto calcareous sandstone as related to its colonisation by microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*. **vol.**

42: 44–53.

WARSCHEID, T. (1990). *Untersuchungen zur Biodeterioration von Sandsteinen unter besonderer Berücksichtigung der chemoorganotrophen Bakterien (Studies on the biodeterioration of sandstones with regards to chemoorganotrophic bacteria) - Technical dissertation*. Stuttgart: IRB Verlag.

FONTES ELETRÓNICAS

AGISOFT. Programa fotogramétrico *Agisoft Metashape*®. Acedido em 18/06/2020, em: <https://www.agisoft.com/downloads/installer>

AGUIAR, J. (2007). Método Prático de Levantamento Arquitetónico – Fotogrametria de baixo custo. Relatório produzido no âmbito do projeto PTDC-AUR-66476-2006: “Contributos para o Projecto de Conservação do Património Arquitetónico: Metodologia documental baseada na fotogrametria digital e na digitalização laser 3D terrestre”

Acedido em 2020, em: archc3d.faa.ulisboa.pt/outputs/relatorio_01.pdf

ALBYA, E., GRUSSENMEYER, P. e PERRINA, J.P.: “Analogy Between Architectural Design Process and the Documentation of Architectural Works”. In proceedings do XX CIPA Symposium - Turin, ITALY - 21 May 2008).

Acedido em 2021, em: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00264540/document>

AUTODESK. Programas *Autocad*® e *Revit*®. Acedido em 18/06/2020, em:

[//www.autodesk.pt/products](http://www.autodesk.pt/products)

BORGES FILHO, F. (2005). *O Desenho e o canteiro no Renascimento Medieval (séculos XII e XIII): indicativos da formação de arquitetos mestres construtores*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. [versão eletrónica].

COELHO, A. (2016). *Método de Levantamento Fotogramétrico. Caso de Estudo: a fachada da Igreja do Mosteiro de Alcobaça*. A cidade, o Porto e arte – residência artística em Sines. Ateliês para artistas plásticos e galeria expositiva. Dissertação de Mestrado. Instituto Universitário de Lisboa – ISCTE. [versão eletrónica].

COSTA, J. (2018). *Românico em Portugal e a arquitetura do românico*. Acedido em 2020, em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/27949/14/13_14_Românico%20em%20Portugal%20e%20a%20arquitetura%20românica.pdf

DICIONÁRIO PRIBERAM DA LÍNGUA PORTUGUESA. (Disponível 2020)
<https://dicionario.priberiam.org>

DICIONÁRIO INFOPÉDIA DA LÍNGUA PORTUGUESA [em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2020. Acedido em 05/03/2020, em <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/estereotomia>

DINIZ, F. (2014). *Levantamento arquitetónico para intervenção no património vernacular edificado: casos do interior do beirão*. Acedido em 10/09/2020, em: <http://hdl.handle.net/10400-6/3990>

DIREÇÃO GERAL DO PATRIMONIO CULTURAL – DGPC (2019). *Igreja de Santa Marinha, Paroquial de Vila Marim*. Acedido em 10/12/2019, em: <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/156245>

FURTADO, L. (2020). *Engenharia digital, BIM e Revit*. Consulta a 04/12/2020
<https://engenhariadigital.com/author/lucasdfurtado9/>

GODINHO, M. et al. (2020). *BIM as resource in heritage management: Na application for the National Palace of Sintra, Portugal*. CERIS, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa. Acedido em 2020, em: http://rpee.lnec.pt/Ficheiros/rpee_serieIII_n13/rpee_sIII_n13_pg55_62.pdf

GUIDE TO RECORDING HISTORIC BUILDINGS. Londres: Butterworth Architecture, 1990. 83p. ISBN 0-7506-1210-X. Acedido em 28/10/2021, em: 9780750612104: Guide to Recording Historic Buildings (Conservation & Museology) - AbeBooks - ICOMOS: 075061210X

HADABAY, Ahmed et al. (2019). *Data fusion of Terrestrial Thermography, Laser Scanning and Photogrammetry Creation and Representation to Enrich the Burjassot Silo-Yard. Creation and Representation to Enrich the Burjassot Silo-Yard 3D model*. Universitat Politècnica de Valencia, Karlsruhe University of Applied Sciences 3D model. Acedido em 2019, em:

https://www.researchgate.net/publication/307824255_From_Digital_Photography_to_Photogrammetry_for_Cultural_Heritage_Documentation_and_Dissemination

HAP. Figura esquemas fachada Quinta da Bouça. <https://www.hap.pt/content/quinta-da-bouca> (Consulta a 04/05/2020).

HORMANN, Kai & REIMERS, Martin. (2002). Triangulating point clouds with spherical topology. janeiro de 2002.

https://www.researchgate.net/publication/228695038_Triangulating_point_clouds_with_spherical_topology#pf6 (Consulta a 03/12/2020).

ICOMOS Glossário - Conselho Internacional dos Monumentos e Sítios (2020). *Glossário Ilustrado das Formas de Deterioração da Pedra*. Acedido em 11/11/2020, em: http://www.icomos.pt/images/pdfs/Glossario_Pedra_Icomos.pdf

LERMA, J. et al. (2013). *From Digital Photography to Photogrammetry for Cultural Heritage Documentation and Dissemination*. [versão eletrónica].

MAPA disponível online em: Google Maps- [google.com/maps](https://www.google.com/maps)

MATEUS, Luís Miguel Cotrim (2012). *Contributos para o Projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação*. Uma metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento laser 3d terrestres. Volume I .Tese elaborada para a obtenção do grau de Doutor em Arquitectura, na especialidade de Comunicação Visual. Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Arquitectura. 2012.

Acedido em 2021, em: home.fa.utl.pt/~lmmateus/inv_cons/VOLUME_1_web.pdf

OLIVEIRA, Pedro (2011). *Método para Obtenção de Ortofotos a partir de Fotografias aéreas Digitais*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. [versão eletrónica].

PEZZUTI, I. e FERRAZ, L. G. (2017). *Biografia de uma casa - M.O.M./ UFMG Levantamento de Moradias - M.O.M./ UFMG*. Programa de monitoria de Graduação - PRJ | EAUFMG. Acedido em 2020, em: <http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/index.html>

PHOTOGRAMMETRIC APPLICATIONS FOR CULTURAL HERITAGE. Guidance for Good Practice. www.historicengland.org.uk (Consulta a 09/11/2020).

PORTAL DA EDUCAÇÃO Fotogrametria. Consulta a 08/01/2021, em: portaleducacao.com.br.

SCIELO. Figura esquemas planta baixa.
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81222011000100006
(Consulta a 05/05/2020).

SIMÕES, C. A. et al. (2002). Estudo da distribuição espacial de patologias em elementos graníticos do Mosteiro de São Martinho de Tibães, Braga. Acedido em 2020, em: <http://www.patrimoniocultural.gov.pt>

TABOADA, J. (2016) *as Imagens Vetoriais – Vetores*.
<http://www.visuarea.com.br/artigos/as-imagens-digitais-vetores> (Consulta a 09/12/2020).

VITRUVIUS. Imagem raster e vetor
<https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.059/479> (Consulta a 05/12/2020).

3DFLOW. Programa fotogramétrico *3Dzephyr®*. www.3dflow.net/3df-zephyr-evaluation-download-page (Consulta a 18/06/2020)

APÊNDICE A

Levantamento Arquitetónico

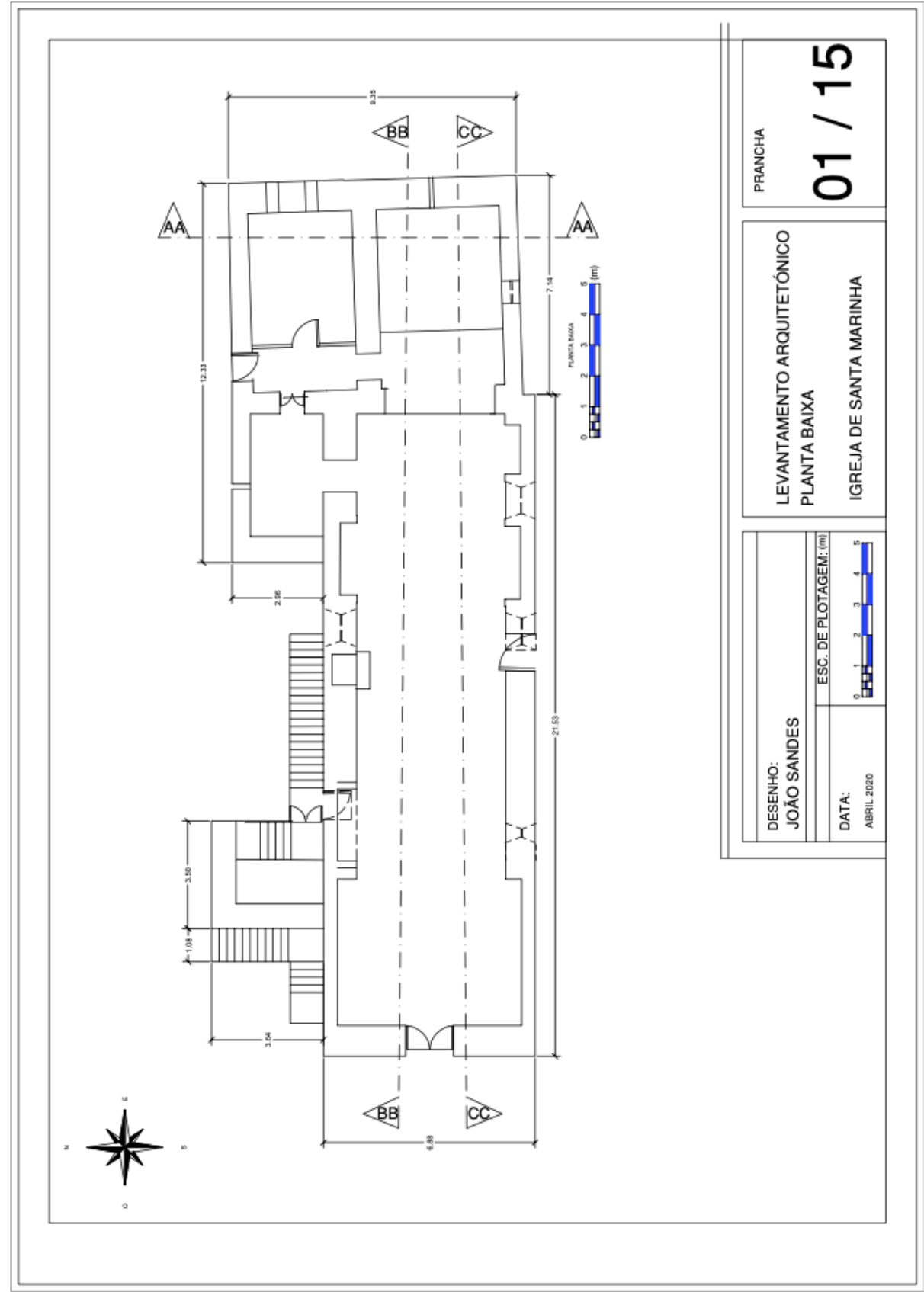


Figura A 1: Planta baixa com indicação de cortes da Igreja de Santa Marinha, escrita na horizontal.

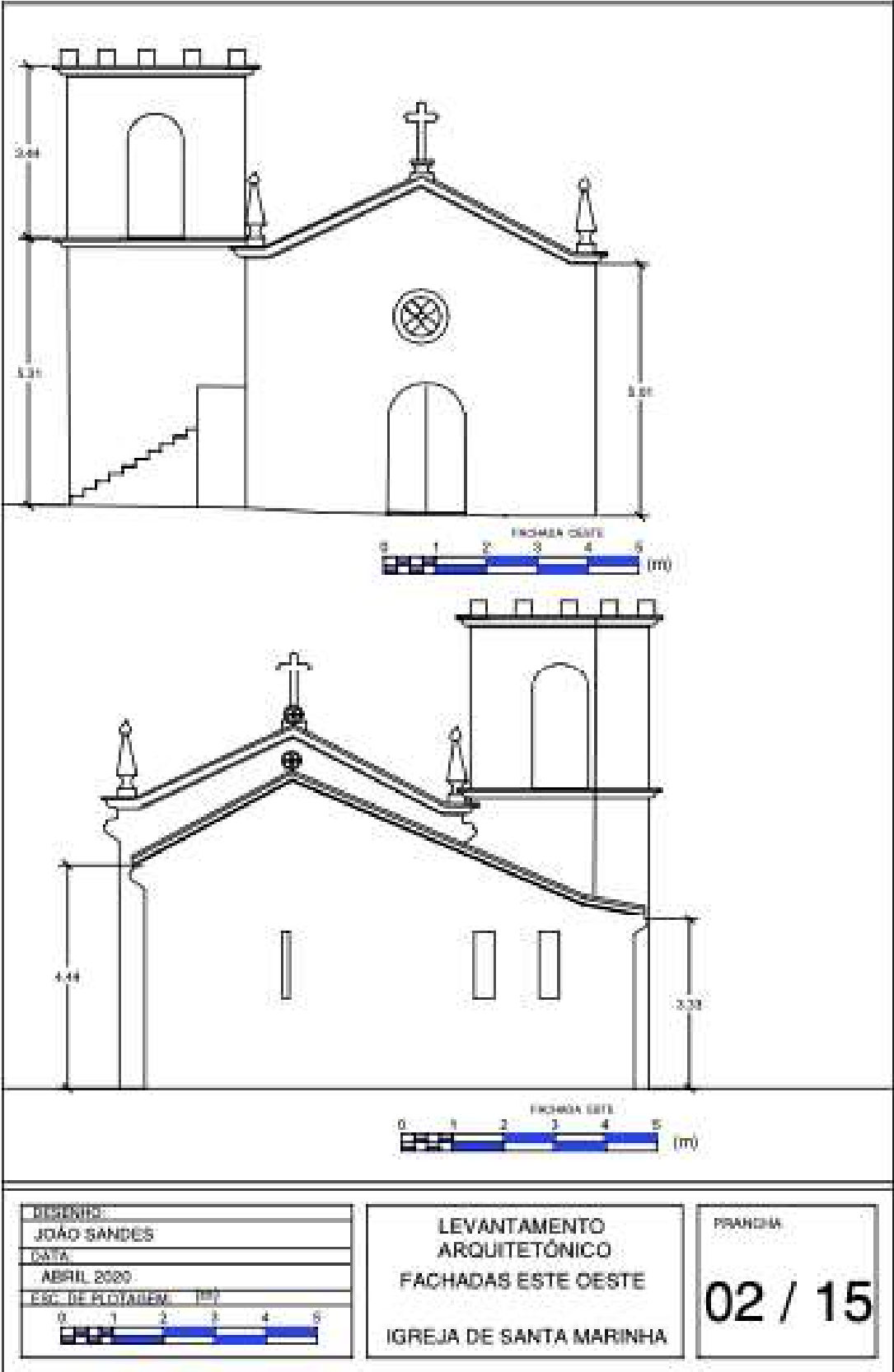


Figura A 2: Fachada Este e Oeste da Igreja de Santa Marinha.

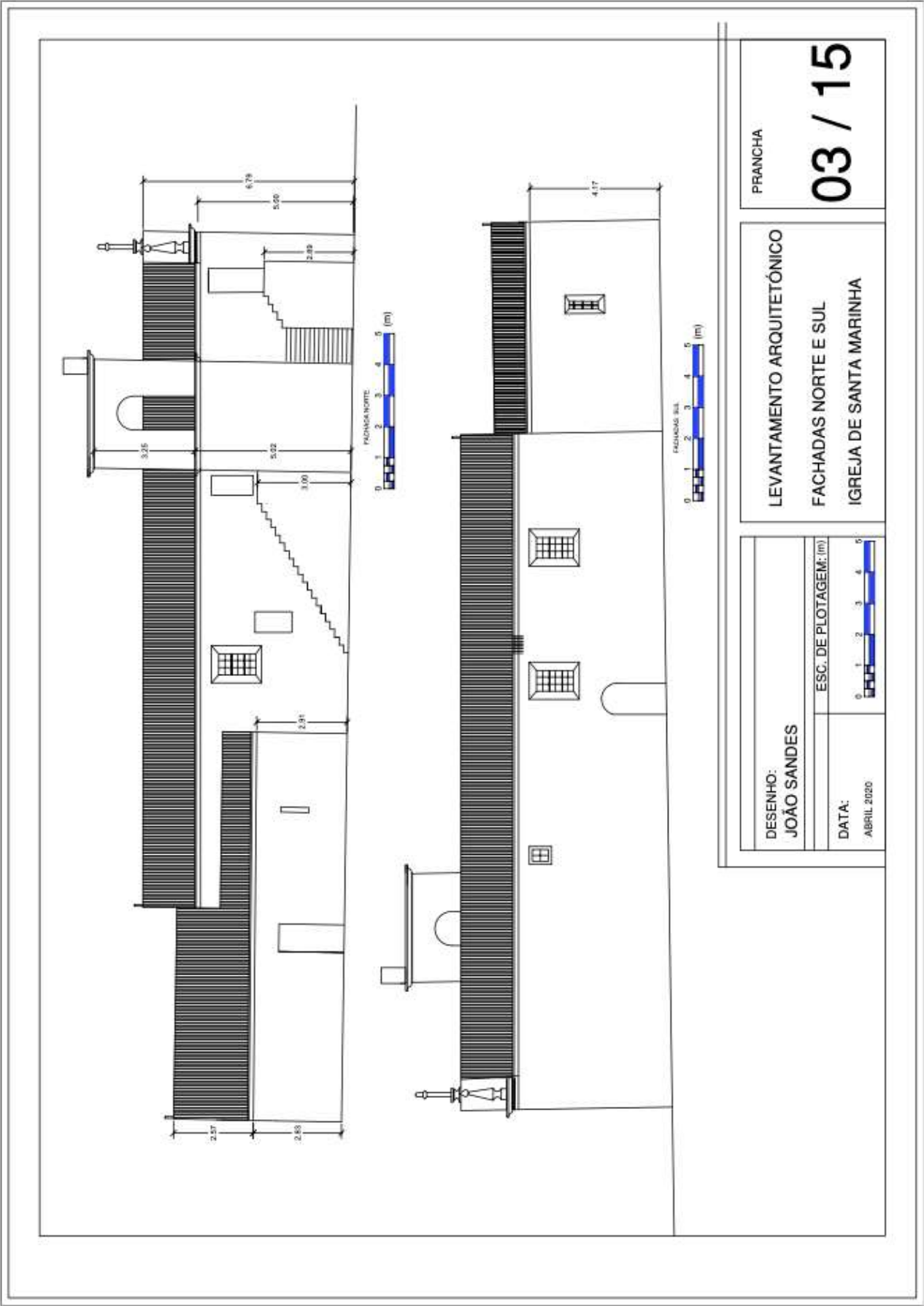


Figura A 3: Fachada Norte e Sul da Igreja de Santa Marinha, escrita na horizontal.

APÊNDICE B

Estereotomia da pedra

Externa e Interna

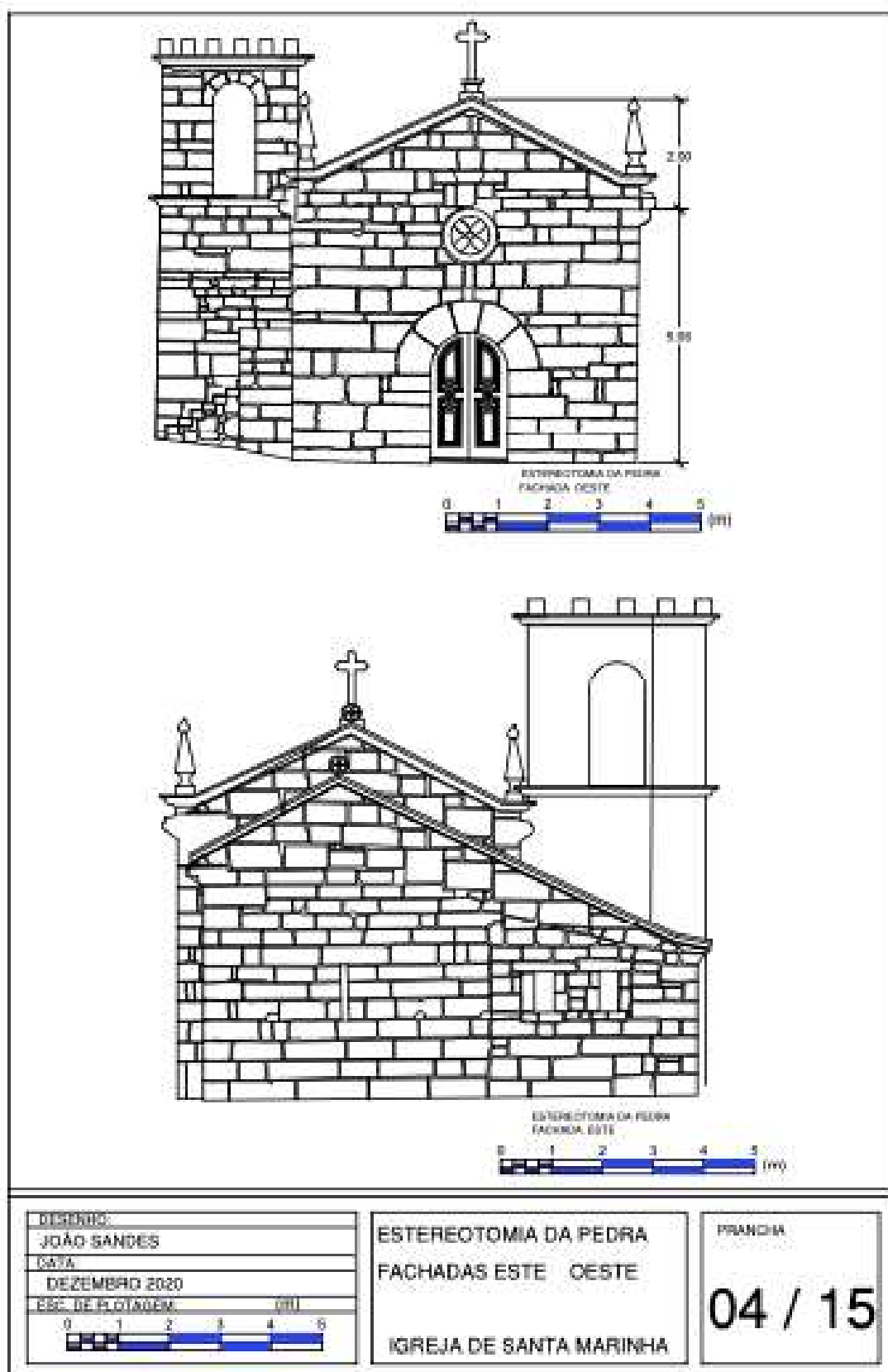


Figura B 1: Estereotomia da pedra fachadas Este e Oeste.

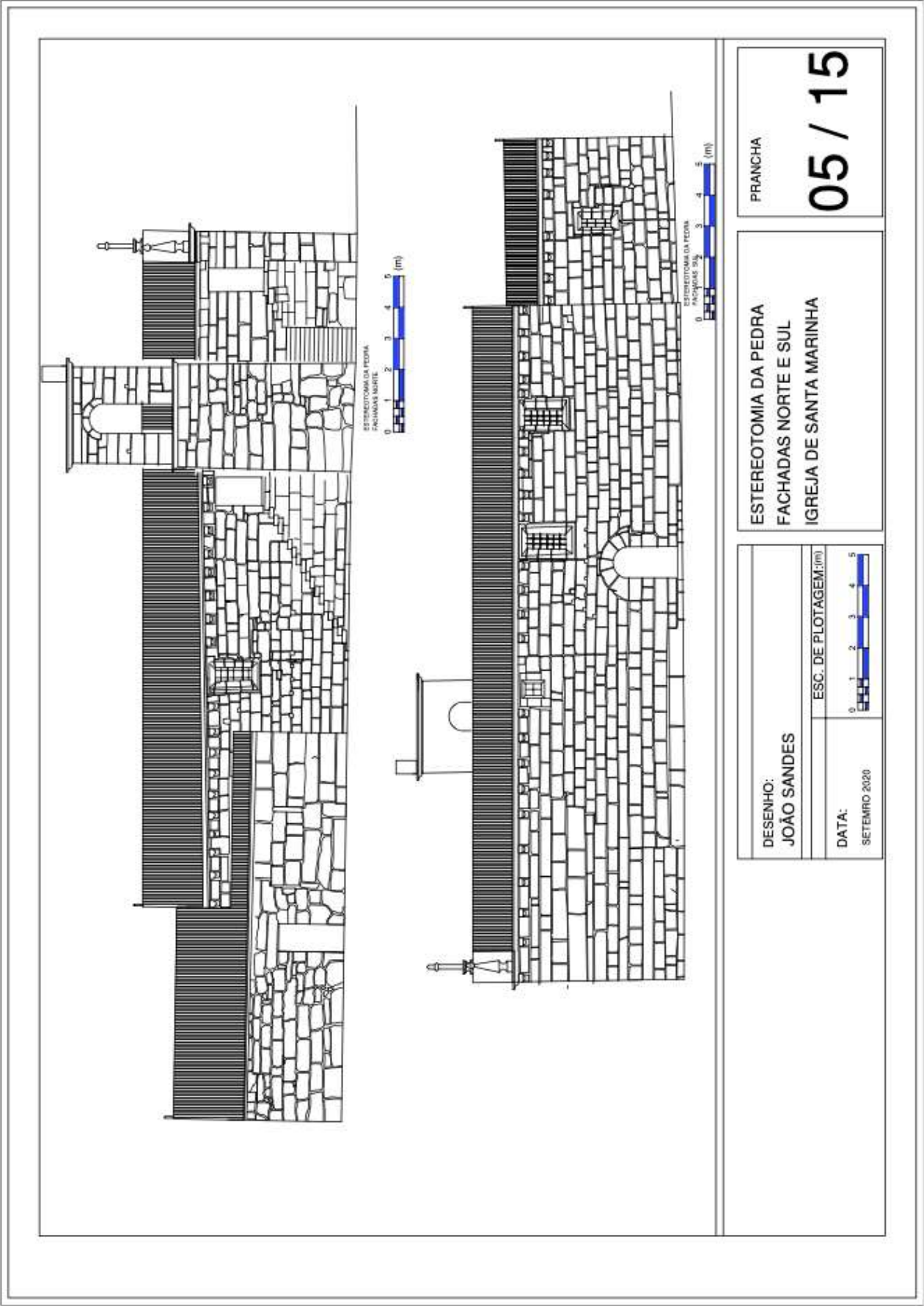


Figura B 2: Estereotomia da pedra fechadas Norte e Sul, escrito na horizontal.

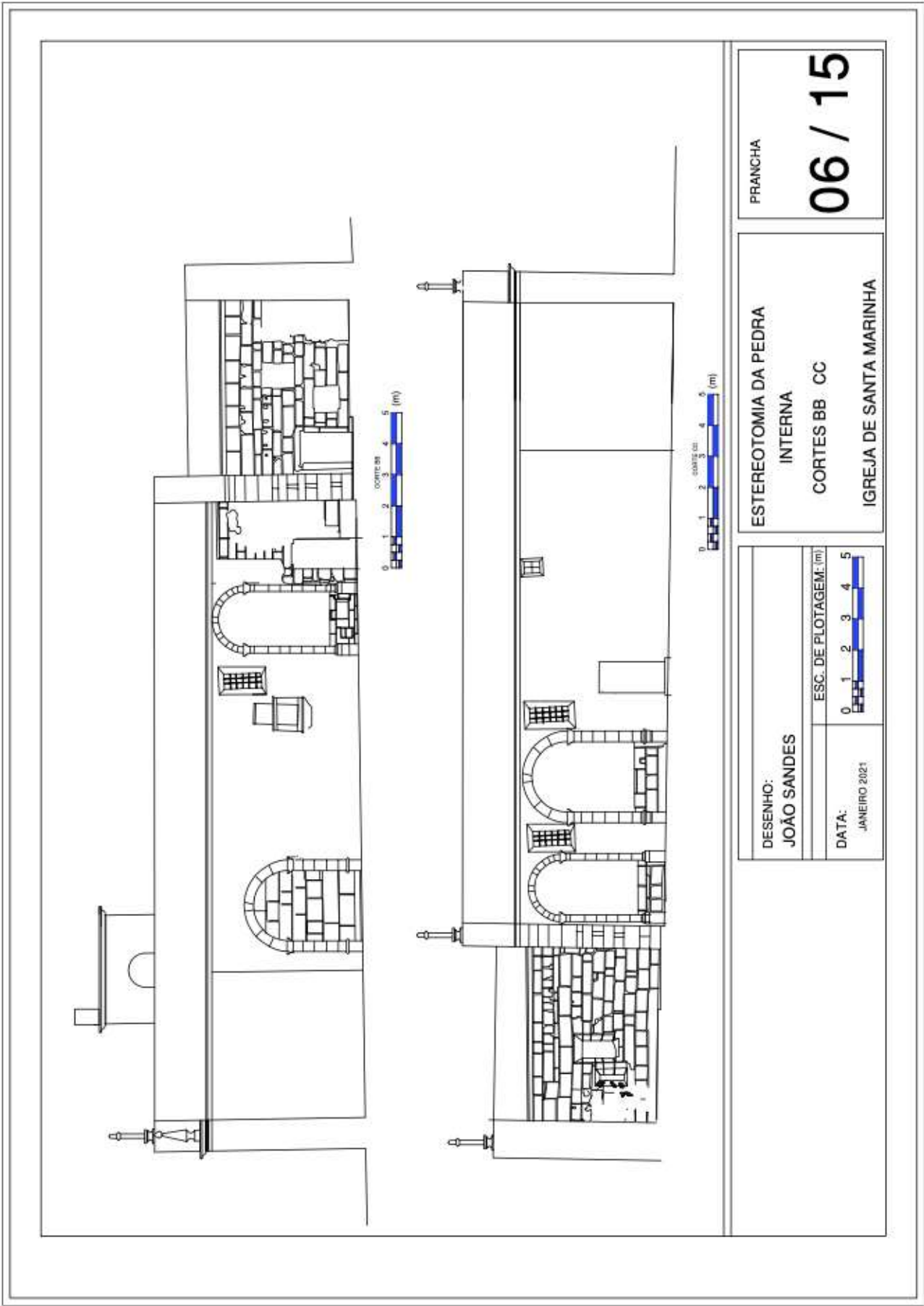


Figura B 3: Estereotomia da pedra, cortes BB e CC, escrito na horizontal.

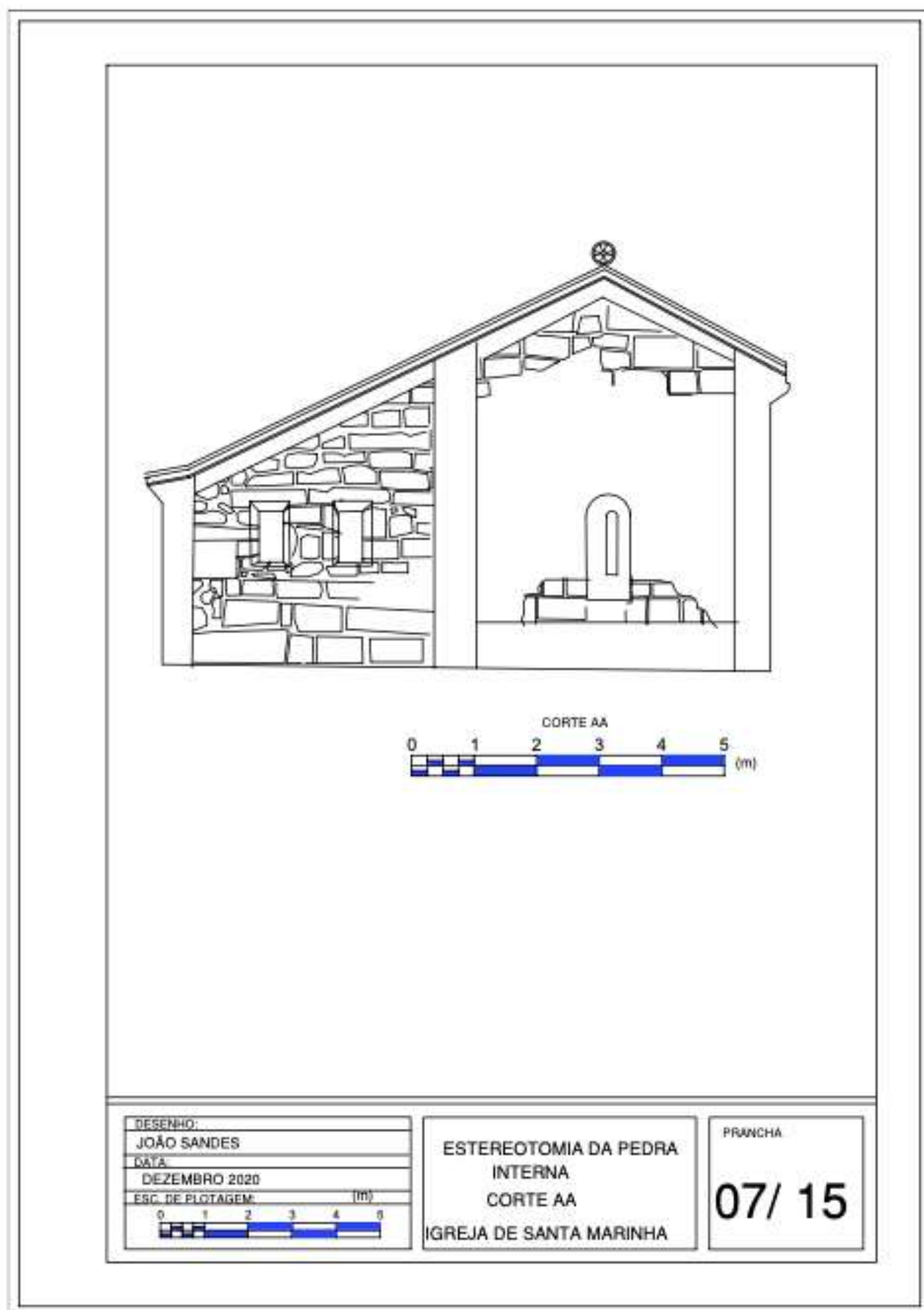


Figura B 4: Estereotomia da pedra corte AA.

APÊNDICE C

Mapa de Anomalias

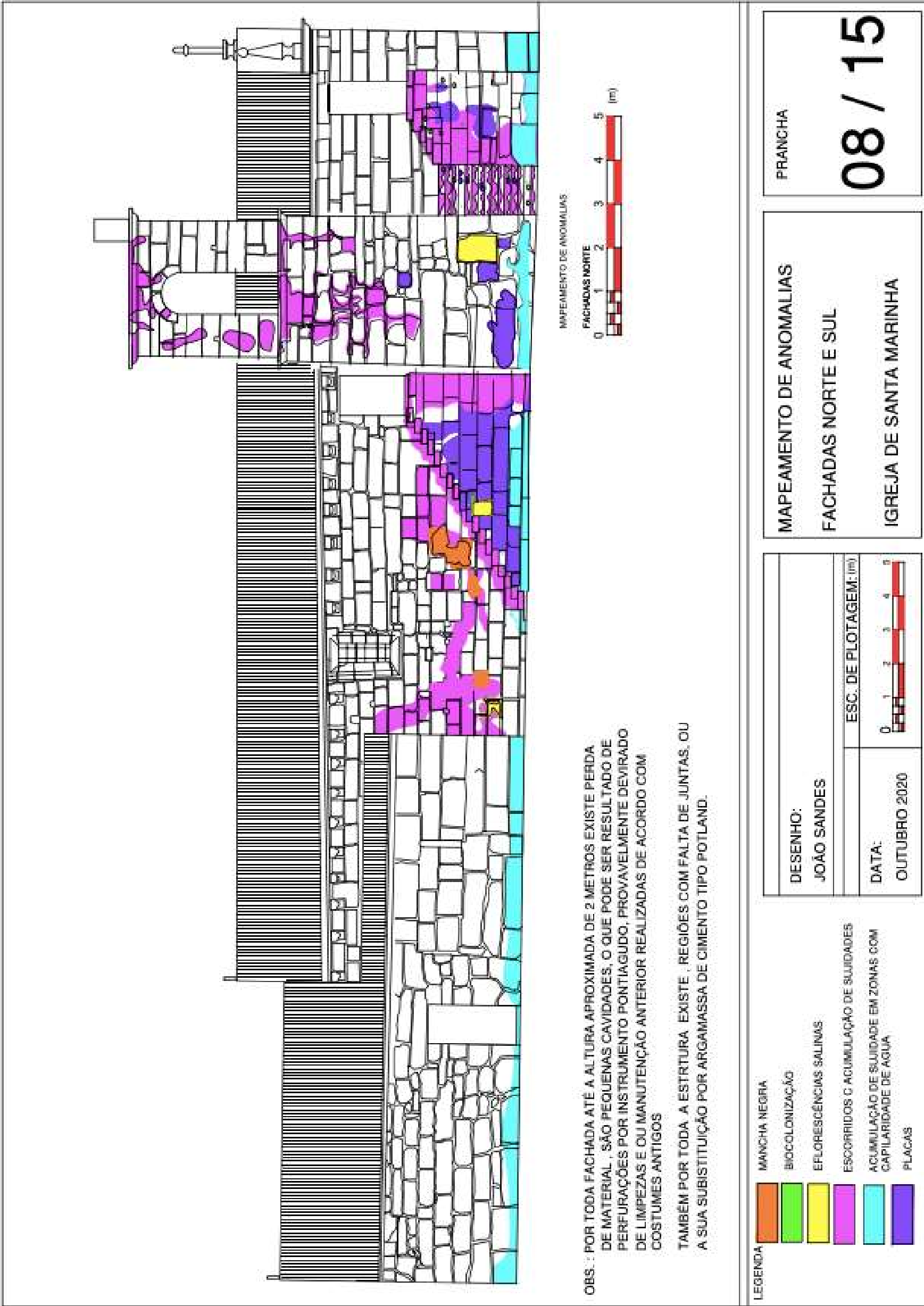


Figura C 1: Mapeamento de anomalias, fachada Norte, escrita na horizontal.

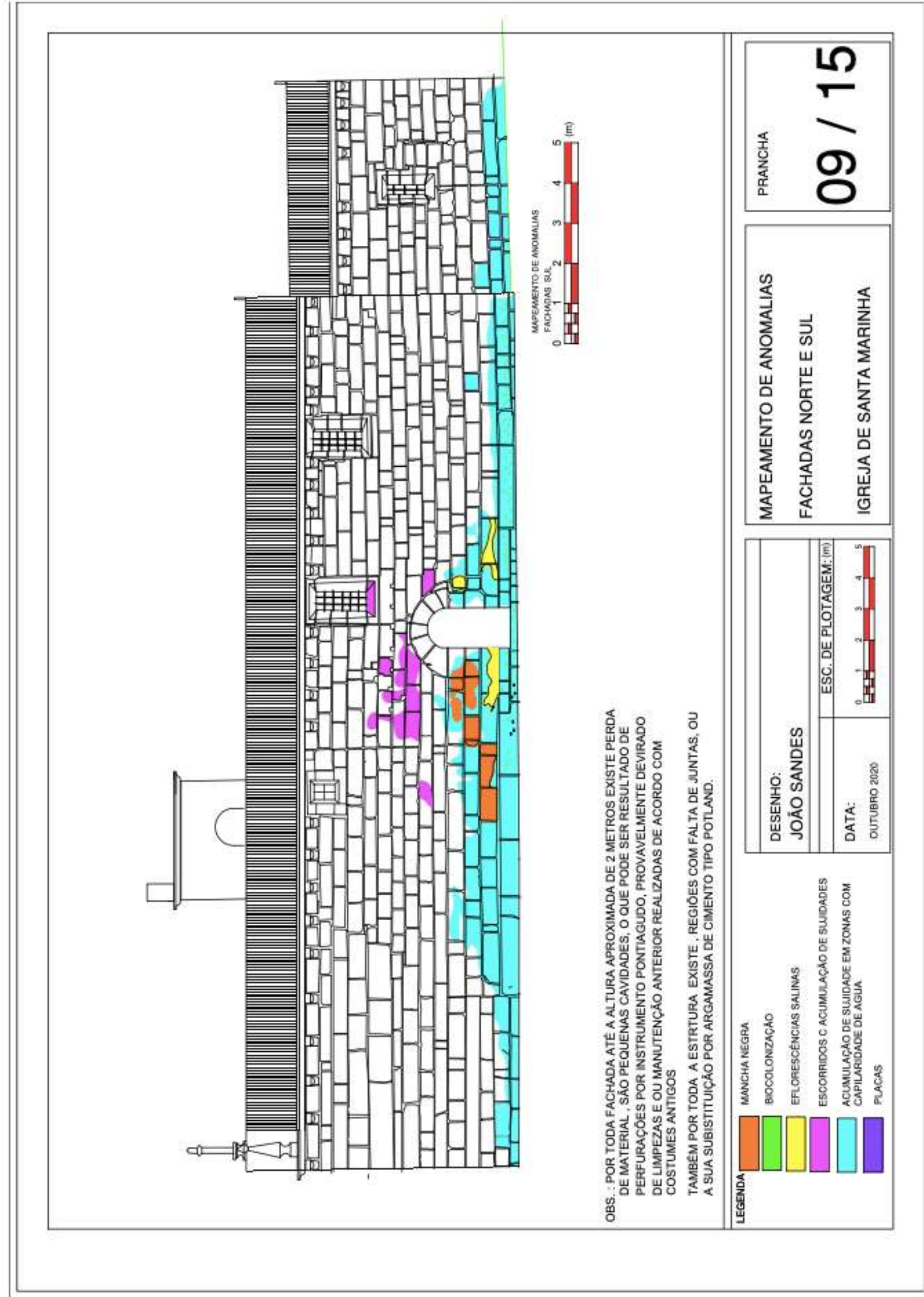


Figura C 2: Mapeamento de anomalias, fachada Sul, escrita na horizontal.

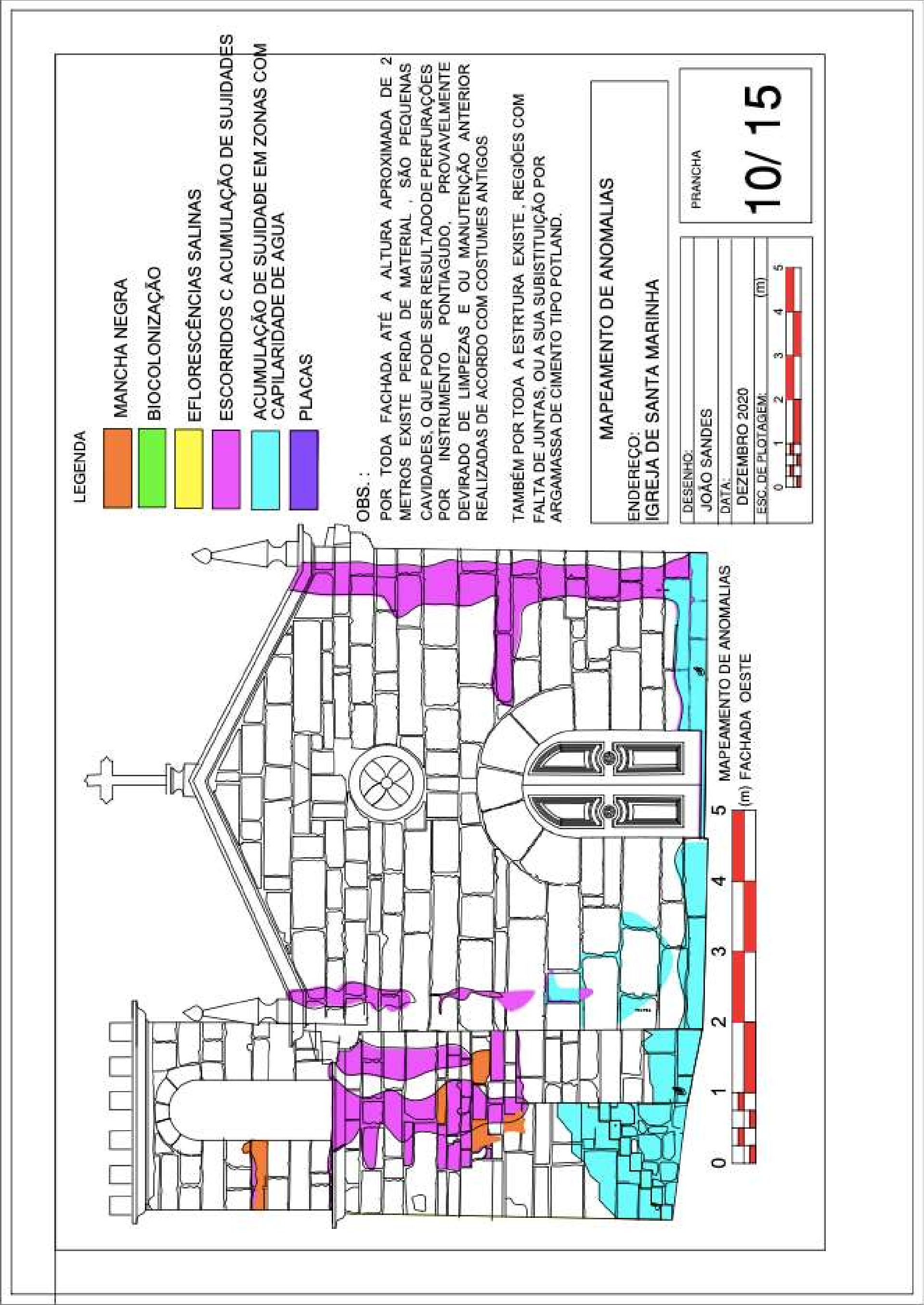


Figura C 3: Mapeamento de anomalias, fachadas Oeste, escrita na horizontal.

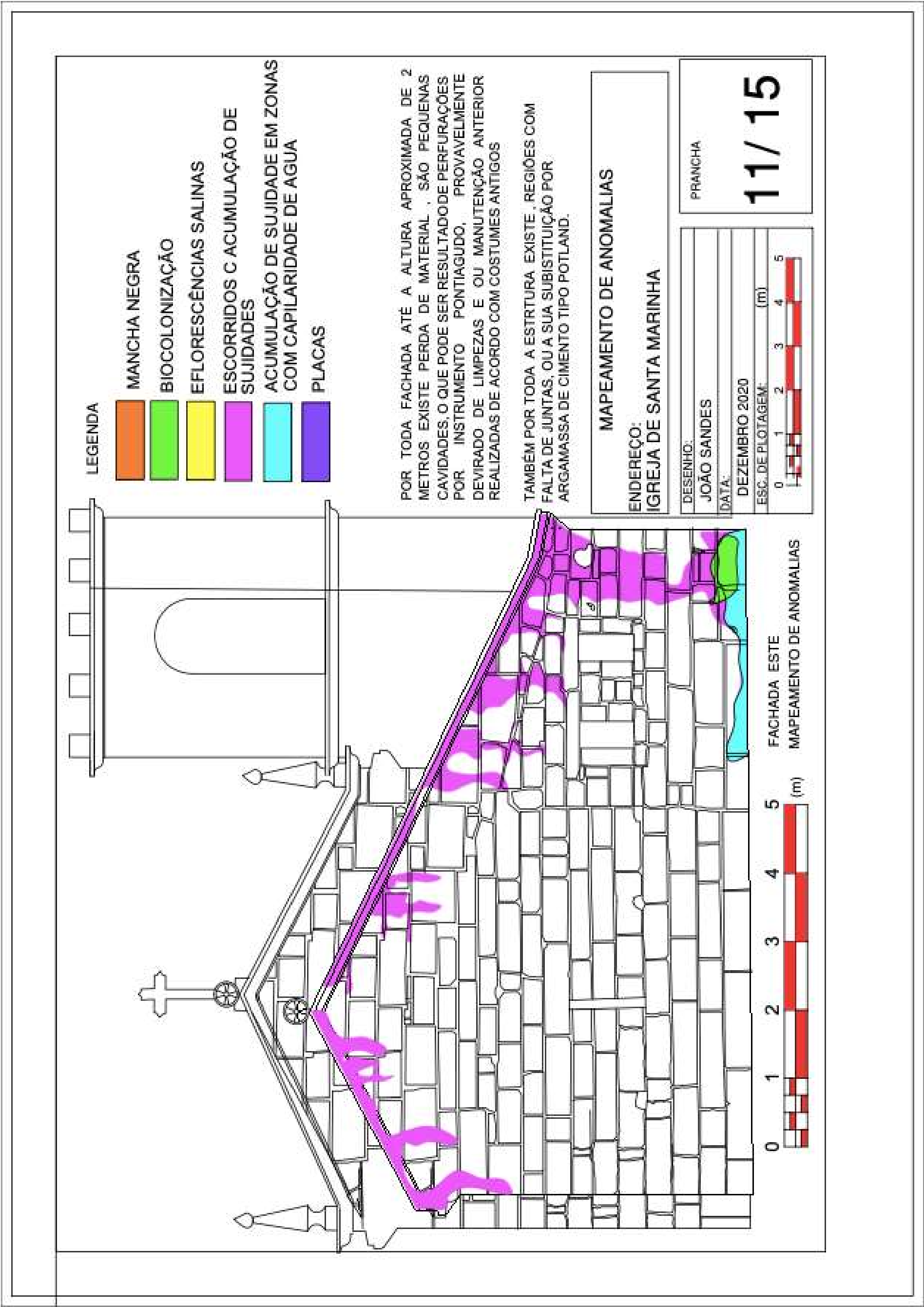


Figura C 4: Mapeamento de anomalias, fachada Este, escrita na horizontal.

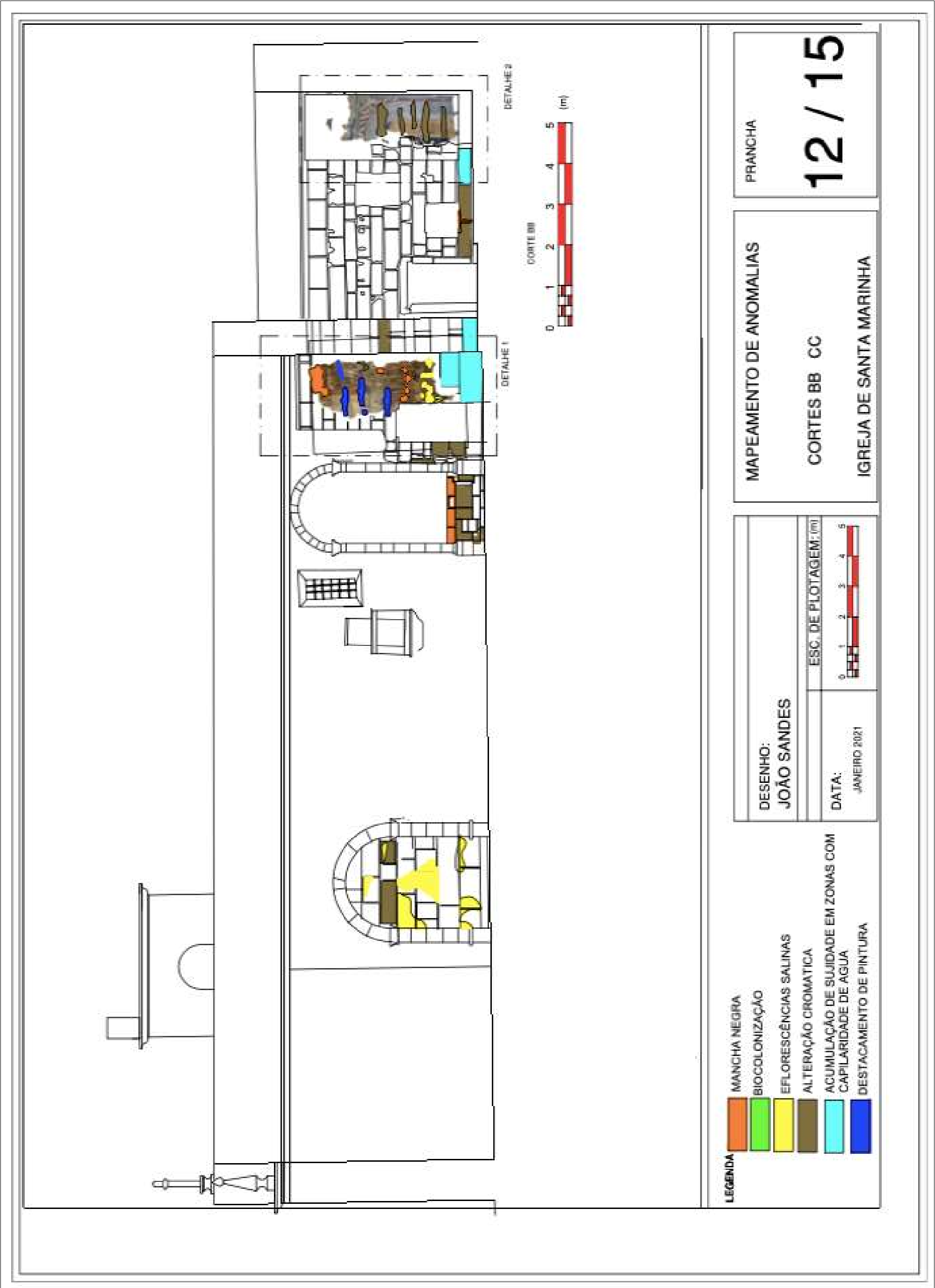


Figura C 5: Mapeamento de anomalias e pintura mural , Corte BB, escrito na horizontal.

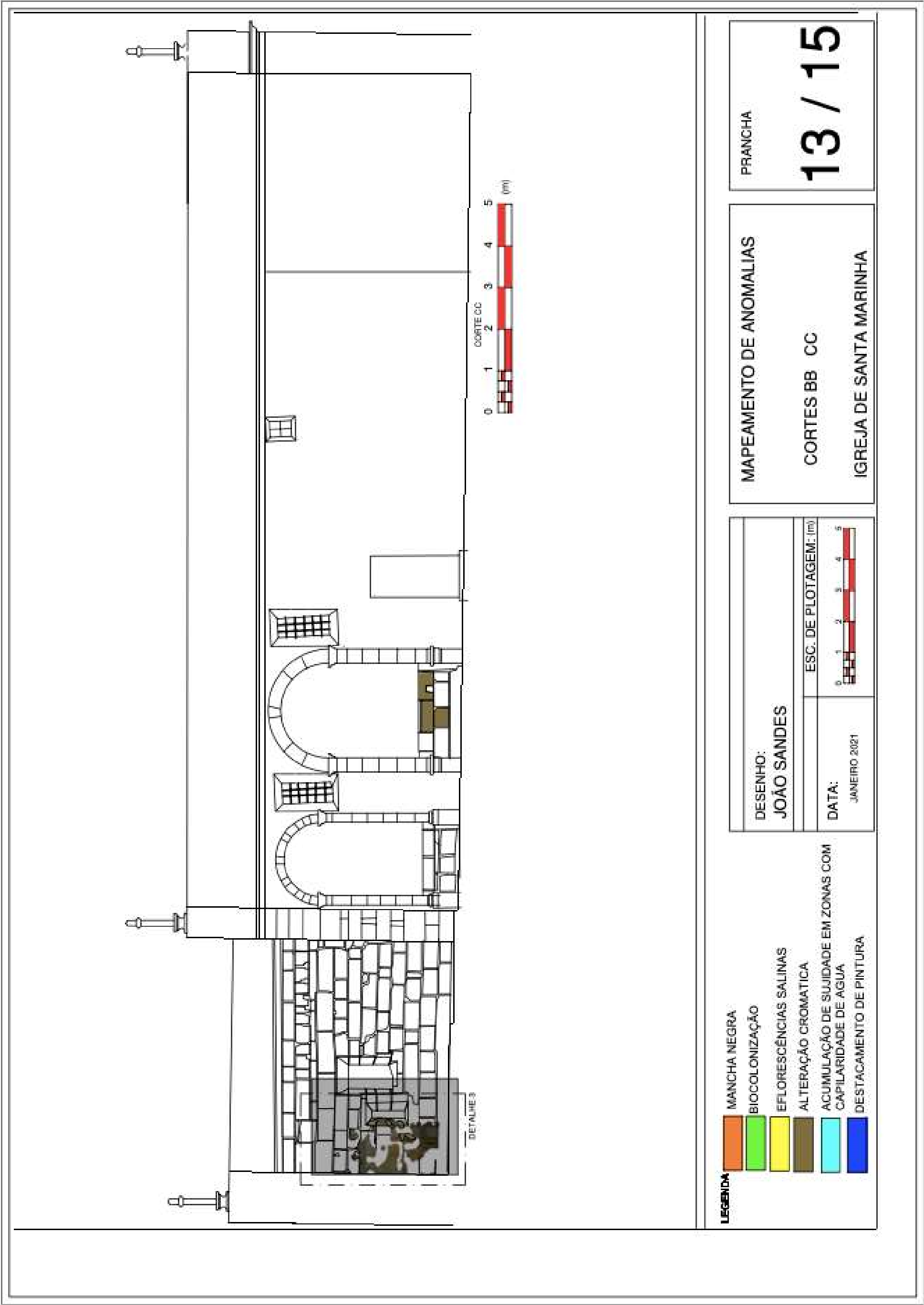


Figura C 6: Mapeamento de anomalias e pintura mural, corte CC, escrito na horizontal.

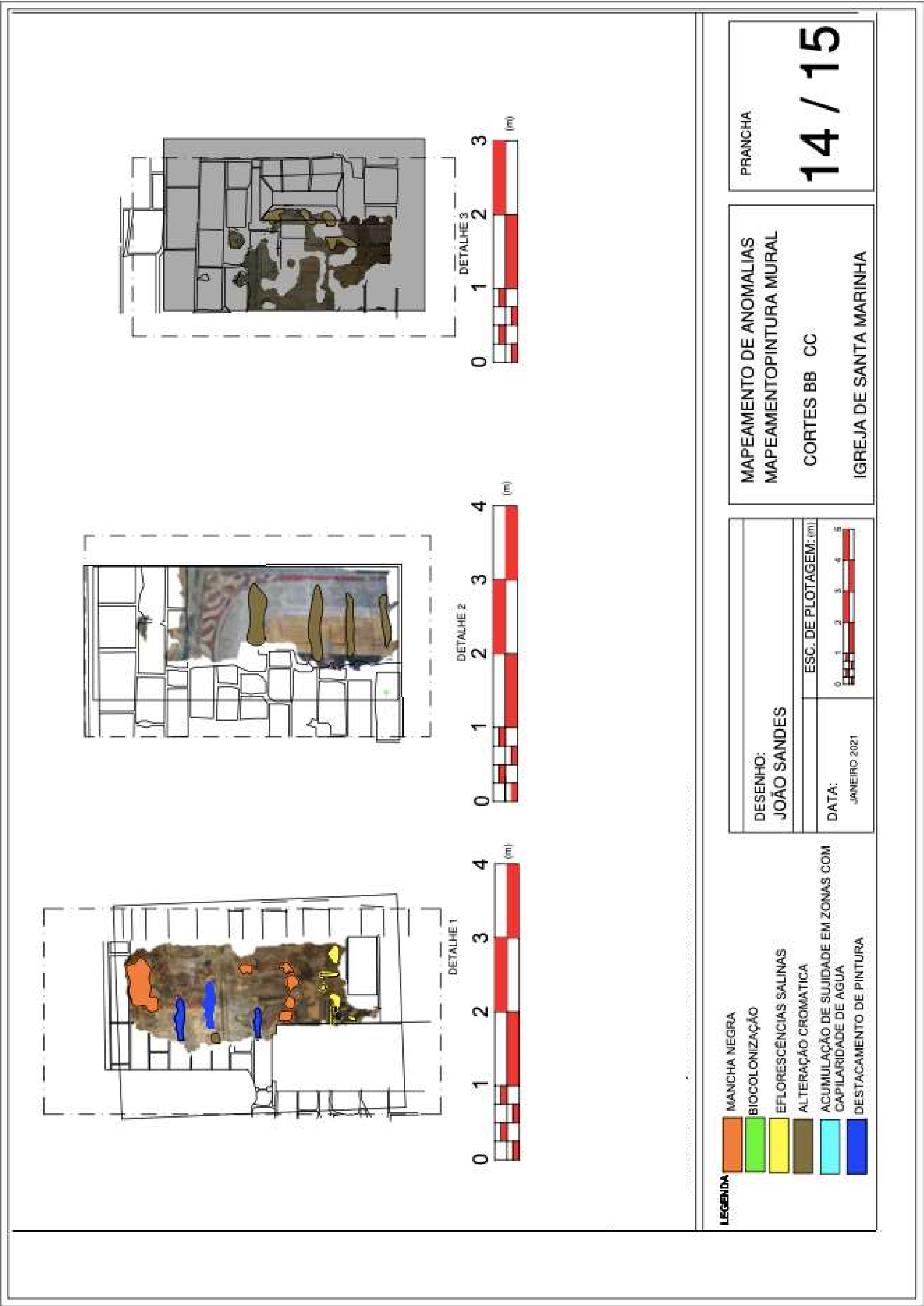


Figura C 8: Mapeamento de anomalias e pintura mural detalhes 1, 2 e 3 da prancha 13/15, escrito na horizontal.

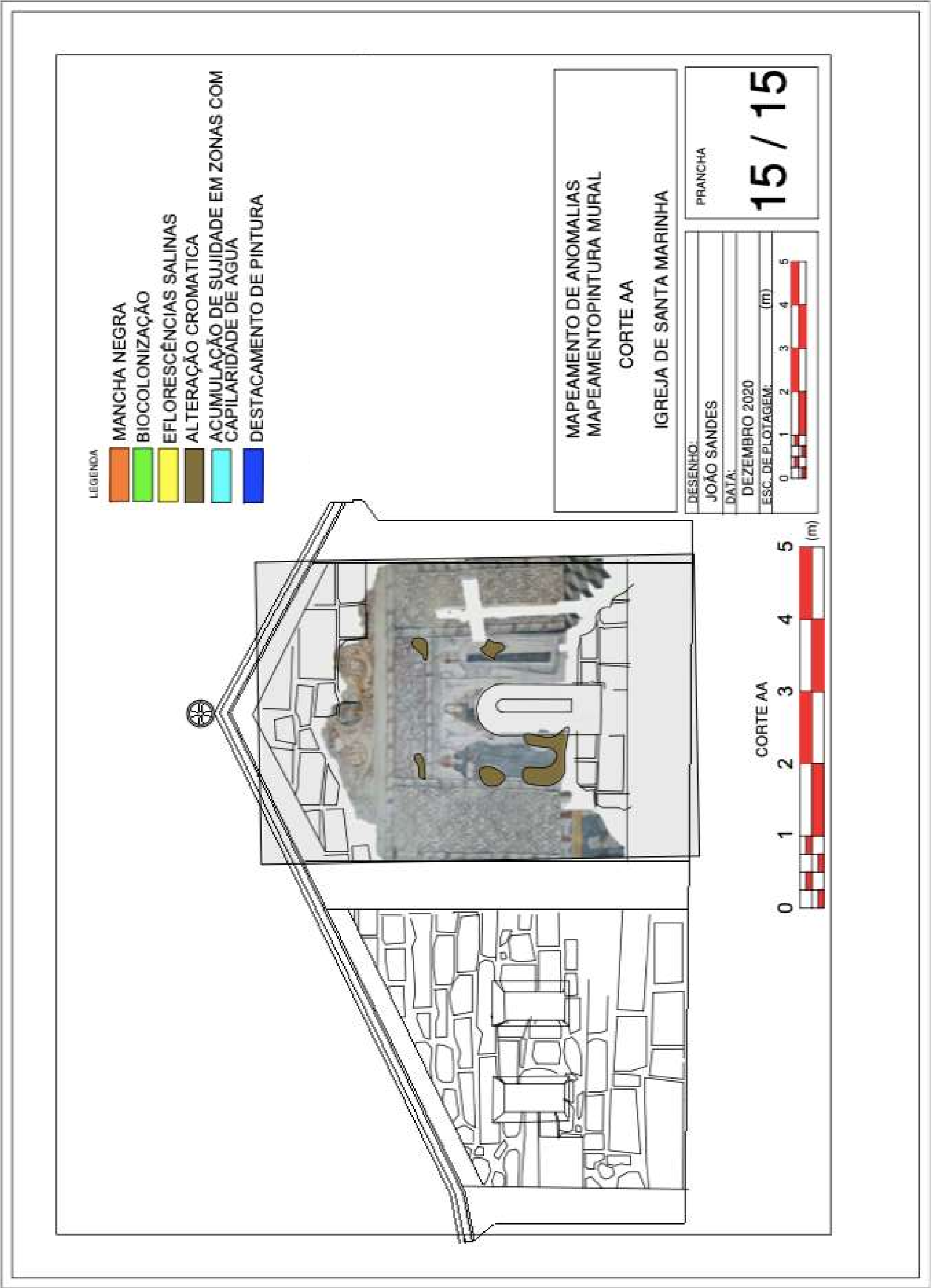


Figura C 9: Mapeamento de anomalias e pintura mural, corte AA, escrito na horizontal.

APÊNDICE D

Pintura Mural



Figura D 1: Pintura da parede norte da nave da igreja.
Créditos: João Sandes, 2020



Figura D 2: Pintura da parede norte da capela mor da igreja.
Créditos: João Sandes, 2020

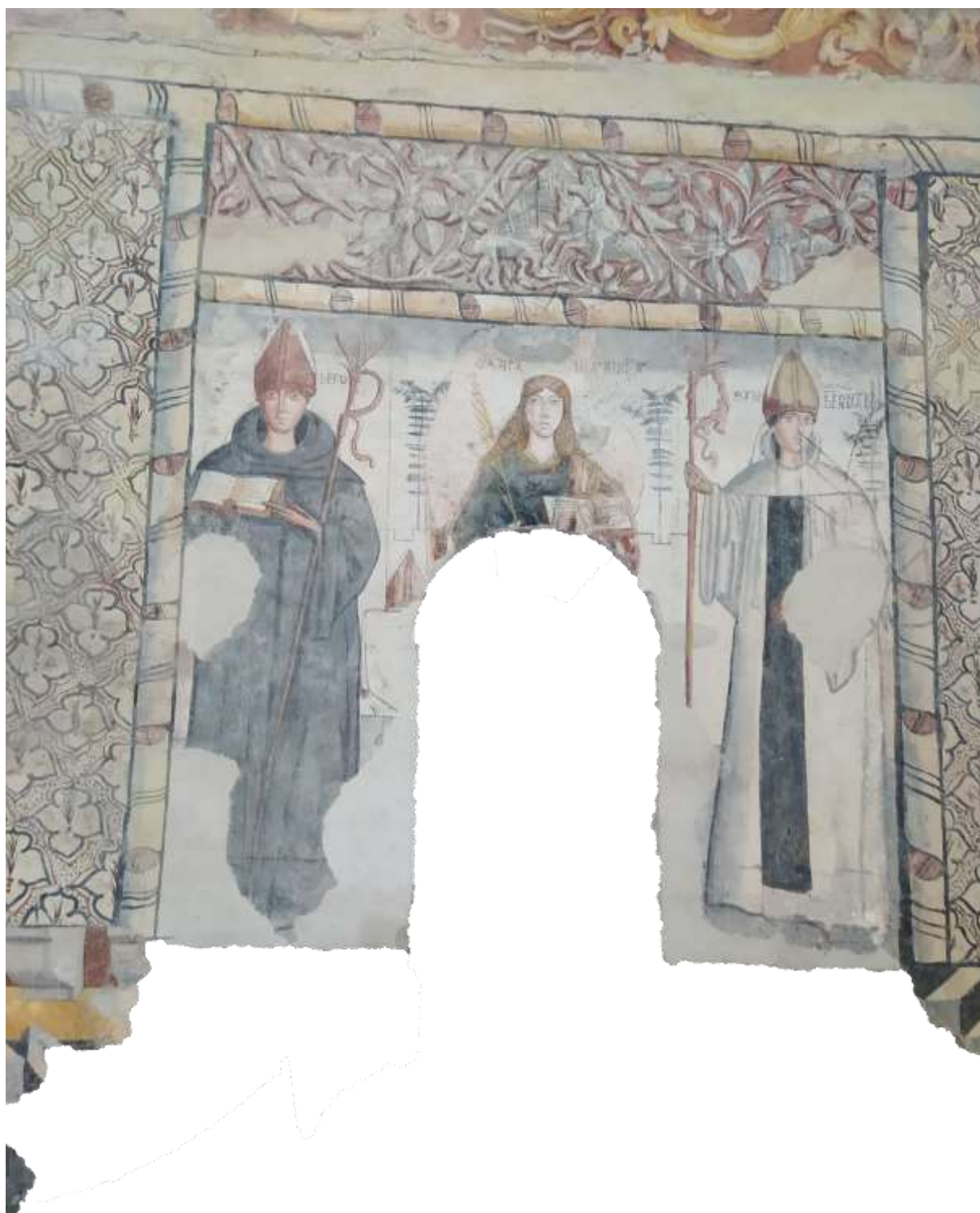


Figura D 3: Pintura da parede este da capela mor.
Créditos: João Sandes, 2020



Figura D 4: Pintura da parede norte da capela mor.
Créditos: João Sandes, 2020