



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Albino Miguel Pinheiro Silva

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA E
REFORÇO ESTRUTURAL DA IGREJA DE SÃO PAULO
NA RIBEIRA QUENTE, AÇORES

Dissertação em Reabilitação Estrutural I” do Curso de Mestrado em Reabilitação de Edifícios orientado pelo Professor Doutor Tiago Miguel dos Santos Ferreira e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Outubro de 2021

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Avaliação da vulnerabilidade sísmica e reforço estrutural da igreja de São Paulo na Ribeira Quente, Açores

Albino Miguel Pinheiro Silva

O presente documento é um relatório no âmbito da disciplina de “Dissertação em Reabilitação Estrutural I” do Curso de Mestrado em Reabilitação de Edifícios orientado pelo Professor Doutor Tiago Miguel dos Santos Ferreira.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Outubro de 2021



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

RESUMO

A presente Dissertação I tem por objetivo apresentar toda a informação necessária para avançar com o desenvolvimento da Dissertação II. Deste modo, foi feita uma descrição do objeto, a motivação e os objetivos que levaram o autor deste trabalho a escolher o temática da vulnerabilidade sísmica e reforço estrutural da igreja de São Paulo na Ribeira Quente, Ilha de São Miguel, Açores. Foi realizado um enquadramento da área de estudo em termos de localização geográfica, geomorfologia e geologia local da Ribeira Quente, e da área de implantação da igreja de São Paulo, edifício selecionado como caso de estudo deste trabalho. Foi ainda efetuada uma caracterização do zonamento geológico e geotécnico do local em estudo.

A fim de analisar os perigos que estão diretamente relacionados com a atividade sísmica, apresenta-se neste trabalho a sismicidade registada entre 1997 e 2009, com a carta de isossistas de intensidade máxima para a ilha de São Miguel, e a atividade vulcânica existente a que a área em estudo se encontra sujeita. Para além disso, elaborou-se uma síntese do enquadramento histórico dos principais eventos de perigos naturais na Freguesia da Ribeira Quente, nomeadamente a erupção vulcânica de 1630, a descrição dos sucessivos avanços do mar que colapsaram as primeiras igrejas, a construção das diferentes igrejas e a descrição dos eventos sísmicos que afetaram a atual igreja.

Apresenta-se ainda o resumo da história da igreja de São Paulo, desenvolvido com a finalidade de perceber como foi construída, o levantamento geométrico e material do edifício, entretanto já iniciado.

Finalmente, apresentou-se a metodologia de investigação a utilizar, o cronograma tentativo, e as referências bibliográficas que serão utilizadas no desenvolvimento de todo o trabalho de investigação.

Palavras-chave: Igreja de São Paulo, Ribeira Quente, Vulnerabilidade sísmica, Reforço Estrutural, Modelação Estrutural.

ABSTRACT

The present Dissertation I aims to present all the information necessary to advance the development of Dissertation II, namely the description of the object, the motivation and the objectives, which, together, justify the selection of the seismic vulnerability assessment and structural reinforcement of the church of São Paulo in Ribeira Quente, Ilha de São Miguel, Azores, as the theme of this research work. The study area was framed in terms of geographic location, geomorphology and local geology of Ribeira Quente, and the implantation area of São Paulo's church, the building chosen as the case study here. A brief characterization of the geological and geotechnical zoning of the study site was also presented.

In order to analyze the hazards that are directly related to seismic activity, the seismicity recorded between 1997 and 2009 with the maximum intensity chart for the island of São Miguel, as well as the volcanic activity present in the area under study, were given and discussed. Moreover, a synthesis of the historical framework of the significant natural hazard events in the parish of Ribeira Quente was elaborated, namely the volcanic eruption of 1630, and a description of the successive advances of the sea that caused the collapse of the first churches, the construction of different churches, and the description of the seismic events that affected the current church, were also provided.

It was also presented a summary of the history of São Paulo's church, carried out to understand how it was built, and a geometric and material survey of the building – already started in the meantime.

Finally, the research methodology to be used and the expected schedule are presented, as well as the bibliographical references to be used in the development of this research work.

Keywords: Church of São Paulo, Ribeira Quente, Seismic Vulnerability, Structural Reinforcement, Structural Modeling.

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETO, MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS.....	2
3. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO, GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA LOCAL.....	3
3.1 Enquadramento da área de estudo	3
3.1.1 Localização Geográfica da Ribeira Quente e da Igreja de São Paulo.....	3
3.1.2 Geomorfologia	4
3.1.3 Geologia	5
3.2 Zonamento Geológico e Geotécnico.....	6
3.2.1 Caraterização Geológica	7
3.2.2 Caraterização Geotécnica	8
4. HISTÓRICO DE EVENTOS DE ATIVIDADE SÍSMICA E VULCÂNICA	8
4.1 Riscos Naturais	8
4.1.1 Sismicidade	8
4.1.2 Atividade Vulcânica	10
4.2 Enquadramento histórico dos principais eventos de perigos naturais na Freguesia da Ribeira Quente.....	10
4.2.1 Erupção vulcânica de 1630 (Descrição dos eventos geológicos que originaram a orografia da RQ); 11	
4.2.2 Descrição dos sucessivos avanços do mar e a construção das diferentes igrejas.....	12
4.2.3 Descrição dos eventos sísmicos que afetaram a igreja.....	13
5. A IGREJA DE SÃO PAULO (RIBEIRA QUENTE, AÇORES)	16
5.1 Breve história da igreja de São Paulo.....	16
5.2 Levantamento geométrico	19
5.3 Levantamento material	22
6. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO E CRONOGRAMA	24
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
8. BIBLIOGRAFIA	26
ANEXO 1 - LEVANTAMENTO GEOMÉTRICO DO EXISTENTE.....	27

Índice de Figuras

Figura 1-Ilha de São Miguel. Localização da Ribeira Quente (Google Earth)	3
Figura 2 - Imagem de satélite da Ribeira Quente (Google Earth)	4
Figura 3 - Enquadramento geográfico da área de estudo (IGeoE, 2003 e http://sig-sraa.azores.gov.pt/SRAM/site/SRIT/)	4
Figura 4 - Enquadramento do local de estudo no contexto geomorfológico da Ilha de São Miguel	5
Figura 5 - Contexto geodinâmico dos Açores	5
Figura 6 - Enquadramento do local de estudo no contexto vulcanoestratigráfico da ilha de São Miguel	6
Figura 7 - Representação esquemática de perfis topográficos da área de estudo e envolvente.	7
Figura 8 - Cartografia geológica da área de estudo e envolvente [1]	7
Figura 9 - Carta da sismicidade registada na ilha de São Miguel entre 1997 e 2009	9
Figura 10 - Carta de Isossistas de intensidades máxima (EMS-98) para a ilha de São Miguel	9
Figura 11 - Localização do Pico do Gaspar nas Furnas e das Freguesias de Ponta Garça, Ribeira Quente e Vila da Povoação (Google Earth).....	11
Figura 12 - Ribeira Quente em uma perspetiva 3D do Google Earth (Google Earth)	12
Figura 13 - Foto de satélite da Ribeira Quente (Google Earth).	13
Figura 14 - Digitalização do Livro " <i>Povo da Ribeira Quente... Que Origem?</i> " de Gil Moniz Jerónimo	14
Figura 15 - Digitalização do Livro " <i>Povo da Ribeira Quente... Que Origem?</i> " de Gil Moniz Jerónimo	15
Figura 16 - Localização da 1ª Ermida de São Paulo. Desenho elaborado a partir do exposto em [2] e dos dizeres na sabedoria popular do povo Ribeira Quente (elaborado pelo autor deste trabalho).	17
Figura 17 - Localização da 2ª Ermida de São Paulo. Desenho elaborado a partir do exposto em (Jerónimo, 1998) e dos dizeres na sabedoria popular do povo Ribeira Quente (elaborado pelo autor deste trabalho).	17
Figura 18 - Ruína da 2ª ermida de São Paulo em 1909. Desenho elaborado a partir do exposto em (Jerónimo, 1998) e dos dizeres na sabedoria popular do povo Ribeira Quente.....	18
Figura 19 - Planta do Piso Térreo.....	19
Figura 20 - Planta da Cobertura	19
Figura 21 - Alçados Sul e Este	20
Figura 22 - Alçados Oeste e Norte	20
Figura 23 - Piso do "Coro" e teto.....	21
Figura 24 – À esquerda: altar-mor; à direita: vista total do altar-mor e nave.	22
Figura 25 - Tirantes na torre sineira	22
Figura 26 - Foto da parede norte da torre sineira no desvão da cobertura.....	23
Figura 27 - Estrutura da cobertura e desvão	23
Figura 28 - Cobertura em telha fibrocimento	24

1. Introdução

No arquipélago dos Açores, desde a sua descoberta, têm sido documentados vários eventos sísmicos e vulcânicos que fizeram história pelos piores motivos. Mais recentemente, o sismo de 9 de julho de 1998, de magnitude 5,8 na escala de Richter, atingiu as ilhas do Faial, Pico e S. Jorge, dando origem a uma vasta destruição, provocando 9 mortes, mais de uma centena de feridos e alguns milhares de desalojados. Também o sismo de 1 de janeiro de 1980, com magnitude de 7,2 na escala de Richter, causou danos consideráveis nas ilhas de Terceira, São Jorge e Graciosa, com a demolição de cerca de 70% das casas da ilha da Terceira, incluindo o centro histórico da cidade de Angra do Heroísmo.

Outros eventos sísmicos de elevada magnitude e intensidade marcaram a história dos Açores. A título de exemplo, a 22 de setembro de 1522, um sismo atingiu Vila Franca do Campo com intensidade máxima de grau X na escala Macrossísmica Europeia de 1998 e que ficou conhecido por Subversão de Vila Franca do Campo. Deste sismo estima-se que morreram de 3000 a 5000 pessoas, a quase totalidade dos habitantes de então, devido, sobretudo, a um *lahar* que soterrou toda a vila. Também, em 9 de julho de 1757, um dos mais violentos terremotos da história dos Açores atingiu a ilha de São Jorge e Pico e ficou conhecido por “Mandado de Deus” e causou pelo menos 1053 mortos na ilha de São Jorge e 11 no Pico.

Muitos outros sismos, com maior ou menor intensidade, atingiram os Açores. Na Ribeira Quente, só no século passado, há registo de três sismos de elevada intensidade em 1932, 1935 e 1952, com destruição considerável e um morto. Estes eventos serão mais detalhados na Secção 4.2.3.

A Ribeira Quente deve a sua atual orografia à erupção vulcânica de 1630, que deu origem a corrimentos de terras e a várias derrocadas, sendo uma de enormes dimensões, na zona do castelo, onde foi implantada a atual Igreja de São Paulo.

A atual igreja de São Paulo na Ribeira Quente é o terceiro templo a ser construído na localidade. A presente dissertação, além do desenvolvimento técnico a ser desenvolvido, pretende elaborar um breve enquadramento histórico das duas ermidas de São Paulo que antecederam a atual igreja com o mesmo padroeiro. Sendo assim, será realizado um enquadramento da área de estudo no contexto geográfico, geomorfológico e geológico. Também, serão apresentados os principais perigos naturais que apresentam risco sísmico: sismicidade e atividade vulcânica.

Após o enquadramento referido, será realizado um resumo histórico dos principais eventos de perigos naturais na Freguesia da Ribeira Quente que originaram a atual orografia e que

provocaram o colapso das anteriores igrejas de São Paulo.

2. Objeto, motivação e objetivos

A presente dissertação foi motivada pelo facto de haver pouca informação disponível sobre a construção e estado atual de conservação estrutural da igreja de São Paulo na Ribeira Quente. As dúvidas existentes sobre o seu desempenho estrutural, e o facto de terem ocorrido alteração da sua integridade estrutural devido a sismos ocorridos no passado, e à normal degradação pelo efeito do tempo, serviram também de motivação para este trabalho. Deve-se salientar que o autor deste trabalho é natural da freguesia da Ribeira Quente, motivo pelo qual existe um interesse especial em desenvolver esta dissertação sobre o único templo desta localidade.

O objetivo geral desta dissertação será analisar a vulnerabilidade sísmica da igreja de São Paulo e, com base nessa avaliação, propor soluções de reforço.

Para tal, será:

1. Realizado um levantamento geométrico e material da estrutura existente;
2. Caracterizado o seu estado atual de conservação;
3. Desenvolvido um conjunto de análises com recurso a duas formulações numéricas e dois programas de cálculo automático distintos.

O levantamento geométrico e material da estrutura existente será executado com recurso a meios de medição como fita métrica, medidor a laser e câmara fotográfica.

Será executada uma inspeção estrutural levada a cabo com a caracterização do estado de conservação da estrutura existente, realizado *in situ* e em laboratório, com a obtenção de amostras retiradas dos elementos estruturais, naqueles que for possível obter amostras, e por caracterização visual direta e por imagens. Nesta fase, será analisado o estado de conservação das alvenarias com a caracterização do tipo de alvenaria, os rebocos, a taxa de corrosão dos esticadores em contato com a alvenaria (tirantes metálicos), a taxa de corrosão de outros elementos metálicos de interesse para a estabilidade, monitorização da abertura de fissuras com recurso a fissurómetros de modo a verificar se as fendas se encontram ativas, etc. Por fim, para terminar a caracterização do estado atual de conservação, realizar-se-á uma avaliação dos resultados obtidos e será elaborado um relatório de inspeção em conformidade com o lecionado nas aulas teóricas.

A metodologia a ser utilizada para analisar a vulnerabilidade sísmica da igreja de São Paulo, será o recurso a dois softwares com formulações de análise distintas. Após calibrados e validados os modelos elaborados, far-se-á uma análise comparativa dos resultados obtidos.

areal: a Praia do Fogo. Na Praia do Fogo, a existência de nascentes hidrotermais submarinas, resultado de vulcanismo secundário, tornam a água do mar tépida.



Figura 2 - Imagem de satélite da Ribeira Quente (Google Earth)

A Igreja de São Paulo situa-se na Rua da Alegria, freguesia da Ribeira Quente, concelho de Povoação, na Ilha de São Miguel da Região Autónoma dos Açores. A localização geográfica, no contexto da cartografia militar e fotografia aérea está representada na Figura 3.



Figura 3 - Enquadramento geográfico da área de estudo (IGeoE, 2003 e <http://sig-sraa.azores.gov.pt/SRAM/site/SRIT/>)

3.1.2 Geomorfologia

A ilha de São Miguel é a maior do arquipélago dos Açores, apresentando uma área de 747 km² e largura e comprimentos máximos de 16 e 66 km, respetivamente.

Segundo [1], individualizam-se oito unidades geomorfológicas na ilha de São Miguel: Maciço Vulcânico das Sete Cidades, Região dos Picos, Complexo Vulcânico da Serra de Água de Pau, Planalto da Achada das Furnas, Vulcão das Furnas, Vulcão da Povoação, Região da

Tronqueira e do Nordeste e Plataforma Litoral do Norte (ver Figura 4).



Figura 4 - Enquadramento do local de estudo no contexto geomorfológico da Ilha de São Miguel

A Ribeira Quente enquadra-se na unidade geomorfológica do Vulcão das Furnas, sobre o flanco sul do edifício vulcânico, Figura 4, que corresponde a um vulcão central poligenético encimado por um complexo de caldeiras: duas principais, de maiores dimensões, e no seu interior outras de menores dimensões, formadas em várias fases, com fenómenos de colapso e de explosão [1]. O interior do sistema de caldeiras encontra-se parcialmente ocupado pela Lagoa das Furnas e por domos e cones de pedra pomes.

3.1.3 Geologia

Os Açores encontram-se numa zona de convergência de três placas litosféricas – Euroasiática, Africana (Núbia) e Norte Americana – e outras estruturas tectónicas menores, cuja dinâmica é responsável pela sismicidade e vulcanismo atuantes nestas ilhas, bem como, pelas características petrológicas e geoquímicas das lavas emitidas [1].

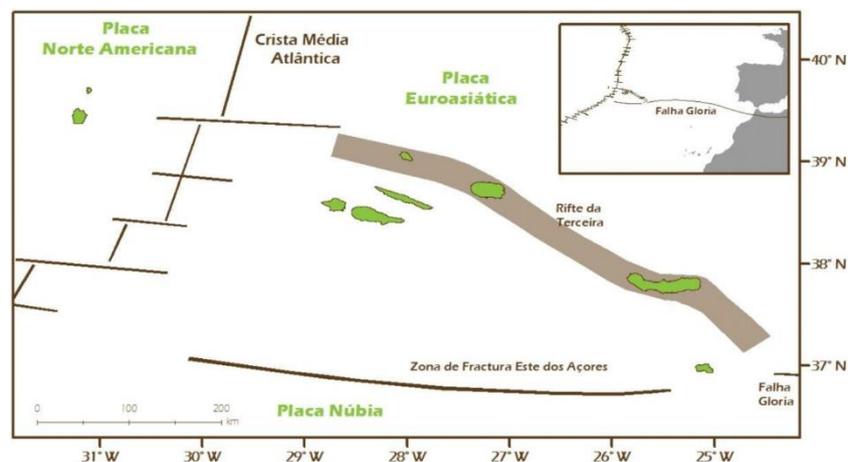


Figura 5 - Contexto geodinâmico dos Açores

As principais estruturas tectónicas da ilha de São Miguel têm, sensivelmente, uma direção NW-SE, coincidente com a do Rife da Terceira, uma estrutura transformante que limita, na plataforma dos Açores, as placas Africana (Núbia) e Euroasiática.

Segundo [1], a ilha de São Miguel individualiza-se nas seguintes unidades vulcanoestratigráficas: Vulcão das Sete Cidades, Complexo Vulcânico dos Picos, Vulcão do Fogo, Vulcão das Furnas, Vulcão da Povoação e Complexo Vulcânico do Nordeste. Considerando as unidades referidas, a área de estudo enquadra-se no Vulcão das Furnas, Figura 6.



Figura 6 - Enquadramento do local de estudo no contexto vulcanoestratigráfico da ilha de São Miguel

O Vulcão das Furnas, com cerca de 100.000 anos [1], é o vulcão poligenético mais jovem da ilha de São Miguel. Durante a sua atividade extraiu maioritariamente produtos de composição traquítica. Os produtos emitidos correspondem a alternâncias de depósitos pomíticos de fluxo (surges, ignimbritos, debris-flow) e de queda (lapillie cinzas) e a escoadas lávicas de natureza traquítica. Desde o povoamento da ilha de São Miguel ocorreram neste vulcão duas erupções: em 1439-43 e 1630.

De acordo com [1], a área em estudo situa-se num local dominado por materiais de projeção, sendo cartografado naquela zona um domo traquítico coberto por depósitos pomíticos.

3.2 Zonamento Geológico e Geotécnico

De modo a interpretar a morfologia da área de estudo e sua envolvente apresentam-se, na figura seguinte, dois perfis perpendiculares que se intersectam na área de estudo, bem como carta de declives da zona, Figura 7.

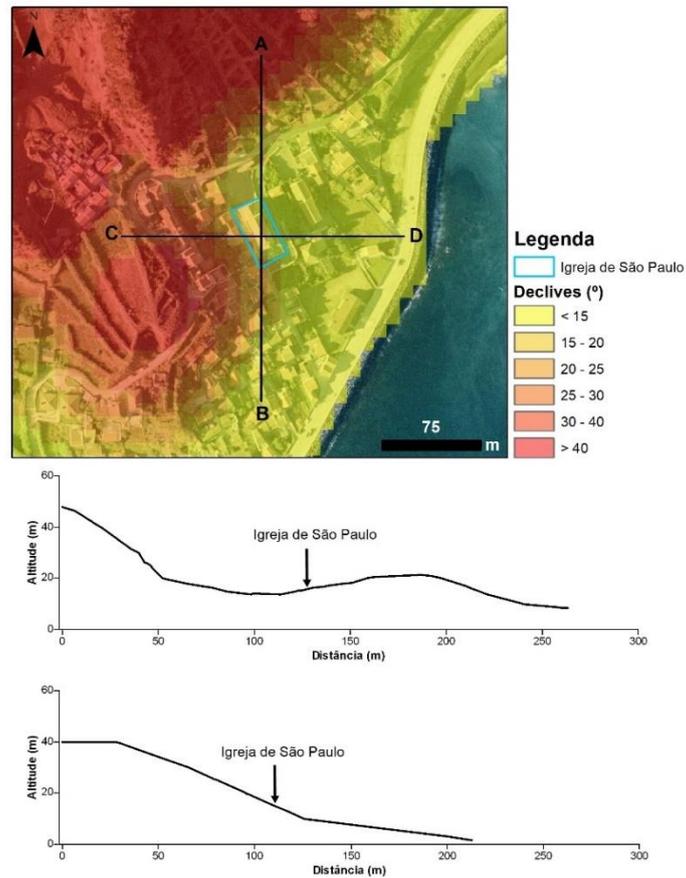


Figura 7 - Representação esquemática de perfis topográficos da área de estudo e envolvente.

3.2.1 Caracterização Geológica

Segundo a cartografia geológica, a área em estudo enquadra-se em local cartografado como de depósitos pomíticos [1]. No entanto, nas imediações do local de implantação da igreja, pode-se encontrar, superficialmente, afloramentos de rochas traquíticas, blocos traquíticos, materiais de aterro e depósitos pomíticos, Figura 8.



Figura 8 - Cartografia geológica da área de estudo e envolvente [1].

3.2.2 Caracterização Geotécnica

As formações geológicas do arquipélago dos Açores podem ser classificadas em função da natureza dos materiais vulcânicos e das suas características geotécnicas, considerando o seu comportamento sísmico, em três grupos – duro, intermédio e brando [1].

De acordo com a caracterização geológica apresentada, as formações predominantes na área de estudo correspondem genericamente a pedra-pomes e materiais pomíticos indiferenciados e escoadas lávicas traquíticas. Segundo [2], o solo da atual Igreja de São Paulo é um solo aluvionar.

A pedra-pomes e materiais pomíticos indiferenciados constituem formações de características brandas (IIIa) com as seguintes características gerais: velocidade de ondas de corte inferior a 200 m/s; ensaios de penetração dinâmica (SPT) com valores entre 5 e 50 bl/30 cm; resistência ao corte que varia entre 0 e 10 kPa e ângulo de atrito interno que se situa entre 5 e 15° [1].

As escoadas lávicas traquíticas constituem formações de características duras (Ia) com as seguintes características gerais: velocidade de ondas de corte superior a 400 m/s; ensaios de penetração dinâmica (SPT) com nega e resistência ao corte superior a 200 kPa [1].

4. Histórico de eventos de atividade sísmica e vulcânica

4.1 Riscos Naturais

Para o contexto deste trabalho, apenas importa considerar a sismicidade do local e a atividade vulcânica, por serem os dois perigos diretamente relacionados com a atividade sísmica.

4.1.1 Sismicidade

As regiões com maior densidade epicentral na ilha de São Miguel estão associadas ao Vulcão das Sete Cidades, ao Vulcão das Furnas (onde se enquadra a área de estudo), e ao sector compreendido pelo Vulcão do Fogo e pela denominada zona sismogénica do Fogo-Congro. No Sistema Vulcânico dos Picos, e no sector nordeste da ilha, o índice de sismicidade tem sido significativamente mais baixo [1].

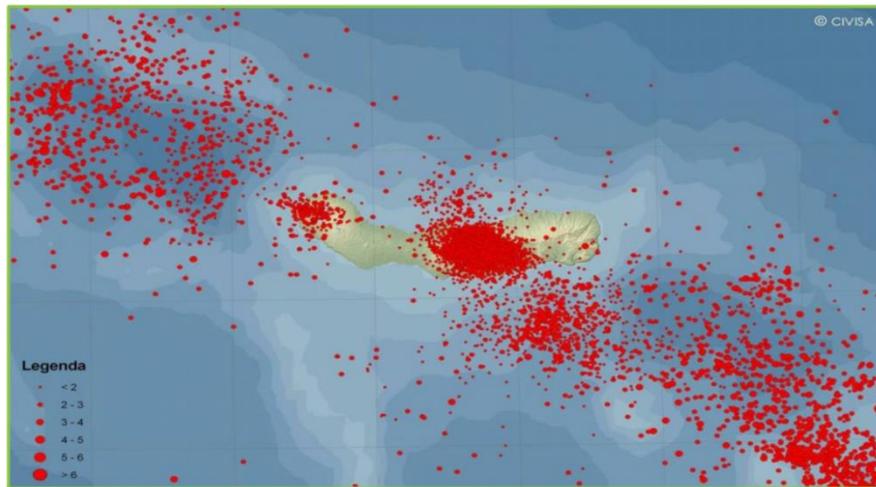


Figura 9 - Carta da sismicidade registada na ilha de São Miguel entre 1997 e 2009

Segundo a carta de intensidades máximas históricas da ilha de São Miguel, a área de estudo registou, na Escala Macrossísmica Europeia - 1998 (EMS-98), uma intensidade máxima de IX – Destrutivo [1].

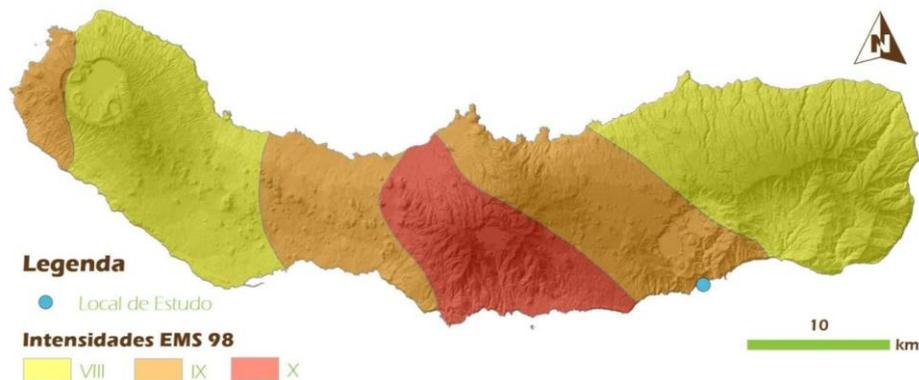


Figura 10 - Carta de Isossistas de intensidades máximas (EMS-98) para a ilha de São Miguel

Nos últimos 30 anos foram três os sismos de maior intensidade sentidos na ilha de São Miguel. Dois ocorreram em 1988 e foram sentidos com intensidade VI/VII na Escala de Mercalli Modificada, o primeiro a 16 de outubro, com magnitude 5 e epicentro a cerca de 23 km a SSW da Povoação, e o segundo a 21 de novembro, com magnitude 5,3 e epicentro a NW dos Mosteiros. O mais recente ocorreu no dia 30 de abril de 2013, com magnitude 5,9 e epicentro a cerca de 34 km a SE da ilha de São Miguel, e foi sentido com intensidade máxima V/VI na Escala de Mercalli Modificada.

A freguesia da Ribeira Quente situa-se numa das zonas mais sismogénicas da ilha de São Miguel, podendo os eventos sísmicos ser considerados como fatores desencadeantes de perigos geológicos como os movimentos de vertentes.

4.1.2 Atividade Vulcânica

Do ponto de vista vulcânico, a área de estudo encontra-se em zona vulcânica ativa – Vulcão das Furnas – e, como tal, exposta a perigos resultantes de erupções, como são as escoadas lávicas, escoadas piroclásticas, escoadas de lama e piroclastos de queda [1].

No vulcão das Furnas ocorrem manifestações de vulcanismo secundário, materializadas por campos fumarólicos, nascentes de águas termais e fenómenos de desgaseificação [1]. Para a elaboração deste trabalho, não será necessário considerar este tipo de manifestação de vulcanismo secundário.

A tabela seguinte apresenta uma síntese dos perigos vulcânicos a que a área de estudo se encontra exposta [1].

Tabela 1 - Lista dos perigos vulcânicos a que a área de estudo se encontra [1].

Perigos Vulcânicos	Suscetibilidade	Consequências Prováveis
Escoadas lávicas	Moderada	Destruição de edifícios e outras infraestruturas; Incêndios
Piroclastos de queda - trajetória balística	Moderada	Incêndios Perfuração de telhados
Piroclastos de queda - cinzas e lapilli de queda	Moderada	Colapso de estruturas por acumulação de depósitos
Escoadas piroclásticas e surges	Moderada	Danos graves em infraestruturas
Escoadas de lama (mudflow)	Moderada	Destruição de infraestruturas
Gases vulcânicos	Alta	Envenenamento e asfixia; Contaminação do ar e da água

4.2 Enquadramento histórico dos principais eventos de perigos naturais na Freguesia da Ribeira Quente

Não está no âmbito deste trabalho aprofundar os acontecimentos que deram origem à atual orografia da Ribeira Quente, no entanto, será descrito, de forma sumária, a erupção vulcânica de 1630, os sucessivos avanços do mar sobre os “terrenos postiços” e algumas crises

sísmicas onde na Ribeira Quente houve importantes estragos. Esta descrição dos eventos a seguir enunciados pretende enquadrar a localização e o risco sísmico que deverá ser considerado na atual igreja.

4.2.1 Erupção vulcânica de 1630 (Descrição dos eventos geológicos que originaram a orografia da RQ);

Segundo o Vol. II do Arquivo dos Açores e [2], no dia 2 de setembro de 1630, teve início uma crise sísmica que antecedeu a erupção vulcânica de 3 de setembro, no Pico do Gaspar, nas imediações do Vale das Furnas, que deu origem à atual orografia da Ribeira Quente. Conforme os mesmos autores, foi a mais violenta e espetacular de todas as crises sísmico-eruptivas dos Açores tendo sido considerada uma erupção do tipo explosiva. A este evento vulcânico, foi dado o nome de Erupção do Cinzeiro, dado as enormes quantidades de cinzas e pedra-pomes expelidas.

Sobre o mesmo acontecimento, está documentado que:

"Nos lugares da Povoação e Ponta Garça não ficou casa em pé, e na Povoação a terra noventa braças entrou pelo mar" [2].

"Três dias inteiros choveu cinza em tanta quantidade, que em muitas partes de trinta palmos ficou a altura" [2].

Destes excertos, e outros, dos mesmos autores, pode-se entender que devido à erupção vulcânica de setembro de 1630, no Vale das Furnas, houve um enorme depósito de matéria piroclástica, dando origem a uma “extensão de pedra pomes lançada sobre o mar”, no lado sul, entre a Ponta Garça e Povoação onde na Ribeira Quente teve maior expressão (ver Figura 11) [2].



Figura 11 - Localização do Pico do Gaspar nas Furnas e das Freguesias de Ponta Garça, Ribeira Quente e Vila da Povoação (Google Earth).

Este depósito de matéria piroclástica, junto com uma enorme derrocada na zona do Castelo

(lugar do Fogo), deu origem à protuberância onde está implantada a atual Igreja de São Paulo (ver Figura 12).



Figura 12 - Ribeira Quente em uma perspectiva 3D do Google Earth (Google Earth)

4.2.2 Descrição dos sucessivos avanços do mar e a construção das diferentes igrejas

A pós a erupção vulcânica de 3 setembro de 1630, a Ribeira Quente ficou com uma orografia completamente diferente daquilo que era a primitiva fajã. De acordo com [2], houve um corrimento de terras para o lado do mar que deu origem a uma extensa fajã. No entanto, no decorrer do tempo, a maior parte da área desta fajã foi erodida pela ação do mar dando origem à atual fajã. Na Figura 13, apresenta-se uma imagem retirada do Google Earth onde pode-se visualizar a linha da orla marítima atual. A linha a cinza faz uma delimitação aproximada do que era a orla marítima a seguir a erupção de 1630, segundo as informações disponíveis em [2] e dos dizeres da sabedoria popular do povo da Ribeira Quente.

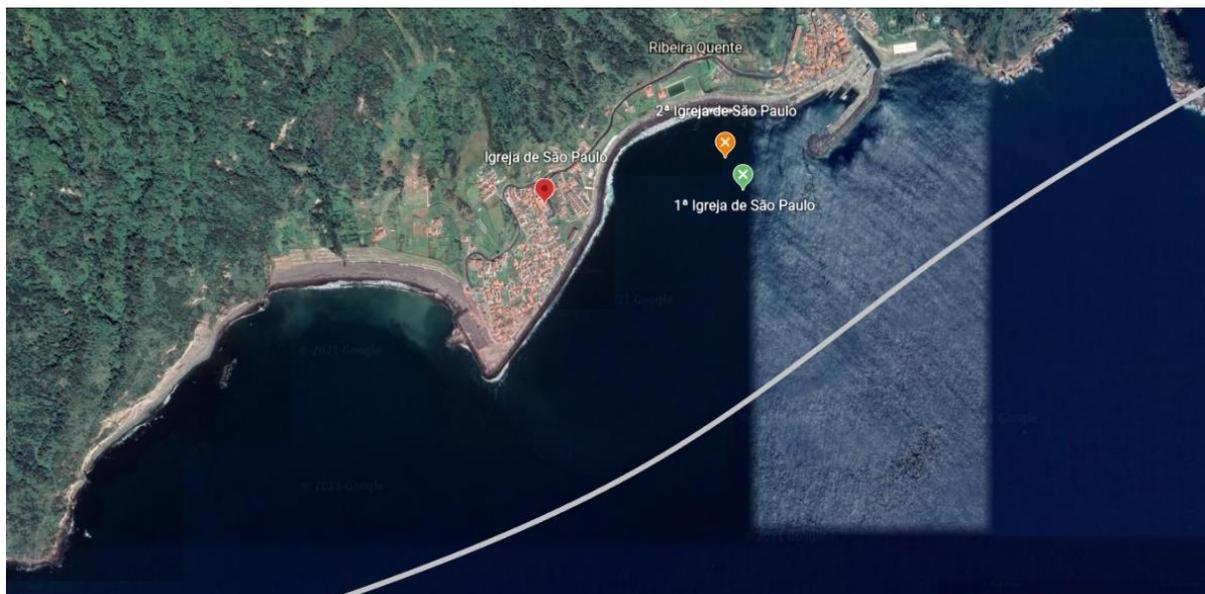


Figura 13 - Foto de satélite da Ribeira Quente (Google Earth).

Segundo [2], ocorreram dois eventos mais marcantes em todo o processo do avanço do mar por terra: o primeiro evento faz referência ao colapso da primitiva ermida de São Paulo por volta de 1795 (pin a verde na figura anterior) e o segundo evento faz referência ao colapso da segunda igreja de São Paulo em 1909 (pin a laranja na figura anterior). Estes eventos serão mais bem descritos na secção 5.

4.2.3 Descrição dos eventos sísmicos que afetaram a igreja

A seguir descreve-se sumariamente os eventos sísmicos históricos mais recentes e que afetaram a Freguesia da Ribeira Quente.

4.2.3.1 Sismo de 5 de agosto de 1932

O sismo de 5 de agosto de 1932 teve a duração de 6 segundos, de origem tectónica, atingiu especialmente o concelho da Povoação com intensidade máxima, VIII na Escala de Mercalli Modificada, nas freguesias de Água Retorta e no lugar da Lomba do Cavaleiro [3]. Na sequência deste sismo, foram sentidas várias réplicas até dia 8 de agosto.

Registaram-se na Ribeira Quente “...apenas alguns prejuízos, vendo-se fendidas muitas casas” e um movimento de massa no lugar do Agrião que “... arrastou para o mar alguns alqueires de terra, ficando muito arruinada uma casa, ameaçando desabamento. Os caminhos ali apresentam grandes fendas.” [3].

Na Figura 14 e Figura 15, apresenta-se uma digitalização de umas fotos a que o autor do livro “**Povo Da Ribeira Quente... Que Origem?**” refere ser do sismo de 1932. No entanto, o autor do presente trabalho, após alguma consulta a alguns habitantes mais antigos, considera que

estas imagens são do sismo de 26 de junho de 1952.

POVO DA RIBEIRA QUENTE... QUE ORIGEM?



ABALO SÍSMICO DE 1932 - Sem abrigos nem auxílios, estas mães cansadas abrigavam-se com os filhos sob este tosco abrigo feito por paus e velhos cobertores. Embora sob o efeito da tragédia, os pais não podiam deixar de ir procurar no mar ou nas terras os meios de sobrevivência.



LAR EM RUÍNAS - Com a casa demolida os sinistrados dormiam na rua.

Figura 14 - Digitalização do Livro "*Povo da Ribeira Quente... Que Origem?*" de Gil Moniz Jerónimo



UM LAR COMPOSTO POR UM SÓ QUARTO - Um velho espelho e um lavatório de tripé; um relógio e um quadro faziam parte da riqueza deste pobre lar.



MAIS RUÍNAS, MAIS LARES DESFEITOS - Eram assim as paredes das casas daquele tempo.

Figura 15 - Digitalização do Livro "Povo da Ribeira Quente... Que Origem?" de Gil Moniz Jerónimo

4.2.3.2 Sismo de 27 de abril de 1935

Segundo [3], o sismo teve a duração de 17 segundos provocando destruição em quase toda a ilha de São Miguel, sendo o concelho da Povoação o mais afetado. Após o primeiro abalo, houve várias réplicas a registar. No seguimento deste evento, a Ribeira Quente foi a localidade que mais foi afetada e onde se registou uma vítima mortal na sequência de uma derrocada que desabou sobre uma pessoa.

"...o sismo atingiu com grande violência, derrubando algumas e arruinado outras casas..."
(Diário dos Açores, n.º 12.833).

4.2.3.3 Sismo de 26 de junho de 1952

A 26 de junho de 1952, ocorreu um sismo que atingiu o grau VII da escala de Mercalli modificada, com maior incidência a freguesia da Ribeira Quente. Neste dia, ocorreram vários abalos que resultaram elevados estragos materiais com o colapso e abertura de fendas em todas as moradias. Segundo [3], *"no lugar do Fogo na Ribeira Quente, ruíram a maior parte das casas e na freguesia cem habitações ficaram impraticáveis"*. Também, em [2], faz referência ao estado em que ficou danificada a igreja de São Paulo (faz-se referência no secção 5).

O autor deste trabalho consultou alguns habitantes Ribeiraquentenses a quem a memória ainda recordava este evento o qual foi confirmado. De facto, várias famílias ficaram desalojadas e segundo [3], seiscentas pessoas ficaram a viver ao ar livre.

5. A igreja de São Paulo (Ribeira Quente, Açores)

Nesta secção, apresenta-se um resumo da história da igreja de São Paulo, seguido do levantamento geométrico e material do edifício.

5.1 Breve história da igreja de São Paulo

A Ribeira Quente, desde os seus primórdios, era frequentada por veraneantes de Vila Franca do Campo que, devido à riqueza dos terrenos, cultivavam e faziam vinho nos terrenos daquele lugar. Foram estes veraneantes que, pela necessidade de ter um templo para celebrar atos religiosos, elevaram a primeira ermida de São Paulo no ano de 1665. Para a elevação da 1ª ermida, foi doado 3 alqueires de terra plantada com vinha, por um proprietário de Vila Franca do Campo, numa zona de planície sobre os terrenos depositados da erupção vulcânica de 1630, compostos na sua maioria por depósitos pomíticos. Conforme descrito em [2], a ermida era de pequenas dimensões, sem torre e de apenas um sino.

Com os sucessivos avanços do mar, esta primeira ermida colapsou e foi construída uma nova ermida mais a norte, provavelmente entre 1796 e 1798, (Figura 16 e Figura 17), mas pouco distante da primeira [2], conforme consegue-se entender pelo seguinte excerto:

"...faz-se porem preciso que a Igreja antiga, que fica um pouco separada e de que se conservam ainda as paredes, ou se fechem estas de modo, ponde-se uma Cruz no meio do plano para a conservação do respeito daquele lugar, ou ex-causa, se possam demolir, fazendo-se então profanação real, cavando-se a terra, e conduzindo-se os ossos dos cadáveres que ali foram sepultados, a serem enterrados no adro da nova Igreja, com as cerimónias e preces competentes".



Figura 16 - Localização da 1ª Ermida de São Paulo. Desenho elaborado a partir do exposto em [2] e dos dizeres na sabedoria popular do povo Ribeira Quente (elaborado pelo autor deste trabalho).



Figura 17 - Localização da 2ª Ermida de São Paulo. Desenho elaborado a partir do exposto em (Jerónimo, 1998) e dos dizeres na sabedoria popular do povo Ribeira Quente (elaborado pelo autor deste trabalho).

A partir de 1900, o Padre Jacinto Moniz Borges e os seus paroquianos, anteviram o dia final da segunda igreja desta localidade. Num dia de mar elevado, no ano de 1909, o mar varreu a segunda igreja e tudo aquilo o que lhe era adjacente, inclusive o seu primeiro cemitério e as

casas que naquela zona se estendiam para poente e nascente ficando apenas alguns modestos casebres que se situavam ao cimo da “Canada da Igreja Velha” [2].



Figura 18 - Ruína da 2ª ermida de São Paulo em 1909. Desenho elaborado a partir do exposto em (Jerónimo, 1998) e dos dizeres na sabedoria popular do povo Ribeira Quente.

Após este trágico acontecimento para o povo da Ribeira Quente, foi constituída uma Comissão Fabriqueira para a construção da nova igreja, cuja orientação do Padre Jacinto Moniz Borges foi fundamental. Para erguer o novo templo, foram feitos pedidos de cooperação por toda a ilha de São Miguel e Estados Unidos da América, pois à época, já haviam emigrado muitos Ribeiraquentenses para o estrangeiro. Destes pedidos resultou pouca ajuda porque tanto os emigrantes como os micaelenses viviam uma vida financeira não muito lauta [2].

“Já sem veraneantes que os ajudasse em tamanho empreendimento da construção de uma nova igreja, visto que as propriedades do litoral foram desaparecendo à maneira que o mar as engolia, foram os pescadores desta localidade quem, por unanimidade, decidiram que dali avante cada barco de pesca passaria a ter mais um companheiro, mais um quinhoeiro chamado Senhor São Paulo”.

A partir deste excerto entende-se que foram os próprios Ribeiraquentenses que contribuíram para a construção da atual Igreja de São Paulo, com a doação de um quinhão de todas as pescarias o qual era entregue ao tesoureiro da Comissão Fabriqueira, Sr. António da Costa Fravica.

Existe pouca informação sobre a construção da igreja da Ribeira Quente pelo que o autor desta dissertação irá tentar adquirir mais informação e adicionar à dissertação II.

5.2 Levantamento geométrico

As figuras seguintes ilustram a geometria da igreja. Neste documento, apresentam-se somente as plantas dos diferentes níveis (Cave, Piso 0, Coro, Nível do relógio, Nível dos sinos e Cobertura), e os alçados com as dimensões relevantes para o desenvolvimento do trabalho.

Tal como se observa na Figura 19, a igreja apresenta uma planta retangular e tem a sua fachada principal virada a sul. Em termos dimensionais, a igreja de São Paulo mede em planta de fora a fora (“C”), em comprimento, 34,94 m e de largura (“L”) 12,75 m (ver Figura 19 e plantas em anexo).

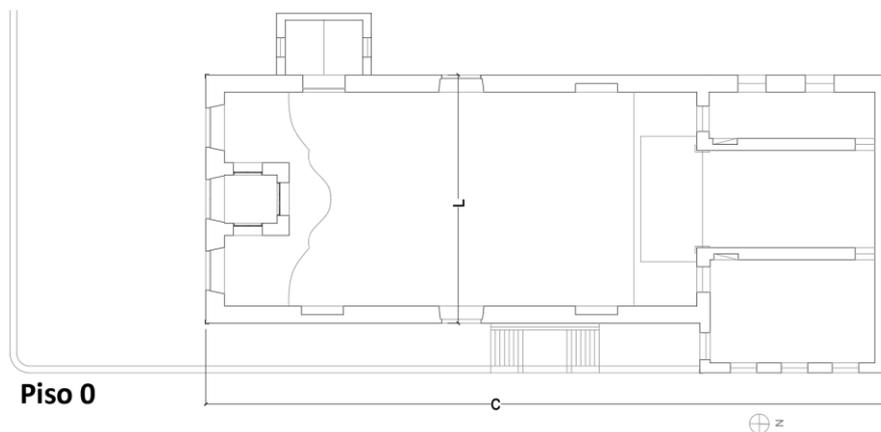


Figura 19 - Planta do Piso Térreo.

A cobertura da igreja apresenta duas águas conforme a Figura 20.

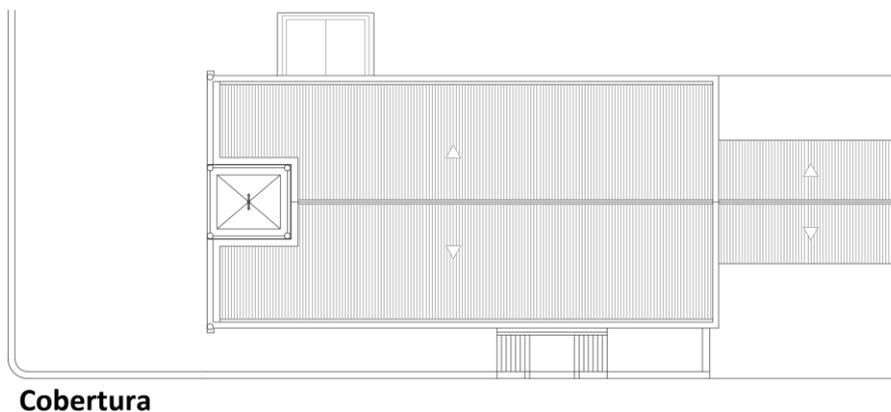


Figura 20 - Planta da Cobertura

A altura das paredes dos alçados laterais (“a”) é de 12,5 m (ver Figura 21). A altura da fachada principal, até à base da torre sineira (“b”) é de 15 m e até ao coroamento da torre (“c”) de 19,15 m, sendo a sua altura total (“d”) de 24 m até ao cimo da cruz na torre.

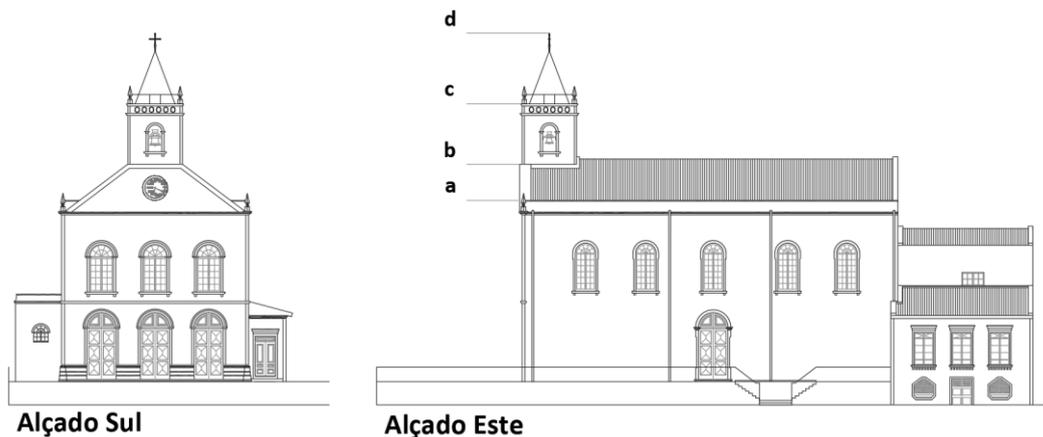


Figura 21 - Alçados Sul e Este

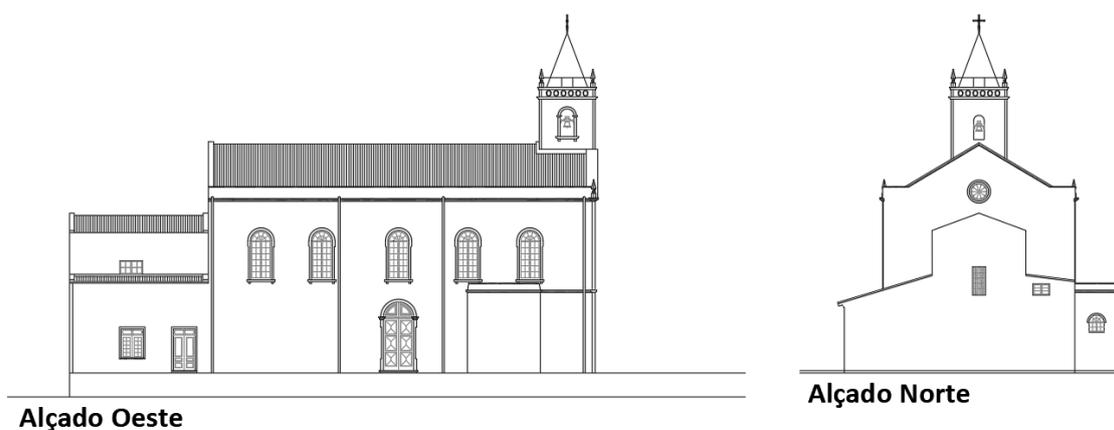


Figura 22 - Alçados Oeste e Norte

A igreja tem um piso denominado por “coro” a uma altura de 5,5 m (ver Figura 23).

A espessura da parede da fachada principal é de 0,96 m, as fachadas laterais de 0,88 m, a fachada norte de 0,75 m (tardoz) e as restantes paredes de 0,62 m.

Ao nível do teto, a igreja apresenta dois níveis de tirantes metálicos: uma primeira camada a uma altura de 10,15 m com quatro tirantes com um diâmetro de 40 mm (a confirmar) a ligar às paredes; e uma segunda camada com sete tirantes a uma altura de 11,5 m a servir de linha das asnas de madeira (ver Figura 23).

O arquivo da Igreja de São Paulo não tem nenhum documento com informação sobre a sua construção e os trabalhos de reforço estrutural e manutenção que foram realizados ao longo dos anos. Apenas sabe-se através de informações recolhidas junto do antigo pároco da freguesia, Sr. Padre Silvino Amaral, e no “Livro do Tombo da Paróquia da Ribeira Quente”, que no ano de 1948, houve um reforço estrutural com “aplicação de uns esticadores nas paredes e armação para segurá-la em virtude de haver um desvio de 18 cm na parte superior

da parede do lado nascente”.

Novamente em [2], está referido na descrição do evento sísmico de 1952:

“A Igreja paroquial ficou muito danificada, especialmente a capela-mor e sacristia do lado nascente e algumas fendas nas paredes e torre – todas as igrejas deste concelho foram atingidas pelos abalos sísmicos”.

“(…) Meteram-se esticadores à vista e outro na torre e muitos mais dentro das paredes, principalmente na sacristia. Foi retelhada, caiada e feita de novo uma grande parte da varanda do adro que veio abaixo”.

Fica a dúvida em que ano foram colocados os referidos tirantes metálicos pois é referido por duas vezes a colocação de esticadores: a primeira vez em 1948 e a segunda em 1952.

Esta informação, apesar de grande importância para este trabalho, carece de pormenorização, o que levanta dúvidas sobre como estes reforços foram executados, principalmente, no que consta à aplicação de “esticadores por dentro das paredes”.

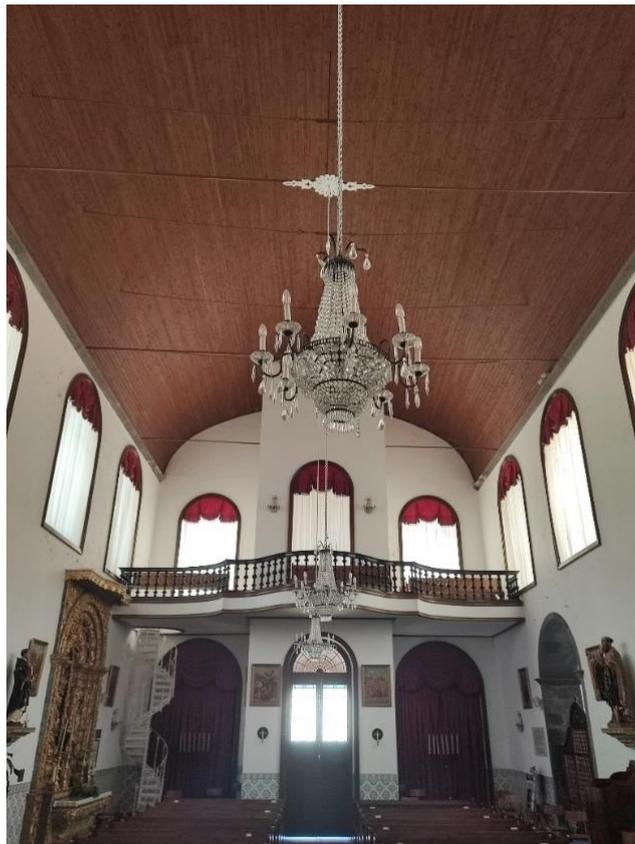


Figura 23 - Piso do "Coro" e teto

Também o altar-mor apresenta dois tirantes metálicos a ligar as paredes laterais a uma cota de 7,7 m, ver Figura 24, com um diâmetro estimado de 30 mm (a confirmar).



Figura 24 – À esquerda: altar-mor; à direita: vista total do altar-mor e nave.

A torre sineira, à cota de 11,3 m, tem dois tirantes de 30 mm cruzados (ver Figura 25).



Figura 25 - Tirantes na torre sineira

5.3 Levantamento material

A Igreja de São Paulo da Freguesia da Ribeira Quente, foi construída em alvenaria de pedra de basalto e traquito (ver Figura 26), com recurso a ferramentas manuais de aparelhar pedra onde a mão-de-obra foi constituída por pedreiros de várias localidades.

Segundo [2], foram as mulheres da Ribeira Quente que transportaram à cabeça a água e a

argila necessária para assentar as pedras. Os homens da Ribeira Quente, principalmente ao domingo, forneciam apoio com a mão de obra pouco especializada.



Figura 26 - Foto da parede norte da torre sineira no desvão da cobertura.

A estrutura da cobertura é composta por asnas, madres, caibros e forro. As asnas são de madeira de acácia, as madres e os caibros são de madeira de acácia e castanho e o forro em criptoméria (ver Figura 27). A telha da cobertura é em placas de fibrocimento (ver Figura 28).

O teto da igreja é composto por forro, barrotes entre asnas e estrutura em arco onde está ligado os barrotes. A estrutura em arco e os barrotes que suportam o forro e que estão ligados à estrutura em arco é composta de madeira de acácia e castanho. O Forro do teto, em madeira de criptoméria.



Figura 27 - Estrutura da cobertura e desvão



Figura 28 - Cobertura em telha fibrocimento

6. Metodologia de investigação e cronograma

Em termos metodológicos, a dissertação será desenvolvida com base no tratamento e análise criteriosa dos dados obtidos no processo de investigação documental e com recurso a programas de cálculo automático. Pretende-se desenvolver um modelo que traduza o edifício em estudo em termos de comportamento dinâmico à ação sísmica, desenvolvido em dois programas diferentes, com a aplicação de uma análise *pushover*, de modo a comparar resultados e identificar possíveis mecanismos de colapso. Após esta etapa, e com o auxílio do LREC (carece de requerimento de auxílio e confirmação), será executado uma verificação das frequências próprias da estrutura com recurso a sensores dedicados a esta análise.

Numa fase seguinte, será dimensionado o reforço estrutural em conformidade com os dados obtidos nos programas de cálculo automático. Para o efeito, analisar-se-ão exemplos de reforço estrutural de edifícios de alvenaria através de tirantes e outros sistemas de reforço, de pavimentos reforçados através de tarugamento e ligadores e de reforço de coberturas através de tirantes e perfis metálicos. Para cada exemplo, será analisado o contexto da aplicabilidade da solução, o dimensionamento, os processos de execução e a avaliação de custos.

As técnicas metodológicas a utilizar para a elaboração do trabalho são:

- Análise documental: que consiste na recolha e análise de bibliografia relacionada com a área de investigação, sejam, livros da especialidade, regulamentos, normas, artigos disponíveis científicos, etc.;
- Análise e dimensionamento com recurso a programas de cálculo automático;
- Consulta de empresas especialistas na execução dos exemplos de reforço abordados para recolha de elementos de métodos de execução e obtenção de custos;
- Validação e sistematização da informação recolhida;

- Redação do documento final.

A metodologia de execução será constituída por três etapas fundamentais: recolha e análise de informação, síntese da informação validada, redação da dissertação.

7. Referências bibliográficas

Para o levantamento histórico do edifício, onde será obtido a informação necessária do edificado existente, método construtivo, materiais e elaborado uma síntese da história de toda a evolução desde as primeiras ermidas até á atual Igreja de São Paulo, serão consultado alguns livros com estes registos, nomeadamente o “**Livro do Tombo da Paróquia da Ribeira Quente**”, e o livro “**POVO DA RIBEIRA QUENTE... QUE ORIGEM?**”, de Gil Moniz Jerónimo e o livro “**História das Igrejas, Conventos e Ermidas Micaelenses**” de Urbano de Mendonça Dias.

Será utilizado o “**Manual de Apoio ao Projeto de Reabilitação de Edifícios Antigos**” de Vasco Peixoto de Freitas *et al.*, por ter informação de grande utilidade no que consta ao estudo diagnóstico e esclarece algumas questões do comportamento estrutural de edifícios antigos de alvenaria e de madeira.

O livro “**INSPECÇÕES E ENSAIOS NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS**” de Vítor Cóias, será utilizado na inspeção estrutural da igreja, onde será uma ferramenta muito importante na identificação das anomalias das diferentes partes da construção, das patologias relacionadas com os materiais e na caracterização do edifício e dos diferentes materiais em um exame mais pormenorizado.

O livro “**Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos**” de Vítor Cóias disponibiliza um conjunto de soluções muito abrangente com várias tecnologias de reforço. À semelhança do livro *INSPECÇÕES E ENSAIOS NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS* do mesmo autor, este livro será um complemento à fase de inspeção e, mais importante, na fase de dimensionamento.

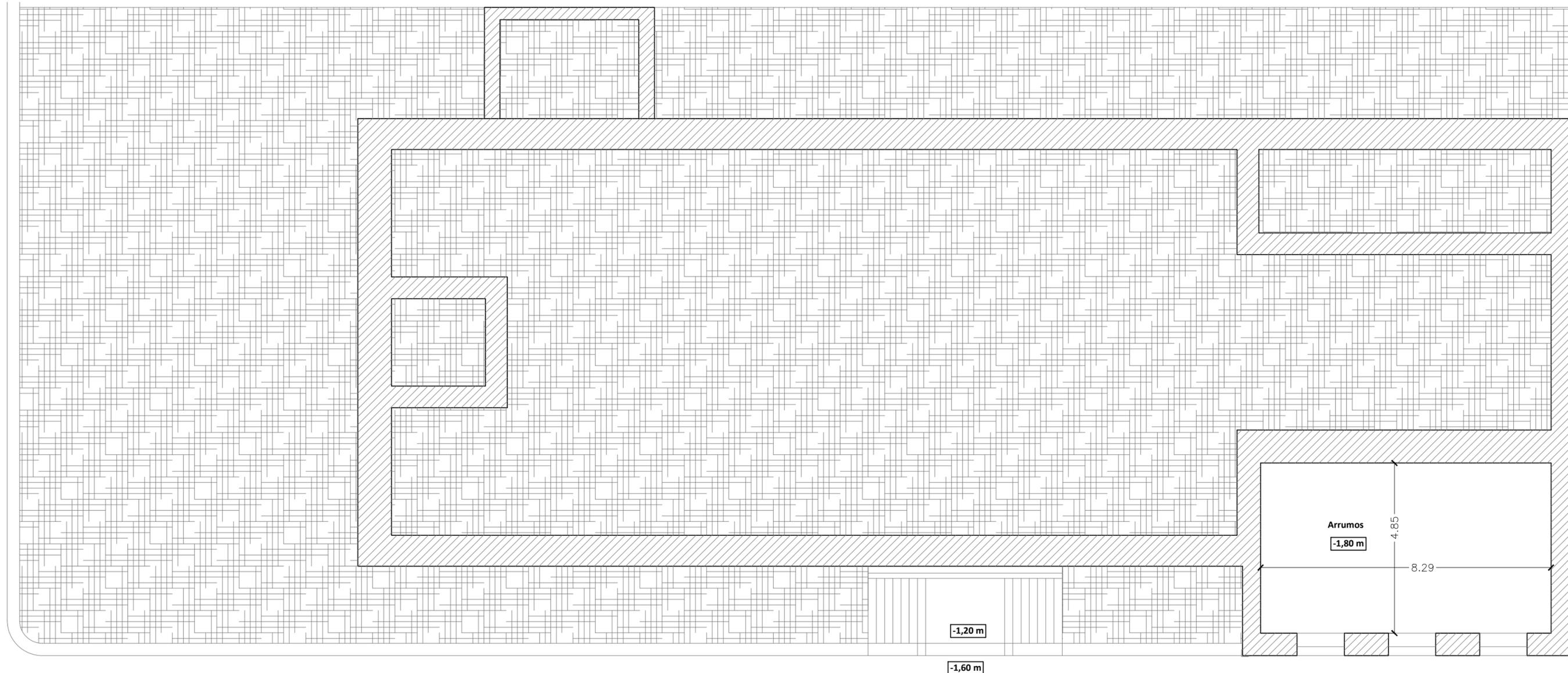
A nível de regulamentação, será utilizado o que for aplicável na regulamentação portuguesa, como os **Eurocódigos estruturais**, nomeadamente o **Eurocódigo 8 – Parte 3**.

Por fim, as folhas das disciplinas do Mestrado em Reabilitação de Edifícios da Universidade de Coimbra e da disciplina Reabilitação e Reforço de Estruturas do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, perfil de estruturas, do Instituto Superior Técnico.

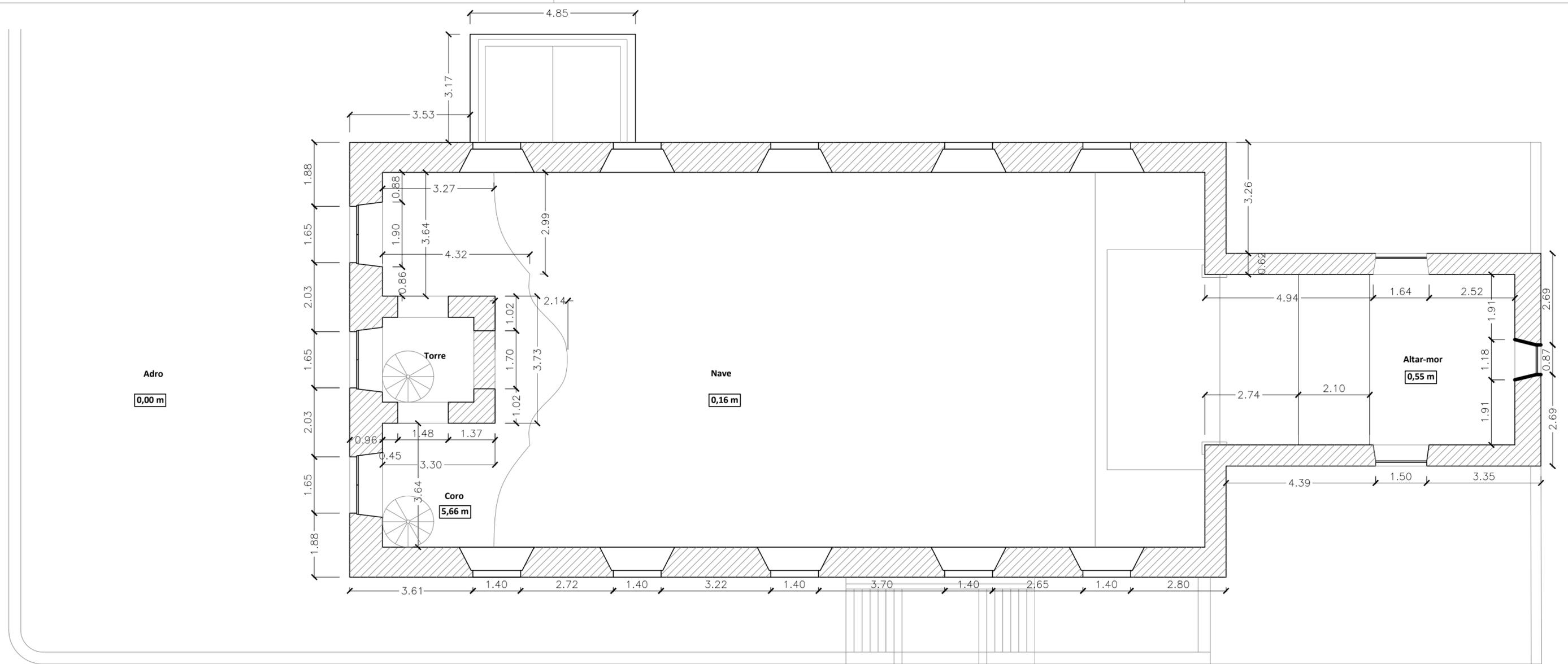
8. Bibliografia

- [1] LABGEO - Engenharia e Geotecnologia, “Estudo Geológico – Geotécnico- Lugar de Chã da Caldeira,” Ribeira Quente, 2020.
- [2] G. M. Jerónimo, Povo da Ribeira Quente... Que Origem?, J.P. Cabral - Publicações e Artes Gráficas, Lda., Nova Gráfica, Lda., 1998.
- [3] S. L. C. Medeiros, Análise da susceptibilidade, vulnerabilidade e do risco sísmico no concelho da Povoação (São Miguel, Açores), recorrendo a técnicas de cartografia automática, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 2010.
- [4] Paróquia de São Paulo, Livro do Tombo da Paróquia da Ribeira Quente, Paróquia de São Paulo - Ribeira Quente, 2017.

Anexo 1 - Levantamento Geométrico do Existente

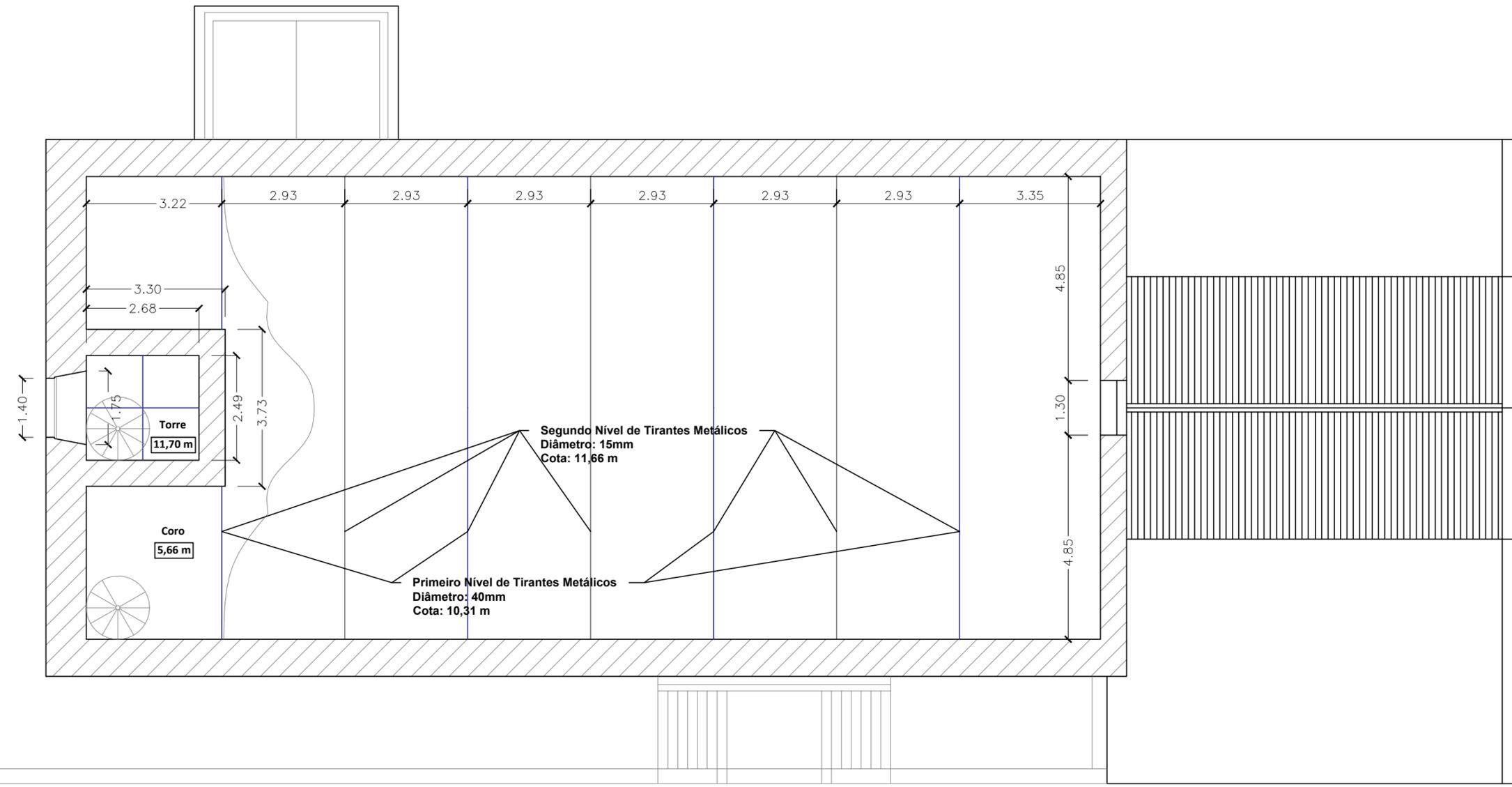


Piso -1 (Arrumos)

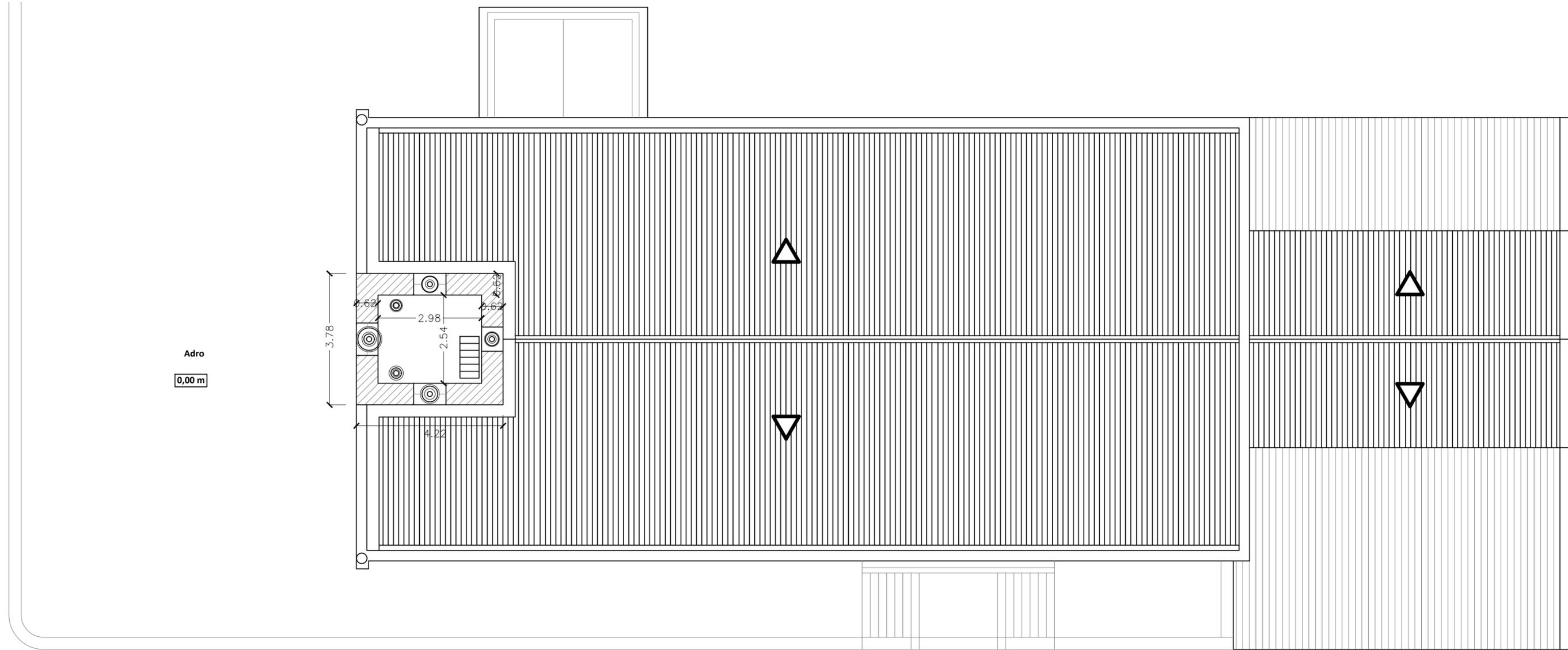


Nível do Coro

Adro
0,00 m

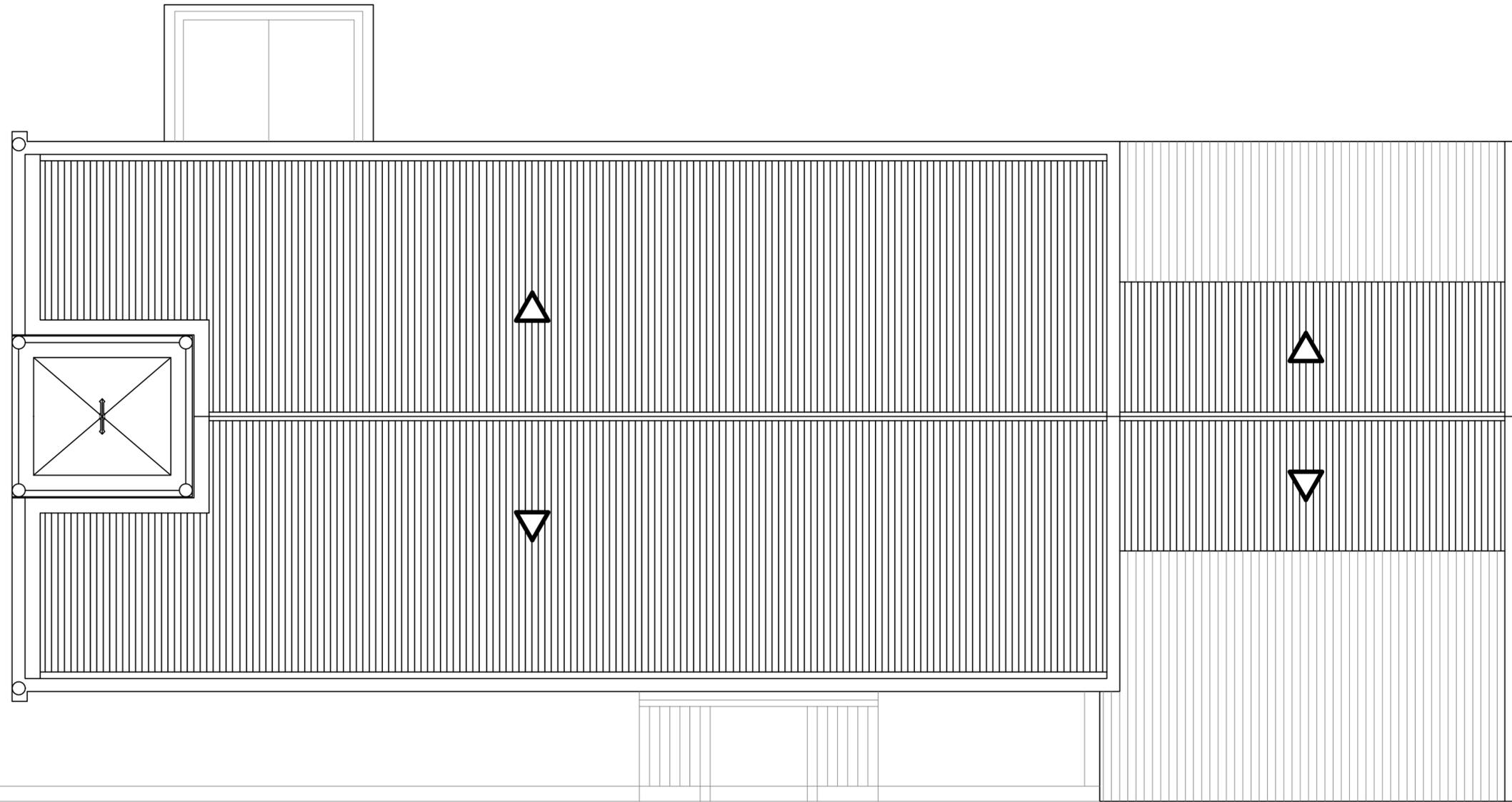


Nível do relógio e dos tirantes

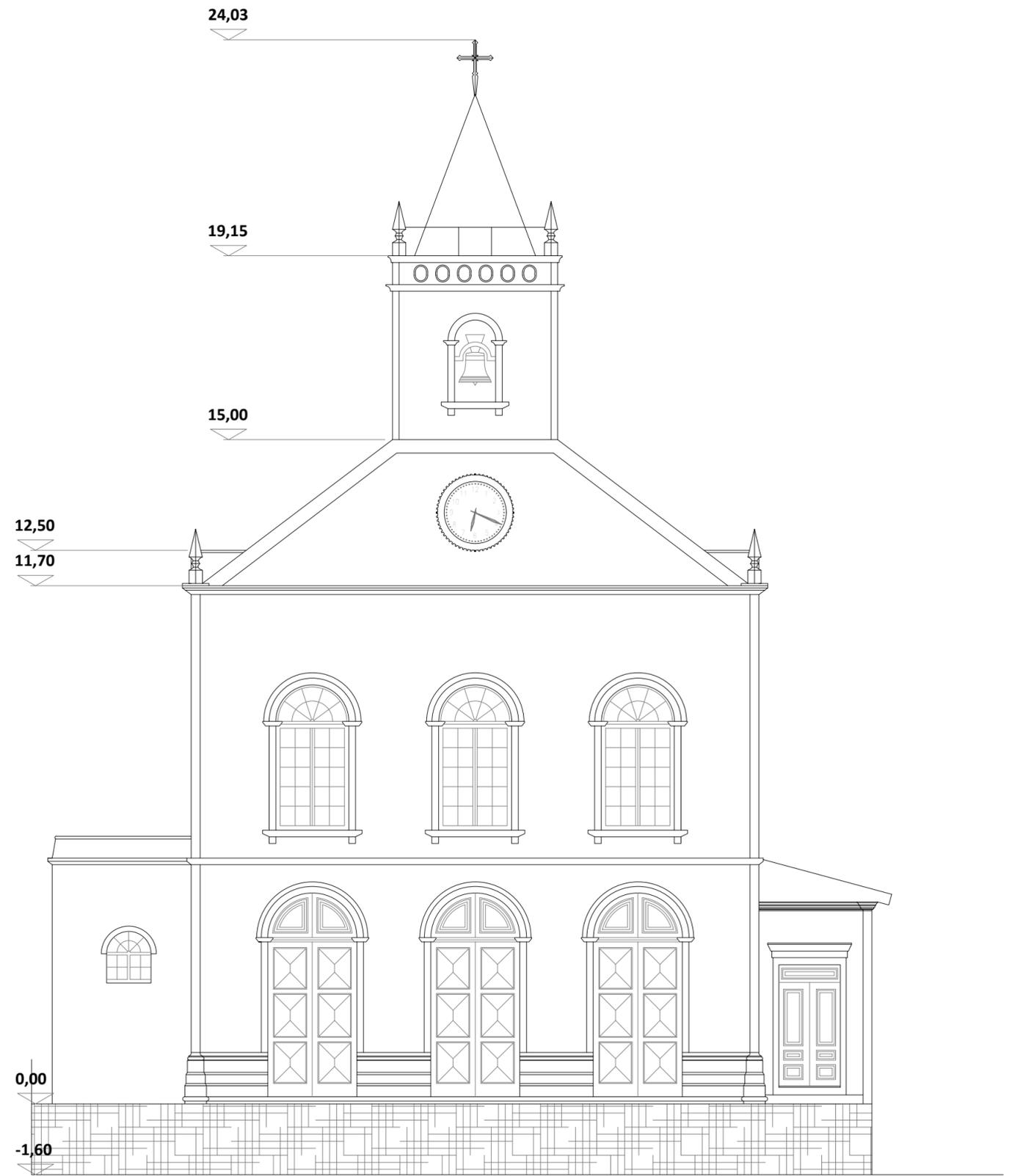


Adro
0,00 m

Nível dos sinos



Cobertura



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
Departamento de Engenharia Civil

0.07

Mestrado em Reabilitação de Edifícios
Reabilitação Estrutural de Edifícios Dissertação I

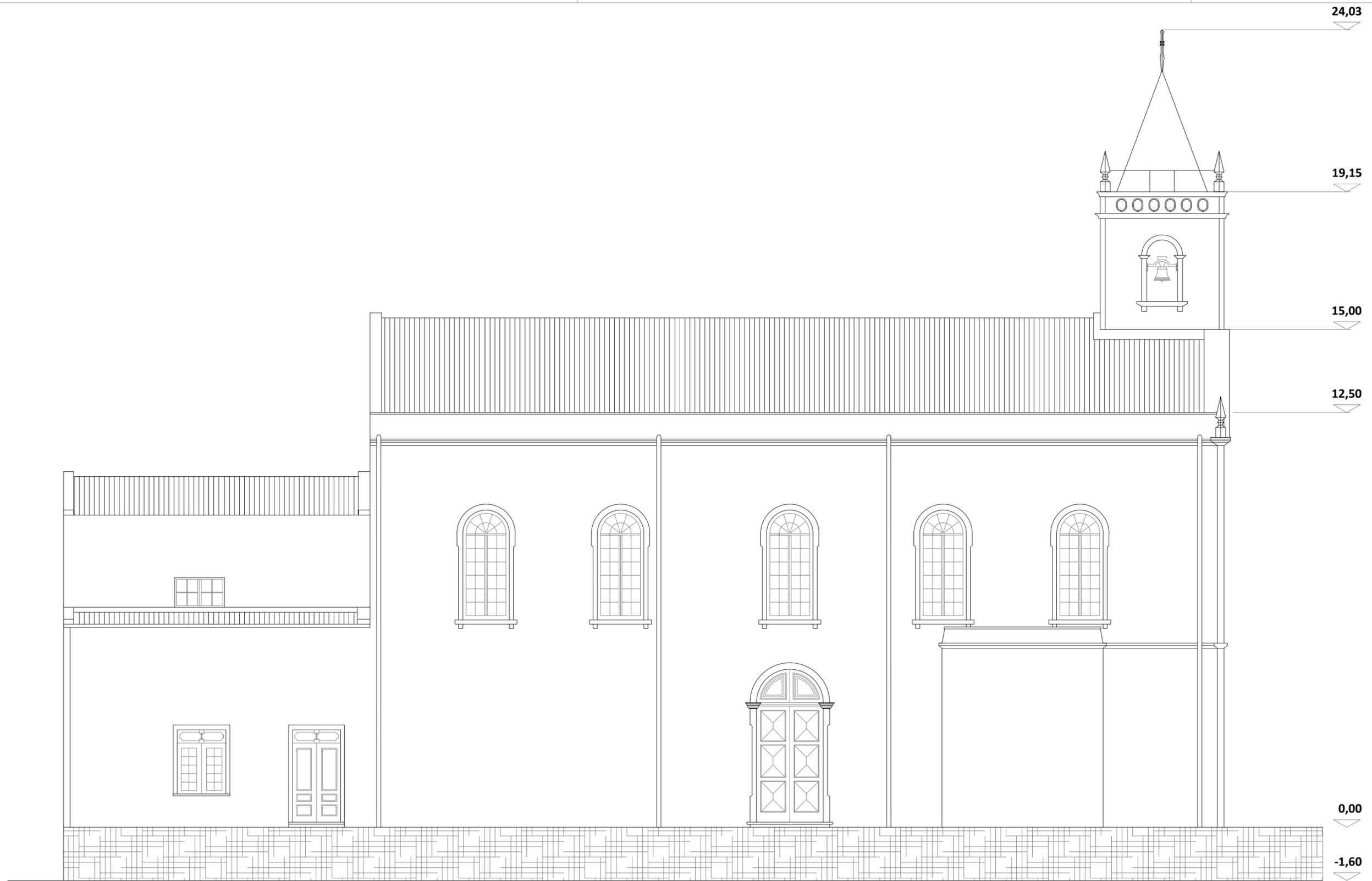
Autor do Levantamento: Albino Silva, Engenheiro Civil

Projecto: Levantamento Geométrico da Igreja de São Paulo da Ribeira Quente, São Miguel, Açores

Morada: Rua da Alegria, Ribeira Quente, São Miguel, Açores

Desenho: Alçado Sul
Escala: 1/100 Data: novembro de 2021

Reservados os Direitos de Autor



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
 Departamento de Engenharia Civil

0.08

Mestrado em Reabilitação de Edifícios
 Reabilitação Estrutural de Edifícios

Dissertação I

Autor do Levantamento: Albino Silva, Engenheiro Civil

Projecto: Levantamento Geométrico da Igreja de São Paulo
 da Ribeira Quente, São Miguel, Açores

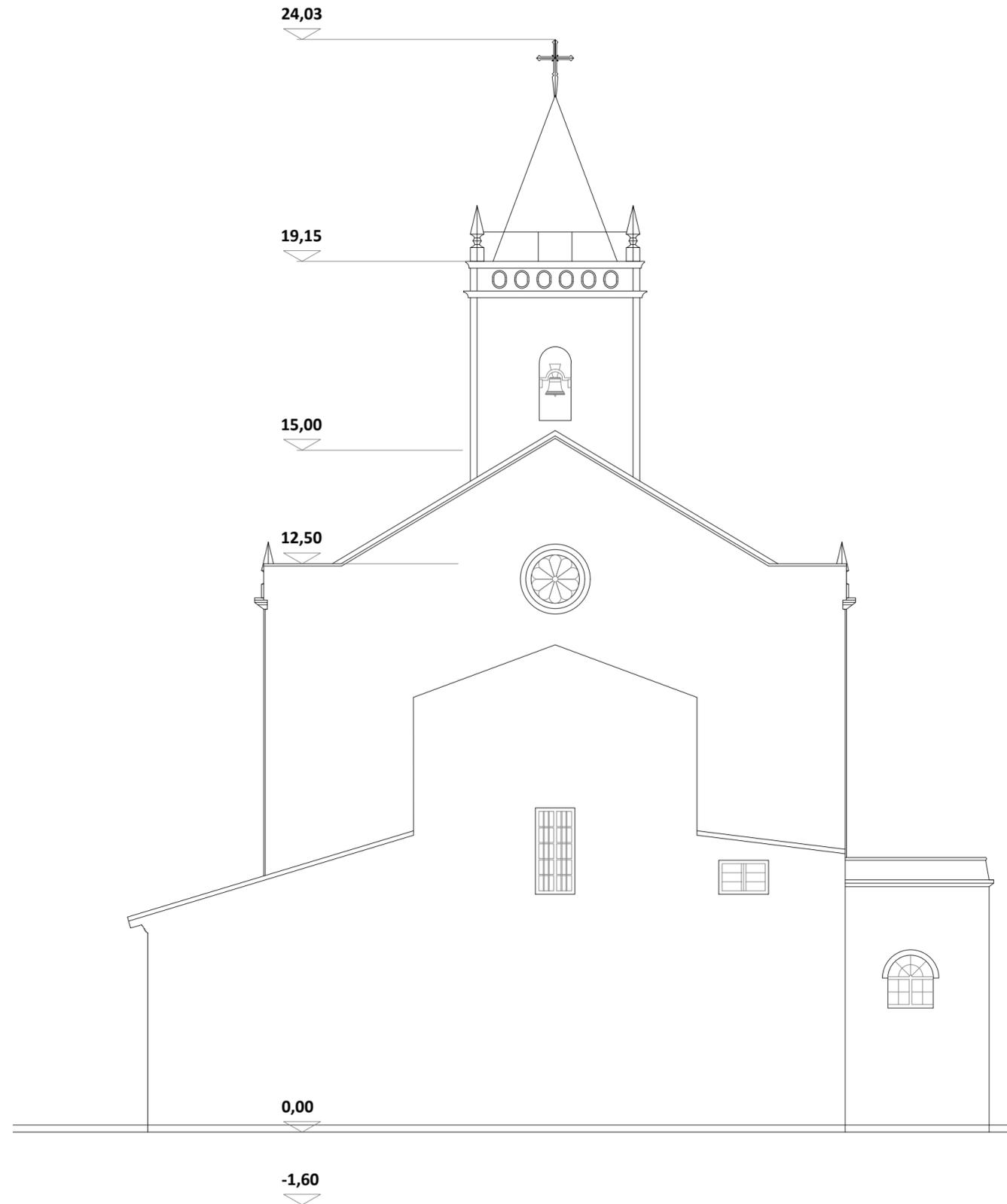
Morada: Rua da Alegria, Ribeira Quente, São Miguel, Açores

Desenho: Alçado Oeste

Escala: 1/100

Data: novembro de 2021

Reservados os Direitos de Autor



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
Departamento de Engenharia Civil

0.09

Mestrado em Reabilitação de Edifícios
Reabilitação Estrutural de Edifícios

Dissertação I

Autor do Levantamento: Albino Silva, Engenheiro Civil

Projecto: Levantamento Geométrico da Igreja de São Paulo
da Ribeira Quente, São Miguel, Açores

Morada: Rua da Alegria, Ribeira Quente, São Miguel, Açores

Desenho: Alçado Norte

Escala: 1/100

Data: novembro de 2021

Reservados os Direitos de Autor



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
Departamento de Engenharia Civil

0.10

Mestrado em Reabilitação de Edifícios
Reabilitação Estrutural de Edifícios

Dissertação I

Autor do Levantamento: Albino Silva, Engenheiro Civil

Projecto: Levantamento Geométrico da Igreja de São Paulo da Ribeira Quente, São Miguel, Açores

Morada: Rua da Alegria, Ribeira Quente, São Miguel, Açores

Desenho: Alçado Este

Escala: 1/100

Data: novembro de 2021

Reservados os Direitos de Autor