



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**UM CONTRIBUTO PARA A CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E
ANÁLISE SÍSMICA DA CONSTRUÇÃO EM TAIPA**

Ana Teresa Andrade Graça

Dissertação

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ÁREA DE CONSTRUÇÃO

ORIENTADOR: Professora Doutora Maria de Fátima Farinha

CO-ORIENTADOR: Engenheiro Alfredo Manuel Braga

Janeiro de 2012

SUMÁRIO

A terra crua, enquanto material de construção, é utilizada pelos homens desde há milhares de anos, continuando hoje em dia a ser uma das formas mais disseminadas de edificar, a nível Mundial.

Em Portugal, é sobretudo no Sul, que se constata a existência de inúmeros exemplos, quer em pequenas edificações civis, quer em imponentes fortificações militares.

Existem diversas técnicas construtivas em terra crua, sendo no nosso país, as principais, a taipa, o adobe e o tabique. No Sul, a taipa é, sem dúvida, a técnica predominante.

Na investigação que se efectuou e aqui expressa, procedeu-se à pesquisa e identificação de construções, recolha de amostras “in situ”, caracterização laboratorial das mesmas, bem como à compilação e análise dos resultados.

Com base nos resultados obtidos efectuou-se uma análise estrutural expedita do comportamento de duas construções seleccionadas num programa de elementos finitos de análise linear dinâmica, SAP 2000.

A CONTRIBUTION TO THE MECHANICAL CHARACTERIZATION AND SEISMIC ANALYSIS OF RAMMED EARTH

ABSTRACT

The use of earth, as a construction material, is used by men for thousands of years and continues today to be one of the most widespread forms of building worldwide.

In Portugal, it is especially in the South, that we can find numerous examples, such in small civilian buildings, or in military fortifications.

There are several methods of construction with earth, however in Portugal the techniques generally used are rammed earth, adobe and tabique. In the South rammed earth is the predominant technique.

The methodology used in this investigation, done and described here, were identification and “in situ” characterization of buildings, gathering and laboratorial test of samples, as well as compilation and analyses of results.

Based on the obtained results, an expeditiously structural analysis of the behavior of two selected buildings was made using a finite element program for linear dynamic analyses, SAP 2000.

PALAVRAS-CHAVE

Taipa, caracterização mecânica, análise sísmica, terra crua, sustentabilidade.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	1
2. CONSTRUÇÃO EM TERRA CRUA	4
2.1. Análise da regulamentação existente	5
2.2. A técnica da taipa	7
2.3. O adobe.....	9
2.3.1. Os blocos de terra comprimida	11
2.4. O tabique	11
2.5. Construção em terra no mundo	12
2.5.1. Ásia.....	13
2.5.2. África.....	16
2.5.3. América do Sul.....	19
2.5.4. América do Norte.....	20
2.5.5. Europa.....	21
3. PRINCIPAIS POTENCIALIDADES	23
3.1. Sustentabilidade	23
3.2. Desempenho	24
4. PRINCIPAIS DEBILIDADES	26
4.1. Acção da água.....	26
4.2. Comportamento mecânico frágil	27
5. CONSTRUÇÕES EM TERRA NO ALGARVE	28
5.1. Edifícios civis	28
5.2. Fortificações militares	30
6. CASOS DE ESTUDO	32
6.1. Localização das construções.....	32
6.2. Caracterização.....	33
6.3. Aspectos construtivos.....	36
6.3.1. Para limitar a acção da água.....	36
6.3.2. Para melhorar o comportamento mecânico	39
6.4. Principais patologias	44
6.5. Análise do material	49

6.5.1.	Análise granulométrica.....	50
6.5.2.	Teste de sedimentação.....	51
6.5.3.	Teste da bola.....	53
6.5.4.	Ensaio de absorção de água.....	54
6.5.5.	Características mecânicas.....	56
6.5.5.1.	Ensaio de tracção por flexão.....	56
6.5.5.2.	Ensaio de compressão.....	57
6.6.	Análise estrutural de dois casos de estudo.....	59
6.6.1.	Material.....	60
6.6.2.	Análise estrutural.....	61
6.6.3.	Modelo de cálculo.....	64
6.6.3.1.	Modelo de cálculo – Construção 5.1.....	65
6.6.3.2.	1.º Reforço – Asnas, lintéis e contrafortes.....	72
6.6.3.3.	2.º Reforço – Colocação de vigas e pilares em betão armado.....	74
6.6.4.	Modelo de cálculo – Construção 4.2.....	75
6.6.4.1.	1.º Reforço – Lintéis e viga de bordadura em betão armado.....	81
6.6.4.2.	2.º Reforço – Vigas e pilares em betão armado.....	83
7.	CONCLUSÕES.....	84
8.	BILIOGRAFIA.....	88
	ANEXOS.....	92

Não segue o novo acordo ortográfico.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 6.1 - Identificação dos concelhos estudados no Barlavento e Sotavento.....	33
Tabela 6.2 – Resultados da análise granulométrica	51
Tabela 6.3 – Resultados do teste de sedimentação.....	52
Tabela 6.4 – Resultados do teste da bola.....	53
Tabela 6.5 - Resultados do ensaio de absorção dos provetes.....	55
Tabela 6.6 – Resultados do ensaio de tracção por flexão	57
Tabela 6.7 – Resultados do ensaio de compressão.....	58
Tabela 6.8 - Resultados do ensaio de tracção e compressão com adição de 10% de cal	59
Tabela 6.9 – Caracterização dos materiais	60
Tabela 6.10 – Combinações de acções.....	61
Tabela 6.11 - Valores limite adoptados para as características mecânicas da taipa	63
Tabela 6.12 - Influência da dimensão da malha na frequência própria da estrutura (5.1)	66
Tabela 6.13 - Influência do número de modos de vibração na participação de massa modal (5.1).....	67
Tabela 6.14 - Análise da variação das tensões máximas em função do número de modos (5.1)	68
Tabela 6.15 - Análise da variação das tensões mínimas em função do número de modos (5.1).....	69
Tabela 6.16 - Influência da dimensão da malha na frequência própria da estrutura (4.2)	77
Tabela 6.17 - Influência do número de modos de vibração na participação de massa modal (4.2).....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Construção tradicional em taipa na zona de Monchique	4
Figura 2.2 - Castelo de Paderne em taipa militar	4
Figura 2.3 - Travamento dos blocos à custa da execução de juntas desencontradas	7
Figura 2.4 - Lintéis de reforço sobre os vãos.....	7
Figura 2.5 - Forro do telhado em esteira de cana.....	8
Figura 2.6 - Castelo de Paderne, edificado em taipa militar	8
Figura 2.7 - Pormenor da espessura das paredes do Castelo de Paderne.....	9
Figura 2.8 - Molde de madeira utilizado na produção de adobe [Moreira, 2008].....	10
Figura 2.9 - Desmoldagem de adobe [Moreira, 2008]	10
Figura 2.10 – Construção em adobe rebocada na fachada principal	11
Figura 2.11 – Construção com adobes à vista.....	11
Figura 2.12 - Parede de tabique	12
Figura 2.13 - A "Grande Muralha da China" (Jesus, 2007).....	13
Figura 2.14 - Fortificações Tulou, em Fujian, China (CRI, 2011).....	14
Figura 2.15 - Pormenor de Tulou (CRI, 2011)	14
Figura 2.16 – Zona comum interior de Toulou (CRI, 2011).....	14
Figura 2.17 - Shibâm, Iémen (Jesus, 2007).	14
Figura 2.18 - Cidade de Shibâm, Iémen do Sul (Jesus, 2007).	15
Figura 2.19 - Cidade de Bam antes do sismo de 2003, Irão (Benutzer, 2005).....	15
Figura 2.20 - Ramesseum, Egipto (Jacq, 1996).	16
Figura 2.21 – Casa santuário na região de Ashanti, perto de Kumasi (Rael, 2010).	16
Figura 2.22 – Habitação em terra, a norte de Kumasi (Rael, 2010).	16
Figura 2.23 – Edifício em terra na região norte do Gana (Rael, 2010).....	17
Figura 2.24 – Construção na região norte do país (Rael, 2010).....	17
Figura 2.25 - Grande Mesquita de Djenné (UNESCO, 2010).	17
Figura 2.26 - Arquitectura vernácula em Marrocos (Fotopédia, 2006).	18
Figura 2.27 – Pormenor da arquitectura vernácula em Marrocos (Fotopédia, 2006).	18
Figura 2.28 - Discoteca Pacha em Marrakech, Marrocos (Benutzer, 2005).	18
Figura 2.29 – Metmata ou Matmata, sul da Tunísia (Rael, 2010).....	19
Figura 2.30 - Casa de taipa no município de Coqueiro Seco, Brasil (Rael, 2010).	19
Figura 2.31 - Montezuma Castle, E.U.A, (UNESCO, 2010).	20
Figura 2.32 - Montezuma Castle, E.U.A. (interior) (UNESCO, 2010).	20
Figura 2.33 - Construções em adobe, em Taos, Novo México (UNESCO, 2010).	21
Figura 2.34 - Edifício de 6 andares construído em taipa, Weilburg, Alemanha (UNESCO, 2010).....	21
Figura 2.35 - Casa de adobe na província de Burgos, Espanha (Benutzer, 2005).....	22
Figura 3.1 - Água absorvida por diferentes materiais (Minke, 2009).....	25

Figura 3.2 - Aspecto da taipa após ocorrência de incêndio	25
Figura 5.1 - Construção tradicional em taipa sem aplicação de revestimento, Silves	28
Figura 5.2 - Construção em taipa de um piso	28
Figura 5.3 - Construção em taipa de dois pisos	28
Figura 5.4 - Construção em taipa com um piso, sem qualquer tipo de revestimento	29
Figura 5.5 - Construção em taipa com um piso, revestida a reboco de cal, com caição a cor	29
Figura 5.6 - Construção em taipa rebocada, com caição a cor e elementos decorativos na fachada.....	30
Figura 5.7 - Castelo de Silves	30
Figura 5.8 - Pormenor do Castelo de Silves	30
Figura 5.9 - Castelo de Paderne	31
Figura 5.10 - Vista aérea do Castelo de Paderne (Google earth).	31
Figura 6.1 - Localização das construções identificadas.....	33
Figura 6.2 - Ficha de caracterização da construção 1.1	34
Figura 6.3 - Orientação da fachada principal.....	35
Figura 6.4 - Distribuição das áreas.....	35
Figura 6.5 - Tipologias das paredes de compartimentação.....	36
Figura 6.6 - Embasamentos em pedra	37
Figura 6.7 - Pormenor do embasamento.....	37
Figura 6.8 - Altura média dos embasamentos.....	37
Figura 6.9 - Caição a cinza e amarelo	38
Figura 6.10 - Caição a azul e vermelho	38
Figura 6.11 - Revestimento das fachadas	38
Figura 6.12 - Estrutura da cobertura com ripado de madeira.....	39
Figura 6.13 - Estrutura da cobertura com esteira de cana.....	39
Figura 6.14 - Pormenor de beirado saliente na cobertura	39
Figura 6.15 - Novo pormenor de beirado	39
Figura 6.16 - Tipos de reforços para contrariar as acções horizontais.....	40
Figura 6.17 - Elementos metálicos – linha	40
Figura 6.18 - Pormenor da linha	40
Figura 6.19 – Elementos metálicos - tirantes.....	41
Figura 6.20 – Pormenor de tirante	41
Figura 6.21 - Poial em pedra	41
Figura 6.22 - Pormenor de poial.....	41
Figura 6.23 - Contraforte em parede de fachada.....	42
Figura 6.24 - Contrafortes e poiais em paredes de fachada	42
Figura 6.25 - Distribuição das construções quanto ao tipo de estrutura para suporte do telhado.....	42
Figura 6.26 – Parede mestra na zona central do telhado	43
Figura 6.27 – Viga para reforço na zona da cumeeira.....	43

Figura 6.28 - Estrutura reticulada de madeira para suporte da cobertura	43
Figura 6.29 - Lintel de reforço em madeira (1).....	44
Figura 6.30 – Lintel de reforço em madeira (2).....	44
Figura 6.31 – Lintel de reforço em terra e cal (1).....	44
Figura 6.32 – Lintel de reforço em terra, cal e pedras (2).....	44
Figura 6.33 - Erosão da parede de taipa devido à exposição aos agentes atmosféricos.....	45
Figura 6.34 - Novo pormenor da erosão em paredes de taipa.....	45
Figura 6.35 – Escorrência de água dos telhados	45
Figura 6.36 - Fissuração por destacamento entre paredes ortogonais.	46
Figura 6.37 - Fissura vertical.....	46
Figura 6.38 - Fissuração diagonal a partir dos vãos	46
Figura 6.39 - Rotura em cunhais.....	47
Figura 6.40 - Pormenor da rotura em cunhais.....	47
Figura 6.41 - Ataque de insectos na zona sob o beirado.....	47
Figura 6.42 - Ataque de insectos no lintel de reforço em madeira e zona envolvente.....	47
Figura 6.43 - Corrosão da cinta existente, embebida no reboco	48
Figura 6.44 - Corrosão da cinta colocada pelo exterior das paredes	48
Figura 6.45 - Destacamento do revestimento em reboco.....	48
Figura 6.46 – Pormenor do destacamento do reboco	48
Figura 6.47 - Execução dos provetes	50
Figura 6.48 - Análise comparativa das curvas granulométricas, com os fusos limite de CRATerre.....	50
Figura 6.49 - Teste de sedimentação.....	52
Figura 6.50 - Ensaio de absorção de água	54
Figura 6.51 - Resultados do ensaio de absorção de água.....	55
Figura 6.52 - Ensaio de tracção por flexão	56
Figura 6.53 - Ensaio de compressão	57
Figura 6.54 - Tensões médias de flexão e compressão para as várias construções	59
Figura 6.55 - Planta da construção 5.1	65
Figura 6.56 - Modelo tridimensional da estrutura 5.1	66
Figura 6.57 - Primeiros 6 modos de vibração da estrutura 5.1.....	68
Figura 6.58 - Identificação dos pontos de análise de tensões na fachada principal.....	69
Figura 6.59- Identificação dos pontos de análise de tensões na fachada lateral esquerda	70
Figura 6.60 - Construção 5.1, rotura por tracção (1).....	70
Figura 6.61 - Construção 5.1, rotura por tracção (2).....	70
Figura 6.62 - Construção 5.1, rotura por compressão (1).....	71
Figura 6.63 - Construção 5.1, rotura por compressão (2).....	71
Figura 6.64 - Construção 5.1, rotura por corte (1)	71
Figura 6.65 - Construção 5.1, rotura por corte (2)	71

Figura 6.66 - Modelo da estrutura 5.1 com a introdução de asnas na cobertura	72
Figura 6.67 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por tracção (1).....	73
Figura 6.68 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por tracção (2).....	73
Figura 6.69 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por compressão (1).....	73
Figura 6.70 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por compressão (2).....	73
Figura 6.71 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por corte (1).....	74
Figura 6.72 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por corte (2).....	74
Figura 6.73 - Modelo da estrutura 5.1 com a introdução de estrutura em betão armado.....	75
Figura 6.74 - Planta da construção 4.2.....	76
Figura 6.75 - Modelo tridimensional da estrutura 4.2.....	76
Figura 6.76 - Primeiros 6 modos de vibração da estrutura 4.2.....	78
Figura 6.77 - Identificação dos pontos de análise de tensões na fachada principal.....	78
Figura 6.78- Identificação dos pontos de análise de tensões na fachada lateral direita	79
Figura 6.79 - Construção 4.2, rotura por tracção (1).....	79
Figura 6.80 - Construção 4.2, rotura por tracção (2).....	79
Figura 6.81 - Construção 4.2, rotura por compressão (1).....	80
Figura 6.82 - Construção 4.2, rotura por compressão (2).....	80
Figura 6.83 - Construção 4.2, rotura por corte (1)	80
Figura 6.84 - Construção 4.2, rotura por corte (2)	80
Figura 6.85 - Modelo da estrutura com a introdução de asnas na cobertura.....	81
Figura 6.86 - Construção 4.2, rotura por tracção (1).....	81
Figura 6.87 - Construção 4.2, rotura por tracção (2).....	82
Figura 6.88 - Construção 4.2, rotura por compressão (1).....	82
Figura 6.89 - Construção 4.2, rotura por compressão (2).....	82
Figura 6.90 - Construção 4.2, rotura por corte (1)	82
Figura 6.91 - Construção 4.2, rotura por corte (2)	83
Figura 6.92 - Modelo da estrutura com a introdução de uma viga de bordadura em betão armado.....	83

1. INTRODUÇÃO

A terra é uma matéria-prima muito abundante e acessível na natureza, que possibilita uma construção sustentável, quer em termos ambientais, quer em termos económicos e sociais, permitindo uma construção rápida, sem incorporar elevados consumos de energia.

Trata-se de um material ecológico, exclusivamente natural, 100% reciclável e reutilizável de forma ilimitada, podendo ser devolvido, após a demolição de qualquer construção, ao meio donde proveio, não dando origem a entulhos.

Não necessitando de mão-de-obra muito especializada, embora seja necessário um saber-fazer, hoje em dia já praticamente desaparecido, a construção com este material pode ser socialmente muito interessante, pela sua disponibilidade a custo zero em algumas regiões, como é o caso do Sul de Portugal, o que a transforma num material economicamente muito vantajoso.

Embora encarada pela população em geral como um sistema construtivo pobre e um material muito pouco sofisticado, perante a oferta crescente de materiais refinados e modernos, a construção em terra tem vindo a merecer cada vez maior interesse por parte da comunidade científica em virtude do seu elevado potencial.

A crescente consciência, por um lado, para os problemas da sustentabilidade, e por outro, a crise económica com conseqüente redução do poder de compra, que atinge um maior número de pessoas a cada dia, poderão ser os motivos que até agora faltavam para ponderar seriamente a utilização deste material que em tempos foi tão reconhecido.

A facilidade de obtenção, e as inúmeras técnicas construtivas ou o bom comportamento termo-higrométrico que proporciona são sem dúvida características importantes deste material tão simples, que aliás está presente em alguns dos monumentos mais importantes do mundo.

Presentes em todo o país as construções em terra crua, sob a forma de adobe, tabique ou taipa, sendo esta última a prevalecente no Sul, designadamente no Algarve.

Com a realização deste trabalho pretende-se dar um contributo para a valorização da construção com terra crua, principalmente em taipa, no que diz respeito à caracterização do material e respectivas vantagens e condicionalismos inerentes.

Na estrutura do trabalho destacam-se uma fase inicial teórica de enquadramento do tema e uma fase posterior, de carácter essencialmente prático que engloba a recolha de dados e amostras, ensaio de amostras em laboratório, simulação numérica, análise dos resultados obtidos e apresentação de conclusões.

A abordagem inicial teórica visa dar a conhecer um tipo de construção ecológica, que independentemente de tentar manter ou não o traço arquitectónico típico da construção rural em terra crua, é uma realidade que interessa proteger, não só pela riqueza patrimonial e cultural a

que está associada, mas também pela sua grande capacidade de economizar recursos. Integra uma pequena apresentação dos principais tipos de construção em terra, designadamente, taipa, adobe e tabique, tipos de revestimento e acabamento das paredes, sustentabilidade da construção em terra e principais debilidades, com particular incidência no comportamento face à acção da água e às acções mecânicas. É também abordada uma outra vertente da taipa, a construção em taipa militar, caracterizada através da análise de alguns casos concretos igualmente identificados na região algarvia, no que diz respeito aos seus aspectos fundamentais.

A componente prática compreende a identificação de 20 construções em terra existentes no Algarve. Através do preenchimento de fichas de caracterização analisam-se alguns aspectos principais relativos quer à localização, quer à tipologia, dimensões e processos construtivos utilizados para cada caso. Efectua-se ainda um levantamento dos principais reforços observados, bem como as principais manifestações de patologia. Posteriormente, a recolha “in situ” de amostras permitiu efectuar uma análise do material em laboratório com a apresentação de resultados dos diversos ensaios realizados para a caracterização das várias construções identificadas.

Com base nos resultados obtidos efectua-se ainda a análise no programa de cálculo SAP 2000 da capacidade resistente de duas construções localizadas em zonas distintas, bem como do seu desempenho após a introdução de reforços, seguida da análise crítica dos resultados obtidos e sintetização de conclusões sobre diversas possibilidades de reabilitação estrutural.

Por último, apresentam-se algumas reflexões finais e conclusões sobre os aspectos investigados, nomeadamente, no que diz respeito à sua exequibilidade e potencialidades, encarando as vulnerabilidades manifestadas e associando o conhecimento empírico transmitido através dos tempos, com a evolução tecnológica actual.

Paralelamente com a realização deste trabalho de investigação, realizaram-se alguns trabalhos sobre o tema, conjuntamente com o Eng. Alfredo Manuel Braga, co-orientador deste trabalho, designadamente duas comunicações e um artigo submetido a um congresso:

- “A Construção em Terra. Uma verdadeira alternativa?” Semana da Engenharia 2010. Universidade do Algarve. Instituto Superior de Engenharia. Novembro de 2010.

- “Reabilitação de Edifícios Antigos”. Jornadas de Engenharia e Tecnologia – Investigação aplicada nas Universidades do Algarve e de Cádiz. Universidade do Algarve. Instituto Superior de Engenharia. Setembro de 2011

- “Análisis de las Construcciones en Tierra Cruda en el Algarve”. Terra 2012 - XI Conferencia Internacional sobre el Estudio y Conservación del Patrimonio Arquitectónico de Tierra, Lima, Peru. Abril de 2012.

2. CONSTRUÇÃO EM TERRA CRUA

A construção em terra não é de todo uma técnica nova, nem tão pouco se trata da descoberta de um inovador material uma vez que as primeiras construções em terra crua datam de há mais de 10000 anos, encontrando-se alguns exemplos no Médio-Oriente, segundo Correia & Merten (2005).

A terra crua surge como um dos primeiros materiais a ser utilizado na construção de abrigos. Devido ao seu baixo custo e fácil maleabilidade, este “precioso” material permite uma multiplicidade de formas e processos construtivos.

Um pouco por todo o mundo é possível identificar, ainda hoje, inúmeros exemplos deste tipo de construção, principalmente nos países em vias de desenvolvimento, onde se julga que cerca de 50% da população continue a viver em casas de terra (Gomes, Brito & Lopes, 2008).

A terra possibilita várias aplicações e, por isso, foi utilizada nas mais variadas edificações, desde a comum habitação, a outras como palácios, fortificações e templos religiosos.

Também em Portugal existe um património rico de construções tradicionais de terra crua, distribuídas um pouco por todo o território (Magalhães, 2008), sendo manifesta no Sul do país a sua maior disseminação, tanto em construções de carácter civil (Figura 2.1) como de carácter militar (Figura 2.2).



Figura 2.1 - Construção tradicional em taipa na zona de Monchique



Figura 2.2 - Castelo de Paderne em taipa militar

Na arquitectura vernácula portuguesa encontram-se essencialmente três técnicas construtivas em terra: a taipa, o adobe e o tabique.

A importância dada pela UNESCO a construções seculares em terra, classificadas como Património Mundial, conduziu ao interesse crescente pela utilização da terra como material de construção, como referem Torgal, Eires & Jalali (2009) e como comprovam as inúmeras publicações e seminários que decorrem em todo o mundo.

Na Europa, de acordo com Lourenço (2005), a pesquisa sobre a arquitectura de terra desenvolveu-se a partir do final dos anos 70, devido essencialmente a uma política de assistência técnica aos países do terceiro mundo, protagonizada pela França, em matéria de habitação social e urbanismo. Uma das figuras que protagonizou este movimento foi Jean Dethier, impulsionando o grupo de investigação francês, CRATerre (Centre de Recherche et d'Application - Terre), constituído em 1979. Este grupo, sediado na escola de Arquitectura de Grenoble, é um centro de pesquisa e formação, de referência a nível internacional.

Poder-se-ão ainda referir o grupo Inter-Acción sediado em Madrid e com intervenções em Navapalos, Burgo de Osma, Sória, e o Grupo Tierra da Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidad de Valladolid.

2.1. Análise da regulamentação existente

Em Portugal, segundo Gomes, Brito & Lopes (2008) a construção com terra crua começa a reaparecer, não existindo, no entanto, qualquer regulamento ou norma que especifique quais os procedimentos e princípios a considerar neste tipo de construção.

Jalali & Torgal (2009) consideram que a nível internacional são já vários os países que possuem normas, regulamentos ou simplesmente importantes documentos no âmbito da utilização da terra enquanto material de construção, designadamente a Espanha, o estado do Novo México nos Estados Unidos, a Nova Zelândia, o Peru e a França, o que demonstra bem a forma séria como esses países a consideram.

Em Espanha existem dois documentos relevantes de apoio ao projecto e construção de edifícios em terra, principalmente em taipa e adobe intitulados por “Bases para el Diseño y Construcción com Tapial”, publicado em 1992 pelo Ministério dos Transportes e Obras Públicas (MTOP, 1992) no qual constam alguns aspectos relativos à construção em terra, nomeadamente princípios para o projecto de paredes de terra, técnicas de construção para taipa e respectivas fundações, e a normativa espanhola UNE 41410:2008 “Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo” (UNE 41410, 2008), pela AENOR – Asociación Española de Normalización y Certificación, que caracteriza o material através da indicação de testes e ensaios necessários para avaliar a sua capacidade mecânica.

No estado do Novo México (EUA), o “New Mexico Earthen Building Materials Code”, publicado em 2009, estabelece normas mínimas para a construção de estruturas em terra de um ou dois pisos e estipula alguns requisitos para controlar a concepção e construção de moradias em que a terra é utilizada como material para a execução da estrutura resistente. São consideradas as estruturas de taipa, adobe, blocos de terra comprimida (BTC) e tijolos de barro cozido e o regulamento fixa, entre outros aspectos, as dimensões mínimas das paredes, requisitos relativos a métodos de construção e cofragem a utilizar. O referido regulamento indica limites para a granulometria da terra a utilizar e especifica ainda a necessidade de apoio lateral das paredes de taipa em função da sua espessura, definindo limitações quanto à localização das

aberturas, o tipo e dimensão das fundações, bem como a respectiva estabilização, compactação e tempo de secagem das paredes.

Na Nova Zelândia, com a consciência de que a arquitectura de terra deve respeitar padrões de segurança estrutural, a Standards New Zealand, em 1998, produziu um conjunto de normas para edifícios de terra, que se encontra dividida em três partes:

- a NZS 4297 (1998): Engineering Design of Earth Buildings que especifica critérios relativos à parte de projecto e estipula limites dimensionais e métodos de concepção e dimensionamento específicos para a utilização de terra na construção; destina-se a ser utilizada por engenheiros com conhecimentos na área de estruturas, estabelecendo entre outros parâmetros, que a altura máxima para as paredes de terra é de 6.5 m; nesta parte encontram-se estabelecidos valores mínimos de resistência para a taipa, designadamente à compressão, corte e flexão por tracção, com os valores de 0.50 MPa, 0.08 MPa e 0.10 MPa respectivamente.

- a parte 4298 (1998): Materials and Workmanship for Earth Buildings estabelece requisitos de materiais e mão-de-obra a utilizar para este tipo de construção, cuja concepção está de acordo com as NZS 4297 ou NZS 4299; os requisitos são indicados para todas as formas de construção com terra, mas mais especificamente para o adobe, taipa e BTC, sendo este conjunto de normas destinado principalmente para execução de construções de pequena escala; esta norma estipula os testes a realizar para verificar a aptidão do material para ser utilizado na construção, e inclui requisitos de durabilidade adaptados ao clima existente na Nova Zelândia.

- a norma NZS 4299 (1998): Earth Buildings Not Requiring Specific Design fornece métodos para a concepção e construção de edifícios de pequeno porte, com paredes de terra, definindo regras e limites a cumprir para o caso de uma construção que dispense um dimensionamento mais complexo como as construções de apenas um piso e cobertura de madeira, ou construções com o piso inferior em terra e com paredes de madeira ao nível do segundo andar e uma cobertura leve de madeira, não se destinando apenas a profissionais com conhecimentos técnicos sobre o dimensionamento de estruturas, contrariamente ao que acontece com a NZS 4297; apresenta ainda um modelo de cálculo simples que permite fazer uma verificação da segurança do edifício de uma forma rápida e expedita.

No Peru, a Norma Técnica de Edificación E.080 Adobe (1999), que se refere à construção em terra com utilização de alvenaria de adobe, aborda a concepção de edifícios seguros de baixo custo. Estabelece requisitos para a terra a utilizar relativamente à resistência e granulometria, bem como, limites para o número de pisos das construções em função da zona sísmica, e em função do solo de fundação, impondo a aplicação de reforços em paredes muito esbeltas.

Em França existem, tal como já foi referido, diversos estudos publicados pelo grupo CRATerre, que englobam a descrição dos sistemas construtivos, a caracterização do material, a estabilização da terra, entre outros aspectos, tais como, a quantificação da resistência do material e necessidade de eventuais reforços construtivos. Grande parte da investigação desenvolvida encontra-se documentada em inúmeras publicações de grande interesse sobre o tema, designadamente “Construire en terre” (CRATerre, 1979), “Traité de Construction en Terre”

(CRATerre, 1989), “Blocs de Terre Comprimée – Équipements de Production” (CRATerre, 1996), “Blocs de Terre Comprimée – Normes” (CRATerre, 1998) ou “Blocs de Terre Comprimée – Procédures d’essais” (CRATerre, 1998).

2.2. A técnica da taipa

A taipa consiste na edificação de muros monolíticos em terra de características argilosas, compactada dentro de taipais de madeira amovíveis, dispostos paralelamente. O seu afastamento, que define a espessura da parede, varia normalmente entre 45 e 65 cm. No interior dos moldes a terra é compactada em camadas sucessivas, manual ou mecanicamente, até que a sua altura seja reduzida para aproximadamente metade.

O enchimento das paredes é executado por fiadas horizontais, em troços correspondentes ao comprimento dos taipais. É essencial assegurar ainda a existência de descontinuidade entre as juntas verticais, optando pela execução de taipaladas desencontradas para garantir o travamento dos vários blocos de taipa (Figura 2.3).

De acordo com as directivas de CRATerre (1979), a terra utilizada para a execução da taipa deve apresentar uma quantidade de seixo até 15%, de areia entre 40% a 50%, de silte entre 20% a 35% e entre 15% a 25% de argila. O seixo e a areia conferem resistência à parede, a argila assegura a correcta ligação entre as partículas e o silte aumenta a compacidade do material.

No processo original da construção tradicional julga-se que existia uma única equipa de trabalho, sendo poucas as situações de frentes simultâneas. A construção seria realizada por várias fases sucessivas, designadamente, a recolha e preparação das terras, compreendendo, a escolha, extracção, destorroamento e extracção de pedras e substâncias vegetais; seguia-se a mistura e homogeneização do material; prosseguia-se com a abertura dos caboucos e execução da fundação e embasamento para evitar a acção da humidade e a distribuição do peso das paredes, constituídos em pedra local, terminando na execução das próprias paredes com a montagem, enchimento dos moldes e desmoldagem. A abertura dos vãos com a colocação de reforço geralmente em barrotes de madeira ou vigas de pedra ou cal, seria, na maioria das situações, executada após conclusão das paredes e só excepcionalmente, seria efectuada durante o levantamento das mesmas (Figura 2.4).



Figura 2.3 - Travamento dos blocos à custa da execução de juntas desencontradas



Figura 2.4 - Lintéis de reforço sobre os vãos

Para a construção utilizavam taipais de madeira e a compactação era normalmente realizada por três homens: um junto de cada taipal e o terceiro na região central. Actualmente utilizam-se cofragens de materiais mais sofisticados tais como contraplacado, alumínio, aço e fibra de vidro e utiliza-se a compactação mecânica por impacto (através de compressores pneumáticos) e por vibração (através de placas vibratórias), o que permite reduzir o tempo e o esforço de compactação.

No telhado, por debaixo das telhas era usual a colocação de um ripado de madeira ou uma esteira de madeira ou cana, sendo esta última mais vantajosa uma vez que por ser oca permitia conferir maior isolamento térmico (Figura 2.5).



Figura 2.5 - Forro do telhado em esteira de cana

A construção com taipa apresenta paredes espessas que reúnem três características principais, uma função resistente, a capacidade de regular a temperatura e humidade no interior da construção e absorção das ondas sonoras.

No Algarve, a taipa encontra-se também em inúmeras construções militares, essencialmente em muralhas, fortificações e castelos, tais como o Castelo de Paderne (Figura 2.6) ou o Castelo de Silves, sendo denominada como taipa militar.



Figura 2.6 - Castelo de Paderne, edificado em taipa militar

Para assegurar esta função resistente das paredes, é comum a existência de algumas soluções de reforço, destinada principalmente a assegurar a verticalidade das fachadas.

De acordo com Pinto (1992), a taipa militar caracteriza-se pela adição de grandes percentagens de cal à terra, o que, a longo prazo, a torna num material duríssimo e extremamente resistente, à custa da carbonatação lenta da cal que lhe confere esse endurecimento progressivo dotando-a de valores de resistência extremamente elevados.

Além da presença de cal aérea, não detetada em qualquer uma das construções vernaculares analisadas, é possível identificar outras diferenças entre a taipa civil e a taipa militar, principalmente em termos de escala, designadamente, espessura e altura das paredes (Figura 2.7).



Figura 2.7 - Pormenor da espessura das paredes do Castelo de Paderne

A espessura das paredes varia entre 1,70 e 1,80 m e a dimensão dos painéis ou taipaladas é de aproximadamente 2,30 m, visivelmente superior aos 1,50 m da taipa civil. Também a altura do embasamento é muito superior, variando entre 1,30 e 1,50 m, enquanto na taipa civil a sua altura geralmente não ultrapassa os 0,60 m. Em virtude da elevada espessura das paredes, não se observam quaisquer reforços para assegurar a sua verticalidade.

2.3. O adobe

A construção com adobe consiste na edificação de paredes com “tijolos” de terra crua com a eventual adição de fibras vegetais, sendo uma técnica menos frequentemente encontrada nas construções no Algarve.

Segundo Torgal, Eires & Jalali (2009) o processo tradicional de fabrico dos adobes consistia na moldagem de pequenos blocos utilizando moldes em madeira (Figura 2.8), que seriam

desmoldados ainda no estado fresco para serem colocados a secar à temperatura ambiente (Figura 2.9). Estes moldes de madeira, de acordo com Moreira (2008), permitiam apenas a moldagem de um ou dois blocos de cada vez, contrariamente ao que se verifica nos moldes actualmente utilizados, de plástico ou metal, que permitem a obtenção de várias peças, pois são constituídos por vários compartimentos.



Figura 2.8 - Molde de madeira utilizado na produção de adobe [Moreira, 2008] Figura 2.9 - Desmoldagem de adobe [Moreira, 2008]

Segundo as directivas de CRATerre (1979), a composição da terra a utilizar na execução dos adobes deverá ser de 55% a 75% de areia, 10% a 28% de silte e 15% a 18% de argila, limitando a quantidade de matéria orgânica (fibras vegetais como a palha) a 3% do seu peso. A terra utilizada para a execução dos adobes poderá incluir na sua constituição uma elevada quantidade de argila, o que propicia o aparecimento de fissuração por retracção durante o processo de secagem, motivo pelo qual eram incorporadas fibras vegetais na mistura. Actualmente estas fibras vegetais deram lugar a fibras sintéticas que assumem um melhor comportamento a longo prazo eliminando o elevado risco de apodrecimento associado ao material de origem vegetal.

A execução de construções em adobe seria faseada, tendo início com a fase de escolha do material, preparação dos adobes, secagem e armazenamento, seguida da fase de execução das fundações em pedra (semelhante às da taipa) e levantamento das paredes com a execução de fiadas desencontradas, à semelhança da actual alvenaria de tijolo.

Em Portugal é na região de Aveiro que a construção em adobe tem maior representatividade, sendo possível encontrar diversas construções em adobe, ainda que em alguns casos sejam de difícil identificação pela presença de revestimentos em reboco (Figura 2.10). Existem no entanto algumas construções seculares sem qualquer vestígio de revestimento, apresentando os adobes à vista (Figura 2.11).



Figura 2.10 – Construção em adobe rebocada na fachada principal



Figura 2.11 – Construção com adobes à vista

2.3.1. Os blocos de terra comprimida

Mais recentemente surgiram os blocos de terra comprimida (BTC) que correspondem à evolução dos tradicionais adobes.

Esta técnica consiste na execução de blocos de terra crua, inicialmente prensados manualmente e mais tarde utilizando processos mecânicos. A compactação em prensa mecânica permite, um aumento da resistência e da durabilidade dos blocos devido ao aumento do contacto entre as partículas e diminuição da porosidade por eliminação de vazios. A melhoria qualitativa traduz-se num aumento de resistência mecânica e na maior regularidade dimensional, permitindo, ainda, incrementar a velocidade de fabrico.

No que se refere às características os blocos de terra comprimida são muito semelhantes ao adobe tradicional. A principal diferença, conforme referido por Mateus & Bragança (2006), está no facto de o adobe atingir a sua resistência máxima após sofrer um processo de cura, enquanto o BTC atingir a resistência máxima com a compactação (manual ou mecânica).

A eficácia e a simplicidade do sistema de produção dos blocos garantiram o seu sucesso e a difusão por todo o mundo, sendo actualmente um dos métodos de construção em terra mais utilizados.

2.4. O tabique

Em Portugal, embora a utilização desta técnica se encontre menos disseminada, podem observar-se diversos exemplos em várias regiões, principalmente no interior Norte do país.

A construção em tabique consiste na execução de uma estrutura de madeira, cana ou vime, formando um entrançado, onde posteriormente se aplicam camadas de terra argilosa, à qual são geralmente adicionadas grandes quantidades de palha ou fibras vegetais (Figura 2.12).



Figura 2.12 - Parede de tabique

Este sistema construtivo difere dos restantes na medida em que a capacidade resistente é assegurada maioritariamente pela estrutura, sendo a terra utilizada essencialmente como material de preenchimento. No Sul, as paredes de tabique encontram-se principalmente no interior das construções, em paredes de compartimentação. Sendo mais leve do que a taipa e o adobe, a sua utilização em paredes divisórias não aumenta significativamente o peso sobre os pavimentos, pelo que também é utilizada em edifícios de mais do que um piso.

2.5. Construção em terra no mundo

A construção em terra é a técnica construtiva mais antiga e mais amplamente utilizada pelo homem em todo o mundo (Lourenço, 2004).

Trata-se de um tipo de construção utilizado desde a antiguidade, identificado a nível mundial em vários continentes, comprovando a sua grande disseminação. Actualmente considera-se que um terço da população mundial vive em estruturas construídas em terra, principalmente em regiões rurais (Correia, 2006).

Calcula-se que a construção em terra tenha tido início em simultâneo com as primeiras sociedades agrícolas, previsivelmente entre 12.000 a 7.000 a.C. (Correia, 2006).

Por todo o mundo existem exemplos de construções em terra executadas há milhares de anos e que ainda hoje se encontram de pé, tais como o Templo de Ramsés II (adobe – 3200 anos) em Gourná, no Egipto, a Grande Muralha da China (taipa – 3000 anos), o Templo de Horyuji (taipa – 1300 anos), no Japão, a Pirâmide de Uxmal (entre séculos VI e X) ou a Pirâmide do Sol (2 milhões de toneladas de terra compactada), ambas no México, entre outros (Jalali & Torgal, 2009).

2.5.1. Ásia

A China apresenta um vasto número de edificações em terra, utilizando os mais variados processos e técnicas construtivas.

É possível identificar ainda hoje troços da Muralha da China executados em taipa, construída entre VIII a.C. e XV-XVII d.C. (Correia, 2006). Trata-se de troços edificados em camadas de terra compactada revestidos exteriormente a pedra em algumas zonas.



Figura 2.13 - A "Grande Muralha da China" (Jesus, 2007)

Na província de Fujian, no litoral sudeste da China é possível encontrar ainda um outro tipo de construção, não menos grandiosa, e também ela de carácter defensivo, o Tulou, que datam dos séc. XII a XX.

O Tulou, ou prédio de terra na tradução literal para o português, é uma obra-prima única da arquitectura. Trata-se de um tipo de fortificação em terra única no mundo de cariz residencial e defensivo. Estas construções são geralmente grandes edifícios fechados com planta rectangular ou circular com paredes espessas de 1,80 m de espessura, com três a cinco andares, sendo que cada uma destas construções serve de habitação a mais de 80 famílias, encontrando-se algumas delas ainda habitadas (Figura 2.14 a Figura 2.16).

A sua arquitectura é de tal forma “genial”, que além da protecção dos seus habitantes, facultam um bom conforto já que têm boa ventilação, iluminação e resistência ao vento.

Os tulous estão espalhados em diferentes vilas da província de Fujian. Na Vila de Yongding, há cerca de 23 mil tulous e todos têm seu próprio nome. Os maiores e mais famosos são Chengqilou, Fengshenglou e Fuyulou. O Chengqilou, conhecido como o "rei dos tulous", tem quatro círculos de paredes e ocupa uma área de 5.376 metros quadrados. O complexo tem no total 400 quartos e o diâmetro externo é de 62,6 metros. Em 2008, o Chengqilou entrou na lista do Património Mundial da UNESCO, (CRI, 2011).



Figura 2.14 - Fortificações Tulou, em Fujian, China (CRI, 2011)



Figura 2.15 - Pormenor de Tulou (CRI, 2011)



Figura 2.16 – Zona comum interior de Toulou (CRI, 2011)

No Iémen, a cidade emblemática de Shibâm (Figura 2.17), na região de Hadramawt, persiste ainda hoje habitada, com edifícios de 5 a 11 pisos, com paredes de adobe cuja espessura se estreita em altura para aligeirar o peso e melhorar a estabilidade edificadas no século XVI (Torgal, Eires & Jalali 2009).



Figura 2.17 - Shibâm, Iémen (Jesus, 2007).

Classificada pela UNESCO em 1982 como Património Mundial da Humanidade, esta cidade é a cidade de arranha céus mais antiga do mundo (Figura 2.18), encontrando-se aqui o edifício mais alto do mundo edificado em terra, com uma altura máxima de 53 m, variando a espessura das suas paredes em altura, diminuindo em direcção ao topo.



Figura 2.18 - Cidade de Shibâm, Iémen do Sul (Jesus, 2007).

Não menos imponente é a cidade de Sanaa, que apresenta as suas elevadas muralhas, em adobe e em pedra, construídas, pelo menos há 500 anos, com 25 a 28 m de altura (Correia, 2006). Classificada em 1986 como Património Mundial a cidade de Sanaa apresenta diferentes técnicas construtivas com utilização de terra, nomeadamente taipa e adobe, possuindo elevadas muralhas, em adobe e em pedra.

A antiga cidade de Bam no Sudoeste do Irão (Figura 2.19), é considerada a maior construção em adobe do mundo. A sua construção data de 500 a.C.. Com milhares de anos, esta cidade foi completamente destruída em 2003 devido a um forte sismo, o que evidencia o grande problema deste material de construção (Chissama, 2009).

Em 2004, esta cidade foi classificada como Património Mundial, incluindo toda a paisagem cultural envolvente.



Figura 2.19 - Cidade de Bam antes do sismo de 2003, Irão (Benutzer, 2005).

2.5.2. África

Igualmente no antigo Egipto é possível identificar diversas construções em terra, entre elas o Ramesseum (Figura 2.20), que data do século I a.C., edificado em adobe, que tinha a função de depósito de cereais.



Figura 2.20 - Ramesseum, Egipto (Jacq, 1996).

Também no Egipto, junto à margem do rio Nilo, a cidade de Tebas, foi construída em terra, principalmente com blocos de adobe, tendo sido classificada pela UNESCO em 1979 como Património Mundial.

A nordeste da região de Kumasi, no Gana, a arquitectura vernácula Ashanti (Figura 2.21 a Figura 2.24), em terra, também inscrita na lista de Património da Humanidade (Correia, 2006).



Figura 2.21 – Casa santuário na região de Ashanti, perto de Kumasi (Rael, 2010).



Figura 2.22 – Habitação em terra, a norte de Kumasi (Rael, 2010).



Figura 2.23 – Edifício em terra na região norte do Gana (Rael, 2010).



Figura 2.24 – Construção na região norte do país (Rael, 2010).

Um dos pontos mais altos da arquitectura Africana é certamente a grande Mesquita de Djénné, (Figura 2.25), no Mali.

Habitada desde 250 a.C., a Mesquita é considerada a maior construção em adobe de África. Em 1988, a UNESCO declarou o centro histórico Djénné e a sua Mesquita como Património da Humanidade.



Figura 2.25 - Grande Mesquita de Djénné (UNESCO, 2010).

Na cidade de Tombouctou, no Mali, que recentemente também foi inscrita como Património da Humanidade, destacam-se três mesquitas principais, duas das quais construídas em adobe (Djinguéréber e Sankoré). A terceira mesquita (Sidi Yahya), foi edificada utilizando outra técnica construtiva, mais conhecida como “pedra de Tombouctou” que, aproveitando o facto de a terra ser muito dura, consiste na sobreposição de blocos de terra cortados em partes. A cidade de Djénné, também no Mali é desde 1988, Património da Humanidade. Trata-se de uma cidade

completamente edificada em terra crua, na qual se verifica um grande cuidado na manutenção dos edifícios através da aplicação de revestimentos de manutenção em reboco de cal.

Em Marrocos (Figura 2.26 e Figura 2.27) existem um pouco por todo o país pequenas aldeias construídas em taipa. Tratam-se de construções simples de apenas um piso térreo que se distinguem das construções civis existentes no nosso país pela sua cobertura completamente plana, executada também ela em terra. A cidade de Aït Bem Haddou, Património da Humanidade desde 1986, situa-se a norte de Ouarzazate.



Figura 2.26 - Arquitectura vernácula em Marrocos (Fotopédia, 2006).



Figura 2.27 - Pormenor da arquitectura vernácula em Marrocos (Fotopédia, 2006).

Vale a pena referir não só as construções antigas, mas também a construção actual de edifícios com o recurso a este material, como é o caso da discoteca “Pacha” em Marrakech, edificada taipa (Figura 2.28).



Figura 2.28 - Discoteca Pacha em Marrakech, Marrocos (Benutzer, 2005).

Em Metmata ou Matmata, no sul da Tunísia, a terra é utilizada como material de construção para a execução de estruturas cavadas no chão, sendo construídas depois as grutas artificiais em torno do espaço oco central que estão ligadas entre si por passagens tipo trincheira (Figura 2.29).



Figura 2.29 – Metmata ou Matmata, sul da Tunísia (Rael, 2010).

2.5.3. América do Sul

Na América latina, principalmente na Colômbia, Venezuela, Bolívia, Brasil e Perú é possível também identificar inúmeras construções em terra.

No Brasil, designadamente junto ao litoral, existem fortificações executadas em taipa militar. Nos centros históricos de algumas cidades, como Salvador da Bahia, existem também vários edifícios de carácter civil edificados em taipa (Figura 2.30).



Figura 2.30 - Casa de taipa no município de Coqueiro Seco, Brasil (Rael, 2010).

No Peru, existem numerosas pirâmides em degraus edificadas em adobe, sendo das maiores construções de todo o continente.

2.5.4. América do Norte

Nos Estados Unidos, mais propriamente no estado do Arizona, é possível encontrar o Montezuma Castle. Trata-se de uma construção em terra situada num penhasco que conta com 1000 anos de idade e é actualmente um dos monumentos mais visitados do sudoeste americano.



Figura 2.31 - Montezuma Castle, E.U.A., (UNESCO, 2010).



Figura 2.32 - Montezuma Castle, E.U.A. (interior) (UNESCO, 2010).

Na cidade de Taos, no Novo México (E.U.A.) é possível identificar construções com espessas paredes de adobe (Figura 2.33) construídas por povos do Sudoeste da América, sendo que algumas destas construções duraram quase 1000 anos.

No México é possível encontrar a Pirâmide del Sol, em Teotihuacán, cuja construção data do século I d.C., construída em terra pisada com 63,5 m de altura, é constituída por 2 milhões de toneladas de terra e foi construída entre os anos 300 e 900 (Chissama, 2009).



Figura 2.33 - Construções em adobe, em Taos, Novo México (UNESCO, 2010).

2.5.5. Europa

Na Alemanha, continua habitada uma construção em taipa datando de 1795 e um edifício de 1828 também em taipa, ainda permanece de pé, sendo considerado o edifício em taipa mais alto da Europa (Figura 2.34), (Torgal, Eires & Jalali, 2009).



Figura 2.34 - Edifício de 6 andares construído em taipa, Weilburg, Alemanha (UNESCO, 2010).

Estas habitações construídas em paredes de taipa de cofragem contínua permitiram solucionar o problema da falta de meios materiais disponível e surgiram como uma alternativa exequível durante o período imediato à 2ª Guerra Mundial.

O caso alemão destaca-se ainda pelo impulso da do à construção em terra, sobretudo a partir da década de oitenta do século XX, pela publicação de regulamentos e normas. Este é certamente, o país europeu que maior avanço preconizou no que respeita à industrialização dos materiais e regulamentação da arquitectura em terra.

Em Espanha a construção em taipa é uma técnica corrente em toda a costa do Mediterrâneo e ainda em algumas regiões do interior tais como a Estremadura, Castela, Aragão e Múrcia.



Figura 2.35 - Casa de adobe na província de Burgos, Espanha (Benutzer, 2005).

Estão ainda presentes diversas construções em taipa militar tais como a Muralha Niebla, de Granada e de Valência, sendo possível identificar construções em adobe um pouco por todo o país.

Em França, a taipa, tradicionalmente utilizada nas regiões ao sul do rio Loire foi impulsionada e recuperada a partir do século XVIII, após a publicação dos Cahiers d'École d'Architecture Rurale, em 1793, por François Cointeraux (Fernandes, 2008). Importa salientar a redescoberta e recuperação da construção em taipa a partir dos anos setenta do século XX, tal como já foi referido também, a organização CRATerre que tem tido um papel relevante.

3. PRINCIPAIS POTENCIALIDADES

A utilização da terra crua como material de construção apresenta inúmeras vantagens. As principais são sem dúvida, o reduzido custo, o baixo consumo energético, a fácil re-integração na natureza, a menor poluição associada e o seu desempenho termo-higrométrico.

Com efeito, o emprego de materiais locais permite uma poupança directa de energia associada ao transporte, bem como um perfeito enquadramento na paisagem, garantida pela compatibilidade de texturas e cores. Além disso, a terra é uma material que apresenta um bom comportamento térmico, acústico, higrométrico e sob acção do fogo, pelo que importa analisar o seu potencial em termos de sustentabilidade e no que diz respeito ao seu desempenho.

3.1. Sustentabilidade

Com a revolução industrial, surge a mecanização da indústria e o surgimento de novos materiais de construção como o aço e o betão.

A par desta situação, a utilização destes novos materiais que integram grande quantidade de energia na sua produção, associada ao consumo crescente de energia durante a fase de utilização dos edifícios e agravada pela crise do petróleo, levantou as primeiras preocupações com os elevados consumos energéticos e respectivos impactes ambientais.

No que diz respeito à sustentabilidade, a utilização de materiais locais, que não integram processos de fabrico consumidores de energia e poluentes e não contribuem para a desflorestação nem degradação da paisagem está directamente associada a um baixo impacte ambiental.

A própria terra proveniente da abertura das fundações poderá ser utilizada na edificação das paredes, podendo ou não existir a necessidade de correcção da sua granulometria ou de estabilização. A poupança de recursos associada a este tipo de construção surge logo nesta primeira fase, uma vez que o material utilizado na construção é geralmente obtido no próprio local, ou na sua proximidade, dispensando o consumo de energia e a emissão de poluentes associados ao transporte.

Outro aspecto relevante diz respeito à possibilidade de reciclagem da material após o fim de vida da construção, uma vez que em caso de demolição da construção, esta não dá origem à produção de resíduos.

A utilização de materiais naturais minimiza a produção de resíduos, quer durante a fase de produção dos materiais, quer resultantes da fase de construção, nomeadamente, no que diz respeito aos desperdícios de materiais, uma vez que na construção em terra, o material sobranete é depositado no próprio local sem originar qualquer impacte no ambiente envolvente, contrariamente ao que acontece com a utilização de outro tipo de materiais como o betão ou as alvenarias.

Como a terra é moldada praticamente seca, também ao nível do consumo de água é bastante significativa a poupança.

Relativamente à salubridade, a construção em terra possui vantagens, designadamente devido à sua baixa toxicidade, o que contribui para a preservação de uma melhor qualidade do ar interior, sem emissão de gases tóxicos contrariando o que acontece na construção actual com a utilização de materiais sintéticos que podem possuir até 70000 combinações de produtos químicos, conduzindo à libertação de perto de 1000 produtos químicos, responsáveis pela contaminação do ar interior com compostos orgânicos voláteis (VOC's), de acordo com Salazar (2007).

3.2. Desempenho

Devido à sua elevada espessura e conseqüente massa, as paredes de terra possuem grande inércia térmica, o que possibilita que funcionem como um regulador climático das variações de temperatura. A inércia térmica permite armazenar o calor e regularizar a temperatura interior, conservando o calor no interior da habitação durante a estação fria, e atrasando a entrada do calor na habitação durante a estação quente, dando origem à ocorrência de pequenas amplitudes térmicas no interior da edificação.

Em termos acústicos, uma das principais soluções para assegurar um bom isolamento sonoro a sons aéreos é a existência de massa. Neste sentido, na construção em terra, as paredes de elevada massa que lhe são próprias permitem o amortecimento da transmissão das ondas sonoras, assegurando um bom comportamento acústico, essencialmente, a sons aéreos. Relativamente à absorção sonora, as paredes de terra também apresentam vantagens comparativamente com paredes de alvenaria de tijolo rebocadas, uma vez que ao possuírem uma capacidade acrescida para absorver os sons, evitam a sua reflexão e diminuem a ocorrência de reverberação.

De acordo com Minke (2009), a construção com terra apresenta vantagens também ao nível da melhoria da qualidade do ar interior, uma vez que tem a capacidade de controlar o nível de humidade relativa no interior das edificações. A terra pode absorver grandes quantidades de água, contrariamente a outros materiais, tais como o betão ou o tijolo cozido, proporcionando uma regulação constante dos níveis da humidade interior, através de processos de absorção ou libertação da humidade em função da necessidade interior. A Figura 3.1, evidencia-o, as abcissas correspondendo ao intervalo de tempo em horas, e as ordenadas representando a quantidade de água absorvida em g/m^2 quando a humidade relativa sobe de 50 para 80 %.

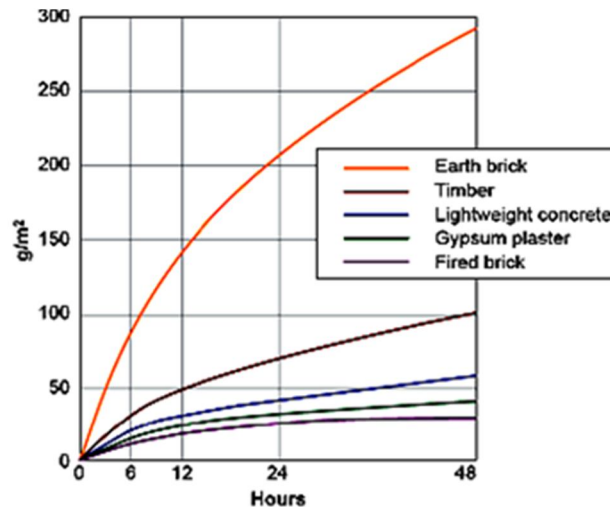


Figura 3.1 - Água absorvida por diferentes materiais (Minke, 2009)

Segundo Morton et. al. (2005), e tendo por base um estudo realizado na Grã-Bretanha, a construção em terra consegue manter os níveis de humidade interior entre 40 a 60%, sendo que este intervalo de humidade é o mais indicado para o bem-estar do Homem.

A construção em terra possui ainda a vantagem de apresentar boa resistência ao fogo, uma vez que é um material incombustível, podendo ser reutilizada, após exposição ao fogo, na sua totalidade sem perda da capacidade resistente. Na construção tradicional de terra seriam os elementos de cerramento de vãos ou os elementos que constituem o telhado, geralmente em madeira, os primeiros a ceder, ficando nesta situação a taipa mais exposta às elevadas temperaturas resultantes da acção do fogo, do que resultaria apenas uma degradação superficial, minimizada aquando da presença de revestimento. A Figura 3.2 ilustra um edifício em taipa após a ocorrência de um incêndio.



Figura 3.2 - Aspecto da taipa após ocorrência de incêndio

4. PRINCIPAIS DEBILIDADES

Paralelamente a todas as potencialidades já enumeradas, a construção em terra apresenta algumas debilidades, nomeadamente, no que se refere à sua vulnerabilidade aos agentes atmosféricos, principalmente à acção da água, bem como as limitações que apresenta relativas à construção em altura e perante acções mecânicas, como é o caso da acção sísmica.

4.1. Acção da água

A acção da água conduz à perda das propriedades e degradação do material, sendo agravada pela presença simultânea de vento. Neste sentido há que adoptar medidas para melhorar o comportamento deste material face a este factor de degradação, tais como, a estabilização ou a execução de barreiras de protecção que limitem o acesso da água.

De acordo com Lourenço (2004), a estabilização do material permite melhorar significativamente o comportamento da terra face aos agentes atmosféricos, nomeadamente, à acção do vento e chuva, além de poder conferir impermeabilidade à parede, bem como a melhoria da resistência mecânica através do aumento da coesão interna, redução da porosidade e diminuição da retracção.

Os processos de estabilização podem ser: físicos, químicos ou mecânicos.

A estabilização física do material resulta, segundo Rodrigues (2007), da adição de inertes estabilizantes como é o caso de fibras, minerais ou de partículas de diversas dimensões. As fibras permitem minorar a fissuração por retracção durante o processo de secagem e reduzem a massa volumica, proporcionando melhor comportamento face ao sismo. As partículas de granulometria variada, após identificada a granulometria da amostra, são introduzidas na mistura para correcção da curva granulométrica do material, melhorando a resistência mecânica.

A estabilização química, que resulta da adição de ligantes, que reagem por acções químicas ou físico-químicas com a terra permite, além de um aumento da resistência mecânica, sobretudo possibilita uma melhoria muito significativa do comportamento da mistura face à acção da água.

Por sua vez a estabilização mecânica resulta da compactação da terra, como é o caso da taipa e dos blocos de terra comprimida, e trata-se de um processo mecânico que ocorre sem adição de qualquer material exterior.

No caso da taipa, além da habitual estabilização mecânica utilizada em todas as construções, constata-se ainda a proveitosa estabilização química através da adição de elevadas percentagens de cal aérea, mais especificamente no caso da taipa militar.

4.2. Comportamento mecânico frágil

Tal como já foi referido, a construção em terra apresenta algumas limitações como a baixa resistência mecânica, principalmente a esforços de tracção e corte. O elevado peso das construções, agravado pela fraca resistência mecânica e comportamento frágil do material conferem à construção em terra uma resposta fraca perante a acção sísmica, conduzindo à ocorrência de danos severos ou ao colapso total das estruturas. Assim sendo, há que assegurar um melhor comportamento da estrutura perante a incidência de acções sísmicas através da utilização de reforços ou estruturas de suporte que lhe confirmam alguma ductilidade.

Este comportamento pode ser melhorado através de vários processos tais como a estabilização, já referida, mas também pela utilização de reforços pontuais na própria estrutura ou a introdução de uma estrutura adicional capaz de conferir à construção um comportamento estrutural superior, permitindo neste caso, a construção em zonas de maior risco sísmico.

No Algarve, onde a perigosidade sísmica é muito elevada, particularmente na zona do Barlavento, a introdução de uma estrutura de suporte justifica-se pela necessidade de aumentar a respetiva ductilidade, de forma a permitir observar os atuais requisitos impostos pelos Eurocódigos, que se revelam extremamente exigentes e penalizadores. Constatou-se em diversas construções observadas a introdução de tirantes em aço ou vigas de bordadura no topo das paredes, de contrafortes e de poiais.

A consideração de aspectos construtivos cuidados, em qualquer caso e independentemente das considerações atrás apresentadas relativamente a zonas de alta perigosidade sísmica, torna-se essencial, permitindo melhorar o desempenho global do edifício, destacando-se nomeadamente, a regularidade quer em planta quer em alçado, as ligações entre paredes ortogonais, a introdução de elementos resistentes de reforço, particularmente, através da utilização de lintéis sobre os vãos ou sob a estrutura do telhado.

No caso das construções militares, o aumento da capacidade resistente em termos mecânicos, seria, tal como já foi referido, conseguido quer à custa da majoração em termos de escala, (aumento da dimensão dos elementos), quer pela estabilização do material com adição de cal à terra, durante o processo de construção.

5. CONSTRUÇÕES EM TERRA NO ALGARVE

A abundância e adequabilidade da terra para a construção e a existência de um clima favorável decerto contribuíram para o disseminar da construção em terra em Portugal, colocando-nos entre os países com um dos patrimónios de construção em terra mais ricos de toda a Europa.

5.1. Edifícios civis

No Algarve, em particular no Barlavento, é onde se encontra o maior número de construções em terra, desde pequenos currais para guarda dos animais, a armazéns de apoio às actividades agrícolas ou industriais, e a diversificadas habitações (Figura 5.1).



Figura 5.1 - Construção tradicional em taipa sem aplicação de revestimento, Silves

As construções, designadamente as destinadas a habitação, são quase sempre constituídas por um único piso térreo (Figura 5.2), com poucos e reduzidos compartimentos, existindo porém algumas habitações de dois pisos, compostas por vários compartimentos (Figura 5.3).



Figura 5.2 - Construção em taipa de um piso



Figura 5.3 - Construção em taipa de dois pisos

A variedade das construções mantém-se também a nível estético, onde o acabamento das paredes também é bastante diversificado. Geralmente o revestimento é em reboco de cal, existem contudo, construções com taipa à vista, sem aplicação de qualquer revestimento (Figura 5.4) ou construções com aplicação de uma mera caição, geralmente de cor branca. Por vezes a junção de pigmentos quer em zonas específicas na periferia dos vãos, quer na totalidade das paredes, com cores vivas como o ocre (Figura 5.5) e outras (Figura 5.6) também é utilizada permitindo variar o aspecto.



Figura 5.4 - Construção em taipa com um piso, sem qualquer tipo de revestimento



Figura 5.5 - Construção em taipa com um piso, revestida a reboco de cal, com caição a cor



Figura 5.6 - Construção em taipa rebocada, com caiação a cor e elementos decorativos na fachada

5.2. Fortificações militares

Também no Sul do país é possível identificar exemplos da construção em taipa militar, nomeadamente, em palácios, castelos, torres, igrejas e muralhas, tais como, as muralhas do Castelo de Silves, Tavira, Faro, Alcácer, Paderne e Salir.

O caso das muralhas militares em taipa construídas aquando da ocupação muçulmana, será o mais emblemático. Um dos principais exemplos da arquitectura militar vernacular islâmica existentes no Sul do país é o Castelo de Silves (Figura 5.7 e Figura 5.8), construído entre os séculos VIII e IX. Este Castelo ostenta várias torres rectangulares (duas do tipo Albarrã), edificadas em taipa militar (Magalhães, 2008).



Figura 5.7 - Castelo de Silves



Figura 5.8 - Pormenor do Castelo de Silves

Não menos importante é o Castelo de Paderne (Figura 5.9), que se localiza no alto de um morro no limite da fronteira entre Barlavento e Sotavento. Esta construção militar da época Almóada, século XIII, possui uma planta trapezoidal irregular (Figura 5.10), destacando-se a imponência e solidez dos muros de taipa militar, com embasamentos em pedra (Magalhães, 2008).



Figura 5.9 - Castelo de Paderne



Figura 5.10 - Vista aérea do Castelo de Paderne (Google earth).

6. CASOS DE ESTUDO

A componente prática do trabalho desenvolvido divide-se em quatro fases principais. Uma fase inicial de localização e identificação das construções, seguida da caracterização através do preenchimento da ficha de caracterização, posterior recolha de material e avaliação das propriedades físicas e mecânicas em laboratório e, finalmente, modelação no programa SAP 2000 de duas construções seleccionadas para o efeito.

6.1. Localização das construções

Na fase inicial de identificação das construções, a principal dificuldade encontrada no reconhecimento das construções, foi a existência de revestimentos em argamassas de reboco que dificultam e em algumas situações tornaram impossível assegurar a constituição das paredes.

Do vasto conjunto de construções observadas, foram somente identificadas e caracterizadas as construções consideradas mais representativas em cada zona, tanto em termos das suas características arquitectónicas, como em termos de localização, de modo a abranger a maior parte da região possível.

Foram identificadas 20 construções de terra crua, designadamente em taipa. As construções encontram-se distribuídas pelos vários concelhos da região algarvia, quer no Barlavento, quer no Sotavento. Identificaram-se 17 construções localizadas no Barlavento, distribuídas principalmente nos concelhos de Silves, Monchique, Aljezur e Portimão e 3 construções no Sotavento, localizadas nos concelhos de Alcoutim e Vila Real de Santo António. A selecção foi efectuada em correspondência com a quantidade de edifícios em terra identificados em cada concelho, razão pela qual o estudo abrange menor número de construções localizadas no Sotavento, e maior número no Barlavento.

Cada uma destas construções foi devidamente identificada, em função da sua localização, sendo atribuída uma referência a cada uma delas, constituída por dois algarismos. O primeiro algarismo identifica o concelho no qual a construção se localiza, e o segundo indica o número da própria construção dentro de cada um dos concelhos, atribuído de forma sequencial.

De seguida apresenta-se uma tabela com a numeração e identificação correspondente aos vários concelhos seleccionados (Tabela 6.1) e um mapa da região com a localização e designação das construções (Figura 6.1).

Tabela 6.1 - Identificação dos concelhos estudados no Barlavento e Sotavento

Barlavento	Sotavento
1 - Vila do Bispo	5 - Alcoutim
2 - Aljezur	6 - Vila Real de Santo António
3 - Monchique	
4 - Silves	
7 - Lagoa	
8 - Portimão	

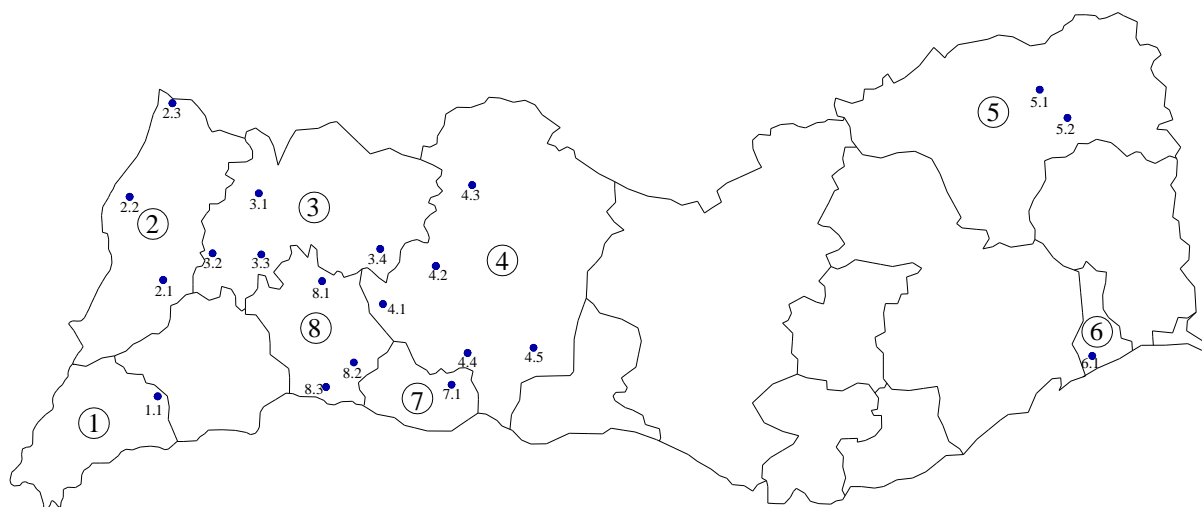


Figura 6.1 - Localização das construções identificadas

6.2. Caracterização

De modo a facilitar a recolha de dados “in situ” foi preparada uma ficha de caracterização, que foi preenchida para cada uma das construções. A Figura 6.2 ilustra a ficha de caracterização da construção 1.1. As restantes fichas constam do anexo I.

Na ficha de caracterização recolhe-se a principal informação de cada edifício, de forma individual e sintética registando os aspectos relevantes. Inicialmente apresenta-se a designação com a indicação da localização por concelho e coordenadas GPS, bem como um registo fotográfico que permita uma rápida identificação e uma planta da construção, devidamente legendada e cotada, com a indicação da orientação da fachada principal.

Segue-se uma descrição de aspectos relativos à construção, tais como, o tipo de implantação, o número de pisos, a área, o pé direito máximo, o material constitutivo das paredes exteriores e interiores e a respectiva espessura, a altura do embasamento e o material utilizado, a caracterização da cobertura e o respectivo número de águas.

Na parte final da ficha existem duas secções designadas por reforços e patologias, onde se identificam através de um registo fotográfico as situações de reforço estrutural implementadas e as manifestações de patologias observadas.

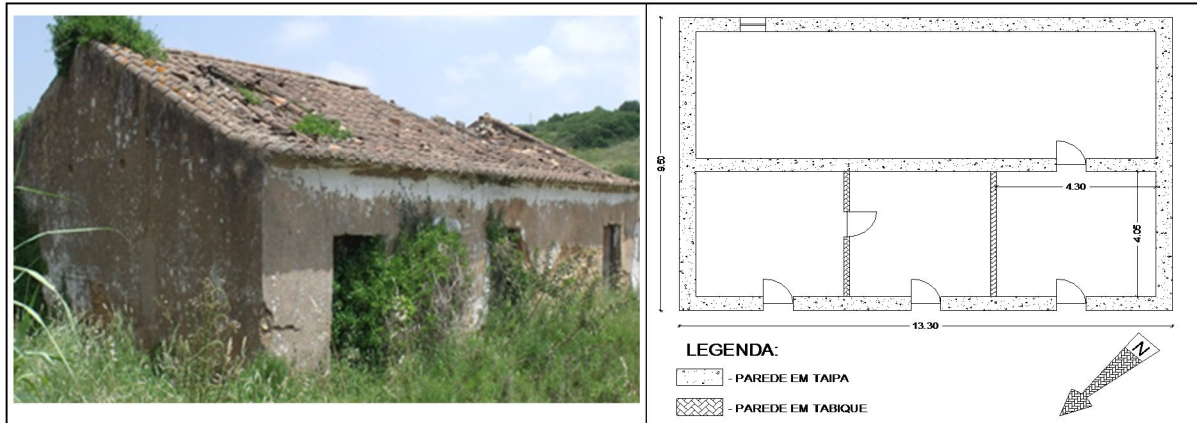
LOCALIZAÇÃO:

Concelho: 1 - Vila do Bispo

1.1 N 37 ° 6 ' . 823 ' .

W 8 ° 47 ' . 679 ' .

CARACTERIZAÇÃO:



Tipo de implantação: Isolada

Nº de Pisos: 1

Área: 126,40 [m²]

Pé dir. máx. 4,40 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,45 [m]

Material: Taipa

Paredes Int. Espessura: 0,15 [m]

Material: Tabique

Embasamento Altura: 0,55 [m]

Material: Pedra

Cobertura Material e estrutura: Varas circulares e ripas de madeira

Nº Águas: 2

REFORÇOS:



Lintéis sobre os vãos



Parede Mestra

PATOLOGIAS:



Fissuração



Colapso da cobertura

Figura 6.2 - Ficha de caracterização da construção 1.1

A análise das fichas possibilita uma caracterização construtiva das construções em terra crua no Algarve, designadamente, no que diz respeito à tipologia, compartimentação, orientação e áreas.

Relativamente à tipologia verifica-se, de um modo geral, que se tratam de construções de pequena dimensão e com pouca compartimentação, destinadas principalmente à habitação, existindo casos em que alguns compartimentos do edifício servem para fins agrícolas ou para apoio à criação de gado.

Associada à reduzida compartimentação, surge a existência de poucas aberturas para o exterior, portas e janelas de pequena dimensão, distribuídas maioritariamente ao longo da fachada principal.

A fachada principal encontra-se maioritariamente orientada a Sul, entre as direcções Sudeste e Sudoeste (Figura 6.3), o que se observou em oito construções sendo a direcção entre Nordeste e Sudeste a segunda preferencial, identificada em cinco casos.

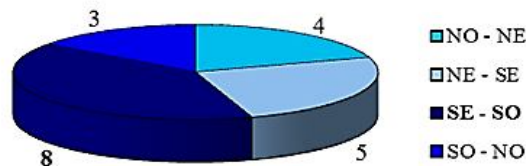


Figura 6.3 - Orientação da fachada principal

Tratam-se de construções de geometria regular, maioritariamente de planta rectangular, com um único piso térreo e geralmente isoladas.

No que se refere à dimensão em planta, para os edifícios habitacionais a área varia geralmente entre os 101 e 150 m², sendo bastante inferior para as construções destinadas a fins agrícolas ou à guarda de animais (Figura 6.4). Houve, no entanto, casos em que a área de construção é maior, ultrapassando os 150 m², tratando-se de espaços de comércio, como é o caso da construção identificada como 2.1, localizada no concelho de Aljezur, ou a construção 7.1 identificada em Lagoa.

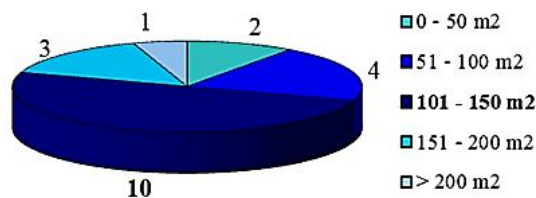


Figura 6.4 - Distribuição das áreas

Associadas a paredes exteriores em taipa, as interiores também geralmente o são, havendo contudo casos de paredes interiores de compartimentação de adobe ou tabique.

Dos edifícios analisados, em 19 verificou-se a existência de paredes de compartimentação, dos quais 12 construídas em taipa, 6 em adobe e um único com paredes em tabique (Figura 6.5).

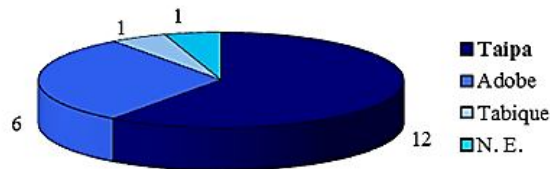


Figura 6.5 - Tipologias das paredes de compartimentação

As paredes exteriores em taipa apresentam espessuras que variam entre os 45 cm e os 60 cm, possuindo as paredes interiores quando em taipa dimensões ligeiramente inferiores às exteriores; quando em adobe apresentam espessuras entre 14 e 17 cm e no caso de paredes interiores de tabique, apenas observadas no edifício 1.1, possuem uma espessura total de 15 cm, incluindo uma camada de reboco de cal em cada face com 1,5 cm.

6.3. Aspectos construtivos

Nos edifícios caracterizados identificaram-se alguns aspectos construtivos, designadamente para limitar a acção da água e para melhorar o comportamento mecânico, que se analisam em seguida.

6.3.1. Para limitar a acção da água

Os principais aspectos construtivos identificados para limitar o acesso da água ao interior das construções consistem na existência de embasamentos em pedra na base das paredes, no revestimento das paredes exteriores com reboco com adição de cal e na presença de coberturas em telhado providas de beirados salientes.

Os embasamentos em pedra constituem a fundação e base das paredes, aumentando a resistência das paredes aos agentes agressivos na zona junto ao solo, onde a erosão é mais acentuada e reduzem o efeito de ascensão da água por capilaridade a partir do solo (Figura 6.6 e Figura 6.7).

Verifica-se que a largura do embasamento é constante, acompanhando toda a largura da parede e apresenta uma altura variável entre 20 cm e 100 cm, como se pode ver na Figura 6.8, com predominância de altura situada no intervalo entre 41 e 60 cm. Em 6 casos não foi possível averiguar a existência de embasamentos.



Figura 6.6 - Embasamentos em pedra



Figura 6.7 - Pormenor do embasamento

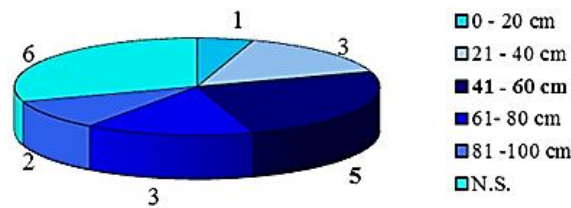


Figura 6.8 - Altura média dos embasamentos

A aplicação de um revestimento permitia disfarçar e corrigir eventuais defeitos e imperfeições do suporte, tendo portanto não só a função de protecção do paramento mas também uma função estética. Como tal o revestimento era geralmente espesso o suficiente para evitar a exposição do suporte a agentes agressivos e assegurar a verticalidade e planeza da superfície (Figura 6.9 e Figura 6.10).

O revestimento das paredes com argamassa de reboco era, em muitos casos, apenas executado na fachada principal, ficando as restantes paredes com taipa à vista e, conseqüentemente, mais expostas e vulneráveis a acções de deterioração.

A aplicação do revestimento sobre as paredes é essencial para garantir a preservação das suas características, promovendo a indispensável impermeabilização bem como a protecção à erosão ou ataque de insectos.



Figura 6.9 - Caição a cinza e amarelo



Figura 6.10 - Caição a azul e vermelho

O revestimento das paredes é de rebocos de argamassas fracas de cal aérea e terra ou areia, sendo nalguns edifícios simplesmente efectuada a caição dos paramentos. Além do aspecto estético proporcionado, o revestimento permite a impermeabilização das paredes, o que contribui para a protecção das construções.

Constatou-se a presença de revestimento com argamassa de reboco em todos os paramentos em 14 edifícios, em 2 edifícios o revestimento apenas tinha sido aplicado na fachada principal e em 4 construções não tinha sido aplicado qualquer revestimento (Figura 6.11).

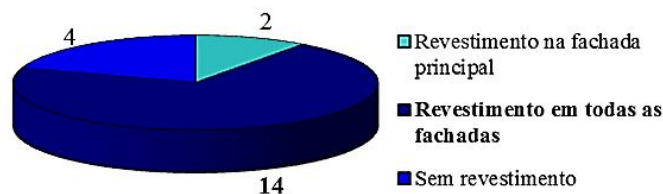


Figura 6.11 - Revestimento das fachadas

No que se refere às coberturas, estas são inclinadas, maioritariamente de duas águas, revestidas com telha de canudo.

É de salientar a existência de inclinações acentuadas para facilitar o rápido escoamento da água, bem como a grande sobreposição existente entre as telhas, para evitar a entrada de água perante a acção do vento incidente, durante os períodos de chuva.

A estrutura da cobertura é constituída por barrotes de madeira dispostos em duas direcções, as varas, colocadas na perpendicular à fachada e ripas de madeira colocadas perpendicularmente àquela e paralelamente à cumeeira, quando existe (Figura 6.12). Em alguns casos as varas são substituídas por uma esteira de cana (Figura 6.13), o que permite realizar uma ventilação constante da superfície interior das telhas promovendo a sua secagem rápida.

Após verificação “in situ” e posterior análise das fichas de caracterização verifica-se que mais de metade das construções, 13 das 20 observadas, possui uma esteira de cana apoiada nos barrotes de madeira, para suporte das telhas.



Figura 6.12 - Estrutura da cobertura com ripado de madeira



Figura 6.13 - Estrutura da cobertura com esteira de cana

A execução dos beirados salientes, observada em todas as construções, é um aspecto fundamental. Esta solução permite afastar a chuva para “longe” do paramento da parede, evitando a degradação por escorrência da água junto à superfície da parede (Figura 6.14 e Figura 6.15).



Figura 6.14 - Pormenor de beirado saliente na cobertura



Figura 6.15 - Novo pormenor de beirado

6.3.2. Para melhorar o comportamento mecânico

Relativamente ao comportamento mecânico existem aspectos principais que importa considerar, em primeiro lugar, a fraca capacidade de reposta das estruturas perante acções horizontais e a

necessidade de prever soluções adequadas para a cobertura, evitando a componente horizontal da carga do telhado, bem como a necessidade de proceder ao reforço das zonas de abertura dos vãos para suportar a concentração de tensões que aí surgem.

Nos edifícios analisados identificaram-se alguns reforços como cintas, tirantes, poiais e contrafortes, distribuídos conforme se indica na Figura 6.16.

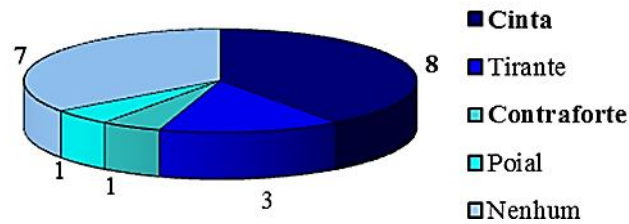


Figura 6.16 - Tipos de reforços para contrariar as acções horizontais

As cintas e os tirantes são elementos metálicos utilizados para minorar o efeito dos esforços de flexão das paredes para fora do seu plano. Funcionam como uma armadura passiva, uma vez que estes elementos apenas serão mobilizados quando ocorrem modificações nos estados de equilíbrio da estrutura, passando a estar traccionados. No caso da cinta, mais utilizada em edifícios destinados à habitação, o reforço consistia na colocação de um varão de aço embebido em argamassa de cal, ou cimento mais recentemente, colocado num roço existente em todo o perímetro da construção (Figura 6.17 e Figura 6.18). Os tirantes são constituídos por varões de aço que ligam duas paredes opostas ao nível do frechal, ancorados nas extremidades com peças especiais de fixação, passando os varões de aço pelo interior dos compartimentos, sendo por isso mais comuns em armazéns de comércio ou apoio à agricultura e criação de gado (Figura 6.19 e Figura 6.20).



Figura 6.17 - Elementos metálicos – linha



Figura 6.18 - Pormenor da linha



Figura 6.19 – Elementos metálicos - tirantes



Figura 6.20 – Pormenor de tirante

Ao nível da base das paredes existem, em alguns casos, poiais, que são pequenos muretes em pedra que funcionam como banco de descanso (Figura 6.21 e Figura 6.22). Ao nível das fachadas existem os contrafortes, elementos de elevada massa executados em pedra ou pedra e terra, colocados no exterior perpendicularmente às paredes. Estes elementos têm a função de travar as paredes exteriores evitando a sua rotação para o exterior, garantindo a verticalidade das paredes e uma oposição às acções horizontais actuantes, como a acção resultante das coberturas inclinadas. São colocados geralmente em paredes opostas, distribuídos principalmente nas fachadas principal e tardoz, existindo no entanto ainda a possibilidade da sua colocação nos cantos, na zona dos cunhais de forma a contraventar duas fachadas ortogonais em simultâneo (Figura 6.23 e Figura 6.24).



Figura 6.21 - Poial em pedra



Figura 6.22 - Pormenor de poial



Figura 6.23 - Contraforte em parede de fachada



Figura 6.24 - Contrafortes e poiais em paredes de fachada

Relativamente à estrutura de suporte da cobertura, na maior parte dos casos identificados, tratam-se de coberturas de 2 águas, com a presença de uma parede-mestra, construída também ela em taipa (Figura 6.25). Esta parede que também desempenhava uma função de compartimentação interior, permitia um melhor comportamento estrutural, suportando uma parte das cargas provenientes do telhado e reduzindo, assim, as acções incidentes sobre as paredes exteriores (Figura 6.26). Embora em menor número, também foi possível identificar situações de reforço na zona da cumeeira, através da utilização de vigas de madeira de apreciável secção e, em resultado de acções de reabilitação mais recentes, de vigas de betão armado (Figura 6.27).

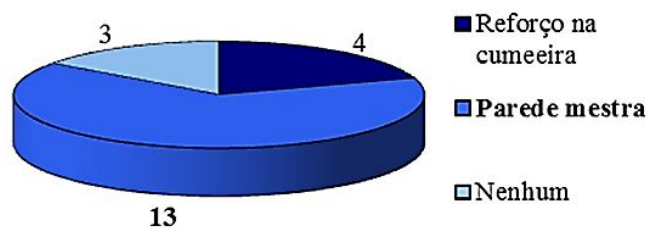


Figura 6.25 - Distribuição das construções quanto ao tipo de estrutura para suporte do telhado



Figura 6.26 – Parede mestra na zona central do telhado



Figura 6.27 – Viga para reforço na zona da cumeeira

Em alguns casos identifica-se a utilização de asnas de madeira, estruturas em treliça executadas com elementos de secção, geralmente circular, quer pela necessidade de libertar o espaço interior, eliminando a possibilidade de execução da parede mestra, quer pela elevada dimensão dos vãos, onde não seria suficiente a colocação de uma viga sob a cumeeira (Figura 6.28).

A introdução destas asnas permitia anular o efeito prejudicial da componente horizontal do peso do telhado, o que em termos estruturais constitui uma solução extremamente vantajosa.



Figura 6.28 - Estrutura reticulada de madeira para suporte da cobertura

Na zona de abertura de vãos verifica-se a introdução, quase generalizada, de lintéis de reforço nas padieiras dos vãos, executados geralmente em madeira (Figura 6.29 e Figura 6.30) e mais raramente em pedra, em tijoleiras colocadas ao cutelo ou mesmo “vigas” de cal e areia. (Figura 6.31 e Figura 6.32). Estes lintéis encontram-se embutidos lateralmente nas paredes, sendo assim colocados em zonas de grande concentração de esforços, permitindo a respectiva redistribuição junto aos cantos das aberturas, quer de janelas, quer de portas.



Figura 6.29 - Lintel de reforço em madeira (1).



Figura 6.30 - Lintel de reforço em madeira (2).

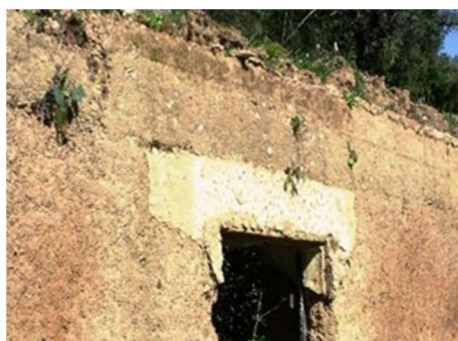


Figura 6.31 - Lintel de reforço em terra e cal (1).



Figura 6.32 - Lintel de reforço em terra, cal e pedras (2).

6.4. Principais patologias

A maior parte das patologias surge associada à idade dos edifícios e ao natural envelhecimento dos materiais, agravado pela escassez de operações de manutenção e, por vezes, pela utilização de materiais e processos construtivos inadequados aquando de pontuais acções de reabilitação.

As principais patologias encontram-se ao nível das paredes e nas coberturas.

Em paredes, o elemento de maior área, logo o elemento mais exposto, verificou-se a existência de diversas patologias, tais como, a desagregação do material, fissuração/fendilhação, erosão por agentes atmosféricos, presença de água/humidade, ataque de insectos (agentes biológicos), esmagamento, rotura em cunhais e corrosão de elementos metálicos e reforço.

A desagregação do material foi identificada com mais frequência na face mais exposta paramento exterior, (Figura 6.33 e Figura 6.34) e diz respeito à “separação/fragmentação” de parte da estrutura da parede, sendo mais frequente nas paredes sem qualquer revestimento de protecção.



Figura 6.33 - Erosão da parede de taipa devido à exposição aos agentes atmosféricos



Figura 6.34 - Novo pormenor da erosão em paredes de taipa

Esta desagregação é consequência da exposição a ciclos contínuos de molhagem e secagem das paredes, que originam uma lavagem das partículas mais finas e que, agravada pela erosão provocada pela acção do vento conduz à degradação das paredes, principalmente junto ao topo do embasamento.

Ao nível dos elementos de madeira, nomeadamente, dos lintéis nas padieiras ou da estrutura da cobertura, foi possível observar em muitas construções o seu apodrecimento, com perda das suas propriedades físicas e mecânicas, devido à presença de humidade, quer com origem na precipitação, quer por escorrência de água dos telhados (Figura 6.35).



Figura 6.35 – Escorrência de água dos telhados

A presença de fissuração foi outra das patologias observadas, tendo-se identificado fissuras de origem estrutural em muitas construções, principalmente junto à ligação de paredes ortogonais, nos cunhais, ou junto às aberturas dos vãos, o chamado “efeito bigode”, que diz respeito a uma fissuração maioritariamente diagonal com inclinação aproximada de 45° a partir dos vértices dos vãos (Figura 6.36, Figura 6.37 e Figura 6.38).



Figura 6.36 - Fissuração por destacamento entre paredes ortogonais.



Figura 6.37 - Fissura vertical



Figura 6.38 - Fissuração diagonal a partir dos vãos

A fissuração nos cunhais surge em consequência do “descolamento” entre paredes ortogonais, por rotação de algum ou de ambos os panos de parede em torno da base. Sendo uma patologia bastante frequente, foi identificada nas construções que não possuem elementos de reforço para limitar o efeito das acções horizontais (Figura 6.39 e Figura 6.40).

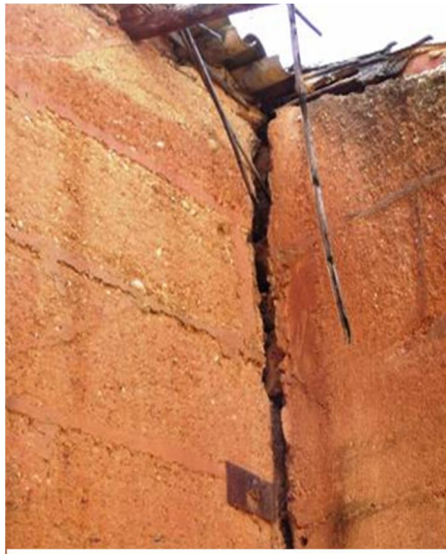


Figura 6.39 - Rotura em cunhais

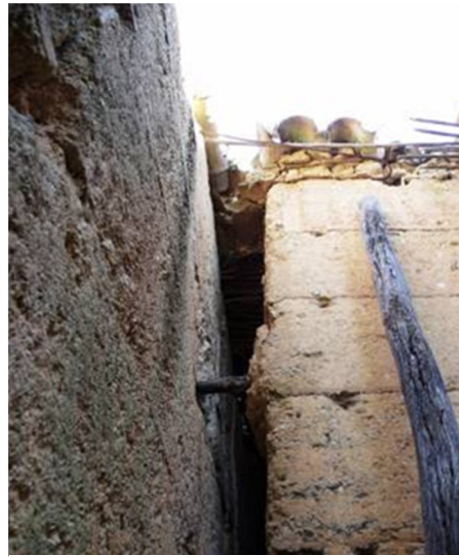


Figura 6.40 - Pormenor da rotura em cunhais

A análise e observação “in situ” das paredes permitiu identificar ainda o ataque de agentes biológicos, constatando-se a presença de ninhos de insectos, cuja presença acelera a degradação da parede aumentando a velocidade de erosão e facilitando o acesso de água ao interior das paredes através dos múltiplos orifícios que provocam (Figura 6.41 e Figura 6.42).



Figura 6.41 - Ataque de insectos na zona sob o beirado



Figura 6.42 - Ataque de insectos no lintel de reforço em madeira e zona envolvente

Verificou-se que em paredes revestidas com argamassa este fenómeno é menos frequente uma vez que o revestimento constitui uma eficaz protecção do suporte, quer pela maior resistência superficial proporcionada, quer pelo efeito bactericida da cal.

Em algumas situações, foi possível verificar o aparecimento de zonas de esmagamento do material, consequência da existência de zonas de grande concentração de tensões,

designadamente, no topo das paredes, onde o esmagamento ocorre em virtude da carga do telhado ser transmitida de forma pontual, através dos barrotes assentes directamente sobre as paredes.

Devido à idade das construções e à falta de protecção, os elementos metálicos identificados apresentam níveis elevados de corrosão, em consequência da oxidação resultante da presença de água, quer a existente no interior das paredes, quer proveniente do exterior (Figura 6.43 e Figura 6.44).



Figura 6.43 - Corrosão da cinta existente, embebida no reboco



Figura 6.44 - Corrosão da cinta colocada pelo exterior das paredes

Foi também identificada a existência de várias situações de destacamento dos revestimentos (Figura 6.45 e Figura 6.46).



Figura 6.45 - Destacamento do revestimento em reboco



Figura 6.46 - Pormenor do destacamento do reboco

Ao nível das coberturas a principal patologia identificada foi a degradação parcial ou mesmo total da estrutura de suporte, o que facilita o acesso de água ao interior da construção ou ao interior das paredes resistentes, dando origem a outras patologias.

6.5. Análise do material

Após a localização e caracterização das construções procedeu-se à recolha “in situ” de terra para análise em laboratório.

A recolha de amostras foi efectuada em paredes que já se apresentavam danificadas, para evitar causar qualquer dano às construções.

Foram recolhidas amostras em 14 construções, os edifícios designados 2.1, 2.2, 3.1, 3.3, 3.4, 4.1, 4.4, 4.5, 5.1, 5.2, 6.1, 8.1, 8.2 e 8.3.

Em laboratório foi primeiramente realizada a análise granulométrica de cada amostra recolhida, seguida do teste de sedimentação, para inferir a constituição do solo. Foram ainda realizados testes expeditos, nomeadamente, o teste da bola e o ensaio de absorção, bem como ensaios para caracterização do comportamento mecânico do material.

Para alguns destes ensaios foi necessária a execução de provetes com as dimensões de 4 x 4 x 16 [cm]. Estes provetes foram executados com a fracção da amostra passada no peneiro nº 10, de 2 mm, com o teor em água indicado no teste expedito da bola. Para o ensaio de absorção foram ainda executados provetes estabilizados com cal aérea hidratada.

Dada a impossibilidade de recolha de material em quantidade suficiente para a execução dos referidos provetes, os ensaios de absorção e avaliação do comportamento mecânico das amostras foram apenas realizados para 8 construções: edifícios 3.1, 3.3, 3.4, 4.1, 4.4, 4.5, 5.1 e 5.2.

Os provetes foram executados em moldes de madeira, totalmente desmontáveis, para facilitar a sua desmoldagem (Figura 6.47). Inicialmente foram executados seis provetes para cada uma das amostras de terra, que foram submetidos aos ensaios de tracção e compressão. Posteriormente foi necessário executar mais alguns provetes para confirmar alguns dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais inicialmente realizados.

A cura de cada um dos provetes foi executada ao ar, em ambiente seco, durante um período mínimo de três meses, em condições em tudo semelhantes às que se supõem existentes aquando da execução da taipa.

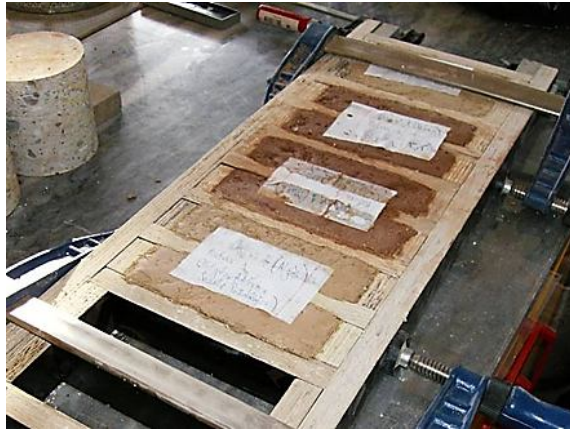


Figura 6.47 - Execução dos provetes

6.5.1. Análise granulométrica

As análises granulométricas foram feitas de acordo com a Especificação 239 – 1970, relativa à análise granulométrica por peneiração húmida, tendo sido efectuada a comparação com as indicações do grupo CRATerre: por um lado, com os fusos limite indicados para a execução de taipa, que limitam superior e inferiormente o intervalo das curvas granulométricas; por outro a constituição considerada ideal para esta técnica construtiva, nomeadamente, uma quantidade de seixo máxima de 15%, de areia entre 40% e 50%, de silte entre 20% e 35% e de argila entre 15% e 25%.

De acordo com os resultados obtidos, apresentados no Anexo II, constatou-se que aproximadamente 85% das amostras estudadas está dentro dos limites estabelecidos por CRATerre (1979), ficando somente duas amostras, 8.2 e 8.3, fora do intervalo preconizado na referida publicação, como se verifica na Figura 6.48 e Tabela 6.2.

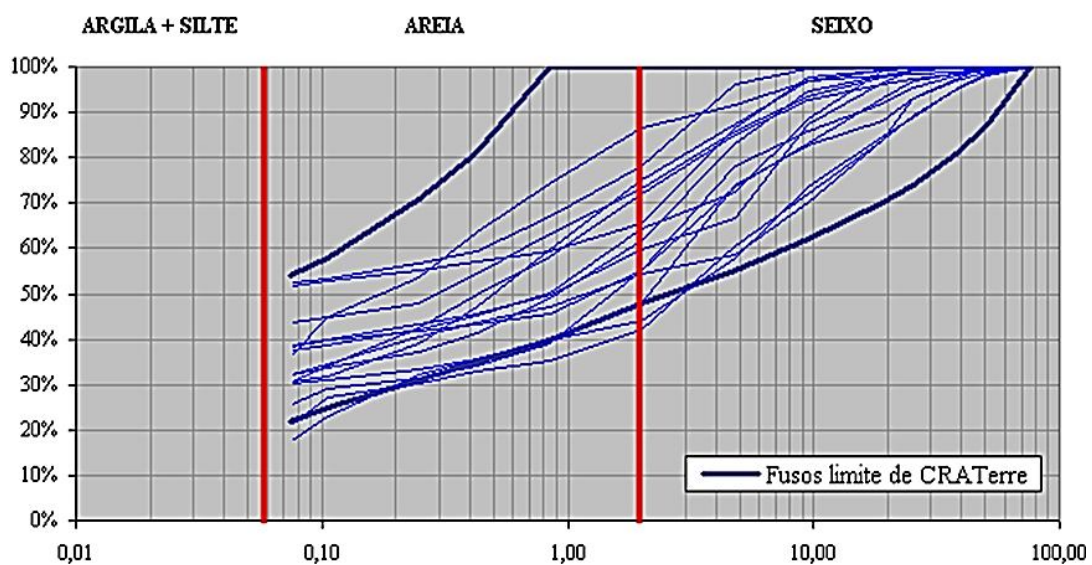


Figura 6.48 - Análise comparativa das curvas granulométricas, com os fusos limite de CRATerre

Tabela 6.2 – Resultados da análise granulométrica

Identificação da construção	Resultados da análise granulométrica		
	Seixo [%]	Areia [%]	Argila+Silte [%]
2.1	21,9%	25,8%	52,3%
2.2	44,7%	29,1%	26,2%
3.1	40,1%	21,3%	38,6%
3.3	35,7%	26,8%	37,5%
3.4	45,5%	22,3%	32,2%
4.1	26,7%	29,4%	43,8%
4.4	24,8%	44,6%	30,6%
4.5	38,2%	29,5%	32,2%
5.1	27,8%	41,2%	31,0%
5.2	13,3%	50,1%	36,6%
6.1	34,4%	13,7%	51,9%
8.1	44,4%	16,9%	38,7%
8.2	55,0%	26,2%	18,8%
8.3	56,7%	20,9%	22,4%

Relativamente à composição ideal, verifica-se que a curva granulométrica da construção 5.2, é a que mais se aproxima da curva ideal indicada por CRATerre, sendo constituída por 13,3% de seixo, 50,1% de areia e 36,6% de argila e silte.

Destacam-se ainda as curvas 8.2 e 8.3 por apresentarem na sua constituição uma fracção de seixo superior a 50 %, especificamente, 55,0 % e 56,7 % respectivamente e as curvas 2.1 e 6.1, em que é a fracção fina que é mais significativa, com valores de 52,3 % e 51,9 %.

6.5.2. Teste de sedimentação

O teste de sedimentação foi realizado de acordo com o indicado por Brito (2008).

Para o efeito encheu-se, com a terra em análise, um quarto de um frasco cilíndrico com a fracção passada no peneiro nº 10, de 2mm, colocou-se aproximadamente 5g de hexametáfosfato de sódio (que tem propriedades anti-floculantes) e preencheu-se o espaço restante com água. Agitou-se o recipiente bem selado durante 1 minuto e deixou-se repousar, durante 1 hora. Voltou a agitar-se novamente o frasco durante 1 minuto e colocou-se em repouso sobre uma superfície plana, protegido da luz solar (Figura 6.49).

Foram realizadas 3 medições, a primeira após 1 minuto de repouso, a segunda passados 45 minutos e a última após 24 horas. Anotou-se a altura das camadas sedimentadas no fundo do frasco, cujos resultados se apresentam no Anexo II, juntamente com os resultados da análise granulométrica.



Figura 6.49 - Teste de sedimentação

A primeira camada, depositada ao fim de 1 minuto, é a areia, já identificada na análise granulométrica; ao fim de 45 minutos já é possível observar as camadas de areia e silte sedimentadas e ao fim de 24 horas as camadas de areia, silte e argila.

Na Tabela 6.3 encontram-se os resultados obtidos.

Tabela 6.3 – Resultados do teste de sedimentação

Identificação da construção	Resultados do teste de sedimentação	
	Argila [%]	Silte [%]
2.1	3,1%	49,3%
2.2	4,6%	21,5%
3.1	24,8%	13,8%
3.3	22,5%	15,0%
3.4	13,8%	18,4%
4.1	17,5%	26,3%
4.4	10,9%	19,7%
4.5	15,3%	16,9%
5.1	7,2%	23,8%
5.2	17,4%	19,3%
6.1	11,0%	40,9%
8.1	7,7%	31,0%
8.2	4,7%	14,1%
8.3	6,7%	15,7%

As amostras provenientes das construções 3.1 e 3.3 possuem as maiores percentagens de argila na sua constituição, nomeadamente, 24,8 % e 22,5 %, enquanto as amostras 2.1 e 6.1 evidenciam uma fracção de silte mais significativa, 49,3 % e 40,9 %.

6.5.3. Teste da bola

O teste da bola, (Brito, 2008) foi utilizado para determinar o teor em água desejável do solo e consistiu na execução de uma bola de solo, após amassar uma quantidade de 50 g de terra inicialmente com 10 % de água e corrigido sucessivamente até conclusão do ensaio. Durante o ensaio, a bola de solo é deixada cair com o braço esticado à altura do ombro, uma vez para cada um dos teores em água. Quando a bola se desintegra em 3 a 6 partes considera-se que atingiu o teor em água ideal.

Em seguida apresentam-se os resultados obtidos no teste da bola (Tabela 6.4).

Tabela 6.4 – Resultados do teste da bola

Identificação da construção	Teste da bola
	Teor em água [%]
2.1	15,0%
2.2	10,1%
3.1	15,1%
3.3	15,0%
3.4	12,6%
4.1	15,1%
4.4	10,3%
4.5	12,6%
5.1	11,5%
5.2	13,3%
6.1	14,2%
8.1	14,9%
8.2	11,7%
8.3	13,1%

Analisando os resultados obtidos relativos à constituição das amostras resultantes da análise granulométrica e teste de sedimentação, e os valores apresentados na Tabela 6.4, retiram-se algumas conclusões:

- considerando as amostras em que a fracção fina é menos significativa, 8.2, 8.3 e 2.2, com quantidade de finos de 18,8 %, 22,4 % e 26,2 % respectivamente e os teores em água de 11,7 %,

13,1 % e 10,1 % é possível obter valores médios de 22,5 % e 11,6 % para a fracção média de finos das amostras e teor em água;

- relativamente às amostras em que é a fracção fina a mais significativa, 2.1, 6.1 e 4.1, com 52,3 %, 51,9 % e 43,8 % de finos e teores em água de 15 %, 14,2 % e 15,1 %, obtém-se um valor médio de 49,3 % para a fracção média de finos e 14,8 % para o teor em água;

- verifica-se que, tendencialmente os solos em que a fracção fina (argila e silte) é mais significativa, considerando neste caso a fracção média de finos de 49,3 % referida acima, conduzem à obtenção de um teor em água mais elevado, de 14,8 %, relativamente aos 11,6 % médios obtidos para a média das três amostras em que a fracção fina é menos significativa.

6.5.4. Ensaio de absorção de água

O principal objectivo do ensaio de absorção de água é o de avaliar a capacidade que o material tem para absorver água, sem alterar a sua forma. Este ensaio expedito permite tirar conclusões sobre o comportamento do material face à acção da água.

O ensaio consistiu em determinar o peso dos provetes secos e de seguida mergulhá-los em água até um quarto da sua altura, durante um período de 5 minutos, passados os quais os provetes foram retirados da água e colocados durante mais 5 minutos à temperatura ambiente, seguido de nova pesagem. A variação de massa e de forma dos provetes obtida pela diferença entre as pesagens do material nos dois instantes permite avaliar, além da sua capacidade de absorção, a sua capacidade de manter a sua forma inicial, sem se desintegrar sob acção da água (Figura 6.50).



Figura 6.50 - Ensaio de absorção de água

Durante a realização do ensaio verificou-se, uma desfragmentação generalizada dos provetes executados somente com terra. A tabela 6.5 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios de absorção realizados para os vários provetes de terra simples e de terra estabilizada com adição de 10 % de cal aérea hidratada, com a indicação do respectivo valor médio.

Tabela 6.5 - Resultados do ensaio de absorção dos provetes

Construção		Água absorvida [%]	Média [%]
Terra	3.1	Desfrag.	Desfrag.
	3.3	Desfrag.	
	3.4	Desfrag.	
	4.1	Desfrag.	
	4.4	Desfrag.	
	4.5	Desfrag.	
	5.1	Desfrag.	
Terra + 10% Cal	3.1	12,98	11,53
	3.3	11,99	
	3.4	10,04	
	4.1	15,06	
	4.4	8,19	
	4.5	11,39	
	5.1	10,17	
	5.2	12,44	

Constata-se a debilidade dos provetes constituídos por terra simples, que se desfragmentaram na totalidade. A introdução de 10 % de cal teve por base as indicações retiradas da pesquisa realizada (CRATerre, 1979), tendo-se verificado que essa opção se revelou muito vantajosa, tendo permitido melhorar significativamente o comportamento da terra face à acção da água.

A estabilização com este aditivo permite, portanto, evitar a desagregação do material, garantindo que a sua forma se mantém praticamente inalterada quando sujeito à acção directa da água.

A Figura 6.51 ilustra os resultados acima referidos, relativos à absorção dos provetes estabilizados com 10 % de cal, com a indicação a vermelho do valor médio obtido.

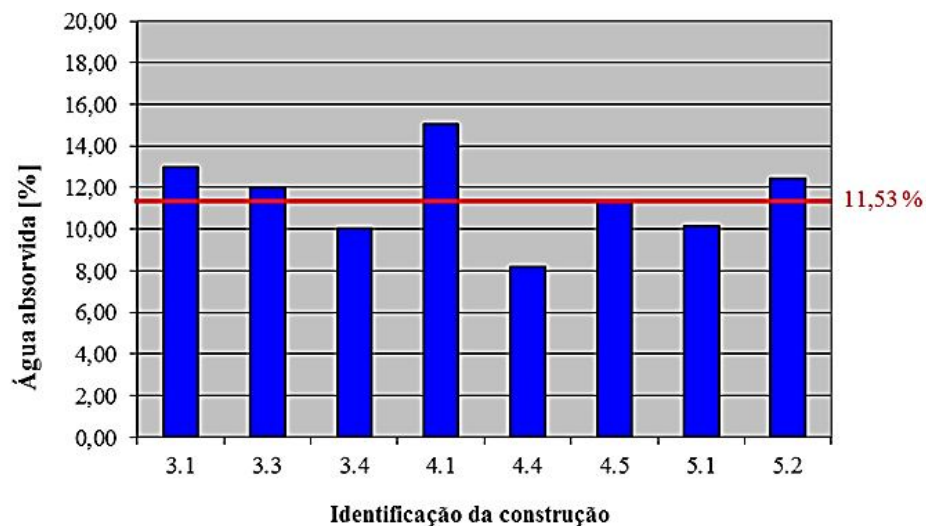


Figura 6.51 - Resultados do ensaio de absorção de água

6.5.5. Características mecânicas

Para avaliar as características mecânicas os provetes, após secagem, foram submetidos a ensaios de tracção por flexão e compressão para inferir a respectiva resistência mecânica.

6.5.5.1. Ensaio de tracção por flexão

O ensaio de tracção por flexão permitiu determinar a respectiva tensão de rotura dos provetes, medindo a força máxima aplicada. Este ensaio, realizado aos provetes de terra não está estabelecido em nenhuma norma ou especificação, tal como acontece para a maior parte dos ensaios, pelo que foi adaptado o procedimento expresso na norma NP EN 196 -1 (2006), relativa à determinação das resistências mecânicas dos cimentos. Para o efeito os provetes foram apoiados em duas barras que distam 100 mm e sobre estes foi aplicada uma carga linear uniforme a velocidade constante, transversal à secção a meio vão (Figura 6.52). A força para a qual cada provete atingia a rotura foi registada e a partir desta foi calculada a respectiva tensão de tracção, de acordo com o indicado na equação 6.1



Figura 6.52 - Ensaio de tracção por flexão

A tensão de tracção foi obtida a partir da equação seguinte:

$$\sigma = \frac{\frac{F}{2} \times \frac{100}{2} \times y}{I} \quad [N/mm^2] \quad (6.1)$$

Onde:

F - Força média resistente (N);

y - Distância à fibra central da peça ($y = 20$ mm);

I - Inércia da secção ($I = 213\,333,3$ mm⁴).

A Tabela 6.6 apresenta os valores médios obtidos, a partir dos seis provetes ensaiados para cada construção, nomeadamente, a força e tensão médias.

Tabela 6.6 – Resultados do ensaio de tracção por flexão

Identificação da construção	Força média [N]	Tensão média de tracção [N/mm ²]
3.1	365,499	0,857
3.3	203,666	0,477
3.4	206,333	0,484
4.1	198,333	0,465
4.4	193,666	0,454
4.5	216,833	0,508
5.1	161,500	0,379
5.2	126,000	0,295

Da análise da Tabela 6.6 verifica-se que a tensão média de tracção dos provetes varia entre um mínimo de 0,295 N/mm², obtido para a construção 5.2, e um máximo de 0,857 N/mm², obtido para a construção 3.1, com um valor médio de 0,489 N/mm².

6.5.5.2. Ensaio de compressão

Para o ensaio de resistência à compressão foram utilizadas as metades dos provetes ensaiados à tracção por flexão. Os provetes foram colocados numa prensa, sobre uma superfície lisa, cuja área de contacto é de 16 cm², quer na parte inferior quer na superior e em seguida foi aplicada uma carga uniformemente distribuída, como é possível ver na Figura 6.53.



Figura 6.53 - Ensaio de compressão

A força de compressão aquando da rotura foi registada e posteriormente convertida em tensão de compressão uniaxial. À semelhança do que acontece com o ensaio de flexão, não existe nenhuma norma ou especificação própria para a realização deste ensaio com terra tendo-se optado pela utilização da NP EN 196 -1 (2006), relativa a cimentos.

A tensão de compressão foi calculada através da seguinte equação:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [N / mm^2] \quad (6.2)$$

Onde:

F - Força de compressão (N);

A - Área da secção ($A = 1600 \text{ mm}^2$).

Os valores médios obtidos apresentam-se na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Resultados do ensaio de compressão

Identificação da construção	Força média [N]	Tensão média de compressão [N/mm ²]
3.1	4521,333	2,826
3.3	3560,500	2,225
3.4	3614,667	2,259
4.1	2605,500	1,628
4.4	4354,667	2,722
4.5	4231,000	2,644
5.1	2608,833	1,631
5.2	2715,667	1,697

Com as tensões médias de tracção e compressão obtidas para cada construção foi executado o gráfico representado na Figura 6.54, que em abcissa identifica as construções e em ordenada, os valores da tensão média, em N/mm².

Na figura estão ainda evidenciados os valores médios obtidos para a tensão de tracção por flexão (0,489 N/mm²) e compressão (2,200 N/mm²) dos provetes ensaiados. A tensão de flexão corresponde em média a 22% do valor obtido para a tensão de compressão.

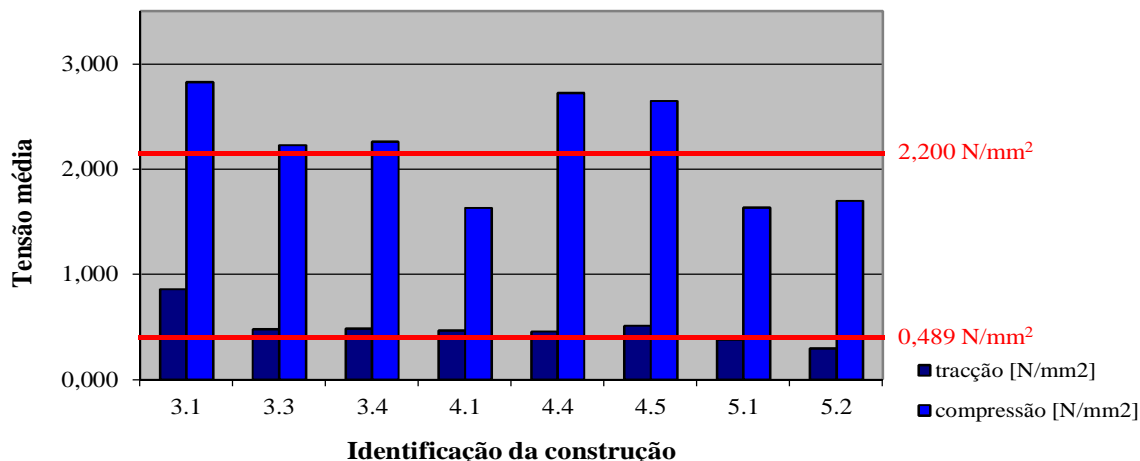


Figura 6.54 - Tensões médias de flexão e compressão para as várias construções

Apresentam-se ainda, na Tabela 6.8 os resultados médios dos ensaios de tracção e compressão executados aos provetes estabilizados com 10 % de cal.

Tabela 6.8 - Resultados do ensaio de tracção e compressão com adição de 10% de cal

Identificação da construção	Tensão média [N/mm ²]	
	Tracção	Compressão
3.1	0,860	3,015
3.3	0,480	2,310
3.4	0,488	2,301
4.1	0,497	1,685
4.4	0,496	2,828
4.5	0,483	2,810
5.1	0,399	1,767
5.2	0,302	1,786

Observa-se um ligeiro aumento da resistência à compressão, aproximadamente 8 %, não tendo sido possível confirmar, se esta tendência se acentua com a passagem do tempo, uma vez que só foi possível garantir uma cura de três meses.

6.6. Análise estrutural de dois casos de estudo

A análise da capacidade resistente foi realizada para duas construções, designadamente a construção 5.1, localizada no concelho de Alcoutim e a construção 4.2 localizada em Silves. Ambas foram seleccionadas pela sua representatividade, em termos arquitectónicos e construtivos: a construção 5.1, localizada na zona do Algarve de menor risco sísmico, onde a acção sísmica do tipo 1 (sismo afastado) corresponde à zona 1.3 e a acção sísmica do tipo 2 (sismo próximo) corresponde à zona 2.4, a construção 4.2 localizada nas zonas 1.2 e 2.3, respectivamente.

A regularidade em planta e respectiva dimensão, espessura das paredes resistentes, estrutura, inclinação, número de águas e revestimento do telhado, número, localização e dimensão dos vãos, material constituinte dos blocos de taipa utilizados e dimensão destes constituem os principais parâmetros de representatividade considerados.

6.6.1. Material

Procedeu-se à utilização de três materiais diferentes, a taipa, a madeira e o betão armado.

Pode parecer contraditório que se proceda ao reforço de um material e sistema construtivo que claramente revelam um exemplar carácter de sustentabilidade, com betão armado, de índole claramente distinta e, além disso, com uma manifesta incompatibilidade em termos mecânicos, designadamente através de módulos de elasticidade muito diferentes. O objectivo não era, porém, apresentar uma solução de reabilitação perfeitamente definida, mas somente verificar o comportamento estrutural de uma construção em terra convenientemente reforçada. Por isso se justificará a opção por um material comumente utilizado, com propriedades perfeitamente identificadas e reconhecidas, e com o qual se simplificam os procedimentos, quer em termos de dimensionamento, quer posteriormente durante a intervenção.

A taipa foi caracterizada com base nos ensaios laboratoriais realizados. O valor médio obtido para a massa volúmica da terra foi de $2,08 \text{ ton/m}^3$, tendo sido considerado o valor de 2 ton/m^3 . O peso volúmico considerado foi de 20 kN/m^3 e o módulo de elasticidade, determinado de acordo com a norma NP EN 1052-1 (2002) em ensaios anteriores realizados no laboratório, foi de $304\,000 \text{ kN/m}^2$, tendo-se considerado o valor de $300\,000 \text{ kN/m}^2$ (Braga & Estevão, 2010). Relativamente ao coeficiente de Poisson, o valor considerado foi de 0,20, de acordo com Lourenço & Oliveira (2005).

Relativamente à madeira e ao betão, utilizaram-se os valores existentes na bibliografia. Para o betão armado considerou-se $2,5 \text{ ton/m}^3$ para a massa volúmica, 25 kN/m^3 para o peso volúmico e $30\,500\,000 \text{ kN/m}^2$ para o módulo de elasticidade. O valor adoptado para o coeficiente de Poisson foi de 0,2 para todos os materiais. A tabela 6.9 sintetiza estes valores.

Tabela 6.9 – Caracterização dos materiais

Caracterização	Material		
	Taipa	Madeira	Betão armado C20/25
Massa volúmica (ρ) [ton/m ³]	2,0	1,0	2,5
Peso volúmico (γ) [kN/m ³]	20,0	10,0	25,0
Módulo de elasticidade (E) [kN/m ²]	300.000	10.000.000	30.500.000
Coefficiente de Poisson (ν)	0,2	0,2	0,2

6.6.2. Análise estrutural

Para o estudo do comportamento da estrutura seria desejável efectuar uma análise dinâmica não linear. Por impossibilidade de utilização de um programa informático de elementos finitos que o permitisse, recorreu-se então a um programa que apenas possibilita uma análise dinâmica linear do comportamento estrutural.

Assim, para a análise global, as propriedades dos materiais foram consideradas em regime elástico linear. No entanto, na verificação das tensões de corte nas paredes, a eventual diminuição de secção resistente devido à fendilhação do material, foi considerada através da verificação nó a nó da largura efectiva, designadamente largura da zona comprimida acrescida da zona traccionada cuja tensão actuante é inferior à tensão limite.

A análise estrutural foi realizada no programa de cálculo SAP 2000, considerando a acção sísmica através da introdução de espectros de resposta. A verificação foi efectuada para os estados limite últimos, considerando as combinações de acções preconizadas na NP EN 1998-1 (2010) – Projecto de estruturas resistentes à acção sísmica, designadamente para situações de projecto persistentes ou transitórias (combinações fundamentais) e para situações de projecto sísmicas, especificadamente para a acção sísmica do tipo 1 - S1 - (sismo afastado) e do tipo 2 – S2 - (sismo próximo).

Foram consideradas duas combinações de acções, conforme indicado na tabela 6.10.

Tabela 6.10 – Combinações de acções

<p>COMBINAÇÃO DE ACÇÕES PARA SITUAÇÕES DE PROJECTO PERSISTENTES OU TRANSITÓRIAS – COMBINAÇÕES FUNDAMENTAIS</p> $\gamma_{Gj,sup} G_{Kj,sup} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ $1,35 \times (PP + OPP) + 1,5 \times SC$
<p>COMBINAÇÃO DE ACÇÕES PARA SITUAÇÕES DE PROJECTO SÍSMICAS</p> $G_{Kj,sup} + A_{Ed}$ $(PP + OPP) + S1$ $(PP + OPP) + S2$

A acção sísmica foi considerada através da introdução dos espectros de resposta elástica gerados pelo programa de cálculo automático EC8SPEC, (V 1.01 de ESTEVÃO, 2010).

Para o efeito foram introduzidos dados no referido programa, designadamente a zona sísmica em que se localiza a construção, o tipo de solo, a classe de importância, o tipo de estrutura, o

coeficiente de amortecimento, a classe de ductilidade e o coeficiente de comportamento, sendo estes parâmetros adoptados em conformidade com a indicação da NP EN 1998-1 (2010).

Por se tratar de um edifício corrente, este pode ser classificado como pertencente à classe de importância II.

Tratando-se de um edifício em alvenaria de taipa, conseqüentemente, com reduzida ductilidade com base nos ensaios realizados, optou-se por considerar um coeficiente de comportamento unitário, inferior ao valor limite para alvenaria simples, para não minorar os esforços que se desenvolvem em regime não linear, dado que este tipo de alvenaria não está previsto no eurocódigo, e a adopção de coeficiente de comportamento superior a 1 não seria aconselhável por corresponder a um posicionamento contra a segurança.

O coeficiente de amortecimento considerado foi de 5%, sendo este o limite inferior a considerar de acordo com Vasques (2000), de forma a ser mais conservativo no cálculo.

Com base na pesquisa desenvolvida junto de algumas construções relativamente recentes existentes na proximidade, designadamente, no que se refere às características do terreno na base da fundação, e considerando tratar-se do mesmo tipo de terreno, considerou-se estar na presença de um terreno do tipo B, para os dois casos de estudo.

Para ter em conta as várias componentes do sismo, foi considerada a resposta correspondente à actuação da acção sísmica simultaneamente nas três direcções ortogonais no modelo de cálculo automático.

Para combinar os valores modais, recorreu-se ao método da combinação quadrática completa, definindo o amortecimento presente na estrutura a afectar igualmente todos os modos de vibração (Gomes, Brito & Lopes, 2008).

A verificação de segurança da estrutura relativamente aos estados limite últimos, foi realizada, no programa de cálculo automático, ao nível dos pontos críticos da estrutura, identificados através da análise das tensões máximas obtidas. De forma a sistematizar e simplificar a obtenção e análise dos esforços optou-se por realizar esta análise somente para os referidos pontos críticos, tendo sido efectuada posteriormente a análise desses valores comparativamente com os valores-limite obtidos laboratorialmente nos provetes executados em taipa.

Os valores limite considerados para a resistência à tracção e à compressão foram de 326 kN/m² e 1467 kN/m², respectivamente. Nos ensaios laboratoriais efectuados os valores médios obtidos foram de 489 kN/m² e 2200 kN/m², tendo-se optado por considerar apenas valores correspondentes a dois terços destes, de modo a aumentar a segurança no cálculo. A pequena dimensão dos provetes ensaiados, comparativamente com os blocos reais de taipa, bem como valores disponíveis para a terra crua na bibliografia consultada, designadamente, os valores de resistência preconizados por CRATerre e os resultados obtidos em ensaios de blocos de taipa no Laboratório de Construção da UAAlg, justificam esta precaução, tornando o cálculo mais conservativo.

O valor considerado para a resistência ao corte foi de 110 kN/m^2 , obtido em trabalhos anteriores desenvolvidos no mesmo laboratório (Braga & Estevão, 2010).

Na Tabela 6.11 apresentam-se os valores limite adoptados.

Tabela 6.11 - Valores limite adoptados para as características mecânicas da taipa

Caracterização mecânica da taipa	Valor obtido laboratorialmente	Valor limite considerado
Resistência à tracção por flexão [kN/m^2] (S^+)	489	326
Resistência à compressão [kN/m^2] (S^-)	2.200	1.467
Resistência ao corte [kN/m^2] (t)	110	110

Do programa SAP 2000 foram obtidos os valores designados por σ_{11} , σ_{22} e τ_{12} , a partir das quais foram calculadas as tensões principais (máxima e mínima), utilizando o Círculo de Mohr relativo a um estado plano de tensões.

Para o cálculo da tensão de corte resistente (τ_R) considerou-se o valor da tensão de corte obtida laboratorialmente (τ), afectado pela tensão axial efectiva (σ_{EF}) actuante em cada nó, que afecta o valor resistente, majorando-o no caso da tensão efectiva ser de compressão ou minorando-o no caso de existirem esforços de tracção.

Considerou-se um valor médio da tensão axial efectiva em cada um dos nós que corresponde ao valor médio obtido entre a tensão máxima e mínima (positiva no caso da tracção ou negativa no caso da compressão) actuante em cada nó, estando o valor da tensão máxima limitado pelo valor da tensão de tracção resistente do material, conforme equação 6.3.

$$\sigma_{EF} = \frac{\min(\sigma_{MAX}; \sigma_+) + \sigma_{MIN}}{2} \quad (6.3)$$

De qualquer forma, será expectável que o refinamento da malha de elementos finitos associado à mobilização de maior quantidade de massa da estrutura possa conduzir a uma aproximação dos diferentes valores dos elementos convergentes relativamente ao valor médio, o que justificará a consideração exclusiva dos referidos valores médios.

A verificação de segurança efectuada consistiu na comparação entre os valores máximos actuantes de tracção ($\sigma_{MÁX}$), compressão (σ_{MIN}) e corte (τ_{12}) e os respectivos valores limite, σ_+ , σ_- e τ_R respectivamente.

$$\sigma_{MÁX} < \sigma_+$$

$$\sigma_{MIN} < \sigma_-$$

$$\tau_{12} < \tau_R$$

6.6.3. Modelo de cálculo

Para a discretização das paredes resistentes de taipa, com uma espessura constante de 0,50 m, foram utilizados elementos bidimensionais tipo “shell” de quatro nós com três graus de liberdade em cada nó, que permitem obter, além dos valores máximos e mínimos, os gráficos de distribuição de tensões nas duas faces dos elementos paralelamente ao seu eixo.

Ao nível da cobertura foi considerado, como se verificou habitual, um telhado de duas águas, constituído por uma viga de cumeeira de madeira com secção quadrada de 0,20 m de lado, sobre a qual estão apoiados os barrotes igualmente de secção quadrada com 0,10 m de lado. Esses barrotes suportam, por sua vez, um forro em cana onde assentam as telhas de canudo.

Cada um dos elementos de madeira foi considerado um elemento unidireccional “frame” tendo sido rotulado em ambas as extremidades, de modo a simular a situação real, não originando a transmissão de momentos às paredes.

Os barrotes encontram-se afastados de 0,5 m, pelo que a zona de influência é também de 0,5 m, exceptuando os barrotes existentes nas extremidades em que a largura de influência é de 0,25 m.

A sobrecarga considerada para a cobertura (SC) foi estabelecida de acordo com a categoria da cobertura indicada na NP EN 1991-1 (2009), que corresponde à categoria H, por se tratar de uma cobertura não acessível, sobre a qual, o valor característico da carga uniformemente distribuída a adoptar é de 0,4 kN/m². Considerando a largura de influência aplicou-se uma carga de 0,2 kN/m em cada vara intermédia e de 0,1 kN/m nas de extremidade.

O peso próprio total da estrutura foi considerado através do somatório das cargas permanentes denominadas (PP) e (OPP). A carga (PP) corresponde ao peso próprio dos elementos que constituem a estrutura, somatório do peso das paredes de taipa e dos elementos estruturais do telhado (cumeeira e barrotes). A carga (OPP) diz respeito ao peso dos elementos de revestimento do telhado, ou seja das telhas de canudo de barro vermelho e do forro em cana.

O valor considerado para o cálculo da carga actuante das telhas foi retirado de APICER (2003). Considerando o respectivo peso e o acréscimo de carga resultante da aplicação de esteira de cana, considerou-se uma carga de 60 Kg/m², em planta. Tal corresponde a uma carga

uniformemente distribuída de 0,15 kN/m em cada um dos barrotes existentes nas extremidades e de 0,30 kN/m em cada um dos restantes barrotes.

Na base da estrutura, em todos os nós de base, foi considerada a limitação dos deslocamentos nas direcções X, Y e Z, correspondendo à existência de encastramento.

6.6.3.1. Modelo de cálculo – Construção 5.1

No caso da construção 5.1 o modelo introduzido no programa apresenta uma planta rectangular com dimensões de 13,0 m e 10,0 m segundo as orientações principal (direcção x) e secundária (direcção y), respectivamente, com altura que varia entre 3,5 m e 5,0 m na zona mais alta, de apoio da cumeeira.

Por as paredes interiores serem de pequena espessura e não constituírem qualquer “travamento” para a estrutura, não foram consideradas no cálculo.

No alçado principal foram considerados os 3 vãos existentes, nomeadamente, uma porta com dimensões de 1,0 m de largura por 2,0 m de altura e duas janelas quadradas com 1,0 m de lado. No alçado tardoz foi considerada uma porta com dimensão idêntica à da fachada principal. As duas janelas pela sua reduzida dimensão, não foram consideradas no modelo de cálculo (Figura 6.55 e Figura 6.56).

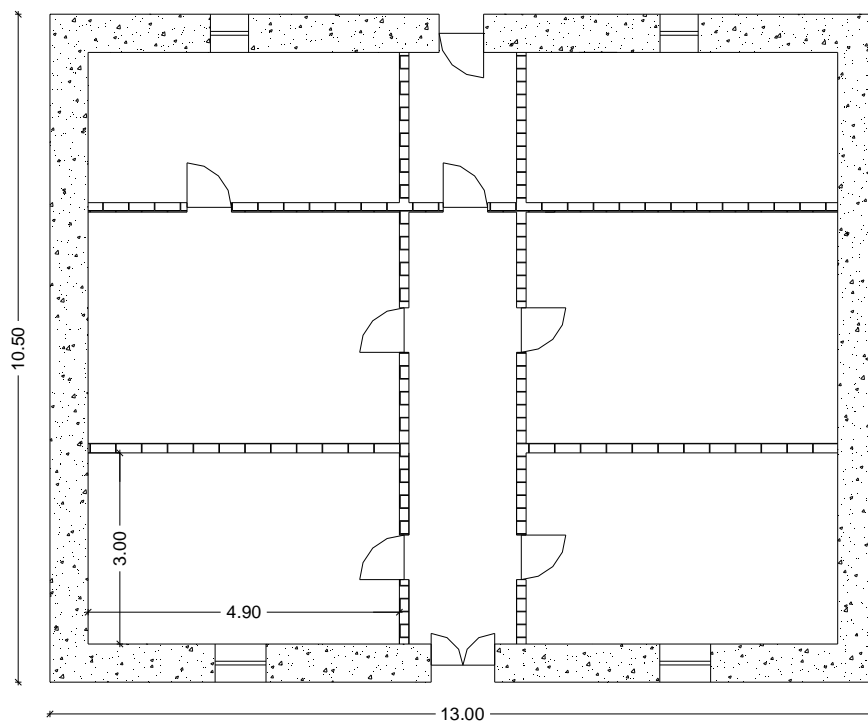


Figura 6.55 - Planta da construção 5.1

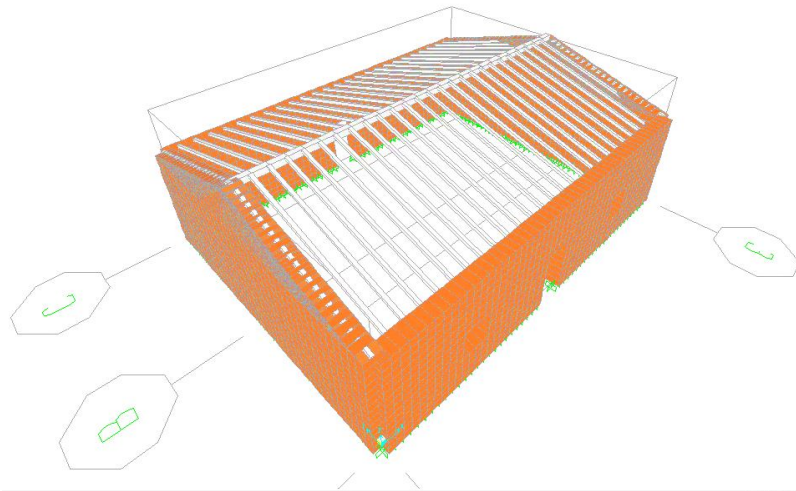


Figura 6.56 - Modelo tridimensional da estrutura 5.1

A ligação entre paredes ortogonais foi assegurada pela compatibilidade da malha de elementos finitos, que garante igualdade de deslocamentos entre os nós convergentes, permitindo apenas liberdade de rotação entre os elementos (Figura 6.56).

Foi realizada uma análise da variação da frequência própria da estrutura, em função da dimensão da malha de elementos finitos considerando malhas com dimensão de 0,5 m, 0,25 m, 0,125 m e 0,0625 m.

Uma vez que a variação das frequências próprias da estrutura para cada uma destas malhas evidenciou uma variação não significativa do resultado para a malha de 0,25 m, relativamente à malha de 0,0625 m, adoptou-se esta discretização da estrutura, por permitir uma economia significativa do tempo de cálculo, relativamente ao refinamento obtido através do aumento do número de elementos finitos (Tabela 6.12).

Tabela 6.12 - Influência da dimensão da malha na frequência própria da estrutura (5.1)

Dimensão da malha [m]	Frequência própria estrutura [Hz]	Variação
# 0,50	1,4563	0,23%
# 0,25	1,4592	0,03%
# 0,125	1,4598	0,01%
# 0,0625	1,4596	-

Para analisar a influência do número de modos de vibração necessários para o cálculo da estrutura, foi realizada uma verificação comparativa do número de modos necessários para mobilizar no mínimo 60%, 80% e 95% da massa modal.

Esta análise foi realizada para as várias malhas já referidas, designadamente de 0,5 m, 0,25 m, 0,125 m e 0,0625 m, e permitiu verificar a elevada quantidade de modos de vibração que seria

necessário considerar de forma a mobilizar os 95% da massa total da estrutura, o que deixaria de ser executável (Tabela 6.13).

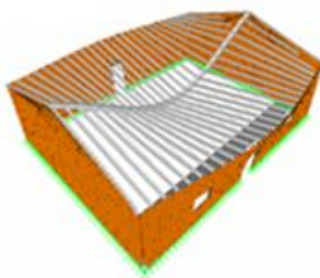
Tabela 6.13 - Influência do número de modos de vibração na participação de massa modal (5.1)

Massa mobilizada	Numero de modos de vibração necessários			
	# 0,50	# 0,25	# 0,125	# 0,0625
>60%	28	28	28	28
> 80%	36	50	68	73
> 95%	257	390	> 500	> 500

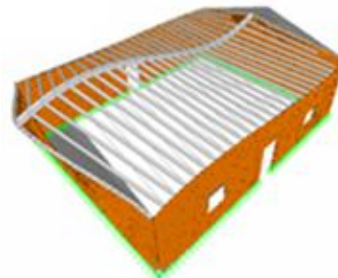
A análise efectuada permitiu detectar a existência de inúmeros modos locais, com reduzida mobilização de massa, pelo que se optou por considerar suficiente a mobilização mínima de 80% da massa da construção nas direcções X e Y de forma a reduzir o tempo de cálculo, pelo que apenas se consideraram os primeiros 50 modos de vibração.

Através desta análise foi possível confirmar que as malhas de 0,125 m e 0,0625 m conduziam à necessidade de considerar um maior número modos de vibração de forma a mobilizar 80% da massa da estrutura, pelo que o seu emprego traduziria um aumento muito significativo do tempo de cálculo.

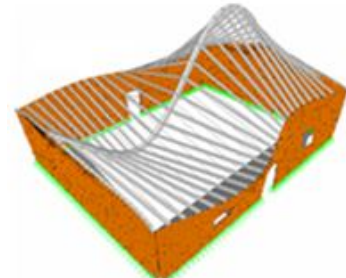
Considerando os pressupostos anteriormente referidos, designadamente, a adopção da malha de 0,25 m para os elementos finitos e os primeiros 50 modos de vibração foi realizada uma análise expedita para verificar quais os primeiros modos de vibração que mobilizam deslocamentos nas direcções X e Y, tendo-se observado que são o 2º e 4º modos respectivamente (Figura 6.57).



1.º modo
Período: 0,685 s
Frequência: 1,459 Hz
U1: 4,241 m/s²
U2: 1,343 m/s²



2.º modo
Período: 0,559 s
Frequência: 1,789 Hz
U1: 4,844 m/s²
U2: 1,646 m/s²



3.º modo
Período: 0,420 s
Frequência: 2,383 Hz
U1: 4,844 m/s²
U2: 2,193 m/s²

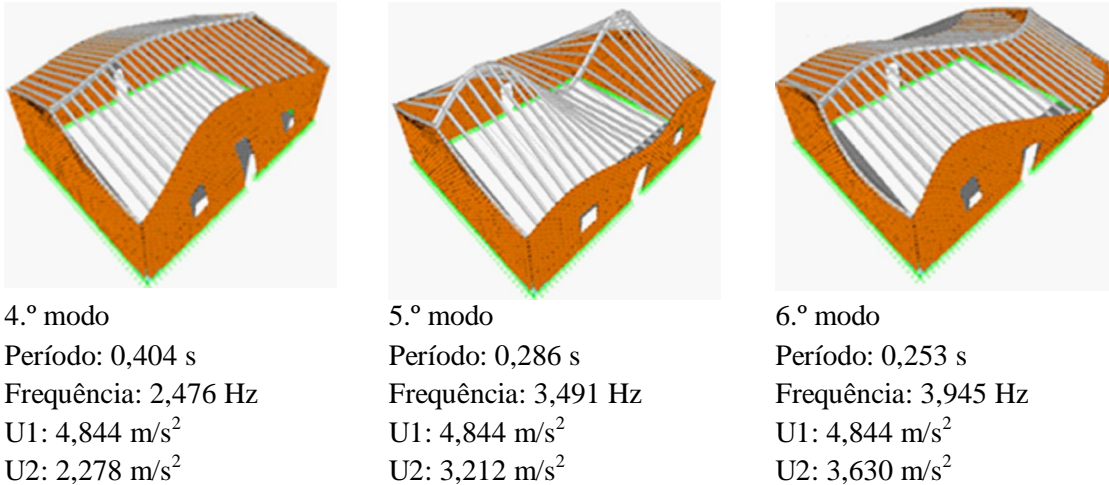


Figura 6.57 - Primeiros 6 modos de vibração da estrutura 5.1

A partir da análise da participação de massa para cada um dos modos segundo as direcções X, Y e Z confirmou-se ser efectivamente no 2º modo na direcção X e no 4º modo na direcção Y que a participação de massa era superior. De acordo com a tabela das acelerações espectrais foi possível identificar que a acção sísmica do tipo I é a mais condicionante por proporcionar acelerações espectrais mais elevadas que a do tipo II.

Para essa acção sísmica mais condicionante (tipo I) foi realizada uma análise comparativa da influência do número de modos de vibração considerados para o cálculo relativamente à variação das tensões obtidas em alguns dos nós identificados na estrutura, designadamente em termos de tensões máximas e mínimas (Tabela 6.14 e Tabela 6.15).

Tabela 6.14 - Análise da variação das tensões máximas em função do número de modos (5.1)

Tensões obtidas [SAP]	N.º de modos	Número do nó - TOP											
		383	Variação	386	Variação	399	Variação	792	Variação	794	Variação	806	Variação
σ_{11}	30	12,47	8,58%	938,39	0,19%	484,21	0,20%	212,84	0,56%	65,30	3,26%	24,10	8,44%
	50	13,13	3,74%	940,067	0,01%	485,143	0,01%	211,47	0,08%	67,34	0,23%	26,12	0,76%
	400	13,64	0,00%	940,14	0,00%	485,17	0,00%	211,65	0,00%	67,50	0,00%	26,32	0,00%
σ_{22}	30	62,35	8,58%	181,37	0,20%	103,395	0,38%	-11,87	6,11%	-104,47	1,29%	-14,30	3,30%
	50	65,65	3,75%	181,69	0,03%	103,723	0,06%	-11,58	3,52%	-103,92	0,76%	-14,21	2,65%
	400	68,21	0,00%	181,74	0,00%	103,785	0,00%	-11,18	0,00%	-103,14	0,00%	-13,84	0,00%
τ_{12}	30	5,61	2,27%	196,54	0,13%	112,99	0,17%	86,39	0,48%	1,24	8,80%	19,30	1,95%
	50	5,71	0,44%	196,77	0,01%	113,16	0,02%	85,88	0,12%	1,28	6,36%	19,61	0,36%
	400	5,74	0,00%	196,79	0,00%	113,18	0,00%	85,98	0,00%	1,36	0,00%	19,68	0,00%

Tabela 6.15 - Análise da variação das tensões mínimas em função do número de modos (5.1)

Tensões obtidas [SAP]	N.º de modos	Número do nó - TOP											
		383	Variação	386	Variação	399	Variação	792	Variação	794	Variação	806	Variação
σ_{11}	30	-39,61	2,86%	-479,38	0,36%	-537,83	0,18%	-41,42	2,96%	-334,43	0,65%	-265,96	0,83%
	50	-40,27	1,24%	-481,06	0,02%	-538,76	0,00%	-40,05	0,44%	-336,47	0,05%	-267,98	0,07%
	400	-40,78	0,00%	-481,14	0,00%	-538,79	0,00%	-40,23	0,00%	-336,63	0,00%	-268,17	0,00%
σ_{22}	30	-198	2,87%	-88,93	0,41%	-149,61	0,26%	-704,12	0,10%	-628,88	0,21%	-1195,84	0,04%
	50	-201,3	1,25%	-89,25	0,06%	-149,93	0,04%	-704,40	0,06%	-629,43	0,12%	-1195,93	0,03%
	400	-203,9	0,00%	-89,3	0,00%	-150	0,00%	-704,80	0,00%	-630,2	0,00%	-1196,29	0,00%
τ_{12}	30	-25,97	0,48%	-272,27	0,09%	-341,83	0,05%	-82,36	0,49%	-474,88	0,03%	-450,67	0,09%
	50	-26,07	0,11%	-272,50	0,01%	-342,00	0,00%	-81,85	0,13%	-474,91	0,02%	-450,99	0,02%
	400	-26,10	0,00%	-272,52	0,00%	-342,01	0,00%	-81,96	0,00%	-475,00	0,00%	-451,06	0,00%

Após análise dos resultados obtidos em função do número de modos de vibração considerados, 28, 50 e 390 modos, que permitem a mobilização de pelo menos 60%, 80% e 95% da massa total da estrutura, já apresentados na Tabela 6.13, verificou-se que o erro resultante da consideração de apenas 50 modos de vibração não é significativo nos resultados apresentados, permitindo uma significativa redução do tempo de cálculo. Os resultados obtidos para os esforços são suficientemente exactos, já que o erro corresponde, genericamente, a percentagem inferior a 1 % e, mesmo em situações muito excepcionais, não ultrapassa os 4 %.

Uma observação da estrutura inicial permitiu identificar 15 nós mais relevantes, onde se detectaram os maiores esforços para cada uma das combinações consideradas. Estes nós encontram-se distribuídos maioritariamente pela fachada principal e um na fachada lateral esquerda, sobre os quais foram realizadas as verificações de segurança.

Foi considerado um grupo de análise constituído pelos 15 nós e por todos os elementos neles convergentes de forma a permitir maior rapidez no cálculo, em termos das verificações de segurança para as tensões principais e de corte, $\sigma_{MÁX}$, σ_{MIN} e τ_R , respectivamente (Figura 6.58 e Figura 6.59). Para cada um dos nós foi realizada a verificação de segurança nas duas faces da parede.

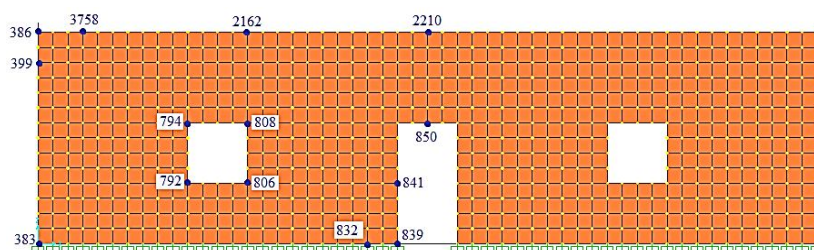


Figura 6.58 - Identificação dos pontos de análise de tensões na fachada principal

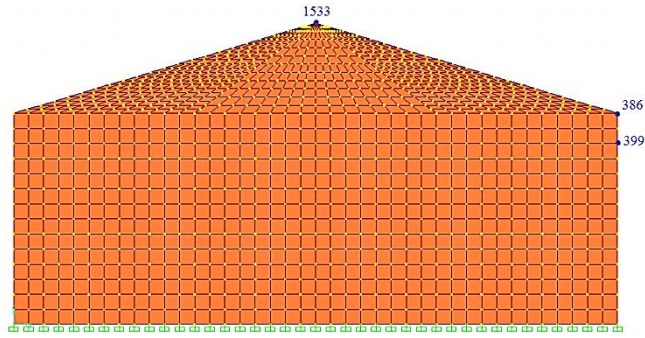


Figura 6.59- Identificação dos pontos de análise de tensões na fachada lateral esquerda

No anexo III apresentam-se os resultados do cálculo estrutural da construção 5.1 (tabelas A3.1 a A3.3). Verifica-se a existência de diversas situações de rotura na estrutura relativamente a esforços de tracção e corte, existindo apenas uma situação de rotura devido à ocorrência de uma tensão de compressão.

Os nós onde se verifica a ocorrência de rotura por tracção, compressão ou corte estão assinalados a vermelho, encontrando-se a azul os restantes pontos de análise (Figura 6.60 a Figura 6.65).

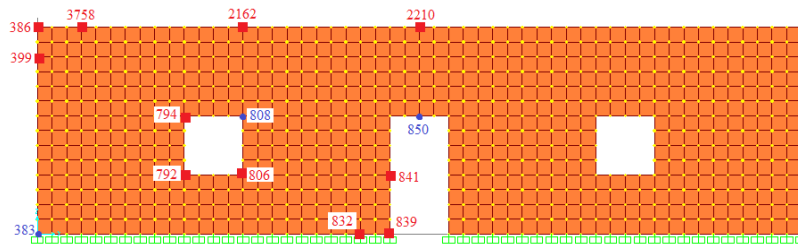


Figura 6.60 - Construção 5.1, rotura por tracção (1)

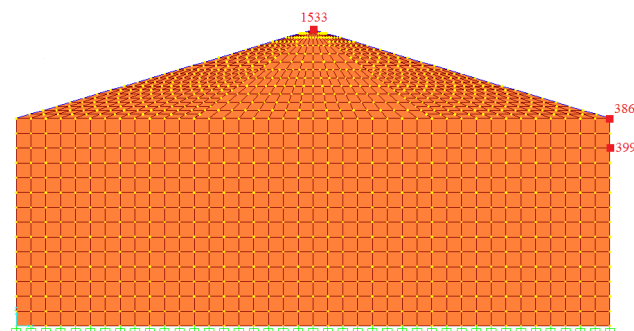


Figura 6.61 - Construção 5.1, rotura por tracção (2)

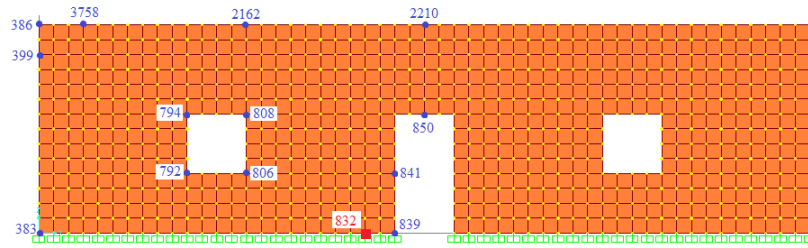


Figura 6.62 - Construção 5.1, rotura por compressão (1)

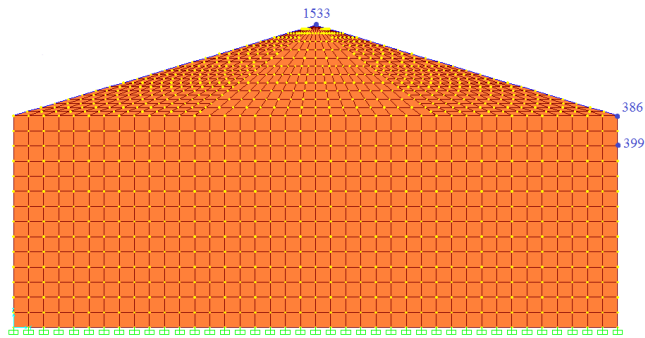


Figura 6.63 - Construção 5.1, rotura por compressão (2)

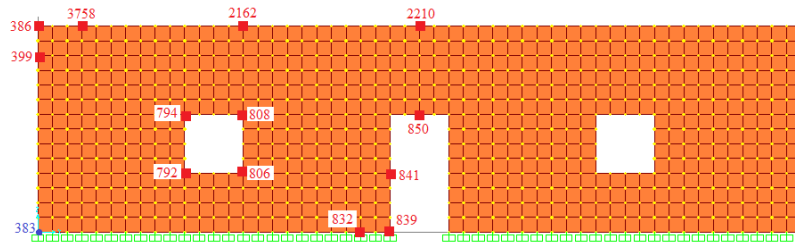


Figura 6.64 - Construção 5.1, rotura por corte (1)

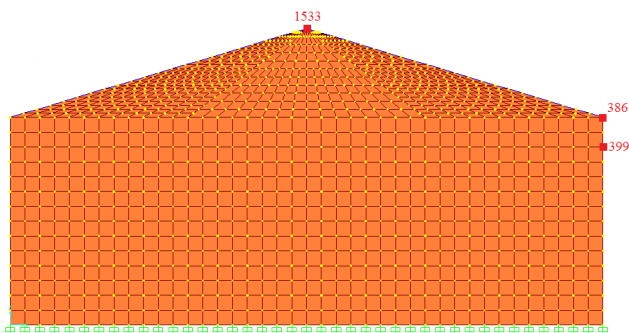


Figura 6.65 - Construção 5.1, rotura por corte (2)

Através da análise do comportamento da estrutura e após a identificação dos pontos de rotura é possível identificar os locais onde se justifica a introdução de elementos de reforço. Foram

analisadas duas situações de reforço: introdução de asnas, lintéis de madeira e contrafortes; introdução de vigas e pilares em betão armado.

A escolha destes reforços teve por base a observação e análise das construções existentes um pouco por toda a região.

6.6.3.2. 1.º Reforço – Asnas, lintéis e contrafortes

O primeiro reforço consistiu na introdução de asnas de madeira ao nível da cobertura, lintéis de madeira sobre os vãos e ainda a colocação de contrafortes nas fachadas principal e posterior (Figura 6.66). As asnas foram consideradas com secção quadrada com 0,10 m de lado e simuladas como elementos “frame” rotulados em ambas as extremidades, funcionando como bielas de tracção/compressão. Os lintéis de madeira sobre as aberturas foram considerados com secção rectangular de 0,15 m de altura por 0,50 m de espessura, de forma a cobrir toda a espessura da parede. Os contrafortes têm uma altura de 2,0 m e uma base de 1,5 m perpendicularmente à parede e estão dispostos a meia distância entre a porta e as janelas existentes na fachada principal, encontrando-se em semelhante posição na fachada posterior.

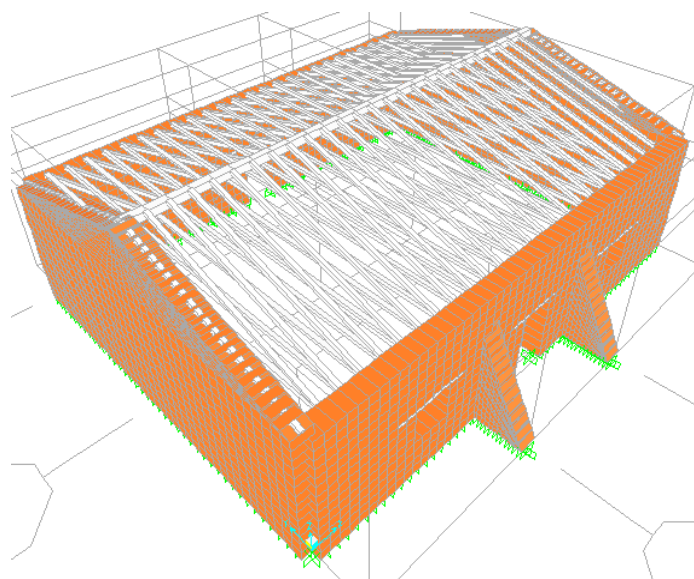


Figura 6.66 - Modelo da estrutura 5.1 com a introdução de asnas na cobertura

A partir desta alteração introduzida no modelo inicial de cálculo foi efectuada nova análise das tensões actuantes, procedendo-se novamente à verificação de segurança para os estados limite últimos, cujos resultados se apresentam nas tabelas A3.4 a A3.6 do anexo III.

Da análise dos resultados verificou-se que a introdução destes reforços na estrutura permite melhorar o seu comportamento diminuindo as tensões actuantes e eliminando algumas situações de rotura, não dotando ainda a estrutura d a capacidade resistente necessária. As figuras 6.67 a 6.72 indicam os pontos onde ocorre a rotura, assinalados a vermelho.

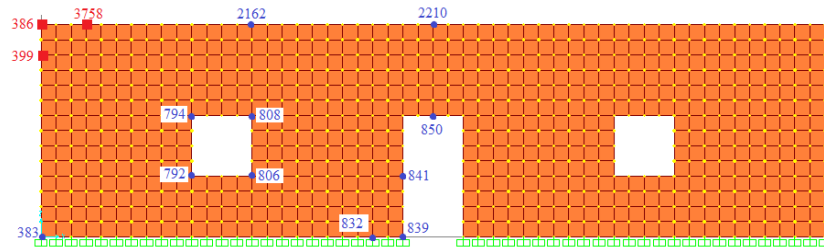


Figura 6.67 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por tracção (1)

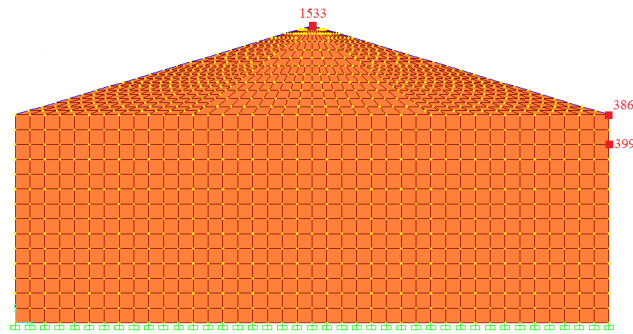


Figura 6.68 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por tracção (2)

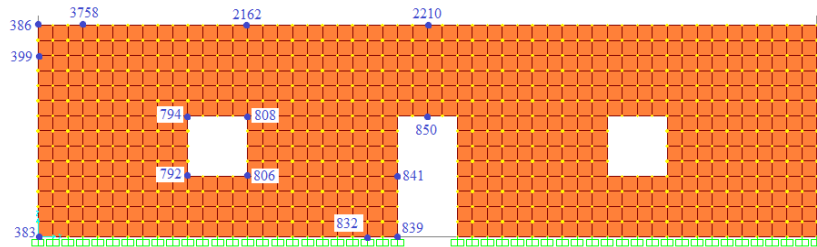


Figura 6.69 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por compressão (1)

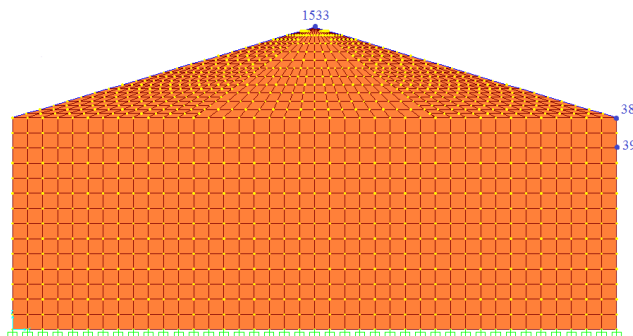


Figura 6.70 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por compressão (2)

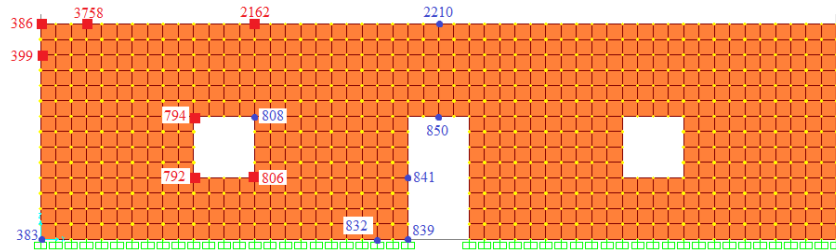


Figura 6.71 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por corte (1)

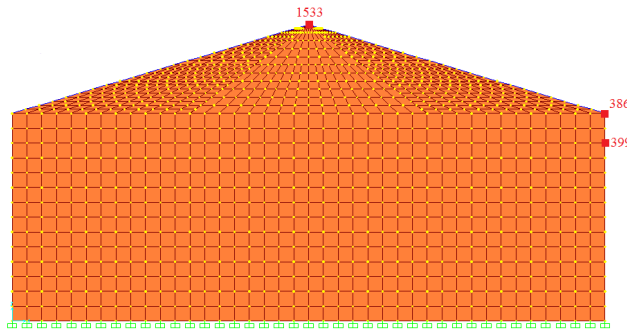


Figura 6.72 - Construção 5.1 com 1º reforço, rotura por corte (2)

Como se observa, a introdução destes reforços permite reduzir os pontos de rotura existentes junto ao topo da fachada principal na zona central da parede, eliminando também a rotura existente por compressão. Analisando separadamente a acção quer da introdução de asnas na cobertura, quer da introdução de contrafortes nas fachadas principal e posterior, verificou-se que ambas as soluções conduzem ao mesmo tipo de resultados, designadamente, a uma redução dos pontos de rotura por tracção junto ao topo da fachada principal, zona central e à eliminação da rotura por compressão. As duas soluções apresentam portanto resultados semelhantes, evitando os deslocamentos rotacionais da parede. Relativamente à rotura por corte, verificou-se, tal como se previa, a eliminação das situações de rotura na zona central das fachadas após a introdução destes reforços:

6.6.3.3. 2.º Reforço – Colocação de vigas e pilares em betão armado

A segunda situação de reforço consistiu na introdução de uma estrutura em betão armado.

Procedeu-se à colocação de pilares em betão com secção quadrada de 0,35 m na posição anteriormente ocupada pelos contrafortes, bem como no seu alinhamento, no interior da construção e ainda na ligação entre as paredes exteriores, nos cunhais. A ligação entre estes elementos foi estabelecida através da colocação de vigas em betão armado com secção de 0,35 m por 0,40 m para base e altura respectivamente (Figura 6.73).

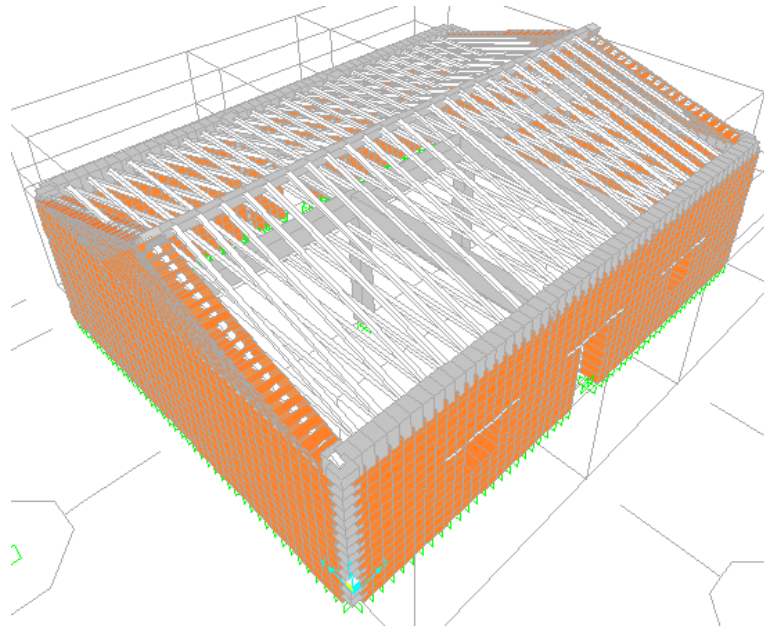


Figura 6.73 - Modelo da estrutura 5.1 com a introdução de estrutura em betão armado

Foram novamente realizadas as verificações de segurança para os nós previamente identificados, tendo-se verificado a inexistência de rotura, como comprovam os resultados apresentados no anexo III, tabelas A3.7 a A3.9.

Refere-se, no entanto, que a introdução desta estrutura altera o comportamento da construção, como se verifica aliás pela eliminação das situações de rotura. Somente foi executada uma análise expedita da estrutura, sendo necessária uma análise mais exigente para verificar se não existem situações de rotura em outros nós, que não pertencem ao conjunto de nós inicialmente seleccionados para análise.

6.6.4. Modelo de cálculo – Construção 4.2

No caso da construção 4.2, o modelo introduzido no programa apresenta uma planta rectangular com dimensões de 13,0 m (direcção x) e 9,0 m (direcção y), com altura de 3,5 m, valor que aumenta até aos 5,0 m na zona mais alta, de apoio da cumeeira (Figura 6.74 e Figura 6.75).

Contrariamente ao que aconteceu na simulação anterior, neste caso foram consideradas todas as paredes divisórias, executadas em taipa, com uma espessura de 50 cm, tal como as paredes exteriores.

No alçado principal foram considerados os 3 vãos existentes, duas portas com dimensões de 1,0 m de largura por 2,0 m de altura e uma janela quadrada, com 1,0 m de lado. No alçado lateral direito existe também uma porta com dimensão equivalente.

Todas as portas interiores foram consideradas com a mesma dimensão e com a localização apresentada em planta.

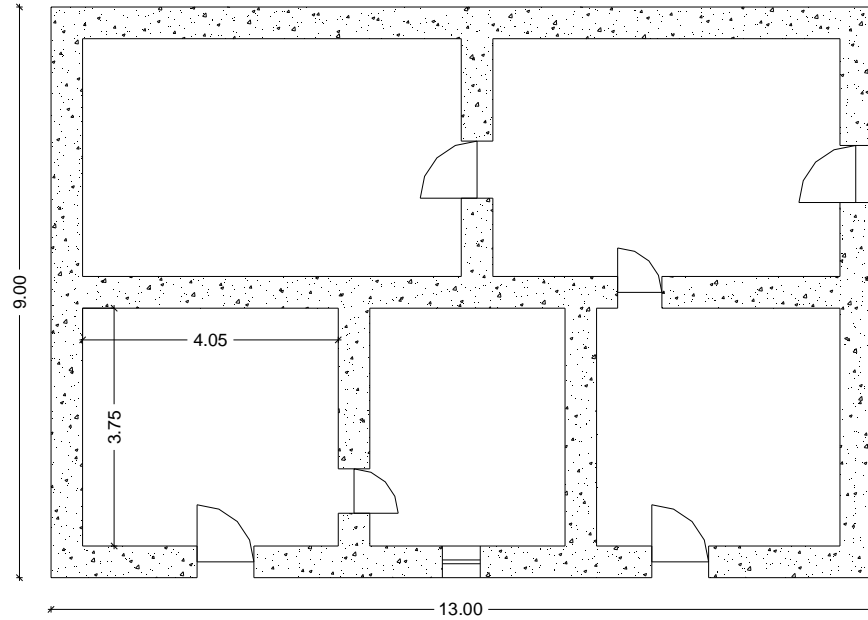


Figura 6.74 - Planta da construção 4.2

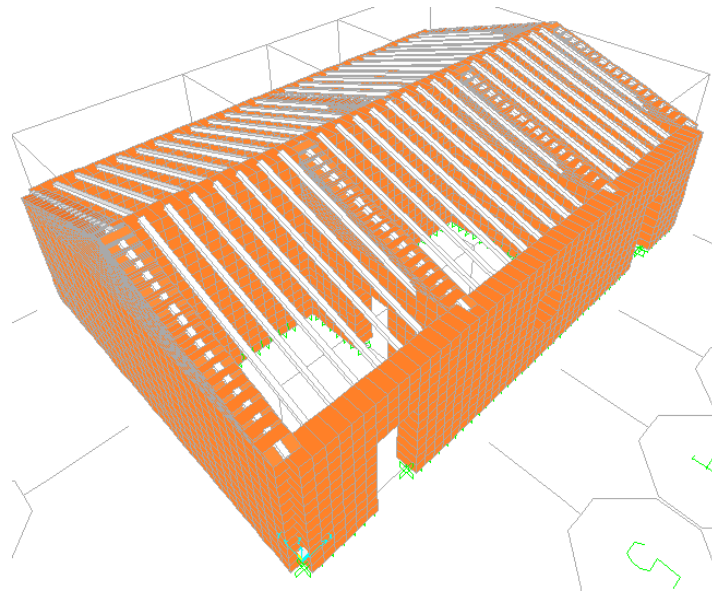


Figura 6.75 - Modelo tridimensional da estrutura 4.2

Foi realizada uma análise da variação da frequência própria para as malhas de 0,25 m e 0,125 m tendo-se optado, também neste caso por considerar a malha de 0,25 m (Tabela 6.16).

Tabela 6.16 - Influência da dimensão da malha na frequência própria da estrutura (4.2)

Dimensão da malha [m]	Frequência própria estrutura [Hz]	Variação
# 0,25	6,7218	2,95%
# 0,125	6,5289	-

Realizou-se uma verificação comparativa do número de modos necessários para mobilizar 60%, 80% e 95% da massa modal, para as malhas já referidas (0,25 m e 0,125 m). Verificou-se novamente o elevado número de modos de vibração que seria necessário considerar para mobilizar os 95% da massa total da estrutura (Tabela 6.17), tendo-se optado por considerar 50 modos de vibração, que mobilizam aproximadamente 83 % da massa da estrutura.

Tabela 6.17 - Influência do número de modos de vibração na participação de massa modal (4.2)

Massa mobilizada	N.º modos de vibração necessários	
	# 0,25	# 0,125
> 60%	25	25
> 80%	41	47
> 95%	> 150	> 300

A análise expedita realizada para verificar quais os primeiros modos de vibração que mobilizam deslocamentos nas direcções X e Y, permitiu identificar o 1º e 3º modos respectivamente (Figura 6.76).

Nesta situação verificou-se, pelo valor das acelerações espectrais, que a acção sísmica do tipo I é a mais condicionante (Figura 6.76), tal como já tinha anteriormente sucedido.

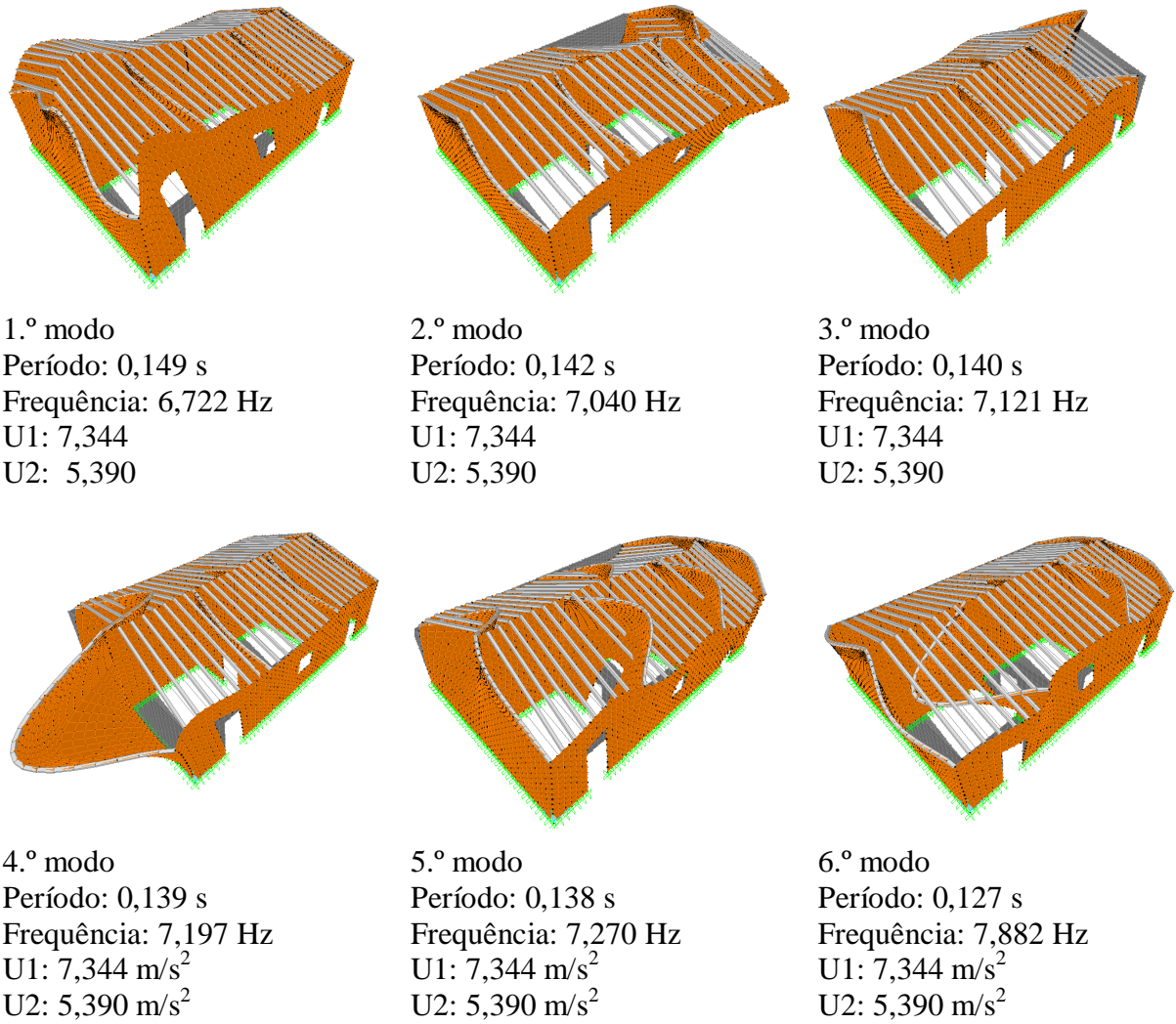


Figura 6.76 - Primeiros 6 modos de vibração da estrutura 4.2

As figuras Figura 6.77 e Figura 6.78 localizam os pontos sobre os quais incidem as verificações de segurança distribuídos pelas fachadas principal e lateral direita.

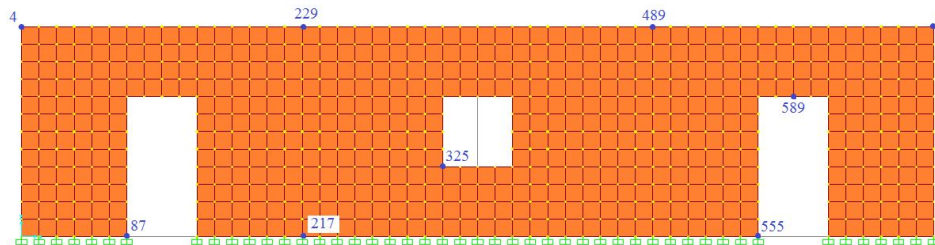


Figura 6.77 - Identificação dos pontos de análise de tensões na fachada principal

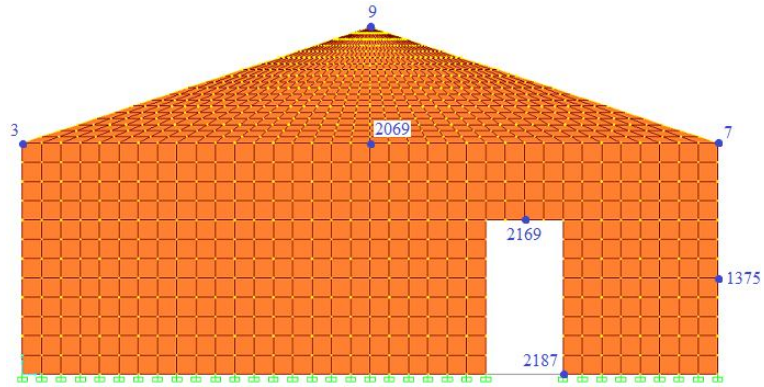


Figura 6.78- Identificação dos pontos de análise de tensões na fachada lateral direita

Procedeu-se às verificações de segurança à tracção, compressão e corte, cujos resultados constam do anexo IV, tabelas A4.1 a A4.3. Nas figuras 6.79 a 6.84 identificam-se as diversas situações de rotura.

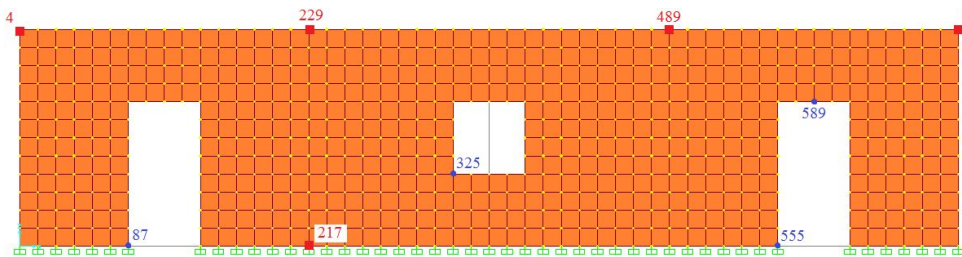


Figura 6.79 - Construção 4.2, rotura por tracção (1)

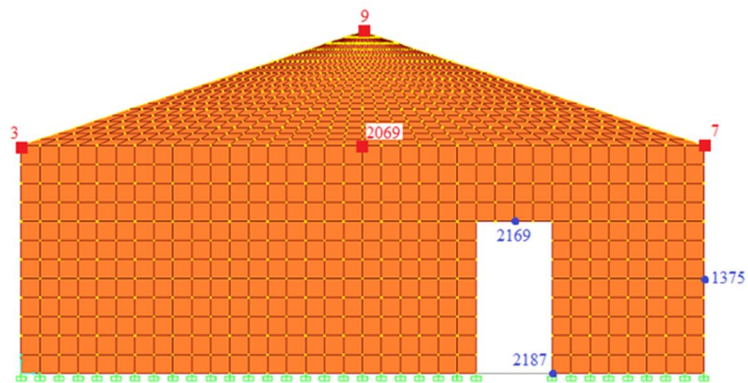


Figura 6.80 - Construção 4.2, rotura por tracção (2)

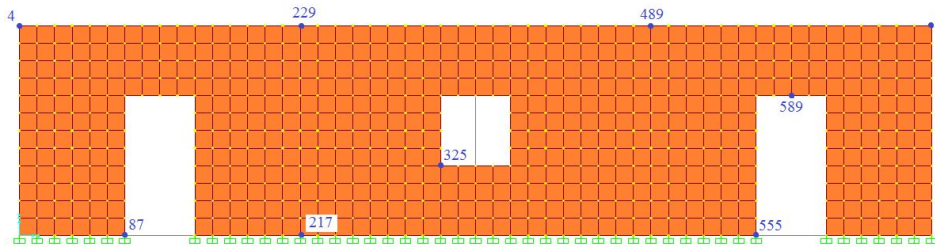


Figura 6.81 - Construção 4.2, rotura por compressão (1)

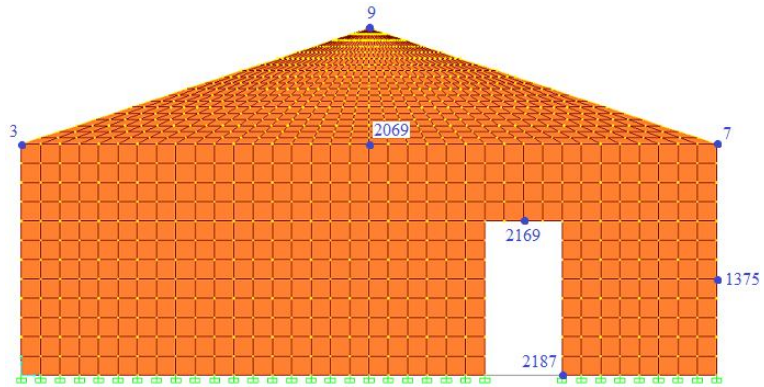


Figura 6.82 - Construção 4.2, rotura por compressão (2)

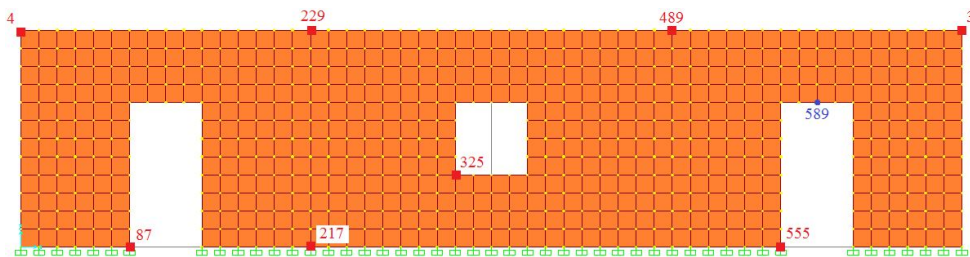


Figura 6.83 - Construção 4.2, rotura por corte (1)

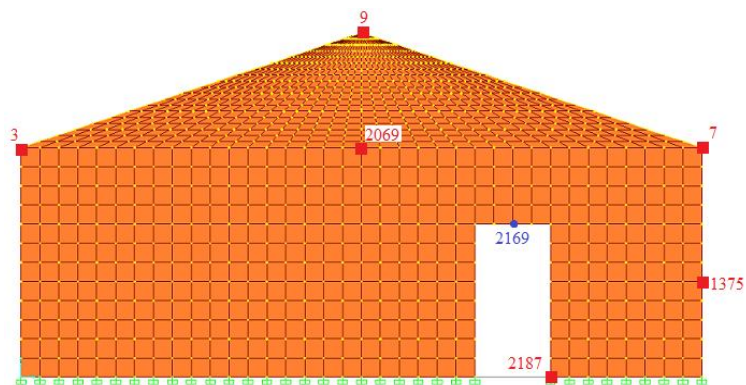


Figura 6.84 - Construção 4.2, rotura por corte (2)

Tendo em conta a existência de situações de rotura, procedeu-se ao reforço primeiramente pela introdução de lintéis e viga de bordadura em betão armado, seguidamente pela introdução de vigas e pilares de betão armado, que se detalham em seguida.

6.6.4.1. 1.º Reforço – Lintéis e viga de bordadura em betão armado

Foram introduzidos lintéis de reforço sobre os vãos e uma viga de bordadura em betão armado com secção rectangular de 0,30 m de largura por 0,40 m de altura (Figura 6.85).

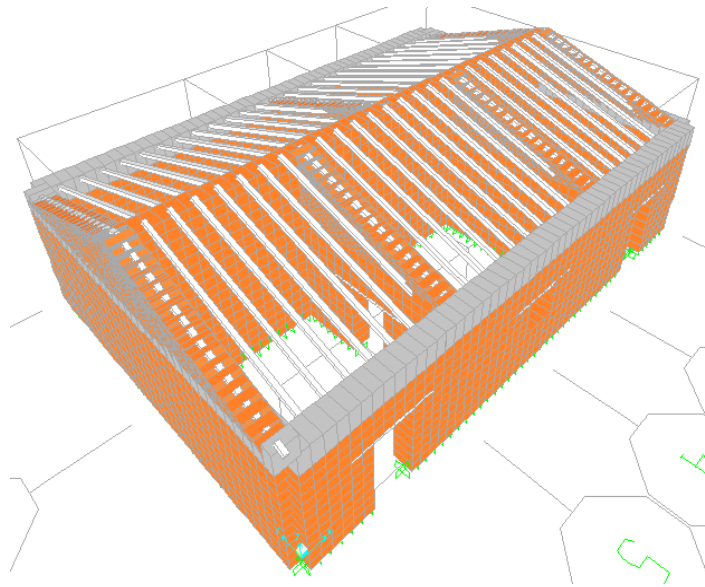


Figura 6.85 - Modelo da estrutura com a introdução de asnas na cobertura

Os resultados da nova simulação encontram-se nas tabelas A4.4 a A4.6 do anexo IV. Nas figuras 6.86 a 6.91 estão assinalados a vermelho os pontos críticos.

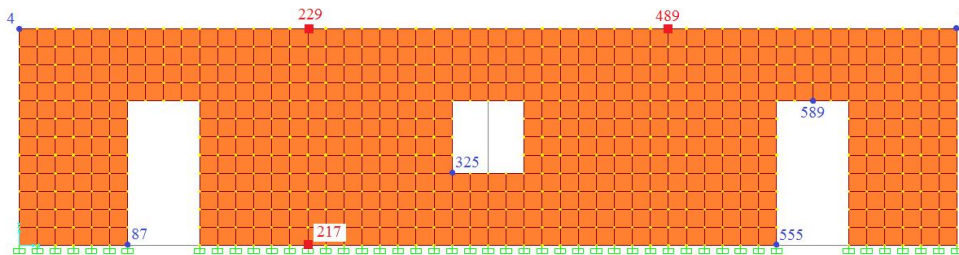


Figura 6.86 - Construção 4.2, rotura por tracção (1)

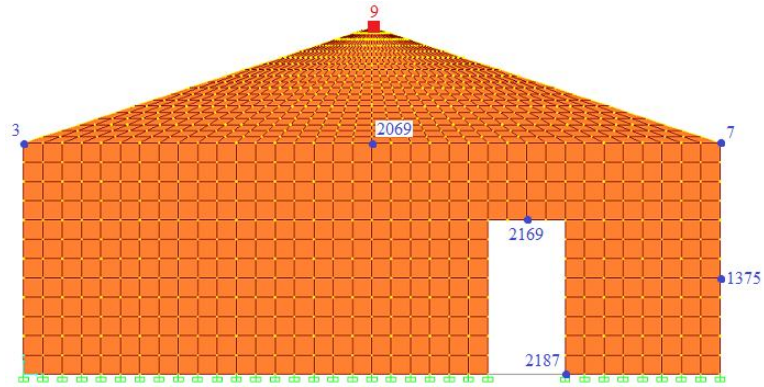


Figura 6.87 - Construção 4.2, rotura por tracção (2)

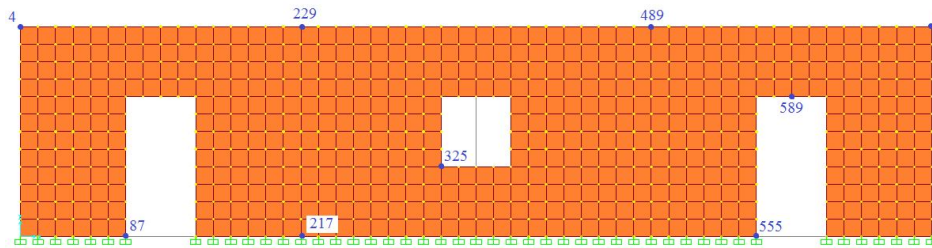


Figura 6.88 - Construção 4.2, rotura por compressão (1)

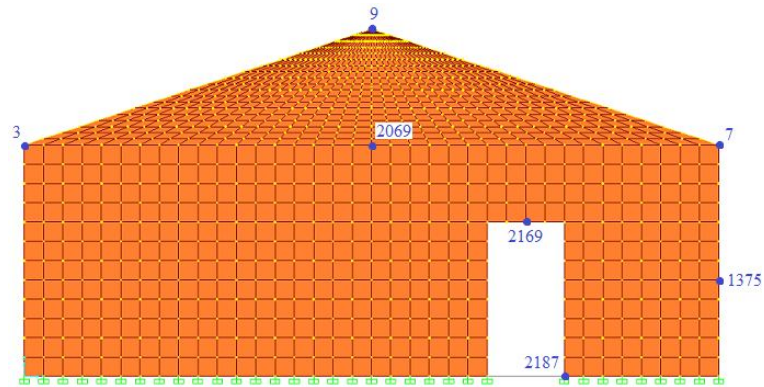


Figura 6.89 - Construção 4.2, rotura por compressão (2)

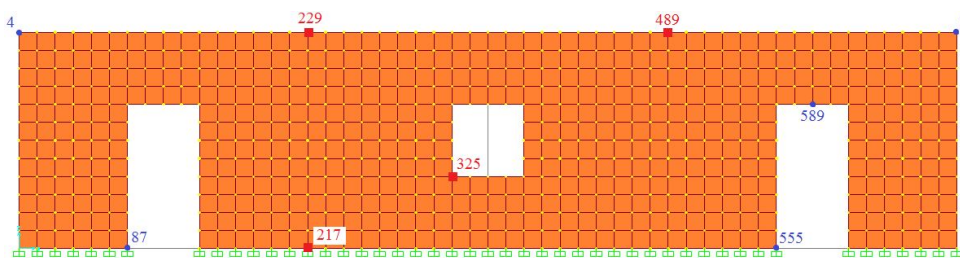


Figura 6.90 - Construção 4.2, rotura por corte (1)

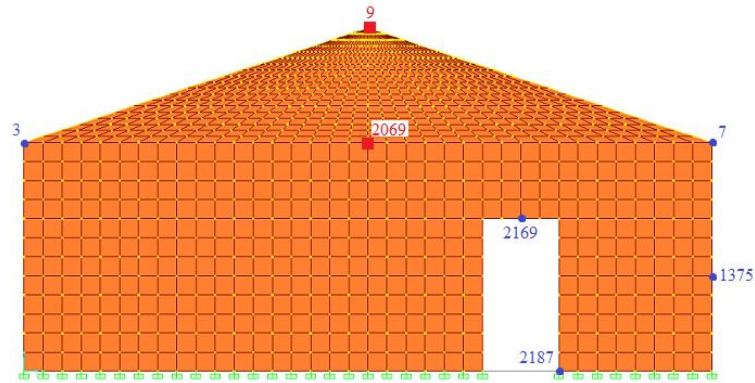


Figura 6.91 - Construção 4.2, rotura por corte (2)

A solução de reforço é pois insuficiente, uma vez que existem nós onde ocorre a rotura.

6.6.4.2. 2.º Reforço – Vigas e pilares em betão armado

Inseriu-se uma estrutura de betão armado constituída por pilares e vigas. Os pilares de secção quadrada com 0,30 m de lado foram colocados no cruzamento entre todos os alinhamentos e as vigas foram consideradas de secção rectangular com 0,30 m por 0,40 m, estabelecendo a ligação entre os topos de todos os pilares (Figura 6.92).

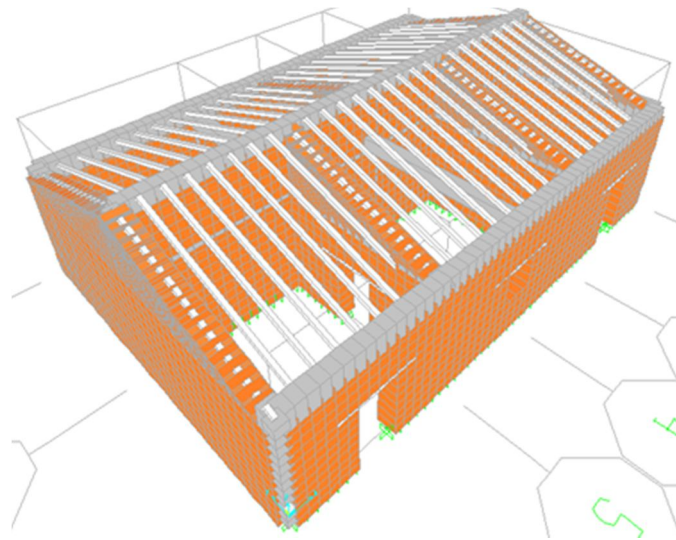


Figura 6.92 - Modelo da estrutura com a introdução de uma viga de bordadura em betão armado

Com a introdução deste reforço todos os nós analisados verificam a segurança, conforme consta das tabelas A4.7 a A4.9 do anexo IV.

7. CONCLUSÕES

A construção em terra possibilita uma variedade de tipologias, de técnicas e de processos construtivos que importa documentar e valorizar.

Existem alguns aspectos construtivos que dizem respeito às boas práticas construtivas, resultantes do saber fazer popular. Urge pois aproveitar esses saberes empíricos sobre o material e sobre os sistemas construtivos com vista não só à necessidade de revitalizar esta construção tradicional há muito esquecida, bem como assegurar conhecimentos que nos permitam reabilitar o património ainda existente, melhorando as características de habitabilidade e conforto interior e dotando-o de capacidade resistente.

Dada a dimensão do trabalho desenvolvido, optou-se por sintetizar as principais conclusões segundo três aspectos principais, designadamente, uma abordagem relativa à situação existente segundo alguns aspectos, caracterização das construções, identificação das propriedades do material e uma breve síntese dos resultados obtidos da análise estrutural.

No que se refere à situação actual existente em Portugal, a falta de regulamentação específica para este tipo de construção surge como um grave obstáculo à sua utilização, conduzindo na maior parte das vezes à adopção de técnicas construtivas e materiais correntes como é o exemplo, do betão armado, em detrimento de materiais e técnicas construtivas mais sustentáveis. A elevada resistência mecânica, a rapidez da construção e um melhor comportamento global, conduziu à progressiva utilização do betão armado como principal material de construção.

Analisando o potencial da terra enquanto material de construção e da taipa, enquanto sistema construtivo predominante, destacam-se dois aspectos fundamentais, a sustentabilidade inerente à sua utilização e o bom desempenho térmico, acústico e higrométrico que propicia.

Por outro lado, há que não esquecer alguns condicionalismos relativamente à sua aplicação, quer perante a sua exposição e conseqüente debilidade face à água, quer pelo seu débil comportamento mecânico.

Analisando a situação existente no Algarve sobre a construção em taipa, identificam-se inúmeras construções de carácter civil, destinadas maioritariamente a habitação, um pouco por toda a região, predominantemente, no Barlavento algarvio e distribuídas essencialmente pelos concelhos de Monchique e Silves e também algumas edificações de índole militar, designadamente, muralhas seculares de origem muçulmana, de que é exemplo o Castelo de Paderne.

Relativamente à caracterização das construções, a identificação e recolha de dados relativos às várias construções permitiu verificar aspectos gerais comuns tais como a pequena dimensão e regularidade em planta, reduzida compartimentação interior, o limitado numero e dimensão de aberturas e a orientação preferencial no quadrante Sul.

Foram identificados vários aspectos construtivos destinados a reduzir as debilidades do material, designadamente, para limitar a exposição à água e para melhorar o comportamento estrutural das construções de modo a viabilizar a utilização desta técnica construtiva.

Relativamente à acção da água, a introdução de alguns aditivos na mistura, tais como a cal, apresenta a curto prazo grandes vantagens no que diz respeito ao seu comportamento. O revestimento das paredes de taipa com uma argamassa de reboco à base de cal, decorrido o necessário período de lavagem dos paramentos exteriores, constitui porventura ainda, a solução mais interessante, porque económica, eficiente e esteticamente admirável.

Para além de evitar infiltrações através dos paramentos exteriores, alguns outros aspectos terão de ser considerados para limitar o acesso de água ao interior da construção: a execução de embasamentos em pedra para evitar o acesso por capilaridade, a partir do solo, bem como a execução de beirados salientes nos telhados.

Relativamente ao comportamento estrutural foi possível identificar a introdução de elementos de reforço nas estruturas, tais como, contrafortes, poiais, lintéis, tirantes e cintas.

Outro aspecto analisado foi a ocorrência de patologia, sendo as manifestações mais frequentes, a rotura na zona dos cunhais, a fissuração, o ataque de insectos, a corrosão de elementos metálicos e o destacamento do reboco, sendo todas agravadas pela falta de manutenção e total abandono a que a generalidade destas construções se encontra sujeita.

Salienta-se que em paredes antigas de alvenaria, devido à sua função resistente, a ocorrência destas anomalias estruturais condiciona fortemente a sua capacidade resistente, o que acarreta situações de rotura e colapso irreversíveis.

Relativamente à caracterização do material importa referir os aspectos principais analisados, designadamente, ao nível da composição granulométrica, teor em água e caracterização mecânica.

Da granulométrica efectuada verifica-se que a composição das amostras varia entre 13,3 e 56,7 % para o seixo, 13,7 e 50,1 % para a areia e 18,8 e 52,3 % para argila e silte. Verificou-se a existência de granulometrias muito distintas, contudo a curva granulométrica da construção 5.2 aproxima-se bastante da curva ideal indicada por CRATerre (1979). Comparativamente com os fusos limite indicados na referida publicação, 12 das 14 curvas granulométricas encontram-se dentro do intervalo indicado para a taipa.

A partir do teste de sedimentação foi possível verificar que a quantidade de argila varia entre 3,1 e 24,8 %, enquanto a quantidade de silte varia entre 13,8 e 49,3 %. Na generalidade verificou-se que a quantidade de silte existente, é superior à quantidade de argila, tendo-se obtido um valor médio de 23 % de silte e apenas 12 % de argila.

Os resultados do teste expedito para obtenção do teor em água permitiram verificar que a terra deverá ser moldada com reduzidos teores em água, tendo-se obtido teores em água que variam entre 10 e 15%, com um valor médio que ronda os 13%. Verificou-se que, tal como seria de esperar, este teor em água aumenta com o aumento da fracção fina existente na amostra.

Obtiveram-se teores em água médios de 11,6 % para solos em que a fracção fina é menos significativa, e de 14,8 % para os casos em que a fracção fina é superior.

Com base na análise do comportamento do material face à acção da água, verifica-se que a estabilização do material com cal revelou uma considerável melhoria de comportamento, reduzindo-se a absorção e evitando a desfragmentação inevitável que sempre ocorreu nas amostras simples de terra. A quantidade de água absorvida nas amostras em que a fracção fina é mais significativa é tendencialmente superior.

A utilização de outros aditivos, não foi analisada, embora possa ser conjecturada, envolve no entanto uma necessária ponderação de factores de sustentabilidade, como a reciclabilidade e reutilização do material.

Relativamente à caracterização mecânica realizada em laboratório, obtiveram-se valores de resistência à tracção por flexão que variam entre 0,295 N/mm² e 0,857 N/mm², e de resistência à compressão entre 1,628 N/mm² e 2,826 N/mm². O valor médio de resistência à tracção por flexão é de 0,489 N/mm² e de 2,200 N/mm² para a compressão, correspondendo a tensão de tracção por flexão a aproximadamente 22 % da tensão obtida por compressão. Os valores da resistência à compressão aumentam cerca de 6 a 8% para provetes de terra aditivada com 10% de cal. O valor médio de resistência à tracção por flexão também aumenta, embora o seu incremento não seja significativo. A curto prazo não se verifica que a incorporação da cal conduza a um acréscimo significativo de resistência mecânica, embora, comparativamente com as construções seculares em taipa militar, seja possível prever um acréscimo de resistência a longo prazo, como consequência do lento processo da carbonatação da cal.

O fraco desempenho mecânico da terra conduz a um fraco comportamento perante acções horizontais e especificamente, à acção sísmica. Sendo o Algarve uma das zonas do país de maior perigosidade sísmica, torna-se essencial assegurar a estabilidade estrutural, evitando a ocorrência de colapsos ou danos irreversíveis nos edifícios e salvaguardando a vida dos utentes. Torna-se essencial atender ao comportamento frágil das estruturas de terra, dotando-as de capacidade resistente conferindo-lhes a indispensável ductilidade.

Com base nos valores obtidos relativos à caracterização mecânica do material foram analisadas duas construções no programa de cálculo SAP 2000, que permitiram verificar alguns aspectos importantes, designadamente, as zonas mais susceptíveis à rotura por tracção, compressão e corte.

A escolha das soluções de reforço iniciais teve por base o preliminar reconhecimento dos reforços existentes nas diversas construções analisadas.

Na construção 5.1, optou-se inicialmente pela introdução de asnas de madeira na cobertura, que permitiram reduzir os pontos de rotura por tracção e compressão, não existindo decréscimo significativo das tensões de corte actuantes. Posteriormente, a introdução lintéis de madeira sobre os vãos e de contrafortes em fachadas opostas possibilitou reduzir os pontos de rotura por tracção, compressão e corte na zona central das fachadas.

Somente a introdução de uma estrutura reticulada, no caso em betão armado, constituída por pilares e vigas, permitiu eliminar as situações de rotura, deixando antever uma possível solução estrutural minimamente eficaz.

Na construção 4.2 o reforço simulado inicialmente consistiu na introdução de lintéis e viga de bordadura em betão armado que se mostrou insuficiente. Assim, também neste caso se optou pela introdução de uma estrutura em betão armado, constituída por pilares e vigas, de forma a eliminar a ocorrência de rotura nos nós analisados.

A inserção da estrutura porticada de betão armado foi aqui testada, embora com alguma relutância, pelas várias questões que coloca, designadamente em termos de sustentabilidade e ao nível da manifesta incompatibilidade mecânica entre a terra e o betão e do quase ignorado comportamento estrutural conjunto, para além da descaracterização construtiva que introduz.

Apenas se pretendeu verificar a exequibilidade de um reforço estrutural que possa minimamente garantir um comportamento sísmico eficiente.

A opção por um material atualmente muito vulgar e perfeitamente caracterizado, apenas correspondeu a uma simplificação dos procedimentos, sendo obviamente preferível a utilização de uma estrutura por exemplo em madeira ou bambu, em detrimento do betão armado. Esse estudo far-se-á na necessária continuidade desta investigação.

De qualquer forma, a análise efectuada constitui uma abordagem preliminar, por se tratar de uma análise dinâmica linear, reconhecendo-se que o comportamento frágil das estruturas de terra exige uma análise do respectivo comportamento não linear que possa, efectivamente, simular o desempenho estrutural. Assim, apenas se pode antever o estado de fissuração preliminar e o comportamento global da estrutura numa fase inicial.

Este trabalho, aqui apresentado num estágio inicial, irá ter continuidade no futuro próximo, através de novos ensaios “in situ” e em laboratório e de uma análise mais pertinente do comportamento estrutural das construções.

Em conclusão considera-se que o desenvolvimento deste trabalho permitiu avaliar com maior rigor a adequabilidade da terra enquanto material de construção alternativo aos materiais actualmente hegemónicos, como o cimento, o aço e o tijolo.

Consciente de que o sector da construção consome elevadas quantidades de matérias-primas e de energia, urge agir para minimizar estes consumos, actuando directamente na principal fonte do problema, através do recurso a “novos” materiais, de elevado potencial, pela sua disponibilidade, pela poupança energética e pela redução de emissões de gases com efeito de estufa, que proporcionam.

Num país como Portugal, que apresenta condições bastante favoráveis para a utilização da terra como material de construção, torna-se cada vez mais premente a sua investigação.

8. BILIOGRAFIA

BRITO, Jorge de – Ensaio expedito e de campo para selecção de terra para execução de taipa, 1ª, 2ª e 3ª partes. Porto: Construção Magazine, 2008

CHISSAMA, Kapila Silvino - Caracterização do adobe produzido com solos de Camabatela e Huambo – Angola. Dissertação de Mestrado. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2009.

CORREIA, Mariana - Universalidade e Diversidade da Arquitectura de Terra. 10ª Mesa-Redonda de Primavera. Terra: Forma de construir. Arquitectura – Antropologia – Arqueologia. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2006.

CORREIA, Mariana; MERTEN, Jacob - A Taipa Alentejana – Sistemas Tradicionais de Protecção. IV Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra e III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Monsaraz: 2005.

CRATerre: DOAT, Patrice; HAYS, Alain; HOUBEN, Hugo; MATUK, Sílvia; VITOUX, François – Construire en terre. École d'Architecture de Grenoble. Paris, France: Editions Parenthèses, 1979.

CRATerre: HOUBEN, Hugo; GUILLAUD, Hubert - Traité de Construction en Terre. Marseille, France: Editions Parenthèses, 1989.

CRATerre: GARNIER, Philippe; HOUBEN, Hugo; RIGASSI, Vicent - Blocs de Terre Comprimée – Équipements de Production. Série Technologies, Volume 5. France: Editions Parenthèses, 1996.

CRATerre: HOUBEN, Hugo; CDI : BOUBEKEUR, S - Blocs de Terre Comprimée – Normes. Série Technologies, Volume 11. France: Editions Parenthèses, 1998.

CRATerre: MESBAH, A.; MOREL, J.C - Blocs de Terre Comprimée– Procédures d'essais. Série “Technologies”, Volume 16. France: Editions Parenthèses, 1998.

ESTEVÃO, João Manuel - Programa EC8SPEC, VERSÃO 1.01. Faro: Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve. 2010

FERNANDES, Maria – A Taipa no Mundo. Coimbra: Instituto de arqueologia. Centro de Estudos Arqueológicos das Universidades de Coimbra e Porto, 2008.

GOMES, Maria Idália; BRITO, Jorge; LOPES, Mário - Segurança das construções em terra crua face à acção sísmica. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2008.

JALALI, Said; TORGAL, Fernand - Considerações sobre a sustentabilidade da Construção em terra. 1º Forum Internacional de Tecnologia da Construção – TECCON 2009: Tecnologias associadas ao Processo do Empreendimento de Construção. Editadas pelo GEQUALTEC. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2009

LOURENÇO, Patrícia - Construções e Reabilitação com Materiais Tradicionais – Construção Nova em Terra Aditivada. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, 2004.

LOURENÇO, Paulo – As estruturas de terra e os sismos. Guimarães: Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 2005.

MAGALHÃES, Natércia – Algarve – Castelos, Cercas e Fortalezas. Letras várias: Faro, 2008

MATEUS, Ricardo; BRAGANÇA, Luís – Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção. Ermesinde: Edições Ecopy, 2006.

MINKE, Gernot. Earth Construction Hand Book. The Building Material Earth in the Modern Architecture. Southampton: WIT Press, 2009.

MTOP : Ministério dos Transportes e Obras Públicas - Bases para el Diseño y Construcción com Tapial. Espanha, 2002.

MOREIRA, Anabela Mendes – Terra crua. Disciplina Materiais de Construção I. Tomar: Instituto Politécnico de Tomar, 2008.

MORTON, Tom; STEVENSON, Fionn; TAYLOR, Bruce; SMITH, Nicholas Charlton -Low Cost Earth Brick Construction: Monitoring and Evaluation. United Kingdom: Arc, 2005.

APICER: Associação Portuguesa de Industria de Cerâmica - Manual de aplicação do revestimento cerâmico. Coimbra, 2003.

PINTO, Fernando Rocha – Arquitectura Tradicional de Terra no Alentejo – “Arquitecturas de Terra – Trunfos e Potencialidades, Materiais e Tecnologia, Lógica do Restauro, Actualidade e Futuro”. Museu Monográfico de Conimbriga, Alliance Française de Coimbra, Comissão de Coordenação da Região Centro, 1992.

RODRIGUES, Paulina Faria - Construções em terra crua - Tecnologias, potencialidades e patologias. Lisboa: Revista MUSA (Museu de Arqueologia e Etnografia do Distrito de Setúbal), 2007.

SALASAR, Cleverson José - Estudo sobre Emissão de Compostos Orgânicos Voláteis COVS em Tintas Imobiliárias à Base de Solvente e Água. Brasil: Universidade Estadual de Londrina, 2007. Dissertação de Mestrado em Química.

SAP 2000: Computers & Structures, I. Integrated Software for Structural Analysis & Design, Analysis Reference Manual. Report Version 10.0.1, Berkeley, 2005.

TORGAL, F. Pacheco; EIRES, Rute M. G.; JALALI, Said – A Construção em Terra. Guimarães: Universidade do Minho, 2009.

Legislação

E 239-1970 - Solos. Análise granulométrica por peneiração húmida. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1970.

NP EN 1991-1. Eurocódigo 1 - Acções em estruturas Parte 1: Acções gerais. Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios. Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2009.

NP EN 1992-1. Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2010.

NP EN 1998-1. Eurocódigo 8 - Projecto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios. Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2010.

NTE E.080 - NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN - E.080 Adobe. Perú: 1999.

NZS 4297 - Engineering design of earth buildings. New Zealand: New Zealand Standards, 1998.

NZS 4298 - Material and Workmanship for earth buildings. New Zealand: New Zealand Standards, 1998.

NZS 4299 - Earth Buildings Not Requiring Specific Design. New Zealand: New Zealand Standards, 1998.

UNE 41410 (2008): “Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo”. Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, España.

Internet

JESUS, Daniel – Maravilhas de Arquitectura de Terra. O blog da taipa. 2 Jul. 2007. [Consult. 5 Jan. 2011]. Disponível em <http://oblogdataipa.blogspot.com>

CRI. China Radio International.- Tulou – casa tradicional dos Hakkas. Beijing. China, 2011. [Consult. 5 Mar. 2011]. Disponível em <http://portuguese.cri.cn>

BENUTZER – Wikipédia. 27 Dez. 2005. [Consult. 3 Dez. 2010]. Disponível em <http://www.wikipedia.org>

JACQ, Christian - Ramsés II. El templo de millones de años. 1996. [consult. 1 Out. 2010]. Disponível em <http://cleopatra.com/>

RAEL, Ronald – Earth architecture. 2010. [Consult. 5 Nov. 2010]. Disponível em <http://www.eartharchitecture.org>

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. [Consult. 5 Out. 2010]. Disponível em <http://portal.unesco.org>

Fotopédia . 2006. [Consult. 12 Out. 2010]. Disponível em <http://www.fotopedia.com>

Google earth [Consult. 21 Out. 2010]. Disponível em earth.google.com/intl

ANEXOS

FICHAS DE CARACTERIZAÇÃO

LOCALIZAÇÃO:

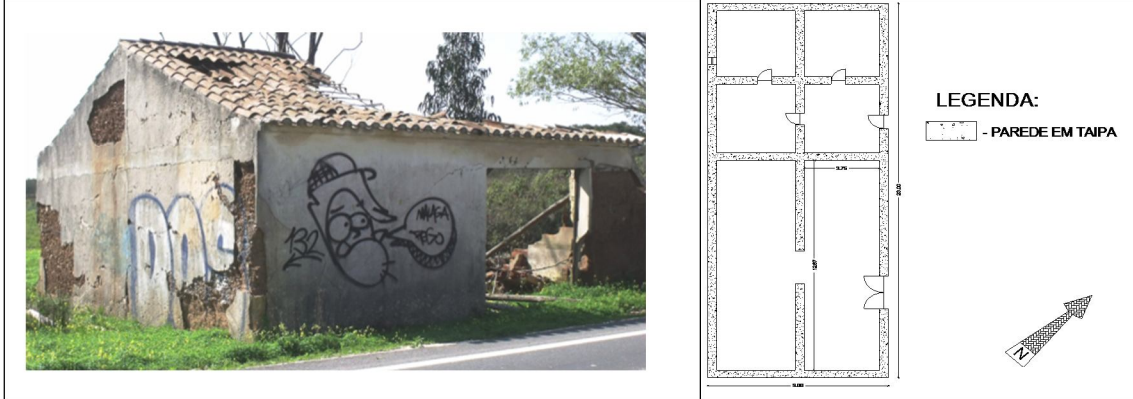
Concelho: 2 - Aljezur

2.1

N 37 ° 14 ' 128 "

W 8 ° 47 ' 928 "

CARACTERIZAÇÃO:



Tipo de implantação: Isolada

Nº de Pisos: 1

Área: 207,00 [m²]

Pé dir. máx. 3,9 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,45 [m]

Material: Taipa

Paredes Int. Espessura: 0,45 [m]

Material: Taipa

Embasamento Altura: N. S. [m]

Material: N. S.

Cobertura Material e estrutura: Varas circulares e ripas de madeira

Nº Águas: 2

REFORÇOS:



Cinta de travamento



Parede Mes tra

PATOLOGIAS:



Degradação do reboco



Colapso parcial

LOCALIZAÇÃO:

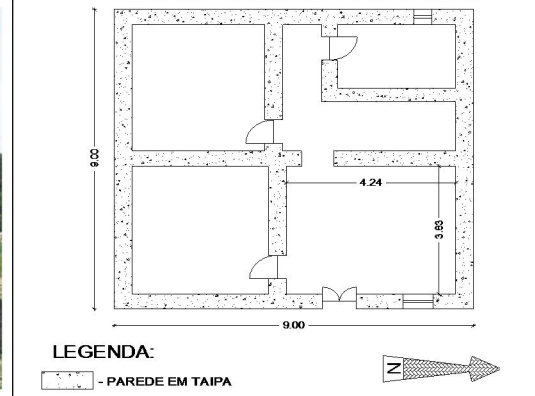
Concelho: 2 - Aljezur

2.3

N 37 ° 25 ' . 938 ' .

W 8 ° 46 ' . 929 ' .

CARACTERIZAÇÃO:



Tipo de implantação: Isolada

Nº de Pisos: 1

Área: 81,00 [m²]

Pé dir. máx. 3,65 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,45 [m]

Material: Taipa

Paredes Int. Espessura: 0,45 [m]

Material: Taipa

Embasamento Altura: 0,60 [m]

Material: Pedra

Cobertura Material e estrutura: N. S.

Nº Águas: 1

REFORÇOS:



Cinta de travamento

PATOLOGIAS:



Degradação do reboco



Fissuração

LOCALIZAÇÃO:

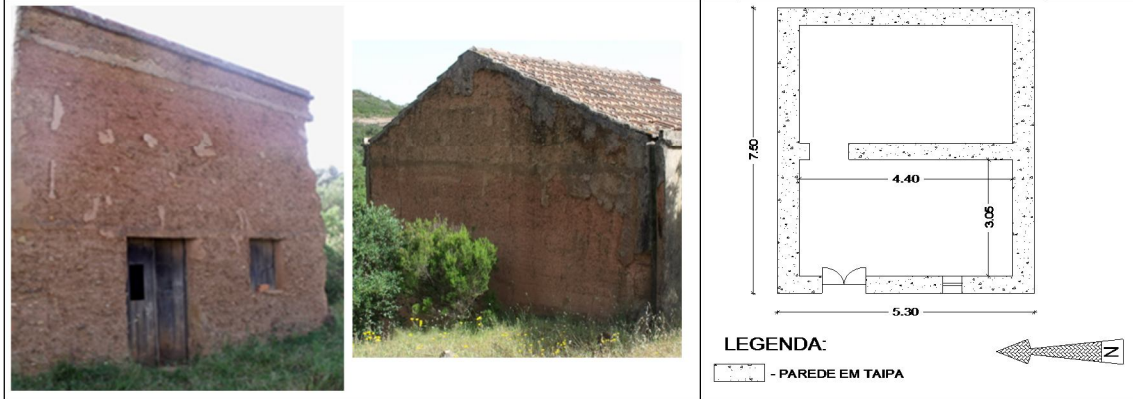
Concelho: 3 - Monchique

3.2

N 37 ° 15 ' . 638 ' .

W 8 ° 43 ' . 738 ' .

CARACTERIZAÇÃO:



Tipo de implantação: Isolada

Nº de Pisos: 2

Área: 39,80 [m²]

Pé dir. máx. 7,20 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,45 [m]

Material: Taipa

Paredes Int. Espessura: 0,45 [m]

Material: Taipa

Embasamento Altura: 0,30 [m]

Material: Pedra

Cobertura Material e estrutura: Varas de madeira e esteira de cana

Nº Águas: 2

REFORÇOS:



Reforço na cumeeira



Cinta de travamento

PATOLOGIAS:



Degradação do reboco



Rotura em cunhais

LOCALIZAÇÃO:

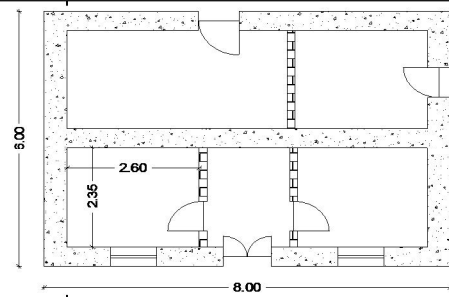
Concelho: 3 - Monchique

3.3

N 37 ° 15 ' . 693 ' .

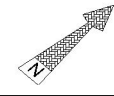
W 8 ° 40 ' . 195 ' .

CARACTERIZAÇÃO:



LEGENDA:

 PAREDE EM TAIPA
 PAREDE EM ADOBE



Tipo de implantação: Isolada

Nº de Pisos: 1

Área: 48,00 [m²]

Pé dir. máx. 3,70 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,50 [m]

Material: Taipa

Paredes Int. Espessura: 0,15 [m]

Material: Adobe

Embasamento Altura: N. S. [m]

Material: N. S.

Cobertura Material e estrutura: Varas de madeira e esteira de cana

Nº Águas: 2

REFORÇOS



Lintéis sobre os vãos



Tirantes

PATOLOGIAS



Degradação do reboco



Rotura em cunhais

LOCALIZAÇÃO:

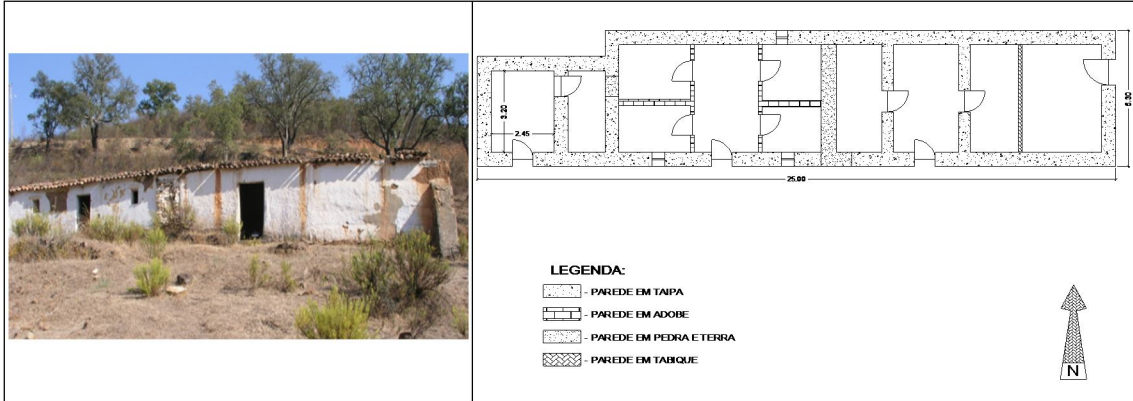
Concelho: 3 - Monchique

3.4

N 37 ° 15 ' . 183 ' .

W 8 ° 30 ' . 641 ' .

CARACTERIZAÇÃO:



Tipo de implantação: Agrupada

Nº de Pisos: 1

Área: 132,50 [m²]

Pé dir. máx. 3,10 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,45 [m]

Material: Taipa

Paredes Int. Espessura: 0,45 [m]

Material: Taipa

Embasamento Altura: 0,40 [m]

Material: Pedra

Cobertura Material e estrutura: Varas e ripado de madeira

Nº Águas: 1

REFORÇOS:



Lintéis sobre os vãos



Contrafortes

PATOLOGIAS:



Colapso parcial



Rotura em cunhais

LOCALIZAÇÃO:

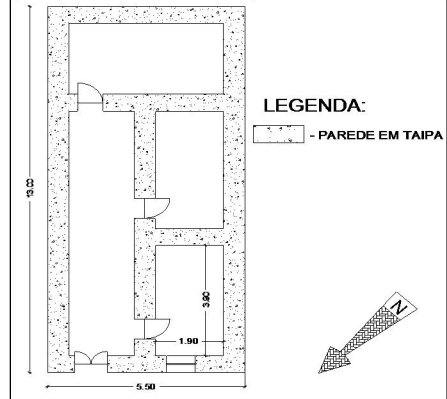
Concelho: 4 - Silves

4.3

N 37 ° 20 ' . 254 ' .

W 8 ° 23 ' . 239 ' .

CARACTERIZAÇÃO:



Tipo de implantação: Isolada

Nº de Pisos: 1

Área: 120,00 [m²]

Pé dir. máx. 3,90 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,50 [m]

Material: Taipa

Paredes Int. Espessura: 0,50 [m]

Material: Taipa

Embasamento Altura: 0,70 [m]

Material: Pedra

Cobertura Material e estrutura: N. S.

Nº Águas: 2

REFORÇOS:



Embasamento



Poial



Lintéis sobre os vãos

PATOLOGIAS:



Rotura em cunhais

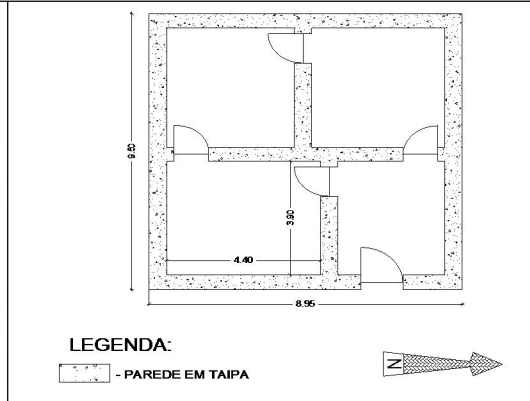
LOCALIZAÇÃO:

Concelho: 4 - Silves

4.4 N 37 ° 9 ' . 444 '

W 8 ° 23 ' . 708 '

CARACTERIZAÇÃO:



Tipo de implantação: Agrupada

Nº de Pisos: 1

Área: 85,00 [m²]

Pé dir. máx. 3,90 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,50 [m]

Material: Taipa

Paredes Int. Espessura: 0,50 [m]

Material: Taipa

Embasamento Altura: N. S. [m]

Material: N. S.

Cobertura Material e estrutura: Barrotes e ripas de madeira

Nº Águas: 2

REFORÇOS:



Parede mes tra



Tirante

PATOLOGIAS



Colapso parcial

LOCALIZAÇÃO:

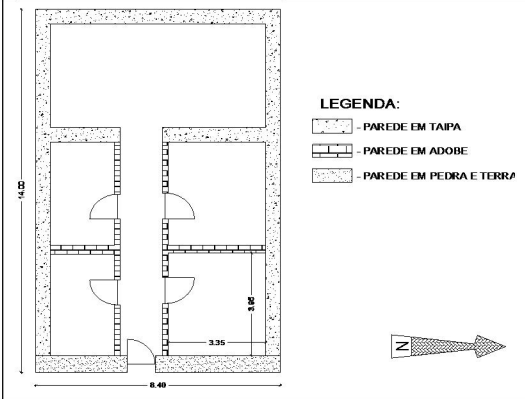
Concelho: 4-Silves

4.5

N 37 ° 9 ' . 863 "

W 8 ° 18 ' . 356 "

CARACTERIZAÇÃO:



Tipo de implantação: Isolada

Nº de Pisos: 1

Área: 117,60 [m²]

Pé dir. máx. 4,50 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,50 [m]

Material: Taipa

Paredes Int. Espessura: 0,17 [m]

Material: Adobe

Embasamento Altura: 1,00 [m]

Material: Pedra

Cobertura Material e estrutura: Barros e ripas de madeira

Nº Águas: 2

REFORÇOS:



Parede mes tra

PATOLOGIAS:



Degradação do reboco



Colapso parcial

LOCALIZAÇÃO:

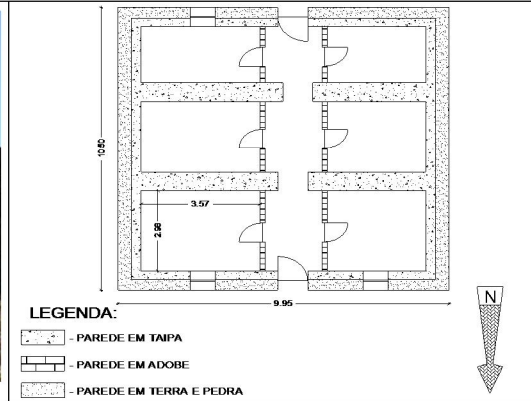
Concelho: 5 - Alcoutim

5.2

N 37 ° 24 ' 517 "

W 7 ° 35 ' 094 "

CARACTERIZAÇÃO:



Tipo de implantação: Agrupada

Nº de Pisos: 1

Área: 104,50 [m²]

Pé dir. máx. 3,40 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,60 [m]

Material: Pedra e terra

Paredes Int. Espessura: 0,12 [m]

Material: Adobe

Embasamento Altura: N. S. [m]

Material: N. S.

Cobertura Material e estrutura: Varas de madeira e esteira de cana.

Nº Águas: 2

REFORÇOS:



Lintéis sobre os vãos



Parede mes tra

PATOLOGIAS



Degradação do reboco



Colaps o parcial da cobertura

LOCALIZAÇÃO:

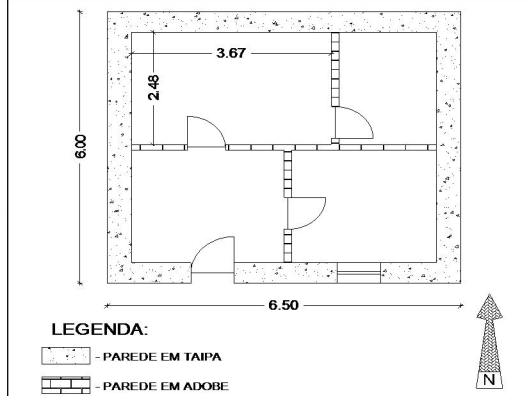
Concelho: 8 - Portimão

8.3

N 37 ° 7 ' 272 "

W 8 ° 34 ' 890 "

CARACTERIZAÇÃO:



Tipo de implantação: Isolada

Nº de Pisos: 1

Área: 39,00 [m²]

Pé dir. máx. 4,00 [m]

Paredes Ext. Espessura: 0,45 [m]

Material: Taipa

Paredes Int. Espessura: 0,14 [m]

Material: Adobe

Embasamento Altura: 0,50 [m]

Material: Pedra

Cobertura Material e estrutura: N. S.

Nº Águas: 2

REFORÇOS:



Embasamento

Cinta de travamento



Lintéis sobre os vãos

PATOLOGIAS:



Degradação do reboco



Colapso parcial

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

2.1

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 2795,4

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

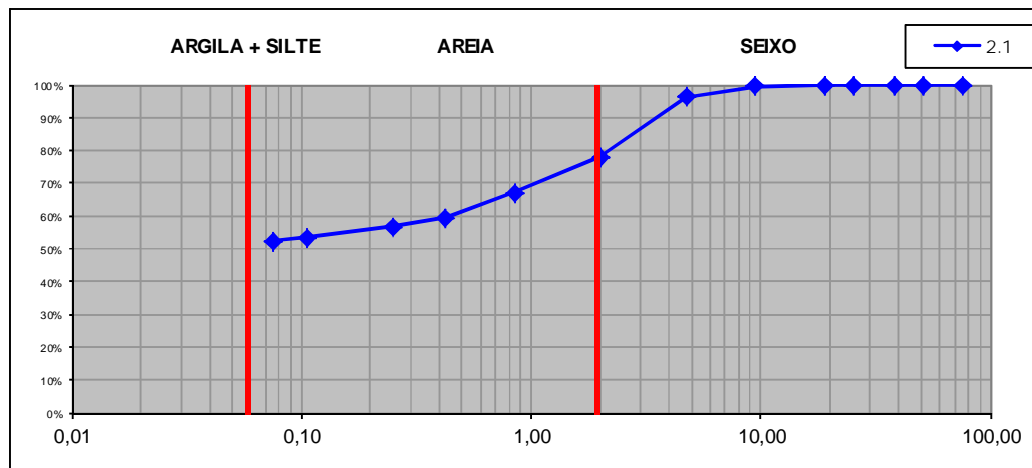
m_{10} (g) = 612,2

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 2183,2

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 2	50,8	0,00%	0,00%	100,00%
# 1 1/2	38,1	1,98%	0,07%	99,93%
# 1	25,4	1,56%	0,13%	99,87%
# 3/4	19,0	2,20%	0,21%	99,79%
# 3/8	9,51	7,50%	0,47%	99,53%
# 4	4,76	93,48%	3,82%	96,18%
# 10	2,00	505,52%	21,90%	78,10%
<2,00	2183,20			
Total	2795,44			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
Massa a ensaiar	$m_g = 100,49$	$N_{10} = m'_{10} / m_t$	$N_{10} = 78,10\%$	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 20	0,850	14,28%	33,00%	67,00%
# 40	0,425	9,72%	40,55%	59,45%
# 60	0,250	3,38%	43,18%	56,82%
# 140	0,106	4,34%	46,55%	53,45%
# 200	0,075	1,42%	47,66%	52,34%
<0,075	67,35	52,34%	100,00%	0,00%
total	100,49			



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	21,9%		
AREIA	25,8%		
SILTE + ARGILA	52,3%	SILTE	49,3%
		ARGILA	3,1%
TOTAL	100,0%		

2.2

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 4326,0

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

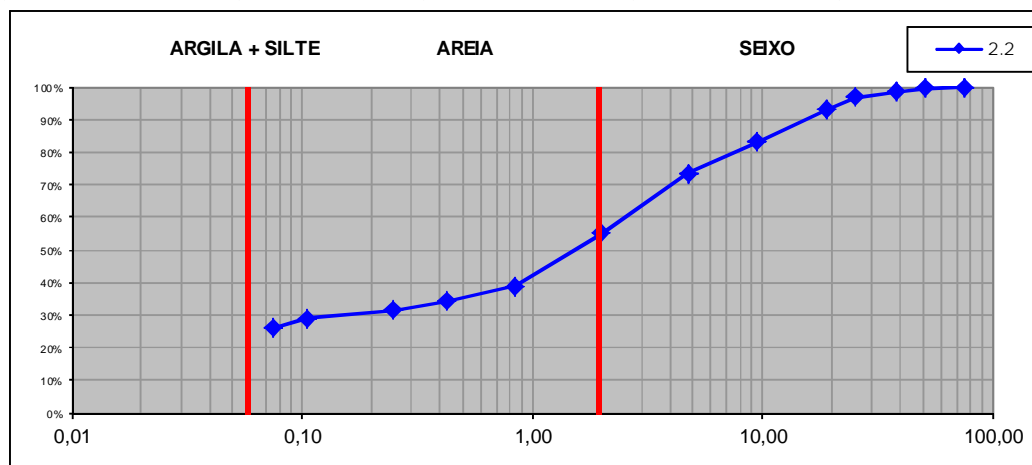
m_{10} (g) = 1935,0

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 2391,0

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,08%	0,08%	99,92%
# 2	50,8	0,33%	0,41%	99,59%
# 1 1/2	38,1	1,03%	1,44%	98,56%
# 1	25,4	1,76%	3,20%	96,80%
# 3/4	19,0	3,82%	7,02%	92,98%
# 3/8	9,51	9,74%	16,76%	83,24%
# 4	4,76	9,74%	26,50%	73,50%
# 10	2,00	18,23%	44,73%	55,27%
<2,00	2391,00			
Total	4326,00			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
Massa a ensaiar	mg = 101	N 10= m'_{10} / m_t	N 10 = 55,27%	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 20	0,850	16,03%	60,76%	39,24%
# 40	0,425	4,78%	65,54%	34,46%
# 60	0,250	5,08%	68,32%	31,68%
# 140	0,106	4,26%	70,65%	29,35%
# 200	0,075	5,83%	73,84%	26,16%
<0,075	47,80	26,16%	100,00%	0,00%
total	101,00			



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	44,7%		
AREIA	29,1%		
SILTE + ARGILA	26,2%	SILTE	21,5%
		ARGILA	4,6%
TOTAL	100,0%		

3.1

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 5023,5

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

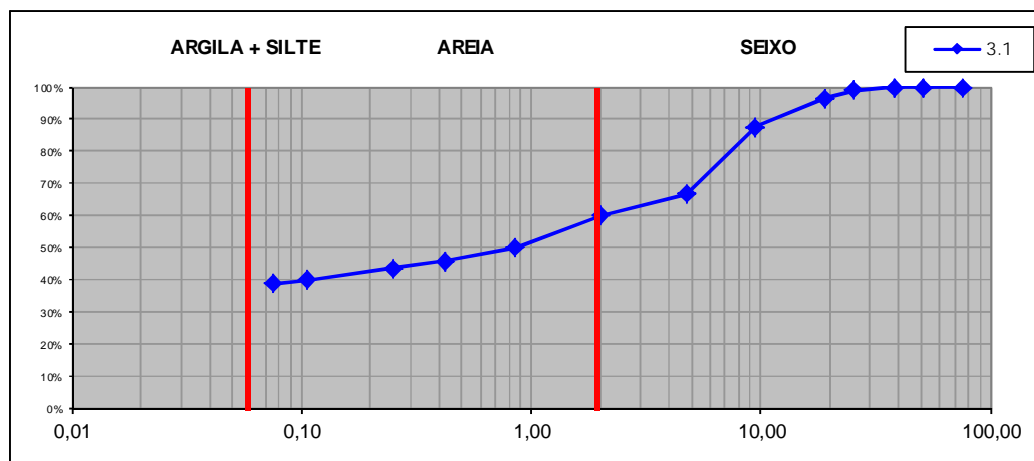
m_{10} (g) = 2013,6

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 3010,0

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 2	50,8	0,00%	0,00%	100,00%
# 1 1/2	38,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 1	25,4	45,62	0,91%	99,09%
# 3/4	19,0	130,54	2,60%	96,49%
# 3/8	9,51	453,21	9,02%	87,47%
# 4	4,76	1049,64	20,89%	66,58%
# 10	2,00	334,54	6,66%	59,92%
<2,00	3009,95			
Total	5023,50			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
Massa a ensaiar	$m_g = 100,66$	$N_{10} = m'_{10} / m_t$	$N_{10} = 59,92\%$	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 20	0,850	17,02	10,13%	49,79%
# 40	0,425	6,86	4,08%	45,70%
# 60	0,250	3,93	2,34%	43,36%
# 140	0,106	5,82	3,46%	39,90%
# 200	0,075	2,16	1,29%	38,61%
<0,075	64,87	38,61%	100,00%	0,00%
total	100,66			



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	40,1%		
AREIA	21,3%		
SILTE + ARGILA	38,6%	SILTE	13,8%
		ARGILA	24,8%
TOTAL	100,0%		

3.2

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 2503,1

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

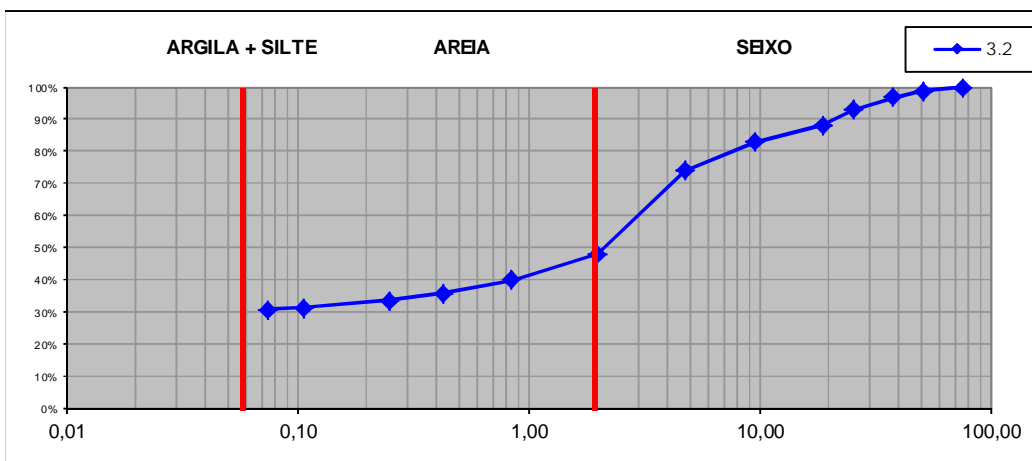
m_{10} (g) = 1284,8

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 1218,3

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 2	50,8	1,25%	1,25%	98,75%
# 1 1/2	38,1	1,83%	3,08%	96,92%
# 1	25,4	3,91%	6,99%	93,01%
# 3/4	19,0	4,66%	11,65%	88,35%
# 3/8	9,51	5,21%	16,86%	83,14%
# 4	4,76	8,98%	25,84%	74,16%
# 10	2,00	25,49%	51,33%	48,67%
<2,00	1218,29			
Total	2503,05			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
Massa a ensaiar	$mg = 100$	$N_{10} = m'_{10} / m_t$	$N_{10} = 48,67\%$	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 20	0,850	8,08%	59,41%	40,59%
# 40	0,425	4,19%	63,60%	36,40%
# 60	0,250	2,13%	65,73%	34,27%
# 140	0,106	2,38%	68,11%	31,89%
# 200	0,075	0,56%	68,68%	31,32%
<0,075	64,35	31,32%	100,00%	0,00%
total	100,00			



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	51,3%		
AREIA	17,4%		
SILTIE + ARGILA	31,3%	SILTIE	15,7%
		ARGILA	15,7%
TOTAL	100,0%		

3.3

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 4397,0

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

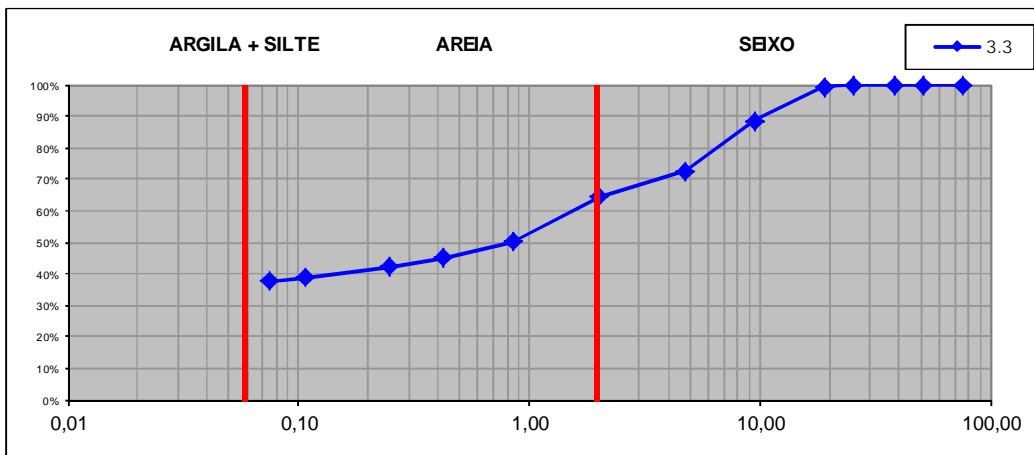
m_{10} (g) = 1568,0

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 2829,1

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 2	50,8	0,00%	0,00%	100,00%
# 1 1/2	38,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 1	25,4	0,00%	0,00%	100,00%
# 3/4	19,0	29,28	0,67%	99,33%
# 3/8	9,51	473,54	10,77%	88,56%
# 4	4,76	705,26	16,04%	72,53%
# 10	2,00	359,88	8,18%	64,34%
<2,00	2829,06			
Total	4397,02			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
Massa a ensaiar	$m_g = 101,6$	$N_{10} = m'_{10} / m_t$	$N_{10} = 64,34\%$	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 20	0,850	22,43	14,20%	49,86%
# 40	0,425	8,06	5,10%	54,97%
# 60	0,250	4,48	2,84%	57,81%
# 140	0,106	5,47	3,46%	61,27%
# 200	0,075	1,90	1,20%	62,47%
<0,075	59,26	37,53%	100,00%	0,00%
total	101,60			



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	35,7%		
AREIA	26,8%		
SILTE + ARGILA	37,5%	SILTE	15,0%
		ARGILA	22,5%
TOTAL	100,0%		

3.4

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 4437,2

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

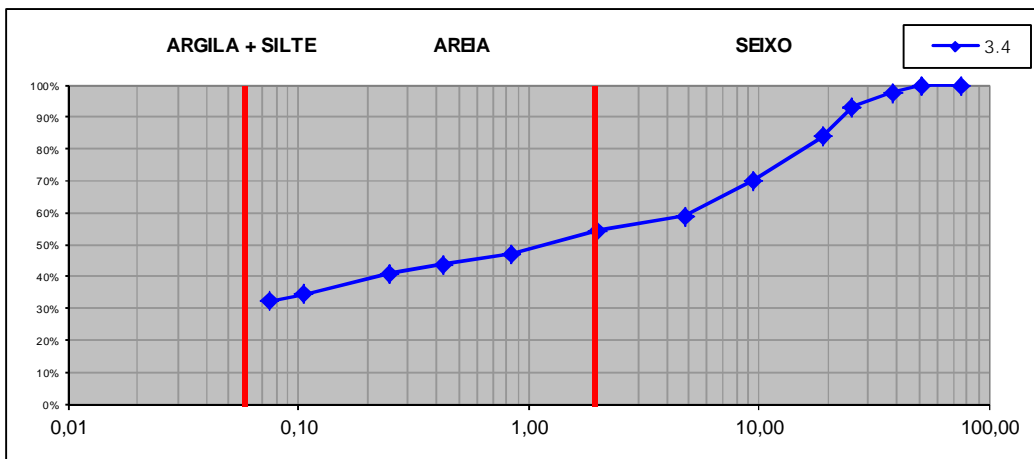
m_{10} (g) = 2020,0

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 2417,1

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 2	50,8	0,00%	0,00%	100,00%
# 1 1/2	38,1	111,87	2,52%	97,48%
# 1	25,4	190,03	4,28%	93,20%
# 3/4	19,0	418,40	9,43%	83,77%
# 3/8	9,51	602,33	13,57%	70,19%
# 4	4,76	507,31	11,43%	58,76%
# 10	2,00	190,09	4,28%	45,53%
	<2,00	2417,12		
	Total	4437,15		

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
Massa a ensaiar	mg = 101,53	N 10= m'_{10} / m_t	N 10 = 54,47%	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 20	0,850	13,61	7,30%	52,83%
# 40	0,425	6,29	3,37%	56,20%
# 60	0,250	5,66	3,04%	59,24%
# 140	0,106	11,73	6,29%	65,53%
# 200	0,075	4,30	2,31%	67,84%
	<0,075	59,94	32,16%	100,00%
	total	101,53		



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	45,5%		
AREIA	22,3%		
SILTIE + ARGILA	32,2%	SILTIE	18,4%
		ARGILA	13,8%
TOTAL	100,0%		

4.1

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 2003,5

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

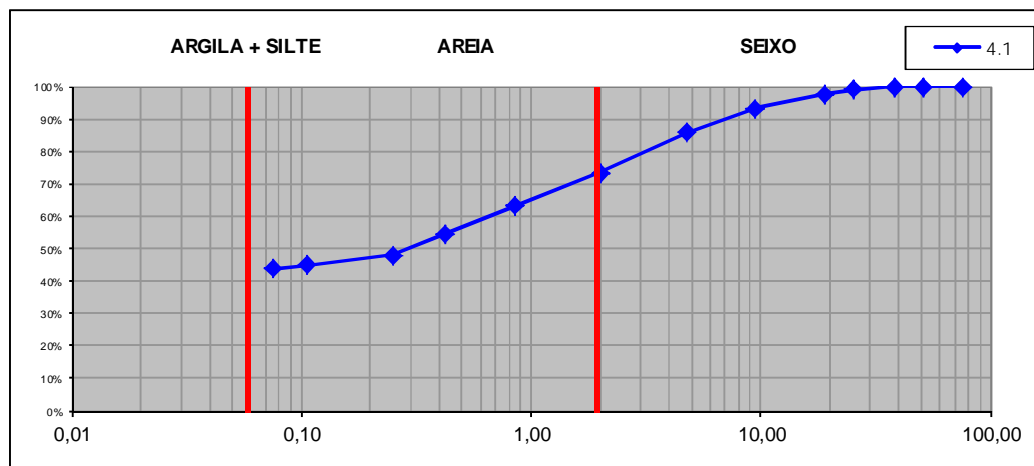
m_{10} (g) = 535,5

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 1468,0

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 2	50,8	0,00%	0,00%	100,00%
# 1 1/2	38,1	5,21	0,26%	99,74%
# 1	25,4	12,50	0,62%	99,12%
# 3/4	19,0	28,34	1,41%	97,70%
# 3/8	9,51	87,45	4,36%	93,34%
# 4	4,76	153,21	7,65%	85,69%
# 10	2,00	248,79	12,42%	73,27%
<2,00	1468,00			
Total	2003,50			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)					
Massa a ensaiar	$mg = 117$	$N_{10} = m'_{10} / m_t$	$N_{10} = 73,27\%$		
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA	
[mm]	[g]				
# 20	0,850	16,34	10,23%	36,96%	63,04%
# 40	0,425	13,50	8,45%	45,42%	54,58%
# 60	0,250	10,76	6,74%	52,15%	47,85%
# 140	0,106	4,67	2,92%	55,08%	44,92%
# 200	0,075	1,73	1,08%	56,16%	43,84%
<0,075	70,00	43,84%	100,00%	0,00%	
total	117,00				



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	26,7%		
AREIA	29,4%		
SILTIE + ARGILA	43,8%	SILTIE	26,3%
		ARGILA	17,5%
TOTAL	100,0%		

4.4

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 1965,0

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

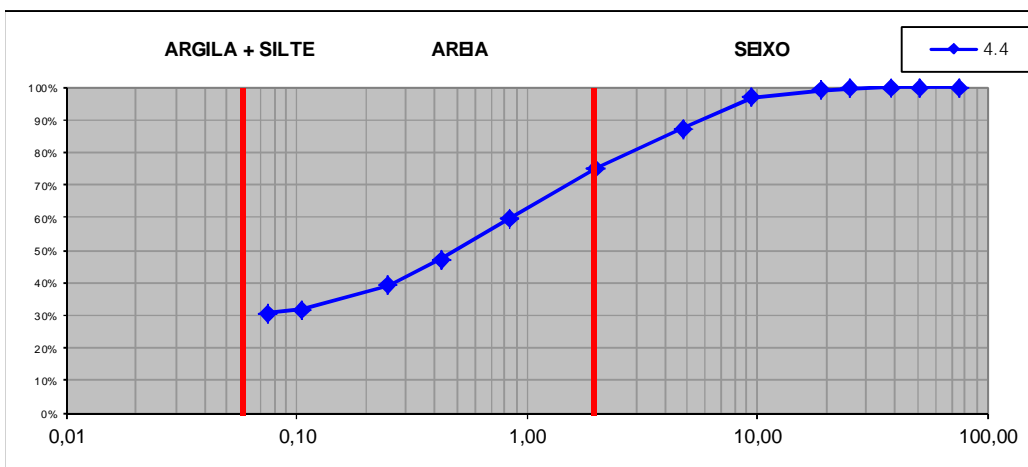
m_{10} (g) = 487,0

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 1478,0

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 2	50,8	0,00%	0,00%	100,00%
# 1 1/2	38,1	3,26	0,17%	99,83%
# 1	25,4	5,33	0,27%	99,56%
# 3/4	19,0	8,97	0,46%	99,11%
# 3/8	9,51	43,59	2,22%	96,89%
# 4	4,76	187,43	9,54%	87,35%
# 10	2,00	238,42	12,13%	75,22%
<2,00	1478,00			
Total	1965,00			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
Massa a ensaiar	$mg = 118$	$N_{10} = m'_{10} / m_t$	$N_{10} = 75,22\%$	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 20	0,850	24,23	15,44%	59,77%
# 40	0,425	19,87	12,67%	47,11%
# 60	0,250	12,67	8,08%	39,03%
# 140	0,106	11,54	7,36%	31,67%
# 200	0,075	1,69	1,08%	30,60%
<0,075	48,00	30,60%	100,00%	0,00%
total	118,00			



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	24,8%		
AREIA	44,6%		
SILTE + ARGILA	30,6%	SILTE	19,7%
		ARGILA	10,9%
TOTAL	100,0%		

4.5

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 2037,0

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

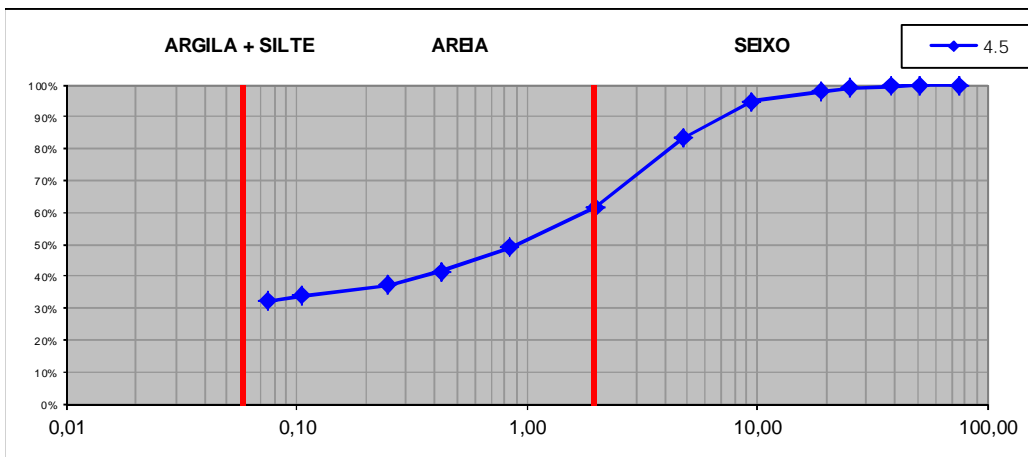
m_{10} (g) = 778,5

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 1258,5

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)					
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA	
[mm]	[g]				
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%	
# 2	50,8	0,00%	0,00%	100,00%	
# 1 1/2	38,1	7,22	0,35%	99,65%	
# 1	25,4	11,52	0,57%	99,08%	
# 3/4	19,0	23,23	1,14%	97,94%	
# 3/8	9,51	65,34	3,21%	94,73%	
# 4	4,76	234,89	11,53%	83,20%	
# 10	2,00	436,30	21,42%	61,78%	
<2,00	1258,50				
Total	2037,00				

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)					
Massa a ensaiar mg = 115		N 10= m'_{10} / m_t		N 10 = 61,78%	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA	
[mm]	[g]				
# 20	0,850	23,50	12,63%	50,84%	
# 40	0,425	14,43	7,75%	58,60%	
# 60	0,250	7,56	4,06%	62,66%	
# 140	0,106	6,45	3,47%	66,12%	
# 200	0,075	3,06	1,64%	67,77%	
<0,075	60,00		32,23%	100,00%	
total	115,00				



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	38,2%		
AREIA	29,5%		
SILTE + ARGILA	32,2%	SILTE	16,9%
		ARGILA	15,3%
TOTAL	100,0%		

5.1

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 2108,0

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

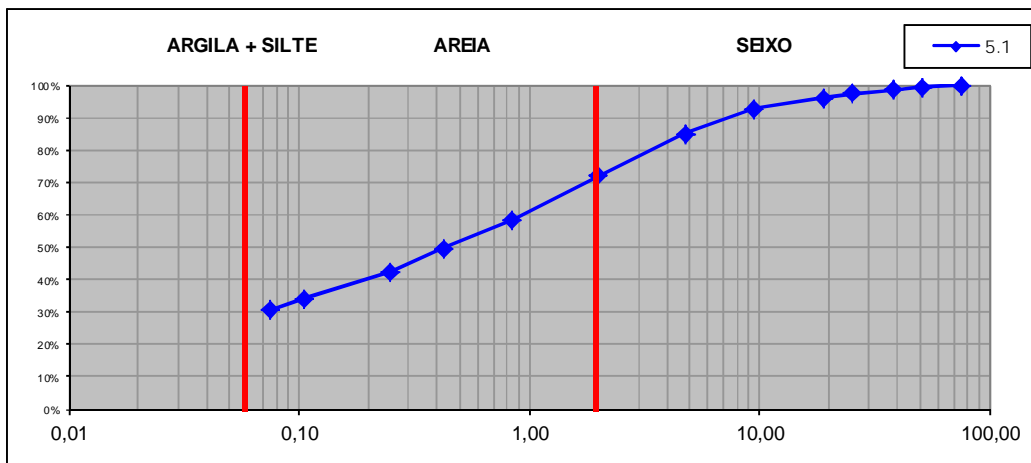
m_{10} (g) = 585,0

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 1523,0

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 2	50,8	13,34	0,63%	99,37%
# 1 1/2	38,1	17,10	0,81%	98,56%
# 1	25,4	23,50	1,11%	97,44%
# 3/4	19,0	29,33	1,39%	96,05%
# 3/8	9,51	71,73	3,40%	92,65%
# 4	4,76	160,37	7,61%	85,04%
# 10	2,00	269,63	12,79%	72,25%
<2,00	1523,00			
Total	2108,00			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)					
Massa a ensaiar	$mg = 115$	$N_{10} = m'_{10} / m_t$	$N_{10} = 72,25\%$		
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA	
[mm]	[g]				
# 20	0,850	21,65	13,60%	41,35%	58,65%
# 40	0,425	13,85	8,70%	50,05%	49,95%
# 60	0,250	11,23	7,06%	57,11%	42,89%
# 140	0,106	13,25	8,32%	65,43%	34,57%
# 200	0,075	5,67	3,56%	69,00%	31,00%
<0,075	49,35	31,00%	100,00%	0,00%	
total	115,00				



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	27,8%		
AREIA	41,2%		
SILTE + ARGILA	31,0%	SILTE	23,8%
		ARGILA	7,2%
TOTAL	100,0%		

5.2

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 2027,0

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

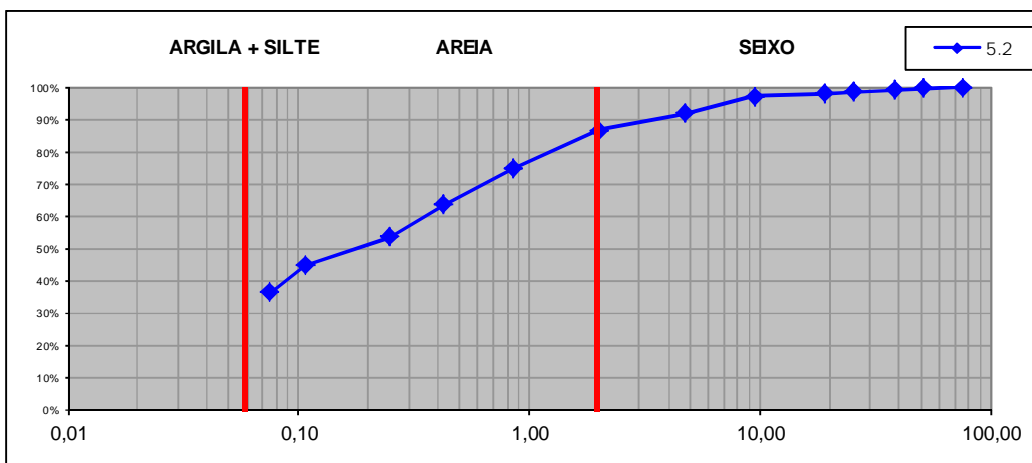
m_{10} (g) = 269,0

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 1758,0

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,17%	0,17%	99,83%
# 2	50,8	0,34%	0,51%	99,49%
# 1 1/2	38,1	0,48%	0,99%	99,01%
# 1	25,4	0,48%	1,47%	98,53%
# 3/4	19,0	0,48%	1,95%	98,05%
# 3/8	9,51	0,96%	2,91%	97,09%
# 4	4,76	5,34%	8,25%	91,75%
# 10	2,00	5,02%	13,27%	86,73%
<2,00	1758,00			
Total	2027,00			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
Massa a ensaiar	$mg = 115$	$N_{10} = m'_{10} / m_t$	$N_{10} = 86,73\%$	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 20	0,850	12,12%	25,39%	74,61%
# 40	0,425	10,88%	36,27%	63,73%
# 60	0,250	13,25%	46,27%	53,73%
# 140	0,106	11,67%	55,07%	44,93%
# 200	0,075	10,99%	63,36%	36,64%
<0,075	48,59	36,64%	100,00%	0,00%
total	115,00			



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	13,3%		
AREIA	50,1%		
SILTE + ARGILA	36,6%	SILTE	19,3%
		ARGILA	17,4%
TOTAL	100,0%		

6.1

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 5077,1

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

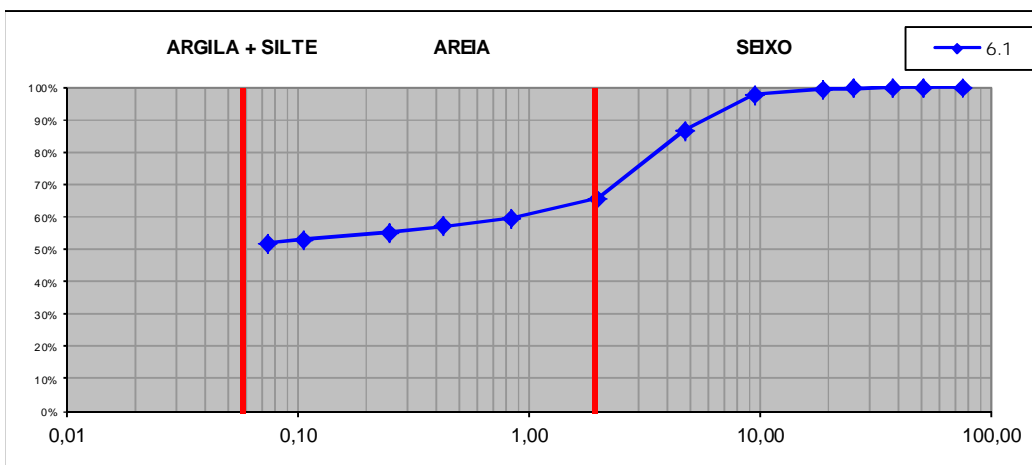
m_{10} (g) = 1748,1

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 3329,0

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00	0,00%	100,00%
# 2	50,8	0,00	0,00%	100,00%
# 1 1/2	38,1	0,00	0,00%	100,00%
# 1	25,4	16,86	0,33%	99,67%
# 3/4	19,0	23,57	0,46%	99,20%
# 3/8	9,51	83,68	1,65%	97,56%
# 4	4,76	552,00	10,87%	86,68%
# 10	2,00	1072,00	21,11%	65,57%
<2,00	3329,00			
Total	5077,11			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
Massa a ensaiar	$m_g = 101,89$	$N_{10} = m'_{10} / m_t$	$N_{10} = 65,57\%$	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 20	0,850	9,36	6,02%	59,55%
# 40	0,425	3,94	2,54%	57,01%
# 60	0,250	2,87	1,85%	55,16%
# 140	0,106	3,43	2,21%	52,96%
# 200	0,075	1,63	1,05%	51,91%
<0,075	80,66		100,00%	0,00%
total	101,89			



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	34,4%		
AREIA	13,7%		
SILTE + ARGILA	51,9%	SILTE	40,9%
		ARGILA	11,0%
TOTAL	100,0%		

8.1

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 9079,0

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

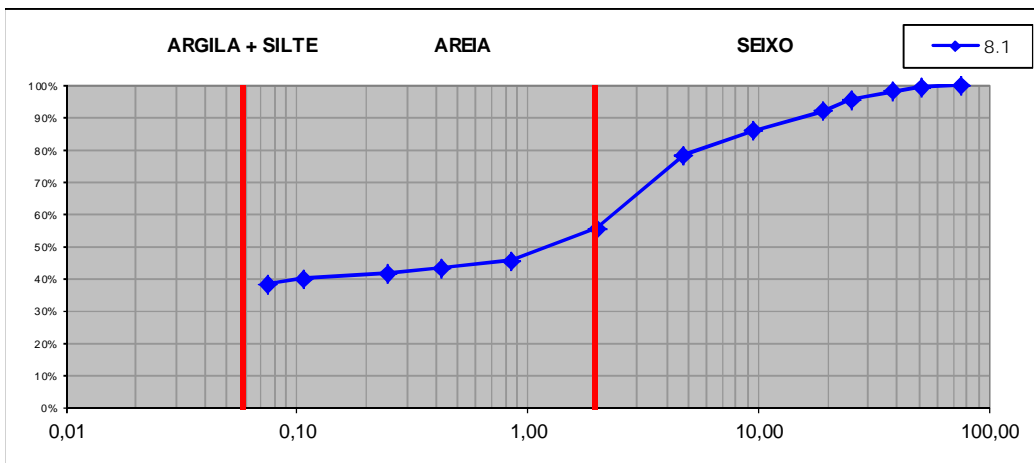
m_{10} (g) = 4027,0

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 5052,0

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 2	50,8	0,67%	0,67%	99,33%
# 1 1/2	38,1	1,30%	1,97%	98,03%
# 1	25,4	2,59%	4,56%	95,44%
# 3/4	19,0	3,49%	8,05%	91,95%
# 3/8	9,51	6,14%	14,19%	85,81%
# 4	4,76	7,51%	21,70%	78,30%
# 10	2,00	22,66%	44,36%	55,64%
<2,00	5052,00			
Total	9079,01			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
Massa a ensaiar	$m_g = 100,03$	$N_{10} = m'_{10} / m_t$	$N_{10} = 55,64\%$	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 20	0,850	9,76%	54,11%	45,89%
# 40	0,425	2,29%	56,40%	43,60%
# 60	0,250	2,88%	58,01%	41,99%
# 140	0,106	3,03%	59,69%	40,31%
# 200	0,075	2,88%	61,29%	38,71%
<0,075	69,58	38,71%	100,00%	0,00%
total	100,03			



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	44,4%		
AREIA	16,9%		
SILTIE + ARGILA	38,7%	SILTIE	31,0%
		ARGILA	7,7%
TOTAL	100,0%		

8.2

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 1418,5

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

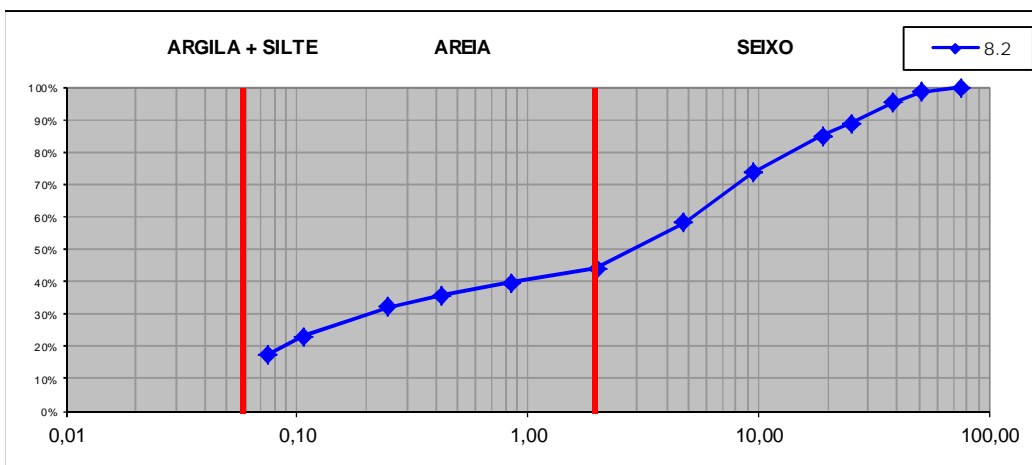
m_{10} (g) = 780,2

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 638,3

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00%	0,00%	100,00%
# 2	50,8	21,37	1,51%	98,49%
# 1 1/2	38,1	47,93	3,38%	95,11%
# 1	25,4	88,03	6,21%	88,91%
# 3/4	19,0	54,65	3,85%	85,06%
# 3/8	9,51	157,84	11,13%	73,93%
# 4	4,76	216,63	15,27%	58,66%
# 10	2,00	193,73	13,66%	45,00%
<2,00	638,33			
Total	1418,51			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)					
Massa a ensaiar	mg = 101,94	N 10= m'_{10} / m_t	N 10 = 45,00%		
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA	
[mm]	[g]				
# 20	0,850	9,92	4,38%	59,38%	40,62%
# 40	0,425	8,82	3,89%	63,27%	36,73%
# 60	0,250	7,70	3,40%	66,67%	33,33%
# 140	0,106	20,72	9,15%	75,82%	24,18%
# 200	0,075	12,10	5,34%	81,16%	18,84%
<0,075	42,68	18,84%	100,00%	0,00%	
total	101,94				



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	55,0%		
AREIA	26,2%		
SILTE + ARGILA	18,8%	SILTE	14,1%
		ARGILA	4,7%
TOTAL	100,0%		

8.3

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA

E 239 - 1970

Massa total da amostra

m_t (g) = 5458,5

Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

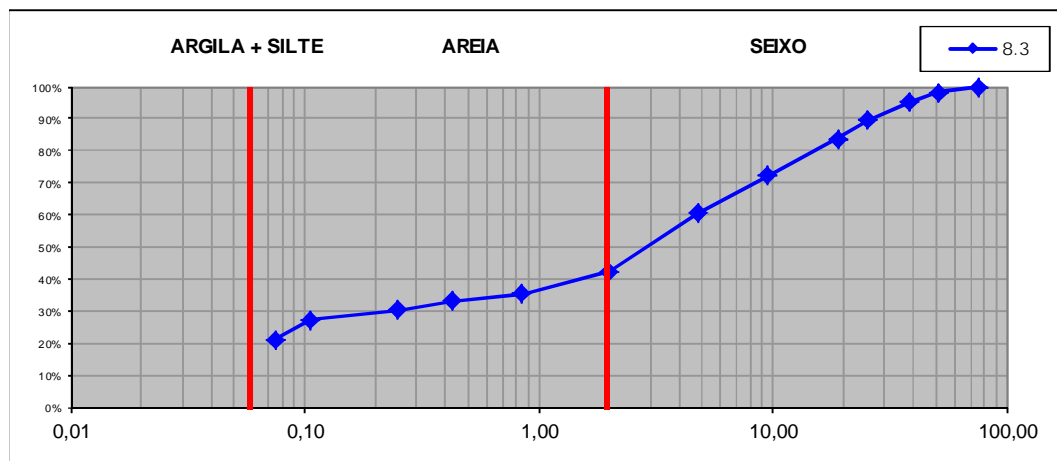
m_{10} (g) = 3093,4

Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10)

m'_{10} (g) = 2365,0

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)				
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
[mm]	[g]			
# 3	76,1	0,00	0,00%	100,00%
# 2	50,8	94,21	1,73%	98,27%
# 1 1/2	38,1	174,22	3,19%	95,08%
# 1	25,4	299,60	5,49%	89,59%
# 3/4	19,0	305,23	5,59%	84,00%
# 3/8	9,51	618,17	11,33%	72,68%
# 4	4,76	634,11	11,62%	61,06%
# 10	2,00	967,89	17,73%	43,33%
<2,00	2365,02			
Total	5458,45			

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2.00 mm (Nº 10)					
Massa a ensaiar mg = 118		N 10= m'_{10} / m_t		N 10 = 43,33%	
PENEIROS	MASSA RETIDA	% RETIDA	% ACUMULADA RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA	
[mm]	[g]				
# 20	0,850	18,56	6,81%	63,49%	36,51%
# 40	0,425	6,44	2,36%	65,85%	34,15%
# 60	0,250	6,82	2,50%	68,36%	31,64%
# 140	0,106	8,43	3,10%	71,45%	28,55%
# 200	0,075	16,75	6,15%	77,60%	22,40%
<0,075	61,00	22,40%	100,00%	0,00%	
total	118,00				



RESULTADOS DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

SEIXO	56,7%		
AREIA	20,9%		
SILTIE + ARGILA	22,4%	SILTIE	15,7%
		ARGILA	6,7%
TOTAL	100,0%		

TABELAS DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA
CONSTRUÇÃO 5.1

Tabela A 3.1 - V. S. - Combinação fundamental de acções – Estrutura simples

N.º elemento	N.º nó	TOP											BOTTOM										
		S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s [†]]	V.S. [s]	V.S. [t]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s [†]]	V.S. [s]	V.S. [t]		
Média	383	-14,13	-70,63	-19,74	-7,91	-76,84	-42,38	138,58	O.K.	O.K.	O.K.	-49,73	-248,64	14,17	-48,73	-249,64	-149,18	210,62	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	386	465,21	94,82	-76,50	480,39	79,64	202,82	0,00	MAL	O.K.	MAL	-187,87	-35,33	96,49	11,39	-234,59	-111,60	185,28	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	399	49,62	-41,28	-232,33	240,90	-232,56	4,17	107,19	O.K.	O.K.	MAL	58,17	45,24	212,44	264,24	-160,83	51,71	75,12	O.K.	O.K.	MAL		
Média	792	184,76	-682,42	-6,80	184,81	-682,47	-248,83	277,84	O.K.	O.K.	O.K.	-201,82	479,48	44,82	482,42	-204,76	60,62	69,11	MAL	O.K.	O.K.		
Média	794	-265,62	-710,37	-472,45	34,17	-1010,17	-488,00	439,16	O.K.	O.K.	MAL	224,43	484,78	414,20	788,78	-79,57	123,22	26,89	MAL	O.K.	MAL		
Média	806	-233,37	-1182,15	-427,17	-69,39	-1346,13	-707,76	587,39	O.K.	O.K.	O.K.	161,42	920,96	363,01	1066,55	15,83	170,91	0,00	MAL	O.K.	MAL		
Média	808	170,33	-285,55	-122,20	201,02	-316,24	-57,61	148,86	O.K.	O.K.	O.K.	-173,79	104,59	162,31	179,21	-248,42	-34,60	133,34	O.K.	O.K.	MAL		
Média	832	-286,36	-1431,81	2,45	-286,35	-1431,82	-859,09	689,46	O.K.	O.K.	O.K.	236,76	1183,79	11,85	1183,94	236,61	281,31	0,00	MAL	O.K.	MAL		
Média	839	-218,01	-1090,03	102,73	-206,07	-1101,97	-654,02	551,14	O.K.	O.K.	O.K.	159,18	795,92	-74,16	804,44	150,66	238,33	0,00	MAL	O.K.	MAL		
Média	841	0,19	-932,14	-49,46	2,81	-934,75	-465,97	424,30	O.K.	O.K.	O.K.	1,57	741,15	46,56	744,07	-1,35	162,33	0,51	MAL	O.K.	MAL		
Média	850	129,65	-39,88	0,00	129,65	-39,88	44,89	79,72	O.K.	O.K.	O.K.	-57,87	44,63	0,00	44,63	-57,87	-6,62	114,47	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	1533	-185,40	-5,44	0,33	-5,44	-185,40	-95,42	174,36	O.K.	O.K.	O.K.	173,04	-12,88	-0,13	173,04	-12,88	80,08	55,98	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	2162	301,16	-40,47	-239,87	424,81	-164,12	80,94	55,41	MAL	O.K.	MAL	-312,04	-45,12	240,73	96,67	-453,82	-178,58	230,45	O.K.	O.K.	MAL		
Média	2210	317,36	-39,16	0,00	317,36	-39,16	139,10	16,18	O.K.	O.K.	O.K.	-348,32	-43,77	0,00	-43,77	-348,32	-196,05	242,23	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	3758	-259,39	-0,97	-414,60	304,08	-564,44	-130,18	197,81	O.K.	O.K.	MAL	301,25	2,69	441,15	617,68	-313,75	6,12	105,87	MAL	O.K.	MAL		

Tabela A 3.2 - V. S. - Combinação de ações Sismo 1 – Estrutura simples

N.º elemento	TOP											BOTTOM										
	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s [†]]	V.S. [s]	V.S. [t]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s [†]]	V.S. [s]	V.S. [t]		
M.M.áx.	383	13,13	65,65	5,71	66,26	12,52	39,39	83,43	O.K.	O.K.	O.K.	22,09	6,35	-44,69	-19,17	122,93	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.mín.	383	-40,27	-201,33	-26,07	-36,16	-205,44	-120,80	191,48	O.K.	O.K.	O.K.	-9,79	-53,57	-270,53	-162,05	219,30	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	386	940,07	181,69	196,77	988,08	133,68	229,84	0,00	MAL	O.K.	MAL	279,52	869,89	63,22	194,61	0,00	MAL	O.K.	MAL			
M.M.mín.	386	-481,06	-89,25	-272,50	50,46	-620,77	-285,15	302,34	O.K.	O.K.	O.K.	-184,26	-168,43	-985,66	-577,05	499,22	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	399	485,14	103,72	113,16	516,19	72,68	199,34	0,00	MAL	O.K.	MAL	332,24	691,41	-47,48	139,26	16,07	MAL	O.K.	MAL			
M.M.mín.	399	-436,13	-149,93	-342,00	77,70	-663,76	-293,03	307,65	O.K.	O.K.	MAL	-122,79	-79,94	-469,65	-274,80	295,35	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	792	211,47	-11,58	85,88	240,70	-40,81	99,95	42,59	O.K.	O.K.	MAL	99,78	545,00	3,93	164,97	0,00	MAL	O.K.	MAL			
M.M.mín.	792	-40,05	-704,40	-81,85	-30,12	-714,34	-372,23	361,07	O.K.	O.K.	O.K.	-46,73	-83,05	-244,60	-163,83	220,50	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	794	67,34	-103,92	1,28	67,35	-103,93	-18,29	122,34	O.K.	O.K.	O.K.	435,90	834,26	-55,08	135,46	18,63	MAL	O.K.	MAL			
M.M.mín.	794	-336,47	-629,43	-474,91	14,04	-979,93	-482,95	435,75	O.K.	O.K.	MAL	-38,19	-17,37	-108,76	-63,07	152,54	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	806	26,12	-14,21	19,61	34,08	-22,17	5,96	105,98	O.K.	O.K.	O.K.	406,64	1188,65	40,59	183,29	0,00	MAL	O.K.	MAL			
M.M.mín.	806	-267,98	-1195,93	-450,99	-84,91	-1378,99	-731,95	603,71	O.K.	O.K.	O.K.	-61,50	-33,86	-191,68	-112,77	186,06	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	808	216,61	-59,79	78,01	237,10	-80,29	78,41	57,11	O.K.	O.K.	MAL	209,75	286,86	-136,67	75,09	59,35	O.K.	O.K.	MAL			
M.M.mín.	808	-55,83	-254,55	-189,39	58,68	-369,06	-155,19	214,68	O.K.	O.K.	O.K.	-41,81	-26,60	-231,02	-128,81	196,88	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	832	23,57	117,84	19,88	121,86	19,55	70,71	62,31	O.K.	O.K.	O.K.	20,61	1402,76	280,10	303,05	0,00	MAL	O.K.	MAL			
M.M.mín.	832	-315,31	-1576,57	-14,39	-315,15	-1576,73	-945,94	748,04	O.K.	MAL	O.K.	-5,88	-57,83	-290,07	-173,95	227,33	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	839	21,67	108,37	107,38	180,82	-50,78	65,02	66,14	O.K.	O.K.	MAL	19,03	1044,43	208,37	267,18	0,00	MAL	O.K.	MAL			
M.M.mín.	839	-248,41	-1242,04	-0,49	-248,41	-1242,04	-745,23	612,66	O.K.	O.K.	O.K.	-86,05	-38,83	-349,96	-194,40	241,12	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	841	1,58	-19,67	45,42	37,60	-55,69	-9,05	116,10	O.K.	O.K.	O.K.	90,36	810,28	-7,79	159,11	2,68	MAL	O.K.	MAL			
M.M.mín.	841	-1,16	-933,20	-94,34	8,30	-942,65	-467,18	425,11	O.K.	O.K.	O.K.	-44,99	15,81	-124,38	-54,29	146,62	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	850	234,34	-4,52	61,52	249,25	-19,43	114,91	32,49	O.K.	O.K.	MAL	60,38	161,38	7,75	84,57	52,96	O.K.	O.K.	MAL			
M.M.mín.	850	-98,45	-33,07	-61,52	3,90	-135,42	-65,76	154,36	O.K.	O.K.	O.K.	-60,38	26,08	-197,91	-85,92	167,95	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	1533	694,48	90,40	22,49	695,32	89,57	207,78	0,00	MAL	O.K.	MAL	23,01	880,85	79,83	202,92	0,00	MAL	O.K.	MAL			
M.M.mín.	1533	-879,62	-95,98	-22,15	-95,35	-880,24	-487,80	439,02	O.K.	O.K.	O.K.	-23,14	-92,46	-714,73	-403,60	382,23	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	2162	339,92	-16,25	39,85	344,32	-20,65	152,67	7,02	MAL	O.K.	MAL	275,43	293,03	-261,72	15,66	99,44	O.K.	O.K.	MAL			
M.M.mín.	2162	-46,85	-24,62	-274,91	239,40	-310,86	-35,73	134,10	O.K.	O.K.	MAL	-37,81	-24,03	-361,93	-192,98	240,16	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	2210	421,46	-16,48	86,04	437,76	-32,78	146,61	11,11	MAL	O.K.	MAL	82,68	135,78	-61,94	36,92	85,10	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.mín.	2210	-115,29	-22,89	-86,04	28,57	-166,75	-69,09	156,60	O.K.	O.K.	O.K.	-82,68	-10,64	-454,84	-232,74	266,99	O.K.	O.K.	O.K.			
M.M.áx.	3758	65,95	5,91	-21,65	72,94	-1,08	35,93	85,76	O.K.	O.K.	O.K.	415,41	761,53	-221,87	52,07	74,88	MAL	O.K.	MAL			
M.M.mín.	3758	-316,94	-8,61	-386,77	253,59	-579,13	-162,77	219,79	O.K.	O.K.	MAL	19,76	-4,15	-236,55	-120,35	191,18	O.K.	O.K.	O.K.			

Tabela A 3.3 - V. S. - Combinação de ações Sismo 2 – Estrutura simples

N.º elemento	N.º nó	TOP											BOTTOM										
		S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s ²]	V.S. [s]	V.S. [t]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s ²]	V.S. [s]	V.S. [t]		
M.M.áx.	383	3.45	17.27	-3.38	18.05	2.67	10.36	103.01	O.K.	O.K.	O.K.	-13.98	-69.88	12.98	-11.11	-72.74	-41.93	138.28	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.mín.	383	-30.59	-152.95	-16.99	-28.28	-155.26	-91.77	171.90	O.K.	O.K.	O.K.	-46.43	-232.16	-0.68	-46.43	-232.16	-139.29	203.95	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	386	561.36	99.93	47.41	566.18	95.11	210.55	0.00	MAL	O.K.	MAL	251.85	57.23	131.56	318.17	-9.10	154.54	5.76	O.K.	O.K.	MAL		
M.M.mín.	386	-102.35	-7.49	-123.14	77.03	-186.88	-54.92	147.05	O.K.	O.K.	O.K.	-436.28	-93.77	-36.30	-89.96	-440.09	-265.03	288.76	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	399	229.60	28.44	-29.05	233.71	24.33	129.02	22.97	O.K.	O.K.	MAL	232.51	76.66	189.40	359.39	-50.22	137.89	16.99	MAL	O.K.	MAL		
M.M.mín.	399	-180.60	-74.65	-199.79	79.06	-334.31	-127.63	196.08	O.K.	O.K.	MAL	-175.06	-39.78	20.05	-36.87	-177.97	-107.42	182.46	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	792	153.39	-202.50	42.38	158.36	-207.47	-24.56	126.56	O.K.	O.K.	O.K.	-40.18	364.80	65.03	374.99	-50.37	137.82	17.04	O.K.	O.K.	MAL		
M.M.mín.	792	18.03	-513.48	-38.35	20.78	-516.24	-247.73	277.09	O.K.	O.K.	O.K.	-166.53	63.19	-11.98	63.82	-167.15	-51.67	144.85	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	794	-33.44	-238.51	-123.30	24.39	-296.34	-135.98	201.72	O.K.	O.K.	O.K.	209.31	346.84	312.37	597.92	-41.77	142.12	14.14	MAL	O.K.	MAL		
M.M.mín.	794	-235.68	-494.84	-350.34	8.27	-738.79	-365.26	356.37	O.K.	O.K.	O.K.	4.27	92.61	85.35	144.55	-47.66	48.44	77.32	O.K.	O.K.	MAL		
M.M.áx.	806	-44.92	-327.51	-103.46	-11.09	-361.34	-186.22	235.61	O.K.	O.K.	O.K.	147.16	705.01	284.52	824.52	27.65	176.83	0.00	MAL	O.K.	MAL		
M.M.mín.	806	-196.94	-882.62	-327.90	-65.37	-1014.18	-539.78	474.09	O.K.	O.K.	O.K.	-1.02	152.56	60.62	173.60	-22.06	75.77	58.89	O.K.	O.K.	MAL		
M.M.áx.	808	154.86	-98.52	9.15	155.19	-98.85	28.17	91.00	O.K.	O.K.	O.K.	-11.37	86.35	147.89	193.24	-118.27	37.49	84.71	O.K.	O.K.	MAL		
M.M.mín.	808	5.91	-215.81	-120.53	58.81	-268.71	-104.95	180.79	O.K.	O.K.	O.K.	-164.77	-17.64	20.05	-14.96	-167.45	-91.20	171.52	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	832	-65.24	-326.19	12.97	-64.60	-326.83	-195.72	242.01	O.K.	O.K.	O.K.	191.89	959.46	16.66	959.82	191.53	258.76	0.00	MAL	O.K.	MAL		
M.M.mín.	832	-226.51	-1132.53	-7.47	-226.45	-1132.59	-679.52	568.34	O.K.	O.K.	O.K.	30.60	153.00	-1.95	153.03	30.57	91.80	48.08	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	839	-47.26	-236.32	79.09	-18.54	-265.04	-141.79	205.64	O.K.	O.K.	O.K.	138.81	694.06	-8.15	694.18	138.69	232.35	0.00	MAL	O.K.	MAL		
M.M.mín.	839	-179.47	-897.35	27.80	-178.40	-898.42	-538.41	473.16	O.K.	O.K.	O.K.	5.19	25.96	-58.87	75.35	-44.20	15.58	99.49	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	841	1.14	-261.28	10.17	1.53	-261.67	-130.07	197.73	O.K.	O.K.	O.K.	1.83	560.15	56.63	565.83	-3.86	161.07	1.36	MAL	O.K.	MAL		
M.M.mín.	841	-0.71	-691.59	-59.10	4.31	-696.61	-346.15	343.48	O.K.	O.K.	O.K.	-0.05	131.99	-11.26	132.94	-1.00	65.97	65.50	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	850	164.77	-11.00	22.76	167.67	-13.90	76.89	58.14	O.K.	O.K.	O.K.	67.02	30.53	22.52	77.75	19.80	48.78	77.10	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.mín.	850	-28.88	-26.59	-22.76	-4.95	-50.52	-27.74	128.71	O.K.	O.K.	O.K.	-115.21	14.96	-22.52	18.74	-118.99	-50.13	143.81	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	1533	279.26	44.10	12.55	279.93	43.43	161.68	0.95	O.K.	O.K.	MAL	456.85	39.02	12.62	457.24	38.64	182.32	0.00	MAL	O.K.	MAL		
M.M.mín.	1533	-464.40	-49.67	-12.21	-49.31	-464.76	-257.03	283.37	O.K.	O.K.	O.K.	-290.53	-51.85	-12.76	-51.17	-291.21	-171.19	225.47	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	2162	253.78	-18.21	-41.41	259.94	-24.37	117.79	30.55	O.K.	O.K.	MAL	-43.57	-19.73	194.89	163.60	-226.89	-31.65	131.34	O.K.	O.K.	MAL		
M.M.mín.	2162	39.30	-22.66	-193.64	204.42	-187.78	8.32	104.39	O.K.	O.K.	MAL	-265.63	-25.72	42.74	-18.33	-273.01	-145.67	208.26	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	2210	304.08	-17.52	32.79	307.39	-20.83	143.28	13.36	O.K.	O.K.	MAL	-23.48	-18.87	31.55	10.45	-52.80	-21.18	124.28	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.mín.	2210	2.09	-21.85	-32.79	25.03	-44.79	-9.88	116.66	O.K.	O.K.	O.K.	-324.26	-25.03	-31.55	-21.74	-327.55	-174.65	227.80	O.K.	O.K.	O.K.		
M.M.áx.	3758	-32.78	1.30	-117.33	102.81	-134.30	-15.74	120.62	O.K.	O.K.	O.K.	302.01	2.86	309.03	495.75	-190.89	67.56	64.43	MAL	O.K.	MAL		
M.M.mín.	3758	-218.22	-3.99	-291.09	199.07	-421.27	-111.10	184.94	O.K.	O.K.	MAL	-3.97	-1.94	126.15	123.20	-129.11	-2.95	111.99	O.K.	O.K.	MAL		

Tabela A 3.4 - V. S. - Combinação fundamental de acções – 1º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S ^{MÁX} [kN/m ²]	S ^{MIN} [kN/m ²]	S ^{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [t]	S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S ^{MÁX} [kN/m ²]	S ^{MIN} [kN/m ²]	S ^{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [t]
Média	383	-27,20	-136,00	-3,28	-27,10	-136,10	-81,60	165,04	O.K.	O.K.	O.K.	-27,98	-139,89	-2,54	-27,92	-139,95	-83,93	166,61	O.K.	O.K.	O.K.
Média	386	13,27	5,19	1,07	13,41	5,05	9,23	103,77	O.K.	O.K.	O.K.	-2,91	-6,92	0,65	-2,81	-7,02	-4,92	113,32	O.K.	O.K.	O.K.
Média	399	0,81	-14,80	-4,16	1,85	-15,84	-6,99	114,72	O.K.	O.K.	O.K.	1,33	-11,44	2,67	1,86	-11,98	-5,06	113,41	O.K.	O.K.	O.K.
Média	792	-28,12	-127,43	30,68	-19,40	-136,15	-77,78	162,46	O.K.	O.K.	O.K.	-22,51	-113,08	21,46	-17,68	-117,91	-67,80	155,73	O.K.	O.K.	O.K.
Média	794	-14,82	-94,10	-16,96	-11,34	-97,57	-54,46	146,73	O.K.	O.K.	O.K.	-15,08	-72,99	-14,40	-11,70	-76,38	-44,04	139,70	O.K.	O.K.	O.K.
Média	806	-29,82	-121,27	-25,81	-23,04	-128,05	-75,54	160,95	O.K.	O.K.	O.K.	-31,60	-121,35	-31,17	-21,84	-131,11	-76,48	161,58	O.K.	O.K.	O.K.
Média	808	-17,88	-96,60	21,57	-12,36	-102,13	-57,24	148,61	O.K.	O.K.	O.K.	-12,06	-67,79	13,38	-9,02	-70,83	-39,92	136,93	O.K.	O.K.	O.K.
Média	832	-20,72	-103,62	5,81	-20,31	-104,03	-62,17	151,93	O.K.	O.K.	O.K.	-26,30	-131,50	5,38	-26,03	-131,77	-78,90	163,22	O.K.	O.K.	O.K.
Média	839	-25,47	-127,36	12,20	-24,03	-128,80	-76,42	161,54	O.K.	O.K.	O.K.	-31,02	-155,12	13,13	-29,65	-156,49	-93,07	172,78	O.K.	O.K.	O.K.
Média	841	0,11	-96,00	-0,86	0,12	-96,00	-47,94	142,34	O.K.	O.K.	O.K.	0,11	-90,44	-2,58	0,18	-90,51	-45,16	140,46	O.K.	O.K.	O.K.
Média	850	-2,80	-19,81	0,00	-2,80	-19,81	-11,31	117,63	O.K.	O.K.	O.K.	-1,13	-2,77	0,00	-1,13	-2,77	-1,95	111,32	O.K.	O.K.	O.K.
Média	1533	-10,08	-5,96	0,06	-5,96	-10,08	-8,02	115,41	O.K.	O.K.	O.K.	-2,68	-5,53	-0,05	-2,68	-5,53	-4,11	112,77	O.K.	O.K.	O.K.
Média	2162	-18,50	-50,83	-3,39	-18,15	-51,18	-34,66	133,38	O.K.	O.K.	O.K.	-23,90	-50,97	8,27	-21,57	-53,30	-37,43	135,25	O.K.	O.K.	O.K.
Média	2210	-25,75	-49,30	0,00	-25,75	-49,30	-37,53	135,31	O.K.	O.K.	O.K.	-30,01	-49,41	0,00	-30,01	-49,41	-39,71	136,78	O.K.	O.K.	O.K.
Média	3758	5,15	0,93	-9,13	12,41	-6,33	3,04	107,95	O.K.	O.K.	O.K.	-3,78	1,11	11,68	10,60	-13,27	-1,34	110,90	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A 3.5 - V. S. - Combinação de ações Sismo 1 – 1º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s ²]	V.S. [t]	V.S. [h]	S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s ²]	V.S. [s]	V.S. [h]
M. Máx.	383	7,76	38,80	8,77	41,11	5,45	23,28	94,30	O.K.	O.K.	O.K.	3,45	17,21	9,02	21,67	-1,02	10,33	103,03	O.K.	O.K.	O.K.
M. Min.	383	-47,94	-239,71	-12,92	-47,07	-240,57	-143,82	207,01	O.K.	O.K.	O.K.	-42,57	-212,81	-13,18	-41,55	-213,82	-127,69	196,12	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	386	1079,31	248,59	244,23	1145,80	182,11	254,05	0,00	MAL	O.K.	MAL	1225,35	263,21	222,94	1274,50	214,06	270,03	0,00	MAL	O.K.	MAL
M. Min.	386	-1065,73	-244,26	-243,29	-177,62	-1132,38	-655,00	551,80	O.K.	O.K.	O.K.	-1227,66	-271,83	-222,18	-222,71	-1276,78	-749,74	615,71	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	399	597,08	144,25	132,05	632,77	108,56	217,28	0,00	MAL	O.K.	MAL	580,33	145,69	140,91	622,01	104,01	215,00	0,00	MAL	O.K.	MAL
M. Min.	399	-596,22	-165,02	-136,05	-125,68	-635,55	-380,62	366,73	O.K.	O.K.	O.K.	-578,95	-164,62	-138,25	-122,72	-620,84	-371,78	360,77	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	792	52,93	91,91	69,52	144,62	0,21	72,42	61,15	O.K.	O.K.	MAL	52,06	108,96	58,57	145,62	15,40	80,51	55,70	O.K.	O.K.	MAL
M. Min.	2328	-92,83	-265,09	-27,34	-88,60	-269,33	-178,96	230,71	O.K.	O.K.	O.K.	-83,64	-267,54	-28,16	-79,43	-271,76	-175,59	228,44	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	794	17,82	83,23	65,78	123,99	-22,94	50,53	75,92	O.K.	O.K.	O.K.	21,45	120,49	74,84	160,71	-18,77	70,97	62,13	O.K.	O.K.	MAL
M. Min.	794	-37,57	-206,31	-88,05	0,01	-243,89	-121,94	192,25	O.K.	O.K.	O.K.	-41,70	-220,67	-94,74	-0,86	-261,50	-131,18	198,48	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	806	38,39	93,75	40,26	114,93	17,21	66,07	65,43	O.K.	O.K.	O.K.	56,15	193,43	64,59	219,04	30,54	124,79	25,83	O.K.	O.K.	MAL
M. Min.	806	-79,73	-258,31	-75,39	-52,16	-285,88	-169,02	224,01	O.K.	O.K.	O.K.	-100,26	-363,18	-108,19	-61,47	-401,98	-231,72	266,30	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	808	16,63	75,67	43,43	98,66	-6,36	46,15	78,87	O.K.	O.K.	O.K.	20,63	118,89	44,47	136,03	3,50	69,76	62,95	O.K.	O.K.	O.K.
M. Min.	808	-40,32	-202,52	-15,24	-38,90	-203,94	-121,42	191,90	O.K.	O.K.	O.K.	-36,78	-210,95	-26,33	-32,89	-214,84	-123,87	193,55	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	832	12,41	62,06	19,37	68,72	5,75	37,24	84,88	O.K.	O.K.	O.K.	33,41	167,07	19,03	169,73	30,75	100,24	42,39	O.K.	O.K.	O.K.
M. Min.	832	-41,20	-205,99	-11,23	-40,44	-206,75	-123,60	193,37	O.K.	O.K.	O.K.	-70,50	-352,52	-11,39	-70,04	-352,98	-211,51	252,67	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	839	5,96	29,78	21,47	42,42	-6,68	17,87	97,95	O.K.	O.K.	O.K.	24,02	120,08	36,12	132,15	11,95	72,05	61,40	O.K.	O.K.	O.K.
M. Min.	839	-41,57	-207,86	-4,55	-41,45	-207,98	-124,72	194,12	O.K.	O.K.	O.K.	-67,43	-337,17	-17,56	-66,29	-338,31	-202,30	246,45	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	841	1,96	88,38	12,02	90,02	0,32	45,17	79,53	O.K.	O.K.	O.K.	1,87	179,34	9,70	179,87	1,34	90,60	48,89	O.K.	O.K.	O.K.
M. Min.	841	-1,78	-218,40	-13,25	-0,97	-219,21	-110,09	184,25	O.K.	O.K.	O.K.	-1,69	-305,66	-13,18	-1,11	-306,23	-153,67	213,65	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	850	24,30	72,30	18,64	78,69	17,91	48,30	77,42	O.K.	O.K.	O.K.	22,47	88,81	18,10	93,42	17,86	55,64	72,47	O.K.	O.K.	O.K.
M. Min.	850	-27,79	-97,40	-18,64	-23,11	-102,08	-62,60	152,22	O.K.	O.K.	O.K.	-23,97	-92,37	-18,10	-19,48	-96,86	-58,17	149,24	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	1533	872,35	95,65	27,48	873,33	94,68	210,34	0,00	MAL	O.K.	MAL	893,24	94,09	31,72	894,49	92,83	209,42	0,00	MAL	O.K.	MAL
M. Min.	1533	-883,52	-100,07	-27,41	-99,12	-884,48	-491,80	441,72	O.K.	O.K.	O.K.	-899,08	-98,15	-31,79	-96,89	-900,34	-498,61	446,32	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	2162	105,02	-20,82	69,71	136,01	-51,80	42,10	81,60	O.K.	O.K.	O.K.	107,33	-20,67	81,17	146,69	-60,03	43,33	80,77	O.K.	O.K.	MAL
M. Min.	2162	-125,99	-33,11	-74,44	8,19	-167,28	-79,55	163,66	O.K.	O.K.	O.K.	-134,93	-33,45	-70,04	2,30	-170,67	-84,19	166,78	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	2210	127,05	-20,16	10,52	127,80	-20,91	53,45	73,95	O.K.	O.K.	O.K.	126,52	-19,78	7,56	126,91	-20,17	53,37	74,00	O.K.	O.K.	O.K.
M. Min.	2210	-158,34	-32,07	-10,52	-31,20	-159,21	-95,21	174,22	O.K.	O.K.	O.K.	-163,22	-32,59	-7,56	-32,15	-163,66	-97,91	176,04	O.K.	O.K.	O.K.
M. Máx.	3758	80,25	4,67	123,62	171,73	-86,81	42,46	81,36	O.K.	O.K.	MAL	275,31	9,61	130,68	328,81	-43,89	141,06	14,86	MAL	O.K.	MAL
M. Min.	3758	-72,87	-5,11	-133,20	98,45	-176,43	-38,99	136,30	O.K.	O.K.	O.K.	-277,63	-9,90	-118,46	34,99	-322,52	-143,76	206,97	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A 3.6 - V. S. - Combinação de acções Sísmo 2 – 1º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [t]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [t]
M.Máx.	383	-0,71	-3,57	4,40	2,49	-6,77	-2,14	111,44	O.K.	O.K.	O.K.	-2,10	-10,48	4,50	-0,14	-12,43	-6,29	114,24	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	383	-39,47	-197,34	-8,55	-39,01	-197,80	-118,41	189,87	O.K.	O.K.	O.K.	-37,03	-185,13	-8,65	-36,52	-185,63	-111,08	184,92	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	386	461,01	98,68	99,53	486,55	73,14	199,57	0,00	MAL	O.K.	MAL	485,71	105,89	91,24	506,49	85,11	205,56	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	386	-447,44	-94,36	-98,58	-68,70	-473,10	-270,90	292,72	O.K.	O.K.	O.K.	-488,02	-114,51	-90,48	-93,75	-508,78	-301,26	313,20	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	399	249,42	49,30	65,28	268,83	29,89	149,36	9,26	O.K.	O.K.	MAL	243,83	53,63	67,98	265,63	31,83	148,73	9,68	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	399	-248,56	-70,07	-69,28	-46,33	-272,29	-159,31	217,46	O.K.	O.K.	O.K.	-242,45	-72,56	-65,33	-50,35	-264,66	-157,51	216,24	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	792	29,93	36,75	52,07	85,52	-18,84	33,34	87,51	O.K.	O.K.	O.K.	32,13	56,15	47,10	92,75	-4,47	44,14	80,23	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2328	-69,84	-209,93	-9,88	-69,14	-210,63	-139,89	204,35	O.K.	O.K.	O.K.	-63,71	-214,74	-16,69	-61,89	-16,56	-139,23	203,91	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	794	10,51	40,20	43,38	71,21	-20,50	25,36	92,90	O.K.	O.K.	O.K.	13,48	73,13	51,26	102,61	-16,00	43,31	80,79	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	794	-30,26	-163,27	-65,66	-3,31	-190,23	-96,77	175,27	O.K.	O.K.	O.K.	-33,73	-173,30	-71,16	-3,84	-203,18	-103,51	179,82	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	806	19,37	44,55	23,02	58,19	5,72	31,96	88,44	O.K.	O.K.	O.K.	34,07	115,47	40,72	132,34	17,20	74,77	59,57	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	806	-60,71	-209,10	-58,14	-40,64	-229,17	-134,90	200,99	O.K.	O.K.	O.K.	-78,18	-285,22	-84,32	-48,19	-315,22	-181,70	232,56	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	808	8,37	38,01	35,08	61,27	-14,89	23,19	94,36	O.K.	O.K.	O.K.	12,85	68,13	34,45	84,66	-3,67	40,49	82,69	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	808	-32,06	-164,86	-6,89	-31,70	-165,22	-98,46	176,41	O.K.	O.K.	O.K.	-29,00	-160,18	-16,31	-27,01	-162,18	-94,59	173,80	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	832	5,23	26,17	14,77	33,80	-2,40	15,70	99,41	O.K.	O.K.	O.K.	19,06	95,28	14,47	97,93	16,41	57,17	71,44	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	832	-34,02	-170,10	-6,63	-33,70	-170,42	-102,06	178,84	O.K.	O.K.	O.K.	-56,14	-280,72	-6,83	-55,93	-280,93	-168,43	223,61	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	839	-0,45	-2,23	17,58	16,26	-18,94	-1,34	110,90	O.K.	O.K.	O.K.	11,35	56,73	28,49	70,46	-2,38	34,04	87,04	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	839	-35,17	-175,85	-0,66	-35,17	-175,85	-105,51	181,17	O.K.	O.K.	O.K.	-54,76	-273,81	-9,93	-54,31	-274,26	-164,29	220,81	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	841	1,40	45,62	8,75	47,28	-0,27	23,51	94,14	O.K.	O.K.	O.K.	1,34	111,59	6,80	112,00	0,92	56,46	71,92	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	841	-1,22	-175,64	-9,98	-0,65	-176,20	-88,43	169,64	O.K.	O.K.	O.K.	-1,15	-237,90	-10,28	-0,70	-238,35	-119,53	190,62	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	850	17,84	49,03	13,45	54,03	12,84	33,44	87,45	O.K.	O.K.	O.K.	16,88	63,91	12,88	67,20	13,59	40,40	82,75	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	850	-21,33	-74,13	-13,45	-18,10	-77,36	-47,73	142,19	O.K.	O.K.	O.K.	-18,38	-67,47	-12,88	-15,21	-70,64	-42,93	138,95	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	1533	405,55	49,04	14,55	406,15	48,45	187,22	0,00	MAL	O.K.	MAL	411,63	48,55	15,48	412,29	47,89	186,94	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	1533	-416,72	-53,47	-14,47	-52,89	-417,30	-235,09	268,57	O.K.	O.K.	O.K.	-417,47	-52,61	-15,55	-51,94	-418,13	-235,04	268,54	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2162	73,97	-21,52	49,92	95,30	-42,85	26,23	92,31	O.K.	O.K.	O.K.	75,61	-21,46	60,15	104,36	-50,21	27,08	91,74	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2162	-94,94	-32,40	-54,64	-0,71	-126,63	-63,67	152,95	O.K.	O.K.	O.K.	-103,20	-32,66	-49,01	-7,54	-128,31	-67,93	155,82	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2210	90,53	-20,68	8,01	91,10	-21,25	34,93	86,44	O.K.	O.K.	O.K.	88,75	-20,46	5,78	89,05	-20,76	34,15	86,97	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2210	-121,81	-31,55	-8,01	-30,84	-122,52	-76,68	161,72	O.K.	O.K.	O.K.	-125,45	-31,90	-5,78	-31,54	-125,81	-78,68	163,07	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	3758	58,68	1,93	81,66	116,75	-56,14	30,31	89,56	O.K.	O.K.	O.K.	106,97	3,58	93,54	162,15	-51,60	55,28	72,72	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	3758	-51,30	-2,37	-91,24	67,63	-121,29	-26,83	128,10	O.K.	O.K.	O.K.	-109,29	-3,87	-81,33	40,34	-153,49	-56,58	148,16	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A 3.7 - V. S. - Combinação fundamental de acções – 2º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP											BOTTOM										
		S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S ^{MÁX} [kN/m ²]	S ^{MIN} [kN/m ²]	S ^{EF} [kN/m ²]	t ^R [kN/m ²]	V.S. [s ^t]	V.S. [s]	V.S. [t]	S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S ^{MÁX} [kN/m ²]	S ^{MIN} [kN/m ²]	S ^{EF} [kN/m ²]	t ^R [kN/m ²]	V.S. [s ^t]	V.S. [s]	V.S. [t]		
Média	383	-3,57	-17,83	-2,40	-3,17	-18,22	-10,70	117,21	O.K.	O.K.	O.K.	-4,52	-22,56	-0,52	-4,50	-22,57	-13,54	119,13	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	386	1,00	-5,71	-4,65	3,38	-8,09	-2,36	111,59	O.K.	O.K.	O.K.	-2,37	-0,02	-3,11	2,13	-4,52	-1,20	110,81	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	399	5,98	-5,25	-22,64	23,69	-22,96	0,36	109,76	O.K.	O.K.	O.K.	8,99	-2,25	-14,91	19,30	-12,57	3,37	107,73	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	792	-15,97	-97,15	20,02	-11,30	-101,82	-56,56	148,15	O.K.	O.K.	O.K.	-16,27	-78,77	14,65	-13,00	-82,04	-47,52	142,05	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	794	-3,82	-48,76	-6,80	-2,81	-49,76	-26,29	127,73	O.K.	O.K.	O.K.	-8,71	-46,46	-7,68	-7,20	-47,96	-27,58	128,60	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	806	-3,18	-62,40	-9,71	-1,63	-63,95	-32,79	132,12	O.K.	O.K.	O.K.	-6,58	-49,46	-9,46	-4,58	-51,45	-28,02	128,90	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	808	-9,33	-56,97	22,94	-0,08	-66,22	-33,15	132,36	O.K.	O.K.	O.K.	-11,51	-58,93	17,06	-6,01	-64,43	-35,22	133,76	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	832	-12,69	-63,45	0,12	-12,69	-63,45	-38,07	135,68	O.K.	O.K.	O.K.	-9,43	-47,17	0,16	-9,43	-47,17	-28,30	129,09	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	839	-14,74	-73,72	5,30	-14,27	-74,19	-44,23	139,83	O.K.	O.K.	O.K.	-12,23	-61,17	4,33	-11,85	-61,55	-36,70	134,75	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	841	-0,27	-44,57	-2,06	-0,17	-44,66	-22,42	125,12	O.K.	O.K.	O.K.	-0,29	-38,49	-1,00	-0,26	-38,51	-19,39	123,08	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	850	1,02	-7,53	0,00	1,02	-7,53	-3,26	112,20	O.K.	O.K.	O.K.	-2,40	-2,57	0,00	-2,40	-2,57	-2,49	111,68	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	1533	9,41	11,70	-4,17	14,88	6,23	10,55	102,88	O.K.	O.K.	O.K.	25,45	15,11	-6,93	28,93	11,63	20,28	96,32	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	2162	8,16	-0,92	22,21	26,29	-19,05	3,62	107,56	O.K.	O.K.	O.K.	-19,14	-30,49	13,43	-10,23	-39,39	-24,81	126,73	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	2210	13,15	-0,07	0,00	13,15	-0,07	6,54	105,59	O.K.	O.K.	O.K.	-24,06	-36,16	0,00	-24,06	-36,16	-30,11	130,31	O.K.	O.K.	O.K.		
Média	3758	2,58	2,66	-24,02	26,64	-21,40	2,62	108,23	O.K.	O.K.	O.K.	-9,47	-18,31	-8,53	-4,29	-23,49	-13,89	119,37	O.K.	O.K.	O.K.		

Tabela A 3.8 - V. S. - Combinação de acções Sismo 1 – 2º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [t]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [t]
M.Máx.	383	9,10	45,50	5,18	46,22	8,38	27,30	91,59	O.K.	O.K.	O.K.	9,15	45,75	6,01	46,71	8,19	27,45	91,49	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	383	-13,06	-65,29	-7,40	-12,03	-66,32	-39,18	136,42	O.K.	O.K.	O.K.	-12,96	-67,78	-6,57	-12,14	-65,60	-38,87	136,22	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	386	93,84	16,66	11,59	95,54	14,96	55,25	72,73	O.K.	O.K.	O.K.	92,42	17,69	12,40	94,42	15,68	55,05	72,87	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	386	-95,15	-22,64	-16,76	-18,95	-98,84	-58,90	149,73	O.K.	O.K.	O.K.	-93,49	-20,65	-17,29	-16,75	-97,38	-57,07	148,49	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	399	73,07	9,52	2,65	73,18	9,41	41,29	82,15	O.K.	O.K.	O.K.	74,88	10,34	4,33	75,16	10,05	42,61	81,26	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	399	-58,84	-14,89	-28,10	-1,20	-72,53	-36,86	134,86	O.K.	O.K.	O.K.	-54,53	-13,96	-25,47	-1,68	-66,81	-34,25	133,10	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	792	53,23	39,53	45,83	92,72	0,04	46,38	78,72	O.K.	O.K.	O.K.	50,70	42,49	38,49	85,30	7,89	46,60	78,57	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	792	-71,01	-147,15	-23,46	-64,36	-153,79	-109,08	183,57	O.K.	O.K.	O.K.	-69,84	-130,76	-21,92	-62,77	-137,83	-100,30	177,65	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	794	22,69	30,18	25,36	52,07	0,80	26,44	92,17	O.K.	O.K.	O.K.	18,41	24,09	20,75	42,19	0,30	21,25	95,67	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	794	-23,65	-70,13	-30,58	-8,48	-85,30	-46,89	141,63	O.K.	O.K.	O.K.	-27,24	-68,53	-28,15	-12,97	-82,79	-47,88	142,30	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	806	52,44	83,26	39,63	110,37	25,33	67,85	64,23	O.K.	O.K.	O.K.	48,79	85,24	36,43	107,75	26,28	67,02	64,80	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	806	-54,57	-150,32	-48,87	-34,03	-170,86	-102,45	179,10	O.K.	O.K.	O.K.	-56,09	-140,73	-47,17	-35,04	-161,79	-98,41	176,38	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	808	24,42	26,65	37,95	63,51	-12,43	25,54	92,78	O.K.	O.K.	O.K.	21,60	32,50	34,34	61,81	-7,72	27,05	91,76	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	808	-31,95	-77,90	-15,62	-27,14	-82,71	-54,92	147,05	O.K.	O.K.	O.K.	-33,20	-90,45	-16,86	-28,60	-95,04	-61,82	151,70	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	832	28,34	141,69	9,63	142,50	27,53	85,02	52,66	O.K.	O.K.	O.K.	29,01	145,07	9,58	145,85	28,23	87,04	51,29	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	832	-42,55	-212,75	-9,61	-42,01	-213,29	-127,65	196,10	O.K.	O.K.	O.K.	-40,68	-203,40	-9,54	-40,12	-203,96	-122,04	192,32	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	839	25,95	129,75	15,97	132,15	23,55	77,85	57,49	O.K.	O.K.	O.K.	26,29	131,47	15,27	133,64	24,12	78,88	56,79	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	839	-42,80	-213,99	-10,01	-42,22	-214,57	-128,40	196,60	O.K.	O.K.	O.K.	-41,17	-205,87	-10,06	-40,56	-206,48	-123,52	193,32	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	841	1,45	43,59	12,16	46,84	-1,81	22,52	94,81	O.K.	O.K.	O.K.	1,44	43,41	12,25	46,72	-1,88	22,42	94,88	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	841	-1,52	-85,30	-13,80	0,69	-87,51	-43,41	139,28	O.K.	O.K.	O.K.	-1,54	-80,77	-13,01	0,55	-82,85	-41,15	137,76	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	850	24,18	7,73	21,59	39,06	-7,15	15,96	99,24	O.K.	O.K.	O.K.	22,66	9,13	19,31	36,35	-4,56	15,90	99,28	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	850	-23,44	-5,93	-21,59	8,61	-37,98	-14,69	119,91	O.K.	O.K.	O.K.	-24,81	-5,61	-19,31	6,35	-36,77	-15,21	120,26	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	1533	66,55	44,12	13,19	72,65	38,02	55,34	72,67	O.K.	O.K.	O.K.	76,26	46,77	11,22	80,05	42,98	61,51	68,51	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	1533	-55,18	-29,75	-18,35	-20,14	-64,79	-42,46	138,64	O.K.	O.K.	O.K.	-45,55	-26,61	-20,34	-13,64	-58,52	-36,08	134,34	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2162	44,79	74,66	23,26	87,36	32,08	59,72	69,72	O.K.	O.K.	O.K.	31,92	51,15	23,13	66,58	16,48	41,53	81,99	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2162	-31,96	-40,37	-4,74	-29,83	-42,50	-36,16	134,39	O.K.	O.K.	O.K.	-43,34	-65,62	-4,56	-42,44	-66,52	-54,48	146,75	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2210	42,85	79,49	13,13	83,71	38,63	61,17	68,74	O.K.	O.K.	O.K.	28,30	59,51	12,42	63,85	23,96	43,91	80,39	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2210	-24,72	-30,79	-13,13	-14,28	-41,23	-27,76	128,72	O.K.	O.K.	O.K.	-37,02	-54,60	-12,42	-30,60	-61,02	-45,81	140,90	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	3758	40,16	25,82	1,62	40,34	25,64	32,99	87,75	O.K.	O.K.	O.K.	38,92	13,66	4,70	39,76	12,81	26,29	92,27	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	3758	-34,48	3,61	-22,31	13,90	-44,76	-15,43	120,41	O.K.	O.K.	O.K.	-44,16	-29,60	-17,90	-17,55	-56,20	-36,88	134,87	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A 3.9 - V. S. - Combinação de ações Sismo 2 – 2º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM										
		S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s ²]	V.S. [s]	V.S. [t]	S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s ²]	V.S. [s]	V.S. [t]	
M.Máx.	383	3.45	17.27	-3.38	18.05	2.67	10.36	103.01	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-13.98	-69.88	12.98	-11.11	-72.74	-41.93	138.28	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	383	-30.59	-152.95	-16.99	-28.28	-155.26	-91.77	171.90	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-46.43	-232.16	-0.68	-46.43	-232.16	-139.29	203.95	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	386	561.36	99.93	47.41	566.18	95.11	210.55	0.00	0.00	MAL	O.K.	MAL	251.85	57.23	131.56	318.17	-9.10	154.54	5.76	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	386	-102.35	-7.49	-123.14	77.03	-186.88	-54.92	147.05	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-436.28	-93.77	-36.30	-89.96	-440.09	-265.03	288.76	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	399	229.60	28.44	-29.05	233.71	24.33	129.02	22.97	0.0	O.K.	O.K.	MAL	232.51	76.66	189.40	359.39	-50.22	137.89	16.99	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	399	-180.60	-74.65	-199.79	79.06	-334.31	-127.63	196.08	0.0	O.K.	O.K.	MAL	-175.06	-39.78	20.05	-36.87	-177.97	-107.42	182.46	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	792	153.39	-202.50	42.38	158.36	-207.47	-24.56	126.56	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-40.18	364.80	65.03	374.99	-50.37	137.82	17.04	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	792	18.03	-513.48	-38.35	20.78	-516.24	-247.73	277.09	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-166.53	63.19	-11.98	63.82	-167.15	-51.67	144.85	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	794	-33.44	-238.51	-123.30	24.39	-296.34	-135.98	201.72	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	209.31	346.84	312.37	597.92	-41.77	142.12	14.14	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	794	-235.68	-494.84	-350.34	8.27	-738.79	-365.26	356.37	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	4.27	92.61	85.35	144.55	-47.66	48.44	77.32	O.K.	O.K.	MAL
M.Máx.	806	-44.92	-327.51	-103.46	-11.09	-361.34	-186.22	235.61	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	147.16	705.01	284.52	824.52	27.65	176.83	0.00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	806	-196.94	-882.62	-327.90	-65.37	-1014.18	-539.78	474.09	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-1.02	152.56	60.62	173.60	-22.06	75.77	58.89	O.K.	O.K.	MAL
M.Máx.	808	154.86	-98.52	9.15	155.19	-98.85	28.17	91.00	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-11.37	86.35	147.89	193.24	-118.27	37.49	84.71	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	808	5.91	-215.81	-120.53	58.81	-268.71	-104.95	180.79	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-164.77	-17.64	20.05	-14.96	-167.45	-91.20	171.52	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	832	-65.24	-326.19	12.97	-64.60	-326.83	-195.72	242.01	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	191.89	959.46	16.66	959.82	191.53	258.76	0.00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	832	-226.51	-1132.53	-7.47	-226.45	-1132.59	-679.52	568.34	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	30.60	153.00	-1.95	153.03	30.57	91.80	48.08	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	839	-47.26	-236.32	79.09	-18.54	-265.04	-141.79	205.64	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	138.81	694.06	-8.15	694.18	138.69	232.35	0.00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	839	-179.47	-897.35	27.80	-178.40	-898.42	-538.41	473.16	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	5.19	25.96	-58.87	75.35	-44.20	15.58	99.49	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	841	1.14	-261.28	10.17	1.53	-261.67	-130.07	197.73	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	1.83	560.15	56.63	565.83	-3.86	161.07	1.36	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	841	-0.71	-691.59	-59.10	4.31	-696.61	-346.15	343.48	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-0.05	131.99	-11.26	132.94	-1.00	65.97	65.50	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	850	164.77	-11.00	22.76	167.67	-13.90	76.89	58.14	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	67.02	30.53	22.52	77.75	19.80	48.78	77.10	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	850	-28.88	-26.59	-22.76	-4.95	-50.52	-27.74	128.71	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-115.21	14.96	-22.52	18.74	-118.99	-50.13	143.81	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	1533	279.26	44.10	12.55	279.93	43.43	161.68	0.95	0.0	O.K.	O.K.	MAL	456.85	39.02	12.62	457.24	38.64	182.32	0.00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	1533	-464.40	-49.67	-12.21	-49.31	-464.76	-257.03	283.37	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-290.53	-51.85	-12.76	-51.17	-291.21	-171.19	225.47	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2162	253.78	-18.21	-41.41	259.94	-24.37	117.79	30.55	0.0	O.K.	O.K.	MAL	-43.57	-19.73	194.89	163.60	-226.89	-31.65	131.34	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	2162	39.30	-22.66	-193.64	204.42	-187.78	8.32	104.39	0.0	O.K.	O.K.	MAL	-265.63	-25.72	42.74	-18.33	-273.01	-145.67	208.26	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2210	304.08	-17.52	32.79	307.39	-20.83	143.28	13.36	0.0	O.K.	O.K.	MAL	-23.48	-18.87	31.55	10.45	-52.80	-21.18	124.28	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2210	2.09	-21.85	-32.79	25.03	-44.79	-9.88	116.66	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	-324.26	-25.03	-31.55	-21.74	-327.55	-174.65	227.80	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	3758	-32.78	1.30	-117.33	102.81	-134.30	-15.74	120.62	0.0	O.K.	O.K.	O.K.	302.01	2.86	309.03	495.75	-190.89	67.56	64.43	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	3758	-218.22	-3.99	-291.09	199.07	-421.27	-111.10	184.94	0.0	O.K.	O.K.	MAL	-3.97	-1.94	126.15	123.20	-129.11	-2.95	111.99	O.K.	O.K.	MAL

TABELAS DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA
CONSTRUÇÃO 4.2

Tabela A 4.1 - V. S. - Combinação fundamental de acções – Estrutura simples

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s ⁻¹]	V.S. [s]	V.S. [t]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s ⁻¹]	V.S. [s]	V.S. [t]
Média	3	-5,87	-5,45	-1,22	-4,42	-6,90	-5,66	113,82	O.K.	O.K.	O.K.	15,49	0,68	0,74	15,52	0,65	8,09	104,55	O.K.	O.K.	O.K.
Média	4	7,46	0,38	1,70	7,85	-0,01	3,92	107,36	O.K.	O.K.	O.K.	2,44	-5,37	0,46	2,47	-5,40	-1,46	110,99	O.K.	O.K.	O.K.
Média	7	0,53	-4,85	-4,03	2,68	-7,01	-2,16	111,46	O.K.	O.K.	O.K.	13,26	1,03	1,34	13,40	0,89	7,15	105,18	O.K.	O.K.	O.K.
Média	9	-22,16	-13,08	-2,47	-12,45	-22,79	-17,62	121,88	O.K.	O.K.	O.K.	-5,54	-13,07	-3,15	-4,39	-14,21	-9,30	116,28	O.K.	O.K.	O.K.
Média	87	-20,12	-100,60	8,55	-19,22	-101,50	-60,36	150,71	O.K.	O.K.	O.K.	-18,41	-92,03	5,90	-17,94	-92,50	-55,22	147,25	O.K.	O.K.	O.K.
Média	217	-24,64	-123,20	-1,09	-24,62	-123,21	-73,92	159,86	O.K.	O.K.	O.K.	-14,80	-74,00	-0,43	-14,80	-74,00	-44,40	139,95	O.K.	O.K.	O.K.
Média	229	3,53	-2,12	-0,12	3,53	-2,12	0,71	109,52	O.K.	O.K.	O.K.	25,80	-2,00	1,92	25,93	-2,13	11,90	101,97	O.K.	O.K.	O.K.
Média	325	-19,44	-86,20	19,70	-14,07	-91,58	-52,82	145,63	O.K.	O.K.	O.K.	-21,06	-78,62	18,60	-15,58	-84,10	-49,84	143,62	O.K.	O.K.	O.K.
Média	489	2,79	-2,73	1,91	3,38	-3,32	0,03	109,98	O.K.	O.K.	O.K.	26,69	-1,25	0,49	26,70	-1,26	12,72	101,42	O.K.	O.K.	O.K.
Média	555	-23,25	-116,26	10,88	-21,99	-117,52	-69,76	157,05	O.K.	O.K.	O.K.	-22,37	-111,87	10,01	-21,26	-112,98	-67,12	155,27	O.K.	O.K.	O.K.
Média	589	29,12	3,89	-0,62	29,14	3,87	16,51	98,87	O.K.	O.K.	O.K.	29,18	3,28	0,06	29,18	3,28	16,23	99,05	O.K.	O.K.	O.K.
Média	1375	-1,93	-53,02	-1,67	-1,88	-53,07	-27,48	128,53	O.K.	O.K.	O.K.	-1,31	-45,42	2,58	-1,16	-45,57	-23,37	125,76	O.K.	O.K.	O.K.
Média	2069	2,55	-37,09	0,95	2,57	-37,11	-17,27	121,65	O.K.	O.K.	O.K.	-7,31	-45,22	0,83	-7,29	-45,24	-26,26	127,71	O.K.	O.K.	O.K.
Média	2169	15,90	-32,06	-2,17	15,99	-32,15	-8,08	115,45	O.K.	O.K.	O.K.	17,05	-30,09	-0,66	17,06	-30,10	-6,52	114,40	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A.4.2 - V. S. - Combinação de acções Sismo 1 – Estrutura simples

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S MÁX [kN/m ²]	S MÍN [kN/m ²]	S EF [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [t]	S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S MÁX [kN/m ²]	S MÍN [kN/m ²]	S EF [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [t]
M.Máx.	3	471,40	113,43	85,73	490,87	93,96	209,98	0,00	MAL	O.K.	MAL	648,57	115,94	120,26	674,47	90,04	208,02	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	3	-479,60	-120,68	-86,77	-100,80	-499,48	-300,14	312,45	O.K.	O.K.	O.K.	-223,94	70,69	-22,29	72,36	-225,62	-76,63	161,69	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	4	559,11	94,04	96,34	578,28	74,88	200,44	0,00	MAL	O.K.	MAL	514,26	113,53	90,12	533,59	94,19	210,10	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	4	-549,37	-94,07	-94,86	-75,09	-568,35	-321,72	327,00	O.K.	O.K.	O.K.	-511,34	-120,73	-89,43	-101,23	-530,84	-316,04	323,17	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	7	526,24	117,59	93,10	546,45	97,38	211,69	0,00	MAL	O.K.	MAL	579,66	95,04	103,79	600,96	73,75	199,88	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	7	-525,89	-124,12	-98,79	-101,14	-548,87	-325,01	329,22	O.K.	O.K.	O.K.	-561,71	-94,09	-101,02	-73,20	-582,60	-327,90	331,17	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	9	900,47	510,96	273,94	1041,83	369,60	347,80	0,00	MAL	O.K.	MAL	979,20	641,89	355,06	1203,62	417,47	371,73	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	9	-901,93	-501,87	-266,73	-368,50	-1035,30	-701,90	583,44	O.K.	O.K.	O.K.	-958,52	-629,34	-346,79	-410,06	-1177,80	-793,93	645,51	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	87	53,12	265,60	24,72	268,44	50,28	159,36	2,51	O.K.	O.K.	MAL	49,61	248,06	20,95	250,25	47,42	148,84	9,61	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	87	-82,29	-411,47	-12,10	-81,85	-411,91	-246,88	276,52	O.K.	O.K.	O.K.	-76,35	-381,76	-12,18	-75,87	-382,24	-229,06	264,50	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	217	71,60	358,00	7,43	358,19	71,41	198,71	0,00	MAL	O.K.	MAL	36,35	181,79	9,21	182,37	35,77	109,07	36,43	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	217	-107,41	-537,02	-9,01	-107,22	-537,21	-322,21	327,34	O.K.	O.K.	O.K.	-57,62	-288,10	-9,85	-57,20	-288,52	-172,86	226,59	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	229	682,33	145,63	108,99	703,62	124,34	225,17	0,00	MAL	O.K.	MAL	766,81	164,53	131,00	794,07	137,27	231,63	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	229	-680,15	-148,57	-109,29	-126,97	-701,74	-414,36	389,49	O.K.	O.K.	O.K.	-731,43	-167,38	-128,50	-139,48	-759,32	-449,40	413,12	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	325	73,73	134,51	82,53	192,07	16,17	104,12	39,77	O.K.	O.K.	MAL	80,85	92,50	63,39	150,33	23,02	86,68	51,54	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	325	-101,68	-256,05	-54,55	-84,35	-273,38	-178,87	230,65	O.K.	O.K.	O.K.	-110,76	-203,72	-37,05	-97,80	-216,68	-157,24	216,06	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	489	727,07	142,68	109,39	746,87	122,87	224,44	0,00	MAL	O.K.	MAL	744,18	171,30	133,76	773,88	141,60	233,80	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	489	-725,46	-146,48	-106,91	-127,37	-744,57	-435,97	404,07	O.K.	O.K.	O.K.	-708,12	-173,12	-133,20	-141,80	-739,45	-440,62	407,20	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	555	52,22	261,08	31,20	265,64	47,66	156,65	4,34	O.K.	O.K.	MAL	26,59	132,96	24,80	138,46	21,09	79,78	56,19	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	555	-85,69	-428,45	-15,47	-84,99	-429,15	-257,07	283,40	O.K.	O.K.	O.K.	-58,74	-293,72	-10,39	-58,28	-294,18	-176,23	228,87	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	589	243,22	8,53	12,70	243,91	7,84	125,88	25,10	O.K.	O.K.	O.K.	214,04	8,18	14,71	215,08	7,13	111,11	35,06	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	589	-204,07	-2,85	-13,53	-1,94	-204,98	-103,46	179,78	O.K.	O.K.	O.K.	-174,83	-3,39	-14,57	-2,16	-176,05	-89,11	170,10	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	1375	112,92	7,83	85,72	160,92	-40,17	60,37	69,28	O.K.	O.K.	MAL	110,82	1,51	90,25	161,67	-49,34	56,16	72,12	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	1375	-115,79	-85,21	-88,02	-11,16	-189,84	-100,50	177,79	O.K.	O.K.	O.K.	-112,69	-66,76	-86,69	-0,05	-179,40	-89,73	170,52	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2069	607,62	174,78	100,62	629,87	152,53	239,27	0,00	MAL	O.K.	MAL	642,62	204,00	108,30	667,90	178,72	252,36	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	2069	-604,76	-229,10	-100,17	-204,06	-629,80	-416,93	391,22	O.K.	O.K.	O.K.	-651,92	-267,81	-108,08	-239,49	-680,24	-459,86	420,18	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2169	203,12	10,44	9,67	203,60	9,96	106,78	37,98	O.K.	O.K.	O.K.	-129,93	-4,46	-9,25	-3,78	-130,61	-67,20	155,32	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2169	-152,87	-4,12	-8,84	-3,60	-153,39	-78,50	162,95	O.K.	O.K.	O.K.	-133,48	-4,82	-11,34	-3,83	-134,47	-69,15	156,64	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2187	52,00	260,01	16,58	261,32	50,69	156,01	4,77	O.K.	O.K.	MAL	46,95	234,75	11,23	235,42	46,28	140,85	15,00	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2187	-82,78	-413,89	-27,82	-80,46	-416,21	-248,34	277,50	O.K.	O.K.	O.K.	-75,57	-377,83	-20,80	-74,15	-379,25	-226,70	262,91	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A 4.3 - V. S. - Combinação de acções Sismo 2 – Estrutura simples

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s ²]	V.S. [s]	V.S. [t]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s ²]	V.S. [s]	V.S. [t]
M.Máx.	3	345,02	82,33	62,81	359,26	68,09	197,04	0,00	MAL	O.K.	MAL	478,87	85,17	88,42	497,82	66,23	196,11	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	3	-353,22	-89,58	-63,86	-74,93	-367,88	-221,40	259,34	O.K.	O.K.	O.K.	-161,68	51,94	-16,26	53,17	-162,91	-54,87	147,01	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	4	411,77	69,04	70,94	425,87	54,94	190,47	0,00	MAL	O.K.	MAL	377,93	82,90	66,26	392,10	68,22	197,11	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	4	-402,03	-69,07	-69,45	-55,16	-415,93	-235,55	268,88	O.K.	O.K.	O.K.	-375,01	-89,60	-65,57	-75,26	-389,36	-232,31	266,69	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	7	386,42	85,51	67,63	400,92	71,01	198,51	0,00	MAL	O.K.	MAL	427,96	69,94	76,61	443,66	54,24	190,12	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	7	-386,08	-92,05	-73,31	-74,78	-403,34	-239,06	271,25	O.K.	O.K.	O.K.	-409,99	-68,99	-73,84	-53,69	-425,29	-239,49	271,54	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	9	657,82	373,65	201,02	761,90	269,57	297,78	0,00	MAL	O.K.	MAL	718,15	469,84	260,45	882,53	305,47	315,73	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	9	-666,13	-370,54	-195,86	-272,97	-763,70	-518,34	459,62	O.K.	O.K.	O.K.	-704,79	-464,01	-254,79	-302,60	-866,20	-584,40	504,18	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	87	35,15	175,75	19,85	178,50	32,40	105,45	38,87	O.K.	O.K.	O.K.	32,95	164,74	16,56	166,79	30,90	98,85	43,33	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	87	-64,32	-321,62	-7,23	-64,12	-321,82	-192,97	240,16	O.K.	O.K.	O.K.	-59,69	-298,45	-7,78	-59,44	-298,70	-179,07	230,78	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	217	47,84	239,19	5,26	239,33	47,69	143,51	13,20	O.K.	O.K.	O.K.	23,88	119,44	6,68	119,90	23,42	71,66	61,66	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	217	-83,64	-418,21	-6,84	-83,50	-418,35	-250,93	279,25	O.K.	O.K.	O.K.	-45,15	-225,75	-7,32	-44,85	-226,04	-135,45	201,36	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	229	501,18	106,53	79,98	516,77	90,93	208,47	0,00	MAL	O.K.	MAL	567,60	120,40	96,50	587,54	100,47	213,23	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	229	-499,01	-109,46	-80,27	-93,56	-514,90	-304,23	315,21	O.K.	O.K.	O.K.	-532,22	-123,25	-94,00	-102,68	-552,79	-327,73	331,06	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	325	50,54	82,59	64,36	132,89	0,24	66,57	65,10	O.K.	O.K.	O.K.	55,57	53,13	50,12	104,48	4,21	54,35	73,34	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	325	-78,49	-204,12	-36,37	-68,72	-213,89	-141,31	205,31	O.K.	O.K.	O.K.	-85,48	-164,35	-23,79	-78,86	-170,97	-124,92	194,26	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	489	533,94	104,24	80,65	548,58	89,60	207,80	0,00	MAL	O.K.	MAL	551,11	125,51	98,28	572,70	103,91	214,95	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	489	-532,34	-108,03	-78,16	-94,09	-546,27	-320,18	325,97	O.K.	O.K.	O.K.	-515,05	-127,33	-97,71	-104,10	-538,28	-321,19	326,64	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	555	33,90	169,50	25,02	173,97	29,43	101,70	41,40	O.K.	O.K.	O.K.	15,33	76,64	20,13	82,66	9,31	45,99	78,98	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	555	-67,37	-336,87	-9,29	-67,05	-337,19	-202,12	246,33	O.K.	O.K.	O.K.	-47,48	-237,40	-5,72	-47,31	-237,57	-142,44	206,08	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	589	184,08	7,05	9,23	184,55	6,57	95,56	45,54	O.K.	O.K.	O.K.	162,78	6,68	10,84	163,53	5,93	84,73	52,85	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	589	-144,93	-1,37	-10,06	-0,67	-145,63	-73,15	159,34	O.K.	O.K.	O.K.	-123,57	-1,89	-10,70	-0,96	-124,50	-62,73	152,31	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	1375	82,59	-4,37	62,64	115,36	-37,14	39,11	83,62	O.K.	O.K.	O.K.	81,16	-7,45	66,75	116,97	-43,26	36,86	85,14	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	1375	-85,46	-73,02	-64,94	-14,00	-144,47	-79,24	163,45	O.K.	O.K.	O.K.	-83,03	-57,81	-63,18	-5,99	-134,84	-70,42	157,50	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2069	446,49	121,42	73,99	462,54	105,37	215,69	0,00	MAL	O.K.	MAL	470,57	141,54	79,62	488,82	123,29	224,64	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	2069	-443,64	-175,74	-73,53	-156,88	-462,49	-309,69	318,89	O.K.	O.K.	O.K.	-479,87	-205,36	-79,41	-184,04	-501,18	-342,61	341,10	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2169	156,03	8,59	7,51	156,41	8,20	82,31	54,48	O.K.	O.K.	O.K.	-88,72	-2,67	-5,81	-2,28	-89,11	-45,70	140,82	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2169	-105,79	-2,26	-6,69	-1,83	-106,21	-54,02	146,44	O.K.	O.K.	O.K.	-91,88	-3,05	-8,18	-2,30	-92,62	-47,46	142,01	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2187	34,17	170,83	10,70	171,66	33,34	102,50	40,86	O.K.	O.K.	O.K.	30,96	154,78	6,98	155,17	30,57	92,87	47,36	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2187	-64,94	-324,70	-21,95	-63,10	-326,54	-194,82	241,41	O.K.	O.K.	O.K.	-59,57	-297,86	-16,55	-58,43	-299,00	-178,72	230,54	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A 4.4 - V. S. - Combinação fundamental de acções – 1º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM										
		S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s ⁻¹]	V.S. [t]	V.S. [s]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s ⁻¹]	V.S. [t]	V.S. [s]	
Média	3	-10,76	-39,65	1,35	-10,70	-39,71	-25,21	127,00	0.K.	0.K.	1,45	-8,37	-0,57	1,48	-8,41	-3,46	112,33	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	4	-4,91	-29,15	-0,29	-4,91	-29,15	-17,03	121,49	0.K.	0.K.	-4,44	-18,98	1,30	-4,33	-19,10	-11,71	117,90	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	7	-7,73	-34,09	-1,30	-7,66	-34,15	-20,91	124,10	0.K.	0.K.	-0,96	-10,84	0,40	-0,95	-10,86	-5,90	113,98	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	9	-11,71	-5,60	1,56	-5,22	-12,09	-8,66	115,84	0.K.	0.K.	-10,19	-10,60	-6,13	-4,26	-16,53	-10,40	117,01	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	87	-24,99	-124,94	11,03	-23,79	-126,14	-74,97	160,56	0.K.	0.K.	-23,56	-117,79	8,27	-22,84	-118,51	-70,68	157,67	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	217	-28,32	-141,62	-1,14	-28,31	-141,63	-84,97	167,32	0.K.	0.K.	-18,11	-90,54	-0,46	-18,10	-90,54	-54,32	146,64	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	229	-0,62	-23,37	6,51	1,11	-25,09	-11,99	118,09	0.K.	0.K.	-8,17	-41,67	11,23	-4,76	-45,09	-24,92	126,81	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	325	-31,13	-108,53	27,17	-22,55	-117,12	-69,83	157,10	0.K.	0.K.	-30,04	-104,85	25,55	-22,15	-112,74	-67,45	155,49	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	489	-13,36	-37,32	12,25	-8,20	-42,47	-25,34	127,09	0.K.	0.K.	-4,62	-35,52	7,12	-3,06	-37,08	-20,07	123,54	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	555	-27,46	-137,29	13,20	-25,90	-138,85	-82,38	165,56	0.K.	0.K.	-26,55	-132,76	11,95	-25,22	-134,09	-79,66	163,73	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	589	5,23	5,75	-0,32	5,90	5,07	5,49	106,30	0.K.	0.K.	6,69	5,34	-2,50	8,60	3,43	6,01	105,94	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	1375	-1,70	-68,55	-0,14	-1,69	-68,55	-35,12	133,69	0.K.	0.K.	-0,94	-62,01	0,71	-0,93	-62,01	-31,47	131,23	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	2069	-6,74	-49,01	0,98	-6,72	-49,03	-27,87	128,80	0.K.	0.K.	-13,42	-50,64	-0,91	-13,39	-50,66	-32,03	131,60	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.
Média	2169	-2,46	-39,83	-2,12	-2,34	-39,95	-21,14	124,26	0.K.	0.K.	-1,66	-37,47	-1,50	-1,59	-37,53	-19,56	123,20	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.	0.K.

Tabela A 4.5 - V. S. - Combinação de acções Sísmo 1 – 1º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s ⁻¹]	V.S. [s]	V.S. [t]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s ⁻¹]	V.S. [s]	V.S. [t]
M.Máx.	3	35,24	32,51	12,15	46,10	21,64	33,87	87,15	O.K.	O.K.	O.K.	47,98	51,04	9,76	59,39	39,63	49,51	76,61	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	3	-50,52	-88,99	-10,30	-47,93	-91,58	-69,76	157,05	O.K.	O.K.	O.K.	-12,81	-51,97	1,93	-12,72	-52,06	-32,39	131,85	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	4	49,47	29,75	9,24	53,12	26,10	39,61	83,28	O.K.	O.K.	O.K.	48,46	34,98	11,77	55,29	28,15	41,72	81,86	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	4	-56,20	-69,95	-9,66	-51,22	-74,93	-63,08	152,55	O.K.	O.K.	O.K.	-54,98	-62,95	-9,95	-48,25	-69,68	-58,97	149,77	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	7	55,55	10,83	12,01	58,57	7,81	33,19	87,61	O.K.	O.K.	O.K.	61,96	42,09	11,64	67,33	36,72	52,03	74,91	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	7	-66,90	-61,01	-13,82	-49,82	-78,08	-63,95	153,14	O.K.	O.K.	O.K.	-62,98	-55,77	-11,09	-47,71	-71,04	-59,38	150,05	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	9	397,46	250,82	143,05	484,88	163,40	244,70	0,00	MAL	O.K.	MAL	431,87	313,33	163,00	546,04	199,15	262,58	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	9	-402,85	-245,60	-135,16	-167,86	-480,59	-324,22	328,69	O.K.	O.K.	O.K.	-428,85	-307,73	-164,51	-192,99	-543,59	-368,29	358,42	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	87	34,67	173,33	29,51	179,35	28,65	104,00	39,85	O.K.	O.K.	O.K.	20,70	103,50	25,44	110,69	13,51	62,10	68,11	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	87	-71,22	-356,11	-13,25	-70,61	-356,72	-213,67	254,12	O.K.	O.K.	O.K.	-55,12	-275,58	-13,24	-54,33	-276,37	-165,35	221,53	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	217	79,49	397,46	11,33	397,86	79,09	202,55	0,00	MAL	O.K.	MAL	43,02	215,10	9,84	215,66	42,46	129,06	22,95	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	217	-120,69	-603,47	-12,96	-120,35	-603,81	-362,08	354,23	O.K.	O.K.	O.K.	-69,12	-345,63	-10,52	-68,72	-346,03	-207,38	249,88	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	229	915,13	445,03	84,83	929,97	430,19	378,09	0,00	MAL	O.K.	MAL	909,77	385,75	85,03	923,22	372,30	349,15	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	229	-915,54	-476,12	-76,16	-463,29	-928,36	-695,83	579,34	O.K.	O.K.	O.K.	-920,48	-442,26	-69,62	-432,33	-930,41	-681,37	569,59	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	325	83,12	131,67	90,86	201,44	13,35	107,39	37,56	O.K.	O.K.	MAL	86,30	70,01	74,88	153,48	2,83	78,16	57,28	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	325	-127,93	-286,96	-51,90	-112,49	-302,40	-207,45	249,92	O.K.	O.K.	O.K.	-129,45	-220,34	-38,24	-115,50	-234,29	-174,90	227,97	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	489	975,60	513,24	94,50	994,16	494,67	410,34	0,00	MAL	O.K.	MAL	966,56	460,90	94,37	983,60	443,86	384,93	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	489	-994,12	-564,24	-77,61	-550,66	-1007,70	-779,18	635,56	O.K.	O.K.	O.K.	-972,79	-508,79	-84,80	-493,78	-987,80	-740,79	609,67	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	555	30,37	151,85	39,44	163,53	18,69	91,11	48,55	O.K.	O.K.	O.K.	21,89	109,43	31,13	119,37	11,95	65,66	65,71	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	555	-70,08	-350,38	-20,37	-68,61	-351,85	-210,23	251,80	O.K.	O.K.	O.K.	-60,15	-300,75	-13,91	-59,35	-301,55	-180,45	231,72	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	589	37,02	10,06	20,08	47,72	-0,65	23,54	94,13	O.K.	O.K.	O.K.	39,11	9,82	25,03	53,46	-4,54	24,46	93,50	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	589	-29,78	-1,51	-20,67	9,40	-40,68	-15,64	120,55	O.K.	O.K.	O.K.	-29,95	-1,93	-28,66	15,96	-47,84	-15,94	120,75	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	1375	23,07	-9,59	34,96	45,32	-31,84	6,74	105,45	O.K.	O.K.	O.K.	20,41	-16,81	35,66	42,02	-38,43	1,80	108,79	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	1375	-25,59	-90,44	-35,21	-10,15	-105,88	-58,01	149,13	O.K.	O.K.	O.K.	-21,76	-72,96	-34,62	-4,30	-90,41	-47,36	141,94	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2069	274,41	134,27	58,37	295,53	113,14	204,34	0,00	O.K.	O.K.	MAL	287,66	100,76	57,06	303,70	84,72	194,21	0,00	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	2069	-284,22	-204,81	-58,36	-173,93	-315,10	-244,51	274,93	O.K.	O.K.	O.K.	-306,74	-173,35	-59,83	-150,45	-329,64	-240,04	271,91	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2169	52,93	10,82	27,80	66,74	-3,00	31,87	88,50	O.K.	O.K.	O.K.	-37,36	-2,15	-28,66	13,88	-53,39	-19,76	123,32	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2169	-39,17	-2,37	-25,18	10,41	-51,95	-20,77	124,01	O.K.	O.K.	O.K.	-39,04	-2,92	-27,81	12,18	-54,14	-20,98	124,15	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2187	34,07	170,33	17,50	172,54	31,86	102,20	41,07	O.K.	O.K.	O.K.	21,14	105,68	16,08	108,64	18,18	63,41	67,23	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2187	-72,32	-361,58	-31,99	-68,82	-365,08	-216,95	256,33	O.K.	O.K.	O.K.	-57,31	-286,56	-28,88	-53,73	-290,14	-171,94	225,97	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A 4.6 - V. S. - Combinação de acções Sismo 2 – 1º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S MÁX [kN/m ²]	S MÍN [kN/m ²]	S EF [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [t]	V.S. [h]	S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S MÁX [kN/m ²]	S MÍN [kN/m ²]	S EF [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [h]
M.Máx.	3	23,91	16,74	9,23	30,22	10,43	20,33	96,29	O.K.	O.K.	O.K.	35,58	35,98	7,11	42,89	28,67	35,78	85,86	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	3	-39,19	-73,22	-7,38	-37,66	-74,75	-56,21	147,91	O.K.	O.K.	O.K.	-9,17	-39,72	1,28	-9,12	-39,78	-24,45	126,49	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	4	35,48	16,76	6,78	37,67	14,56	26,12	92,38	O.K.	O.K.	O.K.	34,77	22,18	8,93	39,41	17,55	28,48	90,79	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	4	-42,21	-56,96	-7,19	-39,28	-59,88	-49,58	143,44	O.K.	O.K.	O.K.	-41,29	-50,15	-7,10	-37,35	-54,09	-45,72	140,84	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	7	39,38	1,81	8,63	41,27	-0,08	20,60	96,11	O.K.	O.K.	O.K.	45,44	29,23	8,68	49,21	25,46	37,34	84,81	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	7	-50,72	-52,00	-10,44	-40,90	-61,82	-51,36	144,64	O.K.	O.K.	O.K.	-46,46	-42,90	-8,12	-36,37	-53,00	-44,68	140,14	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	9	290,41	183,98	105,81	355,63	118,76	222,38	0,00	MAL	O.K.	MAL	317,06	230,27	119,26	400,58	146,75	236,38	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	9	-298,98	-182,35	-99,05	-125,72	-355,61	-240,67	272,33	O.K.	O.K.	O.K.	-317,32	-228,15	-122,05	-142,79	-402,68	-272,73	293,96	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	87	20,70	103,50	23,85	109,88	14,32	62,10	68,11	O.K.	O.K.	O.K.	10,94	54,71	20,31	62,68	2,97	32,83	87,86	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	87	-57,26	-286,28	-7,60	-57,01	-286,53	-171,77	225,86	O.K.	O.K.	O.K.	-45,36	-226,79	-8,11	-45,00	-227,15	-136,08	201,78	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	217	52,92	264,63	8,12	264,94	52,61	158,78	2,90	O.K.	O.K.	MAL	28,19	140,95	7,15	141,40	27,74	84,57	52,96	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	217	-94,13	-470,64	-9,74	-93,87	-470,89	-282,38	300,47	O.K.	O.K.	O.K.	-54,30	-271,48	-7,82	-54,02	-271,76	-162,89	219,87	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	229	671,79	323,01	63,46	682,98	311,82	318,91	0,00	MAL	O.K.	MAL	666,44	276,18	64,53	676,83	265,78	295,89	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	229	-672,20	-354,10	-54,79	-344,92	-681,37	-513,15	456,12	O.K.	O.K.	O.K.	-677,16	-332,69	-49,12	-325,82	-684,03	-504,92	450,58	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	325	55,33	76,69	72,08	138,87	-6,86	66,01	65,48	O.K.	O.K.	MAL	57,82	32,18	60,02	106,37	-16,38	45,00	79,65	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	325	-100,14	-231,98	-33,13	-92,29	-239,84	-166,06	222,01	O.K.	O.K.	O.K.	-100,96	-182,51	-23,37	-94,74	-188,73	-141,74	205,60	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	489	713,83	370,48	71,67	728,18	356,12	341,06	0,00	MAL	O.K.	MAL	708,89	332,45	70,60	721,70	319,64	322,82	0,00	MAL	O.K.	MAL
M.Mín.	489	-732,35	-421,48	-54,78	-412,11	-741,72	-576,92	499,13	O.K.	O.K.	O.K.	-715,12	-380,34	-61,03	-369,56	-725,89	-547,73	479,45	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	555	17,23	86,15	31,55	98,41	4,97	51,69	75,13	O.K.	O.K.	O.K.	11,71	58,54	25,20	69,52	0,73	35,13	86,31	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	555	-56,94	-284,68	-12,48	-56,26	-285,36	-170,81	225,21	O.K.	O.K.	O.K.	-49,97	-249,86	-7,98	-49,65	-250,18	-149,92	211,12	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	589	28,70	8,60	14,68	36,44	0,86	18,65	97,42	O.K.	O.K.	O.K.	30,57	8,46	17,91	40,56	-1,53	19,51	96,84	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	589	-21,46	-0,04	-15,28	7,91	-29,40	-10,75	117,25	O.K.	O.K.	O.K.	-21,42	-0,57	-21,54	12,94	-34,92	-10,99	117,41	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	1375	17,35	-19,71	25,67	30,48	-32,84	-1,18	110,79	O.K.	O.K.	O.K.	15,44	-23,74	26,36	28,69	-36,99	-4,15	112,80	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	1375	-19,87	-80,33	-25,93	-10,27	-89,92	-50,10	143,79	O.K.	O.K.	O.K.	-16,80	-66,04	-25,31	-6,11	-76,72	-41,42	137,93	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2069	200,62	89,68	42,93	215,29	75,01	145,15	12,10	O.K.	O.K.	MAL	209,24	65,55	41,64	220,43	54,36	137,40	17,33	O.K.	O.K.	MAL
M.Mín.	2069	-210,43	-160,22	-42,92	-135,60	-235,05	-185,33	235,00	O.K.	O.K.	O.K.	-228,33	-138,14	-44,40	-119,95	-246,51	-183,23	233,59	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2169	41,09	9,19	20,81	51,35	-1,08	25,14	93,05	O.K.	O.K.	O.K.	-25,64	-0,61	-20,59	10,97	-37,22	-13,13	118,85	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2169	-27,33	-0,74	-18,19	8,50	-36,56	-14,03	119,47	O.K.	O.K.	O.K.	-27,07	-1,21	-20,13	9,79	-38,06	-14,14	119,53	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2187	20,13	100,66	10,94	102,12	18,67	60,40	69,26	O.K.	O.K.	O.K.	10,97	54,83	10,11	57,05	8,75	32,90	87,81	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2187	-58,38	-291,92	-25,43	-55,64	-294,66	-175,15	228,14	O.K.	O.K.	O.K.	-47,14	-235,71	-22,91	-44,40	-238,45	-141,43	205,39	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A 4.7 - V. S. - Combinação fundamental de acções – 2º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM																			
		S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MIN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s']	V.S. [s]	V.S. [t]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MIN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s']	V.S. [s]	V.S. [t]										
Média	3	2,72	13,71	-1,28	13,85	2,58	8,22	104,46	O.K.	O.K.	O.K.	-5,15	-22,26	0,35	-5,14	-22,27	-13,70	119,24	O.K.	O.K.	O.K.	-5,15	-22,26	0,35	-5,14	-22,27	-13,70	119,24	O.K.	O.K.	O.K.
Média	4	-0,73	-1,90	-0,97	-0,18	-2,45	-1,31	110,89	O.K.	O.K.	O.K.	-1,70	-6,67	-2,81	-0,43	-7,94	-4,19	112,82	O.K.	O.K.	O.K.	-1,70	-6,67	-2,81	-0,43	-7,94	-4,19	112,82	O.K.	O.K.	O.K.
Média	7	-1,76	-7,64	2,40	-0,90	-8,49	-4,70	113,17	O.K.	O.K.	O.K.	-0,74	-1,08	1,44	0,53	-2,36	-0,91	110,61	O.K.	O.K.	O.K.	-0,74	-1,08	1,44	0,53	-2,36	-0,91	110,61	O.K.	O.K.	O.K.
Média	9	27,33	53,86	9,38	56,84	24,35	40,59	82,62	O.K.	O.K.	O.K.	25,13	-56,03	-2,32	25,20	-56,09	-15,45	120,42	O.K.	O.K.	O.K.	25,13	-56,03	-2,32	25,20	-56,09	-15,45	120,42	O.K.	O.K.	O.K.
Média	87	-11,22	-56,08	2,55	-11,08	-56,22	-33,65	132,70	O.K.	O.K.	O.K.	-7,63	-38,17	1,54	-7,55	-38,25	-22,90	125,45	O.K.	O.K.	O.K.	-7,63	-38,17	1,54	-7,55	-38,25	-22,90	125,45	O.K.	O.K.	O.K.
Média	217	-7,23	-36,14	-0,65	-7,21	-36,16	-21,69	124,63	O.K.	O.K.	O.K.	-0,76	-3,78	-0,37	-0,71	-3,82	-2,27	111,53	O.K.	O.K.	O.K.	-0,76	-3,78	-0,37	-0,71	-3,82	-2,27	111,53	O.K.	O.K.	O.K.
Média	229	0,40	4,99	-0,43	5,03	0,36	2,70	108,18	O.K.	O.K.	O.K.	-4,03	-21,11	-0,45	-4,02	-21,12	-12,57	118,48	O.K.	O.K.	O.K.	-4,03	-21,11	-0,45	-4,02	-21,12	-12,57	118,48	O.K.	O.K.	O.K.
Média	325	-8,12	-55,68	10,96	-5,71	-58,09	-31,90	131,52	O.K.	O.K.	O.K.	-10,92	-49,82	10,60	-8,22	-49,82	-30,37	130,48	O.K.	O.K.	O.K.	-10,92	-49,82	10,60	-8,22	-49,82	-30,37	130,48	O.K.	O.K.	O.K.
Média	489	-0,81	3,36	-0,63	3,45	-0,90	1,27	109,14	O.K.	O.K.	O.K.	-2,73	-19,26	-0,44	-2,72	-19,27	-10,99	117,42	O.K.	O.K.	O.K.	-2,73	-19,26	-0,44	-2,72	-19,27	-10,99	117,42	O.K.	O.K.	O.K.
Média	555	-13,58	-67,89	4,88	-13,14	-68,33	-40,74	137,48	O.K.	O.K.	O.K.	-10,31	-51,56	3,97	-9,93	-51,94	-30,94	130,87	O.K.	O.K.	O.K.	-10,31	-51,56	3,97	-9,93	-51,94	-30,94	130,87	O.K.	O.K.	O.K.
Média	589	10,09	5,36	-1,82	10,70	4,74	7,72	104,79	O.K.	O.K.	O.K.	3,77	3,56	-1,74	5,41	1,92	3,66	107,53	O.K.	O.K.	O.K.	3,77	3,56	-1,74	5,41	1,92	3,66	107,53	O.K.	O.K.	O.K.
Média	1375	0,11	-10,86	16,83	12,32	-23,08	-5,38	113,63	O.K.	O.K.	O.K.	1,33	-7,62	17,04	14,47	-20,76	-3,14	112,12	O.K.	O.K.	O.K.	1,33	-7,62	17,04	14,47	-20,76	-3,14	112,12	O.K.	O.K.	O.K.
Média	2069	-5,81	-26,88	1,18	-5,74	-26,94	-16,34	121,02	O.K.	O.K.	O.K.	0,56	1,31	0,51	1,56	0,30	0,93	109,37	O.K.	O.K.	O.K.	0,56	1,31	0,51	1,56	0,30	0,93	109,37	O.K.	O.K.	O.K.
Média	2169	3,24	-19,19	-2,71	3,57	-19,51	-7,97	115,38	O.K.	O.K.	O.K.	1,92	-16,74	-2,55	2,26	-17,08	-7,41	115,00	O.K.	O.K.	O.K.	1,92	-16,74	-2,55	2,26	-17,08	-7,41	115,00	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A 4.8 - V. S. - Combinação de acções Sismo 1 - 2° Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [t]	S ₁₁ [kN/m ²]	S ₂₂ [kN/m ²]	t ₁₂ [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	t _r [kN/m ²]	V.S. [s]	V.S. [s]	V.S. [t]
M.Máx.	3	67,93	39,12	10,02	71,07	35,98	53,53	73,90	O.K.	O.K.	O.K.	64,25	13,67	10,94	66,51	11,40	38,96	83,72	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	3	-63,89	-19,04	-11,87	-16,09	-66,84	-41,46	137,97	O.K.	O.K.	O.K.	-22,20	-31,89	1,44	-21,99	-32,10	-27,04	128,24	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	4	79,72	25,11	11,26	81,96	22,88	52,42	74,64	O.K.	O.K.	O.K.	78,18	21,84	10,61	80,11	19,91	50,01	76,27	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	4	-80,62	-27,02	-12,74	-24,15	-83,50	-53,82	146,30	O.K.	O.K.	O.K.	-80,71	-31,92	-14,62	-27,88	-84,76	-56,32	147,99	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	7	66,29	15,41	13,64	69,71	11,98	40,85	82,45	O.K.	O.K.	O.K.	67,47	20,98	12,22	70,49	17,96	44,23	80,17	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	7	-68,91	-26,89	-10,23	-24,53	-71,27	-47,90	142,31	O.K.	O.K.	O.K.	-68,40	-21,71	-10,07	-19,63	-70,48	-45,05	140,39	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	9	140,55	84,29	18,87	146,30	78,55	112,42	34,17	O.K.	O.K.	O.K.	168,33	20,07	37,69	177,36	11,04	94,20	46,46	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	9	-102,50	-17,55	-17,63	-14,03	-106,01	-60,02	150,49	O.K.	O.K.	O.K.	-122,28	-78,25	-38,59	-55,84	-144,69	-100,26	177,63	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	87	37,08	185,42	19,45	187,93	34,57	111,25	34,96	O.K.	O.K.	O.K.	34,18	170,90	17,45	173,09	31,99	102,54	40,84	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	87	-53,58	-267,88	-15,61	-52,45	-269,01	-160,73	218,41	O.K.	O.K.	O.K.	-45,41	-227,06	-15,11	-44,16	-228,31	-136,24	201,89	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	217	47,23	236,18	8,68	236,58	46,84	141,71	14,42	O.K.	O.K.	O.K.	47,58	237,90	9,03	238,33	47,16	142,74	13,72	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	217	-57,76	-288,81	-9,63	-57,36	-289,21	-173,29	226,88	O.K.	O.K.	O.K.	-48,57	-242,86	-9,57	-48,10	-243,33	-145,72	208,29	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	229	75,17	63,66	10,05	81,00	57,83	69,41	63,18	O.K.	O.K.	O.K.	72,00	44,64	10,31	75,45	41,19	58,32	70,66	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	229	-74,40	-55,51	-10,69	-50,69	-79,22	-64,95	153,81	O.K.	O.K.	O.K.	-77,83	-75,07	-10,99	-65,38	-87,52	-76,45	161,56	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	325	88,80	116,53	36,30	141,52	63,81	102,67	40,75	O.K.	O.K.	O.K.	87,71	98,77	33,78	127,47	59,01	93,24	47,11	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	325	-100,47	-196,72	-49,29	-79,70	-217,49	-148,60	210,23	O.K.	O.K.	O.K.	-103,59	-170,27	-43,23	-82,33	-191,53	-136,93	202,36	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	489	78,03	62,83	11,11	83,89	56,97	70,43	62,49	O.K.	O.K.	O.K.	77,32	48,16	10,74	80,84	44,64	62,74	67,68	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	489	-79,01	-57,00	-12,02	-51,70	-84,30	-68,00	155,87	O.K.	O.K.	O.K.	-81,29	-75,97	-11,38	-66,94	-90,31	-78,63	163,03	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	555	27,84	139,20	24,36	144,30	22,74	83,52	53,67	O.K.	O.K.	O.K.	28,47	142,33	21,26	146,17	24,63	85,40	52,40	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	555	-47,64	-238,21	-17,25	-46,09	-239,76	-142,93	206,40	O.K.	O.K.	O.K.	-43,46	-217,30	-15,49	-42,09	-218,67	-130,38	197,94	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	589	45,06	9,98	22,90	56,36	-1,33	27,52	91,44	O.K.	O.K.	O.K.	43,79	9,46	21,41	54,07	-0,82	26,62	92,04	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	589	-30,86	-1,97	-25,46	12,85	-45,68	-16,41	121,07	O.K.	O.K.	O.K.	-38,88	-4,10	-23,86	8,03	-51,01	-21,49	124,50	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	1375	38,25	6,60	46,17	71,23	-26,38	22,42	94,88	O.K.	O.K.	O.K.	36,70	6,58	41,50	65,78	-22,51	21,64	95,41	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	1375	-38,17	-22,59	-21,52	-7,49	-53,26	-30,38	130,49	O.K.	O.K.	O.K.	-34,75	-17,44	-16,57	-7,41	-44,78	-26,10	127,60	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2069	45,85	30,48	7,23	48,72	27,62	38,17	84,26	O.K.	O.K.	O.K.	50,43	50,15	7,34	57,64	42,95	50,29	76,08	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2069	-54,02	-68,04	-5,54	-52,10	-69,96	-61,03	151,16	O.K.	O.K.	O.K.	-49,93	-49,45	-6,65	-43,03	-56,34	-49,69	143,52	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2169	62,25	10,77	22,45	70,66	2,36	36,51	85,37	O.K.	O.K.	O.K.	-41,84	-3,39	-24,98	8,91	-54,14	-22,62	125,25	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2169	-45,24	-3,42	-26,04	9,07	-57,73	-24,33	126,41	O.K.	O.K.	O.K.	-47,77	-4,46	-23,90	6,14	-58,37	-26,11	127,61	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2187	33,13	165,63	16,45	167,64	31,12	99,38	42,97	O.K.	O.K.	O.K.	34,70	173,49	15,62	175,23	32,96	104,10	39,79	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2187	-52,98	-264,89	-21,39	-50,84	-267,03	-158,94	217,20	O.K.	O.K.	O.K.	-51,92	-259,62	-19,74	-50,06	-261,48	-155,77	215,07	O.K.	O.K.	O.K.

Tabela A4.9 - V. S. - Combinação de acções Sismo 2 – 2º Reforço

N.º elemento	N.º nó	TOP										BOTTOM									
		S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s ²]	V.S. [s]	V.S. [t]	S11 [kN/m ²]	S22 [kN/m ²]	t12 [kN/m ²]	S _{MÁX} [kN/m ²]	S _{MÍN} [kN/m ²]	S _{EF} [kN/m ²]	tr [kN/m ²]	V.S. [s ²]	V.S. [s]	V.S. [t]
M.Máx.	3	50,41	31,41	7,11	52,78	29,05	40,91	82,40	O.K.	O.K.	O.K.	46,18	5,79	8,08	47,73	4,24	25,99	92,47	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	3	-46,37	-11,33	-8,97	-9,17	-48,53	-28,85	129,46	O.K.	O.K.	O.K.	-17,29	-27,68	1,11	-17,18	-27,80	-22,49	125,17	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	4	58,42	18,19	8,07	59,98	16,63	38,30	84,16	O.K.	O.K.	O.K.	57,06	14,72	7,26	58,27	13,51	35,89	85,79	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	4	-59,32	-20,10	-9,55	-17,90	-61,52	-39,71	136,78	O.K.	O.K.	O.K.	-59,59	-24,79	-11,27	-21,46	-62,92	-42,19	138,46	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	7	48,33	9,84	10,47	50,99	7,17	29,08	90,38	O.K.	O.K.	O.K.	49,42	15,35	9,26	51,77	13,00	32,39	88,15	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	7	-50,95	-21,32	-7,06	-19,72	-52,54	-36,13	134,37	O.K.	O.K.	O.K.	-50,35	-16,08	-7,11	-14,66	-51,77	-33,22	132,40	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	9	107,83	70,71	14,18	112,62	65,91	89,27	49,79	O.K.	O.K.	O.K.	129,23	6,85	27,46	135,11	0,97	68,04	64,11	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	9	-70,95	-5,90	-13,19	-3,33	-73,52	-38,43	135,92	O.K.	O.K.	O.K.	-84,48	-66,76	-28,75	-45,54	-105,70	-75,62	161,01	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	87	25,09	125,46	14,79	127,59	22,96	75,28	59,23	O.K.	O.K.	O.K.	23,69	118,43	13,12	120,21	21,91	71,06	62,07	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	87	-41,59	-207,93	-10,95	-40,87	-208,65	-124,76	194,15	O.K.	O.K.	O.K.	-34,92	-174,59	-10,78	-34,09	-175,42	-104,76	180,66	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	217	33,28	166,41	6,25	166,70	32,99	99,85	42,65	O.K.	O.K.	O.K.	34,80	174,00	6,56	174,31	34,49	104,40	39,58	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	217	-43,81	-219,03	-7,20	-43,51	-219,32	-131,42	198,64	O.K.	O.K.	O.K.	-35,79	-178,97	-7,10	-35,44	-179,32	-107,38	182,43	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	229	55,32	47,83	7,31	59,79	43,35	51,57	75,21	O.K.	O.K.	O.K.	52,12	28,75	7,51	54,32	26,55	40,44	82,73	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	229	-54,55	-39,68	-7,96	-36,22	-58,00	-47,11	141,78	O.K.	O.K.	O.K.	-57,94	-59,18	-8,18	-50,36	-66,76	-58,56	149,50	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	325	63,74	75,01	49,92	119,61	19,14	69,37	63,21	O.K.	O.K.	O.K.	62,41	63,03	45,02	107,74	17,70	62,72	67,69	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	325	-75,40	-155,21	-34,14	-62,79	-167,82	-115,31	187,77	O.K.	O.K.	O.K.	-78,29	-134,53	-29,75	-65,48	-147,34	-106,41	181,77	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	489	57,17	46,91	8,05	61,58	42,49	52,04	74,90	O.K.	O.K.	O.K.	56,25	31,67	7,80	58,52	29,40	43,96	80,35	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	489	-58,15	-41,07	-8,96	-37,23	-61,99	-49,61	143,46	O.K.	O.K.	O.K.	-60,21	-59,47	-8,45	-51,39	-68,29	-59,84	150,36	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	555	17,84	89,22	18,84	93,89	13,17	53,53	73,89	O.K.	O.K.	O.K.	18,98	94,88	16,38	98,26	15,60	56,93	71,60	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	555	-37,64	-188,22	-11,73	-36,73	-189,13	-112,93	186,17	O.K.	O.K.	O.K.	-33,97	-169,85	-10,60	-33,15	-170,67	-101,91	178,74	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	589	35,22	8,42	16,55	43,11	0,53	21,82	95,28	O.K.	O.K.	O.K.	32,98	7,69	15,50	40,33	0,33	20,33	96,29	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	589	-21,02	-0,42	-19,10	10,98	-32,41	-10,72	117,23	O.K.	O.K.	O.K.	-28,07	-2,33	-17,94	6,88	-37,28	-15,20	120,25	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	1375	28,44	2,79	37,18	54,94	-23,72	15,61	99,47	O.K.	O.K.	O.K.	27,54	3,44	33,79	51,36	-20,39	15,49	99,55	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	1375	-28,35	-18,78	-12,54	-10,14	-36,98	-23,56	125,89	O.K.	O.K.	O.K.	-25,60	-14,30	-8,86	-9,44	-30,45	-19,95	123,45	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2069	32,60	17,96	5,56	34,47	16,09	25,28	92,95	O.K.	O.K.	O.K.	37,12	37,40	5,51	42,76	31,75	37,26	84,87	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2069	-40,77	-55,51	-3,86	-39,82	-56,46	-48,14	142,47	O.K.	O.K.	O.K.	-36,62	-36,69	-4,81	-31,84	-41,46	-36,65	134,72	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2169	48,15	8,95	16,16	53,94	3,15	28,55	90,75	O.K.	O.K.	O.K.	-29,40	-1,83	-18,96	7,83	-39,06	-15,62	120,53	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2169	-31,14	-1,60	-19,75	8,30	-41,03	-16,37	121,04	O.K.	O.K.	O.K.	-33,55	-2,56	-18,18	5,83	-41,93	-18,05	122,17	O.K.	O.K.	O.K.
M.Máx.	2187	21,70	108,49	11,42	109,97	20,22	65,10	66,09	O.K.	O.K.	O.K.	23,24	116,18	10,92	117,45	21,97	69,71	62,98	O.K.	O.K.	O.K.
M.Mín.	2187	-41,55	-207,75	-16,36	-39,95	-209,35	-124,65	194,08	O.K.	O.K.	O.K.	-40,46	-202,31	-15,04	-39,07	-203,70	-121,39	191,88	O.K.	O.K.	O.K.

