



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL



RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE AMPLIAÇÃO E REQUALIFICAÇÃO DE UM
EDIFÍCIO NA CIDADE DE MAPUTO

Stélio Bento Machava

Supervisores:

Doutor Eng.º Aurélio Sine (FE – UEM)

Eng.º Rafael Mabunda (LEM, IP)

Maputo, Dezembro de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL



RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE AMPLIAÇÃO E REQUALIFICAÇÃO DE UM
EDIFÍCIO NA CIDADE DE MAPUTO

Stélio Bento Machava

Supervisores:

Doutor Eng.º Aurélio Sine (FE – UEM)

Eng.º Rafael Mabunda (LEM, IP)

Maputo, Dezembro de 2022

DEDICATÓRIAS

Aos meus pais,
Bento e Luísa
e irmãos,
Emílio, Joaquim e Narciso

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, endereço o meu agradecimento à Deus, por cada episódio vivido dentro e fora da academia que contribuiu para a minha formação, pelas pessoas que estiveram ao meu redor e por ter permitido que eu chegasse a este momento.

À minha família, em especial à minha mãe, Luísa Joaquim Nhanala, por ter sido quem mais contribuiu e acompanhou cada instante do meu percurso acadêmico e ter acreditado em mim mesmo quando desanimado.

Ao Doutor Eng. Aurélio Sine por ter aceite me auxiliar e acompanhar neste trabalho, tendo disponibilizado o seu precioso tempo para me ensinar e ajudar com paciência e longanimidade.

Ao Engenheiro Rafael Mabunda por ter me ensinado e acompanhado em todas actividades do estágio profissional, lhe agradeço por sua paciência, disponibilidade e carinho.

Ao Engenheiro Nhumaio pela recepção calorosa e auxílio com materiais bibliográficos.

À todos colaboradores do LEM, IP, que me receberam e trataram com respeito e carinho.

Enfim, a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero: Muito Obrigado.

RESUMO

Neste relatório é apresentado o estudo efectuado ao abrigo do projecto de ampliação e requalificação de um edifício na cidade de Maputo. Ao longo do documento são apresentadas as actividades realizadas, os dados colectados e respectivo tratamento, os resultados obtidos e as conclusões finais.

O estudo consistiu na caracterização dos materiais constituintes dos elementos estruturais, realização de ensaios, entre destrutivos e não-destrutivos, modelação numérica, análise estrutural e verificação da segurança.

São também, apresentadas as opções tomadas ao nível da modelação para a análise estrutural. Fez-se uma combinação de cálculo de métodos analítico (métodos simplificados) e numérico recorrendo à ferramenta computacional *Robot Structural Analysis Professional 2016*.

Palavras-Chave: Ampliação, requalificação, edifício, materiais, ensaios

ÍNDICE

RESUMO	III
ÍNDICE	IV
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Formulação do problema.....	1
1.2. Objectivos	1
1.3. Metodologia	2
2. PERFIL DA INSTITUIÇÃO	2
2.1. Missão	2
2.2. Visão.....	2
2.3. Valores	2
2.4. Organograma	3
2.5. Áreas de actuação.....	3
2.6. Sector de estágio.....	4
2.7. Ensaio Realizados no Departamento de Estruturas e Obras.....	5
3. AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES	6
3.1. Tipos de Avaliação	6
4. AVALIAÇÃO DETALHADA DE UM EDIFÍCIO	10
4.1. Breve Descrição do Edifício.....	10
4.2. Levantamento geométrico.....	11
4.3. Ensaio de Diagnóstico	12
4.3.1. Caracterização da alvenaria	12
4.3.2. Extracção e determinação da resistência à compressão de carotes de betão (NP EN 12504-1:2009)	17
4.3.3. Ensaio de carbonatação.....	21
4.3.4. Sondagem de armaduras.....	25
4.4. Modelação e Análise de Segurança.....	26
4.4.1. Cálculo das capacidades resistentes	27
4.4.2. Quantificação de acções	29
4.4.3. Combinação de acções	30
4.4.4. Análise estrutural (cálculo de esforços)	31

4.4.5. Modelos e sistemas estáticos de análise estrutural.....	32
4.5. Verificação da segurança estrutural.....	38
4.5.1. Estados limites últimos (ELU).....	39
4.5.2. Estados Limites de Serviço (ELS).....	40
5. CONCLUSÕES.....	42
5.1. Na situação existente.....	42
5.2. Na situação de ampliação.....	42
6. BIBLIOGRAFIA.....	43
6.1. Referências bibliográficas.....	43
6.2. Bibliografia consultada.....	45
ANEXOS.....	46

LISTA DE SÍMBOLOS

- E_s – Módulo de elasticidade do aço
- F – Força; Carga de rotura
- F_c – Força no betão
- F_s – Força numa armadura
- G_m – Valor médio de uma acção permanente
- H_2O – Água
- L – Comprimento dum vão
- LN – Eixo neutro
- MPa – Megapascal
- $M_{Rd,x}$; $M_{Rd,y}$ – Valor de cálculo do momento flector resistente, segundo os eixos x e y
- $M_{Sd,x}$; $M_{Sd,y}$ – Valor de cálculo do momento flector actuante, segundo os eixos x e y
- N – Newton; Esforço axial
- N_{Rd} – Valor de cálculo do esforço normal resistente
- Q_k – Valor característico da acção variável
- R_d – Valor de cálculo dum esforço resistente
- R'_d – valor de cálculo do esforço resistente residual
- S – Espaçamento dos varões de uma armadura
- S_d – Valor de cálculo dum esforço actuante
- S_{Ek} – Esforço resultante da acção sísmica considerada como acção de base da combinação, tomada com o seu valor característico
- S_{Fa} – Esforço resultante de uma acção de acidente, tomada com o seu valor nominal
- S_{Gk} – Esforço resultante de uma acção permanente, tomada com o seu valor característico
- S_{Qk} – Esforço resultante da acção variável considerada como acção de base da combinação, tomada com o seu valor característico
- T_{cd} – Parcela do valor de cálculo do momento torsor resistente que depende da resistência do betão
- b – Largura de uma secção
- b_{ef} – Largura efectiva do banzo numa secção em T

- b_w – Largura da alma dum a secção em T
- C – Recobrimento
- Cm – Centímetro
- d – Altura útil de uma secção
- F – Tensão de rotura
- f_b – Resistência normalizada à compressão das unidades de alvenaria
- f_c – Valor de tensão de rotura do betão à compressão
- f_{cd} – Valor de cálculo de tensão de rotura do betão à compressão
- f_{ck} – Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão
- $f_{ck, is}$ – Resistência à compressão *in-situ* característica
- $f_{is, i}$ – Tensão de rotura individual do provete
- $f_{is, menor}$ – Menor resultado do ensaio de resistência à compressão *in-situ*;
- f_k – Valor de cálculo da resistência característica à compressão da alvenaria
- f_m – Valor da resistência à compressão da argamassa convencional
- $f_{m(n), is}$ – Média dos resultados de n ensaios da resistência à compressão *in-situ*;
- f_{syd} – Valor de cálculo da tensão de cedência ou da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2% em tracção
- f_{yd} – Valor de cálculo da tensão de cedência
- f_{yk} – Valor característico da tensão de cedência
- G – Carga permanente
- H – Altura total dum a secção; espessura dum a laje
- kN – Quilonewton
- kN.m – Quilonewton metro
- kN.m/m – Quilonewton metro por metro
- kN/m – Quilonewton por metro
- kN/m² – Quilonewton por metro quadrado
- l_s – Comprimento da amostra
- l_u – Comprimento do bloco
- m – Metro
- mm – Milímetro
- n – Número de amostras
- pH – Potencial hidrogénio

- q – Carga variável
 t_s – Espessura da amostra
 x – Coordenada; profundidade da linha neutra
 y – Coordenada; altura duma secção
 z – Braço do binário das forças interiores em flexão
 \varnothing – Diâmetro
 α – Ângulo
 γ_s – Coeficiente de segurança
 δ – Flecha de um elemento flectivo
 $\delta_{\text{admissível}}$ – Flecha admissível
 $\delta_{\text{serviço}}$ – Flecha de um elemento flectivo em serviço
 δ_{t0} – Deformada instantânea (tempo zero)
 $\delta_{t0,PP}$ – Deformada instantânea devido ao peso próprio estrutural
 ϵ_c – Extensão do betão
 ϵ_s – Extensão da armadura
 T – Tensão tangencial
 T_1, T_2 – Tensões relacionadas com os valores de cálculo do esforço transversal e do momento torsor resistente
 ψ – Coeficiente de fluência; designação genérica dos coeficientes que determinam os valores reduzidos das acções
 $\omega_{\text{admissível}}$ – Valor de largura de fendas admissível
 $\omega_{\text{serviço}}$ – Valor de largura de fendas em serviço

Siglas

- CEN – Comité Europeu de Normalização
DEO – Departamento de Estruturas e Obras
DGVC – Departamento de Geotecnia e Vias de Comunicação
DHQA – Departamento de Hidráulica, Química e Ambiente
DMC – Departamento de Materiais de Construção
ELS – Estado Limite de Serviço ou Utilização
ELU – Estado Limite Último

- ISO – International Organization for Standardization
- LEM, IP – Laboratório de Engenharia de Moçambique, Instituto Público
- Q1 – Quarto 1
- Q2 – Quarto 2
- Q3 – Quarto 3
- Q4 – Quarto 4
- REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado
- RSAEEP – Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organograma do LEM, IP	3
Figura 2. Fluxograma de avaliação de estruturas existentes [13].....	7
Figura 3: Vistas do Edifício em análise.....	10
Figura 4. Plantas de piso: (a) Rés-do-chão e (b) 1º andar. (Continuação).....	12
Figura 5: Amostragem de tijolos e carotes.....	13
Figura 6: Plantas dos pisos com indicação das espessuras das parede estruturais.....	14
Figura 7. Arranjo dos tipos de paredes estruturais existentes.....	14
Figura 8: ilustração dos instantes do ensaio: (a) parede posicionada na prensa; (b), (c), (d) e (f) modo de rotura caracterizado por fendas verticais com inclinação ligeira	16
Figura 9: localização dos pontos de extracção das carotes.....	18
Figura 10: Momento de extracção de carotes de betão.....	18
Figura 11: Detecção de armaduras	25
Figura 12: Mapa da tipologia de painéis de laje do piso 2 e da cobertura.....	26
Figura 13. Sistema estático de lajes aligeiradas, considerado secção efectiva em viga T de largura útil $b = 0.51$ m	33
Figura 14. Diagramas resultantes de cálculos numéricos da laje aligeirada	34
Figura 15: Modelo de análise dos painéis de laje maciça (zonas dos serviços, cozinha, garagem e varanda).....	34
Figura 16: Mapas de resultados dos cálculos numéricos (continuação).....	36
Figura 17. Áreas de influência correspondentes as cargas transmitidas das lajes às paredes mais solicitadas nos pisos 1 e 2	37
Figura 18. Modelo numérico de análise da parede divisória entre o quarto 03 e circulação.	38
Figura 19. Mapa de tensões normais sobre as paredes divisórias entre quarto 03 e área de circulação.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Procedimentos de avaliação preliminar [1].....	8
Tabela 2: Procedimentos de avaliação detalhada [18]	9
Tabela 3. Resultados da resistência à compressão dos tijolos.	15
Tabela 4: Condições de ensaio à compressão de unidades de paredes	16
Tabela 5: Resultados do ensaio à compressão da parede	17
Tabela 6. Resultados dos ensaios à compressão em carotes extraídas em lajes maciças	19
Tabela 7. Características resistentes de painéis de lajes maciças dispostos no piso 2.....	20
Tabela 8. Esforços resistentes de painéis de lajes aligeiradas	21
Tabela 9: Resultados da análise do ensaio de carbonatação e caracterização física dos carotes.....	22
Tabela 10: Técnica de detecção de armaduras	25
Tabela 11: Relações tensão-extensão dos materiais para verificação da segurança aos E.L. Últimos (adaptado de [5]).....	27
Tabela 12: Diagramas de tensões e equações usadas na determinação da capacidade resistente para diferentes esforços (adaptado de [5]).....	29
Tabela 13: Acções quantificadas para a análise do edifício [11] e [18].....	31
Tabela 14. Combinação de acções consideradas [18]	31
Tabela 15: Processos de análise estrutural de estruturas de betão armado [19]	32
Tabela 16. Avaliação da segurança dos painéis maciços	40
Tabela 17. Avaliação da segurança dos painéis aligeirados.....	40
Tabela 18. Avaliação da segurança da parede	40
Tabela 19. Verificação das deformações dos painéis de lajes maciças.....	41

1. INTRODUÇÃO

1.1. Formulação do problema

A cidade de Maputo tem 135 anos e, continua crescendo e melhorando o seu aspecto com o aumento de infraestruturas, serviços, fluxo de pessoas e bens. Este crescimento tem influenciado na necessidade de espaços físicos que acomodem em segurança e conforto os novos serviços. Na zona urbana vivem mais de 76.157 (7% da população da Cidade de Maputo) habitantes e onde estão centralizadas as principais infraestruturas públicas e privadas, como é o caso dos ministérios por exemplo.

Sendo muito escasso um espaço para edificar, geralmente recorre-se à ampliação e requalificação de edifícios existentes ou substituição dos mesmos em resposta das novas necessidades. Esta opção requer uma análise do ponto de vista da engenharia, de modo que, a partir de uma avaliação da estrutura existente, se tome uma decisão que não comprometa a segurança da estrutura nem os serviços pretendidos. Este tipo de solicitação tem sido recorrente no Laboratório de Engenharia de Moçambique, Instituto Público (LEM, IP), a instituição de estágio.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral

- ✓ Avaliar a possibilidade de ampliação e requalificação de um edifício.

1.2.2. Específicos

- ✓ Caracterizar a estrutura do edifício;
- ✓ Determinar a resistência dos materiais constituintes dos elementos estruturais;
- ✓ Avaliar o comportamento estrutural e;
- ✓ Verificar a segurança estrutural.

1.3. Metodologia

A fim de cumprir com os objectivos definidos, foram realizadas as seguintes actividades:

- ✓ Consultas bibliográficas;
- ✓ Participação nas actividades do sector de trabalho;
- ✓ Assistência de ensaios *in-situ* e no laboratório e;
- ✓ Apoio da elaboração de relatórios técnico-científicos do trabalho.

2. PERFIL DA INSTITUIÇÃO

2.1. Missão

O LEM, IP enquanto instituição pública e laboratório do Estado tem como missão garantir a investigação, homologação e controlo de qualidade no domínio da engenharia civil e de materiais de construção e materiais locais, especialmente em relação as obras públicas, e garantir a investigação e/ou coordenar estudos experimentais no campo da engenharia civil e dos materiais de construção.

2.2. Visão

Tornar-se num laboratório de excelência na área do controlo de qualidade de materiais de construção e de obras públicas e privadas, por forma a contribuir na execução de infra-estruturas com elevada qualidade.

2.3. Valores

- Profissionalismo;
- Disciplina;
- Responsabilidade;
- Segurança;
- Integridade;
- Rigor científico;
- Competência.

2.4. Organograma

Conforme o organograma da Figura 1, O LEM, IP é dirigido por um Director-Geral e coadjuvado por um Director-Geral Adjunto. A área técnica compreende dois serviços centrais e um departamento central autónomo, enquanto que na área administrativa comporta os departamentos autónomos de recursos humanos e de administração e finanças, a repartição de aquisições e gabinete jurídico.

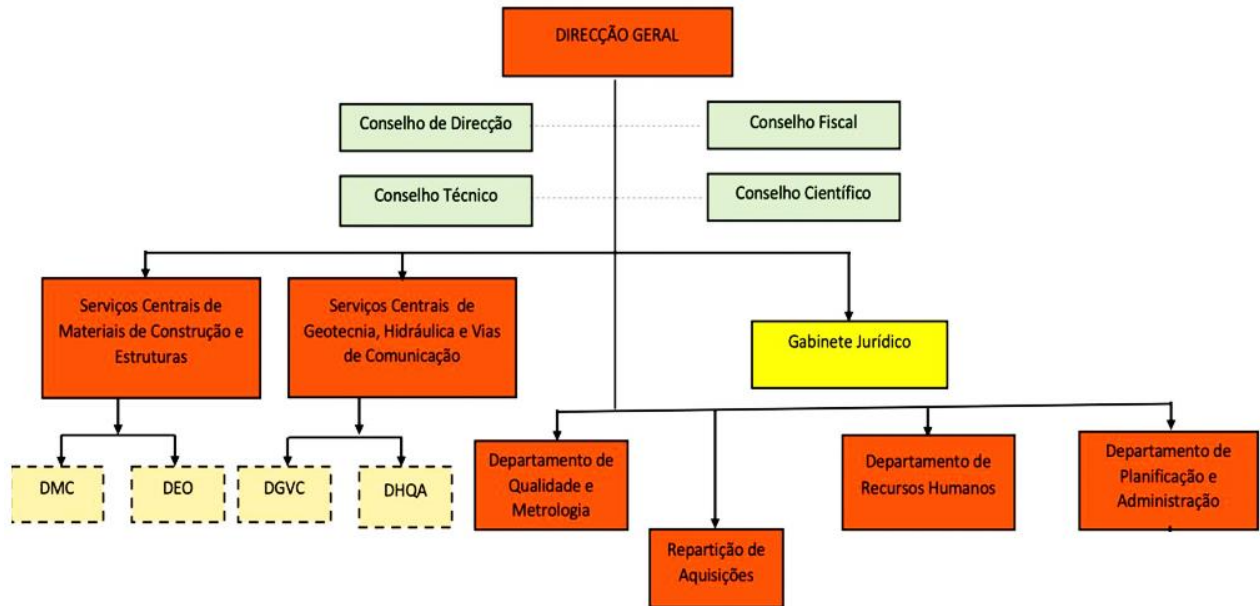


Figura 1. Organograma do LEM, IP

2.5. Áreas de actuação

O LEM, IP, tem por atribuições:

- Promoção da investigação, homologação e controlo de qualidade no domínio da engenharia civil e de materiais de construção, sobretudo das obras públicas;
- Promoção e coordenação da investigação científica, controlo de qualidade de obras e do desenvolvimento tecnológico, tendo em vista o contínuo aperfeiçoamento e a boa prática da Engenharia Civil;
- Prestação de serviços de Ciência e Tecnologia a entidades públicas e privadas, nacionais e estrangeiras, contribuindo para a inovação, a disseminação do saber e a transferência tecnológica;
- Promoção e coordenação de estudos experimentais no campo de engenharia civil e dos materiais de construção;

- e) Homologação dos resultados da investigação na área de controlo de qualidade de obras;
- f) Colaboração com estabelecimentos de ensino na preparação do pessoal técnico dos vários graus de especialização e revisão dos curricula respectivos; e
- g) Exercício da sua acção de criação, desenvolvimento e difusão da investigação e controlo de qualidade no âmbito da Engenharia Civil, nomeadamente Engenharia Civil/Obras Públicas; Edifícios; Habitação e Urbanismo e Tecnologia da Construção; Ambiente; Hidráulica e Recursos Hídricos; Transportes, Infra-estruturas e Vias de Comunicação; Geotecnia e Obras Subterrâneas; Metrologia; Indústria dos Materiais; Componentes e outros materiais e produtos para construção.

2.6. Sector de estágio

O estágio profissional foi levado a cabo no Departamento de Estruturas e Obras (DEO) que tem as seguintes funções:

- a) Realizar estudos de caracterização do comportamento de elementos estruturais em estruturas (betão, alvenaria, metálicas e de madeira) e o respectivo controlo de qualidade;
- b) Realizar ensaios de recepção de obras de construção civil (edifícios, pontes, barragens de betão, postes de transmissão de energia eléctrica) e o seu controlo pós construção;
- c) Realizar estudos sobre patologias das construções;
- d) Investigar e desenvolver técnicas experimentais e analíticas para o dimensionamento de estruturas e segurança das barragens e pontes;
- e) Apreciar e emitir pareceres sobre a homologação dos sistemas e elementos de construção não tradicionais;
- f) Participar na elaboração de cadernos de encargo-tipo, nos termos previstos na legislação específica;
- g) Participar em actividades de normalização e qualidade de materiais e processos de construção e respectiva regulamentação;
- h) Emitir pareceres sobre o Licenciamento de laboratórios comerciais e na certificação de processos construtivos não tradicionais;

- i) Garantir a implementação dos sistemas de gestão de qualidade de ensaios;
- j) Produzir modelos numéricos e construtivos reduzidos que simulem as acções actuantes numa obra de engenharia civil com vista a certificação do modelo construtivo adoptado;
- k) Realizar as demais actividades integradas no seu âmbito de competências ou que lhe forem superiormente incumbidas.

O estágio profissional consistiu na realização de actividades enquadradas nas funções das alíneas a), c) e j).

2.7. Ensaios Realizados no Departamento de Estruturas e Obras

O Departamento de Estruturas e Obras tem a capacidade de realizar os seguintes ensaios/actividades:

- Inspeção e diagnóstico de patologias:
 - Verificação de anomalias decorrentes do processo de construção (vazios, segregação, descontinuidades, descasques, manchas e fissuração);
 - Verificação de anomalias estruturais (fendilhação, fragmentação, desagregação e deformações excessivas); e
 - Verificação de anomalias de durabilidade (corrosão e/ou exposição de armaduras, fissuração, desagregação e coloração do betão).
- Levantamento geométrico
 - Determinação das medidas da estrutura no geral e dos elementos estruturais em particular.
- Ensaios de diagnóstico *in-situ* em elementos estruturais de betão armado:
 - Extracção, retificação e determinação da resistência à compressão de carotes de betão (método destrutivo);
 - Determinação da resistência à compressão do betão através do ensaio esclerométrico (método não-destrutivo);
 - Determinação do recobrimento e diâmetro de armaduras através do pacómetro;
 - Determinação da aderência entre betões de idades diferentes ou argamassa através do ensaio de tracção directa, *pull-off*;

- Determinação da profundidade de carbonatação no betão (com o sector de Química);
- Determinação da penetração de cloretos no betão (com o sector de Química); e
- Monitorização da abertura de fendas no betão.
- Ensaios de carga em Pontes e Edifícios:
 - Medições de rotações, deformações verticais (deslocamentos) e vibrações.
- Ensaios em estacas de betão armado:
 - Determinação da integridade de estacas pelo método Impact-Echo
 - Determinação da integridade de estacas pelo método CrossHole

3. AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES

3.1. Tipos de Avaliação

A decisão de avaliar o desempenho de uma estrutura existente pode ser tomada tendo em conta as seguintes circunstâncias (CEN/TC 250, 2015) (ISO 13822, 2010):

- Antecipação na mudança do tipo de utilização;
- Mudança do sistema estrutural;
- Aumento do tempo de vida útil;
- Acréscimo de cargas;
- Verificação da fiabilidade conforme requisição de autoridades, companhias de seguro, donos de obra, etc;
- Deterioração da estrutura devido a causas dependentes do tempo (corrosão, fadiga, etc);
- Dano estrutural devido a ações acidentais;
- Alteração nos requisitos de projeto devido a revisão de regulamentos; e
- Defeitos não detetados durante a elaboração do projeto ou na fase de construção.

Segundo ISO 13822 (2010), a avaliação de uma estrutura existente deve ser levada a cabo, tendo em conta as condições actuais da estrutura.

No procedimento de avaliação de estruturas existentes destacam-se duas fases, preliminar e detalhada conforme o fluxograma apresentado na Figura 2 (Sine, 2022):

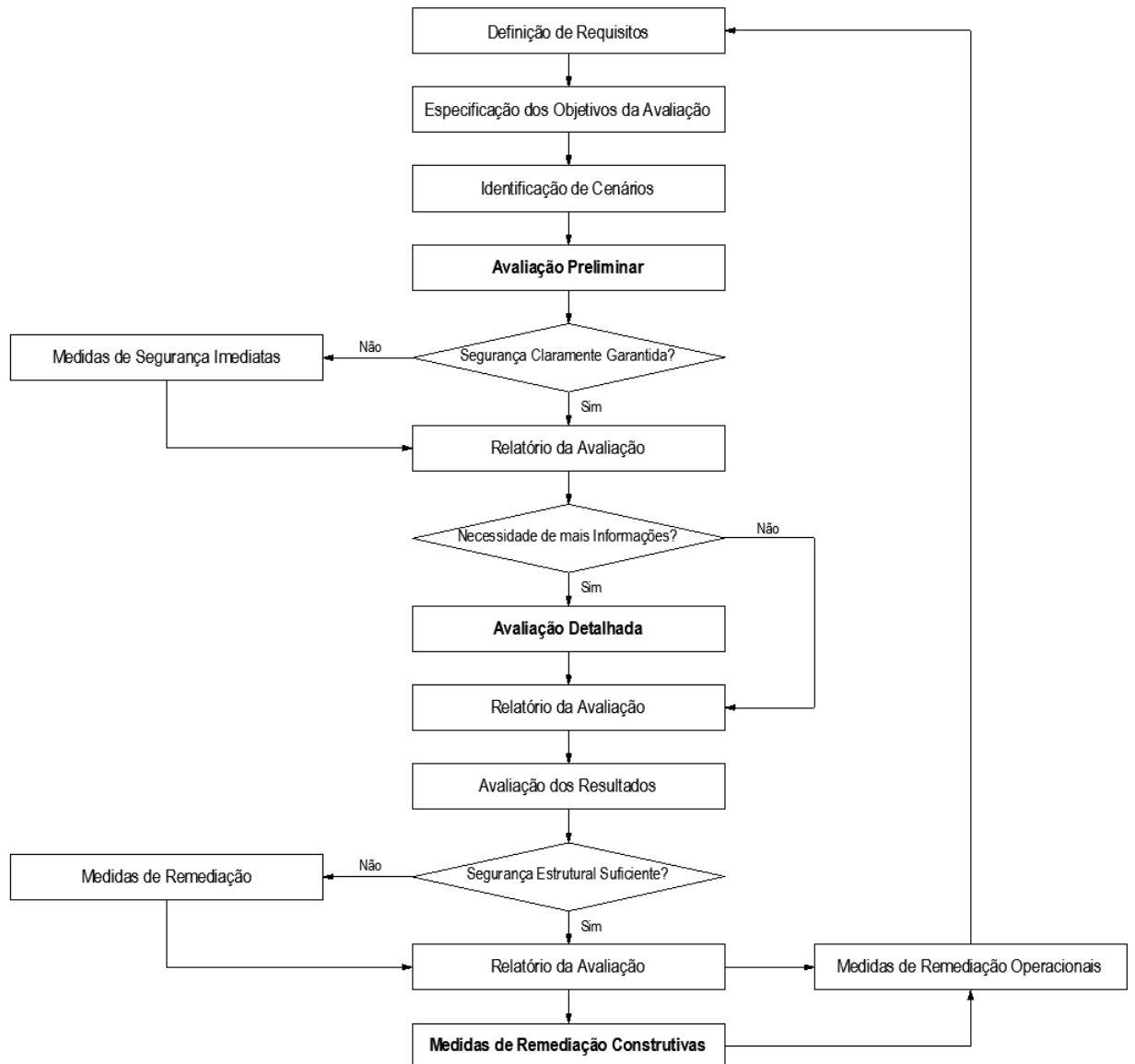


Figura 2. Fluxograma de avaliação de estruturas existentes [13].

a) Avaliação preliminar

Destina-se a efetuar uma avaliação de caráter não estrutural das condições em que se encontra a obra. É feita com menos recursos e mais rapidamente que a avaliação detalhada. A Tabela 1 apresenta os procedimentos gerais a seguir.

Os resultados da inspeção preliminar são expressos em termos qualitativos, classificando as condições estruturais

Tabela 1: Procedimentos de avaliação preliminar [1]

Recolha de informação	Elementos de projecto
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Peças desenhadas ➤ Peças escritas ➤ Especificações técnicas
	Elementos de obra
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planos de betonagem ➤ Controlo de qualidade ➤ Livro de registo de obra ➤ Eventuais alterações ao projeto
	Historial da estrutura
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ações atuantes (eventuais alterações da utilização) ➤ Intervenções de reparação/reforço ➤ Ocorrência de eventuais acidentes
Inspeção preliminar	Inspeção visual
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Observação da qualidade do betão ➤ Identificação de anomalias (defeitos de execução, fendilhação, deterioração do betão e/ou das armaduras, deformações excessivas) ➤ Identificação do sistema/comportamento estrutural,
	Registo de danos
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Danos estruturais ➤ Deterioração do betão ➤ Corrosão das armaduras
Verificação preliminar dos resultados	Resultado qualitativo das condições de perigosidade da estrutura: nenhum, mínimo, moderado, severo, etc
Intervenções imediatas	Abandono imediato da obra, utilização condicionada, monitorização, etc
Recomendação para avaliação detalhada	Se necessária ou não

b) Avaliação detalhada

Quando ainda existirem dúvidas quanto a segurança da estrutura é então recomendada a realização de uma avaliação mais pormenorizada, cujos procedimentos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Procedimentos de avaliação detalhada [18]

Verificação detalhada da documentação	Elementos de projecto
	Elementos de obra
	Regulamentos, normas, documentos técnicos
Inspeção detalhada	Levantamento geométrico
	Verificação das dimensões dos elementos estruturais (relação projecto/obra)
	Ensaio de diagnóstico (in situ e/ou laboratório) <ul style="list-style-type: none"> ➤ Mapeamento da delaminação do betão ➤ Mapeamento da fendilhação (abertura, espaçamento, orientação) ➤ Avaliação do nível e tipo de deterioração da obra ➤ Localização de armaduras (diâmetro, espaçamento, recobrimento) ➤ Determinação das propriedades mecânicas do betão e do aço
	Avaliação das condições de fundação
	Resposta estática e dinâmica da estrutura (Ensaio de carga)
Análise estrutural	Variáveis básicas (geometria, acções, propriedades dos materiais)
	Modelação de incertezas (análises estatísticas e probabilísticas)
	Modelos de análise (linear, plástica, não-linear)
	Métodos de cálculo (analítico, numérico, experimental)
Verificação da segurança	Estados limites últimos
	Estados limites de utilização
Resultados da avaliação	Recomendações de intervenção (não intervir, reparar, reforçar, demolir)

4. AVALIAÇÃO DETALHADA DE UM EDIFÍCIO

4.1. Breve Descrição do Edifício

O edifício em estudo localiza-se ao longo da avenida 24 de Julho, no bairro central, Cidade de Maputo. Trata-se de um edifício com dois pisos (rés-do-chão e 1º andar) e uma cobertura não acessível. O edifício é parcialmente usado e se pretende ampliá-lo em mais um piso com compartimentação idêntica a dos existentes (Figura 3).

Afim de se avaliar a possibilidade de ampliar este edifício, definiu-se os seguintes objectivos com vista a realização de uma avaliação detalhada:

- Identificar a tipologia da estrutura;
- Caracterizar a geometria da estrutura e elementos estruturais respectivos;
- Determinar a resistência mecânica dos materiais que constituem os elementos estruturais e;
- Determinar a capacidade resistente dos elementos estruturais;
- Verificar a segurança do edifício em conformidade com a ampliação prevista.



a) Vistas actuais do edifício



b) Vistas 3D do projecto de ampliação

Figura 3: Vistas do Edifício em análise

A caracterização do edifício pode consistir na colheita e avaliação de dados inerentes à geometria, patologias e características físico mecânicas.

4.2. Levantamento geométrico

As características geométricas de uma estrutura existente são necessárias para a determinação dos esforços, tal como ela é, permitir a modelação fiel da estrutura, de modo a avaliar o seu comportamento. Na Figura 4 apresentam-se as plantas dos pisos do edifício em estudo.

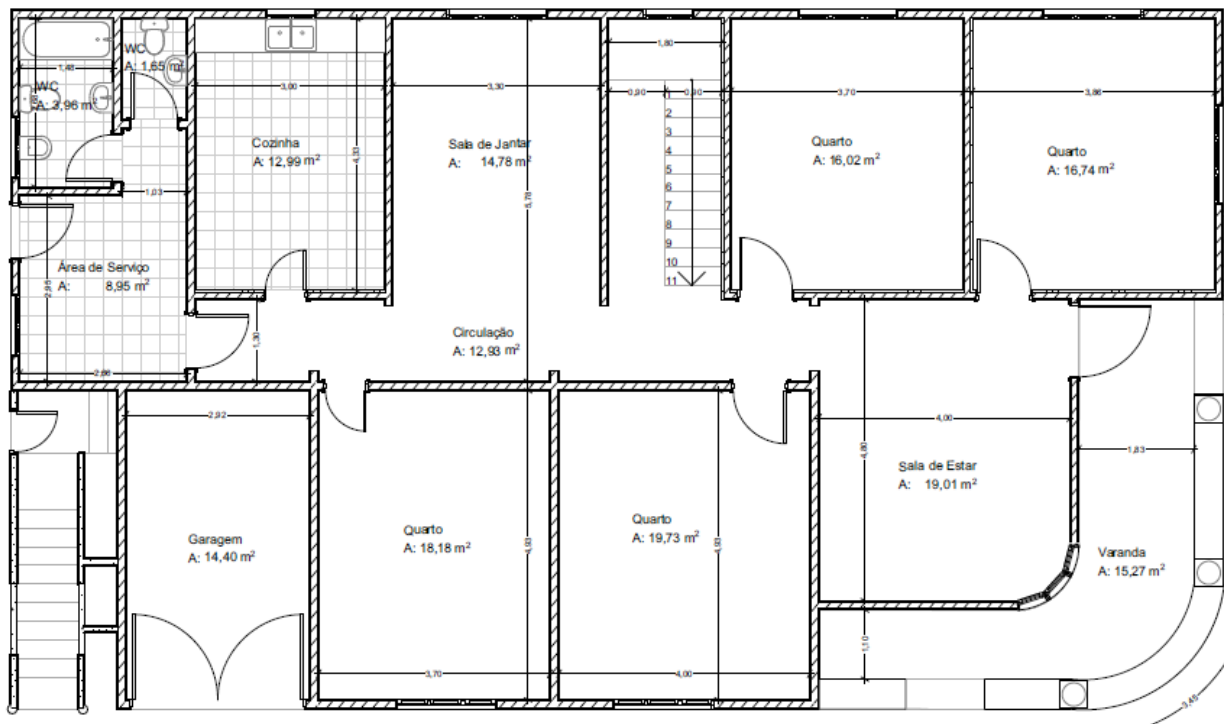
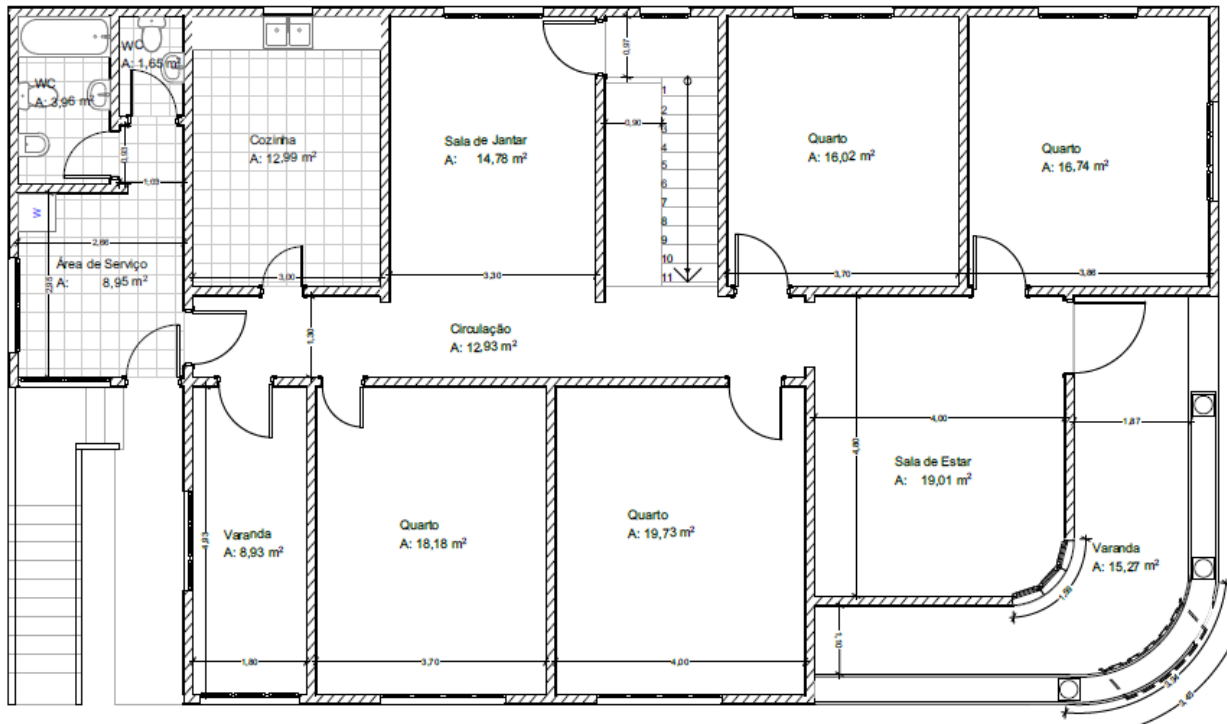


Figura 4 (a)



(b)

Figura 4. Plantas de piso: (a) Rés-do-chão e (b) 1º andar. (Continuação)

4.3. Ensaio de Diagnóstico

O desempenho de uma estrutura pode ser avaliado fundamentalmente por três factores: funcionalidade; resistência e durabilidade, sendo o terceiro pouco atendido uma vez que os resultados só serão a médio-longo prazo (Moura, 2008).

A estrutura do edifício em estudo é constituída por elementos de paredes de tijolos maciços, pilares de betão armado em algumas zonas, vigas de betão armado no coroamento de paredes, painéis de lajes maciças e de lajes aligeiradas.

4.3.1. Caracterização da alvenaria

4.3.1.1. Caracterização físico-mecânica dos tijolos

Com a parede cortada, os tijolos extraídos ao nível da cobertura e os carotes em diferentes pontos das paredes (ver **Error! Reference source not found.** Figura 5) pode se compreender a forma em que os tijolos foram assentados.



(a) Momento de recolha de amostra de parede na zona da cobertura para caracterização dos blocos



(b) Momento de extracção de carote no Q3 no piso do rés-do-chão



(c) Tijolos preparados para o ensaio



(d) Carote extraída na parede exterior ao nível da cave (parede com espessura de 39 cm – um tijolo disposto na transversal e outro na longitudinal)



(e) Aspecto do provete 05 a ser submetido ao ensaio de resistência à compressão



(f) Carote extraída na parede exterior ao nível do rés-do-chão (parede com espessura de 26 cm – um tijolo disposto na transversal)

Figura 5: Amostragem de tijolos e carotes

Da inspecção constatou-se que para a obtenção dos três tipos de espessuras de paredes existentes, sem inclusão do reboco (ver Figura 6), os tijolos foram organizados conforme ilustra a Figura 7 **Error! Reference source not found.**

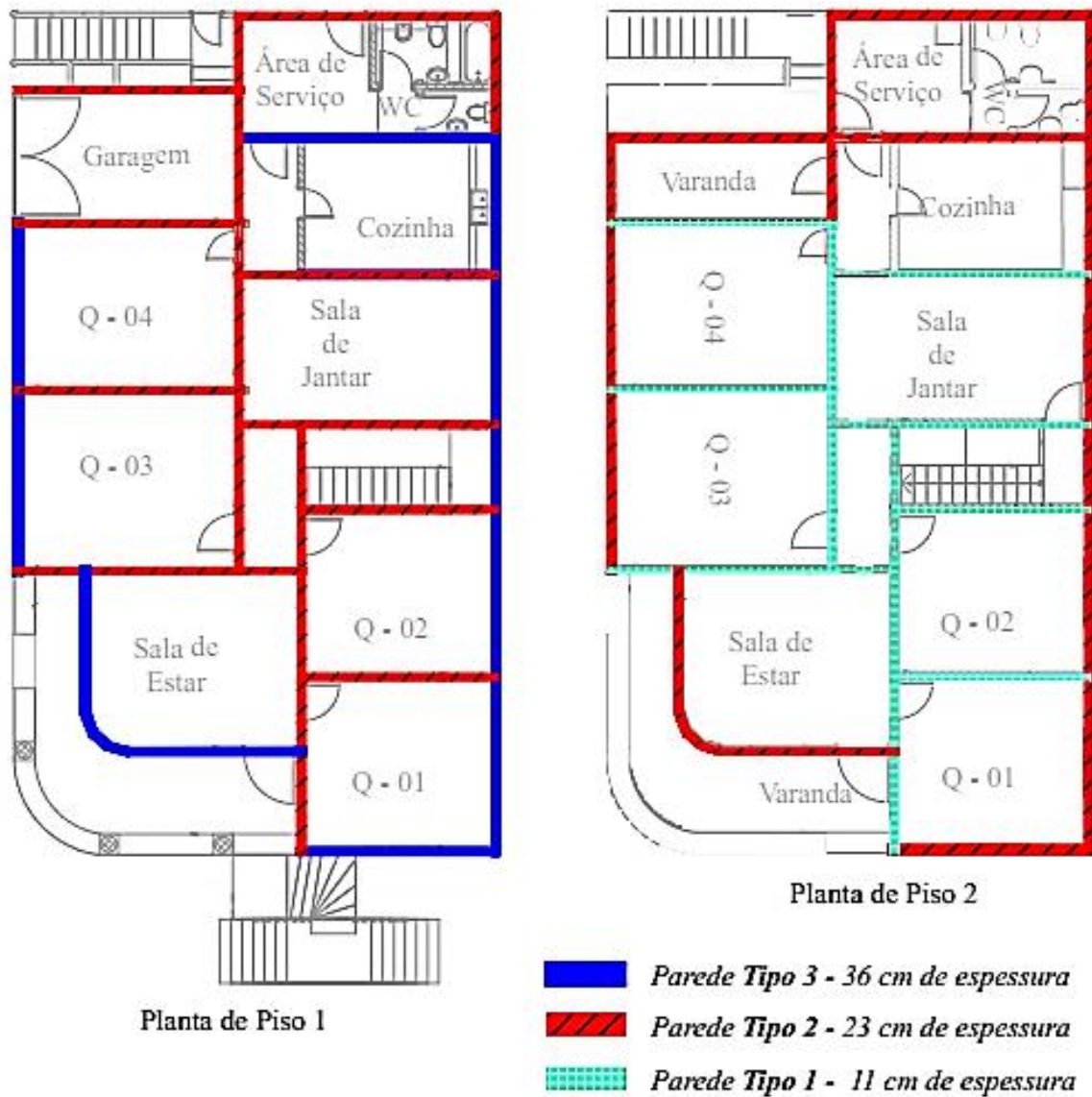


Figura 6: Plantas dos pisos com indicação das espessuras das parede estruturais

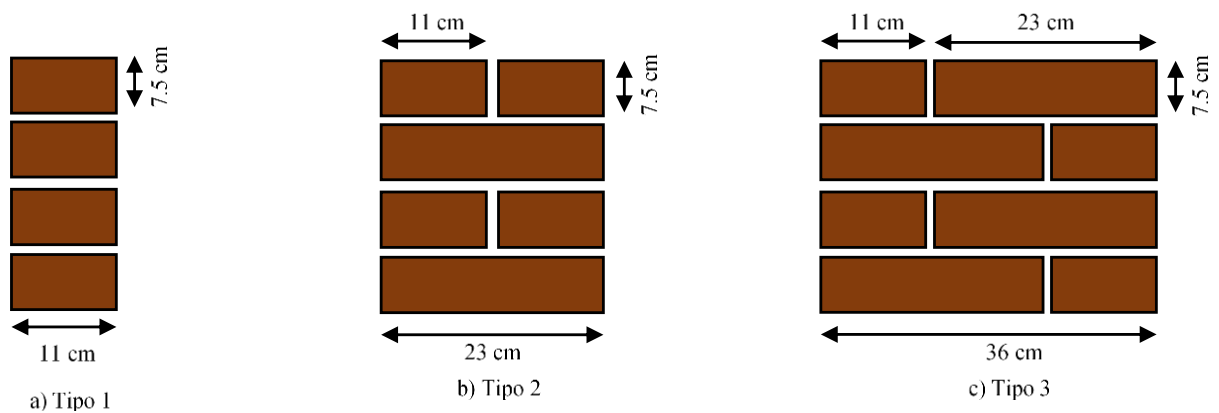


Figura 7. Arranjo dos tipos de paredes estruturais existentes.

Tabela 3. Resultados da resistência à compressão dos tijolos.

Local de extracção	Pro-vete	Comprimento	Largura	Altura	Massa	Carga de Rotura	Tensão de Rotura	Média f_b	Desvio padrão
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[N]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Paredes salientes na zona da cobertura	1	230	110	80	3,22	446 200	17,64	17,35	2,17
	2	240	110	80	3,62	395 000	14,96		
	3	235	110	65	2,71	498 600	19,29		
	4	225	110	75	3,50	378 000	15,27		
	5	225	105	75	3,38	462 300	19,57		

Segundo o Eurocódigo 6 – parte -1 (Eurocódigo 6), a tensão característica da parede, f_k , pode ser determinada pela Eq. 1, conhecendo a resistência à compressão dos tijolos (f_b) e a resistência à compressão da argamassa de assentamento (f_m):

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo que o valor de K corresponde a 0,55 para “tijolos” do Grupo 1 (aqueles com volume de vazios inferior a 25% do volume total) e assentes com argamassa corrente.

Considerando os tijolos assentes com uma argamassa corrente de classe M4 (4 MPa – mínima resistência a considerar em ambientes moderados segundo a norma BS EN 998-2:2010), a tensão característica estimada da parede é:

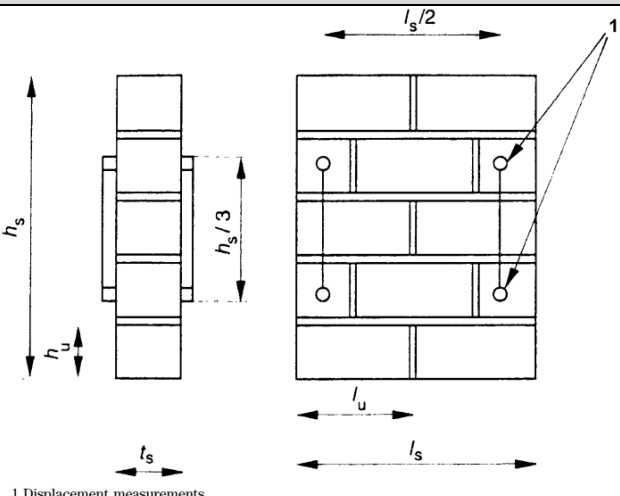
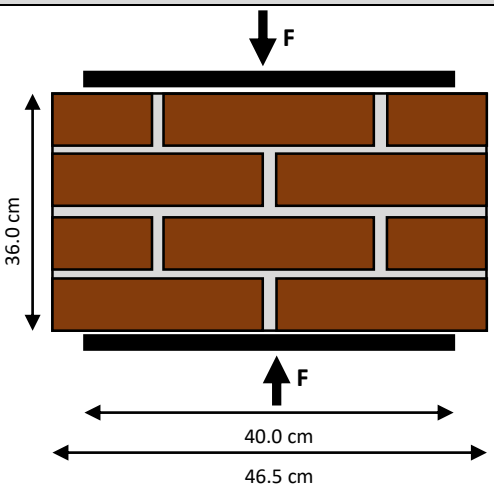
$$f_k = 0,55 \times 17,35^{0,7} \times 4,0^{0,3} = 6,14 \text{ Mpa}$$

4.3.1.2. Caracterização físico-mecânica de unidade de parede

Para melhor avaliação e aferição da capacidade resistente da parede foi realizado o ensaio à compressão sobre uma amostra de parede.

De acordo com a norma BS EN 1052-1:1999, as unidades de paredes devem ser ensaiadas conforme as dimensões mínimas apresentadas na primeira coluna da Tabela 4. Em laboratório, foram adoptados por aproximação as dimensões de amostra da parede e o sistema de carregamento apresentados na segunda coluna da mesma tabela.

Tabela 4: Condições de ensaio à compressão de unidades de paredes

Condições preconizadas pela norma BS EN 1052-1		Condições adoptadas em laboratório
 <p>1 Displacement measurements</p>		
<p>Dados da parede</p> <p>$l_u = 23 \text{ cm}$</p> <p>$h_u = 7,5 \text{ cm}$</p> <p>$t_s = 11 \text{ cm}$</p>		<p>$l_s \geq 2 \cdot l_u \rightarrow l_s \geq 46 \text{ cm}$</p> <p>$h_s \geq 5 \cdot h_u \rightarrow h_s \geq 37,5 \text{ cm}$</p> <p>$h_s \geq 3 \cdot t_s \rightarrow h_s \geq 33 \text{ cm}$</p> <p>$h_s \geq l_s \rightarrow h_s \geq 46 \text{ cm}$</p>
		<p>$l_s = 46,5 \text{ cm}$</p> <p>$h_s = 36,0 \text{ cm}$</p> <p>Nota: A unidade de parede ensaiada foi carregada através de placas com 40 cm de largura o que significa que a área efectiva de carregamento foi de 440 cm^2 ($t_s \times 40 \text{ cm}$)</p>

No Figura 8 **Error! Reference source not found.** é ilustrado o instante de realização do ensaio, o modo geral de rotura da parede. E na Tabela 5 é apresentado o resultado do ensaio sobre a amostra única submetida ao ensaio.

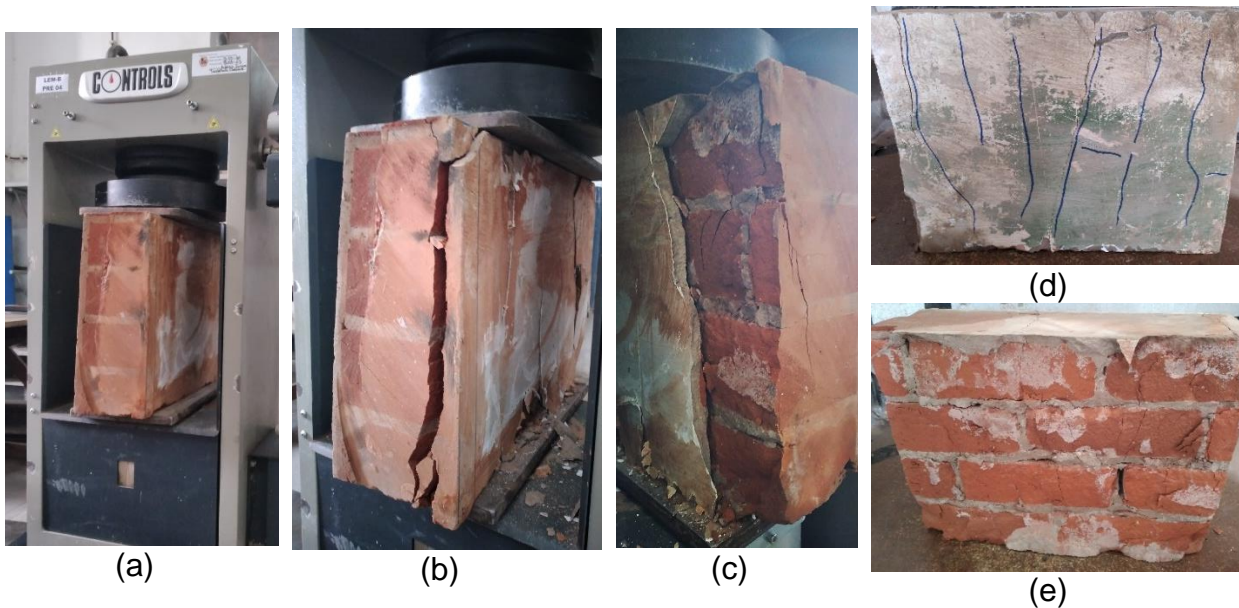


Figura 8: ilustração dos instantes do ensaio: (a) parede posicionada na prensa; (b), (c), (d) e (e) modo de rotura caracterizado por fendas verticais com inclinação ligeira

Tabela 5: Resultados do ensaio à compressão da parede

Local de extracção	Comprimento do provete l_s [mm]	Comprimento efectivo de aplicação da carga [mm]	Espessura t_s [mm]	Altura h_s [mm]	Massa [kg]	Secção efectiva [mm ²]	Carga de Rotura F [N]	Tensão de Rotura f [MPa]
Paredes salientes na zona da cobertura	465	440	110	360	43,20	44 000	324 100	7,36

De acordo com a norma BS EN 1052-1:1999, a tensão característica de rotura do bloco será:

$$f_k = f/1,2 = 6,13 \text{ MPa}$$

Os valores de f_k obtidos através da aproximação feita a partir da tensão média dos tijolos (determinação indirecta em 4.3.1.1), e da amostra da parede (determinação directa), são próximos, e serão, portanto, usados para efeitos de avaliação da segurança da parede. Assim, a tensão de rotura para efeitos de cálculos (f_d) será obtida reduzindo a tensão característica (f_k) pelo coeficiente de segurança ($\gamma_M = 1,5$), assim:

$$f_d = f_k/\gamma_M = 4,09 \text{ MPa.}$$

4.3.2. Extracção e determinação da resistência à compressão de carotes de betão (NP EN 12504-1:2009)

A extracção de carotes, é a forma habitual de recolha de amostras para determinar as características de resistência de betões já aplicados em obra. É um ensaio *in situ* e destrutivo, que se realiza em elementos estruturais. Servem para proceder a ensaios de rotura à compressão.

4.3.2.1. Extração, retificação e determinação da resistência à compressão de carotes de betão

No Figura 9 **Error! Reference source not found.** são apresentados os locais de extracção das carotes, e na Figura 10 são ilustrados os instantes de extracção das mesmas.

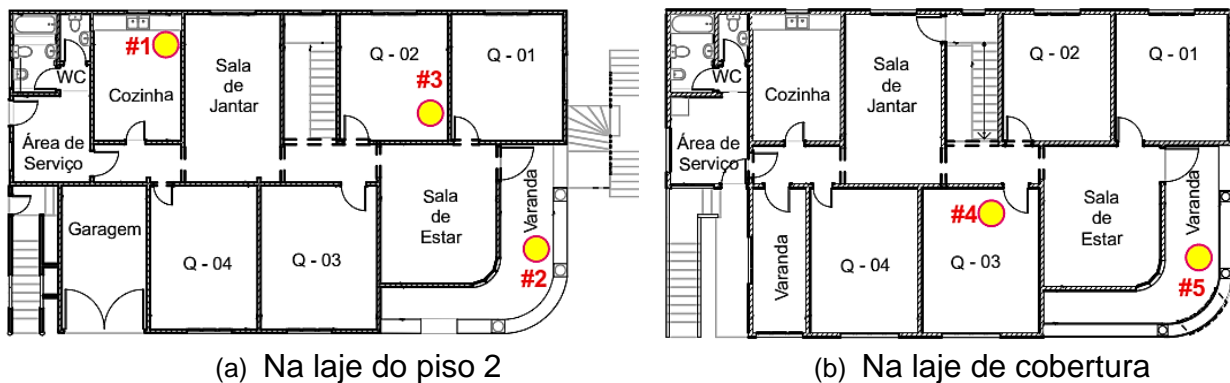


Figura 9: localização dos pontos de extracção das carotes



(a) Na laje do piso 2, na zona da varanda



(b) Na laje de cobertura acima do quarto 3

Figura 10: Momento de extracção de carotes de betão

Na Tabela 9 apresentam-se todas as carotes extraídas, onde é possível observar as condições aparentes do betão, bem como as informações sobre as profundidades de carbonatação do betão

Na Tabela 6 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão de carotes extraídas em lajes maciças. Os provetes foram retificados de modo que a sua altura fosse igual ao diâmetro, 94 mm.

Tabela 6. Resultados dos ensaios à compressão em carotes extraídas em lajes maciças

Local de extração	Painel de laje	Pro-vete	Massa	Carga de Rotura	Tensão de Rotura individual	Média	Mínimo	Resistência característica <i>in-situ</i>	Resistência característica padrão
			[kg]	[N]	$f_{is,i}$	$f_{m(n),is}$	$f_{is,menor}$	$f_{ck,is,cubo}$	$f_{ck,cubo}$
			[kg]	[N]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Ponto #1	Cozinha	1	1,490	167500	24.24	24.12	22.53	17.12	20.14
		2	1,511	127900	18.51*				
		3	1,480	167700	24.27				
Ponto #2	Varanda	4	1,524	155700	22.53				
		5	1,513	176000	25.47				
		6	1,529	132800	19.22*				

Nota: * valores descartados no cálculo da tensão *in-situ* devido as irregularidades dos provetes apresentados na Tabela 9

A avaliação da resistência do betão apresentado na Tabela 6 foi realizada de acordo com a abordagem B da norma EN 13791:2017 que preconiza o seguinte:

$$f_{ck,is} = \text{menor de } \begin{cases} f_{m(n),is} - k \\ f_{is,menor} + 4 \end{cases} \quad f_{ck,cubo} = f_{ck,is}/0.85 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

- $f_{ck,is}$ – resistência à compressão *in-situ* característica;
- $f_{m(n),is}$ – média dos resultados de n ensaios da resistência à compressão *in-situ*;
- $f_{is,menor}$ – menor resultado do ensaio de resistência à compressão *in-situ*;
- k – parâmetro que depende do número de resultados do ensaio (tamanho da amostra)

n	k
10 a 14	5
7 a 9	6
3 a 6	7

4.3.2.2. Secções características das lajes

A partir dos resultados obtidos pela detecção de armaduras (apresentados em pormenor no anexo A1 – 1) no âmbito do mapeamento das lajes, combinado com as características do betão das lajes, e as características geométricas dos respectivos elementos constituintes, foi possível caracterizar as lajes em termos de esforços resistentes, cujos cálculos constam no anexo A1 – 2. Na Tabela 7 são apresentados em resumo os principais resultados de lajes maciças e na

Tabela 8 os resultados de lajes aligeiradas.

Tabela 7. Características resistentes de painéis de lajes maciças dispostos no piso 2

Painéis maciços (dispostos no piso 02)		
Zona	Secção característica	Esforços resistentes
Cozinha		$M_{Rd,x}$ = 6,22 kNm/m $M_{Rd,y}$ = 6,56 kNm/m
Serviços		$M_{Rd,x}$ = 10,08 kNm/m $M_{Rd,y}$ = 6,78 kNm/m
Garagem		$M_{Rd,x}$ = 10,74 kNm/m $M_{Rd,y}$ = 12,99 kNm/m
Varanda		$M_{Rd,x}$ = 10,48 kNm/m $M_{Rd,y}$ = 7,16 kNm/m

Tabela 8. Esforços resistentes de painéis de lajes aligeiradas

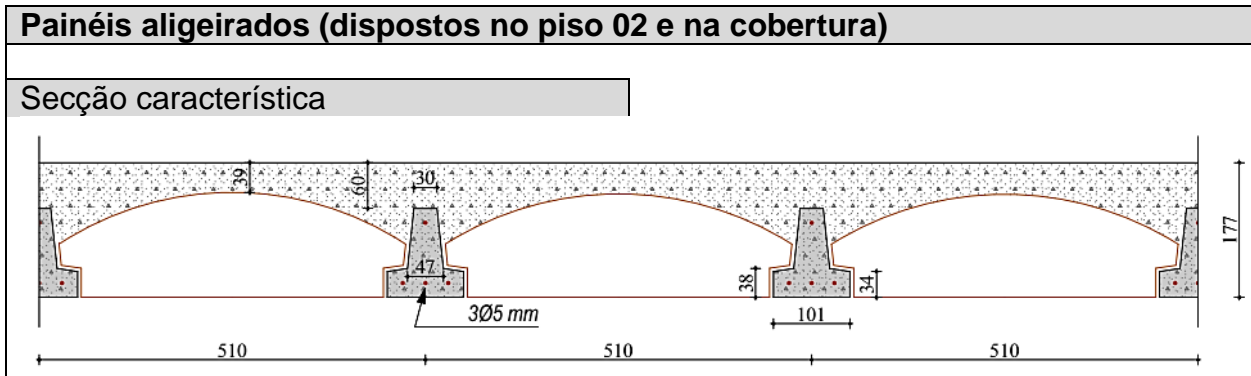
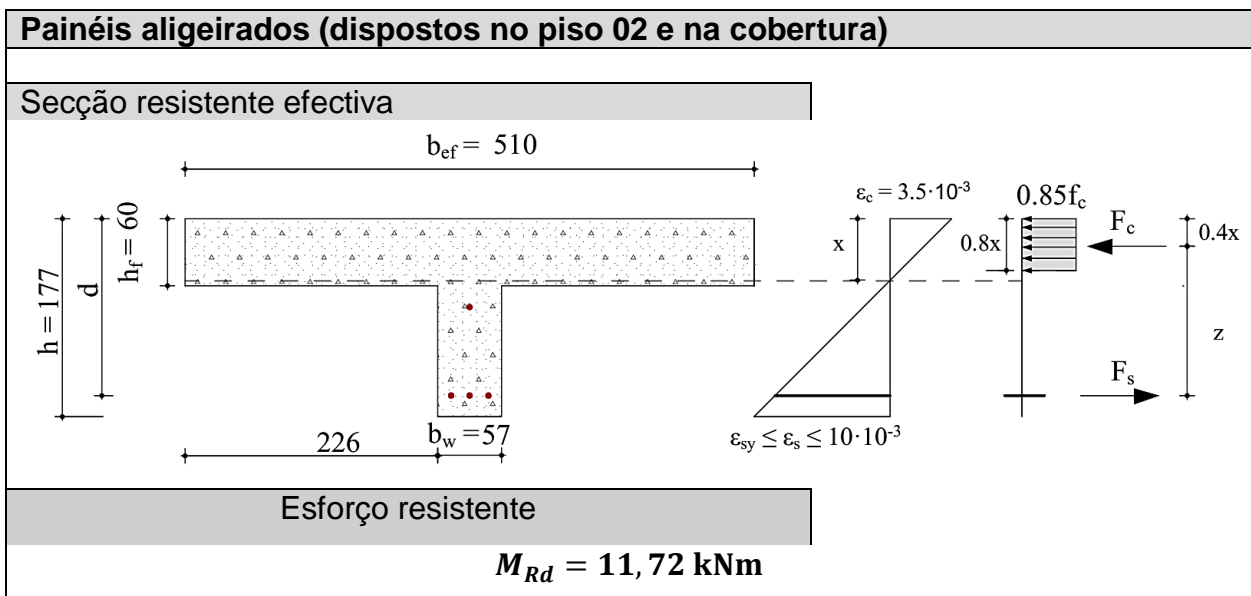


Tabela 8. Esforços resistentes de painéis de lajes aligeiradas (continuação)



4.3.3. Ensaio de carbonatação

Carbonatação é um fenómeno que consiste na reacção do dióxido de carbono com os óxidos metálicos.

É nocivo ao betão porque ocasiona a diminuição do pH do betão, fazendo com que a camada passiva de protecção das armaduras seja destruída, deixando o aço susceptível ao processo corrosivo, que será lento e gradual ao longo dos anos, no qual tem-se uma corrosão geral das armaduras (Erthal, 2020).

O ensaio de carbonatação consiste na execução de uma furação com uma profundidade superior em 1 cm ao recobrimento das armaduras existentes. Após a furação procede-se à limpeza cuidadosa do furo. De seguida, para a determinação da profundidade de carbonatação utiliza-se uma solução alcoólica de fenolftaleína e borri-fa-se o interior do furo (Gonçalves, 2016).

Os resultados da análise do ensaio de carbonatação nas lajes do edifício em estudo são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados da análise do ensaio de carbonatação e caracterização física dos carotes




Local: #1 Piso: 2; Pannel: Cozinha; Tipo de laje: Maciça			
	1	2	3
Provete			
Observação	<p>Geometria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro: $\varnothing = 93,8$ mm; • H= <ul style="list-style-type: none"> Cerâmico = 7,5 mm betonilha = 54,7 mm betão = 98,4 mm reboco = 8,9 mm <p>Aspecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sem armadura, sem fissuração e sem vazios; <p>Carbonatação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • carbonatado até 5 cm de profundidade a partir da face inferior; 	<p>Geometria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro: $\varnothing = 93,8$ mm; • H= <ul style="list-style-type: none"> Cerâmico = 6,9 mm betonilha = desfeita betão = 98,5 mm reboco = 6,2 mm <p>Aspecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • provete sem armadura e fissuração; • presença de vazios a meia altura a cerca de 3,5 cm a partir da superfície inferior; <p>Carbonatação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • carbonatado até 3 cm de profundidade a partir da face inferior; 	<p>Geometria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro: $\varnothing = 93,8$ mm; • H= <ul style="list-style-type: none"> Cerâmico = 6,62 mm betonilha = 39,3 mm betão = 110,5 mm reboco = 8,2 mm <p>Aspecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sem armadura; sem fissuração e sem vazios; <p>Carbonatação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • carbonatado até 6 cm de profundidade a partir da face inferior;

Tabela 9: Resultados da análise do ensaio de carbonatação e caracterização física dos carotes (Continuação)






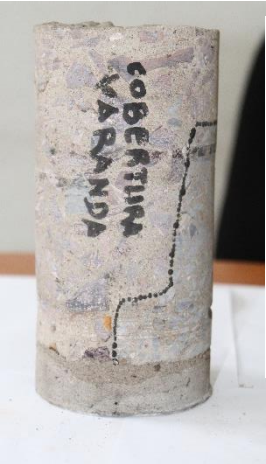
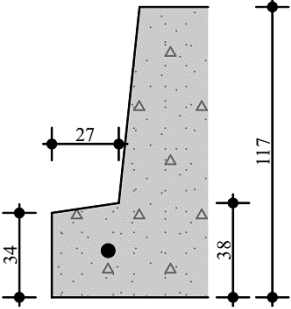
Local: #2		Piso: 2; Pannel: Varanda; Tipo de laje: Maciça		
Provete	1	2	3	
				
	<p>Geometria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro: $\varnothing = 93,8 \text{ mm}$; $H = \begin{cases} \text{Cerâmico} = 7,85 \text{ mm} \\ \text{betonilha} = 48,0 \text{ mm} \\ \text{betão} = 99,1 \text{ mm} \\ \text{reboco} = 6,3 \text{ mm} \end{cases}$ <p>Aspecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Provete sem defeitos (fissuras e vazios) e sem presença de armaduras <p>Carbonatação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • carbonatado até 7 cm de profundidade a partir da face inferior. 	<p>Geometria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro: $\varnothing = 93,8 \text{ mm}$; $H = \begin{cases} \text{Cerâmico} = 7,6 \text{ mm} \\ \text{betonilha} = 54,8 \text{ mm} \\ \text{betão} = 93,9 \text{ mm} \\ \text{reboco} = 5,3 \text{ mm} \end{cases}$ <p>Aspecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Armadura inferior ($\varnothing=6,5\text{mm}$) presente no carote a uma profundidade de 35,5 mm (sem considerar o reboco); • Sem fissuras e vazios. <p>Carbonatação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • carbonatado até 6 cm de profundidade a partir da face inferior. 	<p>Geometria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro: $\varnothing = 93,8\text{mm}$; $H = \begin{cases} \text{Cerâmico} = 7,6 \text{ mm} \\ \text{betonilha} = 50,2 \text{ mm} \\ \text{betão} = 102,3 \text{ mm} \\ \text{reboco} = 5,2 \text{ mm} \end{cases}$ <p>Aspecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Armadura de $\varnothing = 6,6 \text{ mm}$ a uma profundidade $c=40,67\text{mm}$ (sem considerar o reboco); • existência de uma concavidade que indica a passagem de uma armadura inferior de diâmetro de 12 mm perpendicular à armadura indicada a cima; • Betão sem fissuras. <p>Carbonatação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • carbonatado até 5 cm de profundidade a partir da face inferior. 	

Tabela 9: Resultados da análise do ensaio de carbonatação e caracterização física dos carotes (Continuação)

Local: #3 Piso: 2; Pannel: Quarto 2; Tipo de laje: Aligeirada	
Provete - único	Observação
	<p>Geometria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro: $\varnothing = 93,8 \text{ mm}$; • H= <ul style="list-style-type: none"> <i>Cerâmico</i> = 7,7 mm <i>betonilha</i> = 30,2 mm <i>Lajeta</i> = 38,8 mm <i>Abobadilha</i> = 137,8 mm <i>Reboco</i> = 13,2 <p>Aspecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • lajeta sem fissuração e vazios; • Abobadilha cerâmica
Local: #4 Piso: Cobertura; Pannel: Quarto 3; Tipo de laje: Aligeirada	
Provete - único	Observação
	<p>Geometria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro: $\varnothing = 93,8 \text{ mm}$; • H= <ul style="list-style-type: none"> <i>betonilha</i> = 37,1 mm <i>Lajeta</i> = 61,8 mm <i>Abobadilha</i> – <i>Reboco</i> – <p>Aspecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Betão da lajeta com bom aspecto: sem fissuras e vazios; • Abobadilha cerâmica
Local: #5 Piso: Cobertura Pannel: Varanda Tipo de laje: Aligeirada	
Provete - único	Observação
 	<p>Geometria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro: $\varnothing = 93,8 \text{ mm}$; • H= <ul style="list-style-type: none"> <i>betonilha</i> = desfeita <i>Lajeta</i> = 45; 9 mm <i>vigota</i> = 117,84 mm <i>Reboco</i> = 26,1 mm <p>Aspecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Espaço das abobadilhas preenchidas com betão; • Armadura na vigota de $\varnothing 5 \text{ mm}$; • É visível uma marca de passagem de armadura central na vigota;

4.3.4. Sondagem de armaduras

A detecção de armaduras permite conhecer a distribuição da armadura nos diferentes elementos estruturais. Este ensaio não destrutivo, também pode ser usado para identificar a posição de pilares, vigas e ter uma noção, embora não clara como mostra a Tabela 10, do tipo de laje.

Tabela 10: Técnica de detecção de armaduras

Técnicas de diagnóstico	Deteção de armaduras e avaliação de recobrimento	 <p>Figura 11: Deteção de armaduras</p>
Descrição	É um ensaio não destrutivo, realizado in situ, que na generalidade trata-se de aparelhos alimentados a baterias constituídos por unidade de leitura, com um microprocessador, dois detectores e dois espaçadores com intervalos	
Objectivos	Os medidores de detectar a posição e a direcção das armaduras, as suas dimensões e recobrimento, em estruturas de betão armado e pré- esforçado, de forma não destrutiva.	
Vantagens e Desvantagens	Vantagens: Aparelho portátil, alimentado a pilhas, não é afetado pela presença de humidade. Desvantagens: Leituras incertas em zonas de grande densidade de armaduras, influenciáveis por outros elementos metálicos na área de ensaio	

4.3.4.1. Mapeamento da tipologia das lajes por meio de detecção de armadura

O ensaio de detecção de armaduras consistiu no mapeamento das armaduras principais, identificando os respectivos espaçamentos, recobrimento e diâmetro. Permitiu também, identificar no edifício dois tipos de lajes, nomeadamente, lajes aligeiradas de abobadilhas e vigotas pré-fabricadas e lajes maciças de betão armado. O padrão e direcção de armação das lajes são conforme indicados na Figura 12.

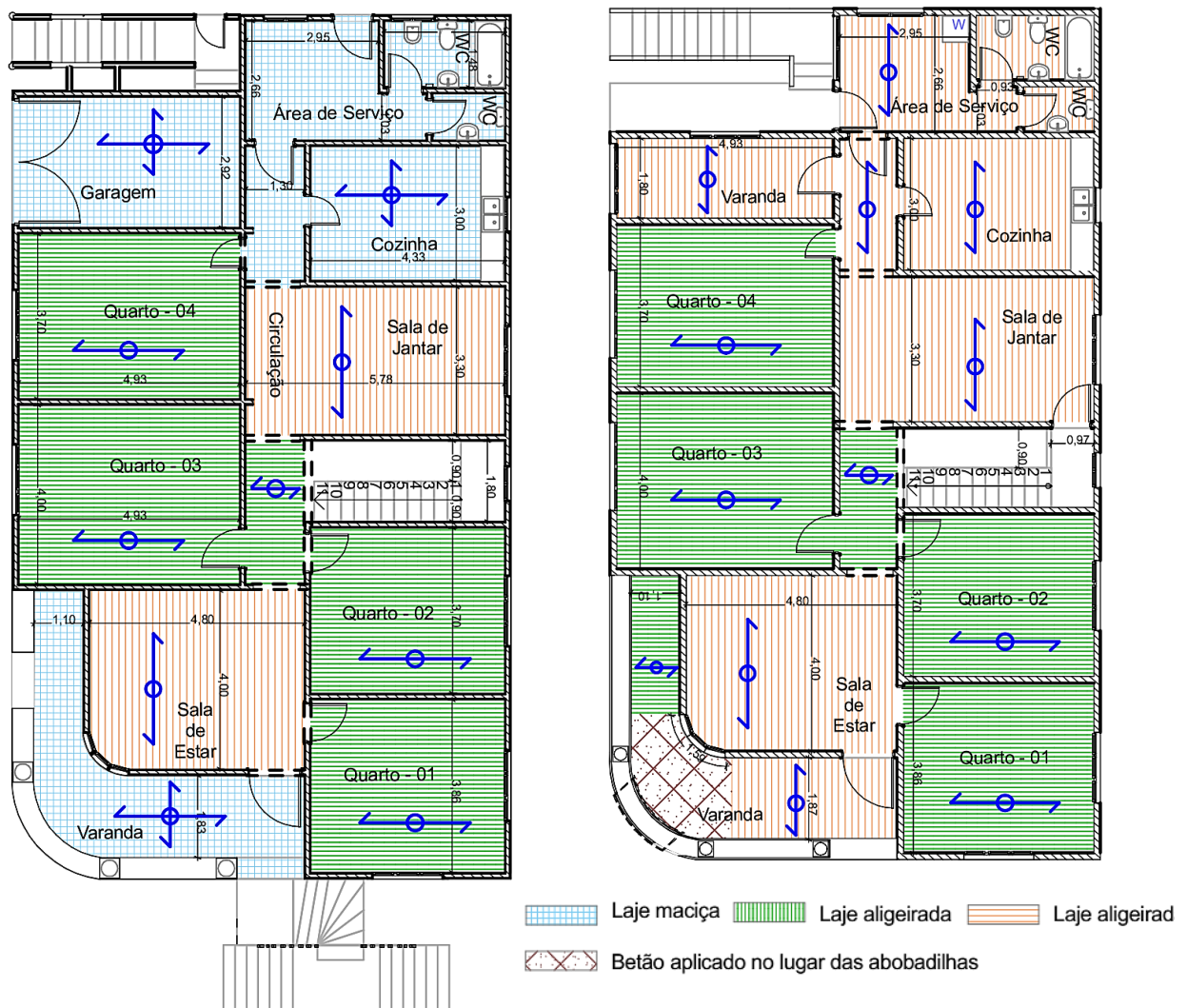


Figura 12: Mapa da tipologia de painéis de laje do piso 2 e da cobertura

4.4. Modelação e Análise de Segurança

Em geral a verificação de segurança é feita sempre em relação a estados limites e utilizando coeficientes de segurança aplicados a determinados quantilhos das

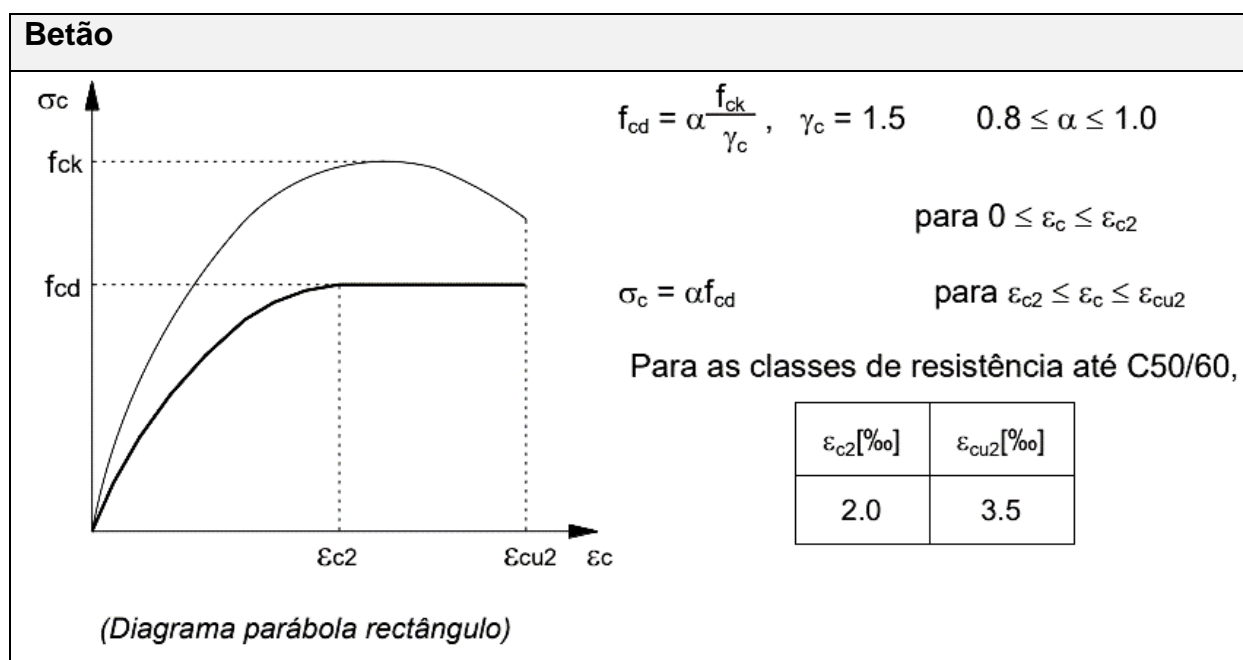
distribuições de probabilidade dos valores das acções e das propriedades dos materiais (RSAEEP).

Consoante os prejuízos que podem resultar da sua ocorrência, distinguem-se estados limites últimos e estados limites de utilização, cuja consideração é, geralmente, suficiente para traduzir as situações de ruína que interessa ter em conta na verificação da segurança das estruturas, seja qual for o seu tipo e o material constituinte (RSAEEP)

4.4.1. Cálculo das capacidades resistentes

A avaliação das **capacidades resistentes** (forças ou esforços) depende da geometria do elemento, das características dos materiais e do tipo de esforço.

Tabela 11: Relações tensão-extensão dos materiais para verificação da segurança aos E.L. Últimos (adaptado de [5])

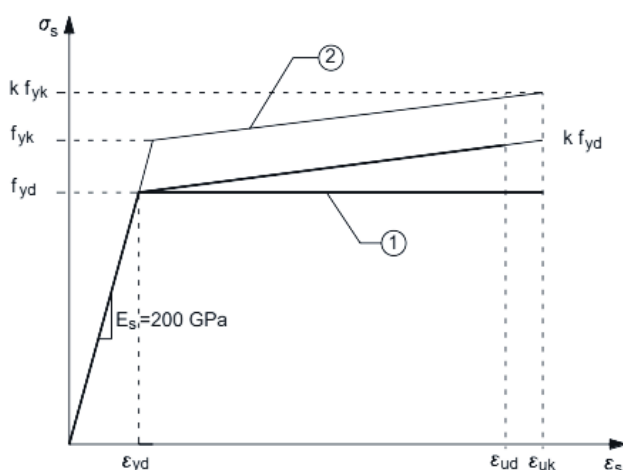


O parâmetro α tem em consideração a diminuição da tensão de rotura do betão quando sujeito a tensões elevadas prolongadas.

De acordo, por exemplo, com o REBAP, a tensão máxima no betão está limitada a $0.85 f_{cd}$, ou seja considerando $\alpha = 0,85$. No entanto, o EC-2 propõe, para casos correntes, $1,0 f_{cd}$, pois nas condições de carregamento com persistência o betão estará, em geral, solicitado a níveis de tensões bem inferiores às acima referidas, tendo-se considerado demasiado penalizante tomar esse efeito na verificação da segurança à rotura.

Aço

O REBAP limita a 10‰ a extensão última convencional de dimensionamento, ϵ_{ud} , valor claramente inferior aos acima referidos. No entanto, uma vez que para este valor de extensão, o aço se encontra bem na cedência, repercursões em termos da avaliação das capacidades resistentes à flexão, são praticamente nulas.



$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}, \quad \gamma_s = 1.15$$

$$\epsilon_{ud} = 0.9 \epsilon_{uk}$$

Classe	f_{yk} [MPa]	f_{yd} [MPa]	ϵ_{yd} [$\times 10^{-3}$]
A235	235	205	1.025
A400	400	348	1.74
A500	500	435	2.175

A determinação do valor de cálculo dos esforços resistentes das secções de elementos sujeitos a tracção, compressão e flexão simples ou, ainda, flexão composta ou desviada deve ser feita admitindo as seguintes hipóteses (REBAP):

- As secções mantêm-se planas na deformação;
- O betão não resiste à tracção.

Na Tabela 12 são apresentadas, de forma resumida, alguns diagramas e equações usados na determinação de alguns esforços em elementos de betão armado.

Tabela 12: Diagramas de tensões e equações usadas na determinação da capacidade resistente para diferentes esforços (adaptado de [5])

Esforço	Diagramas e equações
Flexão	Diagramas: Estado de tensão
	Equações
	Equilíbrio axial (Esforço axial nulo): $F_S = F_C$ Eq. 3
	Equilíbrio de momentos: $M_{Rd} = F_S \times z = F_C \times z$ Eq. 4

4.4.2. Quantificação de acções

Segundo RSAEEP, as acções são em geral quantificadas por valores característicos e, no caso das acções variáveis, também por valores reduzidos; em alguns casos, utilizam-se ainda valores médios. Os valores reduzidos das acções variáveis são obtidos a partir dos seus valores característicos multiplicando-os por coeficientes ψ , e destinam-se a quantificar as acções tendo em conta a sua combinação e o estado limite em consideração.

As acções podem ser classificadas em:

- a) **Acções permanentes:** Aquelas que assumem valores constantes, ou com pequena variação em torno do seu valor médio, durante toda ou praticamente toda a vida da estrutura.
- b) **Acções variáveis:** Aquelas que assumem valores com variação significativa em torno do seu valor médio durante a vida da estrutura.
- c) **Acções de acidente:** Aquelas que só com muito fraca probabilidade assumem valores significativos durante a vida da estrutura e cuja quantificação apenas pode em geral ser feita por meio de valores nominais estrategicamente escolhidos.

4.4.3. Combinação de acções

No caso de verificações da segurança em relação aos estados limites últimos, devem ser considerados dois tipos de combinações de acções (RSAEEP):

- Combinações fundamentais:

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} S_{Gik} + \gamma_q \left[S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} S_{Qjk} \right] \quad \text{Eq. 5}$$

No caso de a acção variável de base ser a acção sísmica:

$$S_d = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \gamma_q S_{Ek} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} S_{Qjk} \quad \text{Eq. 6}$$

- Combinações acidentais:

$$S_d = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + S_{Fa} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} S_{Qjk} \quad \text{Eq. 7}$$

No caso de verificações da segurança em relação aos estados limites de utilização, as combinações de acções a considerar dependerão da duração do estado limite em causa. Assim, haverá que ter em conta os seguintes tipos (RSAEEP):

- Combinações raras – estados limites de muito curta duração:

$$S_d = G_m + Q_k + \sum_{i=2}^m \psi_{1i} Q_k \quad \text{Eq. 8}$$

- Combinações frequentes – estados limites de curta duração:

$$S_d = G_m + \psi_1 Q_k + \sum_{i=2}^m \psi_{2i} Q_k \quad \text{Eq. 9}$$

- Combinações quase permanentes – estados limites de longa duração:

$$S_d = G_m + \sum_{i=1}^m \psi_{2i} Q_k \quad \text{Eq. 10}$$

O valor médio de uma acção permanente pode, nos casos correntes, ser substituído pelo seu valor característico.

Tabela 13: Acções quantificadas para a análise do edifício [11] e [18]

Acção do Peso próprio (DL1)	Valor [kN/m ³]	Sobrecarga em pisos e acessos (LL1)	Valor [kN/m ²]
Peso específico de elementos de betão armado	25,0	Em pisos destinados a utilização de carácter privado	2,0
Peso específico de tijolo maciço pesado	18,0	Em terraço não acessível	1,0
Peso específico de argamassa de cimento e areia	21,0	Em cobertura ordinárias	0,3
Peso específico de azuleijos	16,0		
Baridade de abobadilhas cerâmicas	5,0		

Na Tabela 14 apresenta-se o resumo das combinações de acções estabelecidas para a análise em relação aos Estados Limites Últimos e Estados Limites de Utilização.

Tabela 14. Combinação de acções consideradas [18]

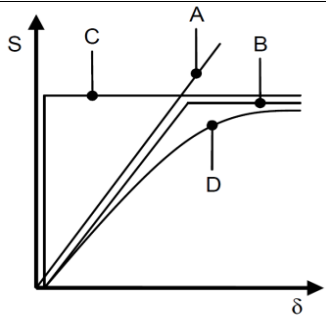
Combinações	Equação	Análise
Combinações fundamentais (COMB1)	$S_d = 1,5(DL1) + 1,5LL1$	ELU
Combinações frequentes (COMB2)	$S_d = DL1 + 0,3LL1$	Deformação e Fendilhação
Combinações raras (COMB3)	$S_d = DL1 + LL1$	Tensões instaladas no aço e no betão

4.4.4. Análise estrutural (cálculo de esforços)

Segundo o Eurocódigo 2, o objectivo de uma análise estrutural é o de determinar a distribuição, quer de esforços, quer de tensões, extensões e deslocamentos, em toda ou parte da estrutura. Sempre que necessário deve ser efectuada uma análise local complementar.

A Tabela 15 apresenta de forma sequenciada o processo da análise estrutural.

Tabela 15: Processos de análise estrutural de estruturas de betão armado [19]

Variáveis básicas	Materiais	Propriedades mecânicas	Projecto de execução
			Ensaio estruturais <i>in situ</i> e/ou em laboratório
	Estrutura	Geometria	Projecto de execução
			Levantamento geométrico
	Sistema estático	Projecto de execução	
		Levantamento geométrico	
Acções	Quantificação e combinação das acções	Regulamentação	
		Acções específicas	
Modelos de análise	A. Elástica linear		
	B. Elástica linear com redistribuição de esforços		
	C. Plástica		
	D. Não-linear		
Métodos de cálculo	Numérico (programas computacionais de cálculo automático)		
	Analítico (métodos simplificados)		
	Experimental (ensaio laboratoriais)		

Em edifícios, as deformações dos elementos lineares e das lajes devidas a esforços transversos e a esforços normais poderão ser desprezadas, quando se preveja que sejam inferiores a 10 % das deformações devidas à flexão (Eurocódigo 2).

4.4.5. Modelos e sistemas estáticos de análise estrutural

a) Lajes aligeiradas

Consideram-se as lajes aligeiradas da obra apoiadas nas suas extremidades sobre paredes portantes. E são definidos como desfavoráveis, os painéis de maior vão, nomeadamente o do quarto Q3 e Q4 que contam com 4,93 m de comprimento. Apresenta-se, na Figura 13, o sistema estático para a análise destas lajes, como se de uma viga de 0,51 m se tratasse, tendo em conta a largura efectiva do sistema de uma vigota.

Com os carregamentos traduzidos em cargas lineares sobre o sistema, obteve-se os resultados em termos de momentos flectores e deformações para os diferentes casos de cargas conforme apresentado na Figura 14.

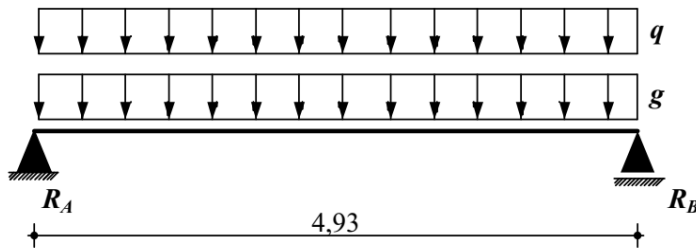


Figura 13. Sistema estático de lajes aligeiradas, considerado secção efectiva em viga T de largura útil $b = 0.51 \text{ m}$

Carregamento sobre a laje da cobertura:

$$q = 1,0 \text{ b} = 0,51 \text{ kN/m}$$

$$g = \sum A_i \cdot \gamma_i = 1,86 \text{ kN/m}$$

Carregamento sobre o piso 2:

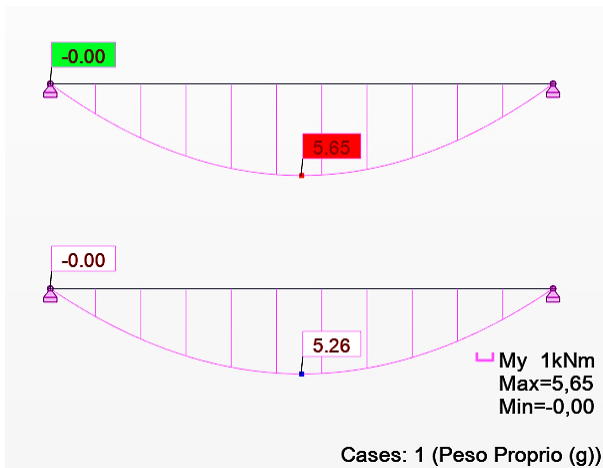
$$q = 2,0 \text{ b} = 1,02 \text{ kN/m}$$

$$g = \sum A_i \cdot \gamma_i = 1,73 \text{ kN/m}$$

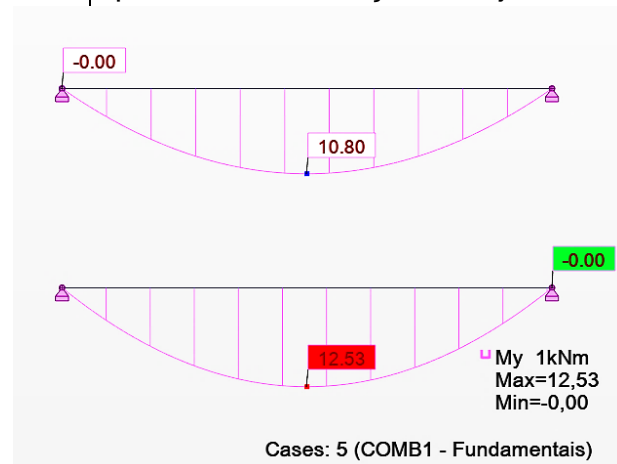
Onde:

A_i – área que o material ocupa na secção de análise;

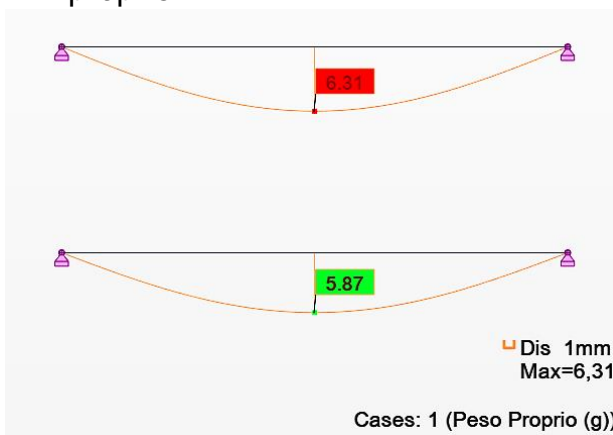
γ_i – peso específico do material que constitui a secção da laje



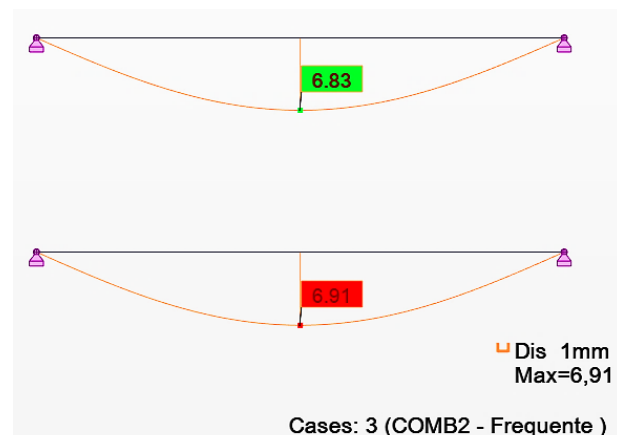
(a) Momento flector devido ao peso próprio



(b) Momento flector devido às combinações fundamentais



(c) Deformações devidas ao peso próprio



(d) Deformação devido às combinações raras de acções

Figura 14. Diagramas resultantes de cálculos numéricos da laje aligeirada

b) Lajes maciças

Os painéis de lajes maciças foram aplicados apenas na laje de piso 2 na zona da varanda, cozinha, garagem e serviços.

Na Figura 15 é ilustrado o modelo de análise desenvolvido com elementos de casca para a avaliação destes painéis recorrendo-se ao método de elementos finitos. Da mesma forma com as cargas uniformemente distribuídas sobre os painéis, procederam-se cálculos numéricos cujos resultados são apresentados em termos de momentos e deformações na Figura 16.

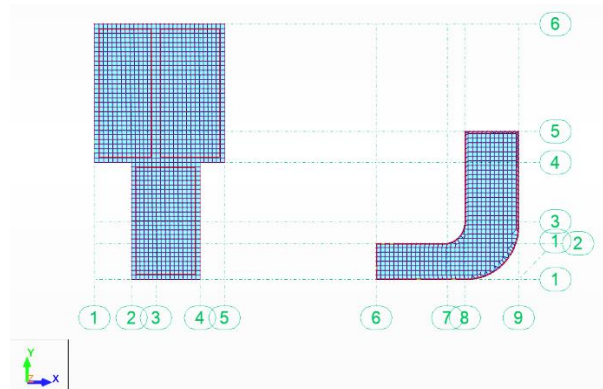


Figura 15: Modelo de análise dos painéis de laje maciça (zonas dos serviços, cozinha, garagem e varanda).

Carregamento sobre a laje maciça:

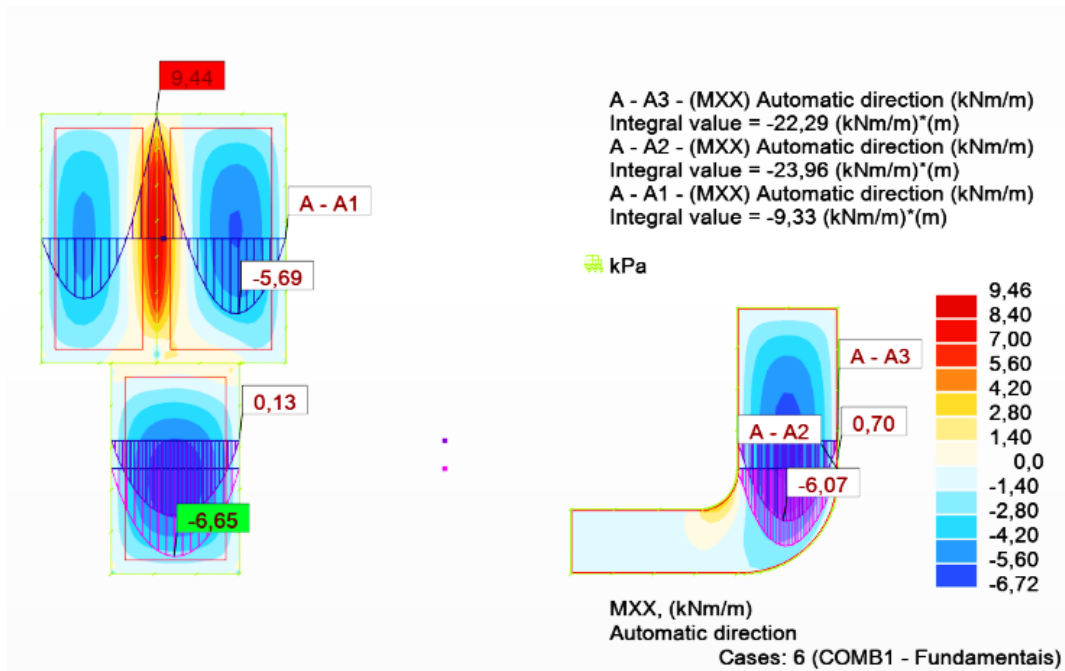
$$q = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$g = \sum h_i \cdot \gamma_i = 3,94 \text{ k N/m}^2$$

Onde:

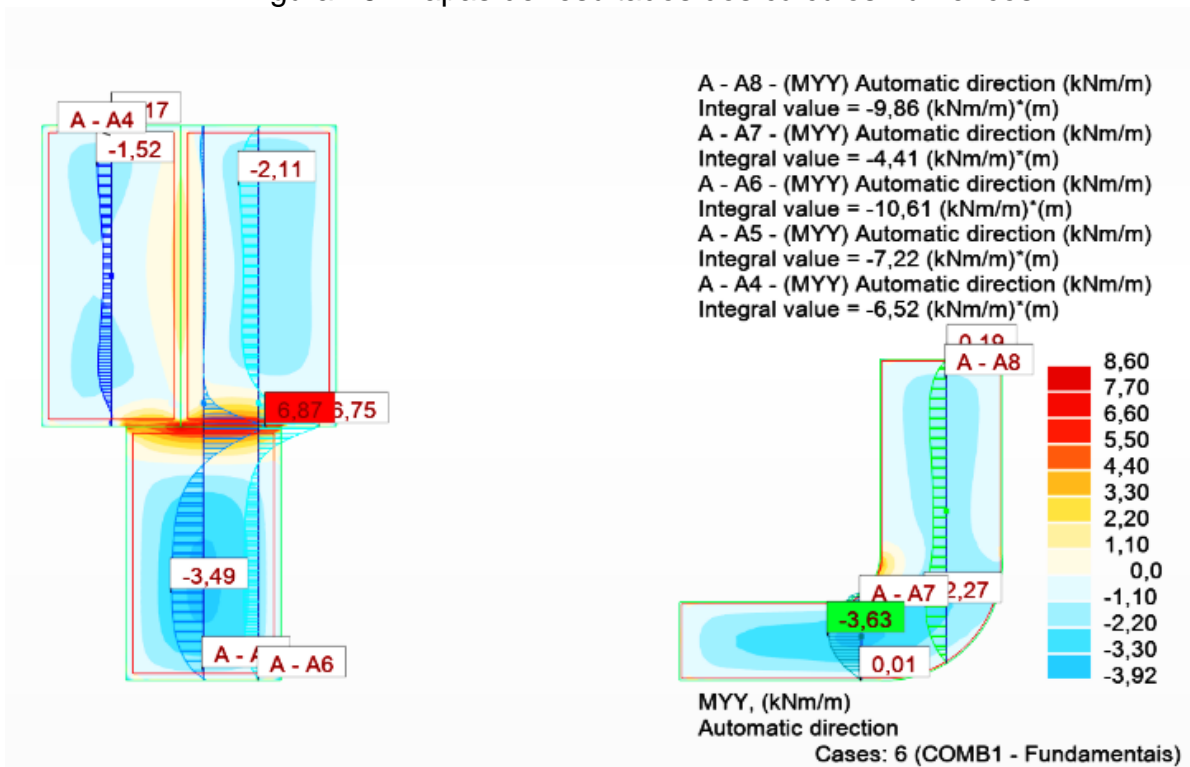
h_i – altura que o material ocupa na secção de análise;

γ_i – peso específico do material que constitui a secção da laje

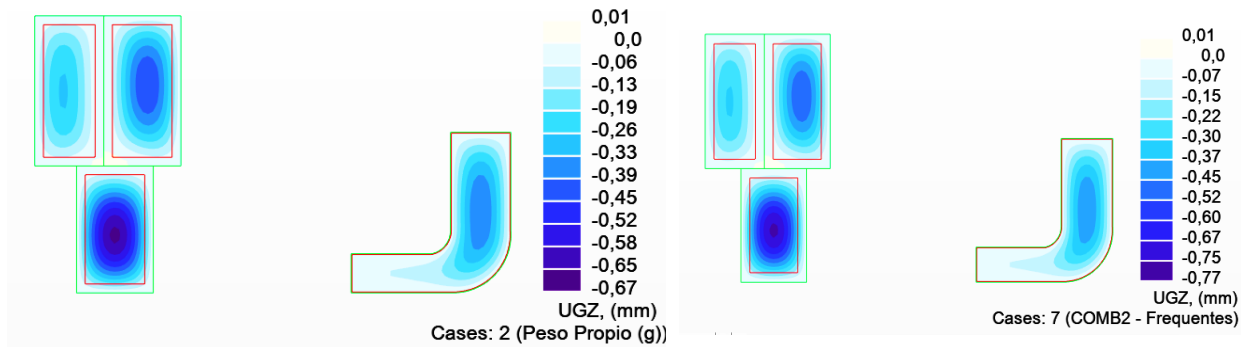


(a) momentos flectores na direcção x-x devido às combinações frequentes

Figura 16: Mapas de resultados dos cálculos numéricos



(b) momentos flectores na direcção y-y devido às combinações frequentes



(c) deformações devidas ao peso próprio

(d) deformações devidas a combinações raras

Figura 16: Mapas de resultados dos cálculos numéricos (continuação)

c) Paredes portantes

As paredes do edifício como referido anteriormente, são todas estruturais em tijolos maciços, recebendo directamente as cargas da laje por meio de vigas de coroamento e que por sua vez as transmitem às fundações do edifício. Nas lajes, maioritariamente constituídas por painéis aligeirados, constata-se que as paredes mais solicitadas são as divisórias, nomeadamente entre a zona de circulação e o quarto 03 e entre a sala e a cozinha, nos dois pisos, conforme ilustra a Figura 17.

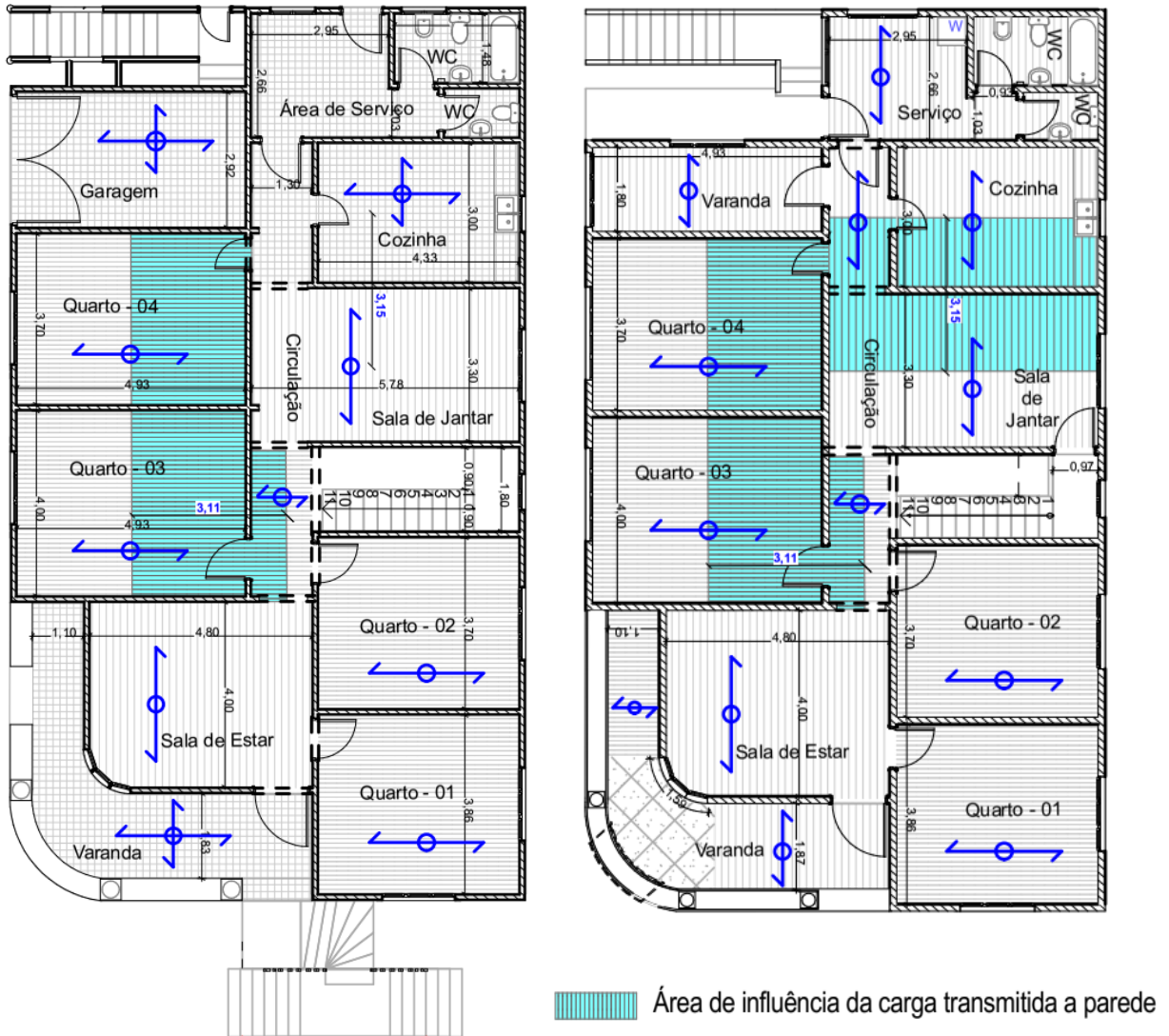


Figura 17. Áreas de influência correspondentes às cargas transmitidas das lajes às paredes mais solicitadas nos pisos 1 e 2

A análise do comportamento estrutural destas paredes foi realizada através de um modelo numérico materializado por elementos de cascas com as características geométricas da parede, com extensão vertical abrangente para os dois pisos, para o caso da parede divisória entre o quarto 03 e a área de circulação, conforme apresenta-se na Figura 18.

Após devida consideração das cargas e dos casos de carregamento, são apresentados na Figura 19 os principais resultados em termos de tensões normais que se desenvolvem nas paredes.

Carregamento sobre a laje da cobertura:

$$q_1 = 1,0 \times 3,11 = 3,11 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 1,0 \times 2,47 = 2,47 \text{ kN/m}$$

$$g_1 = \frac{1,86}{0,51} \times 3,11 = 11,34 \text{ kN/m}$$

$$g_2 = \frac{1,86}{0,51} \times 2,47 = 9,01 \text{ kN/m}$$

Carregamento sobre a laje do piso 2:

$$q_1 = 2,0 \times 3,11 = 6,22 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 2,0 \times 2,47 = 4,94 \text{ kN/m}$$

$$g_1 = \frac{1,73}{0,51} \times 3,11 = 10,55 \text{ kN/m}$$

$$g_2 = \frac{1,73}{0,51} \times 2,47 = 8,38 \text{ kN/m}$$

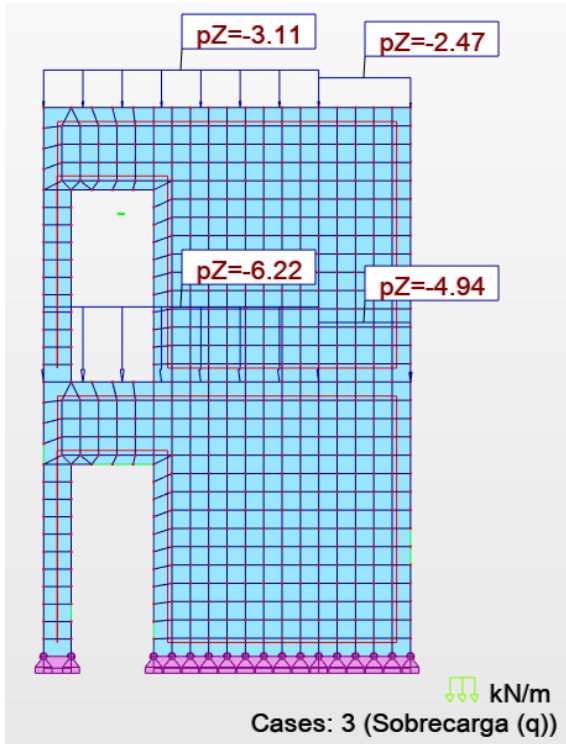


Figura 18. Modelo numérico de análise da parede divisória entre o quarto 03 e circulação.

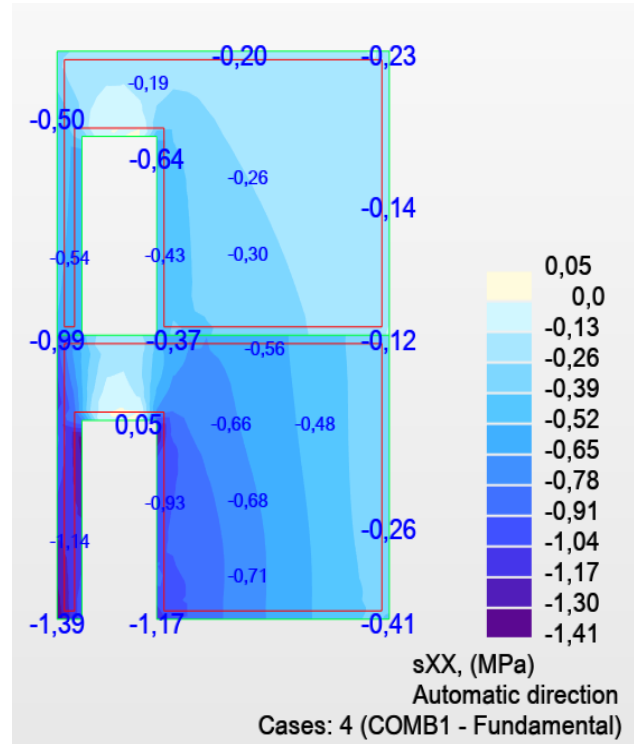


Figura 19. Mapa de tensões normais sobre as paredes divisórias entre quarto 03 e área de circulação.

4.5. Verificação da segurança estrutural

A verificação da segurança, segundo o RSAEEP, é feita comparando os valores:

- De deformação ou extensão admissíveis com os obtidos por aplicação dos casos de carga resultantes das combinações de acções;
- Das acções aplicadas com valores das acções do mesmo tipo e configuração que conduzem à ocorrência dos estados limites;

- De esforços ou tensões admissíveis com os obtidos por aplicação dos casos de carga resultantes das combinações de acções.

Verificação da segurança em termos de esforços consiste em satisfazer a condição seguinte (REBAP):

$$S_d \leq R_d \quad \text{Eq. 11}$$

Em relação aos estados limites de utilização, a verificação da segurança consiste em (Camara, 2015), (Eurocódigo 2):

- Limitar a deformação (para as estruturas, em geral, e não só de betão):

$$\delta_{\text{serviço}} \leq \delta_{\text{admissível}} \left(\cong \frac{L}{250} \text{ ou } \frac{L}{500} \right) \quad \text{Eq. 12}$$

Trata-se no primeiro caso de uma questão de aspecto e funcionalidade e no segundo caso para evitar fendas nas alvenarias que não conseguem, a partir de um certo ponto, acompanhar a deformação da sua base de suporte sem fendilharem;

- Limitar o nível de tensões máximas no betão e no aço;
- Controlar as aberturas de fendas (Aspecto claramente específico às estruturas de betão armado):

$$\omega_{\text{serviço}} \leq \omega_{\text{admissível}} (0,2 \text{ a } 0,4 \text{ mm}) \quad \text{Eq. 13}$$

Em geral, as fendas são limitadas para um nível de acções com carácter de permanência. Esta necessidade advém, de razões de aceitabilidade estética e, em ambientes mais agressivos, para não serem veículo de um processo mais rápido de degradação do betão estrutural (questão de durabilidade).

4.5.1. Estados limites últimos (ELU)

Nas Tabela 16, 17 e 18 é feita a avaliação da segurança dos elementos estruturais que resume-se na comparação entre os valores resistentes dos elementos estruturais do edifício, nomeadamente, os painéis de lajes maciças, painéis de lajes aligeiradas e paredes portantes, com os respectivos resultados de cálculos conforme as combinações fundamentais de acções.

Tabela 16. Avaliação da segurança dos painéis maciços

Identificação do Elemento		Esforços Actuantes [kNm/m]		Esforços Resistentes [kNm/m]		Observações
		$M_{Sd,xx}$	$M_{Sd,yy}$	$M_{Rd,xx}$	$M_{Rd,yy}$	
Paineis maciços	Cozinha	5,69	2,11	6,22	6,56	Todos os esforços resistentes são superiores as solicitações máximas impostas
	Serviços	4,58	1,52	10,08	6,78	
	Garragem	6,65	3,49	10,74	12,99	
	Varanda	6,07	3,63	10,48	7,16	

Tabela 17. Avaliação da segurança dos painéis aligeirados

Identificação do Elemento		Esforços actuantes [kNm]		Esforços Resistentes ou limites [kNm]	Observações
		$M_{Sd,xx}$		$M_{Rd,xx}$	
		P.P	COMB1		
Paineis aligeirados	Quarto 03	5,65	12,53	11,72	A capacidade resistente é excedido em apenas 6,9% nos ELU

Tabela 18. Avaliação da segurança da parede

Identificação do Elemento	Tensão máxima devido a combinações fundamentais σ_{sd} [MPa]	Tensão resistente à compressão da parede f_d [MPa]		Observações
		Obtido de ensaios de blocos individuais	Obtido de amostra de parede	
Parede divisória entre Q-3 e zona de circulação	1,41	4,09	4,09	Os valores resistentes são superiores na ordem de 2.9 vezes

4.5.2. Estados Limites de Serviço (ELS)

Deformação máxima admissível em lajes

Os valores máximos admissíveis para a verificação aos Estados Limites de Deformação são considerados os definidos no REBAP (Artigo 72.º), que a seguir são apresentados:

(i) Para casos correntes de vigas e lajes

$$\text{Condição 1: } \delta_{t0} \times (1 + \psi) \leq \frac{L}{400} \quad \text{Eq. 14}$$

(ii) Elementos que afectem paredes divisórias

$$\text{Condição 2: } \delta_{t0} \times (1 + \psi) - \delta_{t0,PP} \leq 15 \text{ mm} \quad \text{Eq. 15}$$

Na Tabela 19 é apresentado o resumo da verificação da deformação máxima dos painéis das lajes.

Tabela 19. Verificação das deformações dos painéis de lajes maciças

Local	L/400 [mm]	δ_{t0} [mm]	$\delta_{t0,PP}$ [mm]	$\delta_{t0} \times (1 + \psi)$ [mm]	$\delta_{t0} \times (1 + \psi) - \delta_{t0,PP}$ [mm]	Observação
Cozinha	7,5	0,52	0,45	1,82	1,37	Deformação limite não é excedida
Serviços	6,7	0,31	0,27	1,09	0,82	
Garragem	7,3	0,77	0,67	2,70	2,03	
Varanda	4,6	0,44	0,38	1,54	1,16	
Painel aligeirado (considerado viga T)	12,1	6,91	6,31	24,19	17,88	Deformação limite é excedida
Nota: Neste caso foi considerado o valor de coeficiente de fluência $\psi = 2,50$.						

5. CONCLUSÕES

5.1. Na situação existente

Das análises realizadas, constatou-se que os painéis de lajes maciças, que se encontram materializadas no piso 2, apresentam um comportamento satisfatório, verificando a segurança aos estados limites últimos e de utilização, nomeadamente aos momentos flectores nos vãos e deformações verticais.

Quanto aos painéis aligeirados, foi constatado que para a natureza de solicitações, aos Estados Limites Últimos a sua capacidade resistente é explorada na totalidade.

Na avaliação das paredes portantes observou-se que estas verificam aos Estados Limites Últimos. Tendo sido observado que os valores das tensões resultantes dos carregamentos foram superados com a tensão resistente na ordem dos 2,9 vezes.

5.2. Na situação de ampliação

O projecto de ampliação do edifício propõe o aumento de mais um piso com compartimentação similar a existente. Deste modo, todas as cargas permanentes adicionais devidas à ampliação serão canalizadas através das paredes sem no entanto se fazer sentir sobre os painéis de lajes, exceptuando as sobrecargas devidas a mudança de utilização do piso da cobertura.

Tendo em conta que na situação presente as tensões máximas instaladas nas paredes estão na ordem de 1,41 MPa e a tensão máxima resistente na ordem dos 4,09 MPa, constata-se que as paredes poderão suportar as cargas lineares que serão impostas pela ampliação pretendida.

No que se refere a laje de cobertura que passará a receber cargas de utilização similares as do piso 2, constata-se que a mesma se comportará da mesma forma que os painéis de lajes aligeirados do piso 2 visto apresentarem características geométricas e mecânicas iguais. Embora haja falta de informações quanto ao pré-esfoço das vigotas, nenhuma patologia decorrente de mau funcionamento foi observado nos painéis de maior vão ao nível do piso 2, assim, prevê-se o mesmo para a laje de cobertura face as cargas da nova utilização.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1. Referências bibliográficas

- [1] Appleton, J. and Costa, A. 2010. Apontamentos da cadeira de “Reabilitação e Reforço de Estruturas”- Módulo 1: Reabilitação e Reforço de Estruturas. s.l. : IST
- [2] Appleton, Júlio. 2012. Razões para reforçar estruturas. Lisboa : E-nova, 2012.
- [3] BS EN 1052-1:1999. 1999. Methods of test for masonry - Part 1: Determination of compressive strength. London : BSI.
- [4] BS EN 998-2:2010. 2010. Specification for mortar for Masonry - Part 2: Masonry mortar . London : BSI.
- [5] Camara, José Noronha da. 2015. Estruturas de Betão I: Folhas de apoio às aulas. Lisboa : IST.
- [6] CEN/TC 250. 2015. Document CEN/TC 250 N 1247: New European Technical Rules for the Assessment and Retrofitting of Existing Structures.
- [7] EN 13791:2017. 2017. Assessment of in-situ compressive strength in structure and precast concrete components. s.l. : CEN.
- [8] Erthal, Victória Fersura. 2020. Reavaliação da segurança estrutural e estudo da reabilitação de edifício de betão armado. Porto : FEUP.
- [9] Eurocódigo 2. 2010. Projecto de Estruturas de Betão - Part 1-1: Regras Gerais e Regras para Edifícios. s.l. : NP EN 1992-1-1.
- [10] Eurocódigo 6. 2015. Projecto de estruturas de alvenria Parte 1-1: Regras gerais para estruturas de alvenaria armada e não armada. Caparica : NP EN 1996-1-1-2005+A1. IPQ.

- [11] Farinha, J.S. Brazão and Reis, A. Correia. 1993. Tabelas Técnicas. Setúbal : P.O.B.
- [12] Gonçalves, Nuno M. B. 2016. Realbilitação do cine teatro António Pinheiro: estudo de caso. Faro : Universidade do Algarve.
- [13] ISO 13822. 2010. Bases for Design of Structures-Assessment of Existing Structures.
- [14] LEM. Regulamento interno do LEM, IP. Maputo : Decreto Lei nº 2/2021, de 9 de Agosto de 2021.
- [15] Moura, Rita. 2008. Reabilitação de estruturas de betão armado. Porto : s.n.
- [16] NP EN 12504-1:2009. Ensaios do betão nas estruturas. Parte 1: Carotes - Extracção, exame e ensaio à compressão. Caparica : IPQ.
- [17] REBAP. 2007. Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado. s.l. : Decreto-Lei nº349-c/83, de 30 Julho e Decreto-Lei nº 128-99, de 21 Abril, Porto Editora.
- [18] RSAEEP. 2005. Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes. s.l. : Decreto – Lei nº235/83, de 31 de Maio, Porto Editora.
- [19] Sine, Aurélio. 2022. Manual de avaliação do desempenho de estruturas de betão armado. Maputo : Laboratório de Engenharia de Moçambique.

6.2. Bibliografia consultada

- [1] Correia, Sérgio Filipe Ramos. 2014. Catálogo de técnicas de diagnóstico em elementos estruturais de edifícios correntes em betão armado. Lisboa : IST.
- [2] Costa, Aníbal Guimarães da. 2002. Reforço e reabilitação de estruturas. Porto : FEUP.
- [3] Costa, Juliana Rodrigues Pereira da. 2021. Estudo das patologias de betão armado em edifícios: identificação e tratamento. Lisboa : Universidade Lusófona de Humanidade e Tecnologias.
- [4] Ferreira, Joana Alexandra de Almeida. 2010. Técnicas de diagnóstico de patologias em edifícios. Porto : FEUP.
- [5] Ferreira, João and Branco, Fernando. Aulas práticas da disciplina de inspeção de edifícios da Licenciatura em Arquitectura. Lisboa : IST.
- [6] Governo de Moçambique. 2016. Decreto n.º 5/2016 - Regulamento de Contratação de Empreitada de Obras Públicas, Fornecimento de Bens e Prestação de Serviços. Maputo : INM, E.P, Março 08, 2016. Vol. I SÉRIE, Número 28.
- [7] Helene, Paulo. 1992. Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto. [ed.] Pini. 2ª. São Paulo : EPUSP.
- [8] IPQ. 2007. NP EN 206-1:2007 - Betão. Parte 1: Especificações, Desempenho, Produção e Conformidade. s.l. : Instituto Português da Qualidade, IP (IPQ).
- [9] Marcelo Henrique Farias de Medeiros, Jairo José de Oliveira Andrade, Paulo Helene. 2011. Concreto: Ciência e Tecnologia. [ed.] Geraldo Cechella Isaia. Capítulo 22: Durabilidade e vida útil de estruturas de concreto.

ANEXOS

A1 – 1: Resultados de detecção de armaduras nas lajes

Piso:	02	Painel:	Cozinha	Tipo de laje:	Maciça
Armadura da laje					
Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)		
s	c	∅	s	c	∅
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
161	34	8	180	26	8
170	35	8	160	28	8
150	33	12	171	31	8
159	48	10	133	37	8
136	49	10	138	44	8
179	39	8	187	40	8
	43	8	200	43	8
				44	8
Valores médios			Valores médios		
15,9	40	9	167	36,6	8
Piso:	02	Painel:	Garagem	Tipo de laje:	Maciça
Armadura da laje					
Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)		
s	c	∅	s	c	∅
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
146	47	10	191	34	10
180	46	12	122	30	16
154	46	16	141	58	10
153	47	14	155	38	10
170	54	10	144	36	16
	51	8		50	12
Valores médios			Valores médios		
160,6	48,5	12	150,6	41	12
Piso:	02	Painel:	Varanda frontal	Tipo de laje:	Maciça
Armadura da laje					
Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)		
s	c	∅	s	c	∅
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
190	27	8	155	28	8
194	27	12	171	38	8
174	31	10	185	37	8
153	34	14	176	29	16
123	35	8	185	31	14
176	36	10	188	25	8
	32	8	136	25	8
			130	35	12
			156	26	16
				31	10
Valores médios			Valores médios		
168,3	31,7	10	164,7	30,5	9,3

Piso: 02	Painel: Serviços	Tipo de laje: Maciça			
Armadura da laje					
Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)		
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)
193	39	10	167	17	8
145	41	14	164	48	8
216	48	12	182	32	10
152	49	8	162	35	8
162	52	10	176	31	8
188	54	8	171	31	8
162	43	8		32	8
	33	8			
Valores médios			Valores médios		
174	35,9	9,75 ≈ 10	170,3	32,3	8

Piso: 02	Painel: Corredor/cozinha	Tipo de laje: Maciça			
Armadura da laje					
Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)		
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)
161	31	16	175	43	8
276	31	8	151	44	8
122	44	8	194	42	8
183	43	8	144	41	8
150	34	8		39	8
	27	8			
Valores médios			Valores médios		
178,4	35	9	166	41,8	8

Piso: 02	Painel: Corredor: Sala de jantar	Tipo de laje: Aligeirada						
Armadura de vigotas (y-y)			Armadura da lajeta					
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)		
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)
148	125***	20**	293	118	20**			
28	51*	14	315	117	20			
174	48*	12	309	116	20			
	112***	20	450	123	20	-	-	-
			188	95	20			
			316	139	20			
			268	123	20			
			107	20				
Valores médios			Valores médios			Valores médios		
175	49,5/118,5		305,6	117,3	-			

Notas:

- * refere-se ao recobrimento da armadura inferior da mesma vigota;
- ** diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);
- *** refere-se a armadura superior da vigota

Piso: 02		Panel: Corredor – Quartos/Escadas		Tipo de laje: Aligeirada				
Armadura de vigotas (x-x)			Armadura da lajeta					
			Longitudinal (x-x)	Transversal (y-y)				
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)
61	49					276	174	8
477*	48					213	104	20**
40	51	-	-	-	-		102	20
	41							
Valores médios			Valores médios			Valores médios		
527,5	47,3	-	-	-	-	244,5	126,7	-

Notas:

* refere-se ao espaçamento entre armaduras de diferentes vigotas;

** diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado)

Piso: 02		Panel: Sala de estar		Tipo de laje: Aligeirada				
Armadura de vigotas (y-y)			Armadura da lajeta					
			Longitudinal (x-x)	Transversal (y-y)				
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	S (mm)	c (mm)	∅ (mm)
536	61	20*	248	97	8			
487	64	20	204	123	20	-	-	-
517	54	16	191	114	14			
	60	16		131	20*			
Valores médios			Valores médios			Valores médios		
513,3	59,8	-	214,3	116,3	-	-	-	-

Notas:

* diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado)

Piso: 02		Panel: Quarto 02		Tipo de laje: Aligeirada				
Armadura de vigotas (x-x)			Armadura da lajeta					
			Longitudinal (x-x)	Transversal (y-y)				
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)
34*	57	20**				214	126	20**
506	45	20				275	126	20
535	52	20				262	106	20
525	45	20				362	76	20
538	47	20					146	20
	49	20						
Valores médios			Valores médios			Valores médios		
534,5	49,2	-	-	-	-	269,3	116	-

Notas:

* refere-se ao espaçamento entre armadura da mesma vigota;

** diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado)

ANEXO 1 – 1: Resultados de detecção de armaduras nas laje

Piso: 02			Painel: Quarto 01			Tipo de laje: Aligeirada		
Armadura de vigotas (x-x)			Armadura da lajeta					
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)		
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)
546	48	20**				351	128	20**
504	47	12				487	150	20
498	48	20	-	-	-	464	54***	20
28*	51	20				464	139	20
489	56	20						
Valores médios			Valores médios			Valores médios		
516	50	-				441	139	-

Piso: 02			Painel: Quarto 03			Tipo de laje: Aligeirada		
Armadura de vigotas (x-x)			Armadura da lajeta					
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)		
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)
38*	52	20**				402	139	20**
484	52	20				303	99	20
504	45	20	-	-	-	227	98	14**
42*	47	10				391	77	8
490	48	12					133	20
	42	12						
Valores médios			Valores médios			Valores médios		
519	47,7	-				330,8	109	-

Piso: 02			Painel: Quarto 04			Tipo de laje: Aligeirada		
Armadura de vigotas (x-x)			Armadura da lajeta					
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)		
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)
495	47	20**				259	117	20**
38*	54	20				317	109	20
504	49	20	-	-	-	303	124	20
495	48	20					138	20
32*	52	20						
477	49	20						
	46	20						
Valores médios			Valores médios			Valores médios		
510	49	-				293	122	-

Notas:

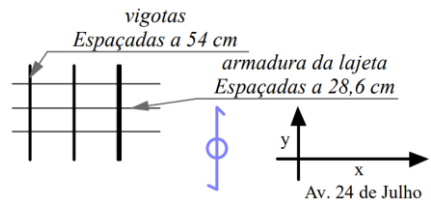
* refere-se ao espaçamento entre armaduras da mesma vigota; e os restantes entre diferentes vigotas;

** diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);

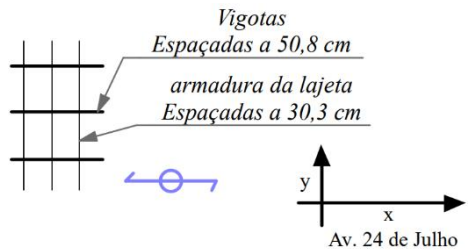
*** refere-se a armadura pontual da vigota captada

ANEXO 1 – 1: Resultados de detecção de armaduras nas laje

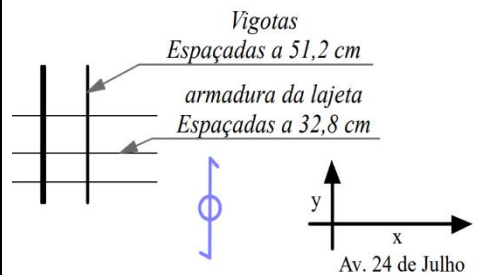
Piso:	Cobertura	Painel:	Sala de estar	Tipo de laje:	Aligeirada
Armadura de vigotas (y-y)		Armadura da lajeta			
		Longitudinal (x-x)		Transversal (y-y)	
s	c	∅	s	c	∅
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
528	58	20*	291	116	16
529	66	20	281	126	20
24**	46	10		119	12
	73	10			
Valores médios			Valores médios		Valores médios
540,5	60,75	-	286	120	-
<p>Notas:</p> <p>* diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);</p> <p>** refere-se ao espaçamento entre armaduras da mesma vigota; e os restantes entre diferentes vigotas;</p>					



Piso:	Cobertura	Painel:	Corredor - escada	Tipo de laje:	Aligeirada
Armadura de vigotas (x-x)		Armadura da lajeta			
		Longitudinal (x-x)		Transversal (y-y)	
s	c	∅	s	c	∅
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
498	58	10		308	115
518	71	20*		297	116
	61	20	-	-	-
				137	16
Valores médios			Valores médios		Valores médios
508	63,3	-	-	-	-
<p>Notas:</p> <p>* diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);</p>					



Piso:	Cobertura	Painel:	Zona da cozinha - Corredor	Tipo de laje:	Aligeirada
Armadura de vigotas (y-y)		Armadura da lajeta			
		Longitudinal (x-x)		Transversal (y-y)	
s	c	∅	s	c	∅
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
29	59	20	371	99	10
483	46	20*	285	130	20
	55	20		111	20
Valores médios			Valores médios		Valores médios
512	55	-	328	113,3	-
<p>Notas:</p> <p>* diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);</p>					



ANEXO 1 – 1: Resultados de detecção de armaduras nas laje

Piso:	Cobertura	Painel:	Corredor – sala de jantar	Tipo de laje:	Aligeirada																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Armadura de vigotas (y-y)</th> <th colspan="6">Armadura da lajeta</th> </tr> <tr> <th colspan="3"></th> <th colspan="3">Longitudinal (x-x)</th> <th colspan="3">Transversal (y-y)</th> </tr> <tr> <th>s (mm)</th> <th>c (mm)</th> <th>∅ (mm)</th> <th>s (mm)</th> <th>c (mm)</th> <th>∅ (mm)</th> <th>s (mm)</th> <th>c (mm)</th> <th>∅ (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>496</td> <td>64</td> <td>16*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>66</td> <td>16</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Valores médios</td> <td colspan="3">Valores médios</td> <td colspan="3">Valores médios</td> </tr> <tr> <td>496</td> <td>65</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td colspan="9"> Notas: * diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado); </td> </tr> </tbody> </table>						Armadura de vigotas (y-y)			Armadura da lajeta									Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)			s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	496	64	16*								66	16	-	-	-	-	-	-	Valores médios			Valores médios			Valores médios			496	65	-	-	-	-	-	-	-	Notas: * diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);																																			
Armadura de vigotas (y-y)			Armadura da lajeta																																																																																																					
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)																																																																																																		
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)																																																																																																
496	64	16*																																																																																																						
	66	16	-	-	-	-	-	-																																																																																																
Valores médios			Valores médios			Valores médios																																																																																																		
496	65	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																
Notas: * diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);																																																																																																								
Piso:	Cobertura	Painel:	Área de serviços	Tipo de laje:	Aligeirada																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Armadura de vigotas (y-y)</th> <th colspan="6">Armadura da lajeta</th> </tr> <tr> <th colspan="3"></th> <th colspan="3">Longitudinal (x-x)</th> <th colspan="3">Transversal (y-y)</th> </tr> <tr> <th>s (mm)</th> <th>c (mm)</th> <th>∅ (mm)</th> <th>s (mm)</th> <th>c (mm)</th> <th>∅ (mm)</th> <th>s (mm)</th> <th>c (mm)</th> <th>∅ (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>36</td> <td>69</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>499</td> <td>58</td> <td>20*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>509</td> <td>52</td> <td>20</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>493</td> <td>66</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>51</td> <td>12</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Valores médios</td> <td colspan="3">Valores médios</td> <td colspan="3">Valores médios</td> </tr> <tr> <td>512,3</td> <td>59,2</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td colspan="9"> Notas: * diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado); </td> </tr> </tbody> </table>						Armadura de vigotas (y-y)			Armadura da lajeta									Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)			s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	36	69	20							499	58	20*							509	52	20	-	-	-	-	-	-	493	66	20								51	12							Valores médios			Valores médios			Valores médios			512,3	59,2	-	-	-	-	-	-	-	Notas: * diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);								
Armadura de vigotas (y-y)			Armadura da lajeta																																																																																																					
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)																																																																																																		
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)																																																																																																
36	69	20																																																																																																						
499	58	20*																																																																																																						
509	52	20	-	-	-	-	-	-																																																																																																
493	66	20																																																																																																						
	51	12																																																																																																						
Valores médios			Valores médios			Valores médios																																																																																																		
512,3	59,2	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																
Notas: * diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);																																																																																																								
Piso:	Cobertura	Painel:	Arrumos ao lado da cozinha	Tipo de laje:	Aligeirada																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Armadura de vigotas (y-y)</th> <th colspan="6">Armadura da lajeta</th> </tr> <tr> <th colspan="3"></th> <th colspan="3">Longitudinal (x-x)</th> <th colspan="3">Transversal (y-y)</th> </tr> <tr> <th>s (mm)</th> <th>c (mm)</th> <th>∅ (mm)</th> <th>s (mm)</th> <th>c (mm)</th> <th>∅ (mm)</th> <th>s (mm)</th> <th>c (mm)</th> <th>∅ (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>37</td> <td>44</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>483</td> <td>40</td> <td>10*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>44</td> <td>16</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>482</td> <td>46</td> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>53</td> <td>20*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Valores médios</td> <td colspan="3">Valores médios</td> <td colspan="3">Valores médios</td> </tr> <tr> <td>521</td> <td>45,4</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td colspan="9"> Notas: * diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado); </td> </tr> </tbody> </table>						Armadura de vigotas (y-y)			Armadura da lajeta									Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)			s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	37	44	10							483	40	10*							40	44	16	-	-	-	-	-	-	482	46	8								53	20*							Valores médios			Valores médios			Valores médios			521	45,4	-	-	-	-	-	-	-	Notas: * diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);								
Armadura de vigotas (y-y)			Armadura da lajeta																																																																																																					
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)																																																																																																		
s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)	s (mm)	c (mm)	∅ (mm)																																																																																																
37	44	10																																																																																																						
483	40	10*																																																																																																						
40	44	16	-	-	-	-	-	-																																																																																																
482	46	8																																																																																																						
	53	20*																																																																																																						
Valores médios			Valores médios			Valores médios																																																																																																		
521	45,4	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																
Notas: * diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);																																																																																																								

Piso:		Cobertura		Painel:		Cozinha		Tipo de laje:		Aligeirada		
Armadura de vigotas (y-y)			Armadura da lajeta									
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)						
s	c	∅	s	c	∅	s	c	∅				
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
489	50	16										
21	77	16										
488	64	16*										
31	71	20*										
480	46	12	-	-	-	-	-	-				
-	68	16										
	47	12										
Valores médios			Valores médios			Valores médios						
503	60,4	-	-	-	-	-	-	-				
<p>Notas:</p> <p>* diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado)</p>												

Piso:		Cobertura		Painel:		Quarto 01		Tipo de laje:		Aligeirada		
Armadura de vigotas (x-x)			Armadura da lajeta									
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)						
s	c	∅	s	c	∅	s	c	∅				
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
36	63	-										
485	58	-										
26	48	-										
509	60	-										
508	61	-	-	-	-	-	-	-				
	48	-										
Valores médios			Valores médios			Valores médios						
521	56,3	-	-	-	-	-	-	-				

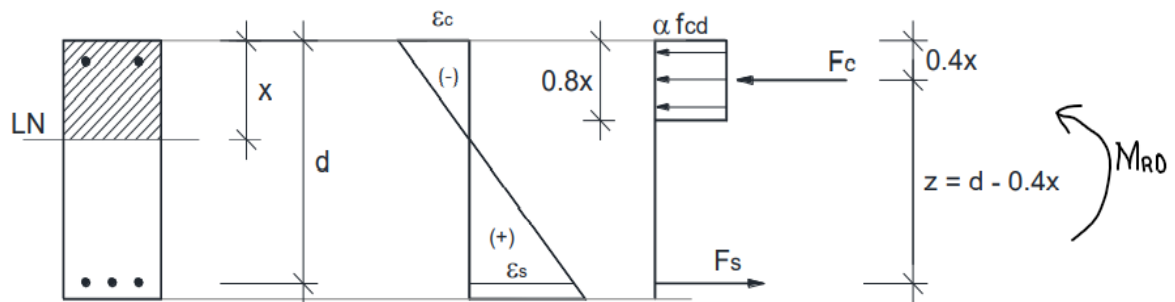
Piso:		Cobertura		Painel:		Quarto 02		Tipo de laje:		Aligeirada		
Armadura de vigotas (x-x)			Armadura da lajeta									
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)						
s	c	∅	s	c	∅	s	c	∅				
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
35	57	-										
484	50	-										
487	48	-										
36	47	-										
471	56	-	-	-	-	-	-	-				
38	57	-										
	46	-										
Valores médios			Valores médios			Valores médios						
517	51,6	-	-	-	-	-	-	-				

ANEXO 1 – 1: Resultados de detecção de armaduras nas laje

Piso:			Cobertura			Painel: Quarto 03			Tipo de laje: Aligeirada		
Armadura de vigotas (x-x)			Armadura da lajeta						<p>vigotas Espaçadas a 51 cm</p> <p>Av. 24 de Julho</p>		
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)					
s	c	∅	s	c	∅	s	c	∅			
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
506	50	20*									
514	47	12									
508	54	20	-	-	-	-	-	-			
	48	20									
Valores médios			Valores médios			Valores médios					
509	49,8	-	-	-	-	-	-	-			
Notas:											
* diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);											

Piso:			Cobertura			Painel: Quarto 04			Tipo de laje: Aligeirada		
Armadura de vigotas (x-x)			Armadura da lajeta						<p>Vigotas Espaçadas a 50.6 cm</p> <p>Av. 24 de Julho</p>		
			Longitudinal (x-x)			Transversal (y-y)					
s	c	∅	s	c	∅	s	c	∅			
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
498	48	20**									
38*	47	12									
483	48	20	-	-	-	-	-	-			
464	51	20									
36*	56	20									
Valores médios			Valores médios			Valores médios					
506	50	-	-	-	-	-	-	-			
Notas:											
* refere-se ao espaçamento entre armaduras da mesma vigota; e os restantes entre diferentes vigoras;											
** diâmetro não preciso devido a influência magnética (não será considerado);											

A1 – 2: Cálculo de esforços resistentes nas lajes

Cálculo do M_{Rd} das lajes maciças

Equações de equilíbrio (flexão simples)

$$(1) \sum F = 0 \Leftrightarrow F_c = F_s$$

$$(2) \sum M = 0 \Leftrightarrow M_{Rd} = F_s \times Z = F_s \times (d - 0,4x)$$

$$F_c = 0,8x \cdot b \cdot \alpha \cdot f_{cd}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Aço: A400} \Rightarrow f_{yd} = 348 \text{ Mpa} \\ \alpha = 0,85 \\ f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20,14}{1,5} = 13,43 \text{ Mpa} \\ b = 1,0 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{348}{200 \times 10^3} = 1,74 \text{ ‰}$$

Cálculo do M_{Rd} das lajes maciças

Piso:	02	Painel:	Cozinha	Tipo de laje:	Maciça
-------	-----------	---------	----------------	---------------	---------------

Direcção X – XCálculo do M_{Rd}

$$A_s(\text{Ø}8@15,9) = 3,14 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$F_c = 0,8x \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 13,43 \cdot 10^3 = 9132,4x$$

$$F_s = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 348 \cdot 10^3 = 109,27 \text{ KN}$$

$$(1) F_c = F_s \Rightarrow x = \frac{109,27}{9132,4} \Rightarrow x = 0,012 \text{ m}$$

$$d = 10,3 - 4,0 = 6,3 \text{ cm}$$

$$z = 0,063 - 0,4 \cdot 0,012 = 0,058 \text{ m}$$

$$(2) M_{Rd} = 109,27 \cdot 0,058 = \mathbf{6,22 \text{ kN} \cdot \text{m/m}}$$

Verificação da hipótese de cedência do aço ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$)

$$\frac{\varepsilon_s}{0,051} = \frac{3,5 \text{ ‰}}{0,012} \Rightarrow \varepsilon_s = 14,88 \text{ ‰} \gg \varepsilon_{yd}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,012}{0,063} = 0,190$$

Ductilidade da secção (como critério mínimo é desejável que $\frac{x}{d} \sim (0,4 \text{ à } 0,5)$ ou, equivalente, $\varepsilon_s \sim > 4 \text{ ‰ a } 5 \text{ ‰}$.)

Direcção Y – YCálculo do M_{Rd}

$$A_s(\text{Ø}8@16,7) = 2,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$F_c = 0,8x \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 13,43 \cdot 10^3 = 9132,4x$$

$$F_s = 2,99 \cdot 10^{-4} \cdot 348 \cdot 10^3 = 104,05 \text{ KN}$$

$$(1) F_c = F_s \Rightarrow x = \frac{104,05}{9132,4} \Rightarrow x = 0,011 \text{ m}$$

$$d = 10,3 - 4,0 = 6,7 \text{ cm}$$

$$z = 0,067 - 0,4 \cdot 0,011 = 0,063 \text{ m}$$

$$(2) M_{Rd} = 104,05 \cdot 0,063 = \mathbf{6,56 \text{ KN} \cdot \text{m/m}}$$

Verificação da hipótese de cedência do aço ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$)

$$\frac{\varepsilon_s}{0,056} = \frac{3,5 \text{ ‰}}{0,011} \Rightarrow \varepsilon_s = 17,82 \text{ ‰} \gg \varepsilon_{yd}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,011}{0,067} = 0,16$$

Cálculo do M_{Rd} das lajes maciças			
Piso:	02	Painel:	Garagem
		Tipo de laje:	Maciça
<u>Direcção X – X</u>			
Cálculo do M_{Rd}		Verificação da hipótese de cedência do aço ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$)	
$A_s(\text{Ø}12 @16) = 7,06 \text{ cm}^2/\text{m}$			
$F_c = 0,8x \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 13,43 \cdot 10^3 = 9132,4x$			
$F_s = 7,06 \cdot 10^{-4} \cdot 348 \cdot 10^3 = 245,69 \text{ KN}$		$\frac{\varepsilon_s}{0,0275} = \frac{3,5 \text{ ‰}}{0,027} \Rightarrow \varepsilon_s = 3,56 \text{ ‰}$	
(1) $F_c = F_s \Rightarrow x = \frac{245,69}{9132,4} \Rightarrow x = 0,027 \text{ m}$		$> \varepsilon_{yd}$	
$d = 10,3 - 4,85 = 5,45 \text{ cm}$		$\frac{x}{d} = \frac{0,027}{0,0545} = 0,50$	
$z = 0,0545 - 0,4 \cdot 0,027 = 0,0437 \text{ m}$			
(2) $M_{Rd} = 245,69 \cdot 0,0437 = \mathbf{10,74 \text{ KN} \cdot \text{m/m}}$			
<u>Direcção Y – Y</u>			
Cálculo do M_{Rd}		Verificação da hipótese de cedência do aço ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$)	
$A_s(\text{Ø}12 @15) = 7,54 \text{ cm}^2/\text{m}$			
$F_c = 0,8x \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 13,43 \cdot 10^3 = 9132,4x$			
$F_s = 7,54 \cdot 10^{-4} \cdot 348 \cdot 10^3 = 262,39 \text{ KN}$		$\frac{\varepsilon_s}{0,0323} = \frac{3,5 \text{ ‰}}{0,0287} \Rightarrow \varepsilon_s = 3,94 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd}$	
(1) $F_c = F_s \Rightarrow x = \frac{262,39}{9132,4} \Rightarrow x = 0,0287 \text{ m}$		$\frac{x}{d} = \frac{0,0287}{0,061} = 0,47$	
$d = 10,3 - 4,2 = 6,1 \text{ cm}$			
$z = 0,061 - 0,4 \cdot 0,0287 = 0,0495 \text{ m}$			
(2) $M_{Rd} = 262,39 \cdot 0,0495 = \mathbf{12,99 \text{ KN} \cdot \text{m/m}}$			

Cálculo do M_{Rd} das lajes maciças			
Piso:	02	Painel:	Varanda frontal
		Tipo de laje:	Maciça
<u>Direcção X – X</u>			
Cálculo do M_{Rd}		Verificação da hipótese de cedência do aço ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$)	
$A_s(\text{Ø}10 @16,8) = 4,7 \text{ cm}^2/m$			
$F_C = 0,8x \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 13,43 \cdot 10^3 = 9132,4x$		$\frac{\varepsilon_s}{0,0534} = \frac{3,5 \text{ ‰}}{0,0179} \Rightarrow \varepsilon_s = 10,44 \text{ ‰} \gg \varepsilon_{yd}$	
$F_S = 4,7 \cdot 10^{-4} \cdot 348 \cdot 10^3 = 163,56 \text{ KN}$			
(1) $F_C = F_S \Rightarrow x = \frac{163,56}{9132,4} \Rightarrow x = 0,0179 \text{ m}$		$\frac{x}{d} = \frac{0,0179}{0,071} = 0,25$	
$d = 10,3 - 3,17 = 7,13 \text{ cm}$			
$z = 0,0713 - 0,4 \cdot 0,0179 = 0,0641 \text{ m}$			
(2) $M_{Rd} = 163,56 \cdot 0,0641 = 10,48 \text{ KN} \cdot \text{m/m}$			
<u>Direcção Y – Y</u>			
Cálculo do M_{Rd}		Verificação da hipótese de cedência do aço ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$)	
$A_s(\text{Ø}8 @16,5) = 3,03 \text{ cm}^2/m$			
$F_C = 0,8x \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 13,43 \cdot 10^3 = 9132,4x$		$\frac{\varepsilon_s}{0,061} = \frac{3,5 \text{ ‰}}{0,0115} \Rightarrow \varepsilon_s = 18,57 \text{ ‰} \gg \varepsilon_{yd}$	
$F_S = 3,03 \cdot 10^{-4} \cdot 348 \cdot 10^3 = 105,44 \text{ KN}$			
(1) $F_C = F_S \Rightarrow x = \frac{105,44}{9132,4} \Rightarrow x = 0,0115 \text{ m}$		$\frac{x}{d} = \frac{0,0115}{0,0725} = 0,159$	
$d = 10,3 - 3,05 = 7,25 \text{ cm}$			
$z = 0,0725 - 0,4 \cdot 0,0115 = 0,0679 \text{ m}$			
(2) $M_{Rd} = 105,44 \cdot 0,0679 = 7,16 \text{ KN} \cdot \text{m/m}$			

Cálculo do M_{Rd} das lajes maciças

Piso:	02	Painel:	Serviços	Tipo de laje:	Maciça
-------	----	---------	----------	---------------	--------

Direcção X – XCálculo do M_{Rd}

$$A_s(\emptyset 10 @ 17,4) = 4,54 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$F_C = 0,8x \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 13,43 \cdot 10^3 = 9132,4x$$

$$F_S = 4,54 \cdot 10^{-4} \cdot 348 \cdot 10^3 = 157,99 \text{ KN}$$

$$(1) F_C = F_S \Rightarrow x = \frac{157,99}{9132,4} \Rightarrow x = 0,0173 \text{ m}$$

$$d = 10,3 - 3,23 = 7,07 \text{ cm}$$

$$z = 0,0707 - 0,4 \cdot 0,0173 = 0,0638 \text{ m}$$

$$(2) M_{Rd} = 157,99 \cdot 0,0638 = \mathbf{10,08 \text{ KN} \cdot \text{m/m}}$$

Verificação da hipótese de cedência do aço ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$)

$$\frac{\varepsilon_s}{0,0534} = \frac{3,5 \text{ ‰}}{0,0173} \Rightarrow \varepsilon_s = 10,80 \text{ ‰} \gg \varepsilon_{yd}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,0173}{0,0707} = 0,24$$

Direcção Y – YCálculo do M_{Rd}

$$A_s(\emptyset 8 @ 17) = 2,94 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$F_C = 0,8x \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 13,43 \cdot 10^3 = 9132,4x$$

$$F_S = 2,94 \cdot 10^{-4} \cdot 348 \cdot 10^3 = 102,31 \text{ KN}$$

$$(1) F_C = F_S \Rightarrow x = \frac{102,31}{9132,4} \Rightarrow x = 0,011 \text{ m}$$

$$d = 10,3 - 3,23 = 7,07 \text{ cm}$$

$$z = 0,0707 - 0,4 \cdot 0,011 = 0,0663 \text{ m}$$

$$(2) M_{Rd} = 102,31 \cdot 0,0663 = \mathbf{6,78 \text{ KN} \cdot \text{m/m}}$$

Verificação da hipótese de cedência do aço ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$)

$$\frac{\varepsilon_s}{0,0597} = \frac{3,5 \text{ ‰}}{0,011} \Rightarrow \varepsilon_s = 19,0 \text{ ‰} \gg \varepsilon_{yd}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,011}{0,0707} = 0,16$$

Cálculo do M_{Rd} das lajes maciças

Piso:	02	Painel:	Corredor/cozinha	Tipo de laje:	Maciça
-------	-----------	---------	-------------------------	---------------	---------------

Direcção X – XCálculo do M_{Rd}

$$A_s(\text{Ø}8 @17,84) = 2,8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$F_c = 0,8x \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 13,43 \cdot 10^3 = 9132,4x$$

$$F_s = 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot 348 \cdot 10^3 = 97,44 \text{ KN}$$

$$(1) F_c = F_s \Rightarrow x = \frac{97,44}{9132,4} \Rightarrow x = 0,011 \text{ m}$$

$$d = 10,3 - 3,5 = 6,8 \text{ cm}$$

$$z = 0,068 - 0,4 \cdot 0,011 = 0,064 \text{ m}$$

$$(2) M_{Rd} = 97,44 \cdot 0,064 = \mathbf{6,24 \text{ KN} \cdot \text{m/m}}$$

Verificação da hipótese de cedência do aço ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$)

$$\frac{\varepsilon_s}{0,058} = \frac{3,5 \text{ ‰}}{0,011} \Rightarrow \varepsilon_s = 18,45 \text{ ‰} \gg \varepsilon_{yd}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,011}{0,068} = 0,16$$

Direcção Y – YCálculo do M_{Rd}

$$A_s(\text{Ø}8 @16,6) = 3,01 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$F_c = 0,8x \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 13,43 \cdot 10^3 = 9132,4x$$

$$F_s = 3,01 \cdot 10^{-4} \cdot 348 \cdot 10^3 = 104,75 \text{ KN}$$

$$(1) F_c = F_s \Rightarrow x = \frac{104,75}{9132,4} \Rightarrow x = 0,011 \text{ m}$$

$$d = 10,3 - 4,18 = 6,12 \text{ cm}$$

$$z = 0,0612 - 0,4 \cdot 0,011 = 0,0568 \text{ m}$$

$$(2) M_{Rd} = 104,75 \cdot 0,0568 = \mathbf{5,95 \text{ KN} \cdot \text{m/m}}$$

Verificação da hipótese de cedência do aço ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$)

$$\frac{\varepsilon_s}{0,0502} = \frac{3,5 \text{ ‰}}{0,011} \Rightarrow \varepsilon_s = 15,97 \text{ ‰} \gg \varepsilon_{yd}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,011}{0,0612} = 0,18$$

Cálculo do M_{Rd} da laje aligeirada

Equações de equilíbrio (flexão simples):

$$\sum F = 0 \leftrightarrow F_c = F_s$$

$$F_c = 0,8x \cdot b \cdot \alpha \cdot f_{cd}$$

$$\sum M = 0 \leftrightarrow M_{Rd} = F_s \times Z = F_s \times (d - 0,4x)$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd}$$

Características mecânicas do material:

considerado aço de alta resistência $\Rightarrow f_{yd} = 1770/1.15 \text{ MPa}$

$$\alpha = 0,85$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{22,3}{1,5} = 14,89 \text{ MPa}$$

$$b = 0,51 \text{ m}$$

Valor mínimo de extensão do aço:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{1539,13}{200 \times 10^3} = 7,69 \text{ ‰}$$

Cálculo do M_{Rd}

$$A_s(3\emptyset 5) = 0,54 \text{ cm}^2$$

$$F_c = 0,8x \times 0,51 \times 0,85 \times 14,89 \times 10^3 = 5163,85x$$

$$F_s = 0,54 \times 10^{-4} \times 1539,13 \times 10^3 = 83,11 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 83,11 \times 0,141$$

$$\mathbf{M_{Rd} = 11,72 \text{ kNm}}$$

$$F_c = F_s \rightarrow x = \frac{83,11}{5163,85}$$

$$x = 0,016 \text{ m}$$

$$d = 17,7 - 3,01 = 14,69 \text{ cm}$$

$$z = 0,147 - 0,4 \times 0,01$$

$$z = 0,141 \text{ m}$$