

APROFUNDAMENTO DA ANÁLISE DAS PATOLOGIAS EM ALVENARIAS DE COMPARTIMENTAÇÃO INDUZIDAS PELA DEFORMAÇÃO DOS SUPORTES

DANIELA PALMA MACIEL

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

JULHO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 20010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais.

“Pedras no caminho? Guardo todas, um dia vou construir um castelo...”

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

Ao concluir este trabalho é hora de agradecer a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a sua realização.

Quero agradecer ao Professor Doutor Hipólito de Sousa, orientador desta tese, pela excepcional disponibilidade e interesse demonstrado ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço ao Engenheiro Rui Sousa pela disponibilidade em fornecer algum material de pesquisa que foi essencial para o conteúdo deste trabalho.

Aos colegas de curso pelo apoio prestado e longas horas de companhia especialmente aqueles com que partilhei o percurso académico desde a ESTG até à conclusão do curso na FEUP.

Finalmente queria agradecer à minha família especialmente aos meus pais que me incentivaram e apoiaram nos bons e maus momentos da minha vida.

RESUMO

As paredes de alvenaria têm um papel evidente na construção em Portugal, evoluindo a um ritmo crescente, apesar de actualmente serem objecto de poucos cuidados. As paredes interiores de compartimentação também evoluíram, mas de uma forma mais reduzida no que toca a exigências funcionais comparativamente às paredes de fachadas.

Com o presente trabalho procurou-se avaliar o comportamento das paredes de compartimentação, sem função estrutural, na interacção destas com a estrutura de suporte em betão armado, avaliando em que medida a deformação desta tem reflexos nas paredes.

Apresenta-se numa primeira fase uma breve descrição sobre as paredes de alvenaria em geral, focando a importância das alvenarias de compartimentação, passando pelas exigências funcionais que devem ser respeitadas na sua execução, não esquecendo as normas regulamentares. Destacam-se as principais anomalias a que estão sujeitas as paredes de alvenaria, dando maior importância ao fenómeno da fissuração, designadamente o relacionado com a excessiva deformação do suporte. Além de serem identificadas as patologias aborda-se também as possíveis medidas preventivas para minimizar essas anomalias.

Grande parte das patologias deste tipo de paredes poderiam ser minimizadas se, no projecto e na fase de execução fossem tidos determinados cuidados. No decorrer deste trabalho serão abordadas exigências e limitações no que diz respeito ao projecto de alvenarias e como devem ser organizados os trabalhos na fase de execução.

Numa segunda fase deste trabalho serão feitas considerações gerais sobre a estabilidade das alvenarias de compartimentação, com e sem aberturas. Recorrendo ao programa de análise estrutural de elementos finitos *Robot*, apresentam-se os resultados de uma análise de sensibilidade de modo a avaliar a influência das deformações dos elementos estruturais no comportamento mecânico das paredes de alvenaria de compartimentação. Nesta análise aprofunda-se o efeito da existência de aberturas na parede.

PALAVRAS-CHAVE: Alvenarias não estruturais, comportamento mecânico, patologias em alvenarias, simulação numérica, elementos finitos.

ABSTRACT

Masonry walls have an evident role in Portuguese construction work, supported by a steady evolution, even though they are still not being handled with sufficient care. Inner compartmented walls have also evolved although their demands fall behind the functional demands of other front walls.

With the present work we evaluated the behaviour of compartmented walls without structural function, the interaction with the support concrete structures by evaluating the extent to which the deformation is reflected in these walls.

First we present a brief description about masonry walls in general, focusing on the importance of compartmented masonry, and presenting their functional demands, that must be upheld in their execution, and their regulatory standards. We shall focus on some of the major anomalies to which masonry walls are subjected to, giving special relevance to phenomenon cracking as a result of excessive deformation of the support. Apart from being identified pathologies, we also present possible preventive measures to minimize those anomalies.

A great set of pathologies in these types of walls could be minimized if during the project phase they were not neglected and if during their execution they were handled more carefully. In this presentation of our work we will assert demands and limitations regarding masonry projects and how these projects should be organized during their execution.

Then, on the second part of our work, general considerations about the stability of compartmented masonry, with and without openings, will be made. Using the software *Robot* for structural analysis of finite elements, we present our results for sensibility analysis as a way of evaluating the deformation of structural elements in the mechanical behaviour of partitioning masonry walls. In this analysis we deepen the effect of the existence of openings in the wall.

KEY-WORDS: Non-structural masonry, mechanical behaviour, masonry pathologies, numerical simulation, finite elements.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVOS	1
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2. ALVENARIAS INTERIORES DE COMPARTIMENTAÇÃO EXIGÊNCIAS E COMPORTAMENTO	3
2.1. GENERALIDADES SOBRE ALVENARIAS DE COMPARTIMENTAÇÃO	3
2.1.1. CLASSIFICAÇÃO	5
2.1.2. MATERIAIS – TIJOLO	5
2.1.3. JUNTAS DE ASSENTAMENTO	6
2.1.4. REVESTIMENTOS (REBOCO).....	7
2.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS E REGULAMENTARES ACTUAIS	8
2.2.1. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS.....	8
2.2.2. EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS REGULAMENTARES	10
2.2.3. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	11
2.3. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DAS PAREDES DE COMPARTIMENTAÇÃO	12
2.3.1. MÉTODOS DE CÁLCULO (EC6)	13
2.3.1.1. Resistência característica à compressão	13
2.3.1.2. Resistência característica ao corte.....	16
2.3.1.3. Resistência característica à flexão.....	17
2.3.2. COMPORTAMENTO MECÂNICO E DEFORMABILIDADE DE PAREDES.....	17
2.3.2.1. Resistência mecânica	17
2.3.2.2. Acções verticais	18
2.3.2.3. Deformabilidade	20
2.3.2.4. Valores máximos de deformação.....	20
2.3.2.5. Limites de deformação da laje de betão armado.....	21

2.3.3. LIGAÇÃO ENTRE PAREDE DE ALVENARIA E ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO	21
2.3.4. COMPORTAMENTO DAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO	22
2.3.5. INFLUÊNCIA DOS REVESTIMENTOS NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA PAREDE	22

3. PROJECTO E EXECUÇÃO DE ALVENARIAS NÃO ESTRUTURAIS

3.1. INTRODUÇÃO	25
3.2. PROJECTO DE ALVENARIAS – CONDICIONANTES	26
3.3. PROJECTOS DE ALVENARIA – EXIGÊNCIAS E LIMITAÇÕES	27
3.4. EXECUÇÃO DE ALVENARIAS NÃO ESTRUTURAIS – CONTROLO DA QUALIDADE	28
3.4.1. ORGANIZAÇÃO DOS TRABALHOS	29
3.4.2. ASSENTAMENTO DO TIJOLO	30
3.4.3. CONTROLO DA QUALIDADE	33

4. ANOMALIAS EM PAREDES DE ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL.....

4.1. GENERALIDADES	37
4.2. FENÓMENO DA FISSURAÇÃO	38
4.2.1. IMPORTÂNCIA NO CONTEXTO DA PATOLOGIA EM PAREDES	38
4.2.2. CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS.....	39
4.2.3. COMO SE PROPAGAM – MECANISMOS DE FORMAÇÃO	40
4.3. FISSURAÇÃO DEVIDO À DEFORMAÇÃO DO SUPORTE	43
4.3.1. PADRÕES DE FISSURAÇÃO	43
4.3.2. MEDIDAS PREVENTIVAS	46
4.3.3. TÉCNICAS DE REPARAÇÃO	48

5. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....

5.1. INTRODUÇÃO	51
5.2. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	52
5.3. MODELAÇÃO DA ESTRUTURA	54
5.3.1. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA <i>ROBOT</i>	54
5.3.2. DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA	54

5.3.3. CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS	56
5.3.4. DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS E ACÇÕES CONSIDERADAS	58
5.4. SIMULAÇÃO NUMÉRICA.....	62
5.5. SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	66
5.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	68
5.6.1. AMBAS AS LAJES COM IGUAL RIGIDEZ	68
5.6.2. LAJE SUPERIOR POUCO RIGIDA + LAJE INFERIOR MUITO RIGIDA	69
5.6.3. LAJES SUPERIOR MUITO RIGIDA + LAJE INFERIOR POUCO RIGIDA	70
5.7. CONCLUSÕES FINAIS	71
6. CONCLUSÕES.....	79
6.1. CONCLUSÕES FINAIS.....	79
6.2. TRABALHOS FUTUROS.....	80
BIBLIOGRAFIA.....	83
A1. VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA EFECTUADA PARA O CASO DE AMBAS AS LAJES APRESENTAREM ELEVADA RIGIDEZ.....	1.1
A2. VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA EFECTUADA PARA O CASO EM QUE A LAJE INFERIOR É MAIS RÍGIDA QUE A SUPERIOR	2.1
A3. VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA EFECTUADA PARA O CASO DA LAJE SUPERIOR MUITO RIGIDA E LAJE INFERIOR POUCO RIGIDA.....	3.1

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1: Corte esquemático de soluções para paredes interiores. A) Parede em Gesso Cartonado. B) Painel em Tijolo Cerâmico revestido a Gesso 8cm.	4
Fig.2.2: Características das paredes.	4
Fig.2.3: Pormenor de parede simples de compartimentação. Exigências principais.	9
Fig.2.4: Pormenor de parede entre fogos. Exigências principais	10
Fig.2.5: Pormenor de parede entre fogo e área comum. Exigências principais.....	10
Fig.2.6: Sobreposição das unidades de alvenaria.....	14
Fig.2.7: Resistências à flexão, f _{xk1} e f _{xk2}	17
Fig.2.8: Avaliação da esbelteza das paredes.....	19
Fig.2.9: Esquema de uma padieira.....	19
Fig.3.1: Representação dos 5M's da Qualidade. Diagrama Causa – Efeito.	25
Fig.3.2: Marcação das paredes a partir dos eixos de referência.....	31
Fig.3.3: Primeira fiada de paredes simples no interior.....	31
Fig.3.4: Marcação das fiadas subsequentes	31
Fig.3.5: Verificação do nivelamento.....	31
Fig.3.6: Assentamento do tijolo, pressão no assentamento, controlo do prumo das paredes e do nível das fiadas.	32
Fig.4.1: Classificação de anomalias de uma parede	37
Fig.4.2: Manifestações típicas de fissuras. A) Formação de fissura diagonal. B) Formação de fissura escalonada. C) Combinação de fissuras	42
Fig.4.3: Manifestação típica de fissuras com origem no revestimento.	43
Fig.4.4: Fissuras em paredes de compartimentação: Deformação do suporte maior que a deformação da viga superior.	43
Fig.4.5: Fissuras em parede de compartimentação: Deformação do suporte inferior à deformação da viga superior.	44
Fig.4.6: Fissuração em parede de compartimentação: Deformação do suporte idêntica à deformação da viga superior	44
Fig.4.7: Fissuração em paredes com aberturas causadas pela deformação dos componentes estruturais.....	45
Fig.4.8: Fissuração nas paredes de compartimentação: deformação de consolas.	45
Fig.4.9: Fissuração horizontal na base da parede provocada pela deformação excessiva da laje	46

Fig.4.10: Detalhes construtivos para prevenção de fissuras	47
Fig.4.11: Detalhes de juntas flexíveis para prevenção de fissuras	47
Fig.5.1: Detalhes de juntas flexíveis para prevenção de fissuras	51
Fig.5.2: Geometria dos elementos finitos.....	52
Fig.5.3: Erros de discretização significativos	53
Fig.5.4: Discretização aceitável	53
Fig.5.5: Módulos de cálculo do Robot.....	55
Fig.5.6: Modelo da estrutura após a definição dos apoios, da carga distribuída e da malha	55
Fig.5.7: Tipo de laje adoptada na simulação.....	57
Fig.5.8: Caracterização da malha de elementos finitos	58
Fig.5.9: Parede centrada em relação à estrutura	63
Fig.5.10: Parede excêntrica em relação à estrutura	63
Fig.5.11: Abertura centrada em relação à parede	63
Fig.5.12: Abertura excêntrica em relação à parede.....	63
Fig.5.13: Comportamento da parede centrada sujeita à deformabilidade das lajes	71
Fig.5.14: Deformação da parede centrada.....	72
Fig.5.15: Comportamento da parede excêntrica sujeita à deformabilidade das lajes	72
Fig.5.16: Comportamento da parede excêntrica sujeita à deformabilidade das lajes	72
Fig.5.17: Representação da direcção das tensões na superfície da parede	73
Fig.5.18: Representação da direcção das tensões na superfície da parede com abertura centrada ...	73
Fig.5.19: Representação da direcção das tensões na superfície da parede com abertura excêntrica.	73

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1: Propriedades da argamassa de assentamento no estado fresco e endurecido.....	6
Quadro 2.2: Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizados	11
Quadro 2.3: Classe de Resistência ao Fogo (Sistema Europeu).....	12
Quadro 2.4: Classificação de Resistência ao Fogo com Escalões de tempo, expressos em minutos .	12
Quadro 2.5: Valores da constante K a utilizar no cálculo de f_k com argamassa convencional	15
Quadro 2.6: Classificação das unidades de alvenaria segundo o EC6	15
Quadro 2.7: Valores de f_{vk0} e valores limites de f_{vk} para argamassa convencional	16
Quadro 3.1: Causas de anomalias – Erros de Projecto.....	26
Quadro 3.2: Causas de anomalias – Erros de Execução	28
Quadro 3.3: Actividades sujeitas a controlo da qualidade e a sua aprovação.....	33
Quadro 4.1: Classificação das principais causas da fissuração em paredes	39
Quadro 4.2: Exemplos de mecanismos de fissuração.....	41
Quadro 4.3: Tipificação das soluções de intervenção correctiva da fissuração em paredes	48
Quadro 5.1: Espessura da laje utilizada nas simulações.....	56
Quadro 5.2: Propriedades mecânicas adoptadas para os materiais do modelo.....	59
Quadro 5.3: Acções consideradas na simulação	62
Quadro 5.4: Características das simulações realizadas no programa Robot	64
Quadro 5.5: Síntese dos resultados obtidos pelo programa Robot.....	66
Quadro 5.6: Localização da possível ocorrência de fissuras na parede	74

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

APICER – Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica

CCTV – Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

CEN – European Committee for Standardization

CIB – Conseil International du Bâtiment

CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

EC2 – Eurocódigo 2

EC6 – Eurocódigo 6

IPQ – Instituto Português da Qualidade

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado

RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas

RJ-SCIE – Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

MEF – Método dos elementos finitos

Todos os símbolos usados neste trabalho estão definidos ao longo do mesmo.

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Actualmente, na construção nacional, as paredes de alvenaria mantêm uma grande aceitação quer na construção de paredes de fachada, quer de paredes divisórias em edifícios correntes. A alvenaria é entendida como toda a construção executada com blocos naturais e artificiais, assentes com um aparelho adequado e ligados por argamassa.

As alvenarias de compartimentação no interior dos edifícios têm como função específica definir os vários compartimentos das habitações, bem como proceder à separação entre os diversos fogos e/ou espaços comuns, quando se tratem de edifícios construídos para habitação colectiva.

Além da importância funcional, as paredes de compartimentação interiores mais os seus revestimentos assumem uma relevância tanto construtiva como económica, não podendo ser esses valores menosprezados no custo total da obra. No entanto, nos dias que correm são um dos elementos construtivos onde se observam mais danos e dos quais os utentes mais se queixam. De forma a satisfazer o utilizador final e tendo em conta a qualidade da construção, quando se inicia um processo construtivo deve-se pensar em como garantir um óptimo funcionamento do edifício a construir. Sendo as paredes parte integral de um edifício e de grande importância económica, a documentação nacional relativa às características mecânicas das várias alvenarias continua escassa, mesmo continuando a ser o maior foco de anomalias. Um mau funcionamento deve-se às diversas cargas que actuam no edifício, como o peso próprio dos elementos e cargas permanentes, onde os elementos de suporte como lajes e vigas sofrem deformações muitas vezes excessivas. As flechas geradas por essas deformações são incompatíveis com a capacidade de deformação das paredes não estruturais que estão ligadas à estrutura, tendo como consequência o aparecimento de patologias.

Em Portugal, a anomalia mais frequente relacionada com as alvenarias é a fissuração das paredes, estando interligadas com esta a degradação dos revestimentos e acabamentos, e o problema de estanqueidade da água e humidade no que toca a paredes exteriores.

Uma elevada percentagem das manifestações patológicas têm origem em debilidades nas etapas do projecto e planeamento, sendo estas, muitas vezes mais graves comparando com as falhas provenientes da má execução e qualidade dos materiais empregues.

1.2. OBJECTIVOS

A elaboração deste trabalho tem como finalidade aprofundar o conhecimento das patologias das paredes de alvenaria com função de compartimentação interior, associadas à deformação dos suportes.

O estudo do comportamento da alvenaria é um assunto que se reveste de grande interesse e actualidade, quer em termos de investigação científica, quer em termos de resultados práticos. Em qualquer dos casos, um dos primeiros objectivos deve ser o conhecimento da regulamentação existente e das exigências associadas a este tipo de paredes. A realização deste trabalho passa pela concretização dos seguintes objectivos:

- Fazer um apanhado das exigências funcionais e regulamentares existentes para as paredes em alvenaria de compartimentação e compreender o comportamento mecânico destas paredes, consideradas não-estruturais. Este comportamento deverá estar relacionando com as características individuais dos elementos que a compõe (tijolo, argamassa de assentamento e revestimento) com a deformabilidade dos elementos de suporte.
- Serão abordadas as principais causas do fenómeno patológico associado aos elementos de suporte excessivamente deformáveis que é a fissuração.
- Por simulação numérica, pretende-se avaliar o estado de tensão induzido pela deformação dos suportes e a sua interacção com as paredes, sendo estas não-estruturais.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A organização do trabalho tem em conta os objectivos traçados, sendo este estruturado em seis capítulos. A respectiva descrição é apresentada em seguida. O critério na divisão adoptada parte de uma abordagem teórica geral terminando com uma análise concreta do problema, seguida de uma conclusão.

No Capítulo 1 é feita a presente introdução, descrevendo os aspectos gerais e objectivos que levaram ao desenvolvimento do trabalho.

No Capítulo 2 são feitas algumas considerações teóricas relacionadas com as paredes em alvenaria de compartimentação, desde as características dos elementos que fazem parte da alvenaria de tijolo cerâmico e o seu revestimento. Estão presentes as exigências funcionais e regulamentares em vigor, bem como a descrição do comportamento mecânico deste tipo de paredes e o tipo de acções a que estão sujeitas, passando pelos métodos de cálculo mencionados no EC6 – Projecto de estruturas de alvenaria.

No Capítulo 3 explanam-se as mais variadas condicionantes presentes na fase de projecto e na fase de execução de paredes em alvenaria de tijolo que causam anomalias muitas vezes de difícil reparação. De forma a diminuir os erros de projecto e de execução são citados princípios e regras básicas de boas práticas construtivas.

No Capítulo 4 são apresentadas as anomalias que ocorrem nas paredes em geral, focando com maior interesse o fenómeno da fissuração que está relacionado com a deformação dos elementos de suporte. São abordadas neste capítulo, algumas medidas preventivas e técnicas de reparação de fissuras.

No Capítulo 5 destina-se a uma análise de sensibilidade recorrendo a um programa de cálculo estrutural, Robot 2010. Sendo um programa de elementos finitos, começa-se com uma breve descrição ao método dos elementos finitos, m.e.f., prosseguindo com a caracterização do programa utilizado, descrição da modelação estrutural realizada e resultados obtidos.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões deste trabalho e possíveis trabalhos futuros.

Em Anexo estão expostos os painéis ilustrativos dos resultados obtidos.

2

ALVENARIAS INTERIORES DE COMPARTIMENTAÇÃO_ EXIGÊNCIAS E COMPORTAMENTO

2.1. GENERALIDADES SOBRE ALVENARIAS DE COMPARTIMENTAÇÃO

Apesar das paredes em alvenaria de tijolo representarem o sistema mais tradicional de paredes quer da envolvente quer mesmo de divisórias, recentemente existe uma evolução ao nível dos materiais empregues na compartimentação interior. Antes da caracterização das alvenarias de compartimentação, objecto de estudo deste trabalho, importa referir alguns aspectos importantes dos vários sistemas mais leves que existem como alternativa à parede tradicional.

Actualmente, as paredes divisórias em gesso cartonado são um dos sistemas que tem vindo a conhecer um grande desenvolvimento, sendo utilizado em vários tipos de edifícios, e sendo procurado devido ao seu carácter polivalente, rapidez de aplicação, facilidade de execução e qualidade de acabamento [1]. As vantagens deste material são tentadoras quando se fala de estética e praticabilidade, podendo ter qualquer forma e receber qualquer tipo de acabamento, são resistentes ao fogo, o aumento do isolamento térmico e acústico, e competitivas em relação às tradicionais. As instalações são executadas e testadas durante a construção das paredes, evitando a abertura de roços, logo menos desperdício de material e mão-de-obra. As desvantagens são a menor durabilidade, o custo de mão-de-obra, e a fragilidade dos painéis para fixação de cargas.

Outro exemplo de solução são as paredes em tijolo cerâmico revestido a gesso, indicado mesmo para zonas húmidas (cozinhas e casas de banho). Tratam-se de painéis em forma de paralelepípedo compostos por um núcleo de tijolo revestido a gesso, de forma a apresentarem as duas faces maiores perfeitamente planas e topos com uniões tipo macho-fêmea, de forma a permitirem o encaixe das peças. Possuem resistência à flexão e dureza superficial, permitindo suportar pesos consideráveis sem deformação ou rotura e, devido à presença do gesso, resiste a pancadas ou raspadelas. Estes painéis pré-fabricados são considerados incombustíveis, não inflamáveis, tal como a alvenaria tradicional. Devido ao comprimento dos painéis o rendimento da montagem é melhorado, poupando-se tempo na fase de acabamento devido aos blocos já virem revestidos. Apesar disso, a mão-de-obra deve ser especializada no que toca à montagem e colagem, pois não se utilizam argamassas idênticas às usadas noutros tipos de alvenarias correntes. Embora a solução atinja espessuras de parede pequenas contribuindo para o aumento das áreas de compartimentação que limitam, e apresentar uma menor sobrecarga sobre os seus elementos de suporte, pode ser inibidor ao nível do projecto de instalações. [2]

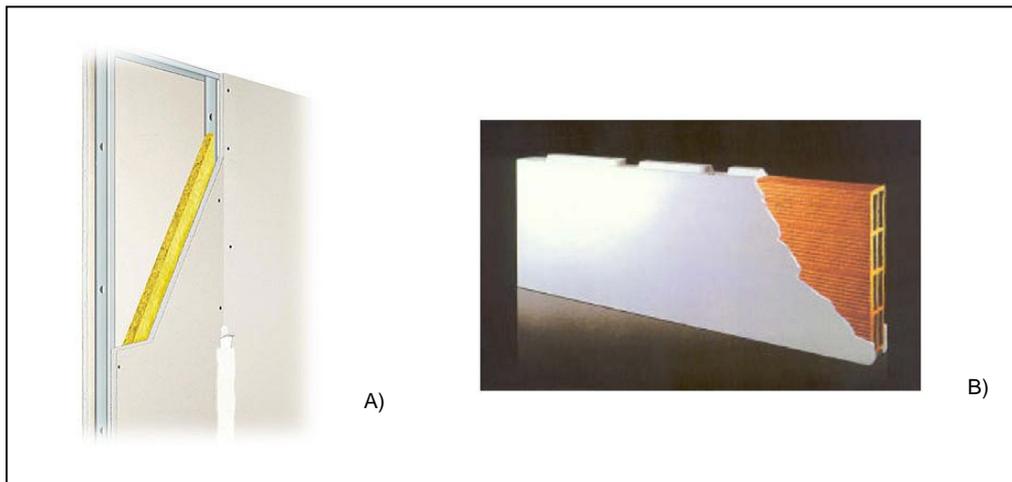


Fig.2.1: Corte esquemático de soluções para paredes interiores. A) Parede em Gesso Cartonado. B) Painel em Tijolo Cerâmico revestido a Gesso 8cm.

Depois de serem apresentadas algumas das vantagens e desvantagens de outras soluções alternativas para paredes interiores, e sabendo que os processos construtivos e as técnicas de aplicação dos materiais estão em progressiva evolução e especialização, ainda assim a forma de construir mais frequente em Portugal continua a ser as paredes em alvenaria de tijolo.

As paredes em alvenaria têm excelentes potencialidades para satisfazer as diversas exigências funcionais que lhes correspondem. Além das exigências funcionais e regulamentares, as exigências particulares do utilizador e a sua satisfação em relação à segurança, conforto e salubridade do dia a dia, bem como as condições específicas de exposição do edifício, fazem parte de um conjunto relacionado com as características e propriedades da alvenaria.

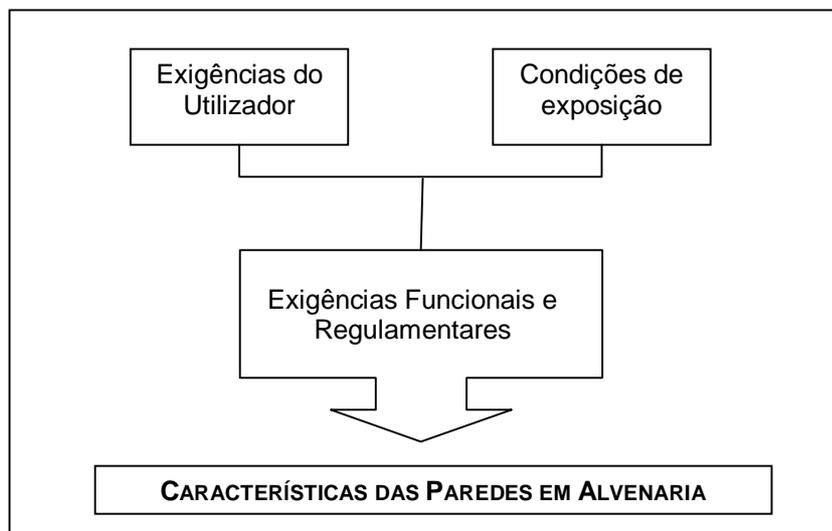


Fig.2.2: Características das paredes.

Neste capítulo, depois de uma breve caracterização dos constituintes das paredes em alvenaria, ainda será apresentado uma descrição referente ao comportamento mecânico deste tipo de paredes, relacionando com as características das juntas de argamassa, revestimento e também com as possíveis ligações aos elementos estruturais de suporte.

2.1.1. CLASSIFICAÇÃO

As paredes de alvenaria podem ser classificadas segundo vários pontos de vista. No que respeita à função que desempenham no espaço, esta pode ser estrutural ou não estrutural. Dentro das paredes de alvenaria não estrutural, base de estudo deste trabalho, sendo uma alvenaria não resistente pode ser dividida em duas categorias: paredes da envolvente ou de compartimentação interior.

As alvenarias da envolvente têm como objectivo principal constituir separação entre o ambiente habitado e o exterior, tendo uma grande utilização no preenchimento dos edifícios de estrutura reticulada e mesmo na execução de edifícios de pequeno porte em alvenaria. As alvenarias de compartimentação interior têm, tal como o próprio nome indica, função de divisão, nomeadamente na separação do espaço interior e limitação dos diferentes espaços. Utilizam-se geralmente com espessuras entre os 7 e os 15cm. Como requisitos fundamentais aparecem, apesar de, por vezes contraditórios, a sua leveza e o isolamento acústico.

As paredes de compartimentação interior são geralmente simples e realizadas com alvenaria de tijolo cerâmico de furação horizontal de 7 ou 11cm. No caso de compartimentos como casas de banho e cozinhas, devido à necessidade de embeber grande número de instalações, as paredes convém ser de espessuras maiores como 15cm. Existem também paredes de separação de fogos e de confrontação com zonas comuns, sendo neste caso paredes duplas que apresentam normalmente isolamento acústico no interior, devido aos requisitos de conforto acústico e eventualmente térmico a que estão sujeitas.

2.1.2. MATERIAL – TIJOLO

Em Portugal, o tijolo cerâmico é correntemente o material mais utilizado na construção do tosco em alvenaria. A justificação que existe para a sua grande utilização deve-se ao baixo custo unitário, associado às características apropriadas para a função que desempenha. Os tijolos empregues na execução de paredes devem ter qualidade, dimensões, formas e demais características especificadas no respectivo projecto. As características exigidas e o seu comportamento em obra estão sujeitos a disposições regulamentares e especificações próprias.

A antiga regulamentação portuguesa existente para o tijolo de alvenaria, refere-se às suas características e ensaios aplicáveis bem como aos formatos e tolerâncias dimensionais, NP 80 e NP 834, respectivamente. Em 2006 tornou-se obrigatória a marcação CE. Este requisito, para além da alteração das características e dos ensaios, apresenta uma orientação diferente relativamente à norma portuguesa. Enquanto a norma portuguesa especifica os valores a atingir para cada característica, a norma europeia especifica apenas as características e as tolerâncias admissíveis na norma EN 771-1 e os métodos de ensaio nas normas da série EN 772. Esta situação permite que cada produtor declare os valores que garante para os seus produtos, obrigando por sua vez, o comprador a definir as exigências para a aplicação pretendida. [3]

Em Portugal, tradicionalmente, existem vários tipos de tijolos, e no que respeita ao seu formato, estes podem ser maciços, furados e perfurados (de acordo com a norma portuguesa NP-834). Os tijolos

furados têm uma maior utilização na realização de paredes não resistentes, com a função de compartimentação nas estruturas de betão armado.

2.1.3. JUNTAS DE ASSENTAMENTO

As juntas de assentamento, constituídas por argamassa, estão relacionadas com a estabilidade da alvenaria. Têm como principal função, para além de unir os elementos de alvenaria para conferir rigidez à parede, também o de acomodar as irregularidades da superfície de assentamento do elemento, quando este apresenta faces irregulares, resultando uma melhor uniformidade do conjunto. Em síntese, as funções das juntas de assentamento são:

- solidarizar os elementos;
- distribuir uniformemente a tensão de contacto entre elementos, permitindo que estes apresentem pequenas irregularidades superficiais ou desvios geométricos, sem que daí resultem roturas localizadas;
- aumentar a resistência ao corte e à tracção da parede, quer no seu plano, quer no plano transversal;
- contribuir para a estanquidade da parede, impedindo o atravessamento desta por fluxos de ar ou água. [4]

Para que estas funções sejam cumpridas com rigor, as juntas de assentamento estão sujeitas a certas exigências que devem ser respeitadas, tais como:

- geometria das juntas (espessura e acabamento superficial);
- composição das argamassas;
- características físicas e químicas da argamassa e dos seus constituintes;
- fabrico das argamassas;
- execução das juntas em obra. [4]

Uma grande parte das exigências está relacionada com as propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido, que será utilizada. Considera-se o estado fresco, aquele em que a argamassa ainda é trabalhável ou deformável plasticamente sob a acção de pequenas solicitações. O estado endurecido corresponde quando a argamassa já ultrapassou a idade necessária para lhe conferir resistência mecânica suficiente para resistir a esforços. No quadro seguinte, Quadro 2.1, apresentam-se os requisitos básicos para as argamassas de assentamento no estado fresco e endurecido.

Quadro 2.1: Propriedades da argamassa de assentamento no estado fresco e endurecido.

ESTADO FRESCO	ESTADO ENDURECIDO
Consistência	Resistência à compressão
Retenção de água	Aderência superficial
Coesão da mistura	Durabilidade
Exsudação	Capacidade de absorver deformações

O aumento da proporção de cimento da argamassa, no estado fresco, acarreta uma maior exsudação, menor tempo de endurecimento e aumento da retracção e coesão. No estado endurecido acontece o aumento da resistência à compressão, da aderência superficial e a diminuição na capacidade de

acomodar as deformações. A cal nas argamassas possibilita, no estado fresco, um aumento na trabalhabilidade, retenção de água e coesão. Também gera a diminuição da exsudação e retracção na secagem. No estado endurecido o aumento na proporção de cal provoca um aumento na aderência superficial, na capacidade de deformação e da resistência no tempo. No estado fresco e endurecido, as relações entre os componentes da argamassa no desempenho final do produto são fundamentais para as necessidades de cada obra. [5]

As argamassas de assentamento obedecem a classes que exprimem a sua resistência à compressão (as variedades correntes são M1, M2.5, M5, M10, M15 e M20, indicando o número o valor da resistência à compressão em N/mm²). Naturalmente, a selecção da argamassa a utilizar deve levar em conta a função da parede. Sendo apenas uma parede divisória, sem função estrutural, a prestação exigida à argamassa é menos exigente. [6]

2.1.4. REVESTIMENTOS (REBOCO)

Os revestimentos podem ser obtidos a partir de argamassas, em que as mais utilizadas em paredes são argamassas de cimento, argamassas de cal hidráulica, argamassas de cal aérea, argamassas bastardas (cimento + cal) e argamassas pré-doseadas.

As funções essenciais dos revestimentos passam pela regularização das imperfeições dos “toscos” das paredes, permitindo criar uma superfície uniforme, e também pode servir como um acabamento final. O grande objectivo dos revestimentos é mesmo formar uma barreira de protecção das alvenarias possibilitando uma maior estanquidade. Para desempenhar adequadamente as funções que lhe são exigidas, a argamassa deve satisfazer determinadas regras de qualidade, das quais se podem destacar:

- trabalhabilidade;
- resistência à fendilhação;
- capacidade de impermeabilização em zonas não-fendilhadas;
- permeabilidade ao vapor de água;
- aderência ao suporte;
- resistência aos choques;
- compatibilidade com o suporte;
- aspecto estético;
- durabilidade.

As exigências funcionais dos revestimentos são indissociáveis das exigências funcionais das paredes (ou mais propriamente das partes opacas das paredes). De facto, as funções atribuídas ao conjunto podem ser exercidas com maior ou menor contributo de cada um desses componentes. Há, no entanto, funções que competem em exclusivo, ou quase, a apenas um desses componentes. [7]

Existem vários tipos de revestimento sendo classificados de várias formas desde: revestimentos tradicionais; não tradicionais; quanto à função que desempenham; quanto ao tipo de ligante (nomeadamente ligantes hidráulicos; ligantes aéreos; com aditivos, de ligantes mistos, etc.); quanto à função estrutural ou de enchimento, entre outros.

Sendo que neste trabalho, tratando-se de paredes de compartimentação interiores, a classificação adoptada é baseada nas funções que desempenham, nomeadamente função de regularização e acabamento. Geralmente são utilizados revestimentos tradicionais de ligantes hidráulicos que provêm de argamassas doseadas preparadas em obra, normalmente utilizando areia da região onde se situa a obra. A sua constituição compreende, normalmente duas a três camadas:

- Chapisco ou camada de aderência, bastante fluida, rugosa, com elevada dosagem de ligante, destinada a homogeneizar a absorção do suporte e a estabelecer a ligação com a alvenaria;
- Camada de base, destinada a promover a regularização e a impermeabilização;
- Camada de acabamento, mais fina, de menor granulometria e mais fraca que as anteriores, vocacionada para protecção e para conferir um acabamento esteticamente aceitável;

Cada camada tem uma função principal diferente e deve ter uma dosagem específica, pois as várias funções implicam características diferentes e por vezes contraditórias da argamassa. Por exemplo, para ter boa aderência e ser impermeável na massa é favorável uma dosagem forte em cimento, enquanto que para ter boa resistência à fendilhação e uma permeabilidade ao vapor de água elevada é necessário reduzir o teor de cimento. Por outro lado a existência de várias camadas, aplicadas com um período de secagem entre elas, promove, só por si, um melhor comportamento à fendilhação (as fendas que se formam são de menor abertura e, por serem desfasadas, dificultam a passagem da água). No entanto actualmente, devido ao elevado custo da mão-de-obra e aos prazos impostos à construção, usam-se cada vez mais produtos pré-doseados aplicáveis numa única camada (rebocos monocamada) ou em duas camadas seguidas de pintura (massas de reboco). Esses produtos contêm diversas adições e a sua formulação elaborada permite-lhes, em princípio atingir com menos camadas níveis de desempenho que as misturas correntes apenas conseguem com três ou mais. Naturalmente, as exigências para estas argamassas pré-doseadas têm que ser superiores, para que o reboco, no seu conjunto, tenha desempenho semelhante ao reboco corrente. [8]

2.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS E REGULAMENTARES ACTUAIS

No que respeita às exigências das paredes de alvenaria, três das exigências essenciais da construção são objecto de regulamentação e aplicam-se quer a paredes exteriores como interiores: protecção contra o ruído, segurança em caso de incêndio, economia de energia e isolamento térmico. [9] Sendo que as exigências térmicas só são relevantes na confrontação com locais não aquecidos.

Em 2006 foi publicado o novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [10], de modo a assegurar o conforto térmico do interior do edifício com o objectivo de economizar energia. Para a segurança dos edifícios em caso de incêndio, de modo a acompanhar a evolução dos processos construtivos dos últimos tempos, foi aprovado em 2007 o novo Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RGSCIE) [11] que menciona as classificações tanto de reacção ao fogo como a resistência ao fogo dos produtos constituintes e dos elementos de construção. A 1 de Julho de 2008 entrou em vigor o novo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) que assegura a vertente do conforto acústico no âmbito do regime da edificação, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem estar das populações, em articulação com o regime jurídico relativo ao ruído ambiente. [12]

2.2.1. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

As exigências funcionais das paredes de alvenaria devem ser, para determinada aplicação, a referência para a escolha da solução a usar. As exigências funcionais de uma parede de alvenaria dependem do local onde estão instaladas, se envolvem o exterior ou apenas o interior, ou mesmo se estão presentes em zonas mais húmidas. As exigências funcionais podem ser divididas em três grupos: [13]

- Exigências de Segurança
 - Segurança e estabilidade estrutural;

- Segurança contra risco de incêndios (materiais incombustíveis);
- Segurança contra intrusões;
- Capacidade de permitir suspensão de equipamentos pesados.
- Exigências de Saúde e de Conforto
 - Conforto higrotérmico;
 - Conforto acústico;
 - Estanqueidade ao ar e à água;
 - Conforto visual;
 - Conforto tátil;
 - Higiene.
- Exigências de Economia
 - Custos iniciais;
 - Custos de exploração e manutenção;
 - Adaptabilidade e versatilidade;
 - Durabilidade e funcionalidade.

De um modo geral, as exigências citadas anteriormente são aplicáveis a todo o tipo de paredes. Claro que, como foi dito anteriormente, as exigências vão depender do local e das características dos espaços onde se localiza determinada parede. No caso das paredes de compartimentação interiores, Fig.2.3, tendo como objectivo principal a “gestão” do espaço interior, apenas são obrigatórias ter em conta as exigências regulamentares nos domínios do comportamento acústico. No entanto, existem paredes no interior de habitações que requerem um bom comportamento de estanquidade face ao vapor de água produzida em zonas como as casas de banho e cozinhas. As paredes com funções de divisão de fogos, Fig.2.4, ou em contacto com áreas comuns, Fig.2.5, também estas consideradas de compartimentação, tem um maior grau de exigências, nomeadamente contra incêndio e acústicas e/ou térmica, daí já implicar que sejam normalmente constituídas por um sistema de parede dupla, com a caixa de ar completamente preenchida por um material de isolamento acústico.

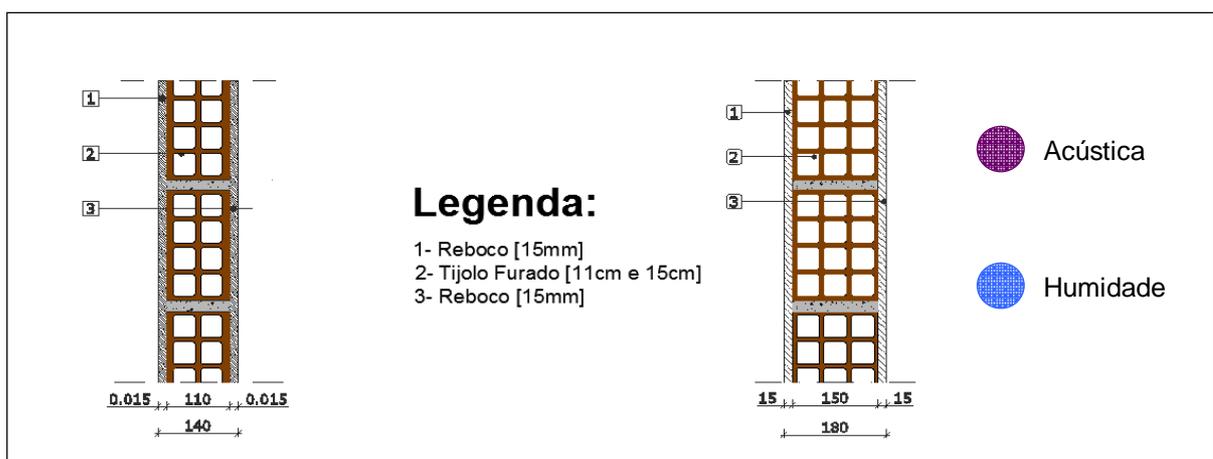


Fig.2.3: Pormenor de parede simples de compartimentação. Exigências principais.



Fig.2.4: Pormenor de parede entre fogos. Exigências principais.



Fig.2.5: Pormenor de parede entre fogo e área comum. Exigências principais.

2.2.2. EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS REGULAMENTARES

O parâmetro relevante que está definido no RRAE para as paredes de alvenaria de compartimentação interior, é o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, denominado por D_n . Este índice, D_n , caracteriza a diferença entre os níveis médios de pressão sonora medidos entre dois locais interiores (compartimentos emissor e receptor). Também estão consideradas na regulamentação as paredes exteriores, mas com outro índice de isolamento sonoro de denominação diferente, $D_{2m,n}$, que caracteriza a diferença entre os níveis médios de pressão sonora medidos no exterior e no interior, no compartimento em estudo.

No quadro seguinte, Quadro 2.2, estão indicados índices exigidos para as paredes de edifícios de habitação e mistos.

Quadro 2.2: Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizados. [9]

Local Emissor	Local Receptor	Requisitos
Exterior do edifício em (zonas mistas)		$D_{2m, n, w} > 33$ dB
Exterior do edifício em (zonas sensíveis)		$D_{2m, n, w} > 28$ dB
Compartimentos de um fogo adjacente		$D_{n, w} > 50$ dB
Locais de circulação comum do edifício		$D_{n, w} > 48$ dB
Caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores	Quartos ou zonas de estar do fogo	$D_{n, w} > 40$ dB
Garagem de estacionamento automóvel		$D_{n, w} > 50$ dB
Locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão		$D_{n, w} > 58$ dB

Existem vários factores que contribuem para a qualidade e satisfação dos níveis de isolamento sonoro, tais como:

- área do elemento de separação entre os espaços em causa;
- distribuição e características (incluindo a permeabilidade ao ar) dos vários tipos de elementos ou componentes que constituem a parede (zona corrente da parede e vãos);
- as transmissões marginais, devidas às ligações entre elementos construtivos;
- as transmissões parasitas devidas, nomeadamente, a grelhas e condutas de ventilação (ou de exaustão), e a caixas de estores. [9]

2.2.3. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

A exigência do Regulamento de Segurança contra Riscos de Incêndio em Edifícios (RJSCIE) - DL 220/2008, varia com a Utilização-Tipo do edifício e, no caso específico das paredes, varia com a localização e função que desempenham.

Para paredes de alvenaria, uma das exigências de desempenho ao fogo caracteriza-se através da Reacção ao Fogo dos produtos de construção em função da não combustibilidade, da inflamabilidade e da velocidade de propagação das chamas. Este indicador é definido pelo contributo do material para a origem e desenvolvimento do incêndio, sendo a qualificação dos materiais feita através de 5 classes (M0 a M4, correspondendo os limites a materiais não combustíveis e a materiais facilmente inflamáveis, respectivamente) Para elementos de alvenaria – tijolos e blocos –, argamassa de assentamento e revestimentos tradicionais deve ser esperada a não-combustibilidade e são classificados com A1, nenhuma contribuição para o fogo (classe europeia), ou M0, incombustíveis (classe nacional).

Uma outra exigência referente às paredes é a Resistência ao Fogo, caracterizada pelo impedimento de propagação de um incêndio de um local para o outro, que é expressa pelo tempo em que a estabilidade está assegurada, não apresentando degradação nem deformação que altere a função e as suas características. No quadro seguinte, Quadro 2.3, estão representadas as classes de Resistência ao Fogo de elementos de construção, neste caso podemos ter como exemplo o elemento parede, consoante a função que desempenha no Edifício.

Quadro 2.3: Classe de Resistência ao Fogo (Sistema Europeu).

Funções do Elemento	Exigências		
	Capacidade carga	Estanquidade	Isolamento Térmico
Suporte	R		
Compartimentação		E	
			EI
Suporte + Compartimentação		RE	
		REI	

As exigências estabelecidas em termos dos parâmetros de classificação E (estanquidade à emissão de chamas, de gases quentes e de gases combustíveis, I (isolamento térmico a temperaturas elevadas) e R (capacidade de suporte de cargas) podem variar de 30 a 180 minutos, nas situações de maior risco. A título exemplificativo refira-se que, para limitar a propagação do incêndio pelo exterior do edifício, a exigência aplicável à parede pode atingir a classe EI 60 ou REI 60, consoante a parede desempenha, respectivamente, apenas funções de compartimentação ou funções de suporte e de compartimentação. Nas paredes de separação de espaços com ocupações distintas a exigência pode atingir os 180 minutos (EI 180 ou REI 180). Nas paredes de separação de determinadas vias horizontais ou verticais de evacuação de espaços adjacentes, podem ser exigidas classes de resistência ao fogo EI 90 e EI 180, respectivamente. Caso as paredes em causa tenham também função de suporte a classe requerida passa a ser REI (...). Uma parede com função de compartimentação (parede não-estrutural), constituída por um pano de alvenaria de tijolo cerâmico furado com 0,11 m de espessura, revestido em ambas as faces por uma argamassa de cimento ou de gesso com 15 mm de espessura obtém uma classe de resistência ao fogo EI 90. [9] O critério de desempenho aplicáveis às paredes divisórias são as mencionadas no quadro seguinte, Quadro 2.4.

Quadro 2.4: Classificação de Resistência ao Fogo com Escalões de tempo, expressos em minutos. [14]

Classificação	Escalões de Tempo									
	15	20	30	45	60	90	120	180	240	
E		20	30		60	90	120			
EI	15	20	30	45	60	90	120	180	240	
EI – M			30		60	90	120			
EW		20	30		60	90	120			

E_ Estanquidade a chamas e gases quentes I_ Isolamento térmico M_ Acção mecânica W_ Radiação

2.3. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DAS PAREDES DE COMPARTIMENTAÇÃO

Todos os elementos construtivos tenham eles função estrutural ou não, devem ser avaliados mecanicamente. Actualmente, com o avanço da tecnologia das estruturas em geral e particularmente de betão armado, e devido ao aumento dos vão entre pilares e do número de pisos, deve haver um maior cuidado ao projectar as paredes de alvenaria, de modo á sua interacção com as estruturas de betão armado estarem ponderadas.

As alvenarias de um modo geral estão sujeitas as seguintes acções:

- deformações imediatas devido à deformação da estrutura;
- deformações a longo prazo em função da carga permanente;
- acções horizontais devido ao vento e aos sismos;
- variação da humidade e da temperatura sobre a estrutura;
- análise global das deformações, pois os valores previstos para a flecha das estruturas geralmente interferem nas alvenarias.

No caso das paredes de compartimentação interior sem função estrutural, ao contrário da regulamentação de térmica, acústica e segurança contra incêndios exposta anteriormente aplicável a este tipo de paredes, sob o ponto de vista da estabilidade, tais paredes não têm qualquer enquadramento. Este tipo de paredes só é importante para quantificar a sua acção na estrutura. Apenas as deformações na estrutura são estudadas e regulamentadas as suas flechas, mas, a preocupação com os efeitos destas deformações nas alvenarias e as patologias associadas não é muito valorizado.

As alvenarias de compartimentação interior estão fundamentalmente sujeitas a cargas verticais e horizontais no seu plano e a cargas horizontais no plano perpendicular. Estas paredes, não tem qualquer função estrutural no edifício, sendo dimensionadas apenas para suportar o seu peso próprio e para resistir às acções actuantes sobre ela.

2.3.1. MÉTODOS DE CÁLCULO (EC6)

Em Portugal não existia até ao aparecimento dos eurocódigos, documento nacional para o projecto de estruturas em alvenaria. No entanto, o “Eurocódigo 6 – Projecto de estruturas de alvenaria” vem colmatar esta lacuna. Apesar desta referência normativa se aplicar à análise de estruturas de alvenaria, não haverá problemas se forem aplicados os mesmos conceitos às paredes sem função estrutural. Neste caso de paredes em alvenaria de preenchimento de estruturas porticadas em betão armado, é feita uma verificação à estabilidade apenas local.

O EC6 define três propriedades mecânicas da alvenaria essenciais para projecto, que podem ser obtidas através de ensaios normalizados ou dos valores tabelados: resistência à compressão, resistência ao corte e resistência à flexão. [15]

2.3.1.1. Resistência característica à compressão

De acordo com o ponto 3.6.1 do Eurocódigo 6 [16], no caso de alvenaria simples realizada com argamassa convencional, carregada perpendicularmente à direcção das juntas de assentamento, com todas as juntas preenchidas, a resistência característica à compressão pode ser calculada pela seguinte expressão, desde que não se considere f_m superior a 20 MPa nem a $2f_b$, consoante o que for menor:

$$f_k = K \cdot f_b^{0.65} \cdot f_m^{0.25} \quad (2.1)$$

Onde,

f_k – é a resistência à compressão característica da alvenaria, em N/mm²;

f_b – é a resistência à compressão característica normalizada das unidades, em N/mm²;

f_m – é a resistência à compressão característica da argamassa, em N/mm^2 .

K – constante fornecida no Quadro 2.5, que varia conforme o tipo de unidades e de argamassa utilizado.

Existem outras fórmulas para outros tipos de argamassa (argamassa-cola, argamassa leve e juntas de assentamento descontínuas).

A expressão (2.1) é válida apenas para paredes de alvenaria com juntas verticais preenchidas, ou seja, ocupando um mínimo de 40% da espessura das unidades, como se ilustra na Figura 2.6. Estas podem, no entanto, ser estendidas a alvenarias com juntas não preenchidas, para efeitos de verificação de segurança a carregamentos verticais e a cargas concentradas, desde que se tomem cuidados para garantir a segurança às acções de corte, devendo ser tomadas em consideração todas as acções horizontais actuantes na estrutura. Nos cantos da alvenaria ou nas ligações entre as paredes perpendiculares, a sobreposição dos elementos de tijolo não deve ser inferior à espessura do tijolo.

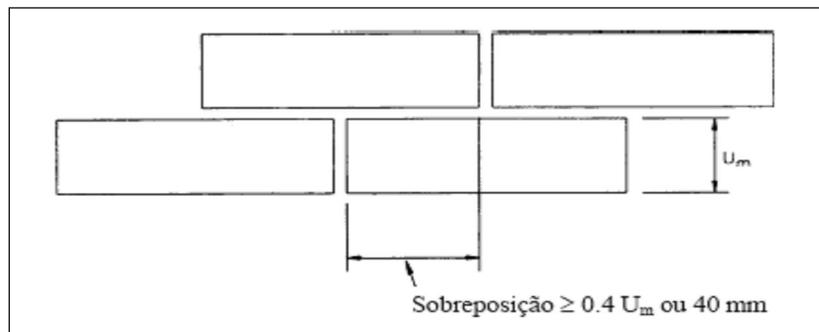
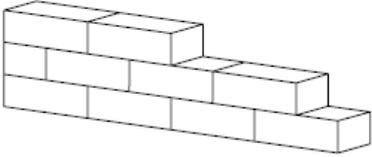
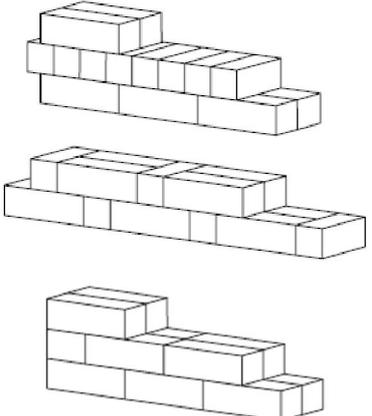


Fig. 2.6: Sobreposição das unidades de alvenaria.

Quadro 2.5: Valores da constante K a utilizar no cálculo de f_k com argamassa convencional.

Conjunto alvenaria	Grupo 1	Grupo 2a	Grupo 2b	Grupo 3	Conjuntos típicos de alvenaria (exemplos)
Não existem juntas longitudinais de argamassa através da totalidade ou de parte do comprimento da parede	0.60	0.55	0.50	0.40	
Existem juntas longitudinais de argamassa através da totalidade ou de parte do comprimento da parede	0.50	0.45	0.40	0.40	

Os valores da constante K são escolhidos em função da geometria interna das unidades para alvenaria, também designada por furação (“grupo”), que vem classificado no EC6 [16]. No Quadro 2.6, apresenta-se este modelo de classificação de uma forma sucinta.

Quadro 2.6: Classificação das unidades de alvenaria segundo o EC6 [16]

Grupo (geometria interna ou furação)	Definição
Grupo 1	<ul style="list-style-type: none"> Unidades sem furos e sem rebaixos nas faces de assentamento; Unidades sem furos mas com rebaixos nas faces de assentamento com um volume total inferior a 25% do volume da unidade; Unidades com furos verticais com um volume inferior a 25%, que podem passar através da unidade, dispostos de modo a satisfazer um conjunto de exigências pré-estabelecidas, relativas à espessura dos septos e áreas de cada furo.
Grupo 2a	<ul style="list-style-type: none"> Unidades com mais de 25% e menos de 45%, no caso de tijolos cerâmicos, ou mais de 25% e menos de 50%, no caso de blocos de betão, em volume de furos verticais distribuídos sobre as faces de assentamento das unidades e que podem passar através da unidade, dispostos de modo a satisfazer, na generalidade, as exigências para as unidades do grupo 1.
Grupo 2b	<ul style="list-style-type: none"> Unidades semelhantes às do grupo 2a, com mais de 45% e menos de 55%, no caso de tijolos cerâmicos, e mais de 50% e menos de 60%, no caso de blocos de betão, por volume de furos verticais.

Quadro 2.6 (Continuação): Classificação das unidades de alvenaria segundo o EC6 [16]

Grupo (geometria interna ou furação)	Definição
Grupo 3	<ul style="list-style-type: none"> Unidades com menos de 70% em volume de furos horizontais, dispostos de modo a satisfazer diversas exigências relativas à área de cada furo, à espessura e esbelteza dos septos.

2.3.1.2. Resistência característica ao corte

No caso de alvenaria simples realizada com argamassa convencional e com todas as juntas preenchidas, a resistência característica ao corte pode ser calculada através da expressão:

$$f_{vk} = \min \begin{cases} f_{vk0} + 0.4\sigma_d \\ 0.65f_b \\ \text{máx_Quadro2.7} \end{cases} \quad (2.2)$$

Onde,

f_{vk} – é a resistência ao corte característica da alvenaria, em N/mm²;

f_{vk0} – é a resistência ao corte inicial característica da alvenaria, sob compressão nula, em N/mm²;

σ_d – é a tensão de compressão actuante, em N/mm².

No quadro seguinte, Quadro 2.7, apresenta-se os valores da resistência ao corte sob compressão nula f_{vk0} , e os valores limites para a resistência ao corte f_{vk} .

Quadro 2.7: Valores de f_{vk0} e valores limites de f_{vk} para argamassa convencional.

Unidades de Alvenaria	Argamassa	f_{vk0} (MPa)	Valor limite f_{vk} (MPa)
Unidades cerâmicas do Grupo 1	M10 a M20	0.3	1.7
	M2.5 a M9	0.2	1.5
	M1 a M2	0.1	1.2
Unidades cerâmicas do Grupo 2a	M10 a M20	0.3	O menor valor entre a resistência longitudinal à compressão (ver nota abaixo) e os valores da coluna seguinte
	M2.5 a M9	0.2	
	M1 a M2	0.1	
Outras unidades do Grupo 2a e unidades do Grupo 2b	M10 a M20	0.2	1.4
	M2.5 a M9	0.15	
	M1 a M2	0.1	
Unidades cerâmicas do Grupo 3	M10 a M20	0.3	Nenhum valor limite excepto os fornecidos por outras expressões
	M2.5 a M9	0.2	
	M1 a M2	0.1	

Nota: Para unidades de alvenaria dos Grupos 2a e 2b, a resistência longitudinal à compressão das unidades toma o valor da resistência medida, com δ não superior a 1.0. Nos casos em que se preveja uma resistência longitudinal à compressão superior a 0.15 f_b , dada a distribuição da furação, não são necessários quaisquer ensaios.

2.3.1.3. Resistência característica à flexão

O método previsto no Eurocódigo 6 para cálculo da resistência característica à flexão é a realização de ensaios em provetes, de acordo com a norma EN 1052-2. Para a determinação da resistência, importa definir correctamente a orientação do plano de rotura, o qual pode ser paralelo às juntas de assentamento, no caso de acções normais à superfície da parede, nomeadamente a acção do vento, ou perpendicular às juntas de assentamento nos restantes casos.

Existem valores tabelados para esta resistência, com plano de rotura paralelo às juntas de assentamento (f_{xk1}) e com plano de rotura perpendicular às juntas de assentamento (f_{xk2}). Estes valores variam entre um mínimo de 0.05 MPa para f_{xk1} e um máximo de 0.40 MPa para f_{xk2} .

Salienta-se que a resistência à flexão da alvenaria f_{xk1} deve ser utilizada unicamente para o cálculo de paredes sujeitas a acções (por exemplo, o vento) normais à sua superfície. O valor de f_{xk1} deve ser considerado igual a zero nos casos em que a rotura da parede conduza a um colapso significativo ou à perda completa da estabilidade global da estrutura. [16]

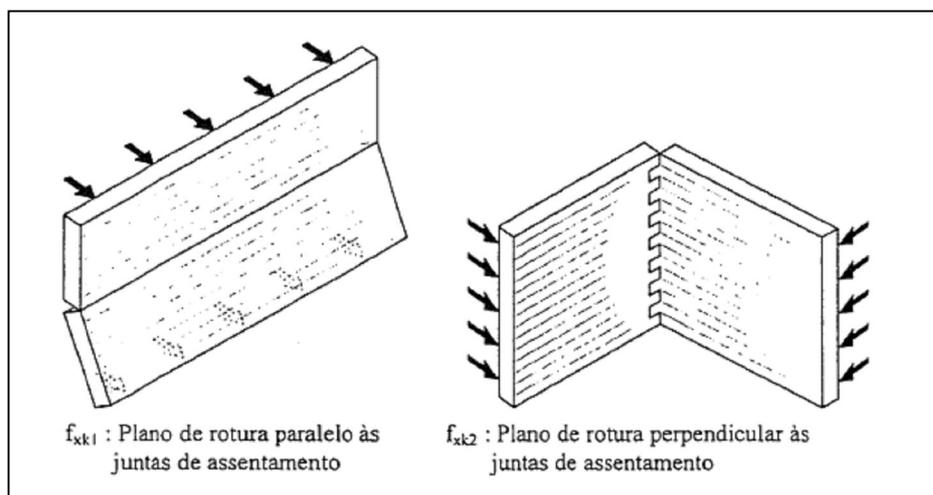


Fig.2.7: Resistências à flexão, f_{xk1} e f_{xk2} .

2.3.2. COMPORTAMENTO MECÂNICO E DEFORMABILIDADE DE PAREDES

Como foi mencionado anteriormente, as paredes divisórias não são habitualmente analisadas estruturalmente, mas tal como qualquer outro tipo de paredes também são solicitadas mecanicamente por uma grande variedade de acções. Visto que os princípios de estabilidade destas paredes muitas das vezes são desrespeitados, tendo como consequência uma percentagem significativa de anomalias, o estudo do seu comportamento mecânico é indispensável, de forma a que a sua estabilidade seja assegurada.

2.3.2.1. Resistência mecânica

A resistência mecânica das paredes de alvenaria depende das características individuais dos elementos que a compõe (tijolos, argamassa de assentamento e revestimento), das resistências da aderência de todo o conjunto, das características geométricas da alvenaria e da ligação da parede com a estrutura de suporte.

A resistência mecânica das paredes é entendida como a capacidade que a mesma apresenta de manter a sua integridade física, a partir de um estado de consolidação do conjunto (componentes e juntas), quando solicitadas pelas diversas acções mecânicas previstas em projecto. [17]

As paredes, além de sofrerem solicitações no seu plano devido ao seu peso próprio e deformações estruturais, também sofrem acções perpendiculares ao seu plano, como, as cargas do vento, choques, cargas suspensas, eventuais forças de manobra, entre outras. As ligações da alvenaria aos elementos estruturais devem ser eficientes e capazes de transmitirem as cargas suportadas.

Em situações específicas, será necessário a incorporação de componentes que possam aumentar a capacidade da parede para resistir a tais esforços, ou seja, em regiões onde ocorrem tensões pontuais, por exemplo, vãos de portas e janelas, deve-se prever o uso de componentes resistentes à tracção para absorvê-las.

Um dos aspectos que se considera fundamental a ter em conta na resistência das paredes de alvenaria é a qualidade da mão-de-obra. A incorrecta dosagem e mistura da argamassa, ajuste incorrecto dos tijolos, formação incorrecta das juntas, movimentação das unidades de alvenaria após a colocação, perda de alinhamento, prumo e fracas condições de cura, são os principais factores que influenciam a resistência mecânica de uma parede de alvenaria.

Em obras inspeccionadas, a qualidade da mão-de-obra aumenta de forma tão dramática, que a resistência de uma parede pode ser até 70% mais elevada do que em obras sem inspecção. As condições de cura também podem influenciar a resistência da parede de alvenaria.[18] A elevada temperatura, baixa humidade relativa e a incidência de ventos podem levar a uma cura da argamassa demasiado rápida, levando a níveis de retracção que se traduzem em perda de aderência.

2.3.2.2. Acções Verticais

Nas paredes de compartimentação, devido à simples função que desempenham, as cargas verticais são reduzidas em comparação com as alvenarias resistente. Resultam apenas do peso próprio das paredes e dos elementos que estão suspensos ou descarregam sobre elas, como pode ser o caso de padieiras, caixilharias ou outros.

A garantia de estabilidade a acções verticais destas paredes não é particularmente condicionada pela resistência dos elementos e da argamassa, mas sobretudo pela esbelteza da parede. É assim, importante, que na concepção se assegure a rigidez das paredes e a sua estabilidade através de uma espessura adequada relativamente à altura e comprimento da parede. Sem prejuízo de análises mais rigorosas é vulgar ver referido que a esbelteza corrente, entre pisos de paredes de preenchimento, não deve ser superior a 30, podendo ser estabelecida de acordo com o esquema da Fig.2.8. [4]

Condições:

$$\left. \begin{array}{l} l_{1a}/e_1 \\ l_{1b}/e_1 \end{array} \right\} \leq 50; \quad h_1/e_1 \leq 30; \quad h_2/e_2 \leq 30; \quad l_2/e_2 \leq 50$$

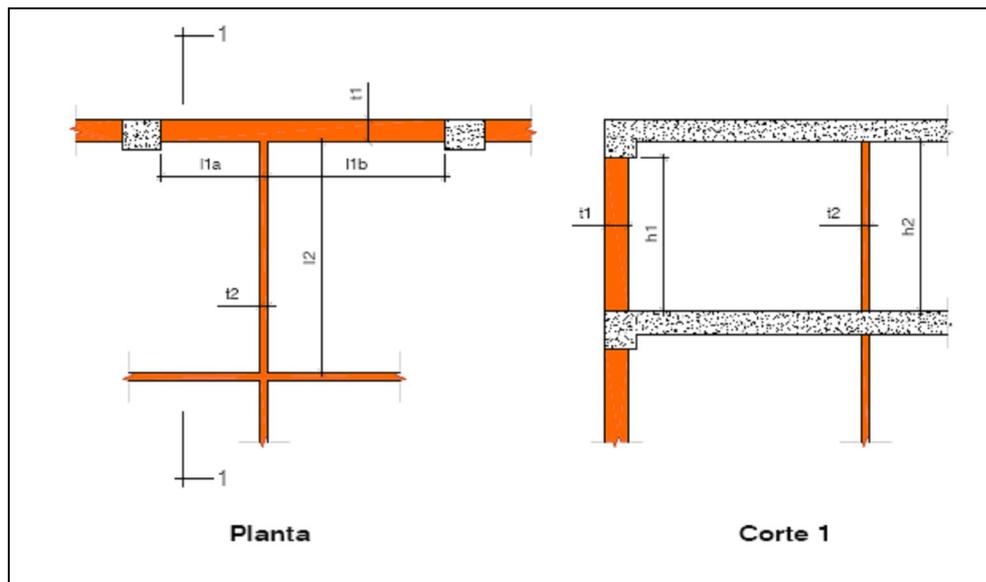


Fig.2.8: Avaliação da esbelteza das paredes. [4]

As alvenarias apoiadas, conforme a Fig.2.9, definido um vão livre, L , e com uma altura, H , ão modeladas sob o ponto de vista estrutural por:

- Vigas, quando a relação entre o vão livre e a altura é maior que 2, adoptando a teoria as peças lineares, sendo o braço considerado 80% da altura da viga.
- Viga-parede, quando a relação entre o vão livre e a altura é menor que 2, sendo o braço considerado 15% do somatório do vão livre com o triplo da altura. [19]

Estes locais, representam alguns dos pontos singulares mais problemáticos das paredes de alvenaria, com especial destaque para as padieiras. A capacidade resistente destas alvenarias a cargas verticais depende da resistência à flexão e ao corte das alvenarias. A verificação da estabilidade destes elementos só é conseguida mediante a consideração de alvenarias armadas.

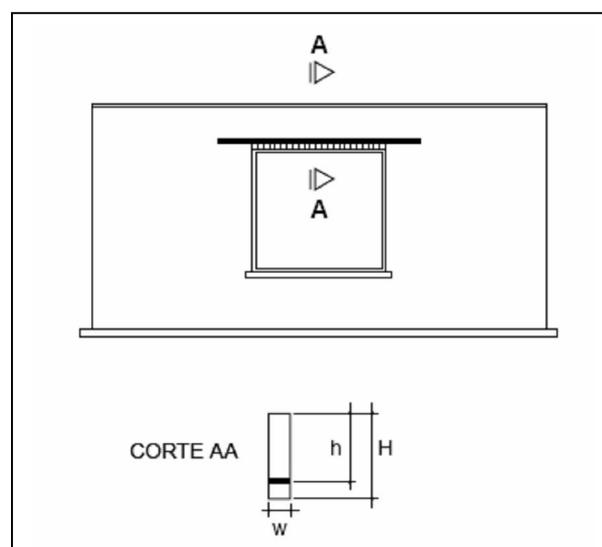


Fig.2.9: Esquema de uma padieira.

2.3.2.3. Deformabilidade

A deformabilidade dos suportes onde repousam as paredes de compartimentação podem provocar acções sobre a parede, e sendo estas paredes relativamente frágeis, têm pouca capacidade de se adaptarem às deformações, mesmo que pequenas. A deformação excessiva dos elementos estruturais dos pavimentos de betão armado (lajes e vigas) é a causa mais importante da fissuração deste tipo de alvenarias.

A deformação dos elementos de betão armado tem assumido cada vez mais importância, não por ser um problema novo, mas porque, quer devido a alterações dos métodos de cálculo, quer devido à melhoria das características resistentes dos materiais envolvidos, se utilizam cada vez mais elementos estruturais que vencem grandes vãos sem necessidade de aumento da sua rigidez. Este facto faz com que sejam cada vez maiores as deformações permitidas a estes elementos. Devido a este facto, os regulamentos obrigam que além da verificação em relação ao estado limite de segurança também se execute uma verificação em relação ao estado limite de deformação. [20]

Em edifícios de médio e grande altura com estrutura reticulada, as paredes em alvenaria quando sobrepostas em pavimentos não absolutamente rígidos, podem induzir nas paredes dos primeiros andares, deformações superiores, da ordem do dobro e do triplo respectivamente para o caso de um edifício de 3 e 6 andares, à que se registam nos pavimentos mais elevados.

Existem vários estudos experimentais e analíticos realizados em vários países, de forma a permitir uma melhor compreensão do problema das deformações que levam à fissuração das paredes de alvenaria devido à deformação excessiva do suporte.

Como exemplo, temos os estudos experimentais realizados pelo CSTC, de curta duração e de longa duração, onde as paredes são assentes sobre vigas de suporte metálicas sujeitas a uma determinada deformação, imposta com auxílio de macacos hidráulicos e com medição da deformada do suporte e dos valores das deformações e tensões em determinados pontos da parede. [21]

Nos ensaios de curta duração [22] determinou-se a influência dos principais factores sobre o valor da flecha crítica do suporte. Os valores das flechas que levaram à fissuração foram de 1/100 a 1/1800.

Nos ensaios de longa duração [22] a flecha inicial instantânea, sujeita ao peso da parede e aos seus acabamentos, foi aplicada por etapas ao longo da construção da parede, tendo-se imposto à viga-suporte uma deformação por patamares similar à que seria devida ao efeito de fluência num suporte-tipo em betão armado, e medida a flecha de longa duração máxima admissível antes da fissuração. As fissuras típicas tinham um funcionamento idêntico às paredes quando solicitadas para curta duração. Fissuras horizontais na zona inferior da parede – zona de concentração de tensões de tracção. A flecha total produzida durante e após a construção da parede andou pelos 1/1000.

2.3.2.4. Valores máximos de deformação

Em alvenarias de compartimentação interiores a deformabilidade dos suportes sobre os quais repousa a parede pode provocar acções sobre a parede, quer por deformação excessiva do apoio, por deformação excessiva do pavimento ou viga sobre a parede, ou mesmo por ambos. Estas acções provocam cargas importantes, mobilizando a resistência á flexão e efeitos de arcos na parede. [4]

De seguida são apresentados alguns valores obtidos por vários autores, para a capacidade máxima de deformação da alvenaria.

Num estudo de investigação que o Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTB) realizou sobre divisórias de diversos tipos de alvenaria, revelou valores de “flechas de fissuração” em torno de 1/2000 ou 1/3000 do vão, onde a flecha total, incluindo a flecha instantânea devido ao peso próprio da parede, situou-se à volta de 1/1000 do vão. [23]

Pfeffermann realizou estudos com alvenarias de tijolo cerâmico, constatando o aparecimento de fissuras quando a flecha de suporte era de apenas vão/1150, referindo ainda o aparecimento de fissuras na alvenaria mesmo com flechas da ordem de vão/1500. [24]

As prescrições belgas, bastante severas, recomendam que a flecha relativa instantânea de lajes sobre as quais se apoiam paredes não ultrapasse L/2500. Mathez da “Comissão de Deformações Admissíveis” do Conseil International du Bâtiment, citado por Pfeffermann, recomenda que a flecha máxima em lajes de piso não ultrapasse o L/1000. [25]

Manuel Pereira e José Aguiar realizaram uma avaliação experimental em paredes de alvenaria de tijolo furado com argamassa de assentamento: argamassa de cimento e areia a traço volumétrico de 1:5 e uma argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia ao traço volumétrico de 1:2:9. A deformação máxima revelada no primeiro caso foi de L/1073 e no segundo de L/769. [26]

A definição de critérios para a limitação das deformações dos suportes por vezes é controversa, pois a opção de escolha de elementos estruturais esbeltos e de paredes com capacidade de acomodação aos movimentos, origina um nível de fissuras nas paredes (quer ocorrendo logo após a construção quer no decorrer do período de exploração) relativamente aceitáveis. Aceitáveis no que toca à sua reparação que poderá ser devidamente integrada num plano de conservação regular do edifício.

2.3.2.5. Limites de deformação da laje de betão armado

Tal como já foi referido, os valores máximos de deformação a serem considerados são os indicados quer no REBAP, quer no EC2. Assim, relativamente ao REBAP, o artigo 72.º refere, “*Nos casos correntes de vigas e lajes de edifícios, a verificação da segurança em relação aos estados limites de deformação poderá limitar-se à consideração de um estado limite definido por uma flecha igual 1/400 do vão para combinações frequentes de acções; porém se a deformação afectar paredes divisórias, e a menos que a fendilhação dessas paredes seja contrariada por medidas adequadas, aquela flecha não deve ser tomada com valor superior a 1,5 cm.*”. No entanto, o mesmo artigo diz, “*A verificação de segurança referida no número anterior considera-se satisfeita desde que se cumpram as condições expressas nos artigos 89.º, 102.º e 113.º.*” [27].

Desta forma e tendo em conta que a análise a efectuar no presente trabalho será relativa a lajes, ou seja, tendo em conta o artigo 102.º, é de esperar que à partida os valores obtidos para a flecha máxima respeitem as condições enunciadas no artigo 72.º.

Segundo o EC2 e de acordo com o ponto 7.4.1. (5), tem-se, “*As flechas susceptíveis de danificar partes adjacentes à estrutura devem ser limitadas. Para as flechas que ocorram depois da construção, o limite vão/500 é normalmente adequado...*” [28].

2.3.3. LIGAÇÃO ENTRE PAREDE DE ALVENARIA E ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO

É importante perceber a ligação entre o pano de alvenaria e a estrutura, pois o desempenho global da parede depende do tipo de ligação que é feita.

A solução mais corrente para ligação consiste na toscagem da superfície inferior em betão com que a alvenaria vai estar em contacto e a colocação de ligadores de topo entre a alvenaria e a estrutura, que são embebidos na junta de argamassa. Entre a alvenaria e a face inferior da laje convém que exista uma junta para permitir a deformação da laje sem que esta prejudique a estabilidade da parede. Os revestimentos das paredes nas zonas de ligação devem ter capacidade melhorada de suportar movimentos, por exemplo pela inclusão de rebocos armados.

Existe uma outra solução, que consiste na adopção de juntas elásticas, na parte lateral e superior da alvenaria. A espessura das juntas elásticas deve ser entre 10 a 20 mm e o seu preenchimento feito com material compressível.

2.3.4. COMPORTAMENTO DAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO

Grande parte das vezes, a capacidade resistente e a deformabilidade das alvenarias não dependem só das características mecânicas dos elementos que as constitui, mas sim da interacção entre esses elementos e as juntas de argamassa.

As estruturas reticuladas de betão armado quando sujeitas a cargas verticais excessivas, provocam deformações acentuadas nas alvenarias, mais concretamente ao nível das juntas de argamassa verticais e de assentamento das paredes. Esta é considerada a zona do pano da parede menos resistente às acções mecânicas.

A utilização de argamassas com baixa capacidade de deformação e inadequado poder de retenção de águas face as características dos tijolos que fazem conjunto com estas, é um dos factores que influenciam as características e resistência tanto das juntas de assentamento como posteriormente da respectiva parede. A fendilhação resulta de uma destas causas ou de outras situações, como a escolha de argamassas com tensões de rotura à compressão e flexão diferentes dos tijolos e a aderência deficiente aos mesmos. A utilização de argamassas muito fortes (com elevada dosagem de cimento) sujeitas a fenómenos de retracção, ou argamassas muito fracas com deficientes características de durabilidade também estão na base da fendilhação.

As paredes em alvenaria deverão possuir argamassas menos resistentes que as unidades de alvenaria, para que a parede no seu todo consiga acompanhar os movimentos da estrutura, e evitar assim a rotura. Claro que as argamassas pouco resistentes têm desvantagens no que toca à capacidade de absorver as imperfeições, não obtendo uma boa distribuição das tensões. Por este motivo, a argamassa recomendada deve possuir uma resistência à compressão não inferior a 70% da resistência das unidades de tijolo, e que não ultrapasse a resistência dessas unidades. [29]

A resistência à compressão das paredes de tijolo de boa qualidade e sem furação excessiva tem um valor inferior ao da resistência à compressão do próprio tijolo, face à presença da argamassa. [4]

Quando está previsto um revestimento rígido ao longo da parede, as juntas de assentamento são essenciais para a redução dos movimentos entre os elementos, de modo a aumentar a durabilidade do revestimento.

2.3.5. INFLUÊNCIA DOS REVESTIMENTOS NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA PAREDE

Os principais factores mencionados no EC6 verificados atrás no subcapítulo 2.3.2, para o cálculo da resistência limite das alvenarias dependem da resistência das unidades de tijolo, do tipo e resistência da argamassa de assentamento, da configuração das juntas horizontais, verticais e longitudinal se for o

caso. É desprezada a contribuição do revestimento para estimar a resistência mecânica da parede. No entanto é sempre importante uma boa compatibilidade do revestimento com o suporte ao nível geométrico, mecânico e químico.

A compatibilidade geométrica deve-se à forma como a argamassa de revestimento deve ser aplicada, e com uma espessura suficiente de forma a disfarçar os defeitos da alvenaria. As características mecânicas referem-se à aplicação do revestimento em suportes de baixa resistência mecânica, que não deve ser muito rígido para não transmitir tensões elevadas que possam deteriorar o suporte. É importante que o revestimento apresente boa compatibilidade química, para que este resista ao ataque dos sais eventualmente existentes no suporte (por exemplo, os sulfatos) e que, por outro lado, o revestimento não contenha sais que, ao serem dissolvidos pela água (das chuvas, de condensações interiores, etc.) e transportados para o interior das alvenarias por capilaridade degradem os materiais constituintes das alvenarias. [30]

3

PROJECTO E EXECUÇÃO DE ALVENARIAS NÃO ESTRUTURAIS

3.1. INTRODUÇÃO

Quando as paredes de edifícios não apresentam função estrutural, são muitas vezes esquecidas na fase de projecto e na fase de execução, contribuindo assim para um grande aparecimento de diversos fenómenos patológicos, como fissuração, que será abordado com maior precisão no capítulo seguinte. Uma boa definição das exigências de concepção do projecto e a sua transferência para a fase de execução, juntamente com a escolha de técnicas construtivas, materiais e outros componentes a incorporar na obra, levam a uma maior qualidade no processo construtivo, Fig.3.1. Para além disso convém não esquecer que a adequada qualificação dos diversos intervenientes que se integram na fase de projecto e execução é um factor importante que condiciona todo o processo construtivo.

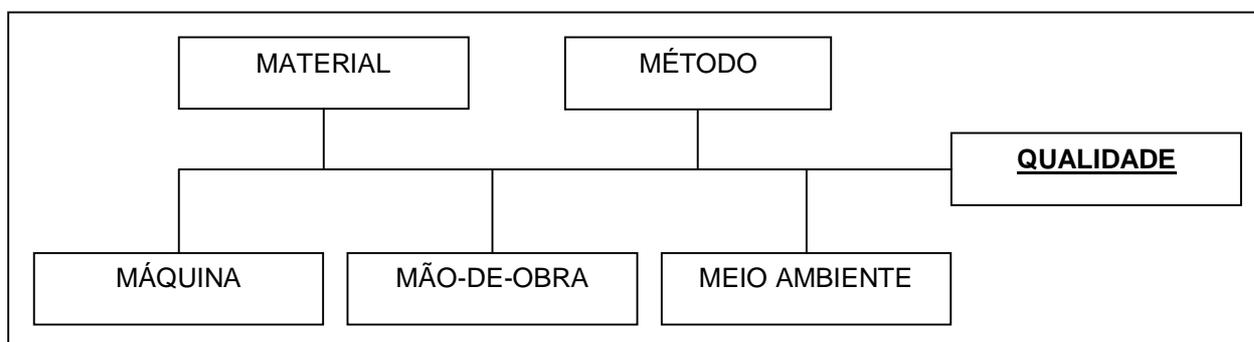


Fig.3.1: Representação dos 5M's da Qualidade. Diagrama Causa-Efeito (Ishikawa) [31]

Os objectivos de um projecto para as paredes de compartimentação em alvenaria passam pela especificação dos materiais e técnicas a serem seguidas e detalhar os aspectos construtivos capazes de conferir à parede as características e propriedades exigidas, de forma a serem respeitados, a qualidade, os prazos e custos previstos no planeamento global da obra. Daí a importância da qualificação e preparação dos diversos intervenientes, que devem conhecer as características de todos os elementos que fazem parte da estrutura de forma a assegurar o seu desempenho e a relação entre os elementos.

Devido à rapidez dos trabalhos executados em obra e à sua inadequada sequência, leva a um desacordo com a informação estipulada em projecto, no que se refere aos materiais, detalhes do projecto, métodos e técnicas propostas para execução.

Os erros cometidos na execução da estrutura são os mais difíceis de reparar, logo é conveniente uma correcta articulação entre as especialidades do projecto. Quando as especialidades do projecto não se encontram coordenadas e conformes, em termos de custos é mais vantajoso a sua correcção do que uma obra mal executada e de impossível reparação.

3.2. PROJECTO DE ALVENARIAS – CONDICIONANTES

O “Projecto” de alvenaria situa-se numa zona de fronteira entre a arquitectura e a estrutura, estando associada a outros domínios como as instalações, conservação de energia e conforto térmico, protecção contra ruído e a segurança ao fogo, sendo a sua compatibilização e coordenação normalmente insuficientes. A solução construtiva presente no projecto de arquitectura, por vezes não é detalhada e a informação acerca dos materiais, características e pormenores de execução são insuficientes. Isto deve-se ao aparecimento de novos materiais, a soluções arquitectónicas arrojadas, associadas à falta de conhecimento e informações desactualizadas.

A falta de conhecimento dos projectistas e a repetição dos mesmos erros, devido à falta de informação e comunicação levam a falhas na fase de concepção e de projecto. Na elaboração do projecto de estabilidade, a rapidez que por vezes é pretendida, a incorrecta utilização dos programas de cálculo automático e o desrespeito pelas possíveis deformações da solução construtiva conduzem a deformações induzidas pelo edifício e a maiores tensões na alvenaria.

Os cadernos de encargos apresentam muitas vezes disposições contraditórias e são quase sempre de natureza muito genérica. A acrescentar a esta lacuna, surge a deficiente pormenorização do projecto, a utilização de peças desenhadas tipo e a incorrecta escolha de materiais, quer pela sua má qualidade, inadequação às acções a que estão sujeitos ou incompatibilidade com outros materiais. Estes problemas de carácter normativo e prescritivo advêm da adopção e do uso de novas tecnologias e materiais que fizeram esquecer a maior parte das características positivas usadas na construção tradicional, tais como a experiência e o tempo, o respeito pela localização, a geografia e o clima e o uso de materiais locais. [32] O desconhecimento ou má interpretação e aplicação dos códigos, regulamentos e bibliografias técnicas e científicas da especialidade são um aspecto responsável pelas anomalias em alvenarias. Em síntese, apresenta-se no Quadro 3.1, os erros em fase de projecto que estão associados às causas de anomalias em paredes sem função estrutural.

Quadro 3.1: Causas de anomalias – Erros de Projecto.

ERROS DE PROJECTO
Deformabilidade excessiva da estrutura
Má concepção do projecto de estabilidade
Falta de coordenação entre os projectos parcelares de arquitectura e de engenharia
Inadequação dos materiais
Incompatibilidade dos materiais
Má qualidade dos materiais prescritos
Insuficiente estabilidade
Resistência da parede

Quadro 3.1 (Continuação): Causas de anomalias – Erros de Projecto.

ERROS DE PROJECTO
Humidade do terreno
Humidade de precipitação
Má concepção de ligações das paredes a outros elementos
Incumprimento das regras de concepção dos revestimentos
Isolamento térmico inexistente ou insuficiente
Ventilação inexistente ou insuficiente
Deficiente isolamento acústico da parede
Má concepção das redes
Pormenorização das redes de distribuição e drenagem de águas
Caderno de encargos deficiente
Pormenorização incompleta, com utilização excessiva de desenhos tipo desadequados à obra

3.3. PROJECTO DE ALVENARIAS – EXIGÊNCIAS E LIMITAÇÕES

No projecto de arquitectura devem estar referidas quanto às paredes do edifício as informações seguintes:

- dimensões das paredes (comprimento, largura e espessura das paredes acabadas);
- dimensões internas dos compartimentos;
- localização das aberturas de portas, janelas e instalações especiais, e suas dimensões;
- características dos revestimentos;
- detalhes construtivos de fixação das esquadrias, peças suspensas, etc;
- tratamento de juntas nas interfaces dos vãos e paredes e nas ligações entre as paredes e os componentes estruturais;
- previsão de juntas de dilatação;
- detalhe de arquitectura que possam interferir na característica e na execução da alvenaria.

No projecto estrutural deve estar contida a informação referente aos elementos estruturais e as técnicas de fixação e ligação que existe entre a estrutura e a alvenaria.

No projecto de instalações de redes de águas e redes eléctricas, entre outras, as informações básicas que devem estar presentes são:

- disposição e localização dos ramais hidráulicos;
- utilização de condutas verticais;
- instalação de peças sanitárias;
- passagem de tubagem eléctrica;
- pontos de luz, tomadas e interruptores;
- instalação de incêndio;
- instalação de gás;
- instalações telefónicas;
- equipamentos especiais.

3.4. EXECUÇÃO DE ALVENARIAS NÃO ESTRUTURAIS – CONTROLO DA QUALIDADE

Na fase de execução deve-se garantir um controle de qualidade efectivo, seja dos materiais, na sua recepção e armazenamento, seja na execução dos elementos. O CIB [37] refere que a origem dos defeitos de construção deve-se à falta de conhecimento e de experiência e às falhas de informação e comunicação entre os intervenientes no processo. O mesmo relatório defende ainda que as anomalias nunca resultam dos materiais de construção, mas sim da deficiente escolha e má aplicação que deles se faz.

A execução é a etapa considerada decisiva para o desempenho futuro das paredes de compartimentação, devendo por isso seguir com o máximo rigor possível todas as prescrições contidas em projecto, incluindo a verificação da qualidade dos materiais e componentes a serem empregues e a qualidade da execução dos elementos estruturais de suporte. Como já foi referido, em geral nunca existe um projecto de alvenarias se elas forem não-estruturais, é por esse motivo que a preparação e o planeamento da sua execução é feita pelo método tradicional e sempre do mesmo modo.

As falhas que podem ocorrer durante a execução são imensas, desde a deficiente compreensão do projecto, até à já referida deficiência no planeamento e mão-de-obra não qualificada e desactualizada. Além dos factores relacionados com a execução da parede de alvenaria propriamente dita, também pode ser afectado pelos erros de execução e comportamento de outros elementos construtivos e outras tarefas:

- a deficiente compactação e a presença de heterogeneidades no solo;
- a descofragem precoce, não respeitando os valores indicados em regulamentação própria;
- pontos singulares de paredes trabalhados com excessiva improvisação;
- incorrecta ligação das alvenarias à estrutura de betão armado;
- colocação de elementos metálicos sem protecção contra a corrosão (p.e. armaduras das juntas horizontais, armaduras em redes metálicas para rebocos);

Existem vários aspectos que são observados nas práticas construtivas em alvenarias onde resulta a grande parte das anomalias da construção, apresentados em síntese no Quadro 3.2.

Quadro 3.2: Causas de anomalias – Erros de Execução.

ERROS DE EXECUÇÃO
Incumprimento dos projectos
Deficiente compreensão do projecto
Pessoal inexperiente
Negligência na comunicação ao projectista de pormenores não executáveis ou de alterações adoptadas em obra
Negligência na avaliação das condições atmosféricas durante a execução da obra, temperatura/humidade
Compactação deficiente do solo
Estabilização deficiente do solo
Descofragem precoce ou Inadequada
Armazenamento deficiente dos materiais

Quadro 3.2 (Continuação): Causas de anomalias – Erros de Execução.

ERROS DE EXECUÇÃO
Condições de aplicação indevidas
Instalação incorrecta de barreiras de impermeabilização e drenagem de paredes enterradas
Má execução dos panos de alvenaria e de remates
Deficiente preenchimento de juntas verticais e horizontais
Utilização de argamassas com composição química inadequada, expansiva
Má execução da caixa-de-ar em paredes duplas
Instalação incorrecta de grampos ou outros elementos de ligação
Incorrecta ligação entre paredes e estrutura
Má execução de padieiras
Execução dos revestimentos incorrecta
Regularização das superfícies acabadas insuficiente
Má execução dos sistemas de distribuição de água e drenagem de águas residuais/pluviais

Executar com qualidade é o objectivo final a atingir. De seguida serão abordadas as várias fases, desde a organização dos trabalhos de alvenaria até à boa prática da construção.

3.4.1. ORGANIZAÇÃO DOS TRABALHOS

Apesar de cada obra ser única e diferente de todas as obras existem alguns princípios comuns a todas elas que podem ser seguidas no planeamento da execução das alvenarias: [4]

- Quantificação global dos trabalhos;
- Programação da sequência e duração das diversas tarefas;
- Avaliação dos meios necessários;
- Avaliação das exigências logísticas;
- Definição das equipas de trabalhos e sua qualificação;
- Definição dos instrumentos de previsão e controlo da produtividade e custos;
- Definição de procedimentos de controlo de qualidade.

É aconselhável a organização dos trabalhos de forma a gerir melhor os recursos disponíveis durante a execução da tarefa e o tempo estipulado para a sua execução. As alvenarias são consideradas como uma actividade crítica, ou seja, uma tarefa que quando se atrasa por qualquer motivo condiciona o início de outras tarefas como os revestimentos, as canalizações, instalações eléctricas, pinturas, etc.

Geralmente a execução das paredes é feita de uma forma acelerada de forma a encurtar o tempo e duração da obra. No entanto esta opção é uma das causas associadas aos problemas de deformação e fissuração das paredes. O início das alvenarias deve ser retardado de forma a evitar fenómenos de deformação dos elementos estruturais sob a acção das cargas e a retracção dos elementos, fenómenos que levam à fissuração das paredes.

Deve ser orientado que o início da execução tenha lugar depois de terminada a estrutura e por ordem inversa, de cima para baixo, ou seja num edifício de 3 pisos, começa-se o assentamento de alvenarias no 3.º piso, seguido pelo 2.º piso e terminando no piso térreo. Em situações em que o prazo da obra o exija e se o porte da obra o justificar, aponta-se a título indicativo, mais que 5 pisos, pode-se, em alternativa, começar a execução das alvenarias do 3.º piso para o 1.º piso, depois do 6.º piso para o 4.º piso e assim sucessivamente.

3.4.2. ASSENTAMENTO DO TIJOLO

Antes de se iniciar o assentamento, devem ser feitos alguns trabalhos preliminares e algumas verificações:

- preparação das superfícies e verificação do estado da estrutura ao nível da geometria, desempenho e alinhamento;
- reparação da estrutura caso seja necessário, retardando o assentamento na zona de intervenção no mínimo 3 dias após o finalizar da tarefa;
- limpeza e nivelamento dos pavimentos com régua de 2 metros;
- a superfície de assentamento deve-se encontrar rugosa e húmida;
- verificar a existência de ferros de espera na estrutura para ligação das alvenarias se estas constarem em projecto;
- verificar a implementação das medidas que assegurem o fornecimento do material no piso e das medidas de segurança colectivas e individuais necessárias à execução das alvenarias;
- os panos de alvenaria deverão ser marcados de acordo com o projecto de execução com uma tolerância de ± 5 mm;
- marcação das fiadas em altura de modo a minimizar o número de fiadas a realizar com tijolo cortado.

Depois dos trabalhos preliminares e de serem controlados todos os passos essenciais, passam a ser definidas as etapas de assentamento:

- Marcação da primeira fiada

A marcação deve estar de acordo com o descrito nos elementos do projecto de execução. É aplicada uma camada de argamassa de cimento e areia de largura compatível com a espessura desejada. Sobre esta implanta-se a primeira fiada, começando pelos ângulos, frequentemente através de dois tijolos em esquadria, a partir dos quais se traçam os alinhamentos rectos, ou curvos, quer por “batimento” de um fio pigmentado bem esticado, quer por utilização de régua e riscador de aço, deixando-se livre a localização das aberturas, estas com uma tolerância de 5mm, Figs.3.2 e 3.3. A ortogonalidade deve ser verificada, usando por exemplo um esquadro rígido, não devendo apresentar desvios superiores a 2 mm/m. [4]

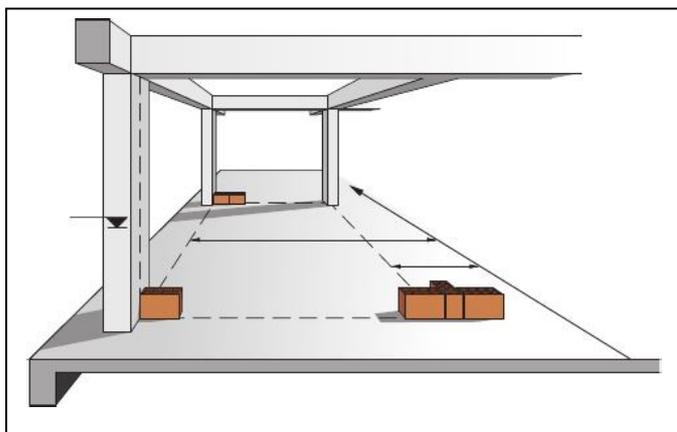


Fig.3.2: Marcação das paredes a partir dos eixos de referência.

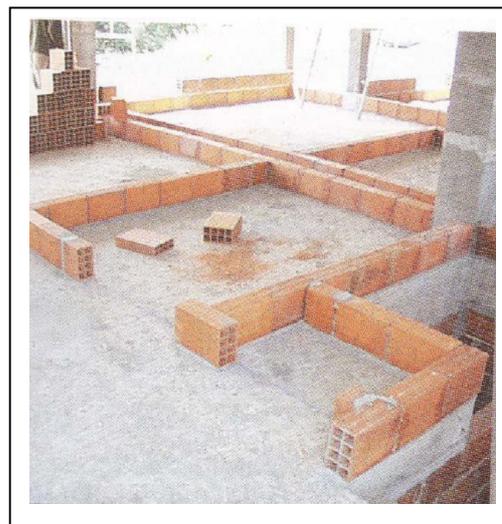


Fig.3.3: Primeira fiada de paredes simples no interior.

- Marcação em altura e nivelamento

Terminada a primeira fiada, marca-se as fiadas subsequentes, garantindo a sua horizontalidade e a verticalidade do paramento, em “fasquias”, Fig.3.4. Esta divisão deve ser executada com o objectivo de minimizar o número de fiadas a realizar com tijolos cortados, sendo por isso um processo que necessita de uma fita e compasso, realizado por tentativas sucessivas, condicionada pelas alturas dos peitoris das janelas, padieiras dos vãos e pelo pé-direito da parede.

Definidas as fasquias, estica-se um “cordel” entre cada uma delas, que permite uma constante verificação do nivelamento das juntas horizontais e inicia-se o espalhamento de leito de argamassa com largura do pano e assentamento do (s) tijolo (s), começando pelo primeiro e último da fiada. Este processo não dispensa o uso do nível, para garantir a horizontalidade de cada fiada, Fig.3.5. Para garantir a verticalidade do pano da parede, deve sistematicamente recorrer-se ao fio de prumo.

Face ao peso próprio da alvenaria e ao ritmo de presa da argamassa, por dia de trabalho não deve executar-se uma altura superior a 1,60m de parede, o que corresponde a cerca de 4 fiadas por período de trabalho (meio dia). [33]

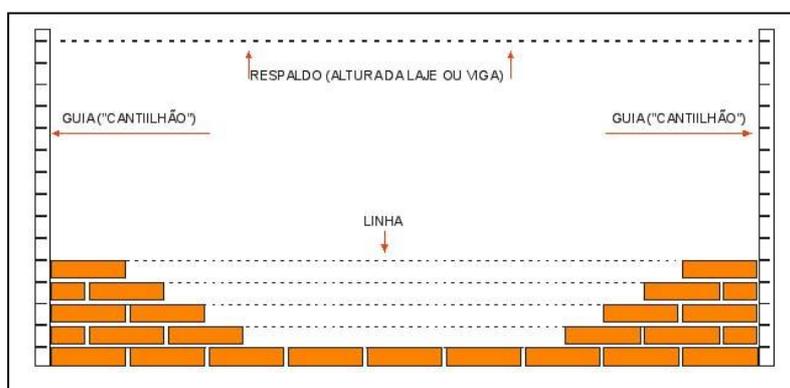


Fig.3.4: Marcação das fiadas subsequentes.

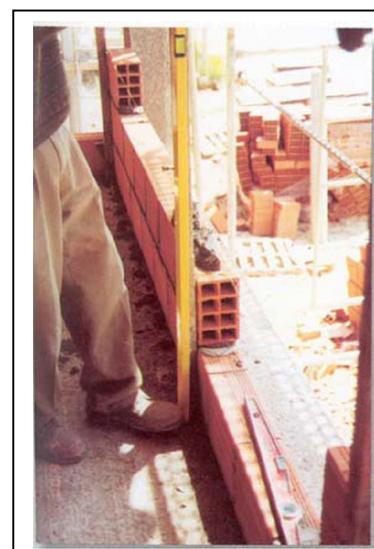


Fig.3.5: Verificação do nivelamento.

- Elevação da parede

A elevação da parede resulta da repetição de vários passos, começando pelo assentamento de tijolo sobre o leito de argamassa, carregando, esfregando e batendo com o cabo da colher de modo a garantir o posicionamento desejado. Quando colocado o tijolo faz-se um reaproveitamento da argamassa (da junta horizontal e vertical) em excesso que flui pelas juntas dos dois lados da parede. Antes da colocação do tijolo, este deve ser molhado na sua superfície inferior, e a argamassa também deve ser aplicada sobre superfície humedecida da fiada inferior.

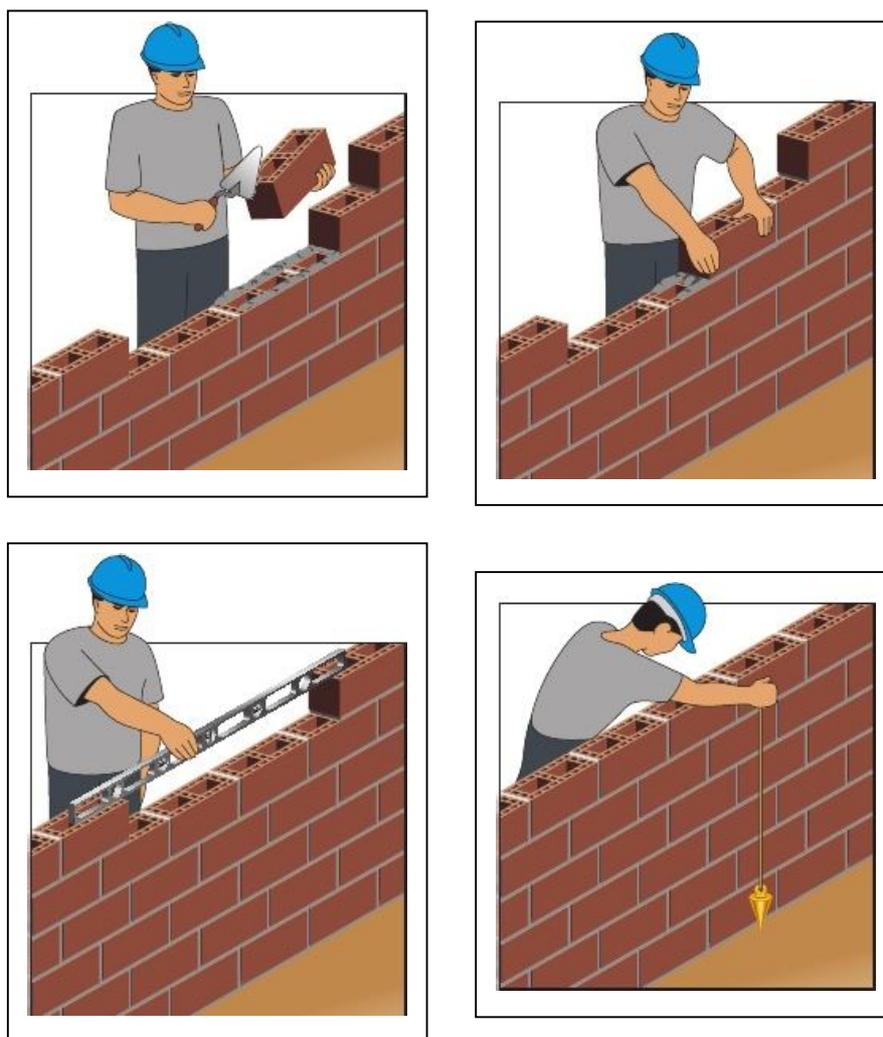


Fig.3.6: Assentamento do tijolo, pressão do assentamento, controlo do prumo das paredes e do nível das fiadas.

Assim como no início da execução, também no final dos trabalhos deverão ser feitas algumas verificações:

- alinhamento das fiadas;
- verticalidade, planeza e ortogonalidade das paredes;
- alinhamento da parede com as paredes confinantes do mesmo piso e com a estrutura;
- alinhamento com paredes de outros pisos quando pretendido;

- aspecto geral das juntas que se pretende sem rebarbas nem irregularidades e com espaçamento regular;
- dimensão das juntas horizontais com uma tolerância de 3mm;
- completo preenchimento das juntas verticais de ligação à estrutura de betão armado;
- confirmação das características necessárias à aplicação do revestimento previsto em termos de porosidade, rugosidade e aprumo.

3.4.3. CONTROLO DA QUALIDADE

Para que os elementos não-estruturais formados por alvenaria de tijolo e todos os seus constituintes, tenham um bom desempenho funcional deve ser feito na fase de execução um rigoroso controlo da qualidade. No quadro seguinte, Quadro 3.3, faz-se um resumo das actividades que devem estar sujeitas a um controlo, ou a uma verificação, se estão a ser seguidos os critérios de boa prática construtiva.

Quadro 3.3: Actividades sujeitas a controlo da qualidade e a sua aprovação.

Actividade	Aprovação
Programação do início da execução das alvenarias	Início da execução depois de terminada a estrutura e por ordem inversa, de cima para baixo, ou, em alternativa, a construção piso sim, piso não, ou ainda, começando do 3º para o 1º, depois do 6º para o 4º e assim sucessivamente.
Programação do fecho superior das alvenarias	Fecho superior das alvenarias só quando estiverem executadas pelo menos 50% destas e de cima para baixo.
Recepção e armazenamento dos tijolos	Existência de certificação do produtor, ausência de defeitos aparentes. Armazenados em pilhas não superiores a dois metros, sobre uma superfície plana, limpa e protegidos das intempéries.
Recepção e armazenamento dos ligantes	Ausência de sinais de humidade. Armazenados em pilhas não superiores a dez metros de altura e um metro e quarenta de largura, com espaço de circulação entre elas, depositados sobre estrados de madeira com ventilação inferior ou em silos protegidos das intempéries.
Recepção e armazenamento da areia	Ausência de matéria orgânica ou argilosa nas areias após análise granulométrica. Armazenada em baias, sem misturar diferentes tipos e proveniências protegidas com plástico.
Estado da argamassa imediatamente antes da sua aplicação	Apresentar boa trabalhabilidade, medida através de uma mesa de espalhamento (flow-test) e constante ao longo de todo o elemento.
Preparação das superfícies	As superfícies de assentamento de betão serão limpas de poeiras e sujidades e deverão estar rugosas e húmidas.
Marcação dos panos de alvenaria	De acordo com o Projecto de Execução, com uma tolerância de ± 5 mm.
Marcação em altura e andamento dos trabalhos	Marcação das fiadas a realizar com o objectivo de minimizar o número de fiadas a realizar com tijolos cortados com recurso a fita e compasso. Montar andaime após 1.40m e não exceder 1.60 por dia de trabalho.

Quadro 3.3 (Continuação): Actividades sujeitas a controlo da qualidade e a sua aprovação.

Actividade	Aprovação
Desencontro, preenchimento e espessura das juntas	Juntas desencontradas de pelo menos 1/3 do comprimento do tijolo, totalmente preenchidas de argamassa e espessura constante de aproximadamente 10mm.
Verticalidade e ortogonalidade das paredes.	Panos verticais e desempenados com um desvio máximo de 5mm por metro. Precisamente 90º entre paredes perpendiculares.
Execução da caleira da caixa-de-ar em paredes duplas	Após assentamento de uma fiada no pano interior, executa-se uma caleira em quarto de círculo e com pendente no sentido longitudinal, aplicando-se tubos de drenagem espaçados de 2 metros e salientes em relação ao revestimento, no mínimo 15mm, após o que se executa a primeira fiada no pano exterior e se protege a caleira.
Execução de paredes em pavimento térreo ou em contacto com o terreno	Aplicação de argamassa com aditivo hidrófugo e três demãos cruzadas de pintura betuminosa nas três primeiras fiadas.
Vãos e corte do tijolo e abertura de roços	Uso de moldes ou pré-aros indeformáveis na execução de vãos e abertura de roços com recurso de meios mecânicos.
Execução de isolamento térmico na caixa-de-ar com recurso a materiais rígidos	Uso de espaçadores ou fixadores das placas isolantes ao pano interior, para garantir que as placas se encontrem apuradas, encostadas a parede interior (com uma caixa de ar livre remanescente de 2x7 cm) e cobrir toda a sua superfície de forma a evitar a circulação de ar entre as duas faces das placas pelas juntas e assegurar a limpeza final da caixa de ar.

Em relação às argamassas de assentamento, a documentação é escassa e as exigências ao nível do projecto são desactualizadas e muitas vezes não existem. É no decorrer da obra que muitos problemas aparecem e são resolvidos com a experiência dos encarregados da obra. Actualmente vai existindo alguma documentação técnica destinada ao fabrico e aplicação das argamassas de assentamento que vêm mencionadas na descrição técnica do produto. Além das argamassas feitas tradicionalmente, já existem no mercado argamassas pré-doseadas ou prontas com o objectivo de colmatar os problemas das argamassas realizadas em obra sem qualquer controlo.

Quanto aos revestimentos tradicionais utilizados, estes podem ser aplicados na parede de uma forma manual ou aplicados por projecção. Quando a argamassa é preparada em obra deve-se ter atenção a algumas precauções de preparação:

- Nunca se deve amolecer uma argamassa, isto é, acrescentar água passado algum tempo sobre a amassadura;
- A quantidade de argamassa a preparar, deve ser tal que possa ser aplicada num período de 60 a 90 minutos, após a respectiva amassadura, devendo ser preparada tanto quanto possível em betoneira;
- Os inertes devem ser isentos de sal, detritos orgânicos e argila, não monogranulares, para que os vazios possam ser minimizados;
- Para que se verifique um aspecto uniforme nos revestimentos, é necessário assegurar a constância de qualidade dos constituintes (areia, água, ligante), e invariabilidade das proporções da mistura, em cada camada.

- Não aplicar argamassas a temperaturas inferiores a 5°C.

Antes da aplicação, o suporte deve estar limpo, desengordurado, isento de partículas soltas e a parede deve ser molhada, para que não absorva a água da argamassa. Na aplicação manual, o primeiro passo consiste em chapiscar a parede, obtendo uma superfície bastante áspera, para reforço da aderência das futuras camadas. Sobre o chapisco, é aplicada uma camada de reboco de enchimento, que se desempena muito bem até se obter uma superfície plana e regular. Esta operação de desempenho é habitualmente designada por “sarrafear”. No final, o revestimento com argamassa hidráulica, pode ser talochado ou esponjado. O acabamento à talocha, consiste em passar a talocha no reboco, tornando a superfície bastante regular. Ao mesmo tempo, deve-se colmatar qualquer imperfeição na superfície da parede. o acabamento esponjado, consiste em passar um esponja húmida sobre o acabamento talochado, tornando-o ainda mais liso e perfeito. Actualmente, tem sido mais utilizada a aplicação por projecção devido à sua rapidez de execução. [34]

4

ANOMALIAS EM PAREDES DE ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL

4.1. GENERALIDADES

Como as várias investigações desenvolvidas nas últimas décadas têm comprovado, a patologia não-estrutural dos edifícios é um fenómeno crescente, não só em Portugal, mas em muitos países. Este fenómeno tem origem em falhas técnicas que dependem, não só da evolução do sector da construção e das tecnologias construtivas, mas também da organização da produção e do tipo de mão-de-obra e dos materiais. No que se refere ao comportamento global da parede podemos classificar, de uma forma resumida, seis propostas de classificação das anomalias, apresentadas na Fig.4.1.

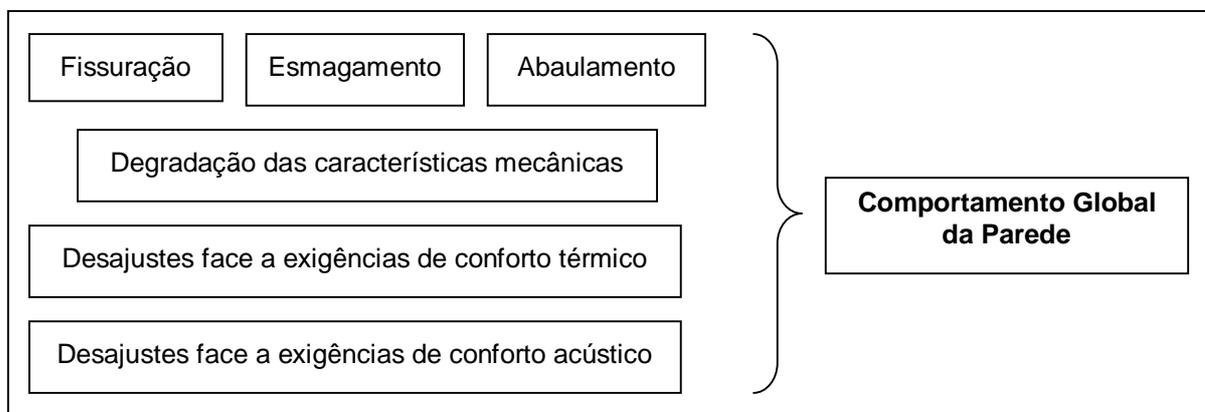


Fig.4.1: Classificação de anomalias de uma parede.

No caso das paredes não estruturais, a fissuração é a anomalia mais representativa do leque de anomalias possíveis e que afecta, do ponto de vista funcional, o desempenho de grande parte das divisórias.

Neste texto, entende-se como patologia não-estrutural aquela que se pronuncia em paredes das quais não depende directamente a estabilidade de outros elementos construtivos e quando a sua ruína não provoca consequências noutros elementos de suporte.

As causas das fissuras nem sempre são de fácil determinação, por esse motivo, é importante o seu conhecimento para que se possa definir o seu tratamento e recuperação.

A manifestação de fissuras na alvenaria não se deve à existência de uma única causa, mas sim de um somatório de algumas delas, podendo mesmo estar relacionadas com as características de cada construção em particular. No presente capítulo será apresentada informação sobre características, causas, consequências, medidas de prevenção e de reabilitação da fissuração de paredes não estruturais de alvenaria de tijolo, quando sujeita a deformações do seu suporte estrutural.

4.2. FENÓMENO DA FISSURAÇÃO

Uma fissura pode ser definida como uma descontinuidade física, provocada localmente num elemento construtivo ou num material de construção por um processo de rotura, resultante do estado de tensão nele instalado. Esta descontinuidade, ou fenda, tem em geral uma direcção preferencial de desenvolvimento (segundo a qual se define o seu comprimento) e duas direcções secundárias (segundo as quais se define a abertura e a profundidade).

As fissuras podem ter origem interna ou externa. As fissuras com origem interna são provocadas pela acção da temperatura e da humidade, enquanto que externamente ocorrem devido à acção de choques, cargas suspensas, cargas transmitidas pelos elementos estruturais ou deslocamentos da parede devido à deformação.

Adoptando uma classificação das fissuras das paredes de alvenaria segundo as suas causas mais directas, podemos organiza-las do seguinte modo: movimentos da fundação, acção de cargas externas, deformação do suporte, variações de temperatura, acção da água e da humidade, acção do gelo, ataques químicos, projecto e execução. Conhecendo as suas causas, podemos então passar à sua prevenção e reparação.

4.2.1. IMPORTÂNCIA NO CONTEXTO DA PATOLOGIA EM PAREDES

Por exemplo, a exigência de adaptação a movimentos, que é particularmente relevante no estudo da fissuração de paredes, a que se dedica este trabalho, pode subdividir-se segundo a origem dos diversos movimentos que podem ocorrer (deformação estrutural, movimentos das fundações, variações de temperatura, variações de humidade e acções químicas). Para cada uma destas exigências é necessário definir as características e a ordem de grandeza das acções, o seu efeito sobre a parede e sobre os seus diversos constituintes, bem como as medidas a tomar para garantir o desempenho final correspondente ao nível de qualidade pretendido.

Uma grande parte das fissuras em paredes de alvenaria resulta da incapacidade de cumprir as condições necessárias à verificação desta exigência de adaptação aos movimentos, como se verá mais à frente. Verifica-se, no entanto, que a fissuração, além de constituir uma das consequências do deficiente cumprimento das exigências funcionais, também constitui a causa da não conformidade das paredes com essas e outras das suas exigências. A importância da fissuração, isto é, a sua gravidade, deve ser estabelecida em função dos prejuízos que provoca, avaliados segundo a capacidade da parede em desempenhar todas as funções pré-estabelecidas, tendo em conta a extensão do fenómeno, as características mais relevantes da fissuração (por ex. largura e profundidade) e, mais uma vez, o nível de qualidade a atingir.

4.2.2. CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

Existem várias causas para a ocorrência da fissuração em paredes de alvenaria, no Quadro 4.1, resumem-se essas causas técnicas observáveis em paredes correntes.

Quadro 4.1: Classificação das principais causas da fissuração em paredes. [35]

CAUSAS DE FENÓMENOS DE FISSURAÇÃO	ASPECTOS PARTICULARES
Movimentos da fundação	Assentamentos diferenciais de fundações directas Variação do teor de humidade dos solos argilosos Heterogeneidade e deficiente compactação de aterros
Acção de cargas externas	Concentração de cargas e de esforços
Deformação do suporte da parede	Pavimento inferior mais deformável que o superior Pavimento inferior menos deformável que o superior Pavimento inferior e superior com deformação idêntica Fissuração devida à deformação de consolas Fissuração devida à rotação do pavimento no apoio
Variações de temperatura	Fissuração devida aos movimentos das coberturas Fissuração devida aos movimentos das estruturas reticuladas Fissuração devida aos movimentos da própria parede
Variações de humidade	Movimentos reversíveis e irreversíveis Fissuração devida à variação do teor de humidade por causas externas Fissuração devida à variação natural do teor de humidade dos materiais Fissuração devida à retracção das argamassas Fissuração devida à expansão irreversível do tijolo
Acção do gelo	Fissuração devida a condições climatéricas muito desfavoráveis Fissuração devida à vulnerabilidade dos materiais
Ataques químicos	Hidratação retardada da cal Expansão das argamassas por acção dos sulfatos Corrosão de armaduras e outros elementos metálicos
Outros casos de fissuração	Acções acidentais (sismo, incêndios e impacto fortuitos) Retracção da argamassa e expansão irreversível do tijolo Choque térmico Envelhecimento e degradação natural dos materiais e das estruturas Paredes de blocos de betão (situações particulares) Revestimentos Paredes com funções estruturais

Apesar das origens da fissuração serem muito diversas, as situações mais preocupantes são aquelas que advêm da deficiência de natureza estrutural, como as que dizem respeito à deformação excessiva dos elementos estruturais em que se apoiam as alvenarias. No subcapítulo seguinte apresenta-se este tipo de fissuração e o modo como devem ser prevenidas ou reparadas.

Quando se pretende avaliar as consequências das fissuras é importante saber se a fissura já estabilizou e atingiu a sua configuração definitiva, ou se ainda sofre movimentos cíclicos, monótono, ou aleatórios. Ao estudar cada caso, interessa ter noção das várias situações que podem acontecer na evolução da fissura ao longo do tempo, podendo ser identificadas as seguintes situações:

- A fissura estabilizou-se porque a causa cessou;
- A causa cessou, mas a fissura não estabilizou, porque desencadeou ela própria, outra acção que a faz evoluir;
- A causa não cessou, mas a fissura estabilizou porque, quando se formou, quebrou a ligação com o elemento causador;
- A causa não cessou, continuando a agravar a fissura, e esta, por seu turno, desencadeou outras acções que contribuem para o seu agravamento;
- A fissura estabilizou e não desencadeou outras acções prejudiciais, mas passou a constituir uma zona de descontinuidade onde se concentram os movimentos naturais da construção e se acumulam detritos, provocando uma degradação por fadiga;
- A fissura estabilizou, mas evoluirá de forma mais ou menos rápida com o contacto corrente com pessoas, objectos e produtos de limpeza;
- A fissura estabilizou e tem uma configuração e situação propícia à auto-colmatação. [20]

Muitas das vezes as consequências das fissuras, quando estas são de pequena dimensão, são apenas estéticas, sendo frequente omitir o seu diagnóstico. Quando se opta por esta opção, os riscos podem ser notáveis, pois é a partir da identificação das causas e a situação de estabilização da fissura, em determinado tempo, que se pode optar pela não intervenção.

4.2.3. COMO SE PROPAGAM – MECANISMOS DE FORMAÇÃO

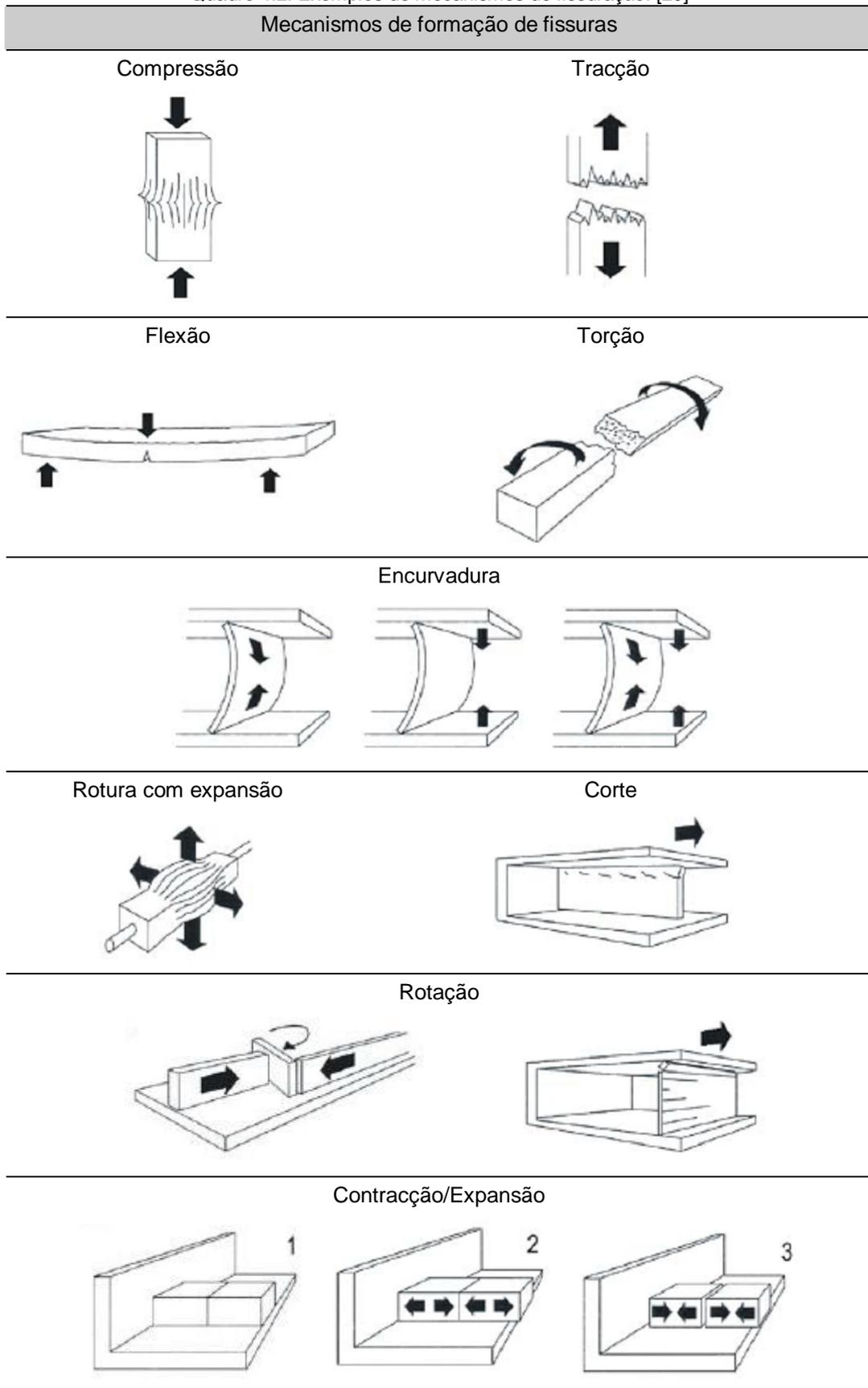
Entre as causas mencionadas anteriormente, e o aparecimento visível da fissuração, existe um mecanismo que transforma a acção actuante em tensões dirigidas ao elemento construtivo ou ao material. Essas acções que dão origem à fissuração não são só as cargas aplicadas, mas também os deslocamentos e as alterações de volume dos materiais.

A variação de volume dos materiais resulta, em geral, da sua livre expansão ou retracção motivada por fenómenos de carácter físico ou químico (efeito da temperatura, da humidade, da carbonatação, etc.), não provocando, teoricamente, tensões. Tudo se passa como se o material tivesse adquirido, de forma natural, novas dimensões, embora mantendo a mesma geometria, isto é, fosse sujeito a uma mudança de escala. Este material, no seu novo estado, reage às cargas e às deformações como qualquer outro, isto é, com a alteração do seu estado de tensão.

As paredes de alvenaria e todos os seus constituintes estão sujeitos a uma variação dimensional dos materiais utilizados. Os movimentos de dilatação e contracção a que a alvenaria está sujeita são tensões que poderão provocar o aparecimento de fissuras.

No Quadro 4.2 estão representados em síntese diversos mecanismos de fissuração, em que se verifica o dano que os elementos construtivos quando justapostos podem provocar uns sobre os outros, devido à alteração de volume ou devido à sua deformação.

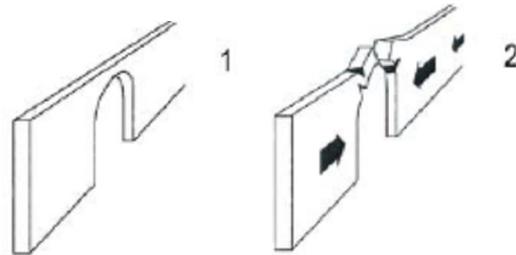
Quadro 4.2: Exemplos de mecanismos de fissuração. [20]



Quadro 4.2 (Continuação): Exemplos de mecanismos de fissuração. [20]

Mecanismos de formação de fissuras

Distorção expansiva



Em paredes de alvenaria as fissuras podem apresentar diversas direções: horizontal, vertical, diagonal ou combinação destas, Fig.4.2. No caso de fissuras verticais ou diagonais, elas atravessam os elementos de alvenaria, tijolo e juntas em forma de recta, ou podem atravessar apenas as juntas rodeando os elementos de alvenaria. Estas formas dependem de vários factores, a rigidez relativa das juntas em relação ao elemento de tijolo, ou mesmo a presença de aberturas ou outros pontos de fragilidade e as causas que estão na origem das fissuras.

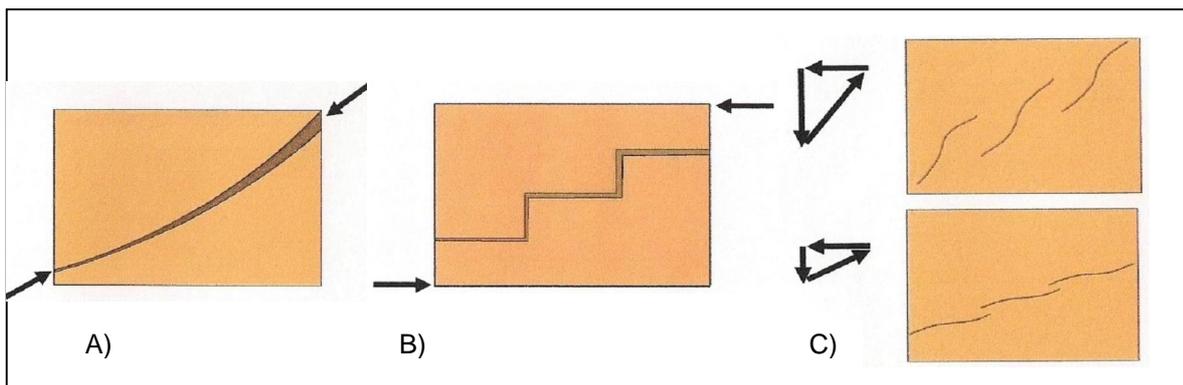


Fig.4.2: Manifestações típicas de fissuras. A) Formação de fissura diagonal. B) Formação de fissura escalonada. C) Combinação de fissuras

Quando estudamos a fissuração das alvenarias, os revestimentos devem ser referidos, pois os moldados no local e muito usados, conduzem a erros de diagnóstico no que respeita à fissuração do suporte.

A fissuração dos revestimentos é uma consequência da fissuração do suporte, que acontece quando a deformação do suporte (tosco) está para além do limite elástico dos revestimentos, sendo estes bastante rígidos. O suporte (tosco) também pode originar a fissuração no revestimento sem que ele próprio esteja fissurado ou sofra qualquer deformação excessiva. Isto acontece por exemplo, quando o suporte é bastante absorvente provocando dissecação prematura das argamassas ou quando existe deficientes condições de aderência entre o suporte e o revestimento.

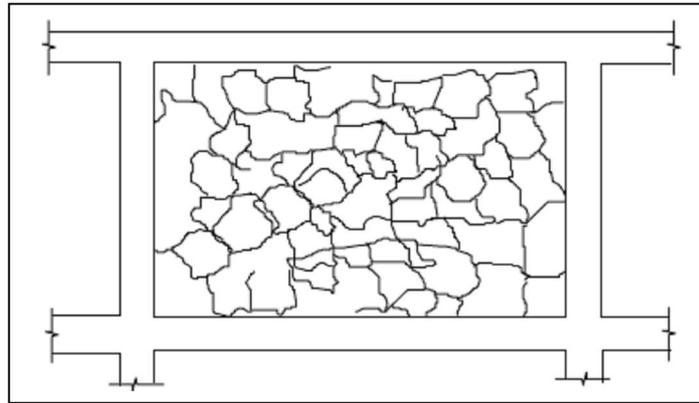


Fig.4.3: Manifestação típica de fissuras com origem no revestimento.

4.3. FISSURAÇÃO DEVIDO À DEFORMAÇÃO DO SUPORTE

As fissuras na alvenaria não estrutural pode ocorrer devido à excessiva deformabilidade dos elementos estruturais, pilares, vigas e lajes, que se deformam devido à acção do peso próprio, das cargas permanentes e acidentais, da retracção e da deformação lenta do betão. A deformabilidade dos elementos de suporte, quando dentro dos parâmetros estabelecidos em norma, não comprometem a estabilidade, a resistência da construção nem mesmo a própria estética. No entanto, as grandes flechas por vezes são incompatíveis com a capacidade de deformação da alvenaria.

As flechas máximas admitidas pela regulamentação de estruturas de betão são correctas do ponto de vista estrutural, mas demasiado permissivas para prevenir fenómenos de fissuração das divisórias rígidas que suportam, que exigem, por vezes, flechas inferiores a 1/1000. [36]

O modelo de fissuração não é fácil de ser previsível, pois existe um grande número de combinações de deformações que está associado a uma grande diversidade de configurações geométricas de lajes e dos seus apoios, bem como da disposição que as paredes apresentam. No entanto, de seguida são representados alguns esquemas dos possíveis padrões de fissuração.

4.3.1. PADRÕES DE FISSURAÇÃO

Para paredes de compartimentação sem aberturas de portas e janelas existem três configurações típicas de fissuras [37]:

- a) Quando o elemento estrutural de apoio se deforma mais que o elemento estrutural superior.

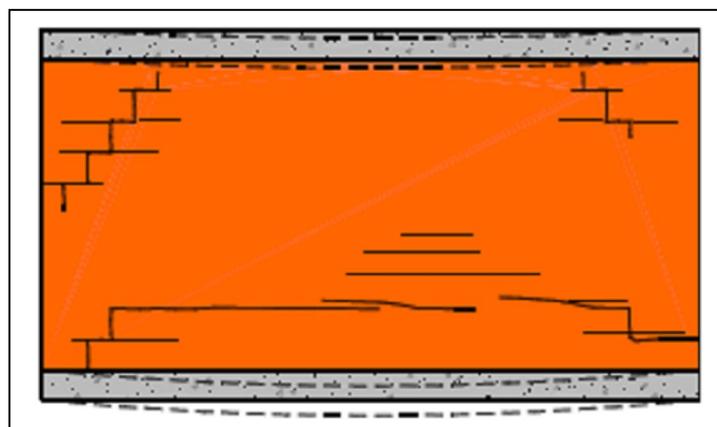


Fig.4.4: Fissuras em paredes de compartimentação: Deformação do suporte maior que a deformação da viga superior. [37]

Neste caso, devido ao carregamento não uniforme da viga superior sobre a alvenaria e sendo que existe um maior carregamento junto aos cantos da parede, surgem assim fissuras inclinadas nos cantos superiores. Na parte inferior normalmente surge uma fissura com desenvolvimento horizontal e desenvolvem-se junto ao apoio (a cerca de 20 a 30cm). Acontece quando o comprimento da parede é superior à sua altura aparece o efeito de arco e a fissura horizontal desvia-se em direcção aos vértices inferiores do painel (normalmente o que se observa, é somente o troço horizontal da fissura). Para alvenarias com boa resistência à tracção e ao corte, o painel pode permanecer apoiado nas extremidades da viga (efeito de arco), resultando um destacamento entre a base da alvenaria e a viga suporte.

- b) Quando o elemento de apoio se deforma menos que o elemento superior.

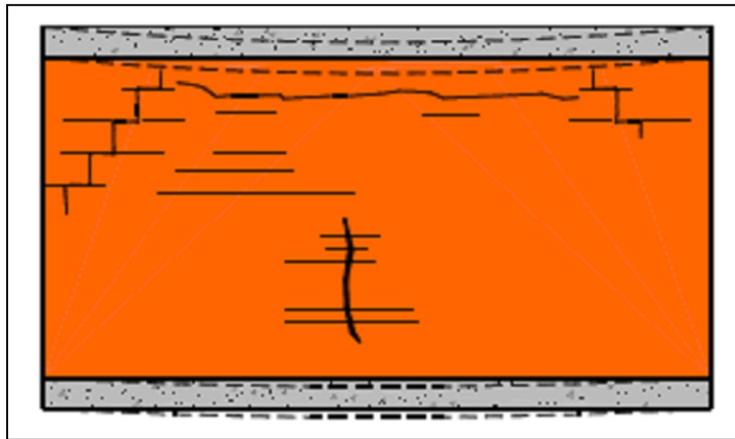


Fig.4.5: Fissuras em parede de compartimentação: Deformação do suporte inferior à deformação da viga superior. [37]

Neste caso, a parede comporta-se como uma viga, resultando fissuras semelhantes às que são apresentadas para o caso de flexão de vigas em betão armado.

- c) Quando o elemento de apoio e o elemento superior apresentam deformações aproximadamente iguais.

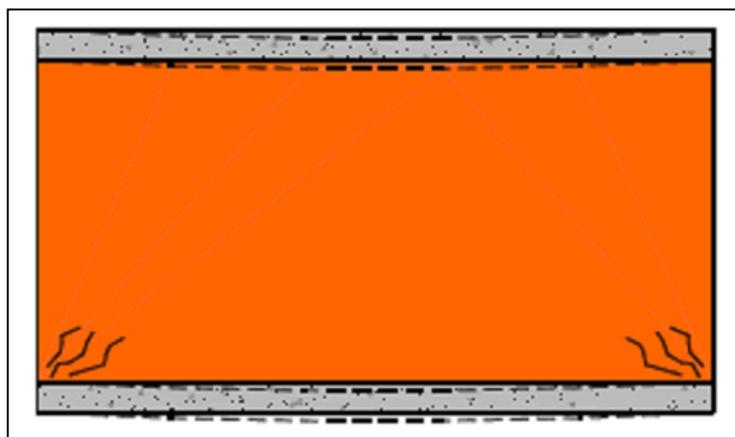


Fig.4.6: Fissuração em parede de compartimentação: Deformação do suporte idêntica à deformação da viga superior. [37]

A parede é submetida a tensões de corte, comportando-se a parede de modo semelhante a uma viga de betão deficientemente armada ao esforço transverso. As fissuras iniciam-se nos vértices inferiores da alvenaria, propagando-se aproximadamente a 45° a partir dos apoios.

No caso de paredes de compartimentação a existência de aberturas, ou a alteração da relação comprimento/altura, também influenciam a disposição da fissuração devido às concentrações de esforços que se verificam, por exemplo, na vizinhança das aberturas. A diversidade das fissuras depende da extensão da parede, da intensidade da movimentação, do tamanho e localização das aberturas. Uma das manifestações observadas pode ser idêntica à representada na figura seguinte, Fig.4.7.

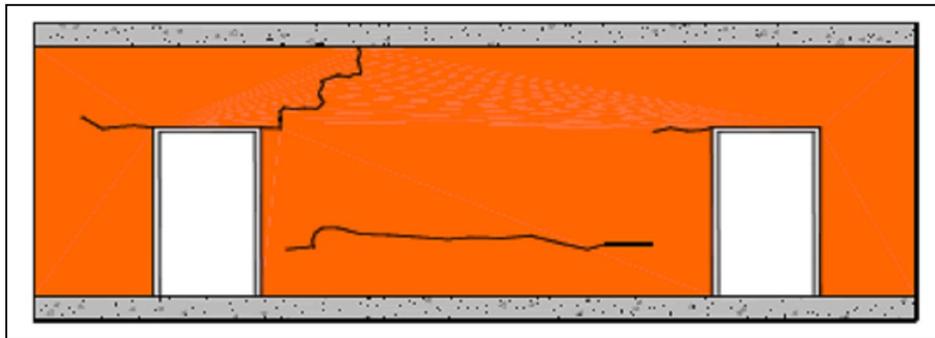


Fig.4.7: Fissuração em paredes com aberturas causadas pela deformação dos componentes estruturais. [37]

Existem outros casos de fissuração observáveis em certas zonas específicas devido também a situações de deformação do suporte: paredes apoiadas em elementos estruturais em consola, Fig.4.8, ou pavimentos apoiados em paredes que sofrem efeito de rotação, Fig.4.9.

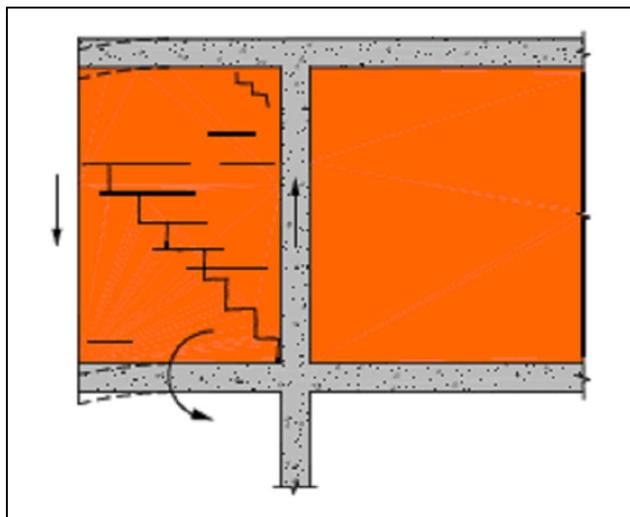


Fig.4.8: Fissuração nas paredes de compartimentação: deformação de consolas. [37]

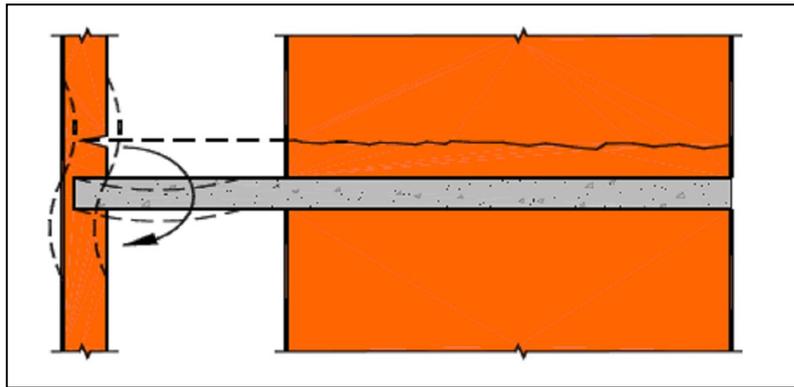


Fig.4.9: Fissuração horizontal na base da parede provocada pela deformação excessiva da laje. [37]

4.3.2. MEDIDAS PREVENTIVAS

As medidas gerais de prevenção podem ser de três índoles:

- limitação da flecha das lajes, em particular da componente diferida no tempo de modo a evitar as deformações excessivas do suporte;
- aumento da resistência das paredes (por ex. com a introdução criteriosa de armaduras de junta horizontais);
- interposição de materiais de apoio com resiliência adequada, para conferir às paredes alguma capacidade de absorção das deformações; e medidas de boa execução. [36]

Para se evitarem as deformações excessivas do suporte, as flechas máximas admissíveis previstas em regulamentos devem ser cumpridos rigorosamente, favorecendo os elementos estruturais com a máxima rigidez possível. A estrutura deve ser projectada já com conhecimento da localização das paredes divisórias, prevendo suportes contínuos e fazer com que as divisórias dos diversos pisos se sobreponham em altura dando mais rigidez ao conjunto.

De modo a conferir às paredes alguma capacidade de absorção das deformações, sempre que as estruturas de betão armado sejam intencionalmente flexíveis, deverão ser adoptados nas ligações entre a alvenaria e as vigas ou lajes deformáveis, um material elástico e outros detalhes construtivos apropriados, como os detalhes apresentados na Fig.4.10. Estes materiais podem ficar escondidos sob o rodapé e sob a sanca de tecto, serem impermeáveis á água, apresentar boa aderência à argamassa e ter uma reduzida fluência. As juntas de assentamento horizontais, na proximidade dos vãos, devem ser armadas, de forma a contribuir significativamente para a redução das fissuras inclinadas e das que se desenvolvem junto às aberturas da parede e as juntas compressíveis na base das paredes, constituem uma óptima medida preventiva. Prolongar, quando possível os vãos a toda a altura da parede, substituindo as vergas por elementos pré-fabricados com capacidade de deformação. Evitar existência de divisórias com grande comprimento sem terem juntas verticais.

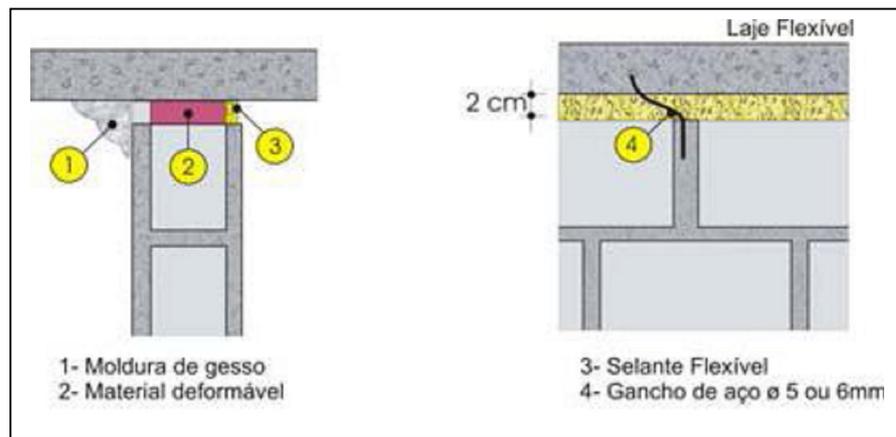


Fig.4.10: Detalhes de ligação das alvenarias com viga ou laje muito deformável. [38]

Nos encontros com os pilares deverão ser adoptadas juntas flexíveis, tanto para limitar a introdução de tensões na alvenaria pelas deformações da estrutura, como para evitar destacamentos em função de movimentação higrotérmica do material. [38]

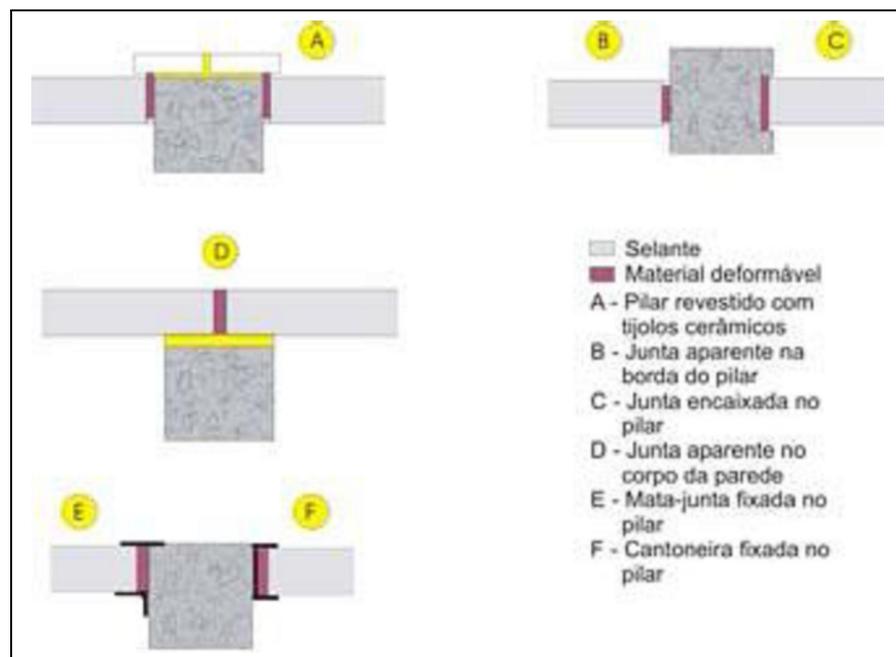


Fig.4.11: Ligações entre alvenaria e pilares, recomendadas para estruturas flexíveis. [38]

Quando se adopta esta técnica de prevenção devem ser avaliadas com cuidado todas as exigências, a acústicas, protecção contra humidade e contra propagação de incêndios de modo a serem cumpridas.

Quanto às medidas que devem ser previstas na execução, as divisórias apenas devem ser executadas após terminada e descofrada toda estrutura de betão armado para que a mesma possa já ter sofrido parte da sua deformação. Começar a execução das divisórias de cima para baixo ou, se tal não for possível, deixar a última fiada de tijolo por colocar para que as deformações posteriores se possam dar

e as paredes não fiquem em carga por deformação dos pavimentos superiores, ou ainda executar primeiro as divisórias dos andares pares e depois as dos andares ímpares.

4.3.3. TÉCNICAS DE REPARAÇÃO

Antes de se avançar para uma qualquer intervenção, é necessário uma avaliação prévia do tipo de fissuração, segundo os diversos pontos de vista:

- o tipo de causa (defeito de construção, causa intrínseca ao elemento construtivo ou causa externa);
- a distribuição das fissuras e o seu grau de estabilização (fissuras isoladas ou distribuídas, estabilizadas ou não-estabilizadas);
- as consequências das fissuras (falta de estanquidade, diminuição da resistência ou estabilidade da obra, degradação acelerada de materiais, defeitos estéticos, inconvenientes psicológicos, etc.);
- o tipo de parede (parede de fachada, parede interior, parede rebocada, parede com revestimento cerâmico, parede de tijolo à vista, etc.). [20]

Existem vários tipos de intervenção para as paredes não estruturais e também dos seus acabamentos. Em síntese, estão representados no quadro seguinte, Quadro 4.3, esses tipos de intervenção correctiva da fissuração, no que toca a paredes de compartimentação interiores e o seu acabamento.

Quadro 4.3: Tipificação das soluções de intervenção correctiva da fissuração em paredes. [39]

Tipos de Intervenção correctiva da fissuração não - estrutural de paredes	Paredes exteriores	Paredes Interiores	Acabamentos paredes exteriores	Acabamentos paredes interiores
Eliminação das anomalias	SIM	SIM	SIM	SIM
Substituição dos elementos e materiais	-	-	SIM	SIM
Ocultação de anomalias	SIM	SIM	SIM	SIM
Protecção contra agentes agressivos	-	SIM	-	-
Eliminação das causas das anomalias	-	-	-	-
Reforço das características funcionais	-	-	-	-

Sendo este trabalho destinado a paredes de compartimentação interior, apresenta-se de seguida alguma informação sobre a eliminação das anomalias, ocultação de anomalias e protecção contra agentes agressivos em paredes e revestimentos. Quando a fissuração ocorre apenas no revestimento da parede é mais fácil fazer a substituição do material.

Entende-se por eliminação das anomalias, apenas a reparação das fissuras e não obrigatoriamente eliminar de raiz a sua causa, visto que muitas vezes, as suas causas são de difícil correcção. Em elementos primários como as paredes de um edifício, e devido a deformações do suporte, as fissuras têm largura variável e um longo período de estabilização. Deste modo, antes de proceder à reparação, é necessário avaliar a sua estabilização. No caso de fissuras estabilizadas, é recomendável o preenchimento das fissuras com materiais flexíveis (mastique) e posterior revestimento elástico armado e dessolidarizado localmente. Junto aos tectos, este tipo de fissuração pode ser ocultado por

uma sanca ligada apenas à parede. No caso de se chegar à conclusão que as fissuras ainda não estão estabilizadas indica-se abaixo um procedimento mais complexo:

- tratamento das zonas afectadas mediante a criação de rebaixos nas alvenarias ou nos revestimentos, em correspondência com as fissuras;
- aplicação de tiras de papel adesivo ao longo das fissuras, para criar uma "ponte" sobre a fissura;
- colocação de bandas têxteis coladas apenas nas faixas laterais exteriores às tiras de papel, servindo de armadura ao revestimento na zona não aderente ao suporte, correspondente à "ponte" criada;
- aplicação de revestimento, recobrindo as zonas tratadas e assegurando a continuidade com a restante área de paramento das paredes. [20]

Quando se optar por ocultação das fissuras, trata-se apenas de um efeito estético e pode ser conseguido, quando a fissuração é não-estabilizada, por colagem sobre o paramento fissurado, de um revestimento descontínuo constituído por placas de um material deformável, por exemplo o aglomerado de cortiça, após aplicação ao longo das fissuras de tiras de papel adesivo. Em parede de alvenaria com suficiente regularidade geométrica, aplica-se sobre juntas sobre as fissuras, após transformação destas em juntas de construção. [20]

Como protecção contra os agentes agressivos, passam acções complementares da reparação de fissuras quando estas têm carácter evolutivo, que têm como objectivo a diminuição das variações de temperatura e do teor de humidade dos materiais, de forma a reduzir a actuação da fissura.

5

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

5.1. INTRODUÇÃO [40]

Para levar a cabo o objectivo deste trabalho e para aprofundar o estudo da fissuração que ocorre nas paredes interiores de alvenaria que se verifica na nossa construção actual, foi essencial modelar numericamente vários casos de estudo que serão apresentados neste capítulo 5_Análise de sensibilidade, através do programa “Autodesk ROBOT Structural Analysis” (versão profissional 2010). Ao longo deste capítulo, além da descrição e caracterização do programa e dos pressupostos de análise, apresentam-se os resultados da simulação.

A modelação incidiu sobre as características geométricas e estruturais de um edifício modelo, apresentado na Figura 5.1, ao nível das estruturas porticadas e dos painéis de alvenaria interiores possivelmente existentes. Na Figura 5.1, está representado em corte a zona estudada na simulação onde se fez variar alguns aspectos, como a rigidez da laje superior e inferior ligadas à parede, a dimensão dos vãos, a posição relativa da parede na estrutura e a colocação de uma abertura, variando também a sua posição em relação à parede.

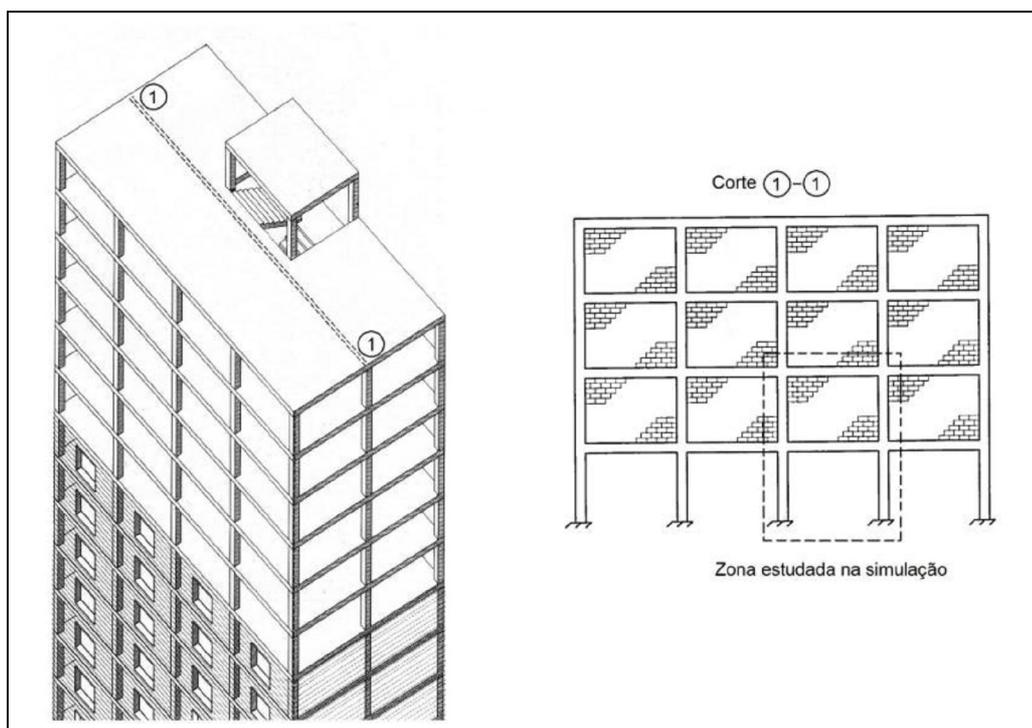


Fig.5.1: Edifício modelo com corte representativo da zona objecto de análise.

5.2. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Antes de mais, é oportuno fazer uma breve referência ao tipo de elemento utilizado e à forma de obtenção dos resultados pelo Programa Robot Millenium.

O Método dos Elementos Finitos revela-se actualmente um método geral de análise estrutural que pode ser utilizado na análise de lajes, paredes ou outros tipos estruturais mais complexos. A estrutura pode ser analisada na globalidade, isto é, associando pilares, vigas, lajes e paredes, ou pode ser utilizado o MEF apenas para analisar partes da estrutura de comportamento menos simples, como são os casos das paredes e lajes. É um método bastante fiável para a previsão do comportamento de estruturas. Os resultados obtidos com o auxílio deste método são fiáveis e precisos. O MEF, que adiante será exposto, baseia-se no método dos deslocamentos e na discretização de uma estrutura em sub-estruturas. Cada uma dessas sub-estruturas designa-se por elemento finito e tem comportamento conhecido, sendo o comportamento do todo considerado como a soma das partes. Cada elemento finito tem n nós, sendo apenas considerados explicitamente os deslocamentos generalizados nesses nós. Os deslocamentos nos restantes pontos do elemento finito obtêm-se por interpolação dos deslocamentos dos nós. [41]

De forma a sintetizar este método apresenta-se a descrição das principais etapas definindo alguns conceitos utilizados neste campo: [42]

- Discretização do meio contínuo:

A discretização do meio contínuo passa pela divisão em pequenas porções do espaço físico em estudo, o que é conseguido através de elementos tratados individualmente, com propriedades físicas e mecânicas eventualmente distintas e com uma formulação própria, dependendo do tipo de elemento usado. Os elementos a considerar podem ter geometrias distintas (rectangular, triangular no caso 2D) e podem ter números de nós distintos (3, 6, 8, etc.), Fig.5.2.

Uma má discretização pode produzir erros, os chamados erros de discretização como o ilustrado na Fig.5.3.

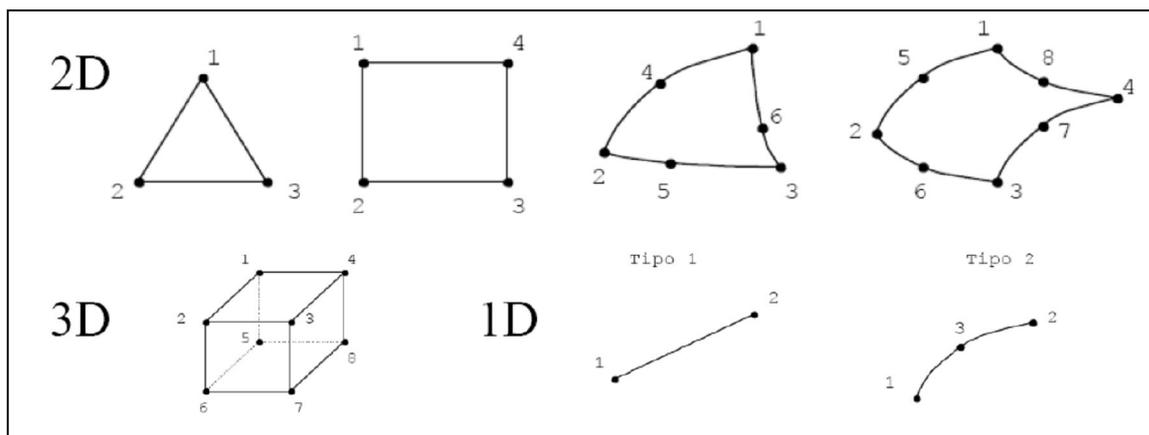


Fig.5.2: Geometria dos elementos finitos.

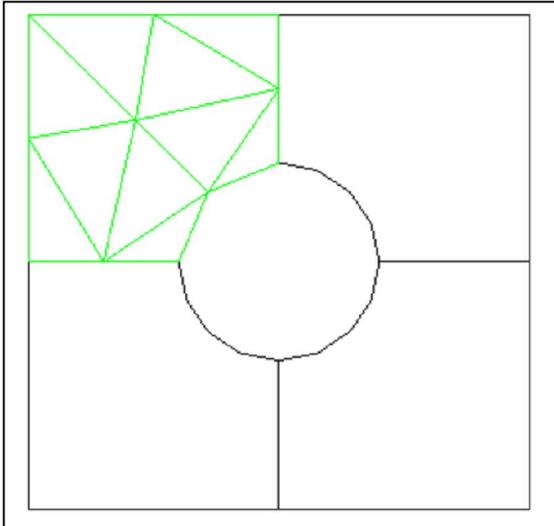


Fig.5.3: Erro de discretização significativo.

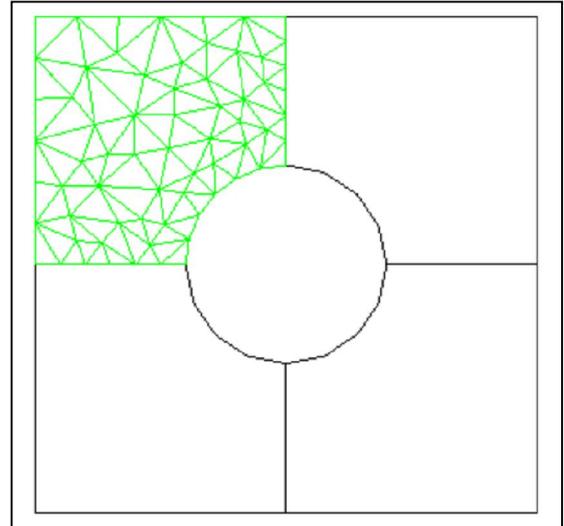


Fig.5.4: Discretização aceitável.

- Seleção das funções de forma:

O comportamento do elemento é definido pelas funções de forma que constituem a definição da variação das incógnitas no interior de cada elemento em função da variação nodal dessas mesmas incógnitas. Pode obter-se uma maior aproximação da solução numérica dum meio contínuo diminuindo a dimensão dos elementos, e conseqüentemente aumentando o seu número, ou aumentando o grau das funções de interpolação. Neste aspecto é importante a referência ao conceito de elemento isoparamétrico, amplamente divulgado, e no qual se admite que a variação dos deslocamentos no interior do elemento pode ser expressa pelas mesmas funções de forma que são utilizadas para a definição da geometria do elemento.

- Formulação das equações:

São utilizados diferentes métodos para a formulação das equações que regem o comportamento dos sistemas. Entre eles estão os métodos variacional e residual. Métodos residuais como o método Galerkin são em geral apropriados ao tratamento de problemas com equações lineares e não lineares.

No método dos deslocamentos, em que as incógnitas a determinar são os deslocamentos em cada elemento, as equações que conduzem à sua obtenção são formuladas usando métodos variacionais baseados no princípio da energia potencial mínima.

Estes processos conduzem sempre à equação que rege o comportamento de um sistema solicitado por um conjunto de forças exteriores:

$$[K]\{q\} = \{Q\} \quad (5.1)$$

Onde,

[K] – matriz rigidez;

{Q} – valor das forças nodais;

{q} – valor dos deslocamentos nodais.

- Formação da matriz de rigidez global:

Será calculada uma matriz de rigidez [K], para os elementos constituintes da estrutura. Essa matriz é obtida das leis constitutivas dos materiais e das funções de interpolação. É importante referir que neste processo se assegura a condição física fundamental de manter a estrutura contínua, que é o mesmo que dizer que, existe compatibilidade de deslocamentos nos pontos nodais em elementos adjacentes. O sistema de equações diferenciais tem uma só solução se se impuserem as condições de fronteira do domínio.

- Determinação das incógnitas do sistema:

No método dos deslocamentos as incógnitas serão os deslocamentos. Com o conhecimento destes valores poder-se-á calcular as tensões e as deformações.

Existem algumas dificuldades na utilização de elementos finitos com este tipo de programas, que são:

- dificuldade de se conhecerem os tipos de elementos finitos utilizados, nomeadamente os graus de liberdade associados e as respectivas funções de forma;
- dificuldade de se identificar a matriz de rigidez considerada, nomeadamente identificar se são ou não consideradas as deformações de corte;
- dificuldades na adopção de uma discretização adequada ao problema a resolver tendo em conta, o esforço de cálculo, as características do elemento e o campo de deformações que se pretende reproduzir.

5.3. MODELAÇÃO DA ESTRUTURA

5.3.1 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA *ROBOT*

Será feita então a análise de uma parte do edifício apresentado anteriormente, que será modelado e estudado com recurso ao software “Autodesk *ROBOT Structural Analysis 2010*” e terá como objectivo principal a análise e compreensão da parede em alvenaria.

Na modelação estrutural o programa considera elementos finitos de barra com dois nós para definir os elementos estruturais lineares, e elementos finitos de casca ou volumétricos para a formação de malhas de elementos finitos na definição de lajes e paredes. Nas análises efectuadas neste estudo consideram-se elementos finitos de barra na modelação dos pilares e das vigas e elementos finitos de casca na modelação das lajes e das paredes dos núcleos. O programa considera seis graus de liberdade por nó e permite considerar o comportamento de diafragma rígido para cada laje, impedindo os deslocamentos relativos entre os nós do mesmo. O programa *ROBOT* permite utilizar elementos finitos de casca triangulares de 3 ou 6 nós e quadriláteros de 4 ou 8 nós. Neste caso o tipo de elemento finito escolhido foi 4 – *node quadrilateral*.

5.3.2 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA

Sendo uma estrutura de forma simples, a definição geométrica da mesma é facilmente efectuada através do próprio programa de cálculo não havendo vantagem em recorrer à utilização de outro software como o Cad. O *Robot* possui 24 diferentes módulos que permitem modular diferentes tipos

de estruturas. Após a escolha do módulo de cálculo no menu representado na figura seguinte, Fig.5.5, é possível definir a estrutura como se pretenda.

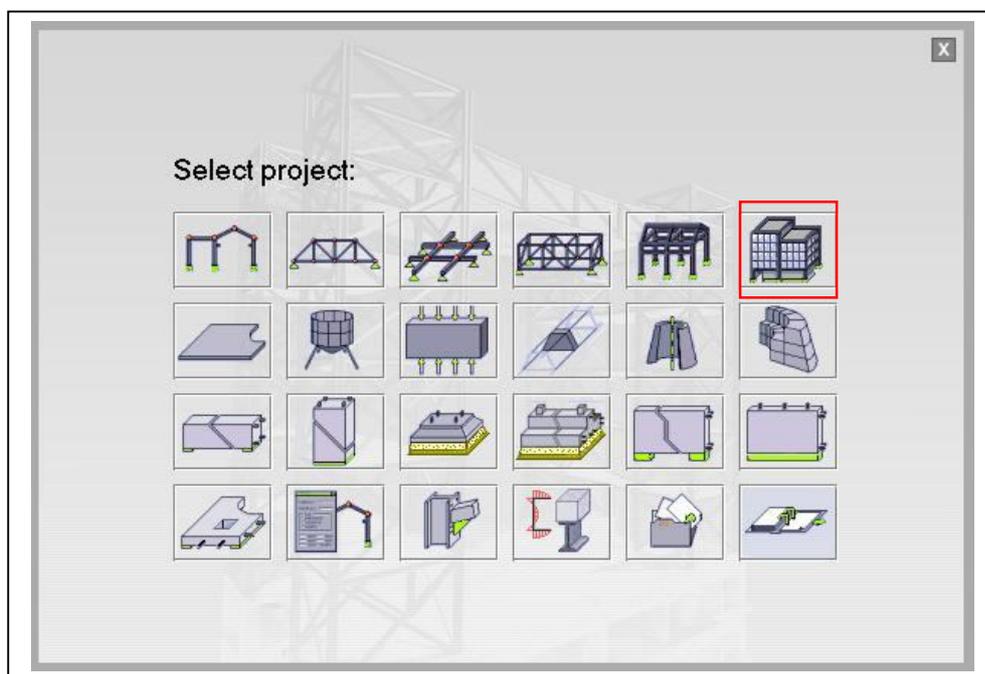


Fig.5.5: Módulos de cálculo do ROBOT.

Antes de passarmos à descrição, sucintamente, de todo o processo, opções e valores tomados para a modelação dos vários elementos estruturais constituintes da estrutura serão apresentados, na Figura 5.6, o modelo geral que foi usado na simulação.



Fig.5.6: Modelo da estrutura após a definição dos apoios, da carga distribuída e da malha.

5.3.3 CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS

Qualquer estrutura pode ser discretizada como um sólido, mas determinados elementos, devido às suas características especiais, podem ser discretizados de uma forma mais conveniente. Os elementos contidos nesta simulação, pilares e vigas podem ser modelados como elementos de barra. As paredes ou outros elementos que estejam apenas sujeitos a forças no seu plano podem ser tratadas como elementos de parede e, as lajes ou outros elementos que apenas estão sujeitos a forças perpendiculares ao seu plano ou momentos definidos por vectores contidos no plano podem ser discretizados como elementos de laje. Este tipo de considerações evita a discretização de todos os elementos como sólidos genéricos, sendo o cálculo e os resultados centrados no tipo de esforços e deformações típicas para cada tipo de elemento.

A dimensão das sapatas foi estimada com base apenas nos esforços axiais e a sua modelação baseou-se na hipótese de que todos os pilares constituintes da estrutura se encontram encastrados na base. As condições para as extremidades superiores dos pilares estão sujeitos a deslocamentos em X, Y e rotações em X, Y e Z fixos, deixando livres os deslocamentos em Z. Impedidas as rotações na extremidade superior dos pilares, estes têm apenas metade da altura definida para o pé-direito, de modo a considerar a existência de continuidade superior.

Os pilares foram modelados com elementos de barra simples, aos quais se atribuiu as características da secção real do pilar com dimensão de 40x40cm² e um comprimento igual à distância entre pisos, 2.60m. No que diz respeito à ligação com outros elementos, nomeadamente vigas, tendo estas uma secção de 40x45cm², admitiu-se que os pilares se encontram perfeitamente encastrados às mesmas.

As vigas foram modeladas através de elementos de barra aos quais foram atribuídos as características da secção da viga, com o comprimento necessário para promover a sua ligação monolítica aos vários elementos estruturais.

Para a modelação das lajes recorreu-se a elementos finitos laje (tipo shell), com as características respectivas (Figura 5.7 e Quadro 5.1). Depois de fixados os vãos da laje, determinou-se a espessura das lajes, superior e inferior a utilizar para cada simulação. Para tal, foram consideradas as imposições regulamentares do EC2 [28] e a rigidez pretendida para cada caso. A rigidez é traduzida pelo produto do módulo de elasticidade pela inércia da secção. Optou-se por fazer variar a rigidez actuando apenas sobre a inércia, ou seja, reduzindo ou aumentando a espessura da laje conforme se pretenda menor ou maior rigidez. De acordo com o Quadro 7.4N do EC2, os valores mínimos a adoptar para espessura das lajes são calculados a partir dos valores básicos vão/altura útil para elementos de betão armado sem esforço normal de compressão.

Nas lajes rectangulares, a espessura utilizada foi a mínima por recomendação do EC2 [28], segundo o qual “a verificação deverá ser efectuada em relação ao menor vão”. Nota ainda para o facto de estes valores resultarem de uma aproximação por excesso, para transformar a altura útil a que o quadro se refere em altura efectiva da laje.

Quadro 5.1: Espessura da laje utilizada nas simulações.

Vão da Laje (m)	Espessura mínima (cm)	Espessura máxima (cm)
5x5	17	25
8x8	27	35
5x8	17	30

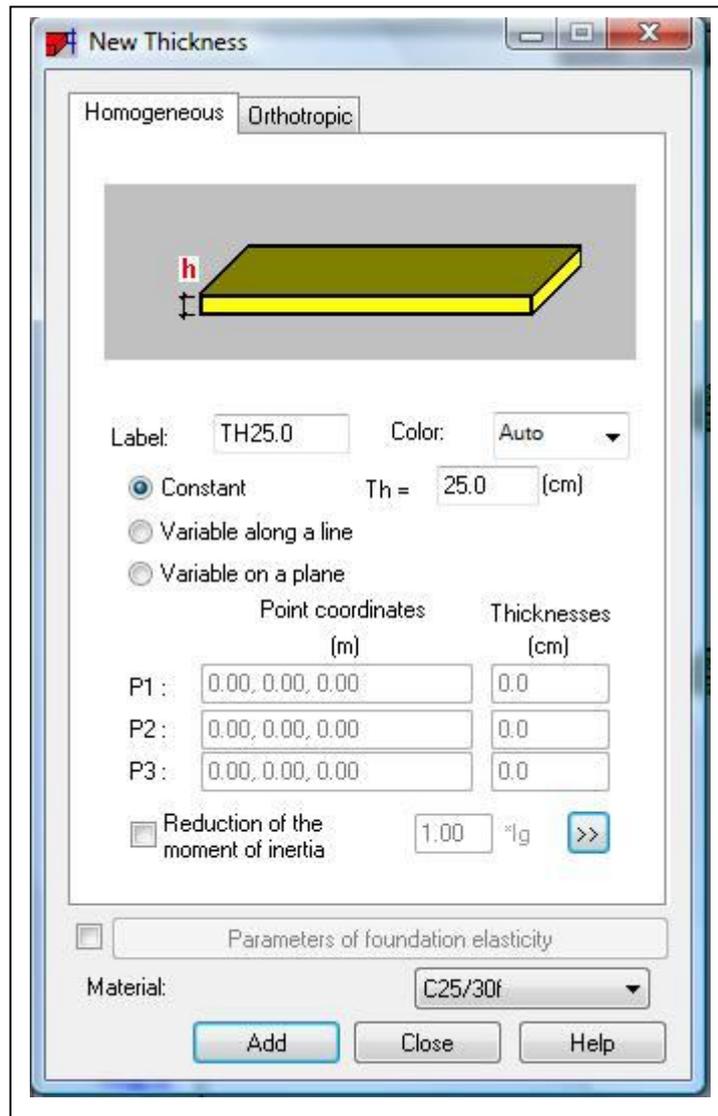


Fig.5.7: Tipo de laje adoptada na simulação.

A parede foi modelada da mesma forma que as lajes, recorrendo a elementos finitos (tipo shell), com as características mencionada no Quadro 5.2, sendo a alvenaria o material empregue.

O processo da geração da malha é efectuada logo após a definição de todos os elementos da estrutura e antes de efectuar o cálculo da estrutura. As opções que foram consideradas para definição da malha estão representadas na Figura 5.8.

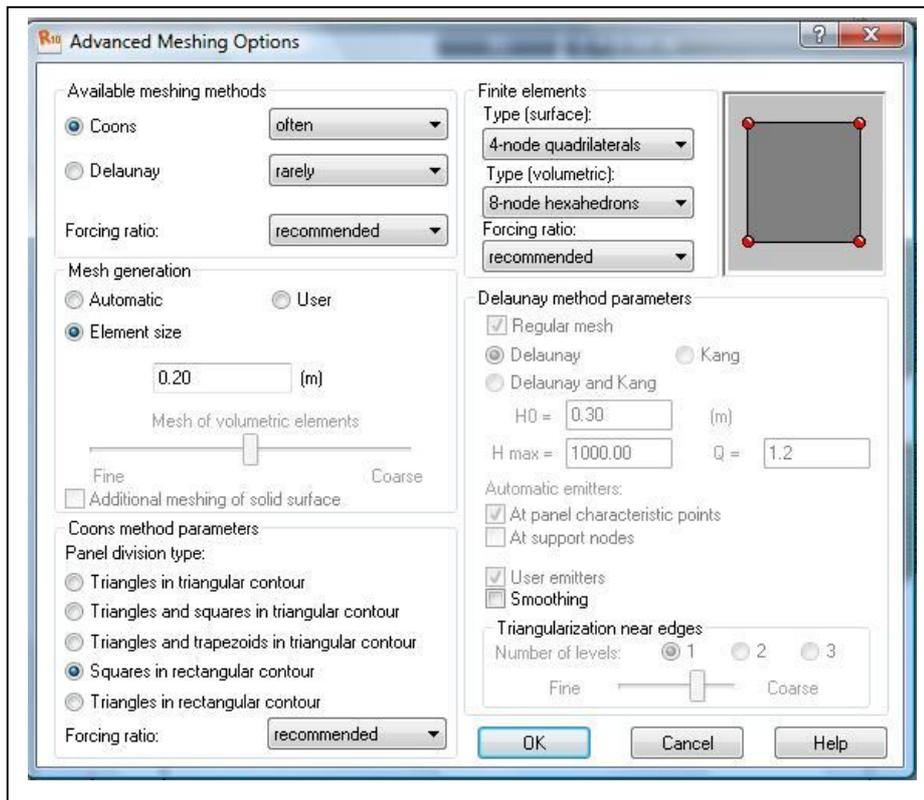


Fig.5.8: Caracterização da malha de elementos finitos.

5.3.4 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS E ACÇÕES CONSIDERADAS

Uma vez que o programa utilizado apresenta como uma das suas facilidades a base de dados de materiais, que estão de acordo com as normas nacionais e europeias, basta seleccionar na entrada de dados qual o regulamento pretendido, para ele fornecer as características do material de acordo com o pedido. Para esta simulação, utilizou-se, segundo o EC2 [28], um betão C25/30. As características mecânicas da alvenaria foram introduzidas manualmente, obtidas com recurso a um estudo empírico em laboratório teórico-experimental mediante a aplicação do EC6, realizado pelo Professor Paulo Pereira da Universidade do Minho e já mencionada numa Tese anterior a esta, intitulada “Patologias em alvenarias de preenchimento induzidas pela deformação dos suportes” [40].

O valor do módulo de elasticidade adoptado no modelo, $E=1.50\text{MPa}$, é justificado pela consideração de elementos de junta na parede em alvenaria, ou seja, elementos cerâmicos mais argamassa.

As simulações feitas referem-se ao carregamento nas primeiras idades do betão, com um módulo de elasticidade instantâneo (E_{cm}), e também ao carregamento com uma duração que causa a fluência do betão, com módulo de elasticidade efectivo ($E_{c,eff}$). A fluência é, de uma forma geral, uma característica do betão que considera o aumento da deformação no tempo sob acções constantes. As cargas permanentes são as únicas que influenciam. Ao ser aplicada uma tensão ao betão, constante no tempo, esquematicamente considera-se uma deformação elástica instantânea, seguida de uma deformação que se processa no tempo (deformação por fluência).

No Quadro 5.2, encontram-se definidas as características mecânicas dos materiais adoptados na simulação.

Quadro 5.2: Propriedades mecânicas adoptadas para os materiais do modelo.

Propriedades mecânicas	Alvenaria	Betão
Módulo de elasticidade	1,50	31 ⁽¹⁾
E (GPa)		10,33 ⁽²⁾
Peso volúmico (kN/m ³)	20	24,53
Coefficiente de <i>Poisson</i> (<i>adimensional</i>)	0,20	0,166
Módulo de distorção G (MPa)	320	13000
Resistência característica à compressão f_k (MPa)	0,80	25

(1) Módulo de Elasticidade instantâneo (E_c)
(2) Módulo de elasticidade efectivo ($E_{c,eff}$) tendo em conta os efeitos de fluência

O módulo de elasticidade efectivo, traduz-se pela expressão 5.2, estando de acordo com o EC2 [28].

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} \quad (5.2)$$

De acordo com o ANEXO B do mesmo regulamento, o cálculo do coeficiente de fluência na idade t correspondente à aplicação da tensão inicial na idade t_0 , $\varphi(t, t_0)$, resulta do produto entre o coeficiente de fluência, φ_0 , e o coeficiente que traduz a evolução da fluência no tempo após o carregamento, $\beta_c(t, t_0)$, isto é:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) \quad (5.3)$$

Em que, φ_0 é o coeficiente de fluência e pode ser calculado a partir de:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (5.4)$$

φ_{RH} – Factor que tem em conta a influência da humidade relativa no coeficiente de fluência:

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}}, \text{ para } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \quad (5.5)$$

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2, \text{ para } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \quad (5.6)$$

RH – Humidade do meio ambiente, em %;

$\beta(f_{cm})$ – Factor que tem em conta a influência da resistência do betão no coeficiente de fluência convencional:

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad (5.7)$$

f_{cm} – Valor médio da tensão de rotura do betão à compressão, em MPa, aos 28 dias de idade

$\beta(t_0)$ – Factor que tem em conta a influência da idade do betão à data do carregamento no coeficiente de fluência:

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})} \quad (5.8)$$

h_0 – Espessura equivalente do elemento, em mm, em que:

$$h_0 = \frac{2Ac}{u} \quad (5.9)$$

Ac – Área da secção transversal

u – Parte do perímetro do elemento em contacto com o ambiente

$\beta_c(t, t_0)$ – Coeficiente que traduz a evolução da fluência no tempo, após o carregamento, e que pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3} \quad (5.10)$$

t – idade do betão, em dias, na data considerada

t_0 – idade do betão, em dias, à data do carregamento

$t - t_0$ – duração não corrigida do carregamento, em dias

β_H – Coeficiente que depende da humidade relativa (RH em %) e da espessura equivalente do elemento (h_0 em mm). Pode ser estimado a partir de:

$$\beta_H = 1,5 \left[1 + (0,012 \cdot RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \leq 1500 \text{ para } f_{cm} \leq 35 \quad (5.11)$$

$$\beta_H = 1,5 \left[1 + (0,012 \cdot RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 \leq 1500 \cdot \alpha_3 \text{ para } f_{cm} \geq 35 \quad (5.12)$$

$A_{1/2/3}$ – coeficientes que têm em conta a influência da resistência do betão:

$$\alpha_1 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} \quad (5.13)$$

$$\alpha_2 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} \quad (5.14)$$

$$\alpha_2 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} \quad (5.15)$$

O coeficiente que traduz a evolução da fluência no tempo, $\beta_c(t, t_0)$, entra em linha de conta com diversos factores, tais como:

- a idade do betão à data do carregamento, t_0 , que se admitiu igual a 60 dias;
- a humidade relativa do meio ambiente, que se considerou igual a 75% por se tratar de uma parede interior;
- a espessura equivalente da laje que, neste caso, é igual a 25cm;
- a idade do betão na data considerada, que se adoptou como sendo infinito.

Através destas variáveis e aplicando as fórmulas apresentadas, obteve-se para o coeficiente de fluência o valor aproximado de 2,0, ou seja, $\varphi(\infty, t_0) = 2,0$. Utilizando a expressão (5.2), o módulo de elasticidade tendo em conta os efeitos da fluência toma então o valor 10,33 GPa.

Quanto à aplicação das cargas, no que diz respeito ao peso próprio dos vários elementos constituintes da estrutura, nomeadamente vigas, pilares e lajes, o próprio programa *Robot* com base nas dimensões dos elementos e entrando em consideração com o tipo de material dos mesmos, faz o cálculo automático do seu peso, pelo que não foi necessário aplicar quaisquer cargas referentes ao peso próprio da estrutura.

Relativamente à restante carga permanente e sobrecargas, estas foram introduzidas na estrutura através da aplicação de cargas distribuídas ao nível da laje de cada piso, cujos valores são os apresentados de seguida:

- Acções verticais (PP; RCP):

Quadro 5.3: Acções consideradas na simulação.

PP		RCP	
Laje	Parede	Revestimentos	Divisórias
Cálculo automático do programa (produto da espessura pelo peso volumico do material)		1,5 kN/m ²	1,5 kN/m ²

- Sobrecargas (Sob): 2,0 kN/m²
- Combinações de acções:

As combinações de acções foram efectuadas manualmente no programa, em que se considerou uma combinação para estados limites últimos, E.L.U., com coeficientes de 1,35 para acções permanentes e 1,5 para acções variáveis, considerou-se outra combinação para estados limites de serviço, E.L.S., com coeficientes de 1,0 para acções permanentes e 0,3 para acções variáveis. Na análise dos resultados apenas se considerou os valores para a combinação em ELS.

5.4. SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Em síntese, depois de apuradas as características geométricas e mecânicas dos elementos da estrutura, seguiu-se à introdução dos dados no programa com a seguinte sequência:

- selecção do tipo de estrutura a modelar;
- definição dos materiais a utilizar para os elementos;
- definição das características geométricas dos elementos;
- modelação da estrutura, organizando no espaço todos os elementos constituintes;
- associação do material ao respectivo elemento estrutural;
- definição dos apoios;
- geração da malha de elementos finitos nas lajes e na parede;
- definição das acções e das combinações;
- cálculo da estrutura;
- extracção dos painéis com os resultados.

No quadro seguinte, Quadro 5.4, estão apresentadas todas as simulações efectuadas, existindo três casos distintos que correspondem à rigidez das lajes superior e inferior, correspondendo a:

- lajes com idêntica rigidez (elevada);
- laje inferior mais rígida;
- laje inferior menos rígida.

Na identificação de cada combinação, estão representadas duas simulações, p. ex. CA1/CA1F, visto terem sido calculadas duas vezes, admitindo o módulo de elasticidade instantâneo do betão, CA1, e outra tendo em conta os efeitos da fluência, CA1F.

A denominação utilizada para caracterizar a posição da parede em relação à estrutura, corresponde à parede localizar-se a meio vão ou a um quarto do apoio, dependendo da dimensão do vão. Pelas

figuras seguintes percebe-se melhor a diferença que existe entre parede centrada (distanciada do apoio 50% da dimensão do vão) e excêntrica (distanciada do apoio 25% da dimensão do vão).

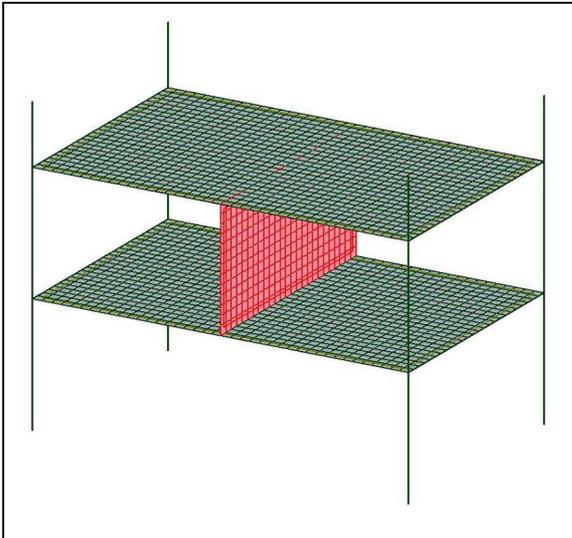


Fig.5.9: Parede centrada em relação à estrutura.

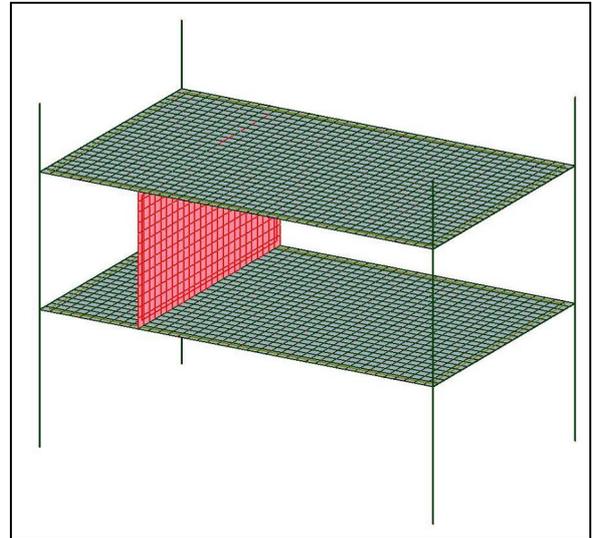


Fig.5.10: Parede excêntrica em relação à estrutura.

A posição da abertura em relação à parede também é denominada da mesma forma, centrada e excêntrica, com as particularidades apresentadas nas figuras seguintes, Fig.5.11 e 5.12.

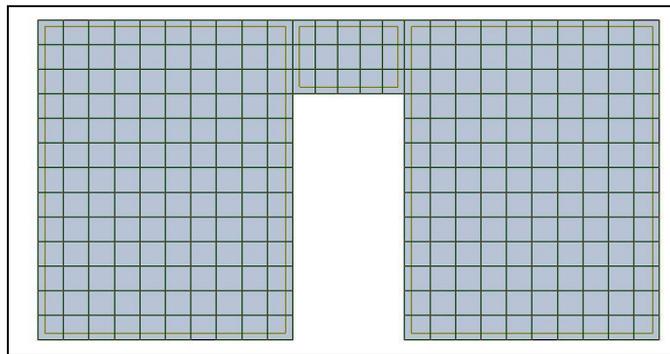


Fig.5.11: Abertura centrada em relação à parede.

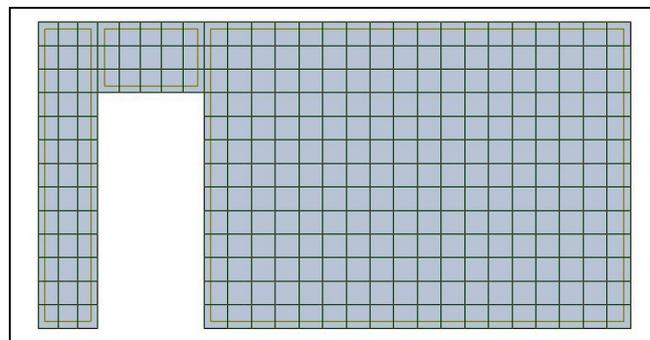


Fig.5.12: Abertura excêntrica em relação à parede.

Quadro 5.4: Características das simulações realizadas no programa Robot.

Características Mecânicas e Geométricas:							
Betão C25/30 Sem Fluência / Betão C25/30 Com Fluência							
Parede 11cm							
E=1,5GPa							
Rigidez das Lajes	Identificação da Combinação	Vão da Laje (axb)	Espessura da Laje		Orientação do apoio da laje	Posição da parede	Posição da abertura
			Superior	Inferior			
Ambas a lajes com elevada rigidez	CA1 / CA1F	5x5	0,25		Indiferente	Centrada	
	CA2 / CA2F	5x5	0,25		Indiferente	Centrada	Centrada
	CA3 / CA3F	5x5	0,25		Indiferente	Centrada	Excêntrica
	CA4 / CA4F	5x5	0,25		Indiferente	Excêntrica	
	CA5 / CA5F	5x5	0,25		Indiferente	Excêntrica	Centrada
	CA6 / CA6F	5x5	0,25		Indiferente	Excêntrica	Excêntrica
	CA7 / CA7F	8x8	0,35		Indiferente	Centrada	
	CA8 / CA8F	8x8	0,35		Indiferente	Centrada	Centrada
	CA9 / CA9F	8x8	0,35		Indiferente	Centrada	Excêntrica
	CA10 / CA10F	8x8	0,35		Indiferente	Excêntrica	
	CA11 / CA11F	8x8	0,35		Indiferente	Excêntrica	Centrada
	CA12 / CA12F	8x8	0,35		Indiferente	Excêntrica	Excêntrica
	CA13 / CA13F	5x8	0,30		Menor Vão	Centrada	
	CA14 / CA14F	5x8	0,30		Menor Vão	Centrada	Centrada
	CA15 / CA15F	5x8	0,30		Menor Vão	Centrada	Excêntrica
	CA16 / CA16F	5x8	0,30		Menor Vão	Excêntrica	
	CA17 / CA17F	5x8	0,30		Menor Vão	Excêntrica	Centrada
	CA18 / CA18F	5x8	0,30		Menor Vão	Excêntrica	Excêntrica
Laje superior pouco rígida + Laje inferior muito rígida	CB1 / CB1F	5x5	0,17	0,25	Indiferente	Centrada	
	CB2 / CB2F	5x5	0,17	0,25	Indiferente	Centrada	Centrada
	CB3 / CB3F	5x5	0,17	0,25	Indiferente	Centrada	Excêntrica
	CB4 / CB4F	5x5	0,17	0,25	Indiferente	Excêntrica	
	CB5 / CB5F	5x5	0,17	0,25	Indiferente	Excêntrica	Centrada
	CB6 / CB6F	5x5	0,17	0,25	Indiferente	Excêntrica	Excêntrica

Quadro 5.4 (Continuação): Características das simulações realizadas no programa Robot.

Rigidez das Lajes	Identificação da Combinação	Vão da Laje (axb)	Espessura da Laje		Orientação do apoio da laje	Posição da parede	Posição da abertura	
Laje superior pouco rígida + Laje inferior muito rígida	CB7 / CB7F	8x8	0,27	0,35	Indiferente	Centrada		
	CB8 / CB8F	8x8	0,27	0,35	Indiferente	Centrada	Centrada	
	CB9 / CB9F	8x8	0,27	0,35	Indiferente	Centrada	Excêntrica	
	CB10 / CB10F	8x8	0,27	0,35	Indiferente	Excêntrica		
	CB11 / CB11F	8x8	0,27	0,35	Indiferente	Excêntrica	Centrada	
	CB12 / CB12F	8x8	0,27	0,35	Indiferente	Excêntrica	Excêntrica	
	CB13 / CB13F	5x8	0,27	0,30	Menor Vão	Centrada		
	CB14 / CB14F	5x8	0,27	0,30	Menor Vão	Centrada	Centrada	
	CB15 / CB15F	5x8	0,27	0,30	Menor Vão	Centrada	Excêntrica	
	CB16 / CB16F	5x8	0,27	0,30	Menor Vão	Excêntrica		
	CB17 / CB17F	5x8	0,27	0,30	Menor Vão	Excêntrica	Centrada	
	CB18 / CB18F	5x8	0,27	0,30	Menor Vão	Excêntrica	Excêntrica	
	Laje superior muito rígida + Laje inferior pouco rígida	CC1 / CC1F	5x5	0,25	0,17	Indiferente	Centrada	
		CC2 / CC2F	5x5	0,25	0,17	Indiferente	Centrada	Centrada
		CC3 / CC3F	5x5	0,25	0,17	Indiferente	Centrada	Excêntrica
		CC4 / CC4F	5x5	0,25	0,17	Indiferente	Excêntrica	
		CC5 / CC5F	5x5	0,25	0,17	Indiferente	Excêntrica	Centrada
		CC6 / CC6F	5x5	0,25	0,17	Indiferente	Excêntrica	Excêntrica
CC7 / CC7F		8x8	0,35	0,27	Indiferente	Centrada		
CC8 / CC8F		8x8	0,35	0,27	Indiferente	Centrada	Centrada	
CC9 / CC9F		8x8	0,35	0,27	Indiferente	Centrada	Excêntrica	
CC10 / CC10F		8x8	0,35	0,27	Indiferente	Excêntrica		
CC11 / CC11F		8x8	0,35	0,27	Indiferente	Excêntrica	Centrada	
CC12 / CC12F		8x8	0,35	0,27	Indiferente	Excêntrica	Excêntrica	
CC13 / CC13F		5x8	0,30	0,27	Menor Vão	Centrada		
CC14 / CC14F		5x8	0,30	0,27	Menor Vão	Centrada	Centrada	
CC15 / CC15F		5x8	0,30	0,27	Menor Vão	Centrada	Excêntrica	
CC16 / CC16F		5x8	0,30	0,27	Menor Vão	Excêntrica		
CC17 / CC17F		5x8	0,30	0,27	Menor Vão	Excêntrica	Centrada	
CC18 / CC18F		5x8	0,30	0,27	Menor Vão	Excêntrica	Excêntrica	

5.5. SÍNTESE DOS RESULTADOS

No quadro seguinte, Quadro 5.5, apresentam-se os resultados das tensões instaladas na parede de alvenaria e os deslocamentos máximos obtidos nas várias simulações realizadas. Os resultados expostos a seguir são uma síntese de valores que podem ser consultados nos painéis ilustrativos apresentados em anexo. De forma que a análise do quadro seja mais clara importa referir quais os limites de tensões que uma parede de alvenaria suporta, ou seja, o limite de tensão a que a parede permanece sem fissurar.

A partir das propriedades mecânicas da alvenaria, apresentadas no capítulo 2 deste trabalho, e das expressões retiradas do EC6, podemos determinar o valor limite para a tensão de compressão tomando os seguintes valores para os parâmetros:

- $K = 0,45$
- $f_b = 3 \text{ MPa}$
- $f_m = 5 \text{ MPa}$

$$f_k = 0,45 \times 3^{0,7} \times 5^{0,3} = 1,58 \text{ MPa}$$

Em relação à tensão de tracção da parede de alvenaria, apesar de se saber que é muito reduzida, é comum admitir-se uma tensão à tracção residual na ordem de 1/10 da tensão de compressão, sendo assim toma o valor de 0,158 MPa.

Quadro 5.5: Síntese dos resultados obtidos pelo programa Robot.

Identificação da Combinação	Deslocamento		Compressão na parede		Tracção na parede	
	Máximo (mm)		Intervalo de tensões máximas (MPa)	Percentagem relativa à capacidade resistente limite (%)	Intervalo de tensões máximas (MPa)	Percentagem relativa à capacidade resistente limite (%)
	Instantâneo	Com Fluência				
CA1 / CA1F	1,8	5,1	-0,25_-0,41	25,95	0,23_0,38	240,51
CA2 / CA2F	1,8	5,1	-0,25_-0,41	25,95	0,23_0,38	240,51
CA3 / CA3F	1,8	5,2	-0,24_-0,56	35,44	0,23_0,44	278,48
CA4 / CA4F	1,7	5,0	-0,35_-0,64	40,51	0,33_0,60	379,75
CA5 / CA5F	1,7	5,0	-0,35_-0,64	40,51	0,32_0,59	373,42
CA6 / CA6F	1,8	5,1	-0,34_-0,70	44,30	0,32_0,60	379,75
CA7 / CA7F	6,7	18,9	-0,82_-1,47	93,04	0,79_1,41	892,41
CA8 / CA8F	6,7	18,9	-0,83_-1,48	93,67	0,79_1,41	892,41
CA9 / CA9F	6,7	19,2	-1,00_-2,34	148,10	0,77_1,64	1037,97
CA10 / CA10F	6,6	18,5	-1,08_-2,01	127,22	1,04_1,94	1227,85
CA11 / CA11F	6,6	18,5	-1,08_-2,02	127,85	1,04_1,93	1221,52
CA12 / CA12F	6,7	18,9	-1,23_-2,87	181,65	1,02_2,03	1284,81

Quadro 5.5 (Continuação): Síntese dos resultados obtidos pelo programa Robot.

Identificação da Combinação	Deslocamento		Compressão na parede		Tração na parede	
	Máximo (mm)		Intervalo de tensões máximas (MPa)	Percentagem relativa à capacidade resistente limite (%)	Intervalo de tensões máximas (Mpa)	Percentagem relativa à capacidade resistente limite (%)
	Instantâneo	Com Fluência				
CA13 / CA13F	5,7	14,9	-0,06_-0,10	6,33	0,06_0,10	63,29
CA14 / CA14F	5,6	14,8	-0,06_-0,09	5,70	0,06_0,12	75,95
CA15 / CA15F	5,6	14,8	-0,12_-0,25	15,82	0,08_0,17	107,59
CA16 / CA16F	5,5	14,5	-0,26_-0,42	26,58	0,26_0,43	272,15
CA17 / CA17F	5,5	14,5	-0,26_-0,43	27,22	0,25_0,43	272,15
CA18 / CA18F	5,5	14,5	-0,25_-0,53	33,54	0,25_0,41	259,49
CB						
CB1 / CB1F	2,3	6,5	-0,37_-0,55	34,81	0,07_0,09	56,96
CB2 / CB2F	2,3	6,4	-0,37_-0,54	34,18	0,07_0,18	113,92
CB3 / CB3F	2,3	6,6	-0,41_-0,78	49,37	0,07_0,27	170,89
CB4 / CB4F	2,5	7,0	-0,51_-0,86	54,43	0,17_0,27	170,89
CB5 / CB5F	2,5	7,0	-0,50_-0,85	53,80	0,17_0,28	177,22
CB6 / CB6F	2,6	7,2	-0,50_-0,98	62,03	0,17_0,47	297,47
CB7 / CB7F	7,9	22,3	-1,05_-1,71	108,23	0,53_0,85	537,97
CB8 / CB8F	7,9	22,3	-1,05_-1,71	108,23	0,53_0,85	537,97
CB9 / CB9F	8,0	22,6	-1,29_-2,70	170,89	0,52_1,32	835,44
CB10 / CB10F	8,3	23,2	-1,39_-2,42	153,16	0,76_1,30	822,78
CB11 / CB11F	8,3	23,2	-1,39_-2,42	153,16	0,76_1,30	822,78
CB12 / CB12F	8,4	23,8	-1,56_-3,33	210,76	0,75_1,70	1075,95
CB13 / CB13F	6,2	16,2	-0,10_-0,14	8,86	0,02_0,06	37,97
CB14 / CB14F	6,2	16,1	-0,11_-0,14	8,86	0,02_0,06	37,97
CB15 / CB15F	6,2	16,1	-0,21_-0,35	22,15	0,02_0,10	63,29
CB16 / CB16F	6,2	16,0	-0,34_-0,50	31,65	0,20_0,35	221,52
CB17 / CB17F	6,2	16,0	-0,34_-0,50	31,65	0,20_0,35	221,52
CB18 / CB18F	6,2	16,0	-0,35_-0,65	41,14	0,19_0,36	227,85

Quadro 5.5 (Continuação): Síntese dos resultados obtidos pelo programa Robot.

Identificação da Combinação	Deslocamento		Compressão na parede		Tracção na parede	
	Máximo (mm)		Intervalo de tensões máximas (MPa)	Percentagem relativa à capacidade resistente limite (%)	Intervalo de tensões máximas (Mpa)	Percentagem relativa à capacidade resistente limite (%)
	Instantâneo	Com Fluência				
CC1 / CC1F	2,3	6,5	-0,08_-0,10	6,33	0,36_0,52	329,11
CC2 / CC2F	2,3	6,5	-0,09_-0,11	6,96	0,35_0,50	316,46
CC3 / CC3F	2,3	6,6	-0,09_-0,31	19,62	0,35_0,62	392,41
CC4 / CC4F	2,5	7,0	-0,18_-0,29	18,35	0,48_0,81	512,66
CC5 / CC5F	2,5	7,1	-0,19_-0,29	18,35	0,47_0,79	500,00
CC6 / CC6F	2,6	7,2	-0,17_-0,47	29,75	0,48_0,82	518,99
CC7 / CC7F	7,9	22,2	-0,56_-0,89	56,33	1,00_1,63	1031,65
CC8 / CC8F	7,9	22,2	-0,57_-0,90	56,96	1,00_1,63	1031,65
CC9 / CC9F	7,9	22,5	-0,82_-1,98	125,32	0,99_1,95	1234,18
CC10 / CC10F	8,3	23,4	-0,79_-1,34	84,81	1,34_2,33	1474,68
CC11 / CC11F	8,3	23,3	-0,79_-1,35	85,44	1,33_2,32	1468,35
CC12 / CC12F	8,4	23,8	-1,04_-2,50	158,23	1,32_2,43	1537,97
CC13 / CC13F	6,2	16,2	-0,02_-0,06	3,80	0,11_0,15	94,94
CC14 / CC14F	6,2	16,1	-0,01_-0,05	3,16	0,12_0,20	126,58
CC15 / CC15F	6,2	16,1	-0,05_-0,17	10,76	0,16_0,26	164,56
CC16 / CC16F	6,2	16,1	-0,20_-0,34	21,52	0,34_0,51	322,78
CC17 / CC17F	6,2	16,1	-0,20_-0,35	22,15	0,33_0,50	316,46
CC18 / CC18F	6,2	16,1	-0,19_-0,45	28,48	0,32_0,51	322,78

5.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.6.1 AMBAS AS LAJES COM IGUAL RIGIDEZ

Os valores apresentados para os deslocamentos, instantâneos e com fluência, são os mais baixos comparando com os outros dois casos de lajes com diferente rigidez. Neste caso em estudo, o deslocamento máximo, admitindo fluência, ronda os 5,0mm para as lajes quadradas de 5x5m, e os 19,0mm para as lajes quadradas de 8x8m.

Os intervalos de tensões máximas de compressão e de tracção são os mais equilibrados e de valores semelhantes.

A análise que será apresentada de seguida refere-se aos valores de tensões organizados no quadro anterior, Quadro 5.5, identificadas pelas combinações CA e pela observação das figuras anexadas no Anexo 1.

As percentagens relativas à capacidade resistente limite da parede, apresentadas no quadro 5.5, permite ter uma ideia da probabilidade de ocorrência de fissuras. Sendo o limite de rotura à tracção de uma parede de alvenaria muito inferior ao limite de rotura à compressão, observa-se em quase todas as soluções uma percentagem acima dos 100% no que respeita a capacidade resistente da parede quando sujeita a tensões de tracção.

Para as soluções de paredes sem aberturas (CA1F, CA4F, CA7F, CA10F, CA13F, CA16F) os intervalos de tensões máximas ocorrem nos cantos da parede, sendo tracções nos cantos superiores e compressões nos cantos inferiores. No entanto, existe uma pequena excepção, na combinação CA13F, que apresentando valores muito reduzidos os valores máximos ocorrem não propriamente nos cantos. Quanto à posição da parede, os valores de tensão mais gravosos para o desempenho da parede é quando esta se encontra excêntrica em relação ao centro da estrutura (CA4F, CA10F, CA16F).

Para cada solução quer de parede centrada, quer excêntrica, quando se coloca uma abertura e sendo esta centrada em relação à parede em questão (CA2F, CA8F, CA14F, CA5F, CA11F, CA17) os intervalos de tensões são iguais aos apresentados pelas paredes que não contem abertura e ocorrem igualmente nos cantos superior e inferior da parede. Como exemplo vejam-se as soluções CA1F (sem abertura) e CA2F (com abertura centrada) em Anexo1. Nos resultados ilustrativos em anexo, nas simulações quando as aberturas são centradas em relação à parede, repara-se que existem valores bastante significativos de tensões de tracção nos cantos inferiores da abertura e de compressão nos cantos superiores da abertura.

Quando a abertura é excêntrica em relação à parede (CA3F, CA9F, CA15F, CA6F, CA12F, CA18F), comparando CA3F com CA1F e CA2F, as tensões de compressão e de tracção são um pouco mais elevadas, sendo que as compressões ocorrem nos cantos inferiores da parede e também no canto superior esquerdo e inferior direito da abertura, e as tracções nos cantos superiores da parede e também nos cantos opostos da ocorrência das compressões na abertura. Neste tipo de solução, onde a abertura é excêntrica em relação à parede, os valores máximos não são nos cantos da parede mas sim nos cantos da abertura.

Pelo Quadro 5.5 podemos observar que quando aumentamos o vão da laje os valores de compressão e tracção aumentam significativamente, quer se trate de parede sem abertura ou não, quer parede centrada ou excêntrica. Pelas figuras apresentadas no Anexo 1, relativamente aos painéis de parede com maior vão, 8m, os valores são bastante elevados, ultrapassando em muito os 2MPa de tensão de compressão no canto inferior das aberturas excêntricas (CA9F, CA12F).

No caso das lajes rectangulares 5x8m, os valores máximos das tensões de tracção e compressão são semelhantes, sendo valores muito baixos, praticamente residuais comparando com as simulações de lajes quadradas.

5.6.2 LAJE SUPERIOR POUCO RIGIDA + LAJE INFERIOR MUITO RIGIDA

A análise que será apresentada de seguida refere-se aos valores de tensões organizados no quadro anterior, Quadro 5.5, identificadas pelas combinações CB e pela observação das figuras anexadas no Anexo 2.

Nas simulações estudadas para este caso onde a laje superior é menos rígida do que a inferior, as tensões de tracção são menores e as tensões de compressão mais elevadas. Como se pode observar nas

figuras em anexo, Anexo2, a parede, em grande parte das simulações, encontra-se praticamente toda em compressão, onde a distribuição das tensões assemelha-se a um arco, traduzindo-se o efeito de arco. Numa parede de alvenaria com uma ligação forte entre vários elementos, se as condições de apoio se modificarem, essa parede terá tendência a redistribuir as cargas, aumentando-as nas zonas menos móveis, isto é, nas regiões mais rígidas, como os apoios, e aliviando-as, até à anulação, nas zonas mais deformáveis, criando assim o chamado efeito de arco.

Para paredes sem abertura (CB1F, CB4F, CB7F, CB10F, CB13F, CB16F), como foi referido anteriormente, o painel encontra-se praticamente todo em compressão, havendo tensões de tracção pontualmente nos cantos superiores e na base inferior da parede.

Quando a parede é centrada e possui abertura centrada (CB2F, CB8F, CB14F), os valores de tensão de compressão prevalecem em toda a parede, atingindo valores máximos nos cantos inferiores da parede e nos cantos superiores da abertura centrada. As tensões de tracção são muito reduzidas, no entanto podem trazer problemas nos cantos inferiores da abertura. Com excepção, nos painéis com vão de 8m, a tensão de tracção aumenta bastante, sendo também um problema nos cantos superiores da parede.

Quando a abertura é excêntrica em relação à parede centrada (CB3F, CB9F, CB15F), os valores de tracção máximos ocorrem nos cantos superior direito e inferior esquerdo da abertura, nos cantos opostos aos valores de compressão máximos. Os cantos inferiores da parede também apresentam valores elevados de tensão de compressão.

Aos valores máximos de compressão encontrados neste caso refere-se às combinações CB7 a CB12, a lajes quadradas com vão de 8m, sendo nesta segunda combinação a registar um valor de tensão de compressão que ultrapassa os 3MPa, junto à abertura. Nos casos em que a parede não apresenta abertura e a que apresenta abertura centrada em relação à parede, o valor de tensão de compressão máximo e de tracção máximo são iguais e ocorrem nos mesmos pontos. Quando posicionamos a abertura excêntrica em relação à parede, estes valores máximos aumentam significativamente e normalmente ocorrem no canto inferior direito da abertura. Esta análise ocorre quer para parede centrada, quer para parede excêntrica em relação à estrutura.

Comparando as soluções com e sem fluência, repara-se que à medida que avançamos no tempo, os valores de compressão diminuem no centro no centro da parede e vão aumentando até aos cantos inferiores.

5.6.3 LAJE SUPERIOR MUITO RIGIDA + LAJE INFERIOR POUCO RIGIDA

A análise que será apresentada de seguida refere-se aos valores de tensões organizados no quadro anterior, Quadro 5.5, identificadas pelas combinações CC e pela observação das figuras anexadas no Anexo 3.

Os valores mais elevados dos deslocamentos máximos da estrutura surgem nos casos em que as lajes superior e inferior apresentam rigidez diferente.

Observando os valores das tensões de compressão do quadro, nota-se que para este caso, as tensões de compressão são menores em relação às simulações efectuadas para os casos anteriores. As tensões de tracção na parede são maiores. As tensões de compressão ocorrem na maioria nos cantos inferiores da parede, junto à laje pouco rígida.

Observando as imagens no Anexo 3, reparamos que os painéis, em praticamente todas as simulações encontram-se traccionados.

Nas paredes com abertura centrada (CC2F, CC5F, CC8F, CC11F, CC14, CC17F) as tensões de tracção são mais elevadas nos cantos superiores da parede e nos cantos inferiores da abertura. A parede encontra-se comprimida nos cantos inferiores da parede e na parte superior da abertura.

5.7. CONCLUSÕES FINAIS

Depois da análise dos resultados obtidos, podemos responder de uma forma mais clara ao objectivo deste trabalho, sendo ele dedicado ao estudo da influência que as deformações dos suportes de betão armado têm no desempenho mecânico das paredes de alvenaria interiores.

De acordo com a percentagem calculada a probabilidade de ocorrência de fissuras mais significativas tende a aparecer devido às tensões de tracção. Isto acontece porque o limite de rotura à tracção de uma parede de alvenaria é muito inferior ao limite de rotura à compressão. As percentagens atribuídas são importantes, não devido ao valor numérico que representam, mas para ter uma forma de comparação entre elas.

Como era de esperar, tanto as tensões de compressão e tracção como os deslocamentos máximos são mais gravosos para vãos maiores, e no caso das lajes rectangulares, só foi simulado o caso quando a orientação da laje se apresenta no menor vão sendo mais gravosa que se a orientação da laje fosse no maior vão.

As situações em que ocorrem os casos mais gravosos respeitantes à compressão, nos casos onde a laje superior é pouco rígida e a laje inferior muito rígida, são aquelas em que se verifica uma menor contribuição das tracções para a rotura global da parede. No caso contrário, temos as situações piores para as tracções, no caso em que a laje superior é muito rígida e a laje inferior bastante deformável, sendo menos gravoso para a ocorrência de compressões.

A posição da parede em relação à estrutura, quer seja centrada ou excêntrica, não varia muito os valores dos deslocamentos das lajes, no entanto, é nas situações onde a parede se encontra excêntrica em relação ao centro da estrutura que os valores das tensões se agravam. De forma a comparar o comportamento da parede na sua posição centrada ou excêntrica, apresenta-se de seguida exemplos de ilustrações retiradas do programa de cálculo, Fig.5.13 a 5.16.

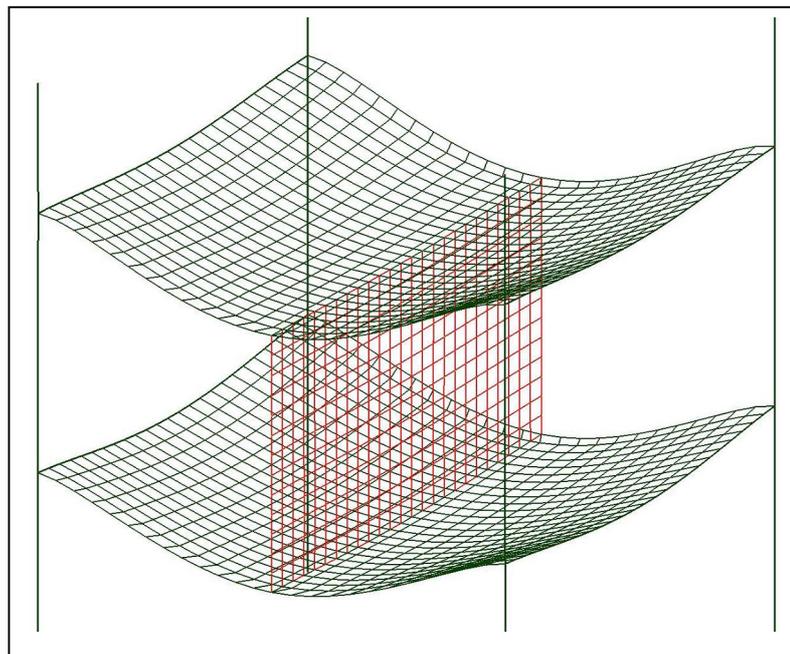


Fig.5.13: Comportamento da parede centrada sujeita à deformabilidade das lajes.

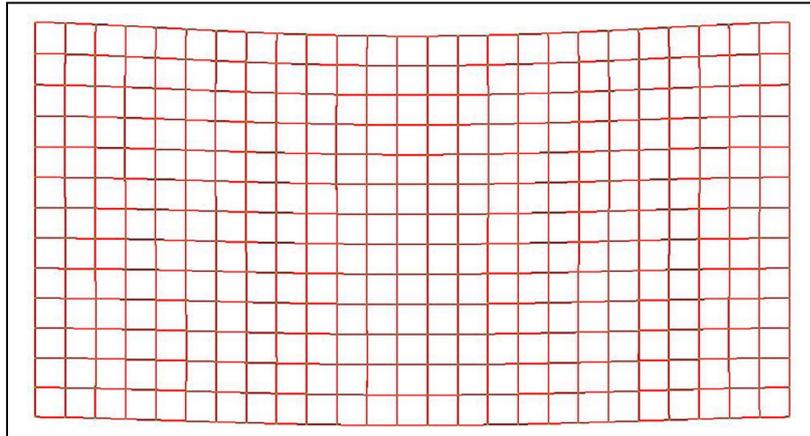


Fig.5.14: Deformação da parede centrada.

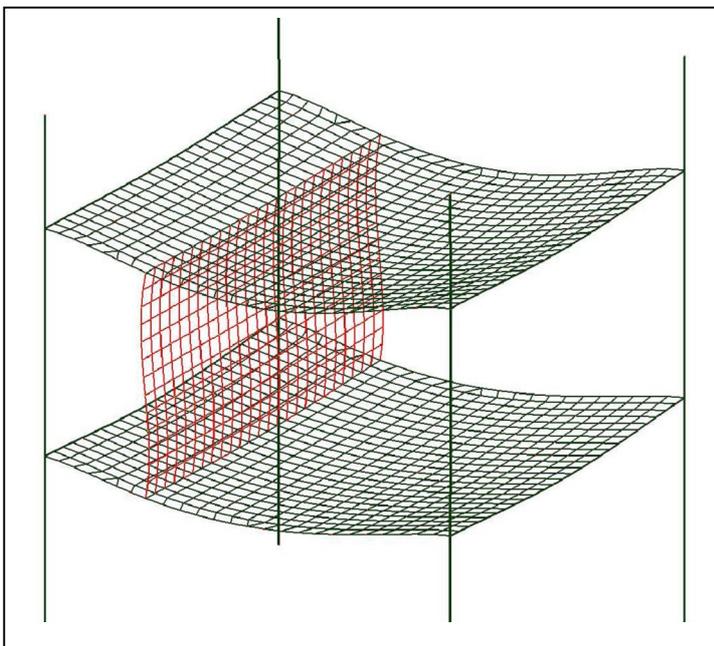


Fig.5.15: Comportamento da parede excêntrica sujeita à deformabilidade das lajes.

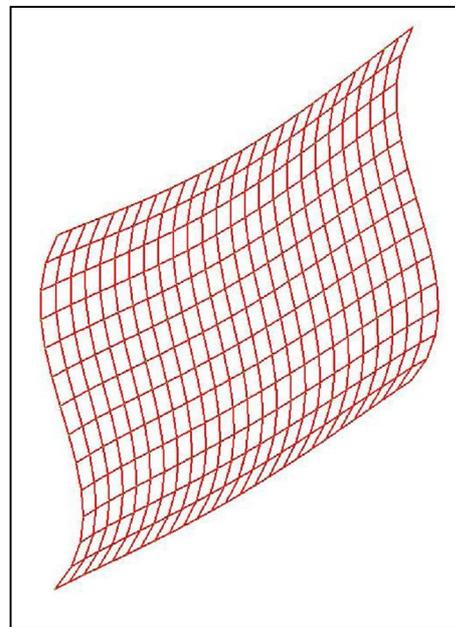


Fig.5.16: Deformação da parede excêntrica.

Pelas figuras acima apresentadas, podemos perceber a razão pela qual as tensões são mais gravosas quando a parede se encontra excêntrica. É nesta situação que a parede tem tendência sofrer mais os efeitos de rotação da laje, comportando uma maior encurvadura e provocando um aumento das tensões instaladas na parede (Fig.5.16). Quando a parede se encontra centrada (Fig.5.13), mesmo se a laje superior for mais deformável do que a inferior, as tensões de compressão que ocorrem na parede não são tão significativas ao ponto de a encurvar (Fig.5.14).

A presença de aberturas influencia o percurso das tensões ao longo da parede, como se pode observar comparando os exemplos das figuras seguintes, Fig.5.17 a 5.19. É nas situações de paredes com abertura que, maioritariamente, os valores máximos das tensões ocorrem nos cantos das aberturas, e não nos cantos da parede como nas situações sem aberturas. A situação mais gravosa é quando a parede se encontra excêntrica em relação à estrutura e com abertura excêntrica em relação à parede, sendo que os valores máximos de tensões geralmente ocorrem nos cantos da abertura.

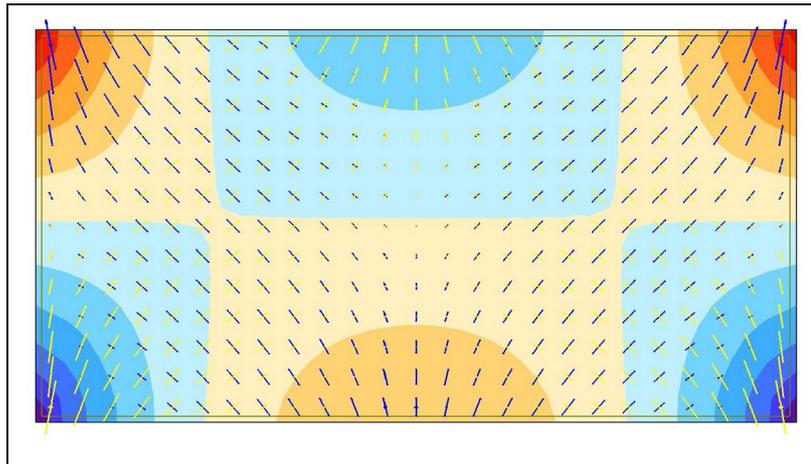


Fig.5.17: Representação da direcção das tensões na superfície da parede.

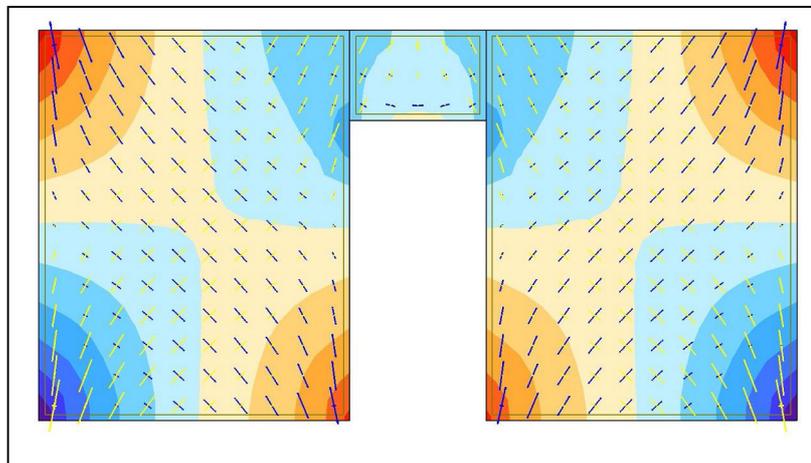


Fig.5.18: Representação da direcção das tensões na superfície da parede com abertura centrada.

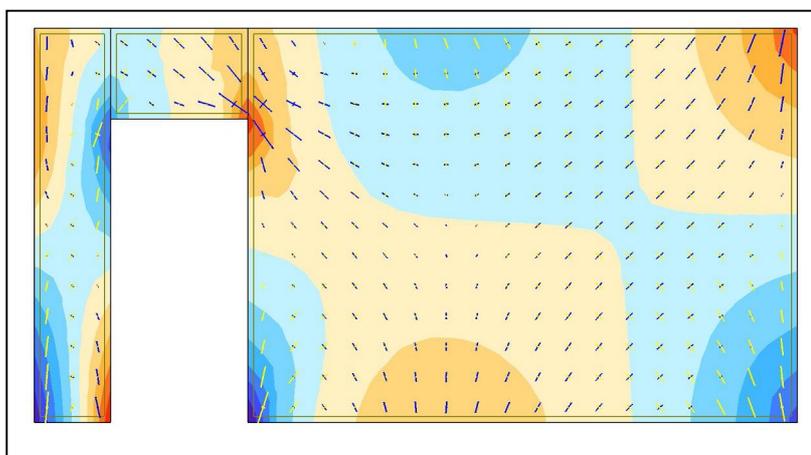


Fig.5.19: Representação da direcção das tensões na superfície da parede com abertura excêntrica.

As simulações representadas nas figuras anteriores, apresentam setas ao longo da superfície da parede de modo a ficar mais claro qual a direcção das tensões quando a parede é submetida à deformação das lajes. As setas apresentadas a azul referem-se à direcção das tensões de compressão e as setas amarelas às tensões de tração. Os casos apresentados como exemplo referem-se às simulações CA1F, CA2F e CA3F, respectivamente.

De forma a sintetizar a análise no subcapítulo 5.6, apresenta-se em forma de quadro, Quadro 5.6, qual a probabilidade que existe de ocorrer fissuração nas paredes e em que locais surgem mais facilmente, quer num curto ou longo espaço de tempo.

Quadro 5.6: Localização da possível ocorrência de fissuras na parede.

Combinação	Localização da ocorrência da fissuração	
	Instantâneo	Com Fluência
Parede centrada sem abertura (vão de laje 5x5)	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: -</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: -</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção.</p>
Parede centrada com abertura centrada (vão de laje 5x5)	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: -</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede; cantos inferiores da abertura por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede; cantos inferiores da abertura por tracção.</p>
Parede centrada com abertura excêntrica (vão de laje 5x5)	<p>Lajes com rigidez elevada: Canto superior direito da parede e canto superior direito da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: -</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede, lateral esquerda da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Canto superior direito da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura; parte lateral esquerda da parede por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede, lateral esquerda da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p>

<p>Parede excêntrica sem abertura (vão de laje 5x5)</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p>
<p>Parede excêntrica com abertura centrada (vão de laje 5x5)</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede; cantos inferiores da abertura por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede; cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede; cantos inferiores da abertura por tracção.</p>
<p>Parede excêntrica com abertura excêntrica (vão de laje 5x5)</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Canto superior direito da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Canto superior direito da parede por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e lateral esquerda da parede; canto superior direito e canto inferior esquerdo da abertura por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede e base inferior da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e lateral esquerda da parede, base inferior da parede; canto superior direito e canto inferior esquerdo da abertura por tracção.</p>
<p>Parede centrada sem abertura (vão de laje 8x8)</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p> <p>Cantos inferiores da parede por compressão.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p>

<p>Parede centrada com abertura centrada (vão de laje 8x8)</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede; cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede; cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Cantos inferiores da parede por compressão.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p>
<p>Parede centrada com abertura excêntrica (vão de laje 8x8)</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores e base inferior da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Canto superior direito da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores e base inferior da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Canto inferior direito da abertura por compressão.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Cantos inferiores da parede; canto superior esquerdo e inferior direito da abertura por compressão.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Canto inferior direito da abertura por compressão.</p>
<p>Parede excêntrica sem abertura (vão de laje 8x8)</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p> <p>Cantos inferiores da parede por compressão.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.</p> <p>Cantos inferiores da parede por compressão.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior:</p>

		Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.
Parede excêntrica com abertura centrada (vão de laje 8x8)	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Cantos inferiores da parede por compressão.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p> <p>Cantos inferiores da parede por compressão.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção.</p>
Parede excêntrica com abertura excêntrica (vão de laje 8x8)	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores e base da parede; canto superior direito e canto inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede; canto superior direito e canto inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede; canto superior direito e canto inferior esquerdo da abertura por tracção.</p>	<p>Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores e base da parede; canto superior direito e canto inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Cantos inferiores da parede e canto inferior direito da abertura por compressão.</p> <p>Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede; canto superior direito e canto inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Cantos inferiores da parede; canto superior esquerdo e inferior direito da abertura por compressão.</p> <p>Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores, lateral esquerda e base inferior da parede prolongando até ao centro da mesma; canto superior direito e canto inferior esquerdo da abertura por tracção.</p> <p>Canto inferior esquerdo da parede, canto inferior direito da abertura por compressão.</p>
Parede centrada sem abertura (vão de laje 5x8)	—	—

Parede centrada com abertura centrada (vão de laje 5x8)	–	– Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos inferiores da abertura por tracção.
Parede centrada com abertura excêntrica (vão de laje 5x8)	– Laje superior mais rígida que a inferior: Canto superior direito da abertura por tracção.	Lajes com rigidez elevada: Canto superior direito da abertura por tracção. Laje superior menos rígida que a inferior: – Laje superior mais rígida que a inferior: Canto superior direito da abertura por tracção.
Parede excêntrica sem abertura (vão de laje 5x8)	Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede por tracção. Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção. Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção.	Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede por tracção. Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção. Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede por tracção.
Parede excêntrica com abertura centrada (vão de laje 5x8)	Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção. Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede por tracção. Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede; cantos inferiores da abertura por tracção.	Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção. Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede e cantos inferiores da abertura por tracção. Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede; cantos inferiores da abertura por tracção.
Parede excêntrica com abertura excêntrica (vão de laje 5x8)	Lajes com rigidez elevada: Canto superior direito da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção. Laje superior menos rígida que a inferior: Canto superior direito da parede por tracção. Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.	Lajes com rigidez elevada: Cantos superiores da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção. Laje superior menos rígida que a inferior: Cantos superiores da parede, canto superior direito e canto inferior esquerdo da abertura por tracção. Laje superior mais rígida que a inferior: Cantos superiores e base inferior da parede; canto superior direito e inferior esquerdo da abertura por tracção.

6

CONCLUSÃO

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do trabalho foram apresentadas as observações consideradas de maior interesse, realizando-se neste capítulo uma síntese das principais conclusões e resultados obtidos.

Apesar de todos os suportes sofrerem deformações sob ações das cargas aplicadas, é nos elementos horizontais submetidos a esforços de flexão, as vigas e lajes, que este fenómeno tem uma maior repercussão. A deformação excessiva das lajes pode provocar diversos danos, muito antes de atingir limites que ponham em causa a sua própria estabilidade. As paredes de alvenaria têm em geral uma rigidez que não é compatível com as flechas admitidas para as lajes e que ocorrem de modo significativo no início da sua vida, mas se vão prolongando ao longo dos anos, embora com um ritmo menor.

Do ponto de vista regulamentar, a prevenção da fissuração das paredes, por deformação excessiva do suporte, é feita pela limitação da relação entre a flecha e o vão, cuja verificação pode, em geral, ser dispensada, mediante o cumprimento de relações máximas entre a altura da secção e o vão das peças de betão armado, estabelecidas em função das respectivas condições de apoio. No entanto, existem critérios e limites definidos nos diversos regulamentos.

No caso de vigas e lajes correntes, o EC2 [28] considera satisfeitas as exigências regulamentares se a flecha não ultrapassar $L/500$ do vão para as ações quase-permanentes. Acrescenta ainda que “o aspecto e as condições de utilização da estrutura podem ser alterados quando a flecha calculada de uma viga, laje ou consola sujeitas a ações quase-permanentes for superior a $vão/250$ ”.

Com a entrada em vigor do EC6 [16], a possibilidade de adoptar soluções em alvenaria simples e confinada, e até mesmo armada, parece ser inquestionável. Até ao presente não existia nenhum regulamento nacional sobre construção em alvenaria. As regras gerais expressas no EC6 podem ser adoptadas para as paredes não-estruturais. As exigências relativas à resistência, utilização e durabilidade das estruturas em alvenaria estrutural presentes no EC6 juntamente com todas as outras exigências no que toca a paredes de compartimentação interior que estão em permanente evolução, permitem uma melhoria na qualidade da execução destas paredes e dos materiais empregues de forma a diminuir as inúmeras patologias que tendem a aparecer.

É importante perceber qual o comportamento mecânico das paredes de alvenaria face às deformações dos suportes, pois cada vez mais surgem anomalias graves e de difícil recuperação. Para ter uma visão mais clara da contribuição dessas deformações nas alvenarias, e sendo este também um problema bastante complexo, foi feita uma análise de sensibilidade de uma parede interior a partir de um programa de elementos finitos.

No Capítulo 5 deste trabalho além de se apresentar os resultados obtidos por simulação, é feita uma análise aos resultados e comentários finais. No entanto, fica aqui uma síntese das situações mais importantes que ocorreram na simulação.

Antes de mais, devem ser referidas algumas limitações do modelo submetido à simulação, visto poderem condicionar um pouco os resultados. Uma das limitações foi a ligação da parede de alvenaria às lajes, superior e inferior, visto que nas simulações se considerou uma ligação rígida entre os dois elementos. Na realidade, os dois elementos, parede de alvenaria e lajes de betão armado, estão separados por pequenas juntas flexíveis, constituídas por materiais elásticos. Seria necessário criar no programa de cálculo uma ligação mais adequada que se aproxima-se o mais possível da realidade, o que não aconteceu neste trabalho devido à sua dificuldade e ao pouco conhecimento sobre o programa utilizado.

Foi observado em algumas simulações o chamado efeito de arco, que acontece quando o suporte se deforma e a parede se desliga na sua parte central e fica apoiada nos seus extremos. Assim, produzem-se na parede tensões de compressão por efeito de arco e tensões de tracção na parte inferior da parede que podem produzir fissuração e inclusive a rotura total da parede, se houver deslizamento dos apoios extremos.

A introdução de aberturas na parede conduz a um aumento das deformações e das tensões instaladas, sendo ultrapassados os limites de resistência em algumas zonas da parede, nomeadamente na zona da abertura, o que pode obrigar a um estudo mais cuidado em termos de estabilidade nos pontos singulares da abertura. Para que estes problemas de fissuração estejam controlados, pode-se recorrer à utilização da alvenaria armada.

O efeito da fluência comparado em todas as simulações efectuadas, como era de esperar, revela-se prejudicial para as estruturas em betão armado, trazendo por isso consequências negativas para as paredes de alvenaria. As tensões de tracção e de compressão e os deslocamentos obtidos nas lajes mostram diferenças significativas, apresentando valores superiores a longo tempo.

A influência dos revestimentos da parede não deve ser totalmente desprezável pois contribui positivamente para o desempenho da parede, reduzindo as deformações e colmatando as deficiências de construção ou das próprias unidades de alvenaria. O desenvolvimento da fissuração ao longo de uma parede pode ser influenciada também pela presença ou não de revestimento. Em paredes não revestidas, a fissuração segue as juntas de assentamento pois são os locais com menor resistência da parede, enquanto que para as paredes revestidas a distribuição das forças desenvolvidas no seu interior são mais uniformes devido à presença da camada de revestimento, resultando fissuras mais lineares.

Quando estudamos o comportamento destas paredes não devemos esquecer que muitas delas têm um comportamento mais frágil devido à presença de roços no seu interior, necessários para embeber instalações, logo mais susceptíveis de sofrerem maiores deformações.

De um modo geral os objectivos foram alcançados, apesar das limitações ao nível do conhecimento do programa de cálculo. Os resultados conseguidos podem ajudar a uma melhor compreensão do funcionamento das alvenarias que se encontram pouco estudadas no nosso País.

6.2. TRABALHOS FUTUROS

Apresentam-se de seguida algumas sugestões que poderão ser seguidas para aprofundar o trabalho desenvolvido:

- Estudo das flechas a longo prazo, no sentido de compatibilizar as deformações das paredes de alvenaria com aberturas com as deformações das estruturas de betão armado.
- Comparar os resultados obtidos no programa de elementos finitos com os resultados experimentais com alvenaria simulada em laboratório.
- Incrementar modelos mais adequados para este estudo, no que toca à real ligação entre a parede e os suportes, visto que o programa utilizado considera como sendo uma ligação rígida.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aguiar Bentes, C. *Paredes Divisórias de painéis leves – Gesso Cartonado*. Junho 2002. www.construlink.pt Monografian.º2(http://www.construlink.com/Homepage/2003_ConstrulinkPress/Monografias.php?actual=15&CategoriaLivro=&textoPesquisa). 19/05/2011.
- [2] Ramalho, M. *Paredes Divisórias – Painéis pré-fabricados de alvenaria de tijolo revestida a gesso*. Abril 2003. www.construlink.pt – Monografia n.º14 (http://www.construlink.com/Homepage/2003_ConstrulinkPress/Monografias.php?actual=0&CategoriaLivro=&textoPesquisa). 19/05/2011.
- [3] Silva, L. *Análise técnico/financeira de paredes exteriores em panos simples*. Dissertação de Mestrado, IST – Universidade Técnica de Lisboa, 2007.
- [4] APICER. *Manual de Alvenaria de Tijolo*. Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica de Construção, Coimbra, 2000.
- [5] <http://ebookbrowse.com/tese-final-pdf-d49003487>. 13/03/2011.
- [6] Duarte M., C., *Inovação nas argamassas de construção para alvenarias*. Seminário sobre paredes de alvenaria, 2007.
- [7] LNEC *Exigências Funcionais de Revestimentos de paredes*. LNEC, Lisboa, 1990.
- [8] Paiva, J., Veiga, M. Rosário *Aspectos gerais dos revestimentos de paredes*. LNEC, 1996.
- [9] Santos, C. *Evolução das soluções de paredes face a novas exigências regulamentares*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria (P. B. Lourenço et al., eds.), 2007, LNEC, Lisboa.
- [10] PORTUGAL – Leis, Decretos, etc. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril). Lisboa, Imprensa Nacional, 2006.
- [11] PORTUGAL – Leis, Decretos, etc. – Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (Decreto-Lei nº 83/2007, aprovado em Conselho de Ministros de 2007-01-25).
- [12] [10] PORTUGAL – Leis, Decretos, etc. Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei nº 129/2002, de 11 de Maio). Lisboa, Imprensa Nacional, 2002.
- [13] Ferreira, V. *Acetatos da disciplina Processos de Construção no Instituto Superior Técnico*, Lisboa.
- [14] L 133/28 Jornal Oficial das Comunidades Europeias. *Anexo_ Definições, Ensaios e Critérios de Desempenho*, 2000.
- [15] Gouveia, J.P., Lourenço, P. *O Eurocódigo 6 e o dimensionamento de estruturas de alvenaria*. Revista Construção Magazine, n.º17, 3.º Trimestre 2006, página 36.
- [16] Eurocode 6. Design of masonry structures – Part 1-1: General Rules for Buildings. Rules for reinforced and unreinforced masonry. CEN, prENV 1996-1-1, 1995.
- [17] Sabbatini, F., Franco, L., Barros, M. Notas de aula: *Tecnologia de vedações verticais*. Capítulo 2, Departamento de Engenharia de Construção Civil
- [18] Grimm, C. T. *The most important property of masonry*. Masonry Construction, Sept., 1988.
- [19] Pereira, M. *Anomalias em Paredes de Alvenaria Sem Função Estrutural*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2005.

- [20] Silva, J. *Fissuração das alvenarias – Estudo do comportamento das alvenarias sob acções térmicas*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 1998.
- [21] Dias, J.L. *Fissuração de paredes de alvenaria devido ao movimento dos elementos de suporte*. 2.º Encore – Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios, 1994, LNEC, pág.785, LNEC, Lisboa.
- [22] Pfeffermann, O. *Fissuration des cloisons en maçonnerie due a une déformation excessive du support. Étude expérimentale*. CSTE - revue, Décembre 1975.
- [23] Carvalho, L. *Fissuração de paredes de alvenaria*. LNEC, 1990.
- [24] Pfeffermann, O. *Fissuration des cloisons en maçonnerie due a une déformation excessive du support – Parte 2*. CSTE - revue, Décembre 1975.
- [25] Pfeffermann, O. *Les fissures dans les constructions: consequence de phénomènes physiques naturels*. Institut Technique du Bâtiment , Outubro 1968.
- [26] Pereira, M., Aguiar, J. *Fissuração de paredes de alvenaria de tijolo*. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil.
- [27] PORTUGAL – Leis, Decretos, etc. REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (Decreto-Lei nº 349-C/83 de 30 de Junho). Lisboa, Imprensa Nacional, 1983.
- [28] Eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras Gerais e Regras de Edifícios, Norma Europeia EN1992 – 1-1:2004. Abril/2004
- [29] GOMES, N.S. *A resistência das paredes de alvenaria*. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1982.
- [30] Veiga, M^a. R. *Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*. Tese de Doutoramento e programa de Investigação do LNEC. 1998.
- [31] Bauer, R., *Patologias em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto*. Capítulo 16.
- [32] Pinto, A. *O desenho das envolventes exteriores verticais dos edifícios e a existência de falhas, num processo de degradação*. 3.º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (Tema III), 2003, pág. 1209-1217, LNEC, Lisboa.
- [33] Sousa, M. *Controlo da qualidade na execução de elementos não-estruturais exteriores de um edifício – Alvenaria de tijolo*. Dissertação, IST, 2009.
- [34] Capítulo XVII. *Revestimento de Paredes interiores*. Universidade do Minho.
- [35] Mendes da Silva, J. *Alvenarias não estruturais. Patologias e estratégias de reabilitação*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria (Editor P.B. Lourenço; H. Sousa, eds.), 2002, Porto, pág. 187.
- [36] Mendes da Silva, J., Abrantes, V. *Patologias em paredes de alvenaria: Causas e Soluções*. Seminário sobre paredes de alvenaria (Lourenço P.B., eds.), 2007, pág. 65.
- [37] Thomaz, E. *Trincas em edifícios. Causas, prevenção e recuperação*. Escola Politécnica da Universidade de S.Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT/EPUSP/PINI, S. Paulo, 1989.
- [38] Oyamada, G. *Fissuras em alvenarias: Causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação*. <http://ms.oyamada.sites.uol.com.br/pdf/fissurasemalvenarias.pdf> (02/05/2011)

- [39] Paiva, J., Carvalho, E., Silva, A. Patologia da Construção. In *1.º Encontro sobre “Conservação e Reabilitação de Edifícios de Habitação”*, Documento Introdutório, LNEC, Lisboa, Junho 1985.
- [40] Coimbra, T. *Patologias em alvenaria de preenchimento induzidas por deformação dos suportes*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2010.
- [41] Azevedo, A. *Método dos Elementos Finitos*. FEUP, Porto, Abril 2003.
- [42] Dinis, L. Apontamentos de aulas. Disciplina de elementos finitos. Secção de Mecânica Aplicada. FEUP. 2010.

A1

VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA EFECTUADA PARA O CASO DE AMBAS AS LAJES APRESENTAREM ELEVADA RIGIDEZ

A1.1. GENERALIDADES

Com o objectivo de ilustrar os resultados relativos à simulação numérica do comportamento da parede quando sujeita a uma deformação dos suportes, apresentam-se neste Anexo 1 alguns exemplos de saídas gráficas fornecidas pelo programa ROBOT para o caso em que as lajes superior e inferior apresentam a mesma rigidez. Para cada caso em simulação apresentam-se duas figuras, correspondentes às tensões para um módulo de elasticidade instantâneo (cima) e devido à fluência (baixo).

A1.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A1.2.1. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA1/CA1F

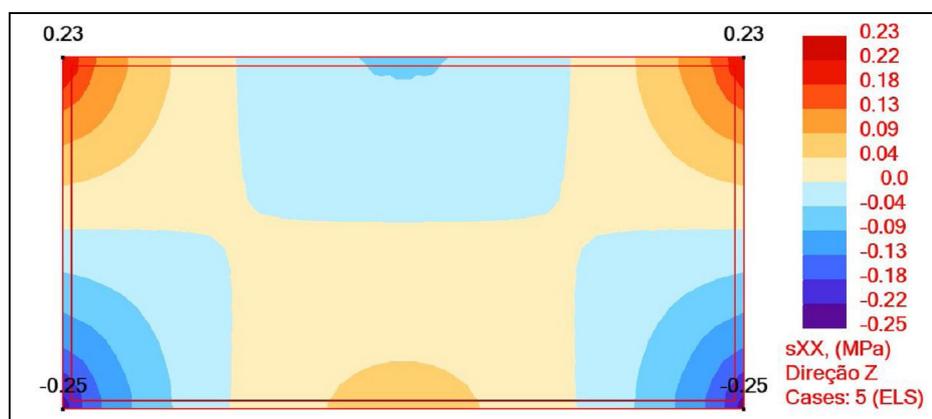


Fig.A1.1: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x5m.

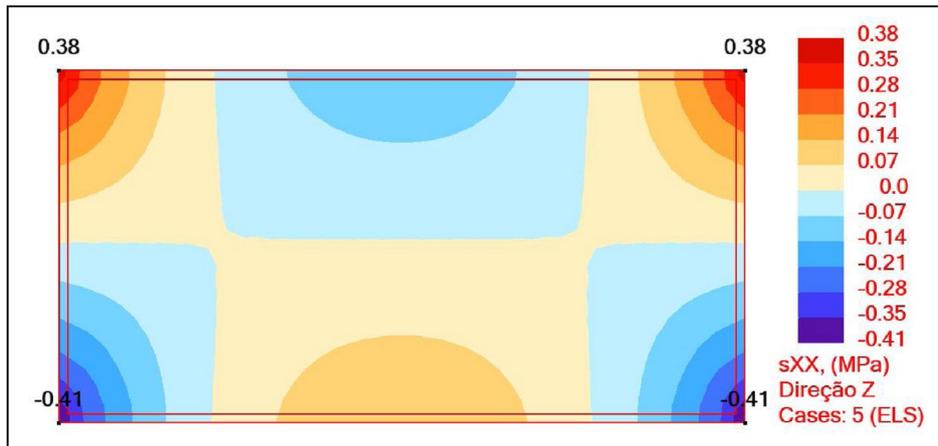


Fig.A1.2: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x5m.

A1.2.2. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA2/CA2F

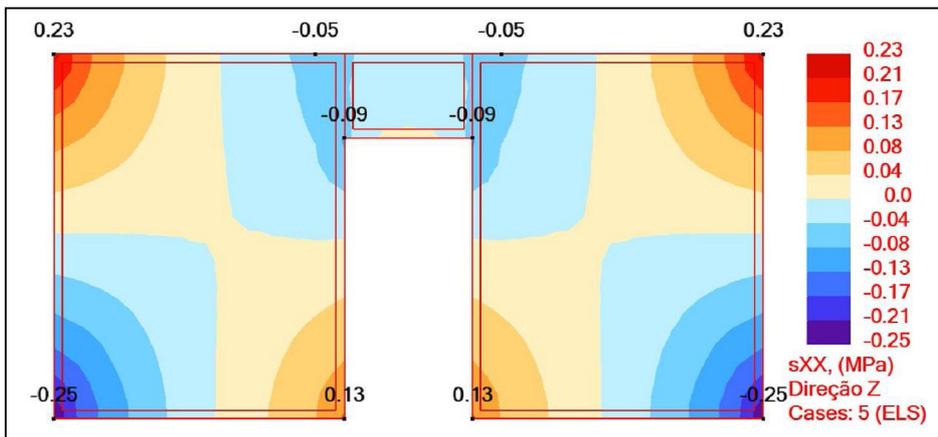


Fig.A1.3: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

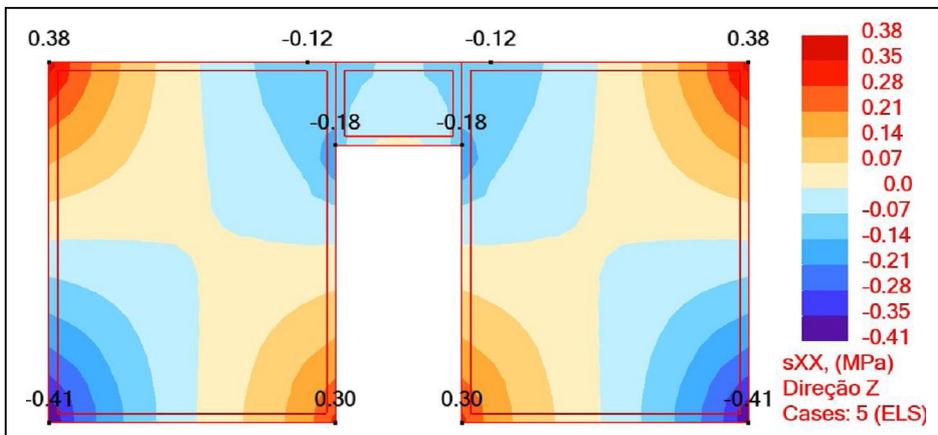


Fig.A1.4: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

A1.2.3. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA3/CA3F

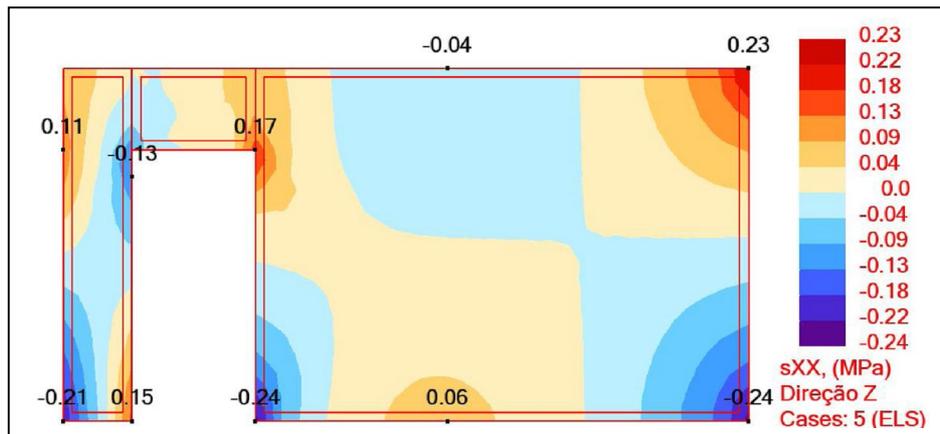


Fig.A1.5: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

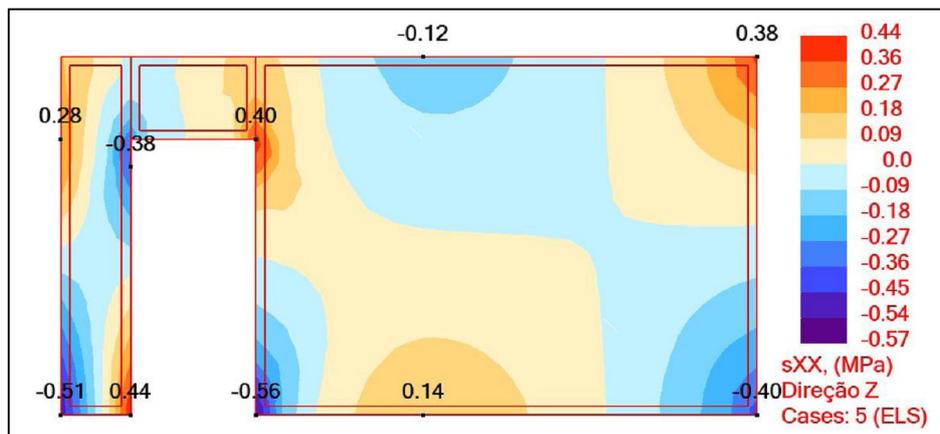


Fig.A1.6: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

A1.2.4. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA4/CA4F

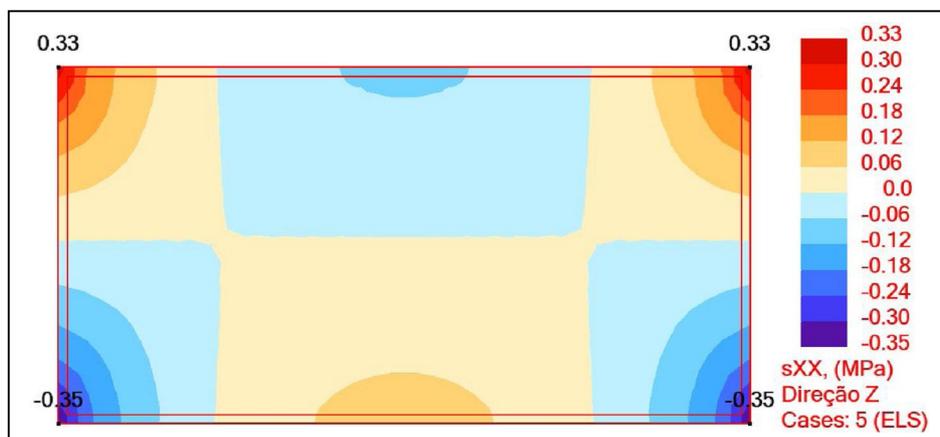


Fig.A1.7: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x5m.

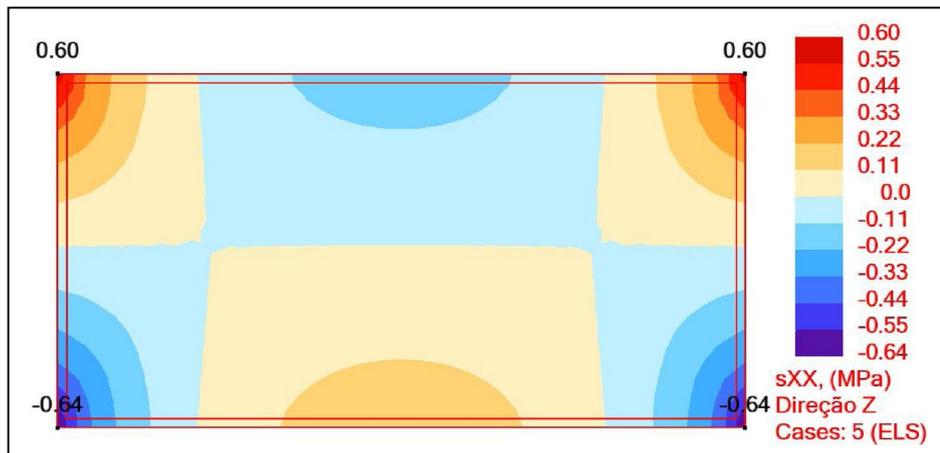


Fig.A1.8: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x5m.

A1.2.5. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA5/CA5F

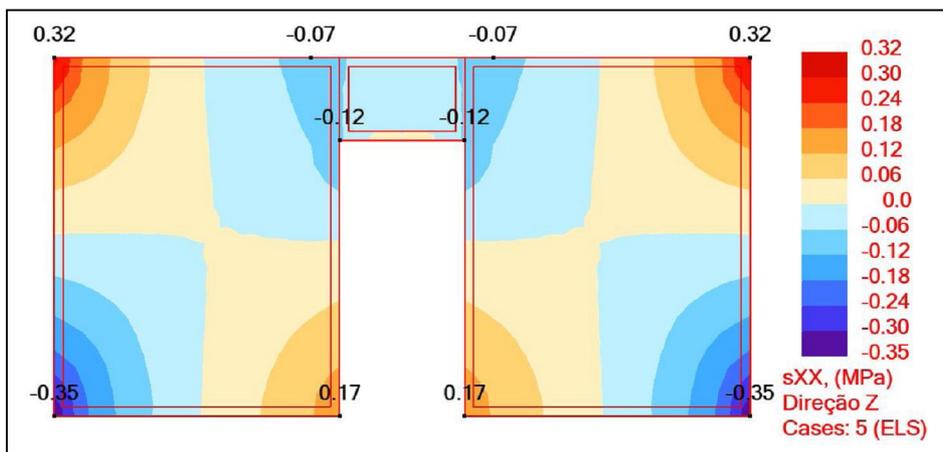


Fig.A1.9: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

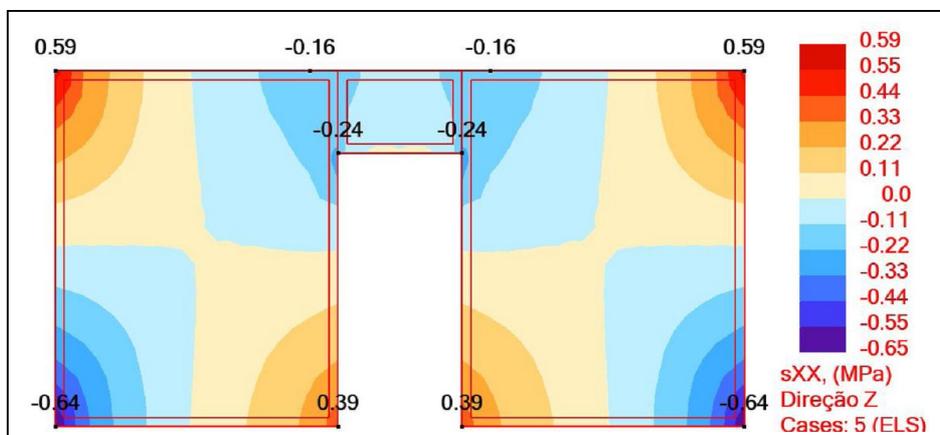


Fig.A1.10: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

A1.2.6. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA6/CA6F

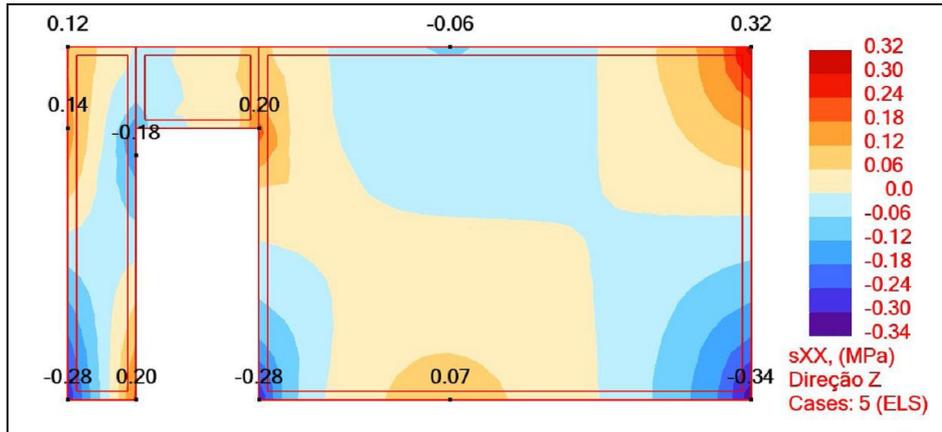


Fig.A1.11: Distribuição das tensões de tração e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

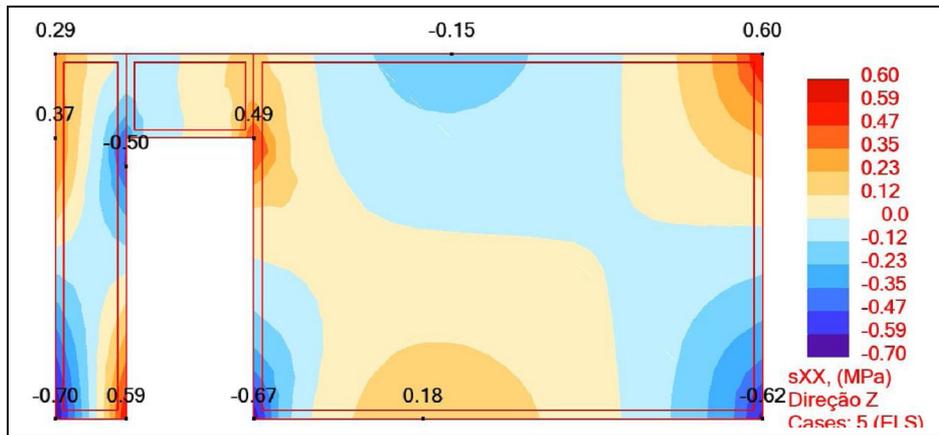


Fig.A1.12: Distribuição das tensões de tração e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

A1.2.7. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA7/CA7F

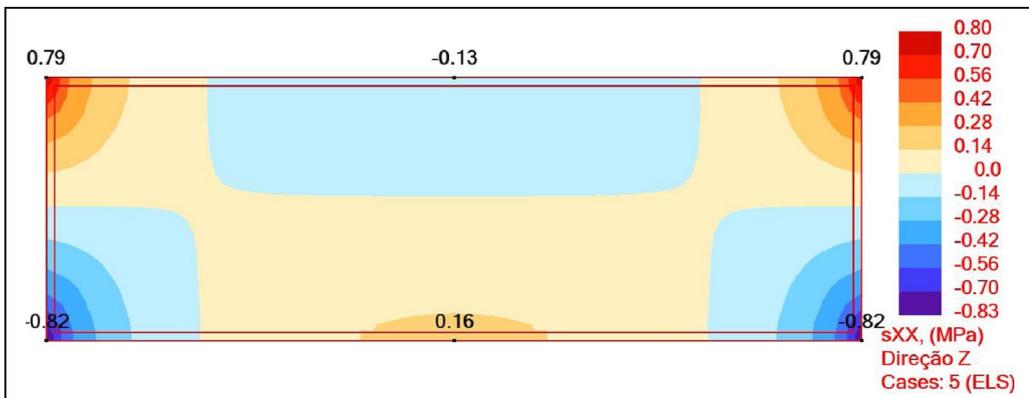


Fig.A1.13: Distribuição das tensões de tração e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 8x8m.

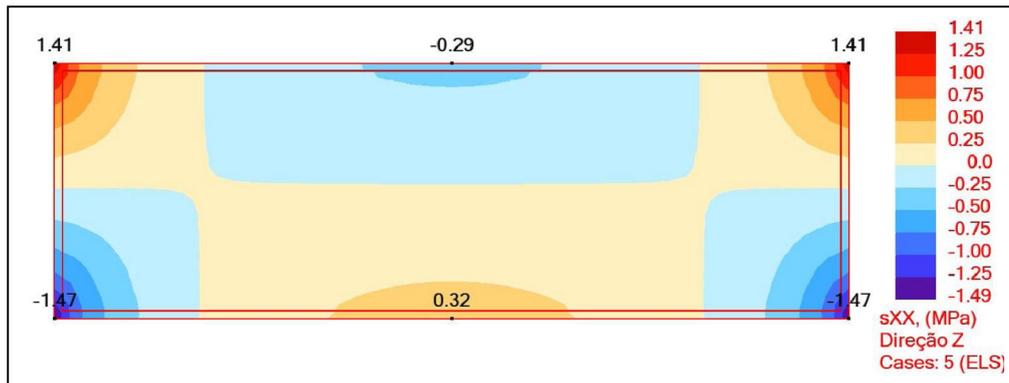


Fig.A1.14: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 8x8m.

A1.2.8. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA8/CA8F

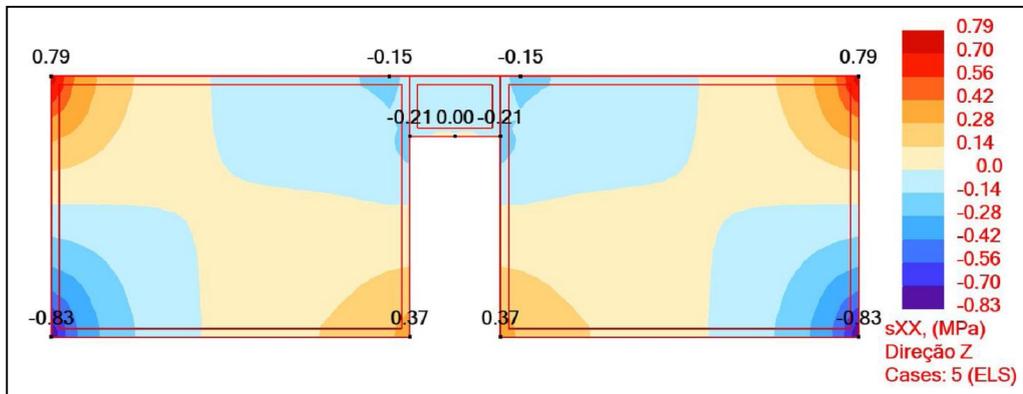


Fig.A1.15: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

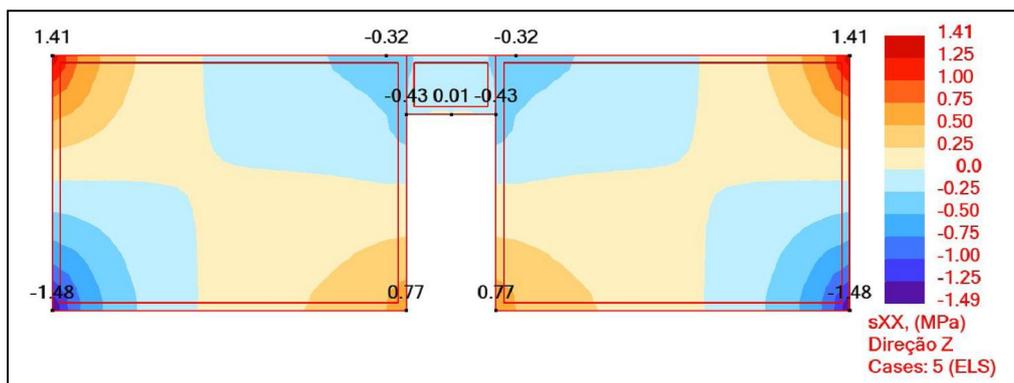


Fig.A1.16: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

A1.2.9. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA9/CA9F

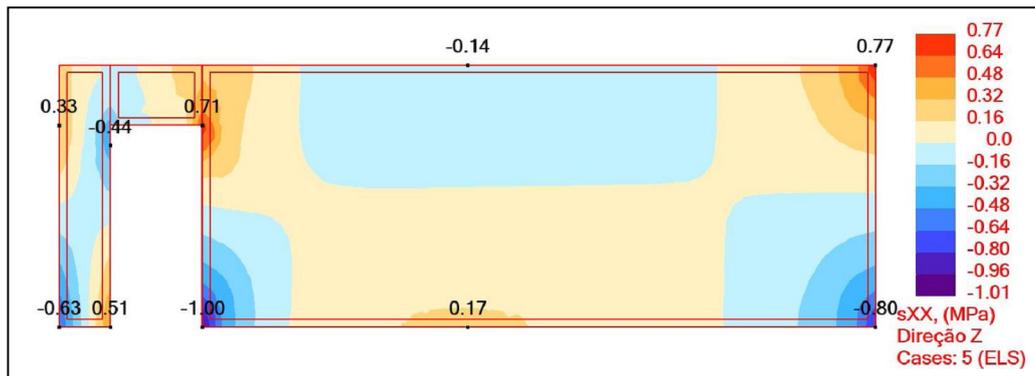


Fig.A1.17: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

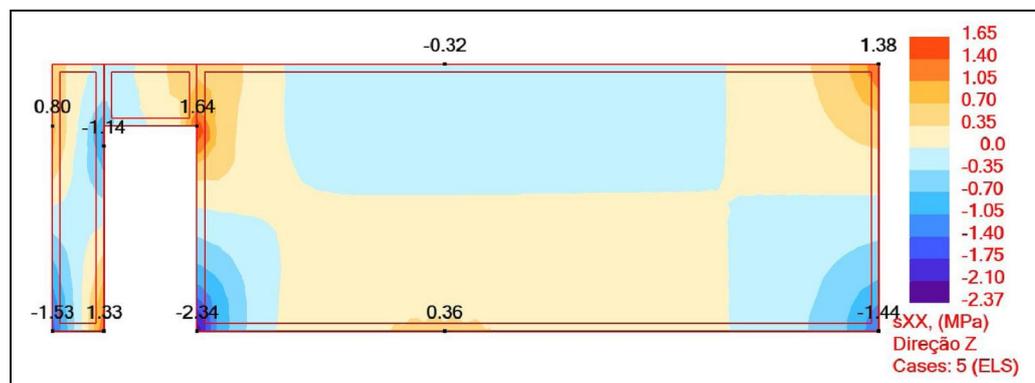


Fig.A1.18: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

A1.2.10. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA10/CA10F

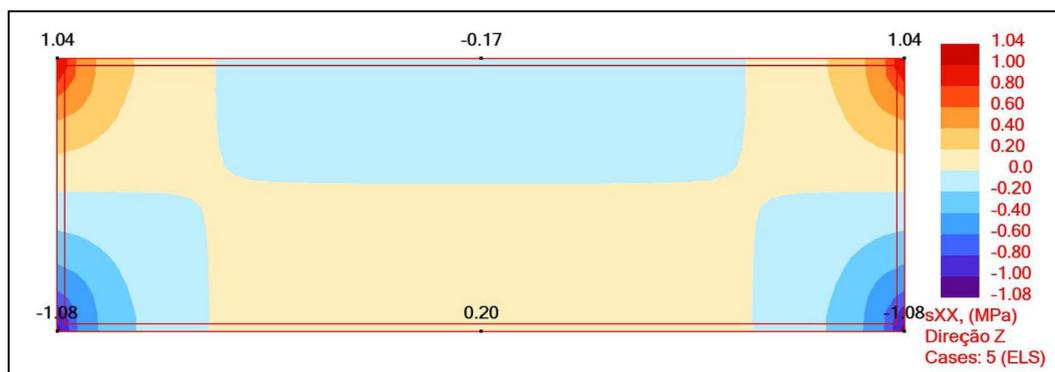


Fig.A1.19: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 8x8m.

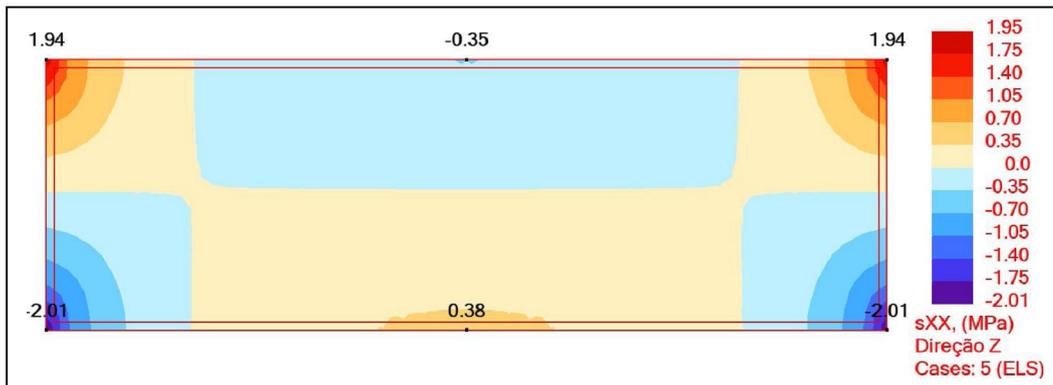


Fig.A1.20: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 8x8m.

A1.2.11. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA11/CA11F

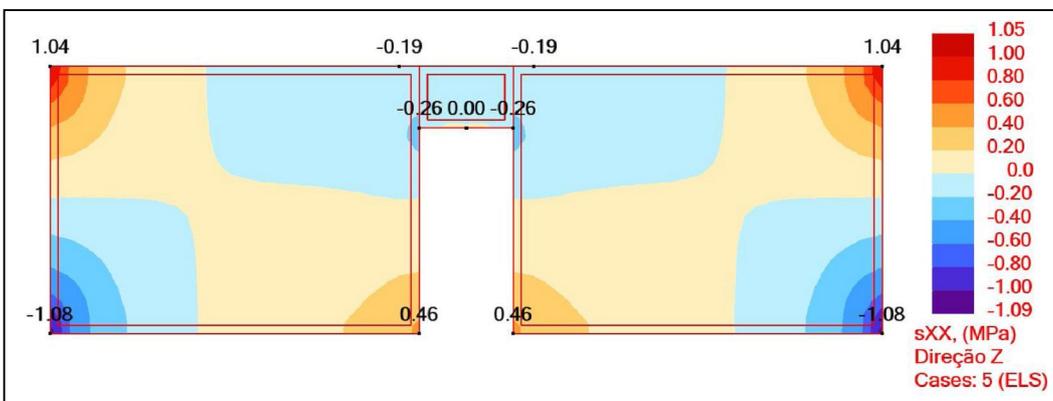


Fig.A1.21: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

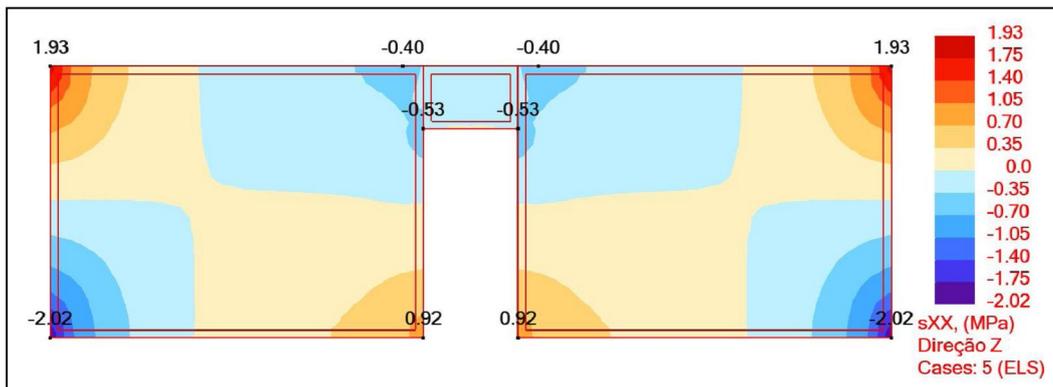


Fig.A1.22: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

A1.2.12. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA12/CA12F

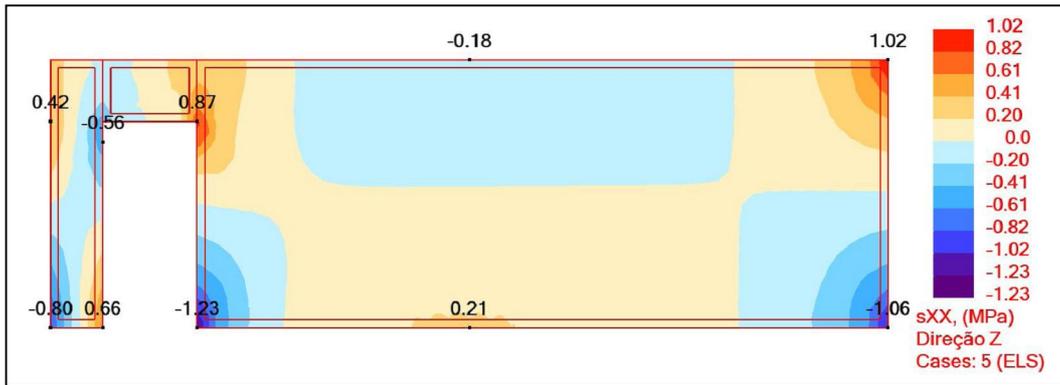


Fig.A1.23: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

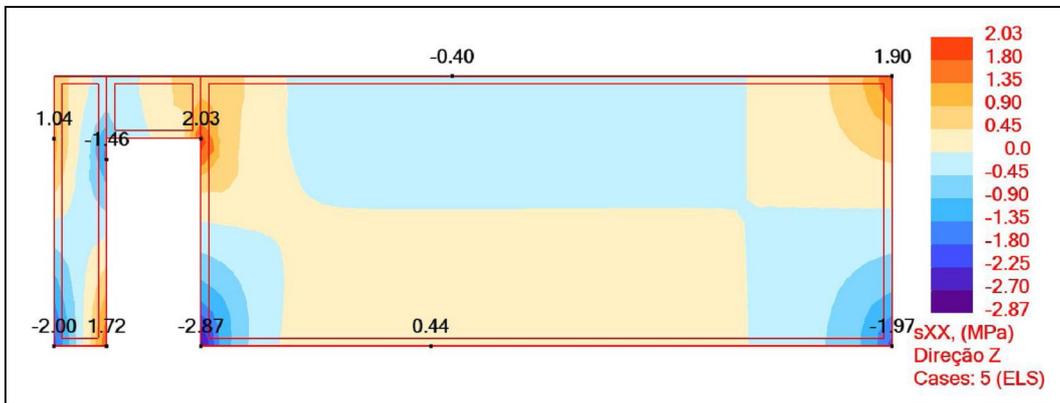


Fig.A1.24: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

A1.2.13. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA13/CA13F

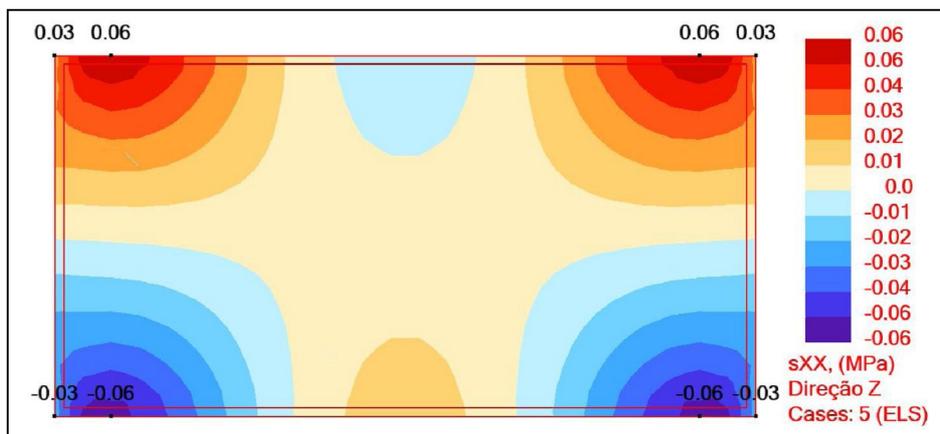


Fig.A1.25: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x8m.

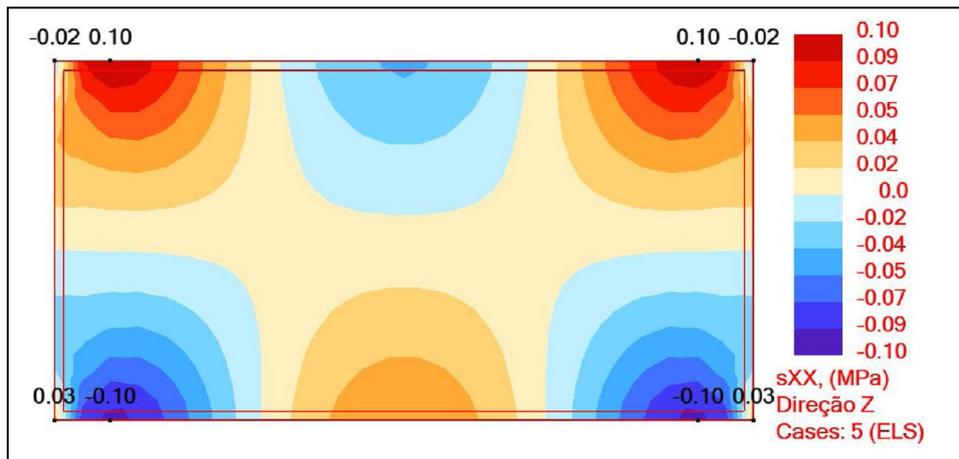


Fig.A1.26: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x8m.

A1.2.14. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA14/CA14F

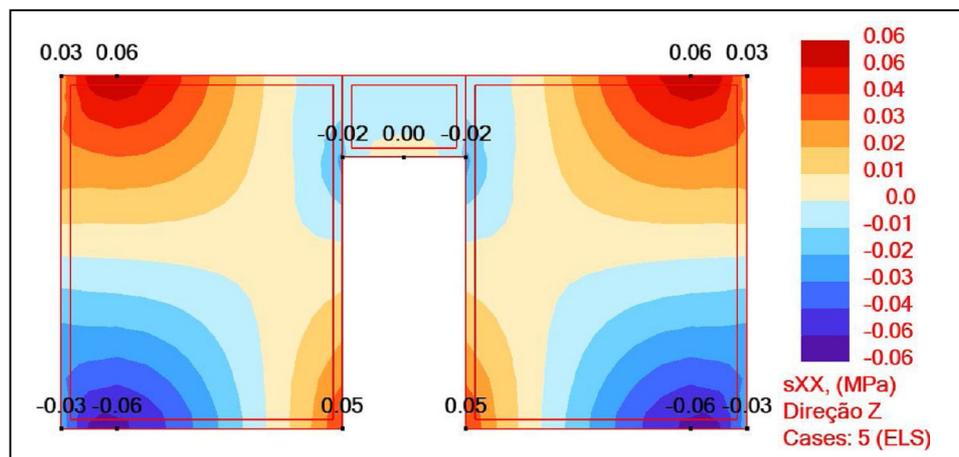


Fig.A1.27: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

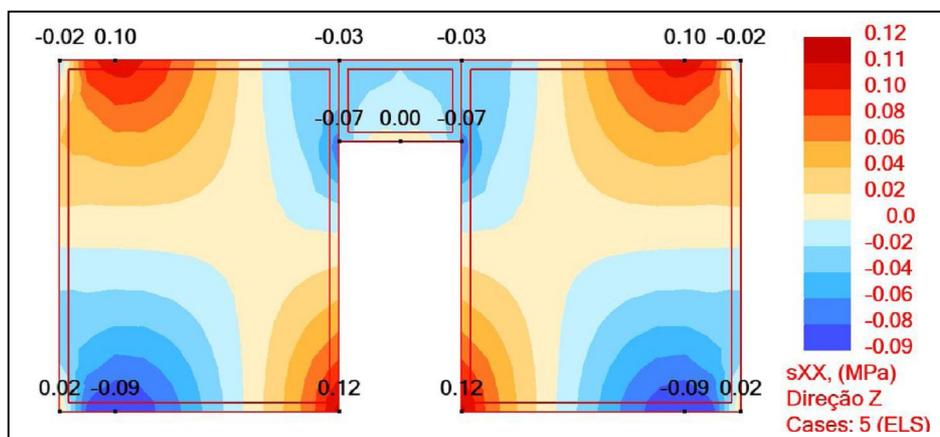


Fig.A1.28: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

A1.2.15. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA15/CA15F

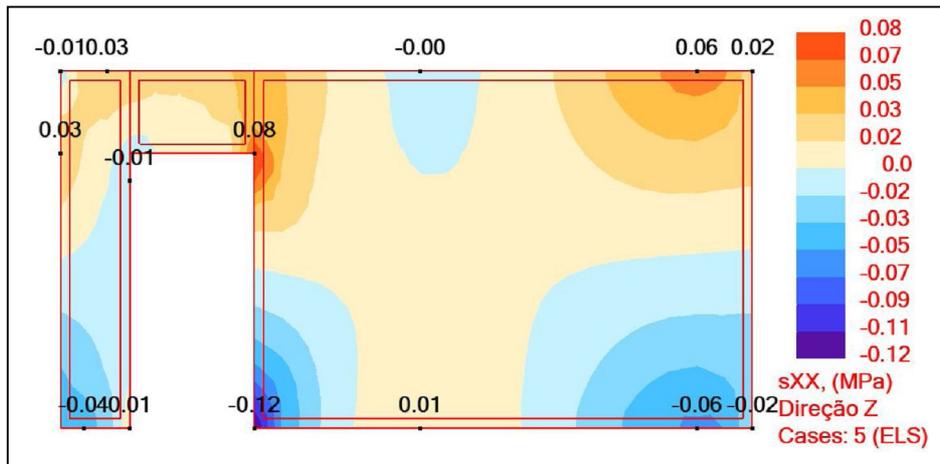


Fig.A1.29: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

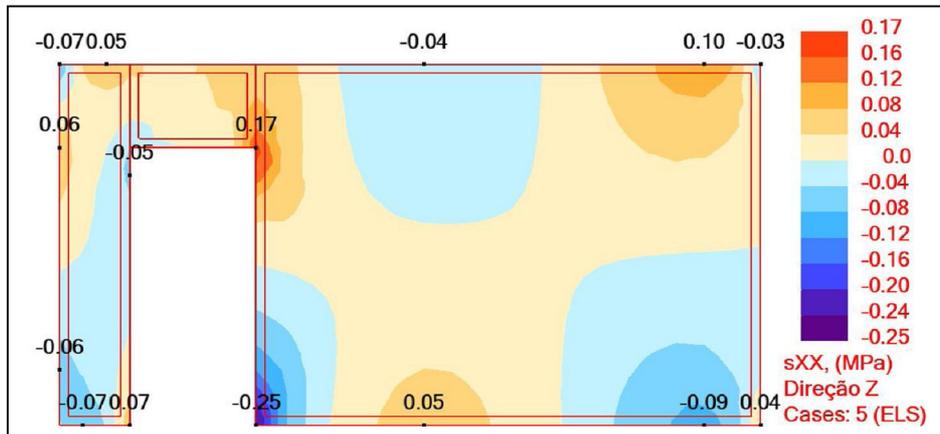


Fig.A1.30: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

A1.2.16. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA16/CA16F

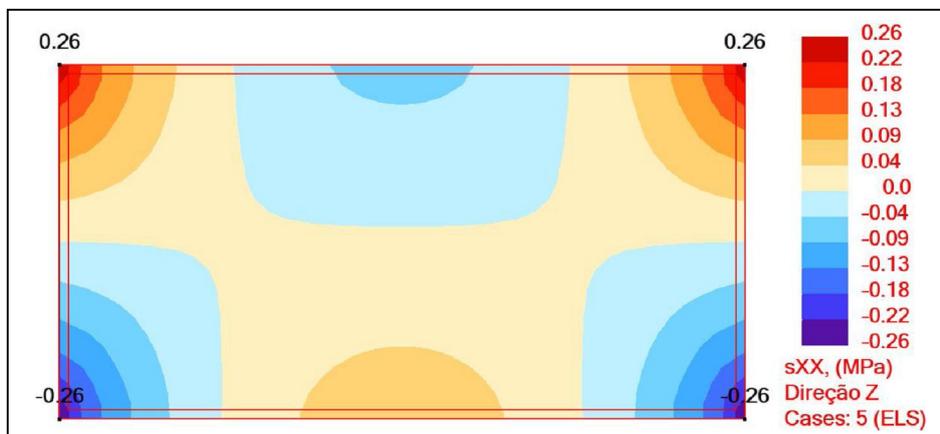


Fig.A1.31: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x8m.

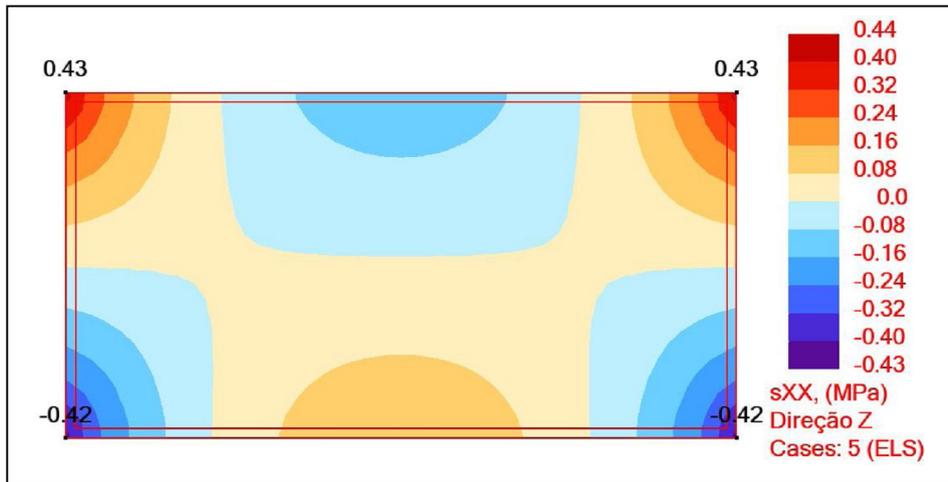


Fig.A1.31: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x8m.

A1.2.17. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA17/CA17F

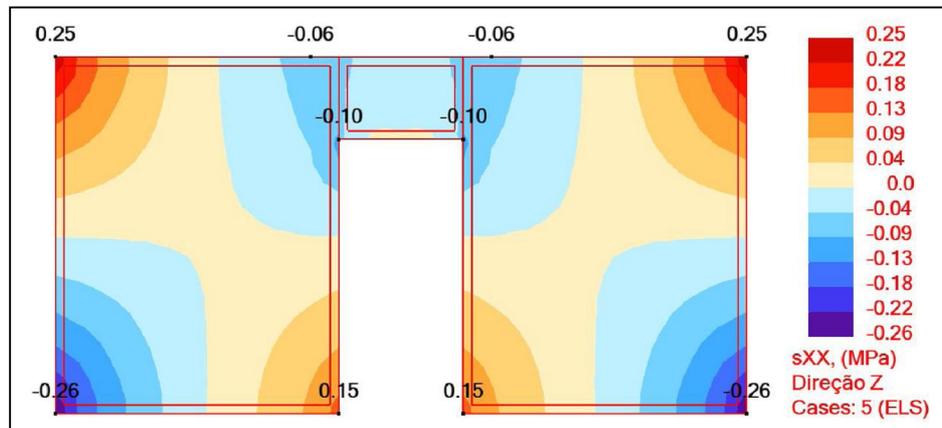


Fig.A1.32: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

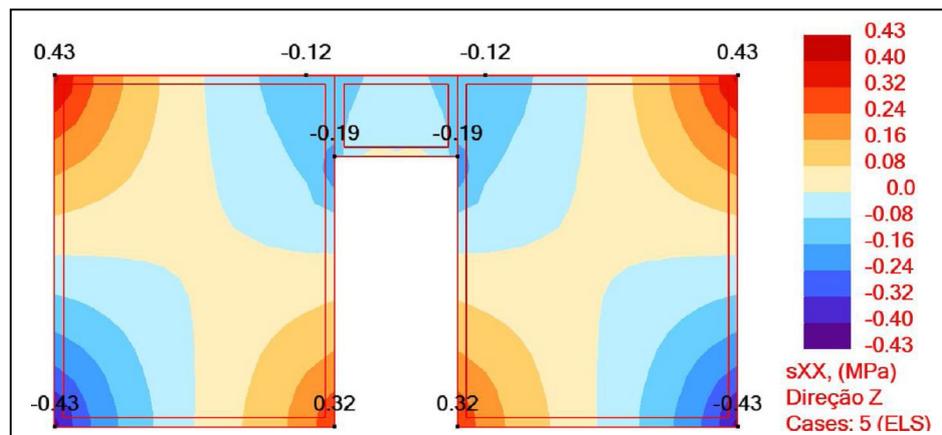


Fig.A1.33: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

1.2.1. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CA18/CA18F

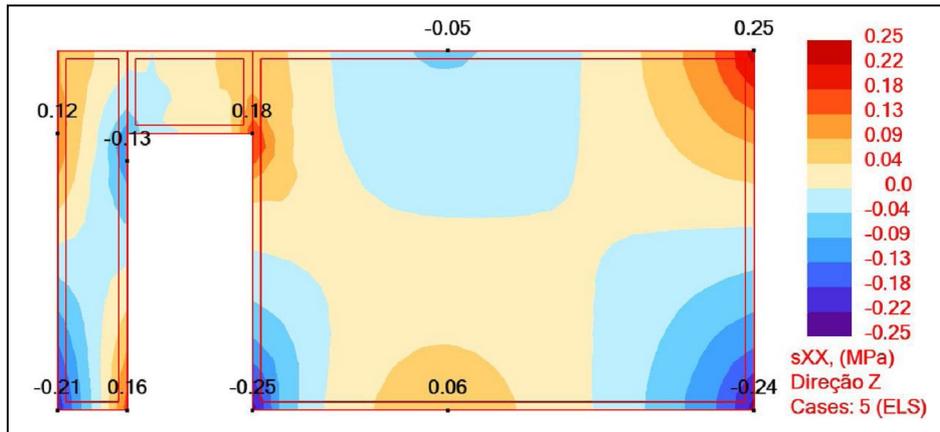


Fig.A1.34: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

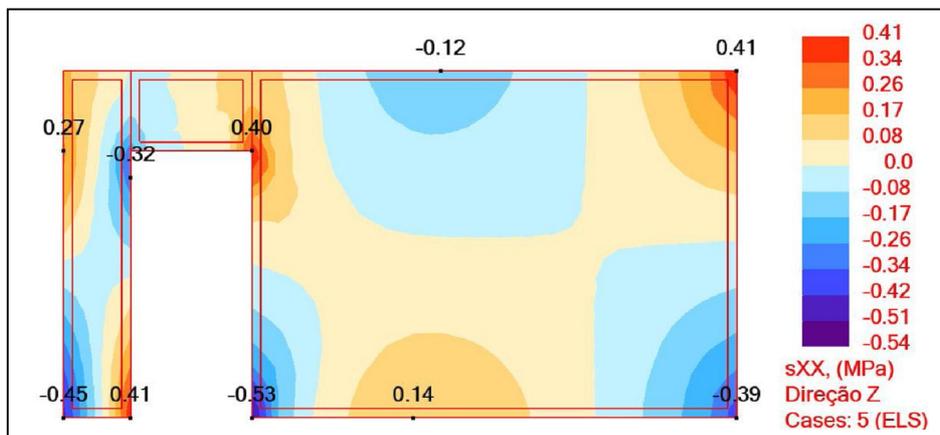


Fig.A1.35: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

A2

VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA EFECTUADA PARA O CASO EM QUE A LAJE INFERIOR É MAIS RÍGIDA DO QUE A SUPERIOR

A2.1. GENERALIDADES

Com o objectivo de ilustrar os resultados relativos à simulação numérica do comportamento da parede quando sujeita a uma deformação dos suportes, apresentam-se neste Anexo 2 alguns exemplos de saídas gráficas fornecidas pelo programa ROBOT para o caso em que a laje inferior é mais rígida do que a superior. Para cada estado de tensão apresentam-se duas figuras, correspondentes à tensão para um módulo de elasticidade instantâneo (esquerda) e devido à fluência (direita).

A2.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A2.2.1. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB1 / CB1F

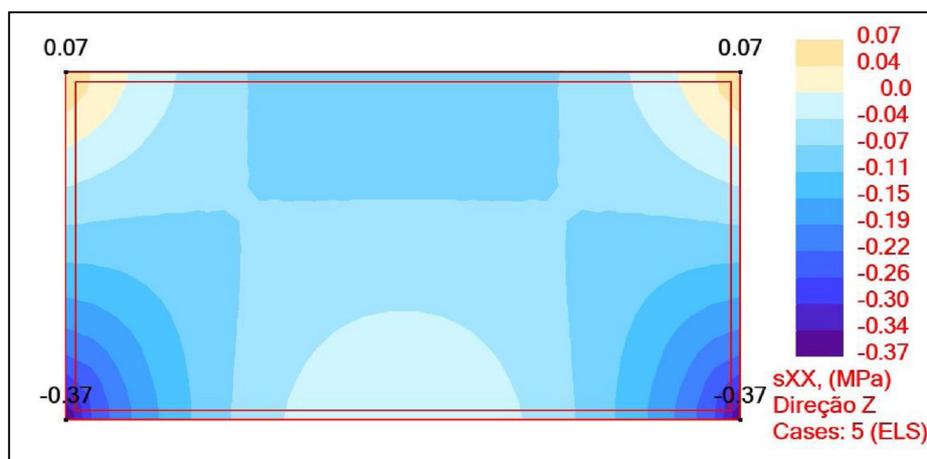


Fig.A2.1: Distribuição das tensões de tração e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x5m.

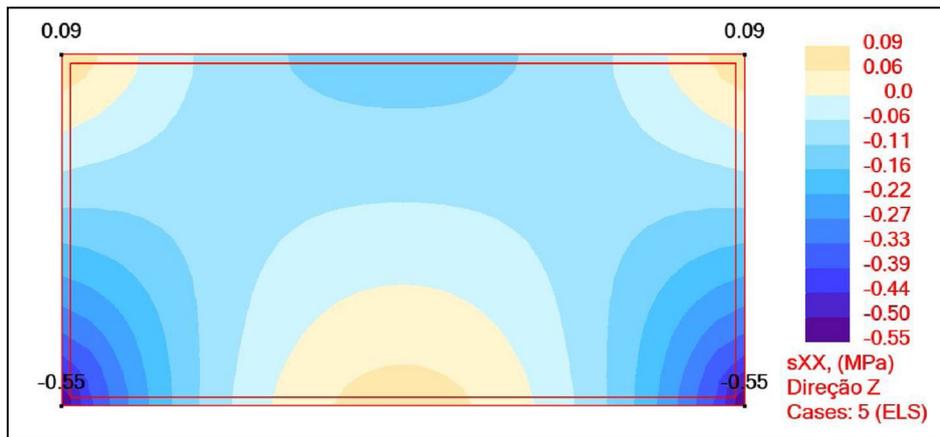


Fig.A2.2: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x5m.

A2.2.2. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB2 / CB2F

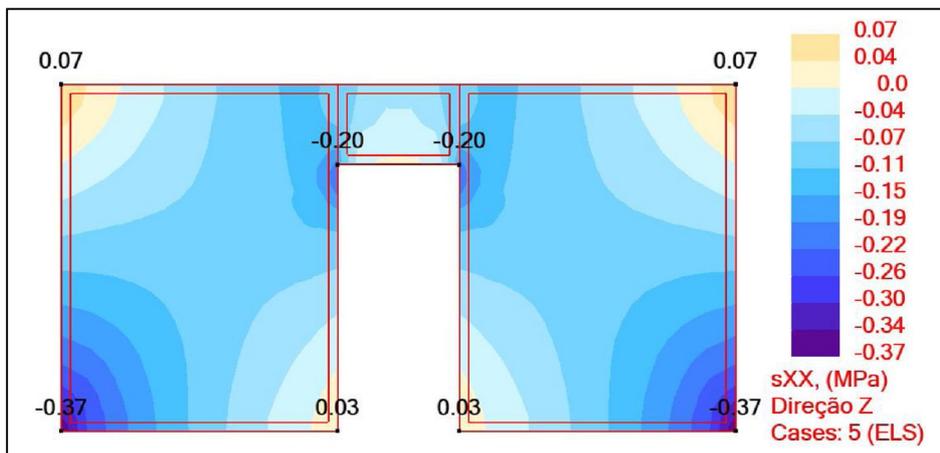


Fig.A2.3: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

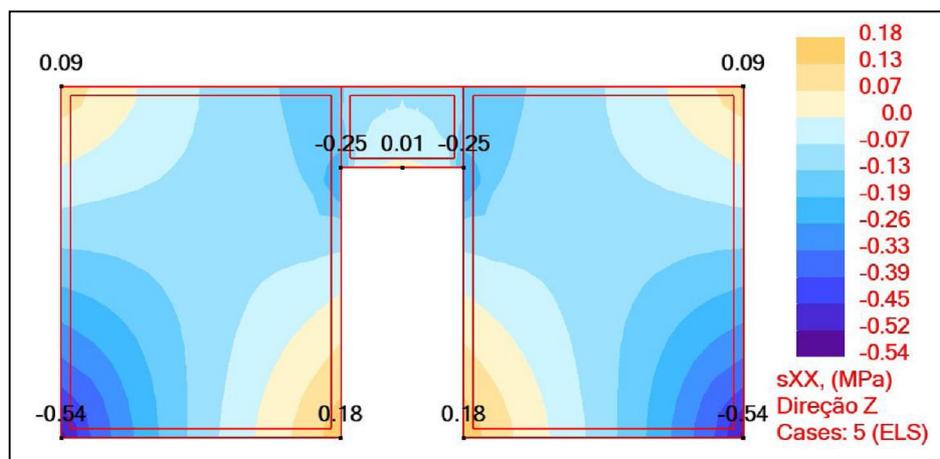


Fig.A2.4: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

A2.2.3. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB3 / CB3F

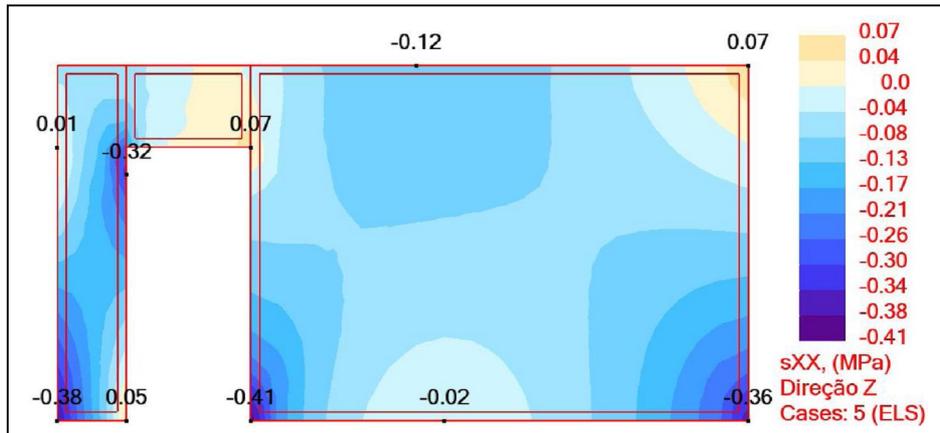


Fig.A2.5: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

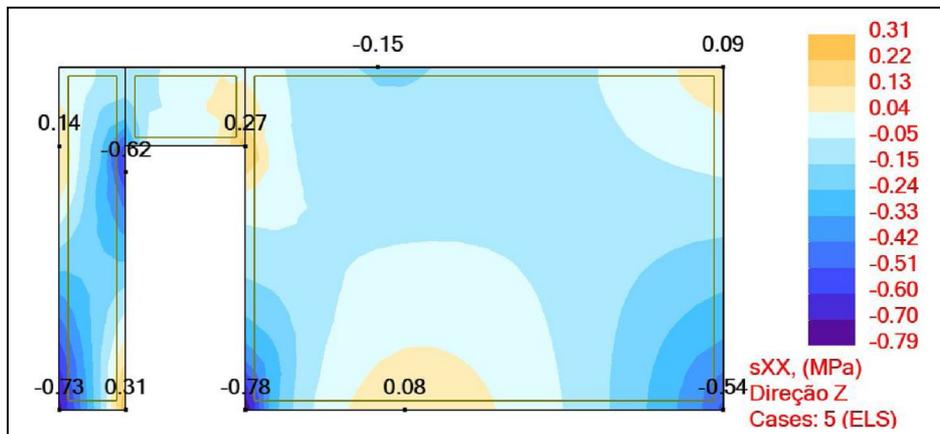


Fig.A2.6: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

A2.2.4. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB4 / CB4F

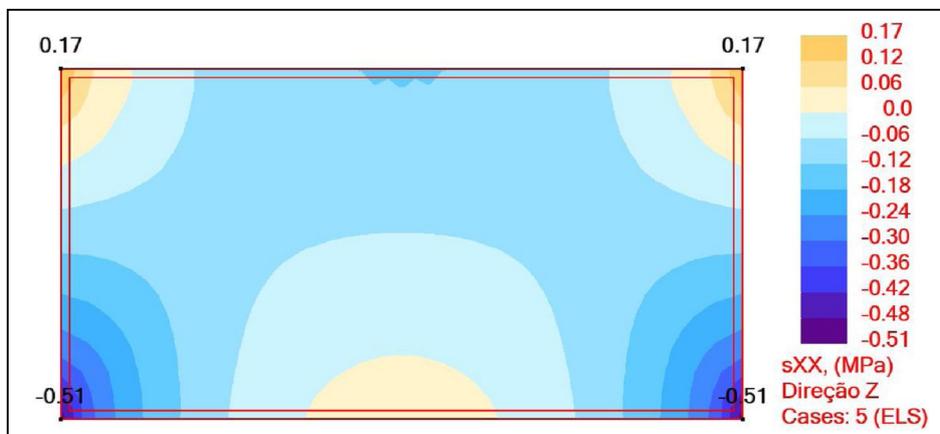


Fig.A2.7: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x5m.

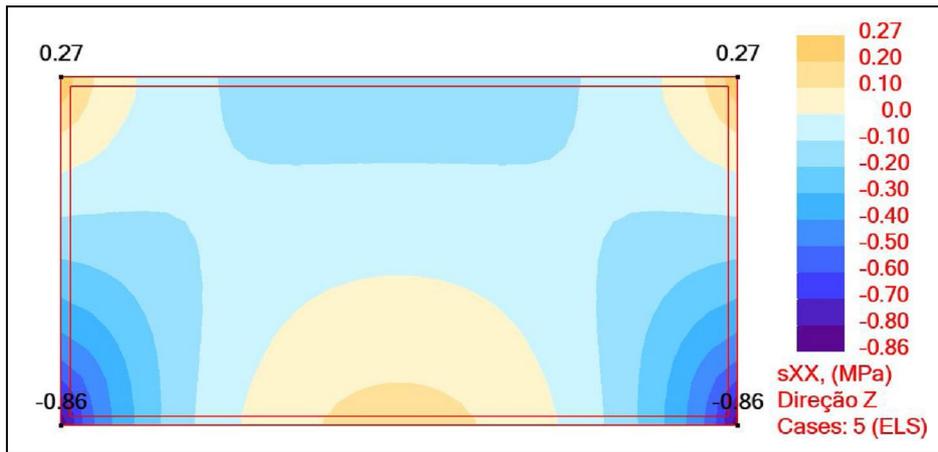


Fig.A2.8: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x5m.

A2.2.5. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB5/ CB5F

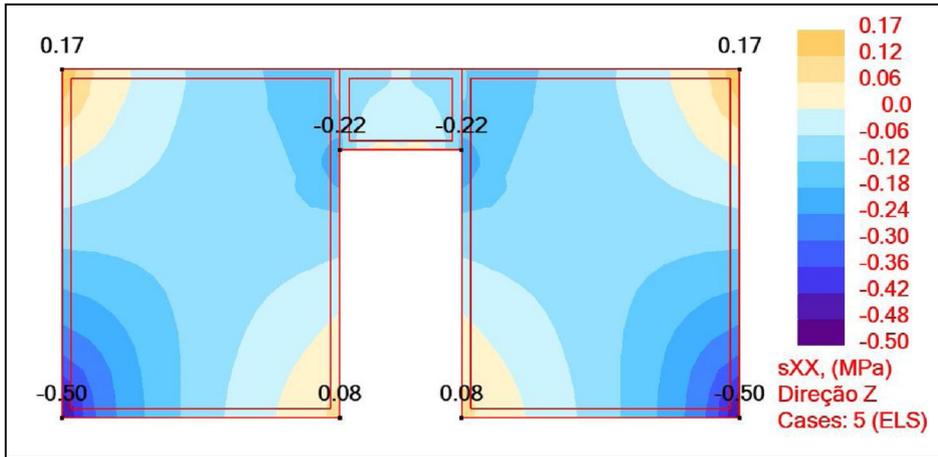


Fig.A2.9: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

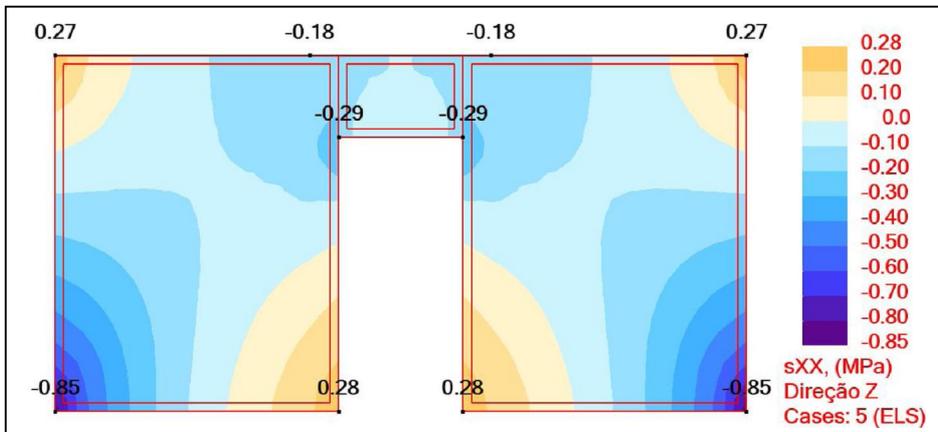


Fig.A2.10: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

A2.2.6. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB6 / CB6F

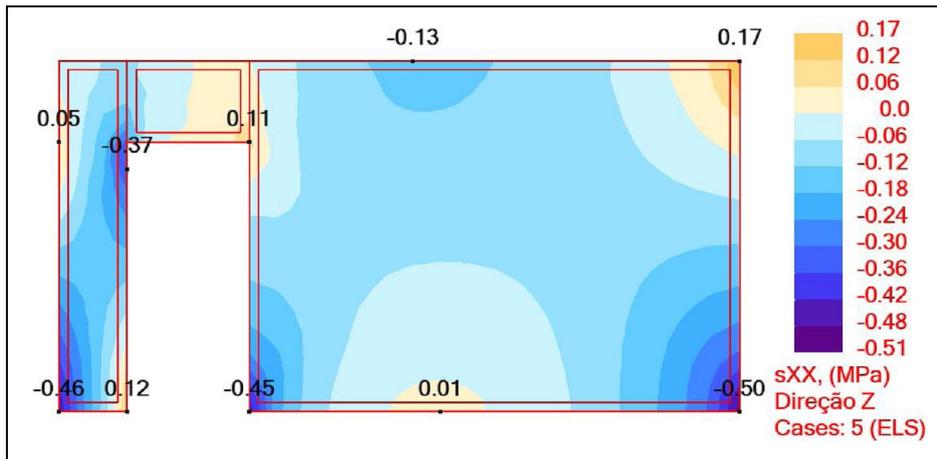


Fig.A2.11: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

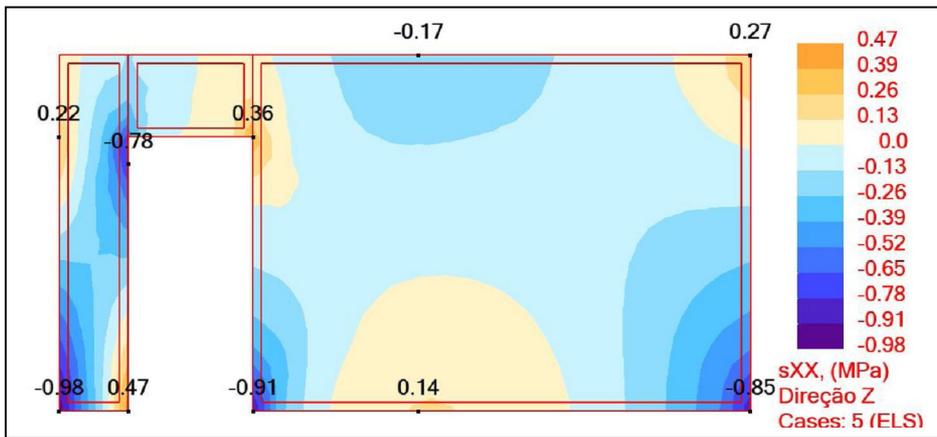


Fig.A2.12: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

A2.2.7. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB7 / CB7F

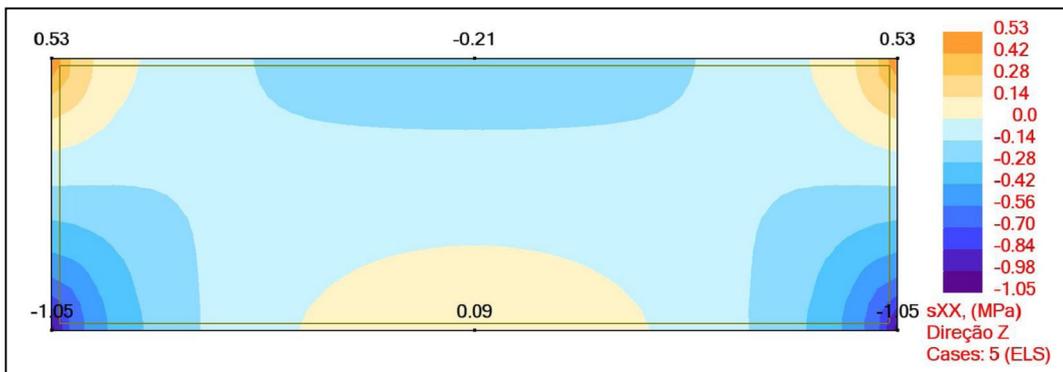


Fig.A2.13: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 8x8m.

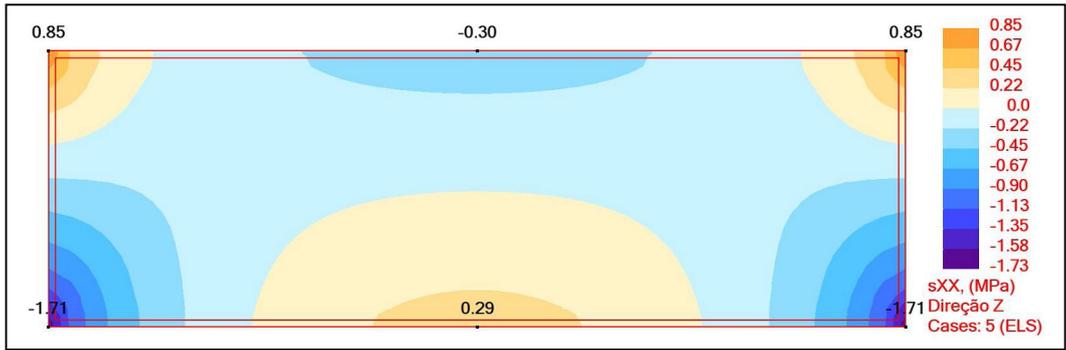


Fig.A2.14: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 8x8m.

A2.2.8. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB8 / CB8F

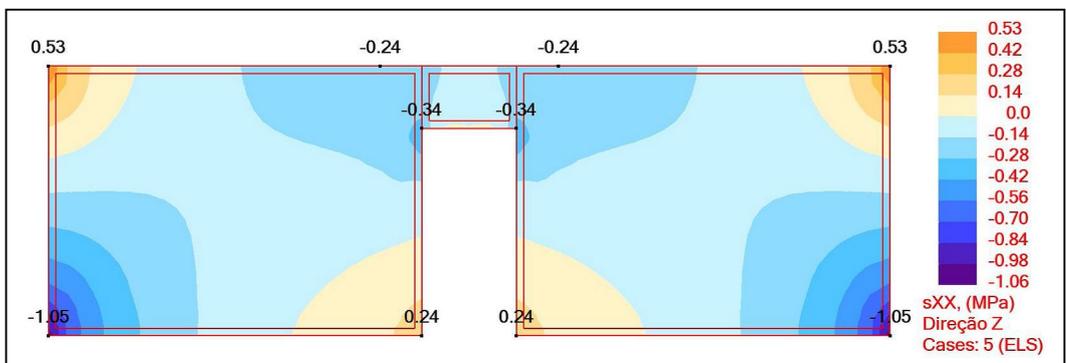


Fig.A2.15: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

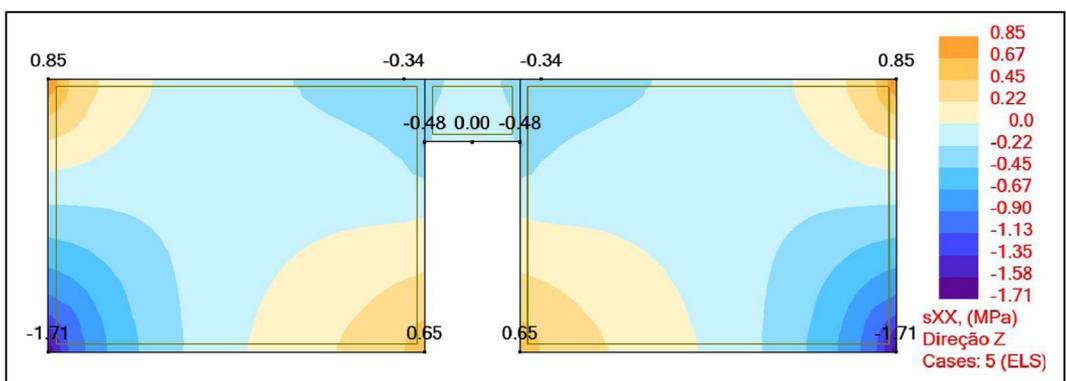


Fig.A2.15: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

A2.2.9. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB9 / CB9F

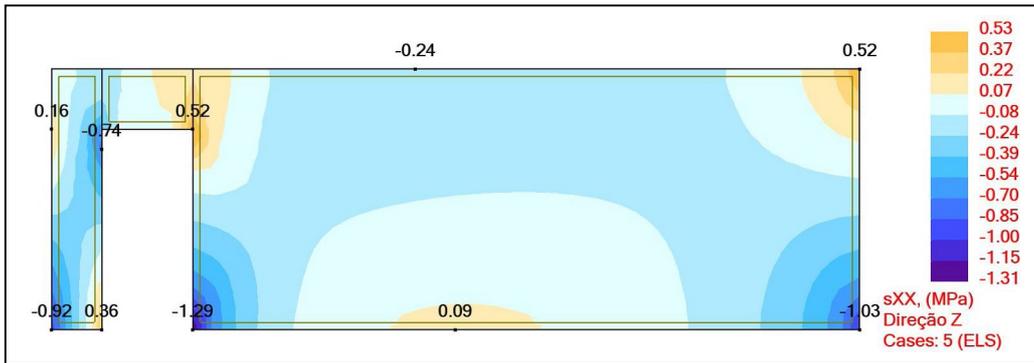


Fig.A2.16: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

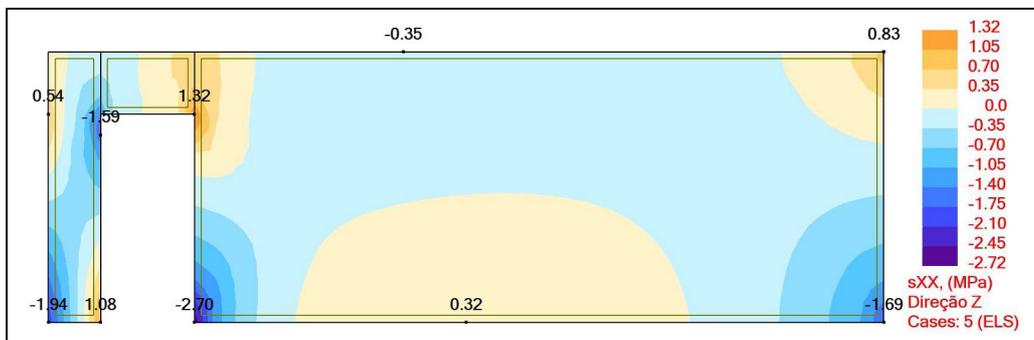


Fig.A2.17: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

A2.2.10. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB10 / CB10F

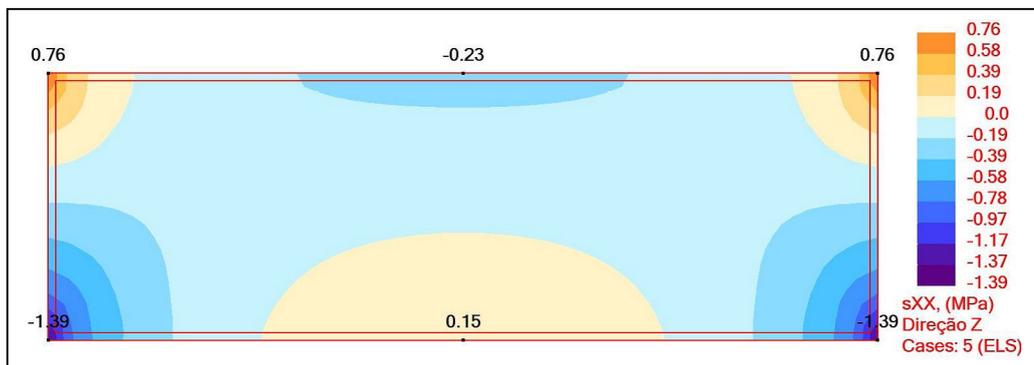


Fig.A2.18: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 8x8m.

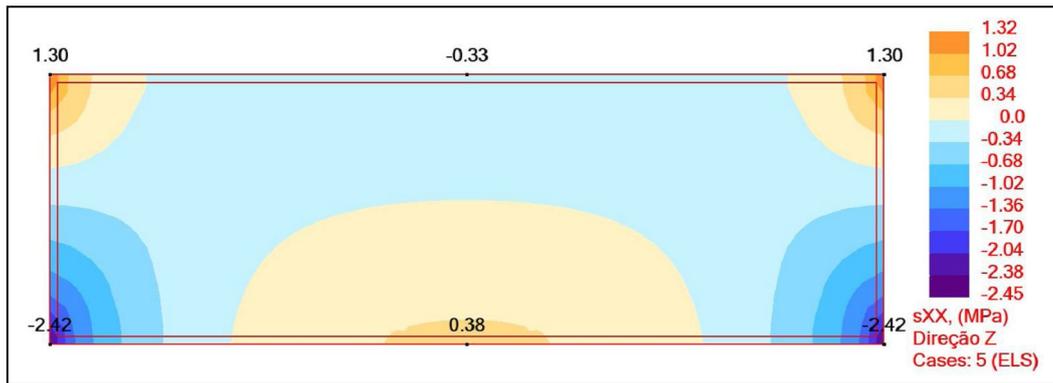


Fig.A2.19: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 8x8m.

A2.2.11. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB11 / CB11F

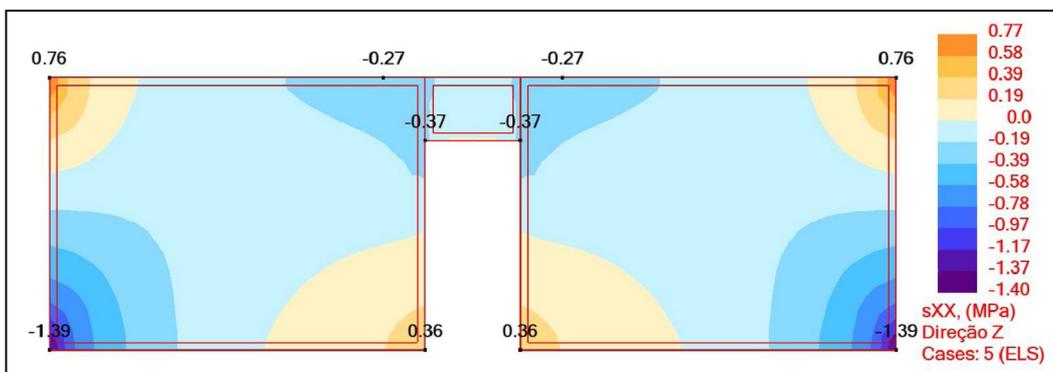


Fig.A2.20: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

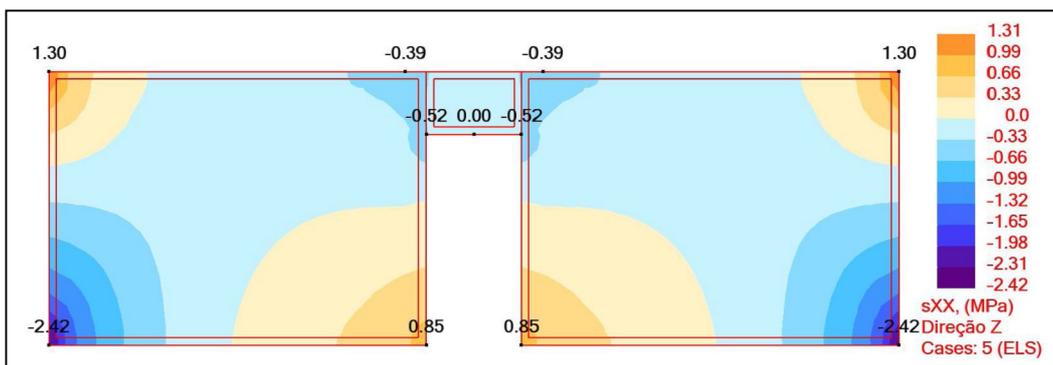


Fig.A2.21: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

A2.2.12. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB12 / CB12F

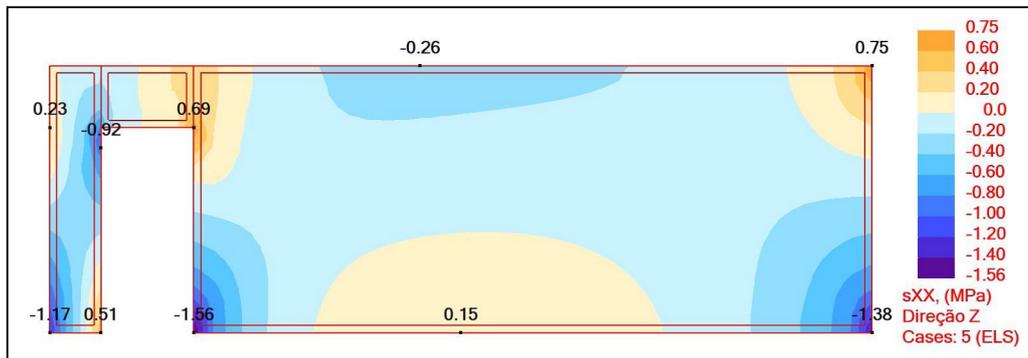


Fig.A2.22: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

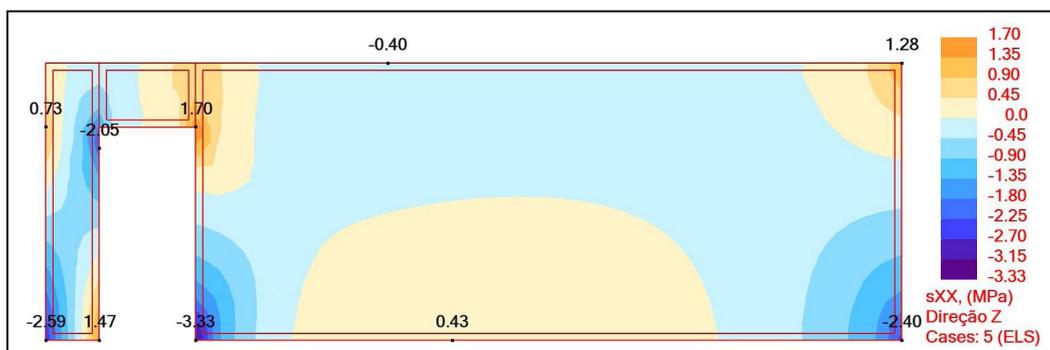


Fig.A2.23: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

A2.2.13. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB13 / CB13F

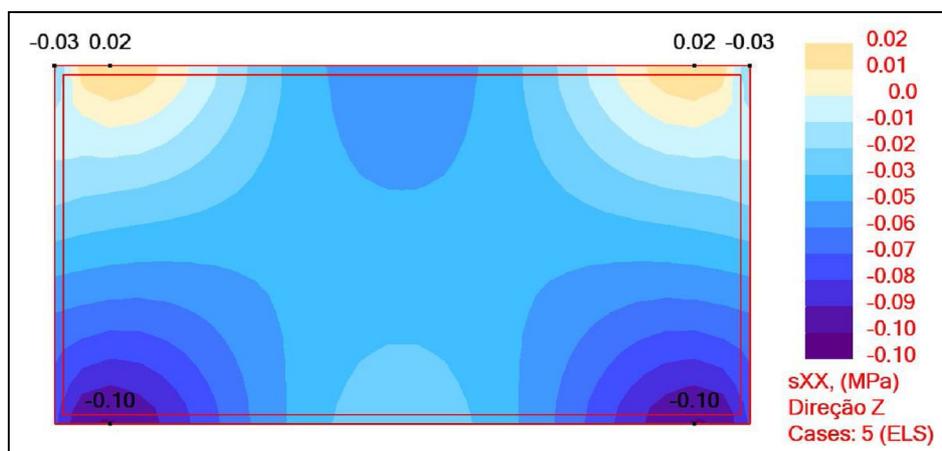


Fig.A2.24: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x8m.

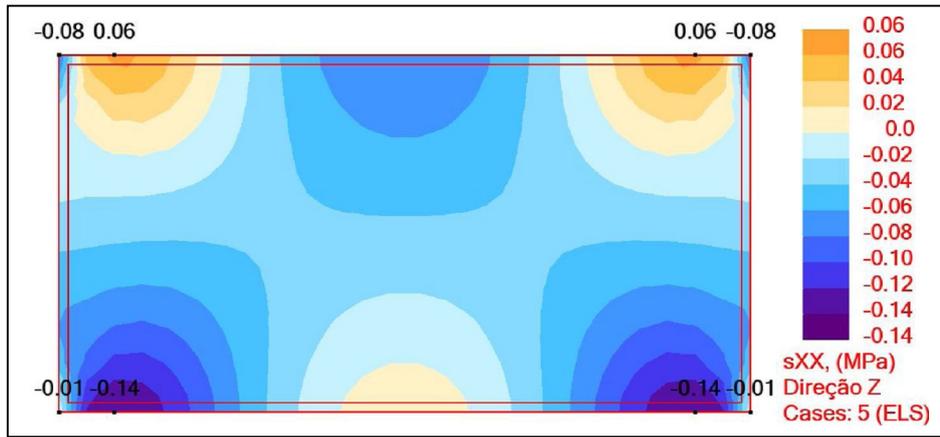


Fig.A2.25: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x8m.

A2.2.14. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB14 / CB14F

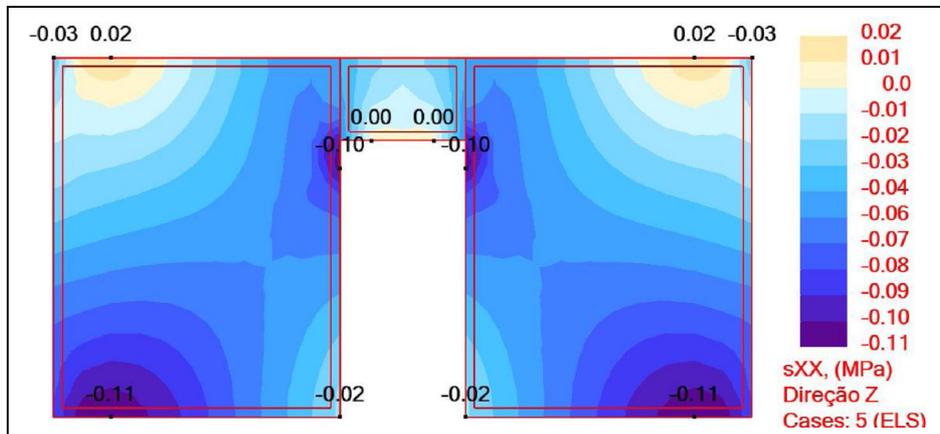


Fig.A2.26: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

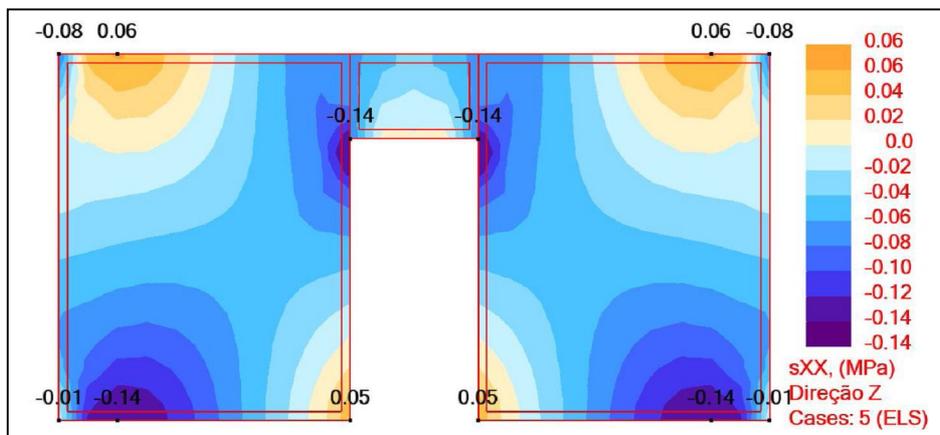


Fig.A2.27: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

A2.2.15. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB15 / CB15F

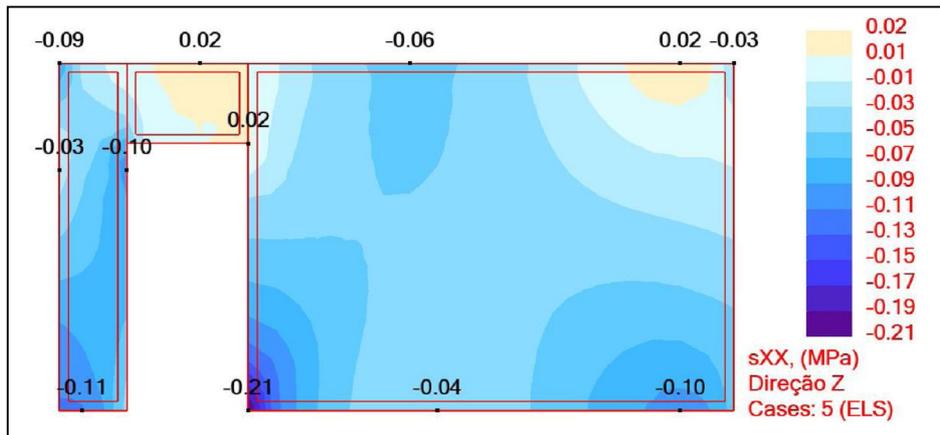


Fig.A2.28: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

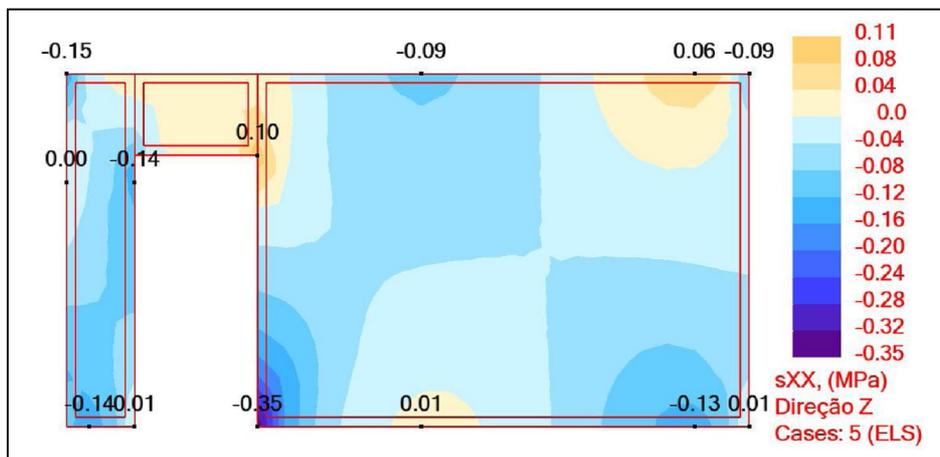


Fig.A2.29: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

A2.2.16. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB16 / CB16F

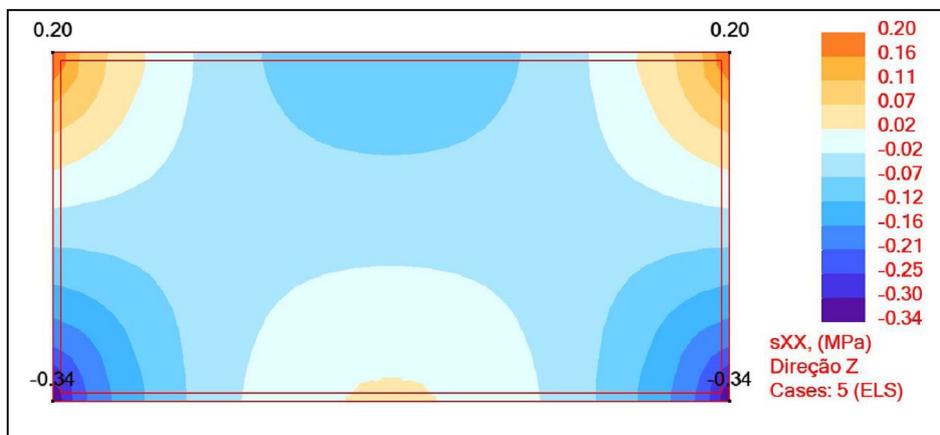


Fig.A2.30: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x8m.

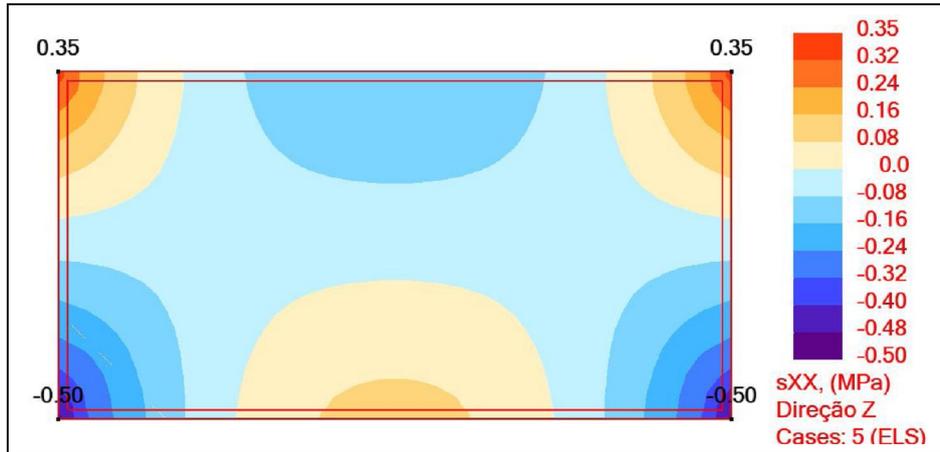


Fig.A2.31: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x8m.

A2.2.17. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CB17 / CB17F

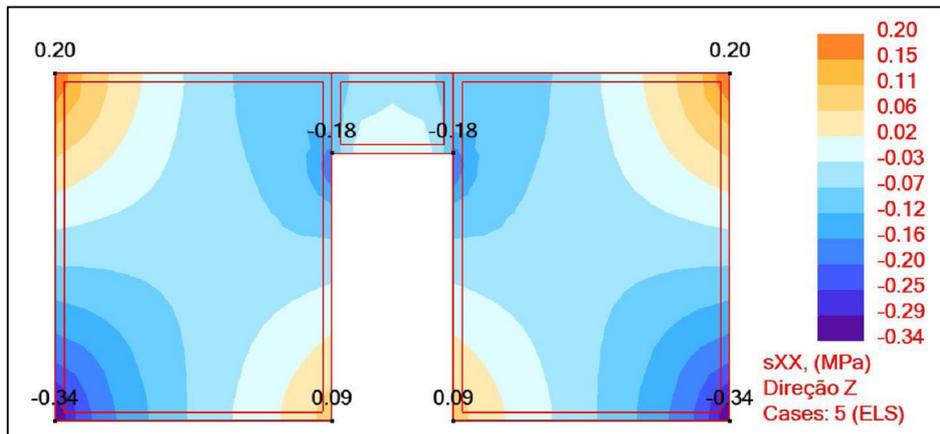


Fig.A2.32: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

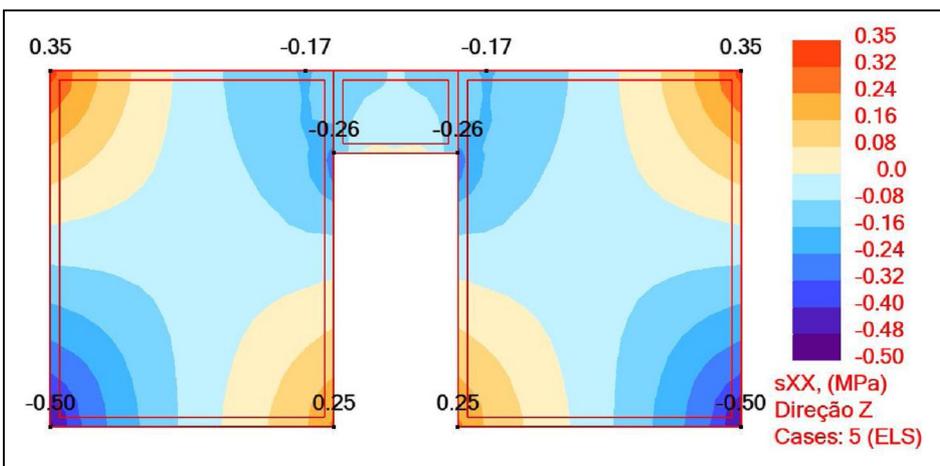


Fig.A2.33: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

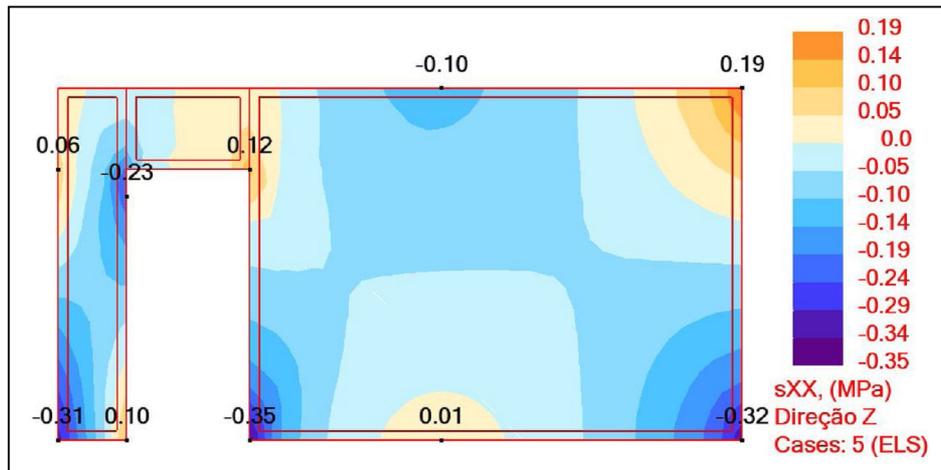


Fig.A2.34: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

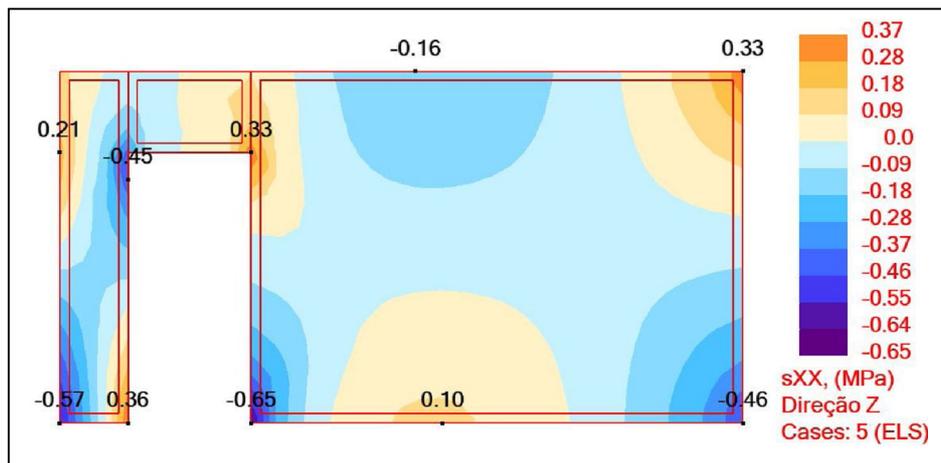


Fig.A2.35: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

A3

VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA EFECTUADA PARA O CASO DA LAJE SUPERIOR MUITO RIGIDA E LAJE INFERIOR POUCO RIGIDA

A3.1. GENERALIDADES

Com o objectivo de ilustrar os resultados relativos à simulação numérica do comportamento da parede quando sujeita a uma deformação dos suportes, apresentam-se neste Anexo 3 alguns exemplos de saídas gráficas fornecidas pelo programa ROBOT para o caso em a laje superior apresenta maior rigidez do que a laje inferior. Para cada caso em simulação apresentam-se duas figuras, correspondentes às tensões para um módulo de elasticidade instantâneo (cima) e devido à fluência (baixo).

A3.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A3.2.1. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC1/CC1F

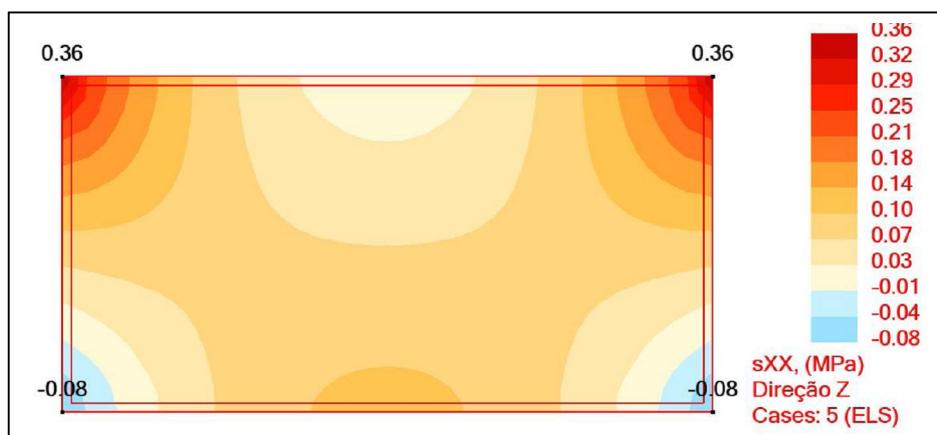


Fig.A3.1: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x5m.

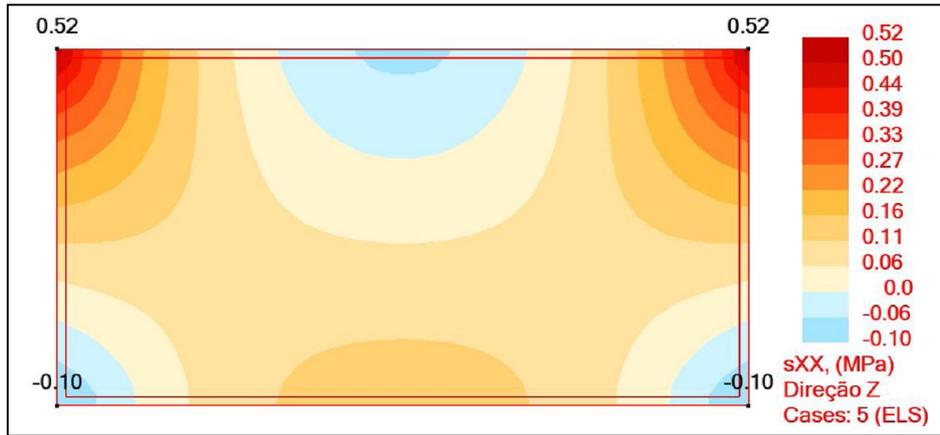


Fig.A3.2: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x5m.

A3.2.2. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC2/CC2F

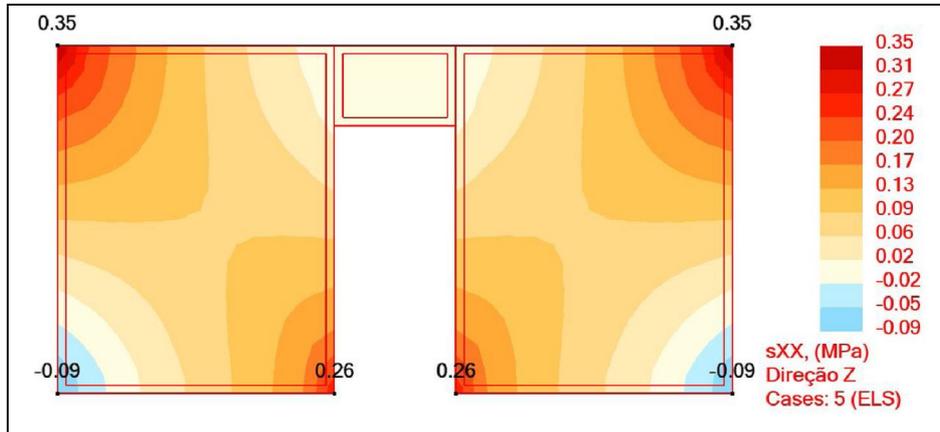


Fig.A3.3: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

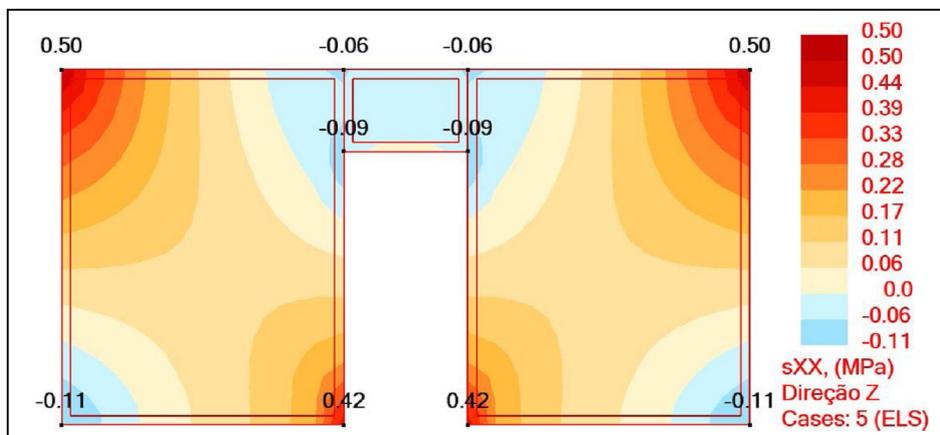


Fig.A3.4: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

A3.2.3. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC3/CC3F

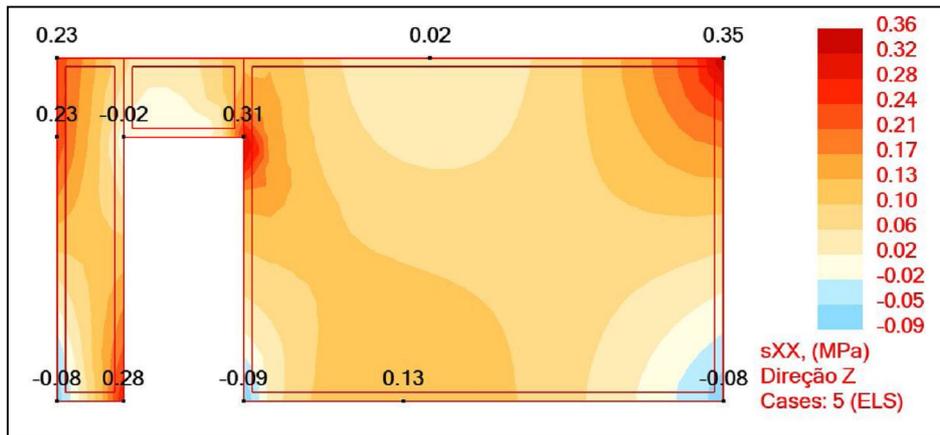


Fig.A3.4: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

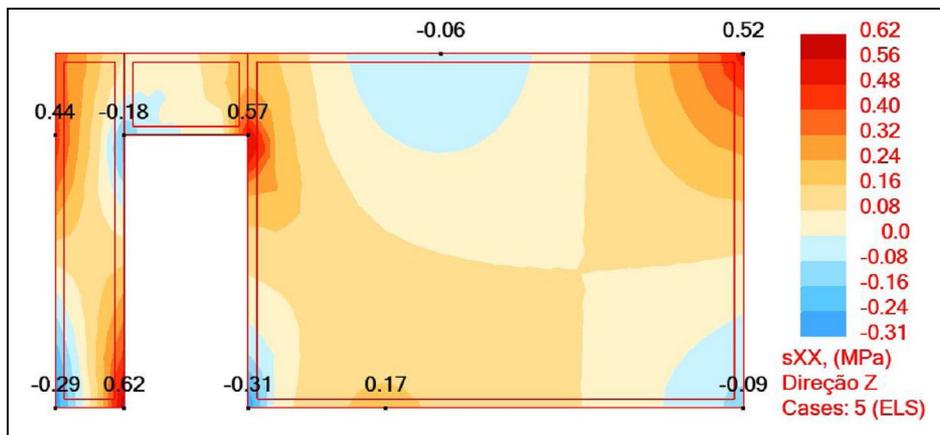


Fig.A3.5: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

A3.2.4. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC4/CC4F

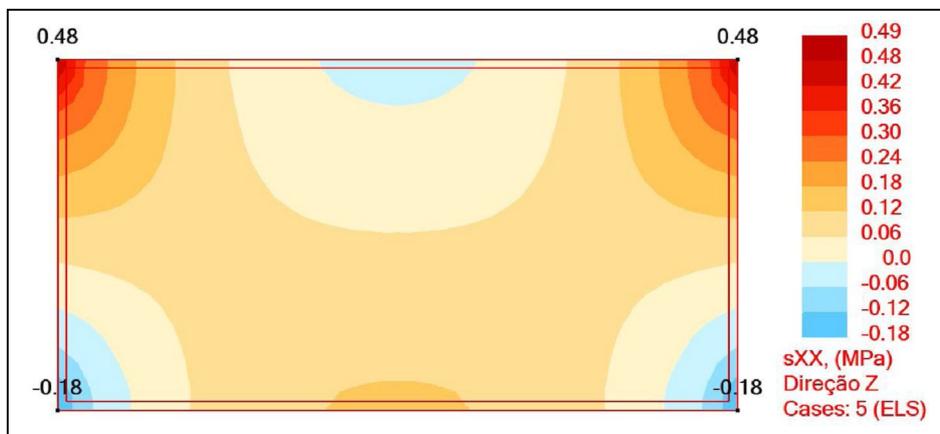


Fig.A3.6: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x5m.

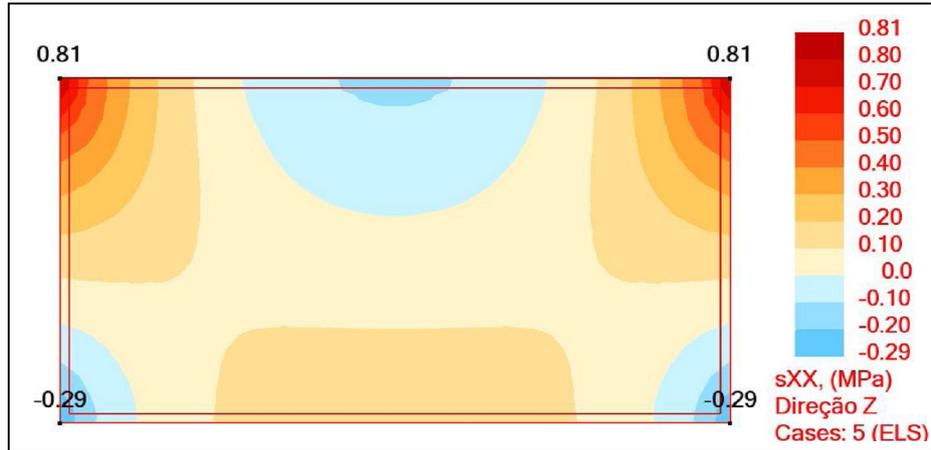


Fig.A3.7: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x5m.

A3.2.5. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC5/CC5F

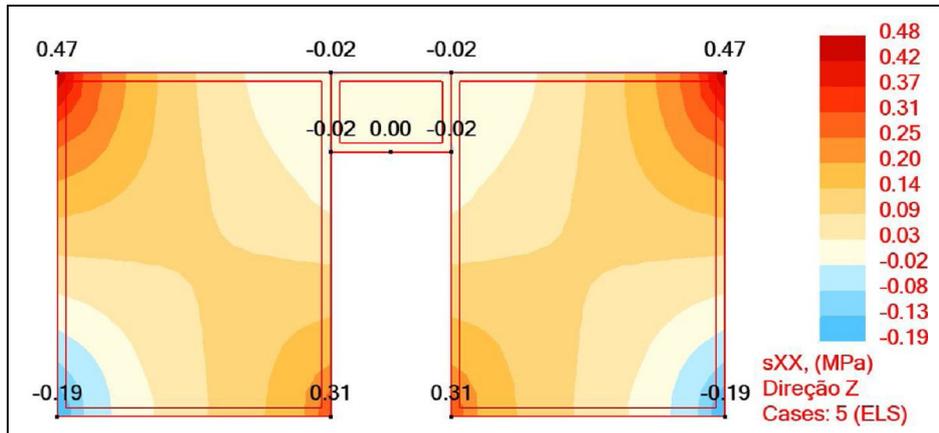


Fig.A3.8: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

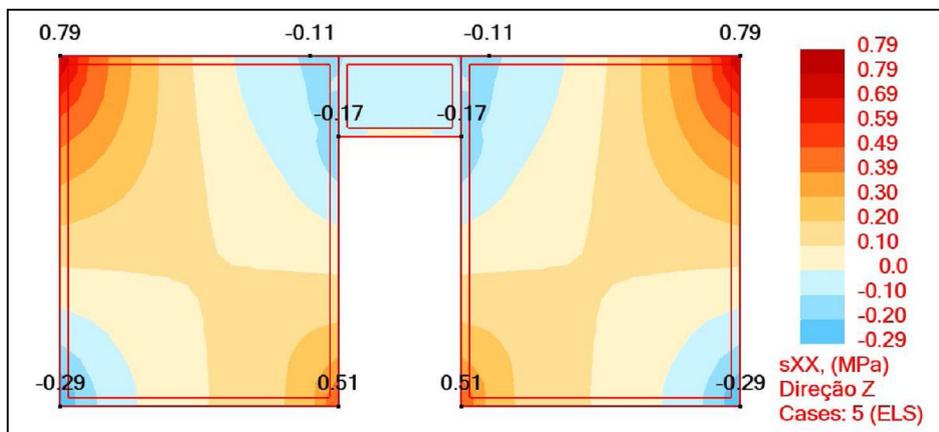


Fig.A3.9: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x5m.

A3.2.6. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC6/CC6F

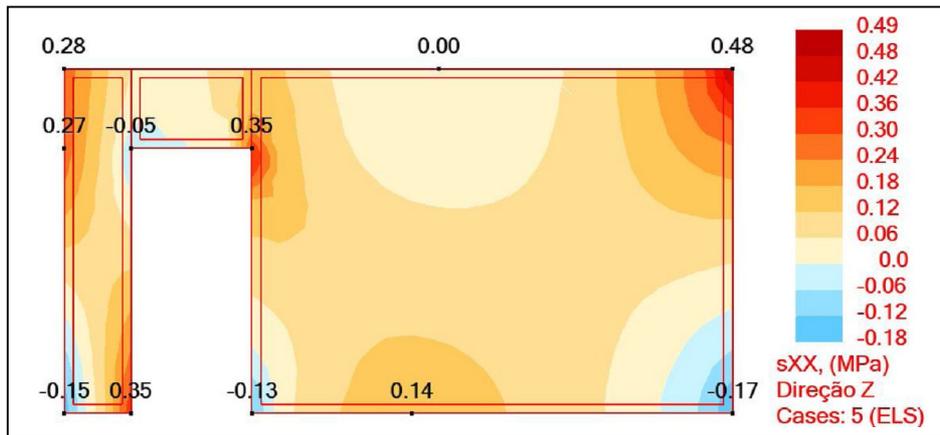


Fig.A3.10: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

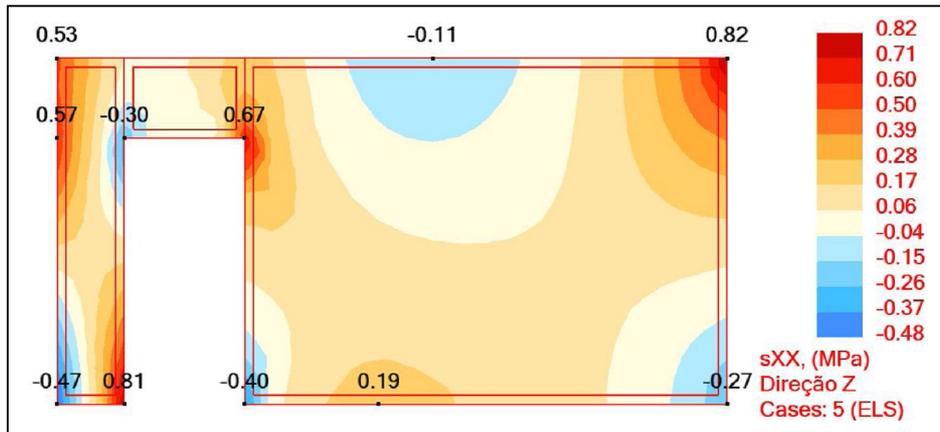


Fig.A3.11: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x5m.

A3.2.7. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC7/CC7F

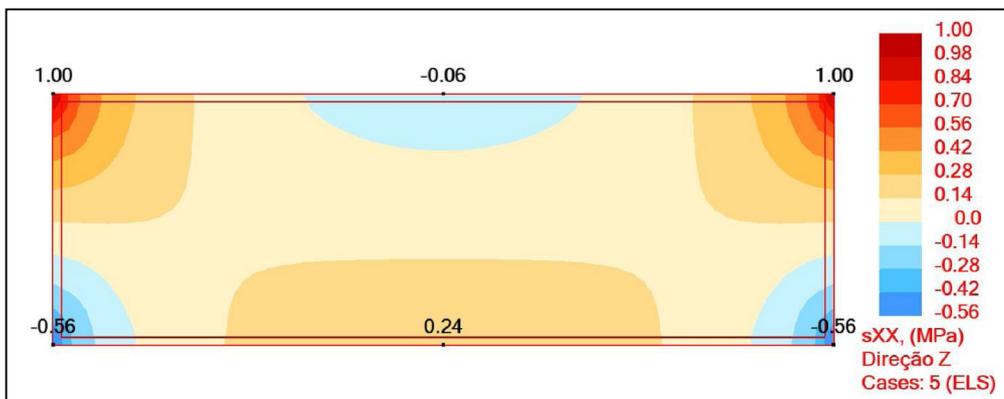


Fig.A3.12: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 8x8m.

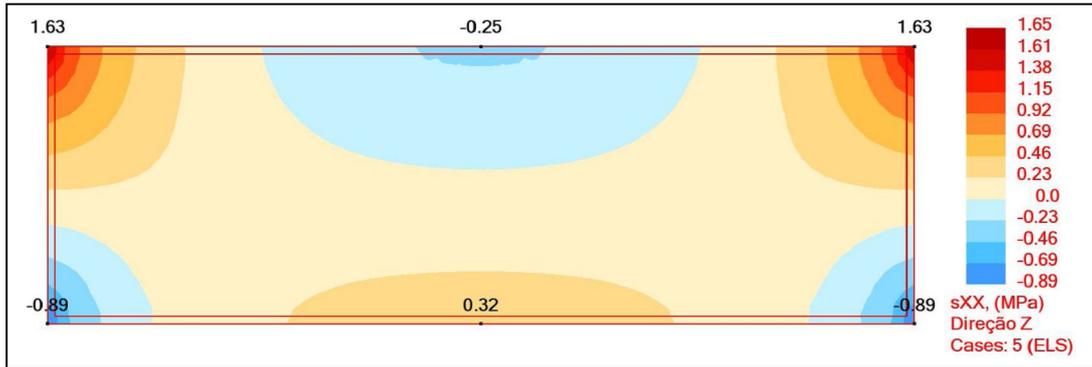


Fig.A3.13: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 8x8m.

A3.2.8. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC8/CC8F

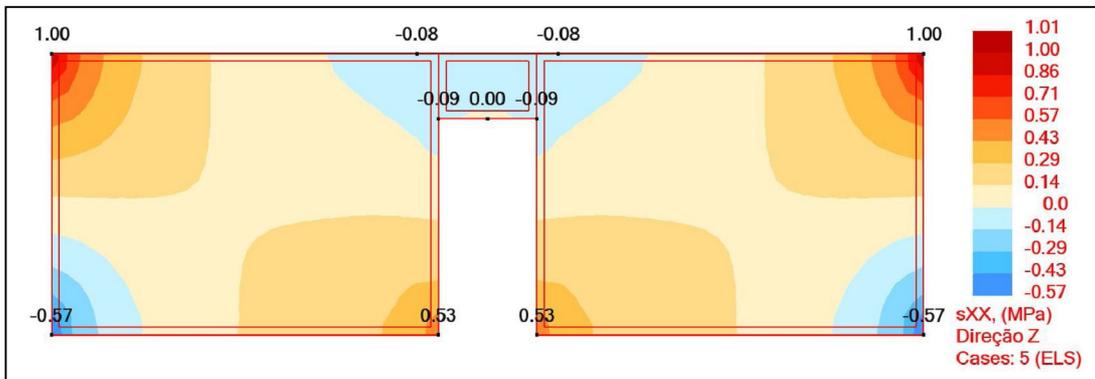


Fig.A3.14: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

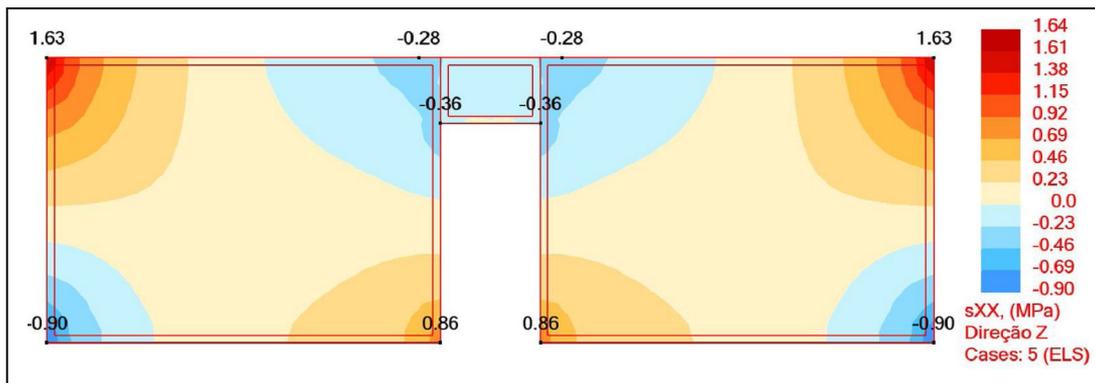


Fig.A3.15: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

A3.2.9. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC9/CC9F

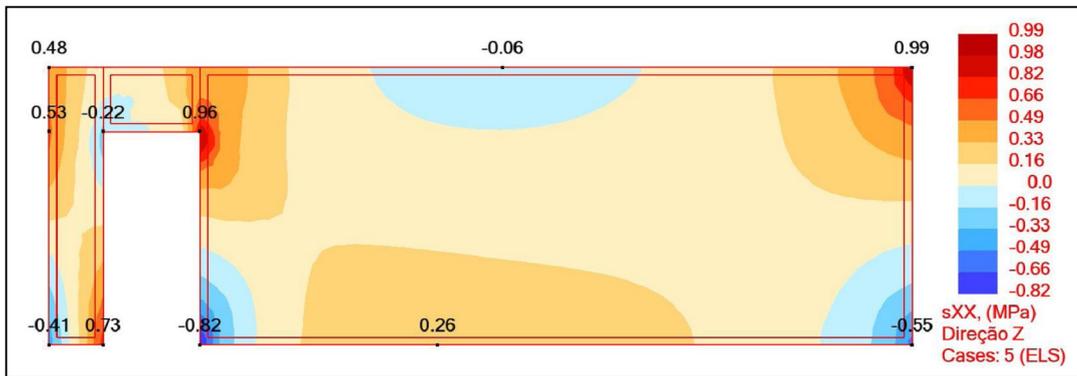


Fig.A3.16: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

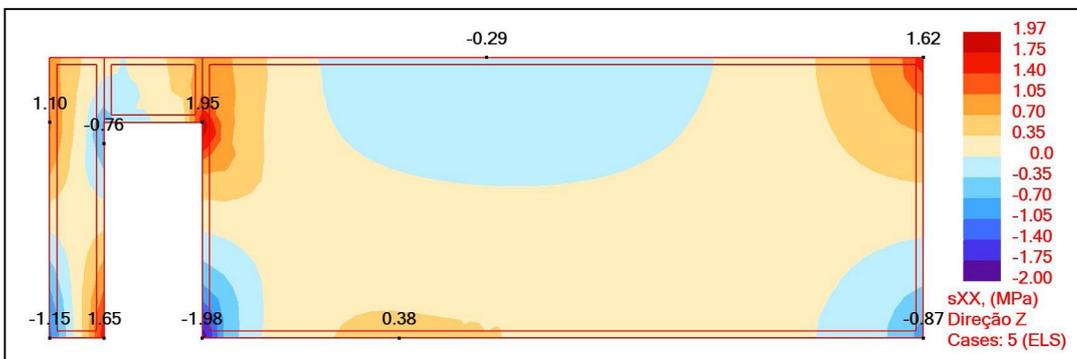


Fig.A3.17: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

A3.2.10. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC10/CC10F

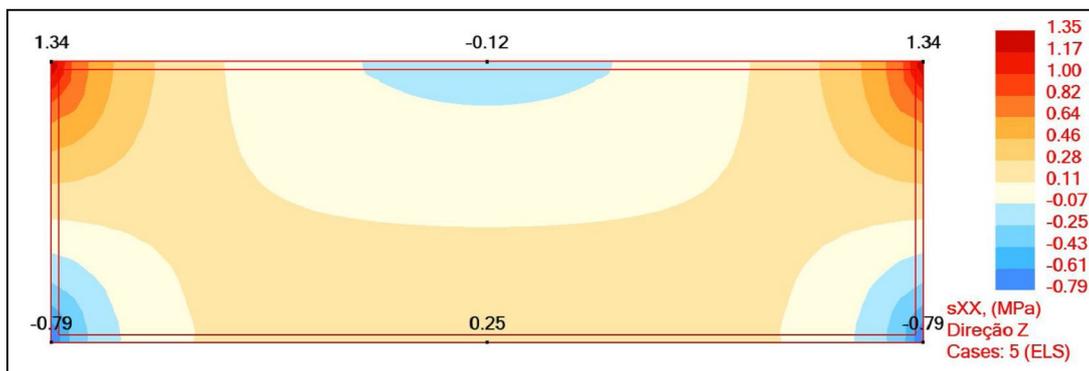


Fig.A3.18: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 8x8m.

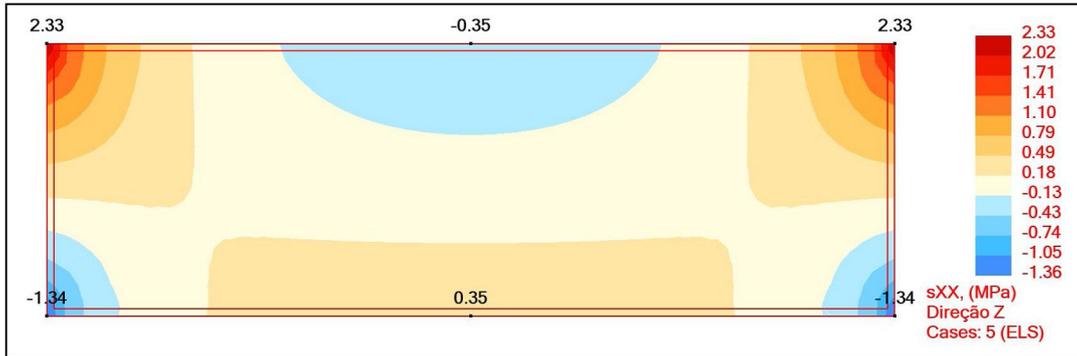


Fig.A3.19: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 8x8m.

A3.2.11. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC11/CC11F

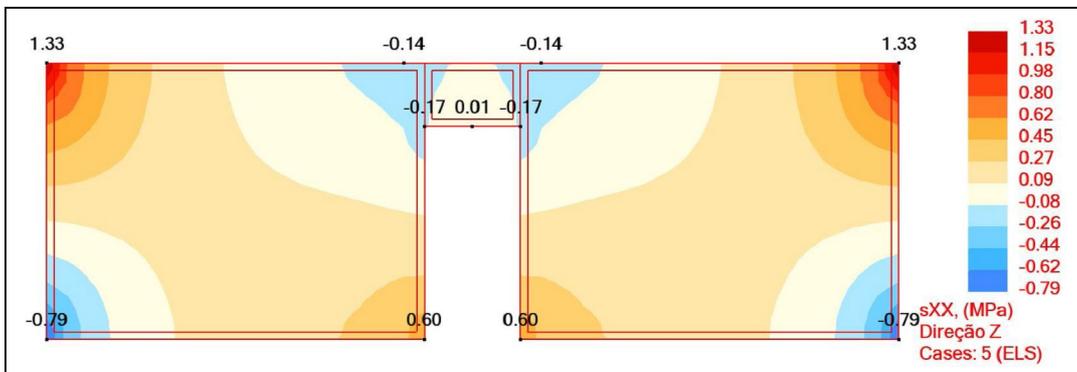


Fig.A3.20: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

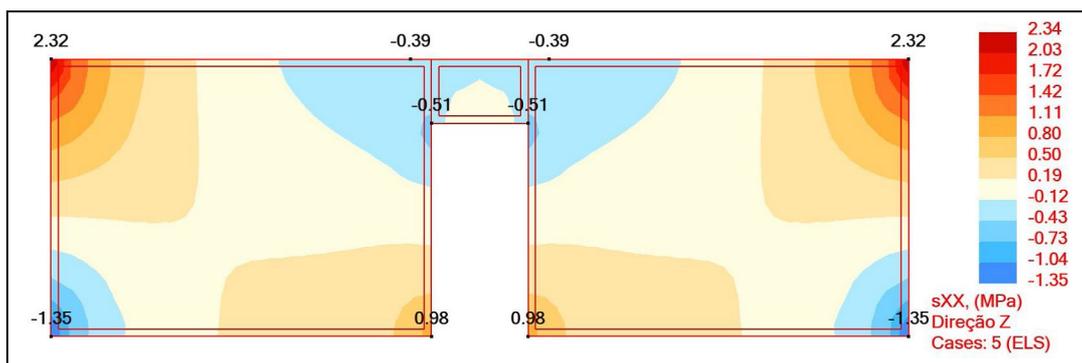


Fig.A3.21: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 8x8m.

A3.2.12. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC12/CC12F

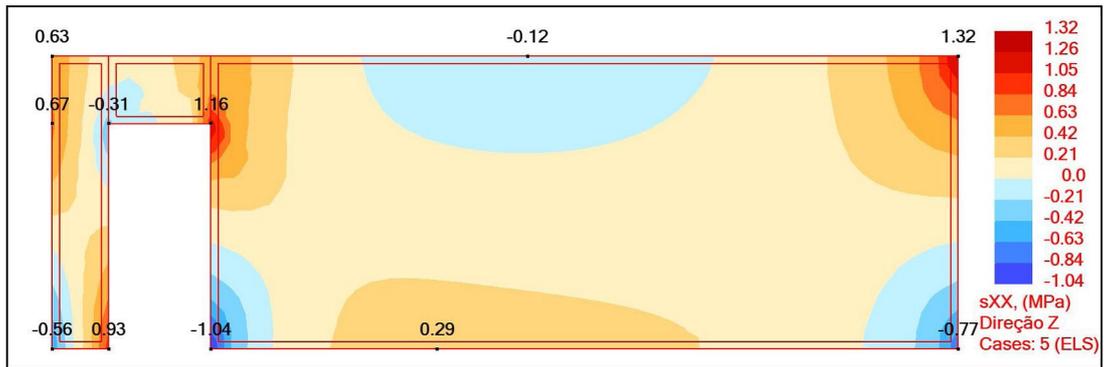


Fig.A3.22: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

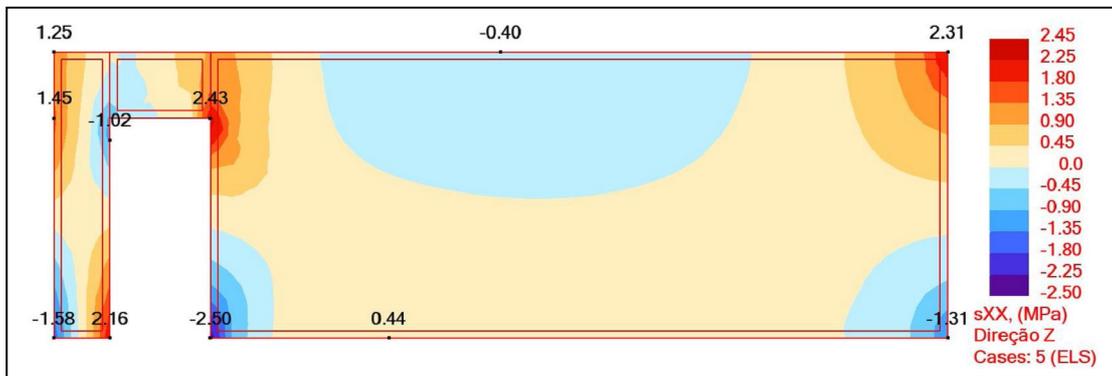


Fig.A3.23: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 8x8m.

A3.2.13. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC13/CC13F

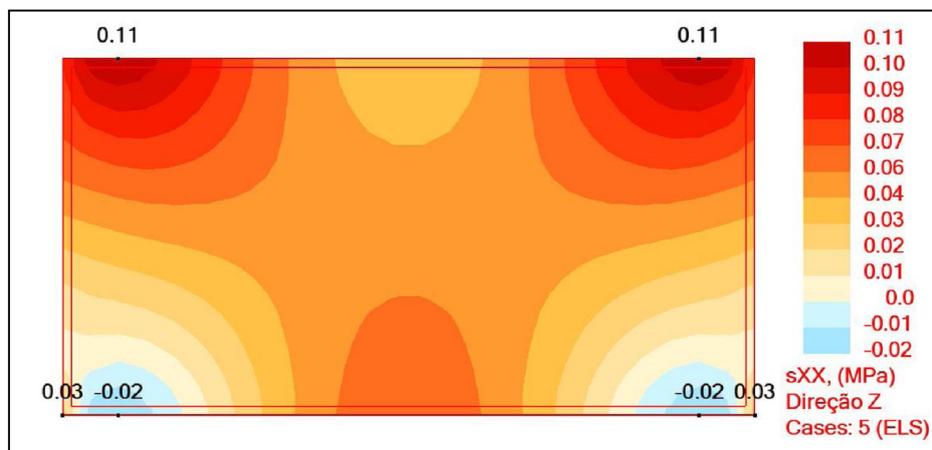


Fig.A3.24: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x8m.

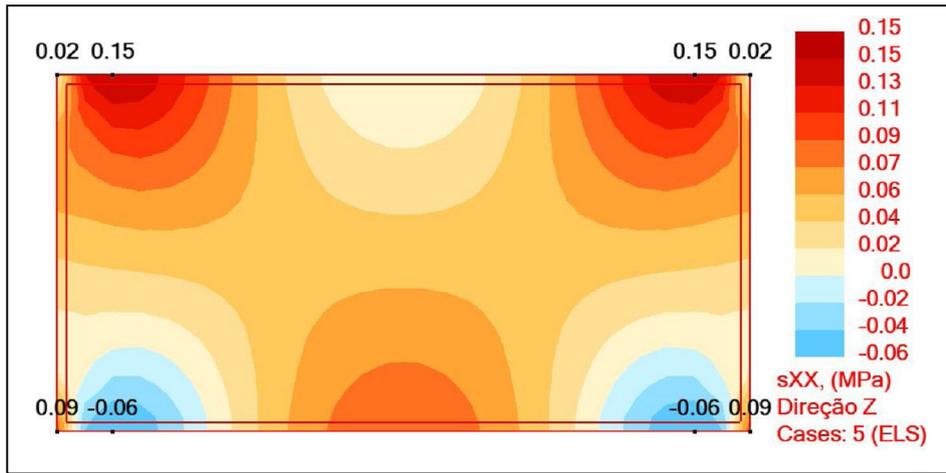


Fig.A3.25: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada sem abertura. Vão de laje 5x8m.

A3.2.14. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC14/CC14F

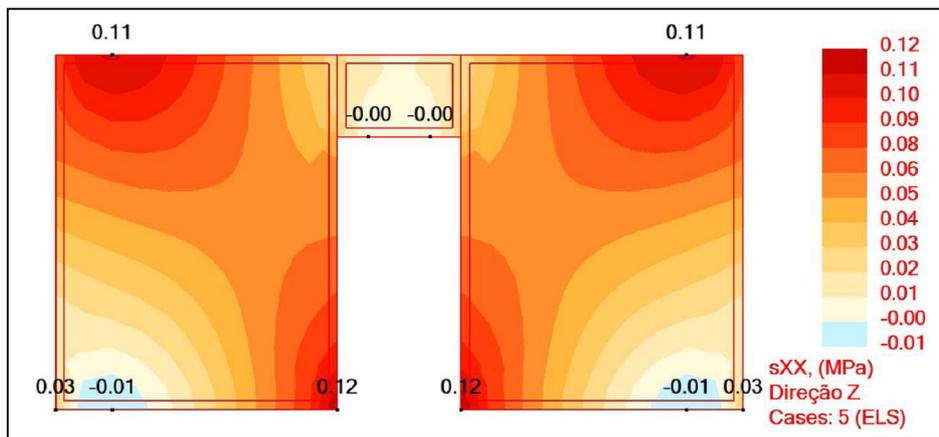


Fig.A3.26: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

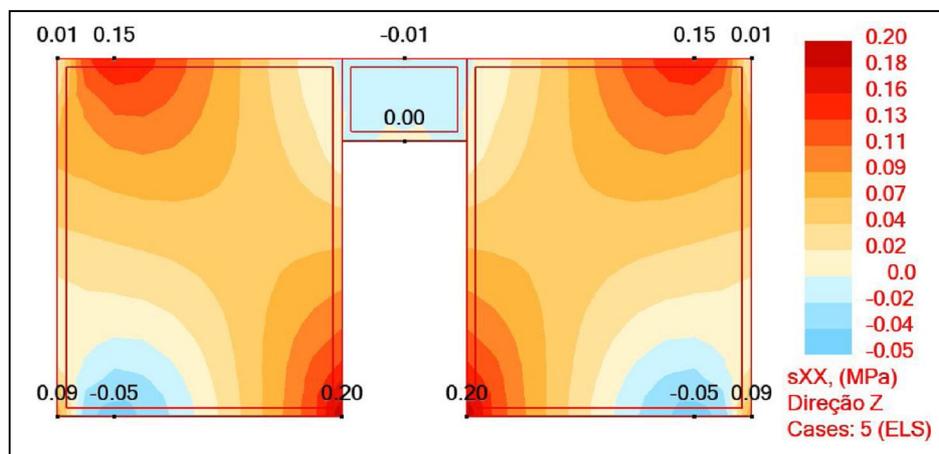


Fig.A3.27: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

A3.2.15. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC15/CC15F

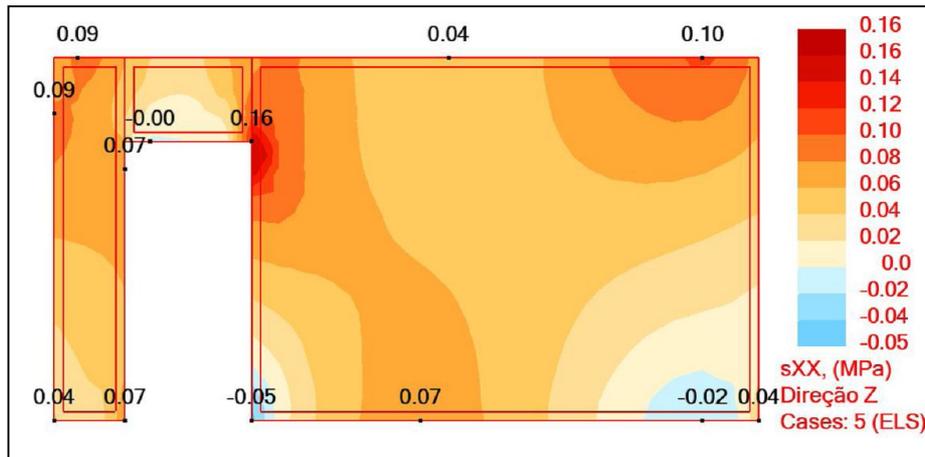


Fig.A3.28: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

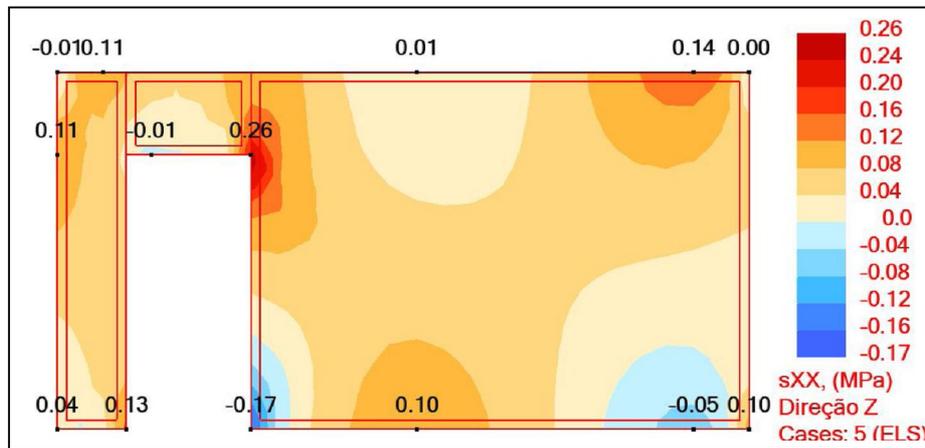


Fig.A3.29: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede centrada com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

A3.2.16. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC16/CC16F

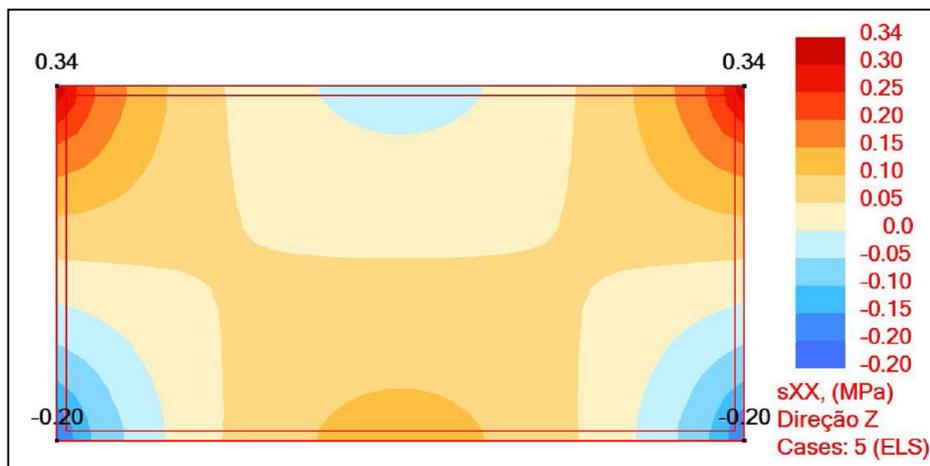


Fig.A3.30: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x8m.

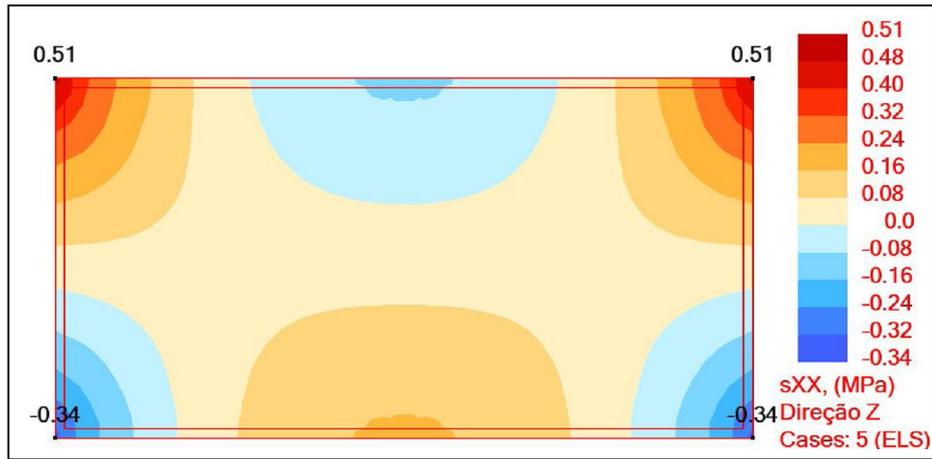


Fig.A3.31: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica sem abertura. Vão de laje 5x8m.

A3.2.17. SIMULAÇÃO NUMÉRICA CC17/CC17F

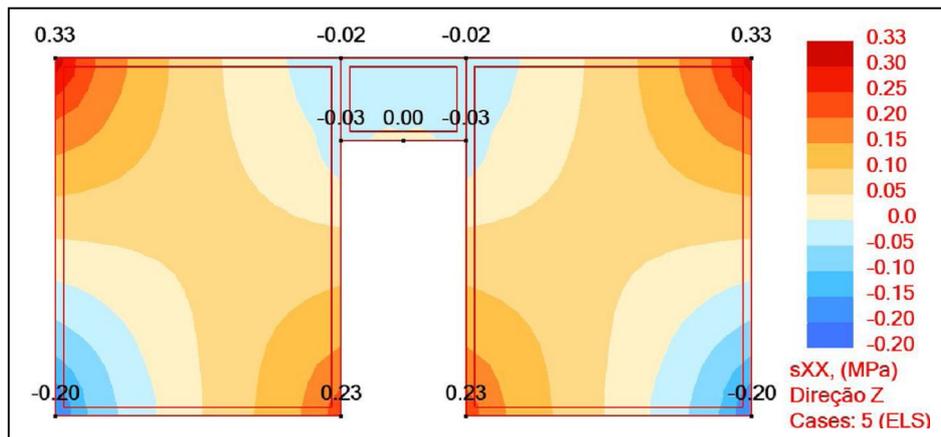


Fig.A3.32: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

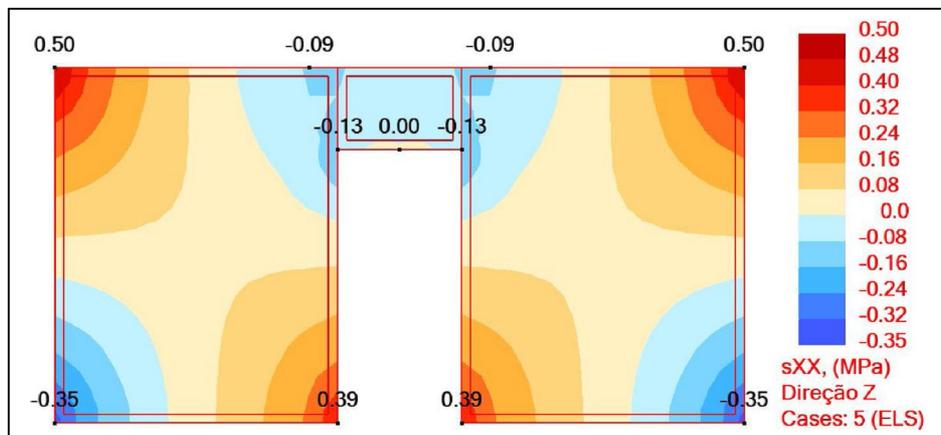


Fig.A3.33: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura centrada. Vão de laje 5x8m.

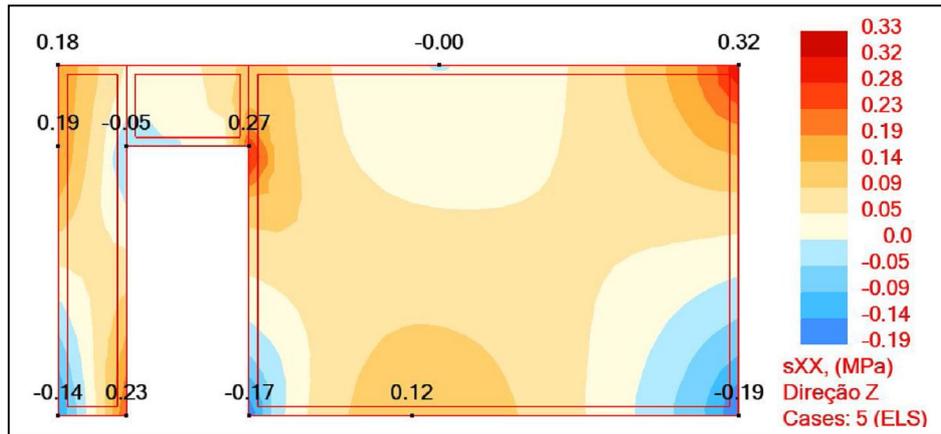


Fig.A3.34: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.

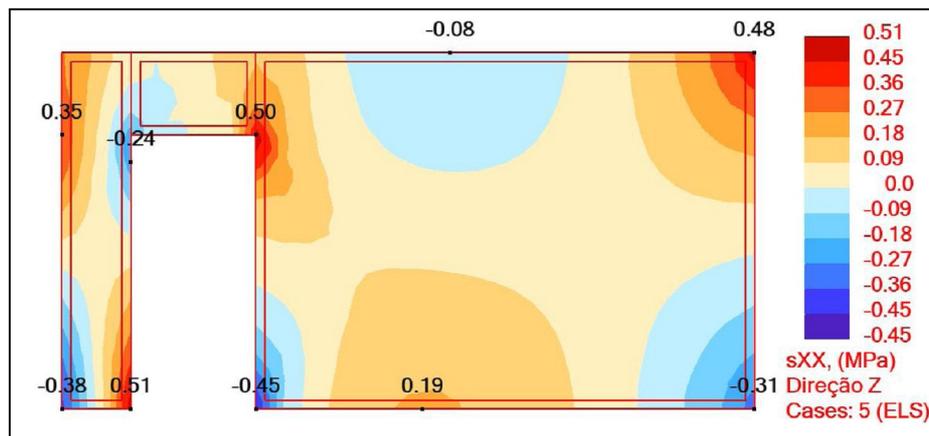


Fig.A3.35: Distribuição das tensões de tracção e compressão na parede em alvenaria. Parede excêntrica com abertura excêntrica. Vão de laje 5x8m.