

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RUAN BEZERRA PEDRO

**ESTUDO DAS TRINCAS E FISSURAS EM ALVENARIA NO TEATRO  
MUNICIPAL DE CAMPO MOURÃO COM ANÁLISE NUMÉRICA VIA  
ELEMENTOS FINITOS**

CAMPO MOURÃO

2019

RUAN BEZERRA PEDRO

**ESTUDO DAS TRINCAS E FISSURAS EM ALVENARIA NO TEATRO  
MUNICIPAL DE CAMPO MOURÃO COM ANÁLISE NUMÉRICA VIA  
ELEMENTOS FINITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Jeferson Rafael Bueno, Dr. Eng.

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTUDO DAS TRINCAS E FISSURAS EM ALVENARIA NO TEATRO MUNICIPAL  
DE CAMPO MOURÃO COM ANÁLISE NUMÉRICA VIA ELEMENTOS FINITOS**

por

**Ruan Bezerra Pedro**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 11:00h do dia 26 de Junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

**Prof. Dr. Leandro Waidemam**

( UTFPR )

---

**Prof. Dr. Douglas Fukunaga Surco**

( UTFPR )

---

**Prof. Dr. Jeferson Rafael Bueno**

( UTFPR )

**Orientador**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr<sup>a</sup>. Paula Cristina Souza**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e por sempre atender meus pedidos e anseios, e a minha família. Meu pai Antonio Pedro Filho, minha mãe Hilda de Jesus Bezerra por terem me tornado a pessoa que sou hoje, sempre com muita paciência e honestidade, e ao meu irmão Rogerio Bezerra Pedro. A vocês nunca poderei expressar o tamanho do amor, gratidão e orgulho que sinto.

Ao meu orientador Professor Jeferson Rafael Bueno, um exemplo de pessoa e profissional, que com muita paciência e empenho me ajudou em todos os momentos desse trabalho e outros momentos durante o curso, me acalmando e dando direção sempre.

Aos meus amigos, em especial àqueles que moraram comigo durante a graduação e os mais próximos, que sempre estiveram ao meu lado dando apoio, me ajudando nas dificuldades, estudando junto, partilhando os mesmos objetivos e desafios e nunca me deixaram desamparado mesmo morando longe da minha cidade e minha família, foram a minha família durante o período de graduação e levarei no coração por toda a vida, independente da distância que nos separe.

A todos os professores da UTFPR - Campo Mourão, por desempenharem com tanta dedicação e sabedoria o dom de ser um profissional formador de opinião e conhecimento, contribuindo imensamente para minha formação pessoal e profissional até o momento, é enorme a contribuição deles na minha evolução pessoal e profissional.

Aos amigos e colegas de universidade, que mesmo sem perceber, contribuíram para que eu conseguisse chegar até o final da graduação com momentos descontraídos, ajudas, informações trocadas e muito mais. Permanecerão em minha mente e coração onde quer que eu esteja.

## RESUMO

A indústria da construção tem se caracterizado por um acelerado desenvolvimento e crescente evolução de técnicas construtivas, apesar disso, as paredes em alvenaria continuam a apresentar patologias, o que justifica a manutenção do estudo nessa área. A fissuração em alvenaria possui mecanismos específicos de ruptura, já conhecidos pela bibliografia. O presente trabalho teve como objetivo estudar as trincas e fissuras em alvenaria do teatro municipal de Campo Mourão e fazer uma análise numérica via Método dos Elementos Finitos (MEF) de alguns dos casos existentes, sem o objetivo de apresentar uma solução técnica para as mesmas. No trabalho foram catalogadas as principais patologias em alvenaria existentes de acordo com a literatura, também levantado – via inspeção de campo – àquelas que foram de interesse existentes no teatro e analisado duas delas via MEF, pelo *software* computacional SCIA *Engineer* com o intuito de avaliar o comportamento da alvenaria quando apoiada em vigas de concreto armado deformáveis. Ao final pôde-se comprovar que as tensões atuantes na alvenaria causadas pela deflexão das vigas puderam ter causado ou contribuído juntamente com outros fatores para a fissuração existente.

**Palavras Chave:** Fissuras, Alvenaria de vedação, Patologia das edificações.

## ABSTRACT

Construction industry has been characterized by an accelerated development and increasing evolution of constructive techniques. Nevertheless, the masonry walls continues to present pathologies, which justifies support of the study in this area. Masonry cracking has specific mechanisms of rupture, well known in the literature. The purpose of this research was to study the cracks and fissures in the masonry walls of the municipal theater of Campo Mourão, besides making a numerical analysis through the Finite Element Method (FEM) of some of the existing cases of fissures in the theater, not aiming to present a technical solution for them. In this study, the main pathologies in masonry were classified according to the literature. In addition, those pathologies in the theater that were relevant to this work was also surveyed by field inspection. Two of these pathologies were investigated via FEM by the computer software *SCIA Engineer*, in order to evaluate the behavior of masonry when supported by deformable reinforced concrete beams. In the light of the above, it is therefore possible to confirm that the tensions acting on the masonry walls caused by deflection of the beams may have caused or contributed together with other unknown factors to the existing cracking.

**Keywords:** Fissures, masonry sealing, pathology of buildings.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Lei da evolução de custos das intervenções (SITTER 1984 apud HELENE,1992). .....	5
Figura 2: Esquema da estrutura do trabalho.....	7
Figura 3: Construção de um edifício utilizando alvenaria de vedação. ....	10
Figura 4: Fissuras horizontais por movimentação térmica da laje.....	14
Figura 5: Fissuras horizontais com inclinações (escamas) devido movimentação térmica da laje.....	14
Figura 6: Fissuras em paredes de fachadas por movimentação térmica da laje. ....	14
Figura 7: Fissuras com inclinações devido movimentação térmica da laje. ....	15
Figura 8: Fissura inclinada em parede transversal por movimentação térmica da laje.....	15
Figura 9: Fissura vertical em parede de alvenaria por movimentação térmica da laje.....	16
Figura 10: Fissuras verticais em parede de alvenaria por movimentação térmica da alvenaria. ....	16
Figura 11: Fissuras inclinadas em parede de alvenaria por movimentação térmica da estrutura de concreto.....	17
Figura 12: Trincas e fissuras em canto de edifícios por absorção de umidade.....	18
Figura 13: Trincas e fissuras horizontais na alvenaria devido expansão dos tijolos. ....	18
Figura 14: Trincas e fissuras na estrutura devido a expansão da alvenaria. ....	18
Figura 15: Trinca ou fissura horizontal na base da alvenaria devido umidade do solo. ....	19
Figura 16: Destacamento da argamassa no tipo do muro, causado pela absorção de umidade. ....	19
Figura 17: Fissuras em paredes por retração da laje de cobertura. ....	21
Figura 18: Fissuras horizontais em paredes por retração da laje de cobertura. ....	21
Figura 19: Trincas e fissuras verticais na parede de alvenaria por retração da laje. ....	22
Figura 20: Trincas e fissuras na base da parede de alvenaria por retração da laje e expansão da alvenaria.....	22
Figura 21: Patologia característica devida retração da alvenaria. ....	23
Figura 22: Destacamento da alvenaria devido retração. ....	23
Figura 23: Patologia na argamassa devido retração. ....	24
Figura 24: Trincas e fissuras por retração, onde a resistência a tração do tijolo é igual ou inferior à da argamassa.....	24
Figura 25: Destacamento entre argamassa e componentes da alvenaria. ....	24
Figura 26: Patologia provocada pela expansão da argamassa de assentamento. ....	25
Figura 27: Fissuras em argamassa devido expansão por reação química. ....	25
Figura 28: Fissura na argamassa de revestimento devido ataque por sulfato. ....	26
Figura 29: Trincas e fissuras presentes em pilares devido ao aumento da área de armadura após sua corrosão.....	26
Figura 30: Flechas teóricas x flechas reais em paredes.....	27
Figura 31: Fissuras provocadas pela deformação excessiva do elemento inferior a paredes sem abertura. ....	28
Figura 32: Fissuras devido deformação conjunta dos elementos inferiores e superiores a paredes sem abertura. ....	28
Figura 33: Fissuras resultantes de deformação do elemento superior a parede de alvenaria sem abertura. ....	28
Figura 34: Trincas e fissuras verticais induzidas por sobrecarga. ....	29
Figura 35: Trincas e fissuras horizontais induzidas por sobrecarga. ....	30
Figura 36: Trincas e fissuras verticais ou inclinadas induzidas por sobrecarga em apoio. ....	30
Figura 37: Ruptura sob um ponto de aplicação de carga concentrada excessiva. ....	31
Figura 38: Trincas e fissuras verticais em pilares de alvenaria. ....	31
Figura 39: Trincas e fissuras teóricas em painéis de alvenaria com aberturas.....	32
Figura 40: Trincas e fissuras teóricas em painéis de alvenaria com aberturas.....	32
Figura 41: Fatores que ocasionam recalques diferenciais em fundações.....	33
Figura 42: Diferentes sistemas de fundação na mesma obra: trincas de cisalhamento no corpo da obra. ....	34
Figura 43: Elementos e quantidades de nós.....	36
Figura 44: Malha de elementos finitos. ....	36
Figura 45: Deformação do painel com auxílio do programa ANSYS.....	38
Figura 46: Sistema de eixos adotado para catalogação das patologias no trabalho. ....	40
Figura 47: Resumo de cálculo fornecido pelo <i>software</i> . ....	42
Figura 48: Configurações de malha dos dados de entrada no <i>software</i> . ....	43
Figura 49: Dados de entrada da malha no <i>software</i> . ....	43



Figura 50: Dados do Solver que foram usados para entrada no <i>software</i> .	44
Figura 51: Protocolo detalhado de cálculo da análise realizada.	44
Figura 52: Localização do Teatro Municipal.	47
Figura 53: Elevação frontal e lateral do imóvel.	48
Figura 54: Planta Baixa do teatro e parte analisada no trabalho.	48
Figura 55: Área do teatro com maior incidência de trincas e fissuras.	49
Figura 56: Abertura da garagem (Patologia 1).	50
Figura 57: Patologia do Pilar da garagem (Patologia 1).	51
Figura 58: Medidas (Patologia 1).	52
Figura 59: Detalhe dos cômodos administrativos do Teatro.	53
Figura 60: Fissuras nos cantos das janelas (Patologia 2).	53
Figura 61: Medidas da Patologia 2.	54
Figura 62: Abertura vertical da parede do lado direito do teatro (patologia 3).	55
Figura 63: Detalhamento da patologia 3.	56
Figura 64: Medições da Patologia 3.	56
Figura 65: Abertura vertical do lado esquerdo do teatro (patologia 3).	57
Figura 66: Abertura horizontal do lado direito do teatro (Patologia 4).	58
Figura 67: Abertura horizontal do lado esquerdo do teatro (Patologia 4).	58
Figura 68: Medições da Patologia 4.	59
Figura 69: Abertura na viga do que apoia a alvenria do primeiro pavimento (Patolgoia 5).	60
Figura 70: Medições da Patologia 5.	61
Figura 71: Estrutura analisada via <i>SCIA Engineer</i> .	62
Figura 72: Interface do <i>SCIA Engineer</i> com os resultados da análise.	63
Figura 73: Detalhe da abertura.	64
Figura 74: Deflexão das vigas em análise numérica via <i>SCIA Engineer</i> .	65
Figura 75: Comparativo entre aberturas dos cantos da janela.	65
Figura 76: Tensões nos cantos da abertura via <i>software</i> .	66
Figura 77: Estrutura sob superior viga respondendo às deformações da mesma.	67
Figura 78: Detalhe da análise numérica do centro inferior da parede.	67
Figura 79: Comparativo da Patologia 4 com resultado de tensões de tração via <i>SCIA Engineer</i> .	68

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIB	<i>Conceil International du Bâtiment</i>
DIS	<i>Draft os International Standard</i>
ISO	<i>Organization for Standardization</i>
kg	Quilogramas
MEF	Método dos Elementos Finitos
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PVC	Policloreto de Vinila
PP	Peso próprio
TCC 2	Trabalho de Conclusão de Curso 2
3D	Três dimensões (x, y, z)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
1.1 OBJETIVOS .....	4
1.1.1 Objetivo Geral .....	4
1.1.2 Objetivos Específicos .....	4
1.2 JUSTIFICATIVA .....	4
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	7
1.4 DELIMITAÇÕES DE ESTUDO .....	8
<b>2 PATOLOGIAS EM ALVENARIAS .....</b>	<b>9</b>
2.1 ALVENARIA .....	9
2.2 ALVENARIA DE VEDAÇÃO .....	10
2.3 DEFINIÇÃO DE TRINCAS E FISSURAS .....	10
2.4 TRINCAS E FISSURAS EM EDIFICAÇÕES .....	11
2.4.1 Trincas e fissuras devido a movimentações térmicas .....	13
2.4.1.1 Trincas e fissuras por movimentação da laje .....	13
2.4.2 Trincas e fissuras devido a umidade .....	17
2.4.3 Trincas e fissuras devido a retração dos materiais .....	20
2.4.3.1 Retração em lajes .....	21
2.4.3.2 Retração da alvenaria .....	23
2.4.4 Trincas e fissuras devido a ataques químicos .....	25
2.4.5 Trincas e fissuras devido a deformabilidade excessiva da estrutura .....	26
2.4.6 Trincas e fissuras devido a sobrecarga nas estruturas .....	29
2.4.6.1 Trincas e fissuras horizontais devido sobrecarga .....	29
2.4.6.2 Trincas e fissuras por sobrecarga em apoios .....	30
2.4.6.3 Trincas e fissuras por sobrecarga em torno de aberturas de uma edificação	
32	
2.4.7 Trincas e fissuras devido a recalque de fundação .....	33
<b>3 MÉTODO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE ESTRUTURAS .....</b>	<b>35</b>
<b>4 MÉTODO E MATERIAIS .....</b>	<b>39</b>
4.1 DIFICULDADES PARA INSPEÇÃO .....	39
4.2 LEVANTAMENTO DE TRINCAS E FISSURAS TÍPICAS EM ALVENARIA .....	40
4.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL .....	41
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>46</b>

5.1 LEVANTAMENTO DAS PATOLOGIAS DE TRINCAS E FISSURAS .....	46
5.1.1 Localização e descrição do imóvel .....	46
5.1.2 Apresentação das trincas e fissuras do local .....	49
5.1.3 Garagem .....	50
5.1.4 Cômodos administrativos (interno).....	52
5.1.5 Camarim (externo) .....	60
5.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL DE ALVENARIA APOIADA EM VIGA DEFORMÁVEL.....	62
5.2.1 Resultados da análise numérica do comportamento viga-alvenaria .....	63
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>70</b>
REFERÊNCIAS .....	72

## 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que desde os primórdios da civilização o homem tem se preocupado com a construção de estruturas adaptadas às suas necessidades, sejam elas habitacionais (casas e edifícios), ou de infraestrutura (pontes, cais, barragens, metrô, aquedutos, etc. (RIPPER e SOUZA, 1998).

De acordo com Ripper e Souza (1998), o crescimento acelerado no número de edificações, devido a crescente e impressionante demanda em alguns países trouxeram à tona necessidades de inovações, e, com essas, a aceitação implícita de maiores riscos.

Thomaz (1989) comenta que países em desenvolvimento, como o Brasil, fizeram com que as obras fossem sendo conduzidas com velocidade cada vez maior, como consequência disso, o padrão de qualidade das mesmas diminuiu. Tal fato, aliado a outros agravantes como a formação deficiente de engenheiros e arquitetos, de políticas habitacionais deficitárias e sistemas de financiamento inconsistentes vêm provocando a queda gradativa da qualidade de nossas construções, causando o aparecimento de diversas manifestações patológicas.

A investigação dos problemas em paredes de alvenaria continua atual, apesar do esforço de pesquisa desenvolvido nas últimas décadas no ramo da construção. A fissuração é um fenômeno crescente em diversos países, que afeta o desempenho das edificações e que tem como origem falhas técnicas objetivas, isso justifica a manutenção de seu estudo (MAGALHÃES, 2004).

Dessa forma, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) teve como principal objetivo estudar as trincas e fissuras existentes nas alvenarias do teatro municipal de Campo Mourão, no estado do Paraná.

Para isso foi feito um mapeamento das patologias desse tipo existentes no local, com base em inspeção de campo e, posteriormente, sincronizando algumas das patologias existentes com a bibliografia disponível sem o objetivo de apresentar propostas de correção.

De acordo com os servidores do local, o teatro começou a ser construído no ano de 1992, tendo sua conclusão e inauguração em 1995. Até a data de elaboração desse trabalho, portanto, o uso do local atinge 24 anos e não se tem registros ou conhecimento de manutenção preventiva ou corretiva na referida edificação.

Como método numérico computacional, foi usado o *software SCIA Engineer* 18.1 (versão estudantil).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Estudar as fissuras e trincas em alvenaria, no teatro municipal de Campo Mourão, com base em inspeção de campo e análise numérica via elementos finitos.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Investigar os tipos de trincas e fissuras existentes com base na literatura;
- Catalogar as fissuras e trincas nas alvenarias do teatro municipal de Campo Mourão com base em inspeção de campo;
- Analisar computacionalmente, via Método dos Elementos Finitos o comportamento viga-alvenaria com foco em fissuras e trincas.

## 1.2 Justificativa

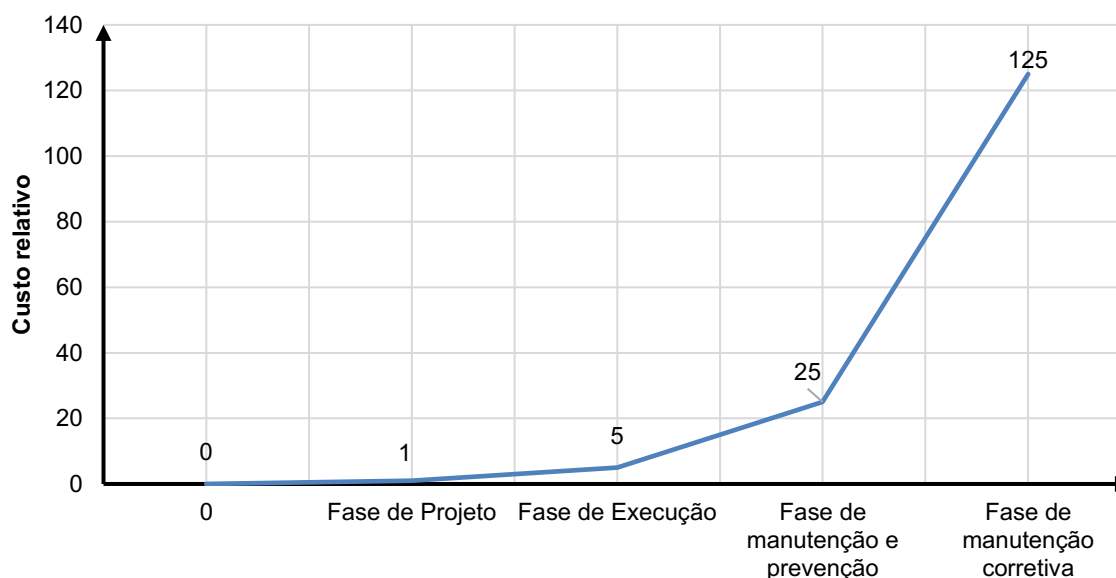
Cerca de 40% dos recursos destinados à construção civil, nos países desenvolvidos, são destinados à manutenção de estruturas. E, se tratando de custos, não se pode deixar de citar a lei dos cinco, de Sitter<sup>1</sup> (1984) apud Helene (1992), a lei divide as etapas construtivas em quatro: Fase de projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva. Nela, cada uma das etapas construtivas corresponde um custo que segue em progressão geométrica de razão cinco, como é mostrado pela **Figura 1** (MOREIRA, 2006).

Para melhor compreensão da figura, um gasto hipotético de 5 mil reais na fase de execução representa um custo de 125 mil reais caso seja necessário entrar em fase de manutenção corretiva.

---

<sup>1</sup> SITTER, W. R. *Costs for Service Life Optimization: The Law of Fives..* In: CEB-RILEM. Durability of concrete structures. *Proceedings of the international workshop held in Copenhagen*, on 18-20 May 1983. Copenhagen, 1984.

**Figura 1:** Lei da evolução de custos das intervenções (SITTER 1984 apud HELENE, 1992).



**Fonte:** Adaptado de Moreira (2006).

Silva e Jonov (2011) expõe que problemas de trincas e fissuras em edificações, são importantes, além de outros objetivos porque podem levar ao comprometimento do desempenho da obra em serviço (estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústica, entre outros); constrangimento psicológico que a fissuração dos edifícios exerce sobre seus usuário; presença de fissuras e trincas é prejudicial à durabilidade da edificação.

A análise numérica é uma importante ferramenta para o conhecimento dos possíveis mecanismos de formação das patologias existentes, uma vez que colabora para o entendimento das forças internas na estrutura e alvenaria, possibilitando confrontar a bibliografia disponível sobre patologias nas edificações com os resultados computacionais, aumentando a confiança de todo resultado apresentado.

É importante, portanto, entender o processo de formação de trincas e fissuras, tal qual a diferença dos termos e suas possíveis causas. Como a maior parte das obras apresenta algum tipo de patologia seu estudo deve ser cada vez mais intenso e minucioso. O trabalho de conclusão de curso em questão teve como fim contribuir para o processo de enriquecimento bibliográfico nessa área de conhecimento e na área de aplicação do Método dos Elementos Finitos, além de servir de base para futuras pesquisas no teatro.

Em função do alto custo de reparo e grande quantidade de obras nacionais e internacionais com trincas e fissuras em alvenaria é também importante que as soluções propostas pelos profissionais da área sejam viáveis ao proprietário do

imóvel, uma vez que esse - em geral - quer solucionar o problema despendendo do menor valor possível.

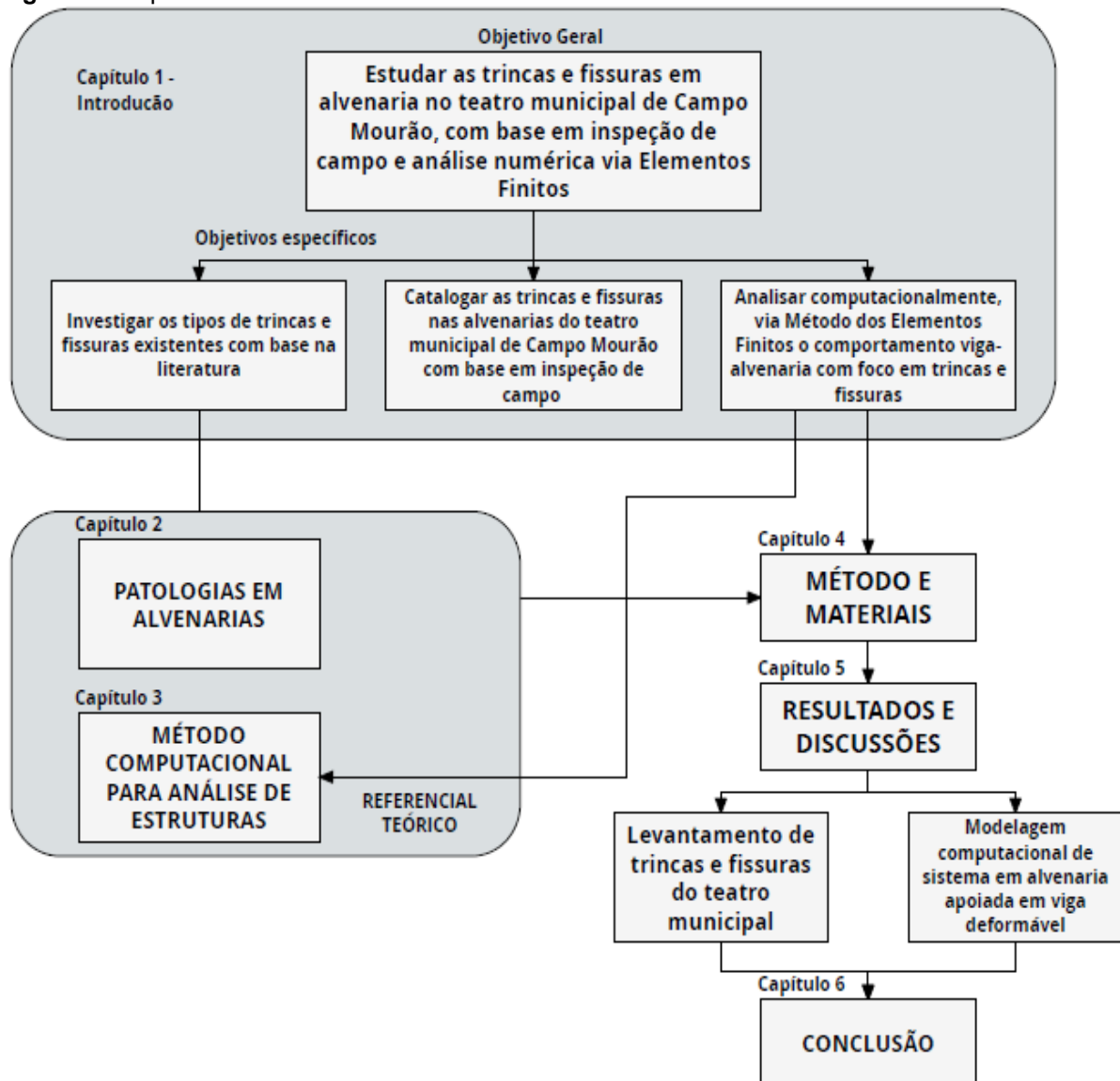
A maneira mais eficiente é, inevitavelmente, investir o necessário em planejamento, projeto e execução das edificações, tal como estudo do material a ser empregado e devido conhecimento sobre o ambiente em que a edificação será construída. Conseguindo atingir esses objetivos deverá ser observada uma menor incidência patológica não só no Brasil, mas no mundo todo, com isso garantido a satisfação do proprietário e usuário, o que reforçará a importância e aceitação do profissional devidamente habilitado no processo de construção.



### 1.3 Estrutura do Trabalho

A partir do objetivo geral foram descritos 3 objetivos específicos. Esses, por sua vez geraram capítulos de revisão bibliográfica e resultado e discussões. Com a revisão bibliográfica escrita pôde-se descrever o método e os materiais que foram usados para atingir o objetivo geral do trabalho, como mostra o esquema da Figura 2.

**Figura 2:** Esquema da estrutura do trabalho.



Fonte: O autor (2019).

A seguir, segue uma breve descrição de cada capítulo proposto nesse projeto.

Capítulo 1- Introdução: São apresentados os objetivos, geral e específicos, além da justificativa do trabalho e a delimitação do estudo.

Capítulo 2- Patologia em Alvenarias: Apresentação da definição de trincas e fissuras em alvenaria, estudo com base na literatura sobre os tipos mais recorrentes desse tipo de patologia e classificação.

Capítulo 3- Método computacional para análise de estruturas: Nesse capítulo foi apresentada uma breve revisão do Método dos Elementos Finitos, com o intuito de dar uma pequena introdução do assunto ao leitor.

Capítulo 4- Método e materiais: Apresentação do método e dos materiais utilizados no trabalho para obtenção do objetivo geral.

Capítulo 5- Resultados e Discussões: Esse capítulo foi subdividido em dois, no 5.1 apresenta-se o trabalho realizado em campo de levantamento das trincas e fissuras do teatro municipal de Campo Mourão. Já no item 5.2 foi apresentada a parte de modelagem numérica de alguns problemas de trincas e fissuras.

Capítulo 6- Conclusão: Apresentação das conclusões tomadas de acordo com os resultados.

E por fim, as Referências, onde são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para elaboração do trabalho.

#### **1.4 Delimitações de estudo**

Tratando-se de alvenarias, existe uma vasta área de estudo, tal como paredes de concreto armado, *dry-wall*, pré-moldado, painéis pré-fabricados em gesso acartonado, PVC, madeira, paredes de contenção, entre outros. Além disso, a maneira de construir possui peculiaridades regionais, divergências de tecnologias usadas e critérios de dimensionamento (MAGALHÃES, 2004).

O presente trabalho se refere apenas a paredes de alvenaria convencional, de tijolo cerâmico maciço ou furados, com ou sem função estrutural e juntas de argamassa presentes. Os tipos de fissuras e trincas catalogados foram aqueles mais comuns na literatura, não sendo abordado o concreto armado, estruturas metálicas ou outro tipo que não seja alvenaria.

## 2 PATOLOGIAS EM ALVENARIAS

Nesse capítulo foi exposto o material encontrado na bibliografia disponível, a fim de definir alvenaria, trincas e fissuras e mostrar seus possíveis mecanismos de formação e motivos para estarem presentes.

### 2.1 Alvenaria

Alvenaria é o sistema construtivo formado de um conjunto coeso e rígido de tijolos ou blocos, unidos com ou sem argamassa de assentamento (ou ligação) em fiadas sobrepostas uma a outra, atualmente empregada na confecção de diversos elementos construtivos, como parede, sapatas, muros, cisternas etc. (MARINOSKI, 2011).

Ainda de acordo com Marinoski (2011) as propriedades que a alvenaria deve apresentar são:

- Resistência à movimentos térmicos, umidade e infiltrações de água;
- Resistência à pressão dos ventos;
- Isolamento acústico e térmico;
- Controle de migração de vapor de água e regulação da condensação;
- Base ou substrato para revestimentos em geral;
- Segurança para usuários.

Contão (2016) diz que as unidades que compõem comumente a alvenaria no Brasil são os tradicionais tijolos maciços e furados, blocos cerâmicos vazados, de concreto blocos de silício-calcários, entre outros.

A fissuração em alvenaria, em geral, podem ser causadas por movimentações da própria parede ou de outros elementos construtivos adjacentes, como, por exemplo, vigas; lajes ou pilares da estrutura de concreto armado; elementos da fundação ou componentes diversos, tais como esquadrias, forros, entre outros (MAGALHÃES, 2004).

## 2.2 Alvenaria de vedação

O objeto de estudo foi a alvenaria de vedação. Essa é assim denominada por não possuir função de resistir esforços além de seu peso próprio e peças suspensas, de acordo com a NBR 15575, nesse tipo de sistema é possível realizar cortes na alvenaria sem que haja dano algum à estabilidade da estrutura. Os componentes da edificação responsáveis por resistir aos esforços são lajes, vigas e pilares (SILVA e MOREIRA, 2017). Na **Figura 3** exemplifica-se um edifício construído com alvenaria de vedação.

**Figura 3:** Construção de um edifício utilizando alvenaria de vedação.



**Fonte:** Silva e Moreira (2017).

## 2.3 Definição de trincas e fissuras

As trincas e fissuras são problemas patológicos de interesse a vários ramos da engenharia, entre outros motivos, por estar diretamente relacionada ao uso da edificação. Esses tipos de patologia são encontrados tanto em componentes mais simples como em componentes mais complexos da construção civil (LORDSLEEM, 1997).

Ainda de acordo de Lordsleem (1997), fissura, ou trinca, pode ser definida como: “O resultado de solicitações maiores do que aquelas que o edifício ou parte dele pode suportar”. Essa definição deixa subliminarmente o quão difícil é o diagnóstico desse tipo de patologia, pois as trincas e fissuras podem ser resultado de inúmeras causas, que podem ou não agir ao mesmo tempo.

Na literatura nacional não existe um consenso sobre como classificar as trincas e fissuras, como exemplo disso o presente trabalho traz duas definições diferentes, apresentadas pela ABNT NBR 9575:2003 - Projeto de impermeabilização e ABNT NBR 15575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho (Tabela 1). Vale acrescentar que nesse trabalho foi usado para a classificação a metodologia usada pela NBR 15575:2013.

**Tabela 1:** Definição de trincas e fissuras.

<b>NBR 9575:2003 - Projeto de Impermeabilização</b>	<b>NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais-Desempenho</b>
<b>Fissura:</b> Abertura com espessura igual ou inferior a 0,5 mm	<b>Fissura:</b> Abertura com espessura obrigatoriamente menor que 0,6 mm
<b>Trinca:</b> Abertura com espessura maior que 0,5 mm, mas menor ou igual a 1 mm	<b>Trinca:</b> Abertura com espessura igual ou maior que 0,6 mm

**Fonte:** Adaptado de ABNT NBR 9575:2003 e ABNT NBR 15575:2013.

Duarte (1998) e Magalhães (2004) complementam que, além de classificar as fissuras e trincas quanto à sua espessura, se pode classificá-las quanto a outros critérios, como: forma; causas e direção.

## 2.4 Trincas e fissuras em edificações

Patologia na construção civil de um modo geral descreve-se como o estudo das doenças de uma obra, tal como o estado anormal e comportamento indesejado, fazendo com que a mesma apresente uma queda precoce de desempenho por meio de erros de planejamento, especificação, execução uso e/ou projetos. Erros tais que não atendem as funções desejadas pelo seu usuário (CONTÃO, 2016).

As manifestações patológicas que mais preocupação causam aos leigos são as aberturas. A ocorrência de trincas e fissuras tem se tornado um incômodo que provoca crescente preocupação na construção civil (DUARTE, 1998). Mas esse não é um problema somente da alvenaria atual, já se apresentava de importante observação desde a origem das construções.

De acordo com Thomaz (1989), o problema decorrente de trincas e fissuras em edificações, mesmo com diferentes tipos de utilização, é importante devido a três aspectos fundamentais: O aviso de um possível estado perigoso na edificação, o comprometimento do desempenho da obra em serviço e o constrangimento psicológico dos usuários.

Existe o conceito de desempenho das edificações, estabelecido pelo CIB (*Conceil International du Bâtiment*, 1975) e as normas ISO, com a ISO/DIS 7164 (*International Organization for Standardization*, 1985), que pode ser definido como os requisitos mínimos que devem ser atendidos para a satisfação do usuário, que são: segurança estrutural; fogo na utilização; estanqueidade; conforto hidrotérmico, atmosférico, visual, acústico, tátil e antropodinâmico; higiene; adequação; durabilidade e economia. Com o passar dos anos é comum e esperado que a construção se desgaste e apresente manifestações patológicas, além do tempo diversos imprevistos podem contribuir para tal, como recalques das fundações em função da movimentação do terreno, incêndio, sobrecarga, umidade, etc. (MAGALHÃES, 2004).

Os mecanismos de formação de fissuras já são conhecidos pela literatura global e compreendidos que, uma vez que a solicitação da alvenaria, seja a tração ou compressão, seja maior que o estado limite resistente a estrutura apresentará manifestações patológicas, ou, dependendo do grau de excedência dessas tensões até mesmo a ruína.

Obras literárias como (CONTÃO, 2016), (DUARTE, 1998), (SILVA; JONOV, 2011), (THOMAZ, 1989), (MAZER, 2008) e (RIPPER; MOREIRA DE SOUZA, 1998) convergem para os mecanismos de formação de fissuras, resumindo-se em:

- Movimentações térmicas;
- Umidade;
- Retração dos materiais;
- Ataques químicos;
- Deformabilidade excessiva da estrutura;
- Sobrecarga;
- Recalques de fundação.

### 2.4.1 Trincas e fissuras devido a movimentações térmicas

Os componentes de uma construção estão sujeitos a variações de temperatura sazonais e diárias. Essas variações causam dilatação e retração. Esses movimentos são restringidos pelos vínculos que envolvem os elementos e componente, por esse motivo, tensões grandes demais podem causar o aparecimento de fissuras e trincas (THOMAZ, 1989; FLORES e BRITO, 2005).

Como é de se esperar, as fachadas que sofrem maior incidência de luz solar durante o período mais quente do dia são as que sofrem maior deformação térmica, portanto, ficam mais suscetíveis a patologias decorrentes por esse motivo. Devido ao fenômeno descrito no parágrafo anterior, encontramos nas edificações diferentes tipos de configurações típicas de trincas e fissuras.

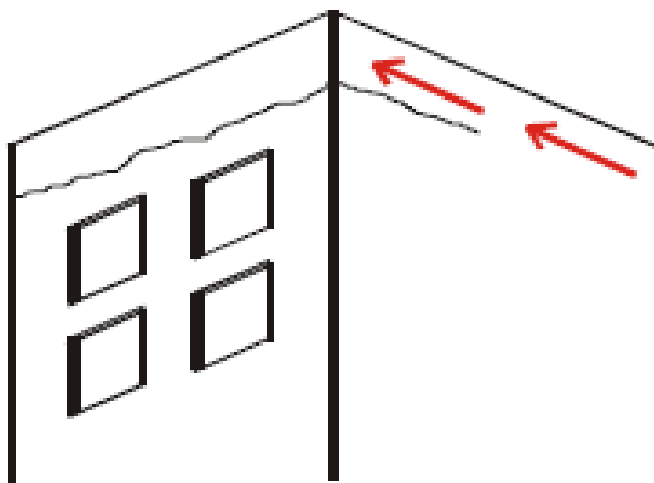
Flores e Brito (2005), dizem que as dilatações e contrações podem ser:

- Dilatação das paredes, devido à ausência de juntas de dilatação, onde os painéis de alvenarias são de uma extensão grande;
- Dilatação da estrutura do edifício que origina movimentos, tais movimentos embora não causem danos estruturais causam trincas e fissuras entre a alvenaria e a estrutura;
- Dilatação de cobertura, que pode provocar movimentos horizontais de amplitude variável, que podem originar patologias no último piso da edificação.

#### 2.4.1.1 Trincas e fissuras por movimentação da laje

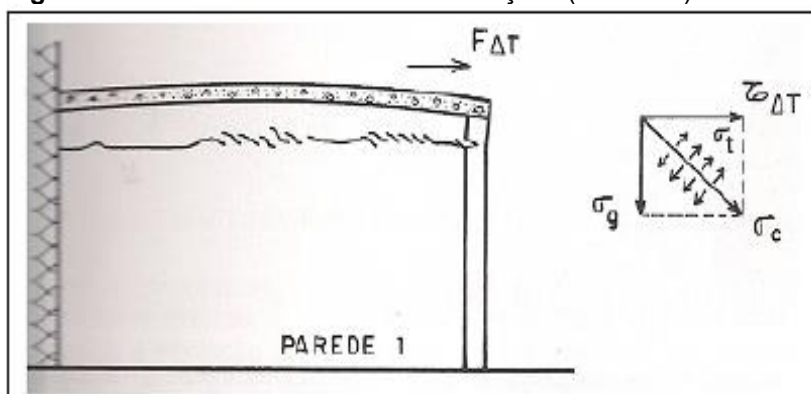
A cobertura da superfície é a superfície mais exposta ao calor de um edifício, dessa forma a dilatação térmica é intensa nessa região. A radiação solar sobre a telha irá transmitir-se para os outros componentes da cobertura, inclusive a laje. A ação das variações de temperatura em lajes tem dois efeitos básicos: variação dimensional no plano da laje (comportamento de membrana) e curvaturas na superfície da laje (comportamento de placa), o que induz tensões de tração e cisalhamento nas alvenarias, atuando como seu mecanismo de abertura (CORRÊA e RAMALHO, 2012). A Figura 4, Figura 5 e Figura 6 apresenta configurações desse tipo de fissuração.

**Figura 4:** Fissuras horizontais por movimentação térmica da laje.



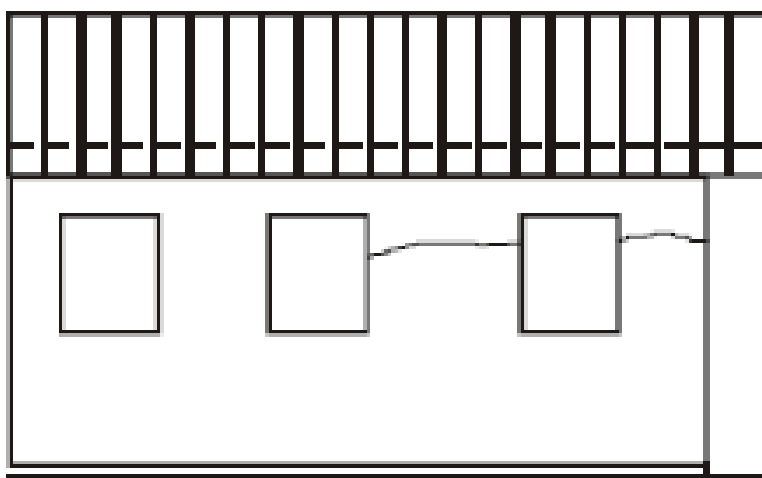
Fonte: Magalhães (2004).

**Figura 5:** Fissuras horizontais com inclinações (escamas) devido movimentação térmica da laje.



Fonte: Valle (2008).

**Figura 6:** Fissuras em paredes de fachadas por movimentação térmica da laje.

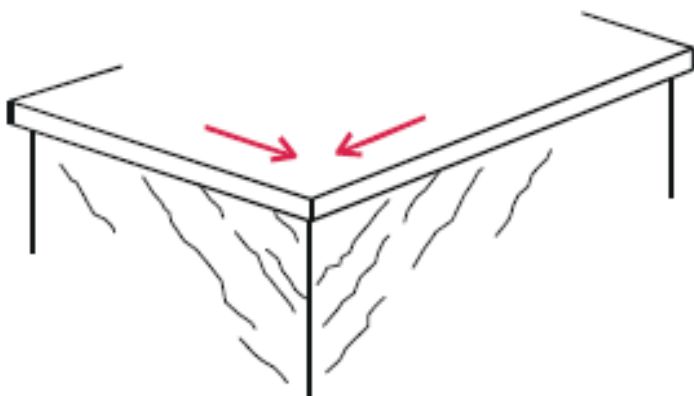


Fonte: Magalhães (2004).



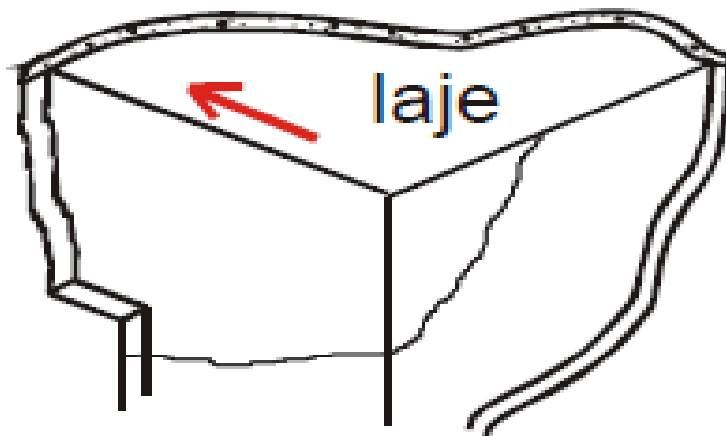
As fissuras e trincas devidas movimentação da laje podem apresentar outros tipos e direções, tais como fissuras e trincas inclinadas por movimentação da laje (Figura 7 e Figura 8), e apresentam os mesmos mecanismos de formação já apresentados nesse item do trabalho.

**Figura 7:** Fissuras com inclinações devido movimentação térmica da laje.



**Fonte:** Duarte (1998).

**Figura 8:** Fissura inclinada em parede transversal por movimentação térmica da laje.



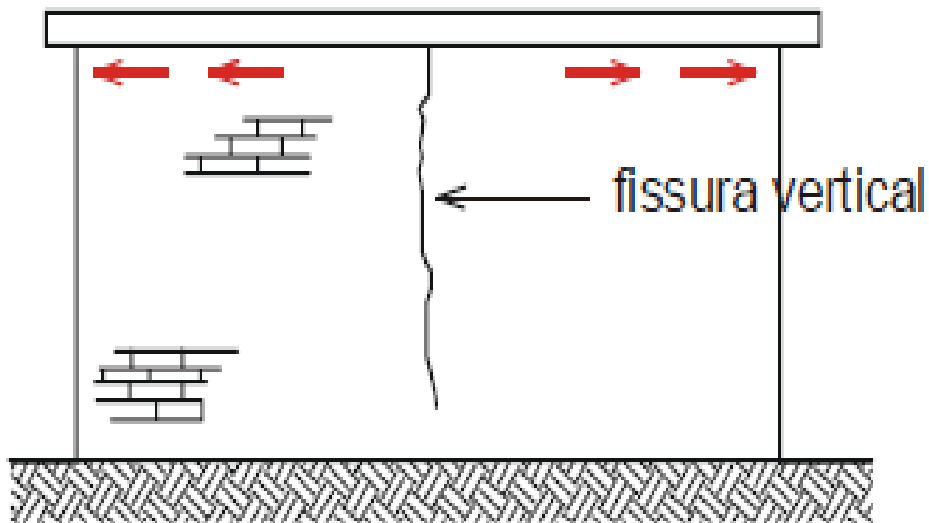
**Fonte:** Duarte (1998).

A dilatação térmica da laje introduz tensões horizontais de tração na alvenaria, fissurando a parede. Como as tensões de tração são maiores no topo da parede a abertura possui maior abertura na parte superior, junto a laje. Paredes com tijolos furados verticalmente, apresentam baixa resistência à tração na direção horizontal, assim, as trincas e fissuras tendem a abrir-se verticalmente como na Figura 9.

Além da estrutura de concreto (laje) se deformar devido a variação de

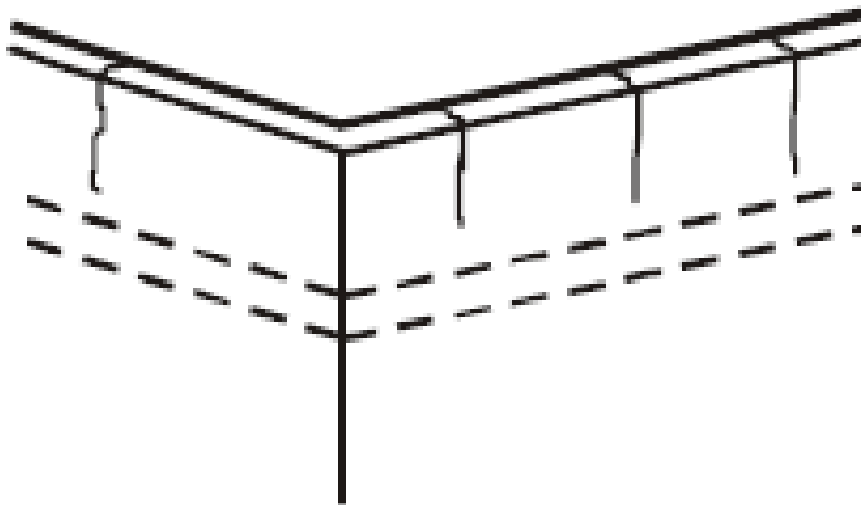
temperatura, tem-se a opção da alvenaria em si sofrer esse tipo de deformação. A dilatação e contração de paredes geram a patologia vertical regularmente espaçada (Figura 10) e tem ocorrência principalmente em muros, platibandas, parapeitos, principalmente na ausência ou ineficiência de juntas de dilatação (MAGALHÃES, 2004).

**Figura 9:** Fissura vertical em parede de alvenaria por movimentação térmica da laje.



**Fonte:** Duarte (1998).

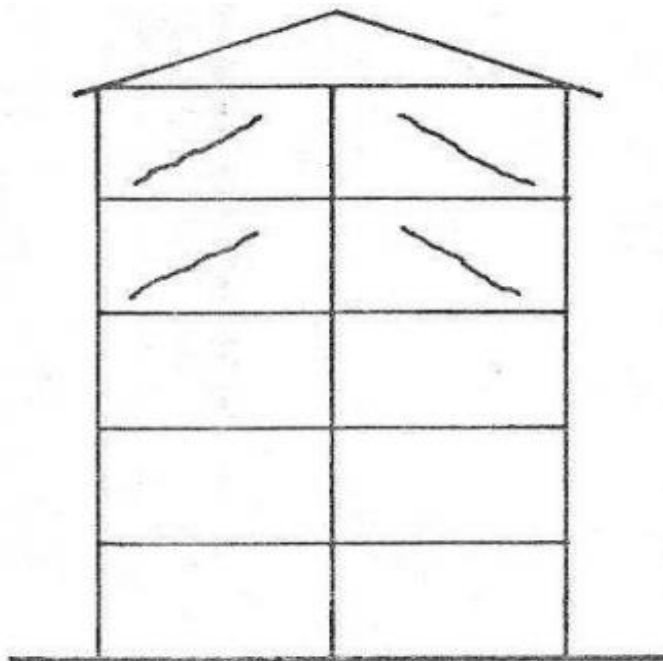
**Figura 10:** Fissuras verticais em parede de alvenaria por movimentação térmica da alvenaria.



**Fonte:** Magalhães (2004).

A dilatação da estrutura de concreto armado na cobertura também causa trincas e fissuras na alvenaria, principalmente, do último pavimento. As fissuras ou trincas tem direção horizontal ao longo das paredes externas maiores, inclinando-se à aproximadamente 45° em direção a laje do teto (**Figura 11**) (DUARTE, 1998).

**Figura 11:** Fissuras inclinadas em parede de alvenaria por movimentação térmica da estrutura de concreto.



**Fonte:** Thomaz (1989).

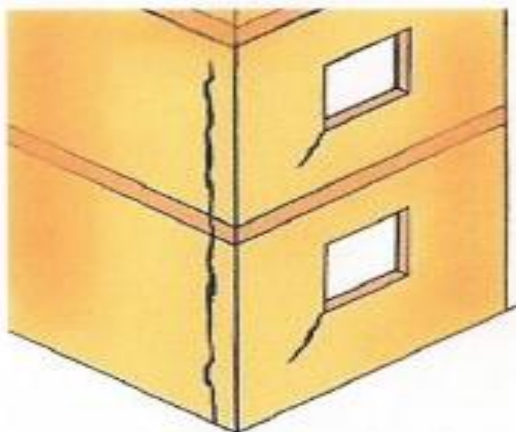
#### **2.4.2 Trincas e fissuras devido a umidade**

As trincas e fissuras que são originadas de variação de umidade dos materiais de construção são muito semelhantes àquelas devidos variações de temperatura. Entre um caso e outro, as aberturas poderão variar de acordo com as propriedades higrotérmicas dos materiais e das amplitudes de variação da temperatura ou da umidade. Já houve registros na literatura de ocorrências de alguns casos de trincas e fissuras provocadas pela expansão de tijolos com elevada resistência a compressão (THOMAZ, 1989).

Aberturas características provocadas pela expansão de tijolos cerâmicos serão apresentadas no decorrer desse trabalho. Algumas dessas aberturas podem ter configuração vertical no canto do edifício (**Figura 12**), horizontais na alvenaria provenientes da expansão dos tijolos cerâmicos (**Figura 13**) causando compressão na direção horizontal e trincas e fissuras nas peças estruturais, onde a expansão da

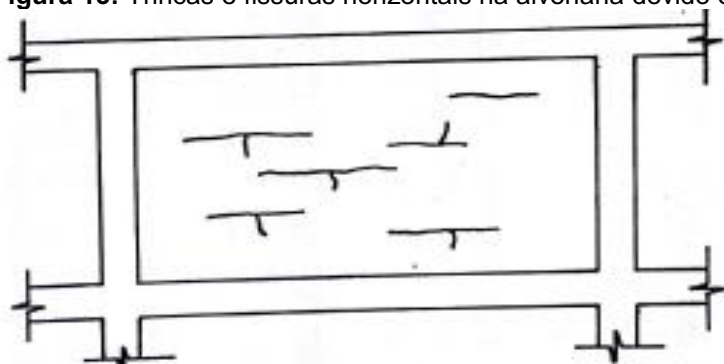
alvenaria solicita o concreto à tração, fissurando-o (**Figura 14**) (THOMAZ, 1989; VALLE, 2008).

**Figura 12:** Trincas e fissuras em canto de edifícios por absorção de umidade.



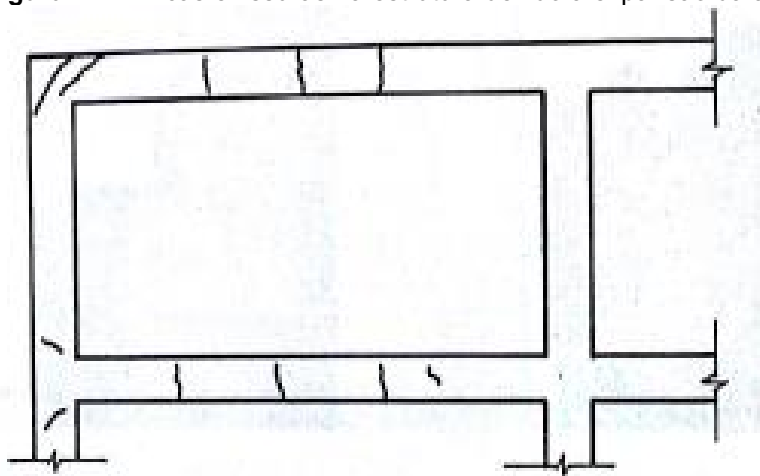
**Fonte:** Valle (2008).

**Figura 13:** Trincas e fissuras horizontais na alvenaria devido expansão dos tijolos.



**Fonte:** Thomaz (1989).

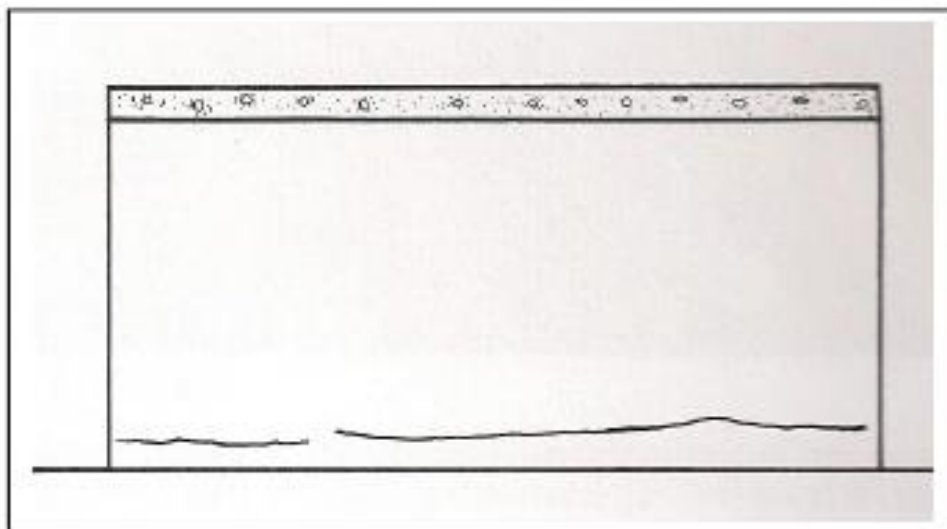
**Figura 14:** Trincas e fissuras na estrutura devido a expansão da alvenaria.



**Fonte:** Thomaz (1989).

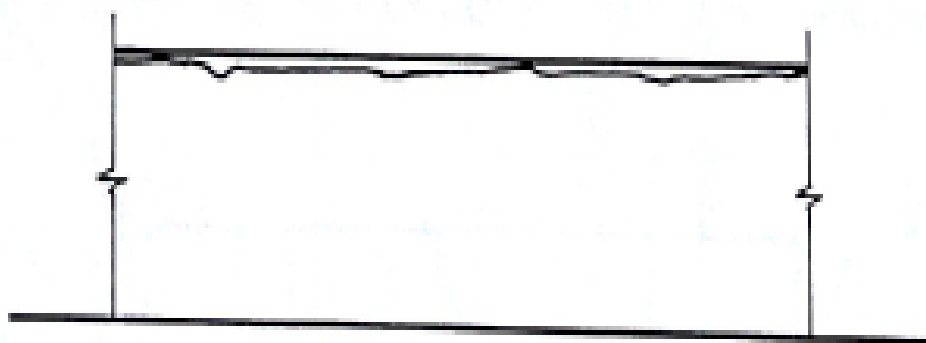
Outro tipo bastante característico de fissura causada por umidade é aquela presente na base de paredes com alicerce mal impermeabilizado (**Figura 15**), onde os componentes em alvenaria absorvem umidade e apresentam movimentações diferenciadas em relação às fiadas superiores que estão sujeitas à luz solar direta e a perda de água, e no topo de muros, peitoris e platibandas que não estejam convenientemente protegidos por rufos; a argamassa do topo da parede absorve água, movimenta-se diferencialmente em relação ao corpo do muro e acaba destacando-se do mesmo (**Figura 16**) (THOMAZ, 1989).

**Figura 15:** Trinca ou fissura horizontal na base da alvenaria devido umidade do solo.



Fonte: Valle (2008).

**Figura 16:** Destacamento da argamassa no topo do muro, causado pela absorção de umidade.



Fonte: Thomaz (1989).

### 2.4.3 Trincas e fissuras devido a retração dos materiais

De acordo com Thomaz (1989) para que um cimento hidrate-se completamente é necessário uma relação água/cimento em, em média 0,40. Contudo, em função da trabalhabilidade, o concreto e as argamassas são geralmente fabricados com água em excesso, o que vem a acentuar a retração. Na realidade é importante distinguir as três formas de retração que ocorrem num produto preparado com cimento:

- Retração química: reação química entre o cimento e a água se dá com redução de volume devido às grandes forças de coesão, a água combinada quimicamente sofre contração em torno de 25% de seu volume original;
- Retração de secagem: A água em excesso no concreto ou argamassa permanece livre no interior da massa, evaporando-se posteriormente, o que causa forças capilares de compressão que produz redução de seu volume;
- Retração por carbonatação: A cal hidratada reage com o gás carbônico presente no ar, formando carbonato de cálcio, essa reação é acompanhada de uma redução de volume, gerando retração.

Zanzarini (2016) fala sobre os fatores que intervém na retração de produtos que possuem cimento em sua composição, tais como:

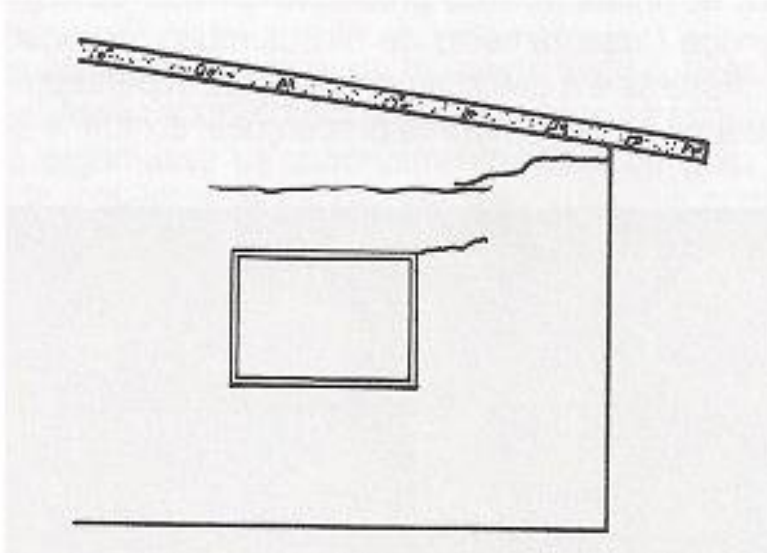
- Composição química: a retração aumenta conforme aumenta a finura do cimento;
- Proporção de cimento à mistura: quanto maior a concentração de cimento maior sua retração;
- Natureza dos agregados: onde tem-se uma relação inversamente proporcional entre módulo de deformabilidade do agregado e a retração;
- Granulometria dos agregados: Quanto mais fino o agregado, maior a pasta de cimento necessária para preencher os vazios, portanto maior a retração;
- Quantidade de água na mistura: relação água/cimento é inversamente proporcional a retração no processo de cura;

- Cura: Falta de hidratação do concreto no processo de cura acentua a retração.

#### 2.4.3.1 Retração em lajes

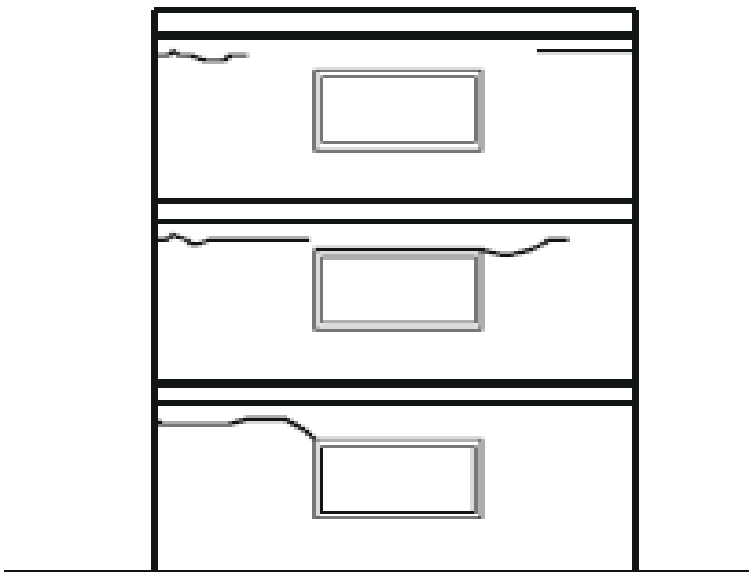
As trincas e fissuras devido retração de lajes podem dar-se horizontalmente (Figura 17 e Figura 18), verticalmente (Figura 19) em paredes e/ou na base de paredes por (Figura 20).

**Figura 17:** Fissuras em paredes por retração da laje de cobertura.



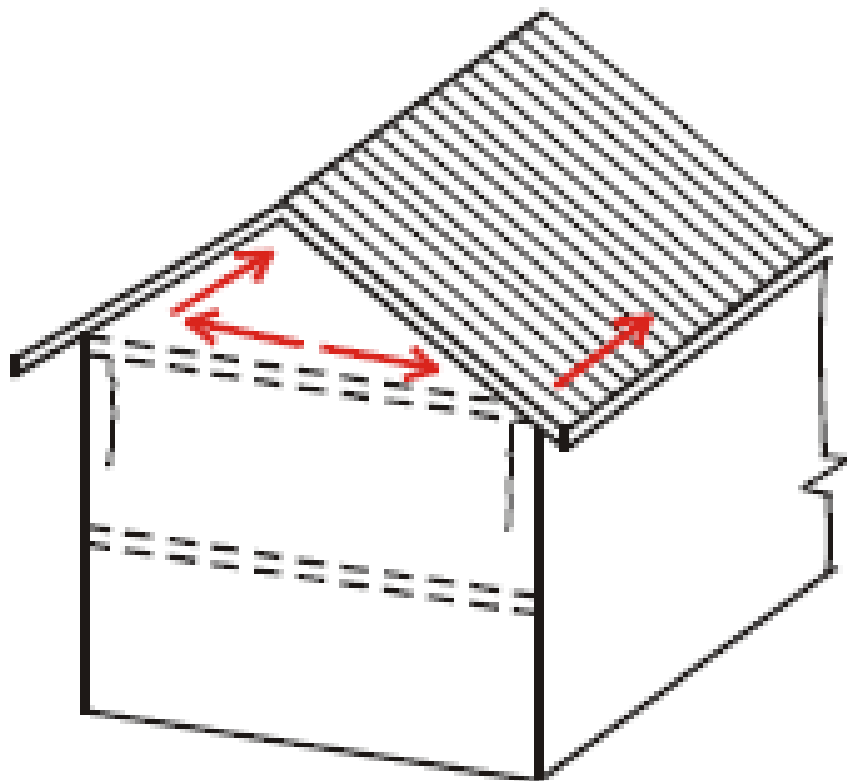
**Fonte:** Valle (2008).

**Figura 18:** Fissuras horizontais em paredes por retração da laje de cobertura.



**Fonte:** Magalhães (2004).

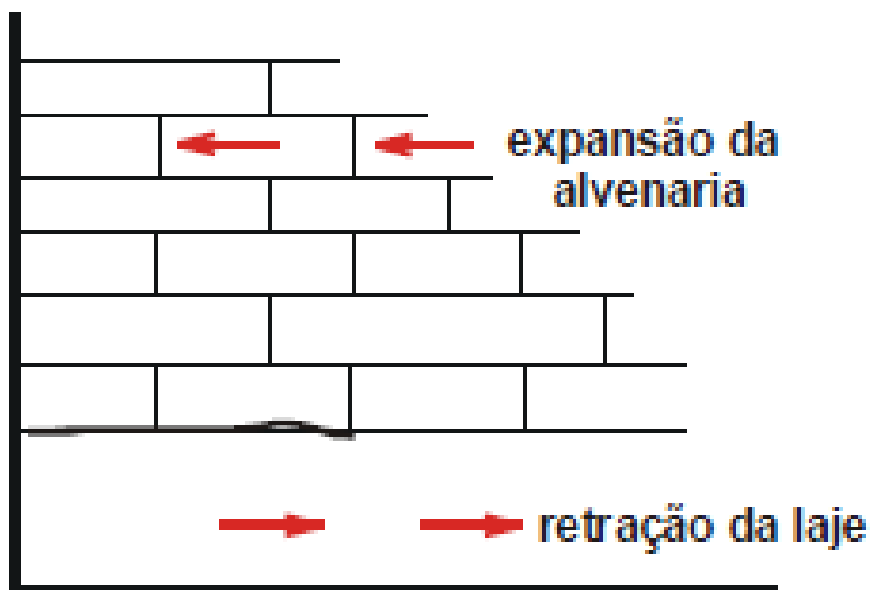
**Figura 19:** Trincas e fissuras verticais na parede de alvenaria por retração da laje.



**Fonte:** Duarte (1998).

**Figura 20:** Trincas e fissuras na base da parede de alvenaria por retração da laje e expansão da alvenaria.

### extremidade do prédio



**Fonte:** Magalhães (2004).



### 2.4.3.2 Retração da alvenaria

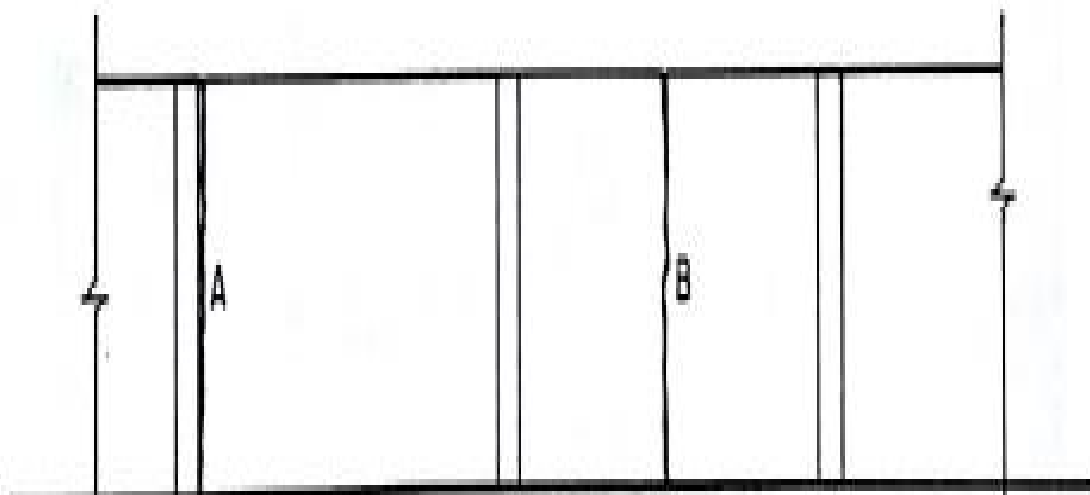
De acordo com Thomaz (1989), os mecanismos de fissuração de paredes e muros são idênticos aos dos itens 2.4.1 e 2.4.2, de variações de temperatura e umidade, respectivamente. Como complemento, apresenta-se a **Figura 9**, **Figura 21**, **Figura 22**, **Figura 23**, **Figura 24** e **Figura 25** como boas ilustrações de problemas patológicos que podem manifestar-se em função da retração de parede e/ou seus componentes isolados.

**Figura 21:** Patologia característica devida retração da alvenaria.



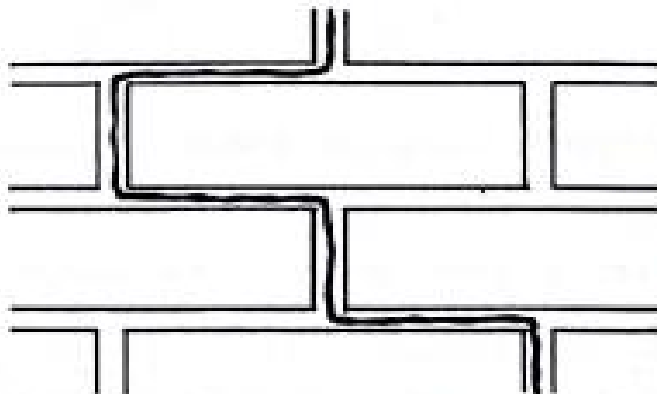
Fonte: Thomaz (1989).

**Figura 22:** Destacamento da alvenaria devido retração.



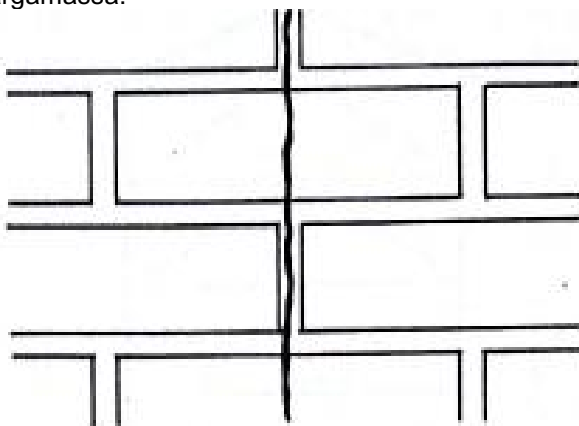
Fonte: Thomaz (1989).

**Figura 23:** Patologia na argamassa devido retração.



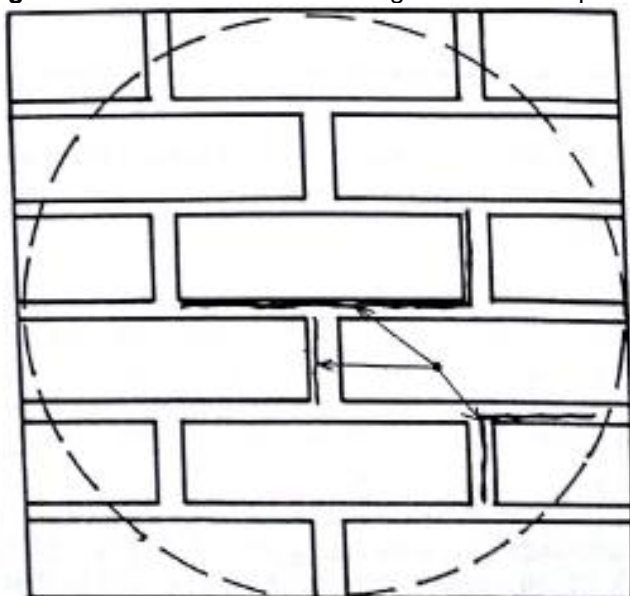
**Fonte:** Thomaz (1989).

**Figura 24:** Trincas e fissuras por retração, onde a resistência a tração do tijolo é igual ou inferior à da argamassa.



**Fonte:** Thomaz (1989).

**Figura 25:** Destacamento entre argamassa e componentes da alvenaria.

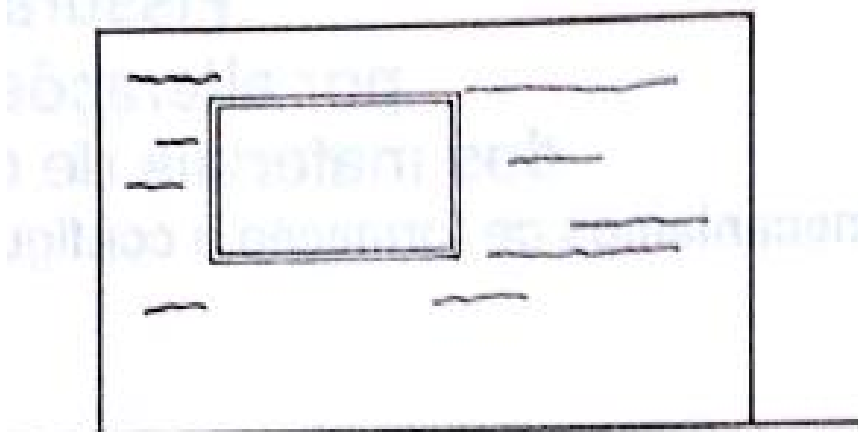


**Fonte:** Thomaz (1989).

#### 2.4.4 Trincas e fissuras devido a ataques químicos

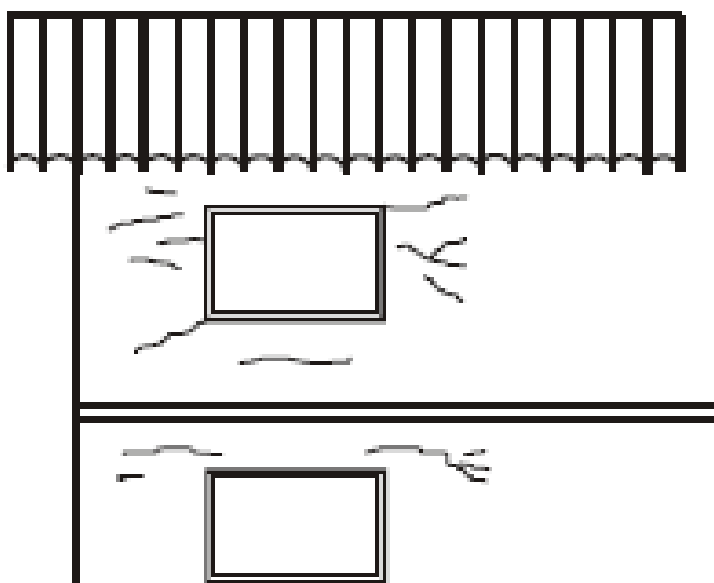
Os materiais da indústria da construção civil são suscetíveis a ação de substâncias químicas, soluções ácidas, alguns tipos de álcool, poluentes atmosféricos, ambientes industriais, entre outros, são agentes que causam alteração química indesejável nos materiais podendo causar fissuração. Três alterações químicas que ocorrem com relativa frequência são hidratação retardada de cales (Figura 26 e Figura 27), ataques por sulfatos (Figura 28) e corrosão das armaduras (Figura 29) (THOMAZ, 1989).

**Figura 26:** Patologia provocada pela expansão da argamassa de assentamento.



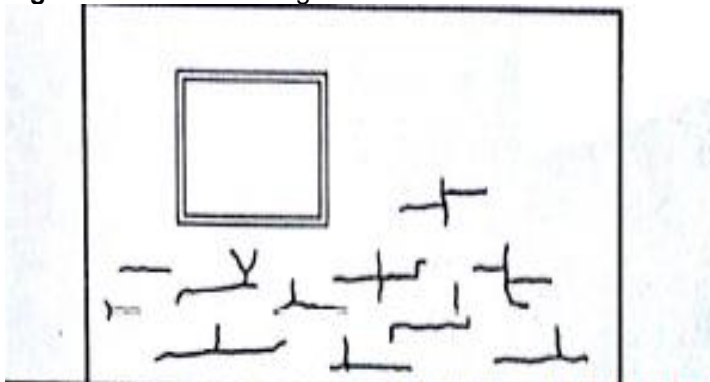
**Fonte:** Thomaz (1989).

**Figura 27:** Fissuras em argamassa devido expansão por reação química.



**Fonte:** Magalhães (2004).

**Figura 28:** Fissura na argamassa de revestimento devido ataque por sulfato.



**Fonte:** Thomaz (1989).

**Figura 29:** Trincas e fissuras presentes em pilares devido ao aumento da área de armadura após sua corrosão.



**Fonte:** Thomaz (1989).

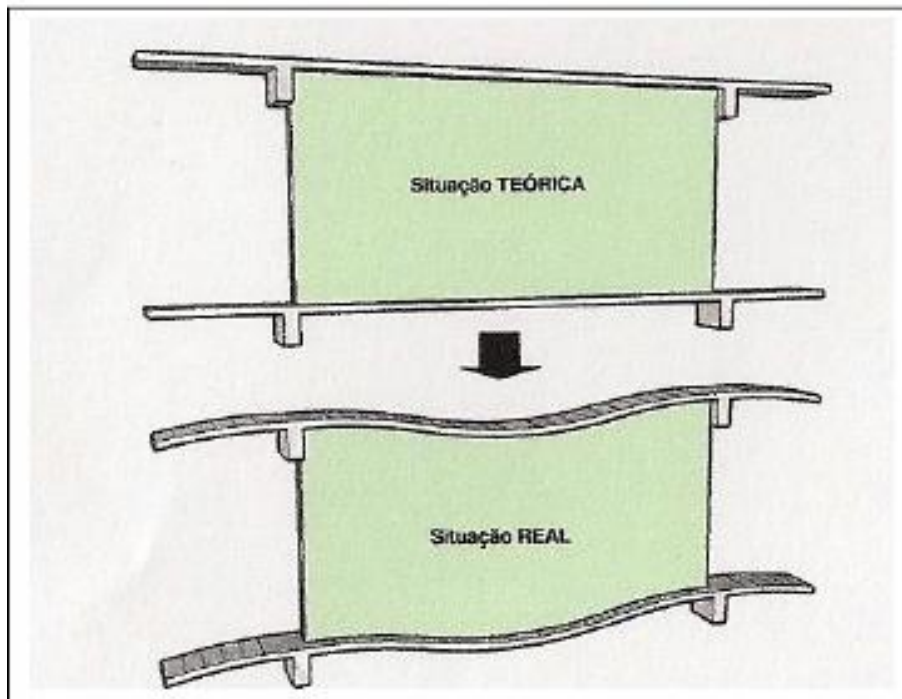
#### **2.4.5 Trincas e fissuras devido a deformabilidade excessiva da estrutura**

Vigas e lajes se deformam naturalmente sob ação de seu peso próprio, uso das estruturas e demais efeitos que causem movimentação. Os componentes estruturais submetidos a flexão admitem flechas que podem não comprometer em nada sua própria estética ou segurança. Tais flechas, entretanto, podem ser incompatíveis com a capacidade de deformação da alvenaria ou outros componentes estruturais que integram as edificações (VALLE, 2008).

A NBR 6118:2014 estipula que no cálculo das flechas deverão ser levados em conta a retração e a deformação lenta do concreto, a fim que as deformações não possam ser prejudiciais à estrutura ou a outras partes da construção.

Tem-se também pela NBR 6118:2014, que as flechas teóricas não retratam a realidade da construção civil, uma vez que as flechas reais não são perfeitamente simétricas ou previsíveis (Figura 30).

**Figura 30:** Flechas teóricas x flechas reais em paredes.

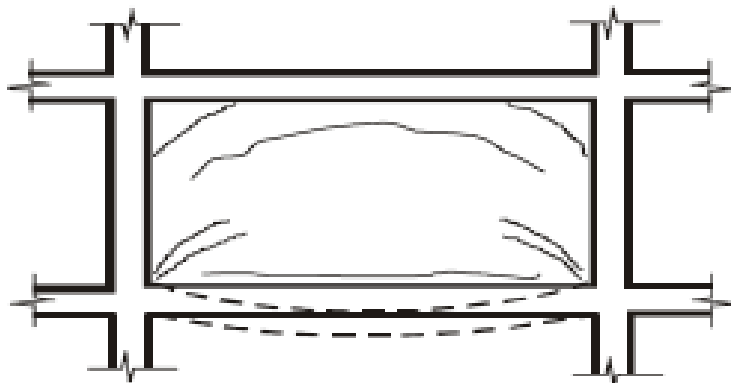


**Fonte:** Valle (2008).

A flexão de elementos estruturais é o principal influenciador de deformação da estrutura de concreto armado, tais elementos em geral como vigas e pilares. Sendo que essa deformação ocorre devido a ação do peso próprio, cargas permanentes e acidentais, deformação lenta do concreto e cargas laterais (CONTÃO, 2016).

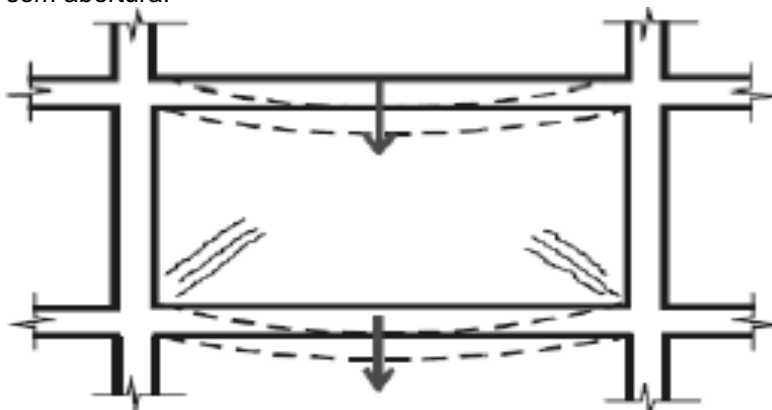
As trincas e fissuras típicas devido a esse tipo de problemática está disposto na Figura 31, Figura 32 e Figura 33.

**Figura 31:** Fissuras provocadas pela deformação excessiva do elemento inferior a paredes sem abertura.



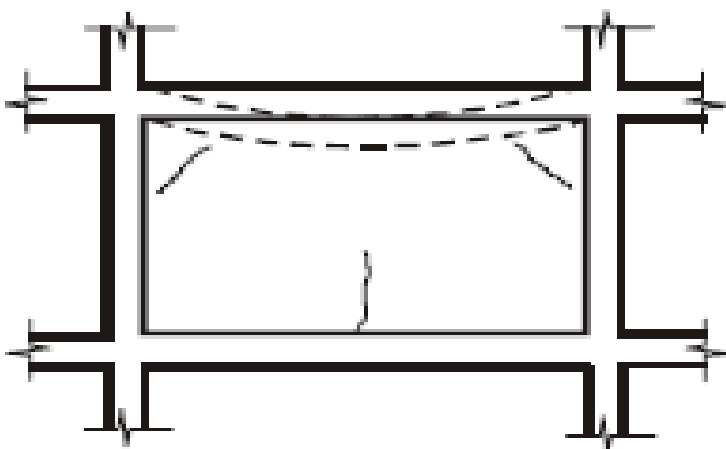
Fonte: Contão (2016).

**Figura 32:** Fissuras devido deformação conjunta dos elementos inferiores e superiores a paredes sem abertura.



Fonte: Contão (2016).

**Figura 33:** Fissuras resultantes de deformação do elemento superior a parede de alvenaria sem abertura.



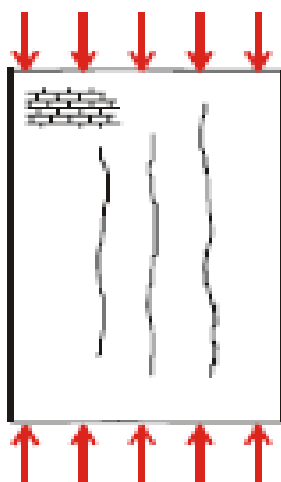
Fonte: Magalhães (2004).

### 2.4.6 Trincas e fissuras devido a sobrecarga nas estruturas

As trincas e fissuras causadas por sobrecarga são originadas por carregamentos verticais de compressão excessivos, esses carregamentos podem surgir do peso próprio das edificações, do uso, cargas acidentais entre outros motivos.

Segundo Duarte (1998), os mecanismos de formação de trincas e fissuras devido esse tipo de carregamento vertical é devido ao esforço transversal de tração induzido nos tijolos. Ao ser comprimida a argamassa, em geral, se deforma mais em relação ao tijolo, tendendo a expandir lateralmente e transmitindo tração aos tijolos. Esses esforços de tração lateral são os responsáveis pelas trincas e fissuras verticais.

**Figura 34:** Trincas e fissuras verticais induzidas por sobrecarga.



Fonte: Magalhães (2004).

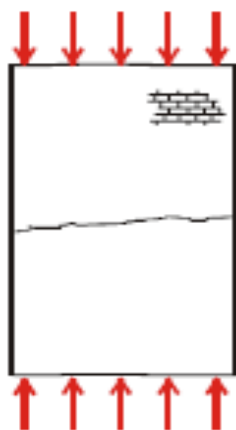
#### 2.4.6.1 Trincas e fissuras horizontais devido sobrecarga

As fissuras horizontais devido sobrecarga ocorrem por compressão da junta de argamassa ou dos septos dos tijolos e blocos de furos horizontais em função do excessivo carregamento desse tipo na parede ou por possíveis solicitações de flexocompressão (THOMAZ, 1989; MAGALHÃES, 2004).

Ainda segundo Magalhães (2004) e Thomaz (1989) as solicitações de flexão nos tijolos também podem gerar fissuras verticais, e ainda outros fenômenos podem manifestar-se, como por exemplo, o destacamento lateral das paredes de tijolos

furados e blocos. A configuração típica desse tipo de fissura **Figura 35** é característica de paredes em alvenaria contínua, sem aberturas.

**Figura 35:** Trincas e fissuras horizontais induzidas por sobrecarga.

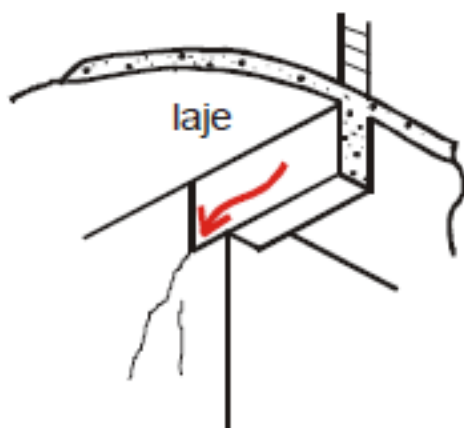


Fonte: Magalhães (2004).

#### 2.4.6.2 Trincas e fissuras por sobrecarga em apoios

Trincas e fissuras em apoios devido sobrecarga vertical, geralmente vem junto ao problema de mal dimensionamento. Tensões de compressão elevadas podem ocorrer de forma inclinada ou vertical nos cantos inferiores de paredes de alvenaria construídas em estruturas aporricadas (DUARTE, 1998). As **Figura 36** e **Figura 37** exemplificam o comportamento da alvenaria nos apoios devido a cada tipo de carregamento.

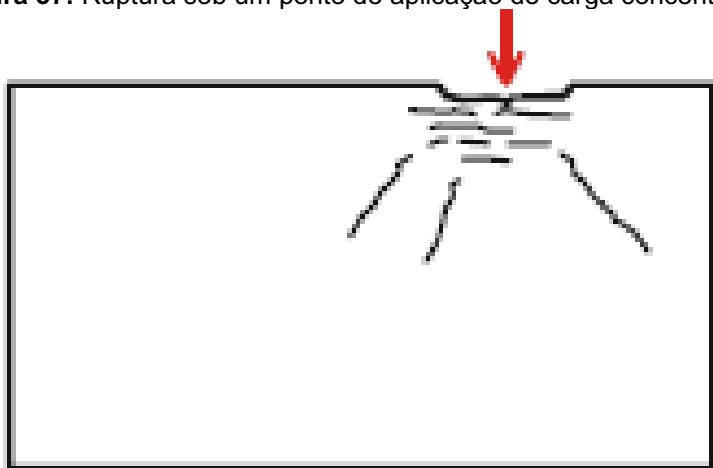
**Figura 36:** Trincas e fissuras verticais ou inclinadas induzidas por sobrecarga em apoio.



Fonte: Magalhães (2004).



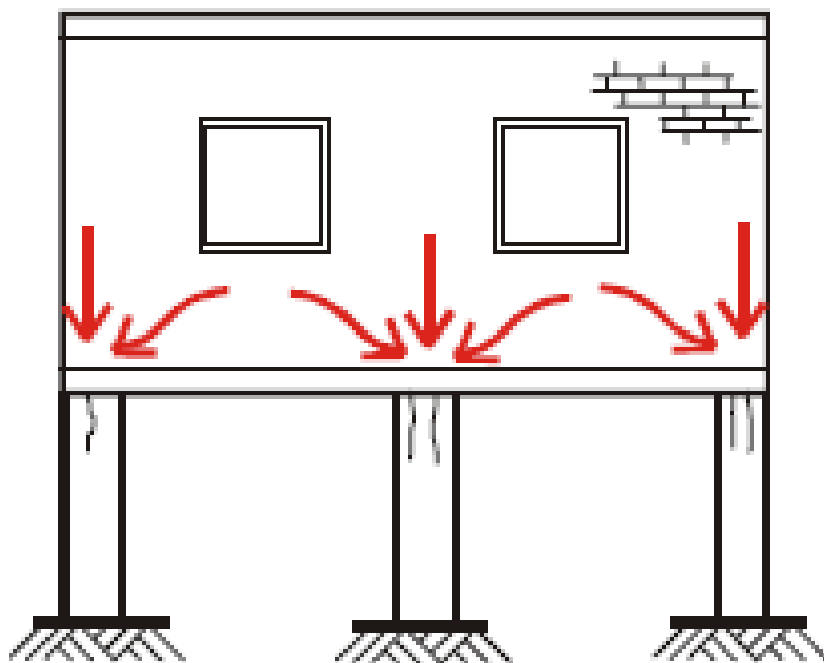
**Figura 37:** Ruptura sob um ponto de aplicação de carga concentrada excessiva.



**Fonte:** Magalhães (2004).

Quando se trata de trincas e fissuras em pilares devido sobrecarga é sabido que as aberturas são predominantemente verticais (**Figura 38**) e ocorrem pelo excessivo carregamento de compressão em pilares, em geral erroneamente dimensionados(DUARTE, 1998).

**Figura 38:** Trincas e fissuras verticais em pilares de alvenaria.

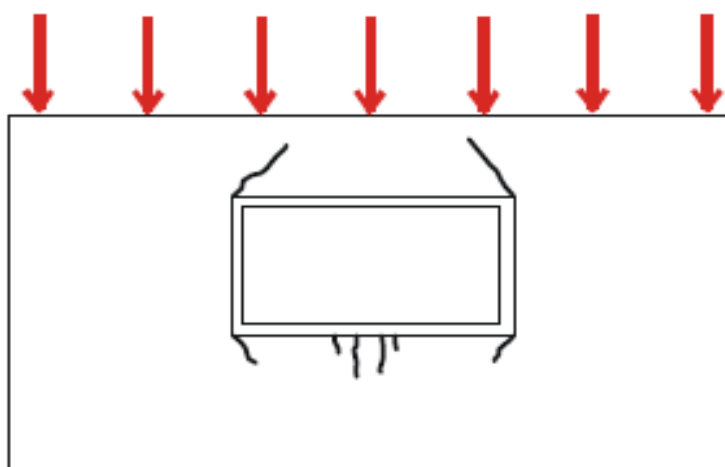


**Fonte:** Magalhães (2004).

### 2.4.6.3 Trincas e fissuras por sobrecarga em torno de aberturas de uma edificação

Nos painéis de alvenaria onde existem aberturas as patologias em questão se formam a partir dos vértices dessa abertura e sob o peitoril; teoricamente, em função do caminhamento das isostáticas de compressão (Figura 39) (THOMAZ, 1989).

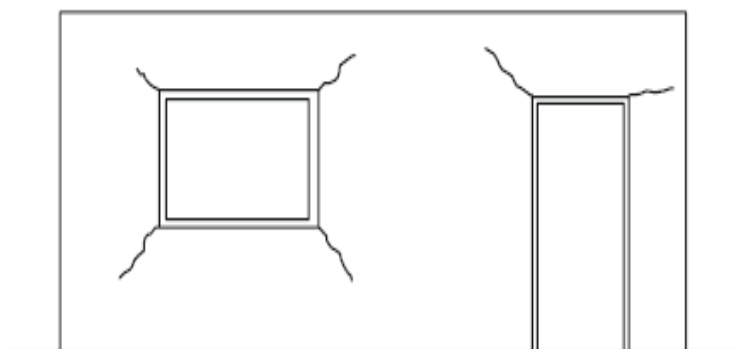
**Figura 39:** Trincas e fissuras teóricas em painéis de alvenaria com aberturas.



Fonte: Magalhães (2004).

Ainda de acordo com Thomaz (1989), essas trincas e fissuras podem se manifestar de diversas maneiras, em função da influência de uma variedade de fatores, tais como: dimensões do painel de alvenaria, dimensões da abertura, posição que a abertura ocupa, entre outros. Nesse tipo de carregamento tem-se uma divergência sobre a fissuração teórica apresentada na Figura 39 e as trincas e fissuras que em geral aparecem na realidade, que são mostradas na Figura 40.

**Figura 40:** Trincas e fissuras teóricas em painéis de alvenaria com aberturas.



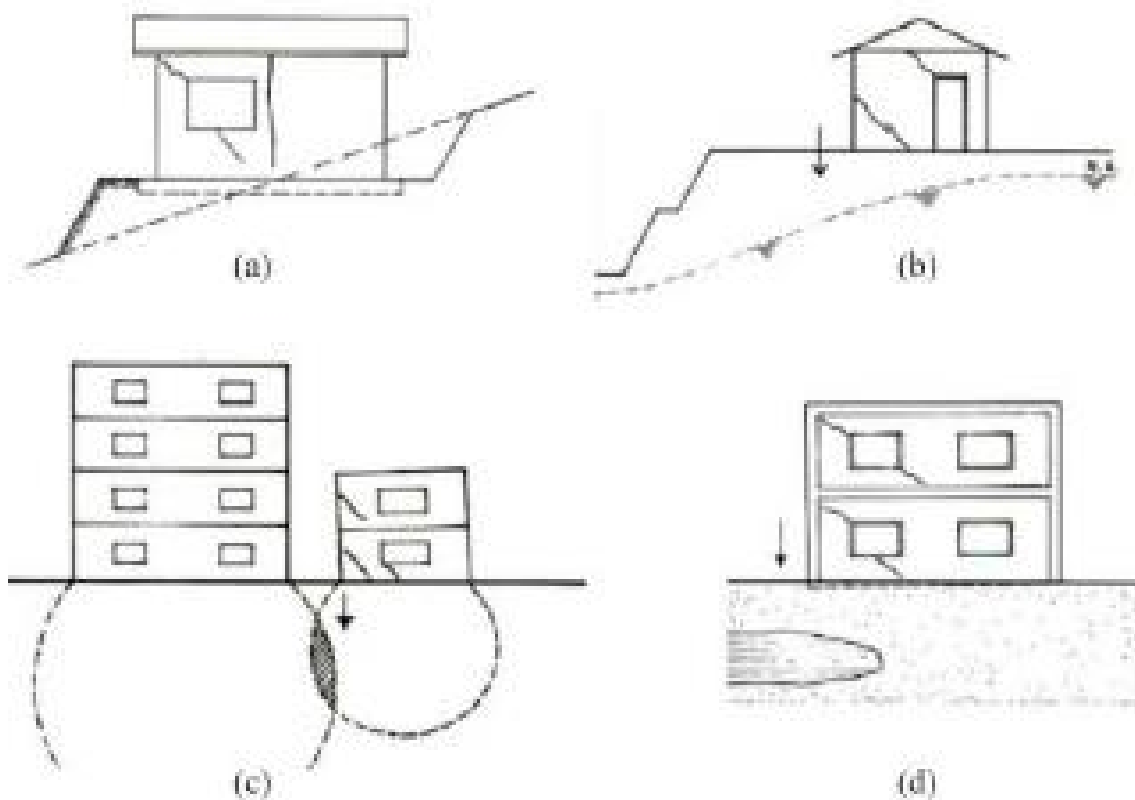
Fonte: Magalhães (2004).

### 2.4.7 Trincas e fissuras devido a recalque de fundação

As fissuras e trincas oriundas de recalque de fundação se manifestam quando a movimentação diferencial das mesmas, segundo Thomaz (1989) e Contão (2016) as aberturas devido esse fenômeno são predominantemente inclinadas, confundindo-se por vezes com as fissuras e trincas provocadas por deflexão e podem ser causados por diversos fatores, tais como:

- Fundação sobre seções de corte e aterro (Figura 41-a);
- Recalque diferencial por rebaixamento do lençol freático (Figura 41-b);
- Recalque diferenciado na edificação menor pela interferência no seu bulbo (Figura 41-c);
- Recalque diferenciado por falta de homogeneidade do solo (Figura 41-d).

**Figura 41:** Fatores que ocasionam recalques diferenciais em fundações.

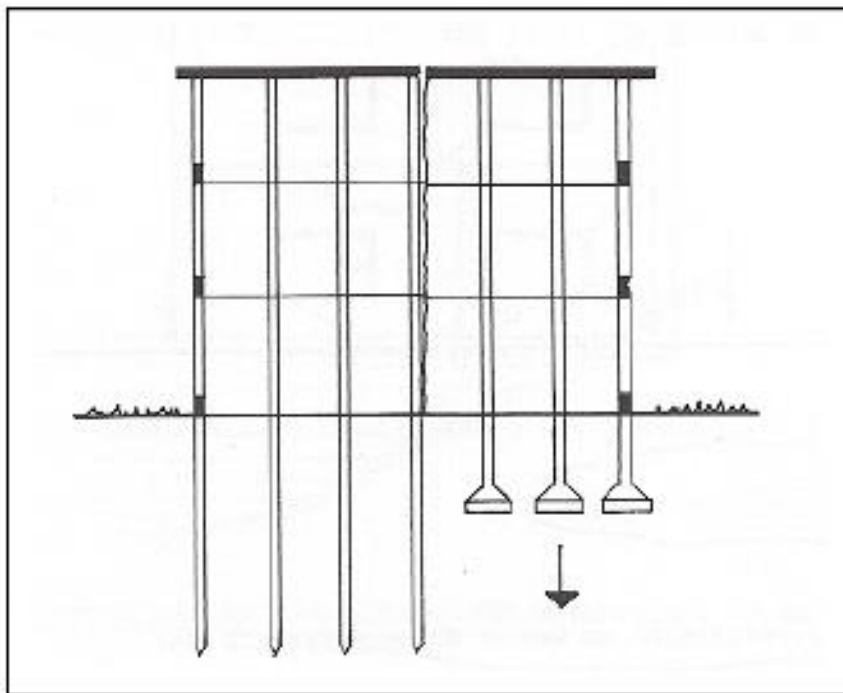


**Fonte:** Zanzarini (2016).

De acordo com Valle (2008) a adoção de sistemas diferentes de fundação numa mesma obra, devido detalhes construtivos ou critérios do engenheiro, podem

causar recalques diferenciados, que apresentarão posteriormente patologias nas alvenarias (Figura 42).

**Figura 42:** Diferentes sistemas de fundação na mesma obra: trincas de cisalhamento no corpo da obra.



**Fonte:** Valle (2008).

Percebe-se que, nesse tipo de ocasião as trincas ou fissuras se dão predominantemente na vertical, acompanhando a estrutura do pilar e estaca, ou seja, lá qual for o tipo de fundação adotada, de cima a baixo.

### 3 MÉTODO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE ESTRUTURAS

As problemáticas de análise de estruturas na engenharia civil, apresentam, desde os primórdios, grandes desafios no campo da Engenharia de Estruturas. A análise estrutural é a parte da Mecânica que estuda as estruturas, consistindo este estudo na determinação dos esforços e das deformações a que elas ficam submetidas quando solicitadas por agentes externos (SUSSEKIND, 1981).

Grande parte dos problemas da engenharia pode ser formulada através dos princípios do contínuo. Esse ramo da mecânica trata a matéria como um meio sem vazios interiores o que desconsidera sua estrutura molecular. O conceito do contínuo permite a definição do ponto geométrico (de volume igual a zero) e a definição de derivadas no cálculo infinitesimal. Assim, na Mecânica do Contínuo os princípios da física são escritos por meio de equações diferenciais (RIBEIRO, 2004).

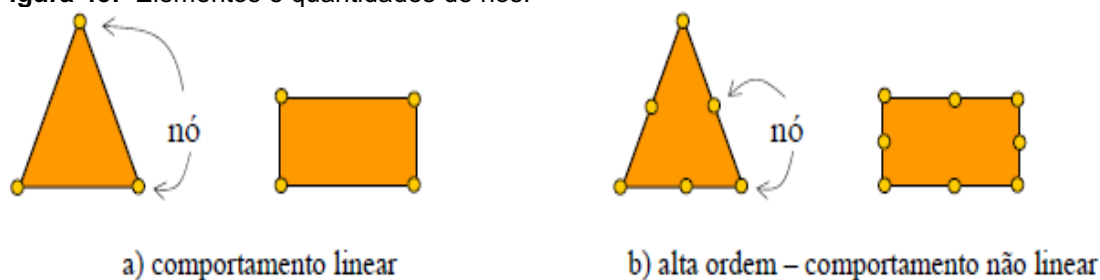
As equações diferenciais que simulam o comportamento de estruturas da engenharia civil são - em geral - complexas e de difícil solução. O método dos elementos finitos (MEF) é um método numérico aproximado que visa obter o resultado de um problema complexo simplificando-o (LA ROVERE, 2002; KNOW e BANG, 1996).

Azevedo (2003) diz que antes do aparecimento do MEF, a análise dos meios contínuos era realizada com solução direta do sistema de equações de derivadas parciais que regem o fenômeno, levando em consideração as condições de contorno ideais para cada análise, recorrendo frequentemente a séries de Fourier para sua resolução. Devido à complexidade, estes procedimentos só eram aplicáveis a meios contínuos e homogêneos com geometria simples.

La Rovere (2002) cita que o primeiro a propor o MEF da forma que é conhecido hoje foi Courant. Em 1941 ele utilizou o Princípio da Energia Potencial Mínima e subdividiu a seção transversal de uma barra em elementos triangulares, assumindo funções de interpolação lineares.

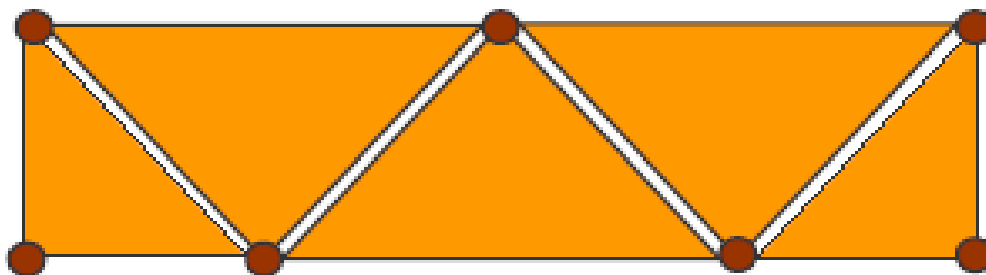
La Rovere (2002) e Gesualdo (2010) afirmam que o MEF tem como premissa dividir o domínio de integração de um problema em um número de regiões pequenas com dimensões finitas denominadas “elementos finitos” (Figura 43), e os pontos de contato entre os elementos se dá o nome de nó. A este conjunto de regiões se dá o nome de malha de elementos finitos (Figura 44).

**Figura 43:** Elementos e quantidades de nós.



Fonte: Gesualdo (2010).

**Figura 44:** Malha de elementos finitos.



Fonte: Gesualdo (2010).

O modelo completo equivale à associação dos diversos elementos conectados pelos nós. No processo de cálculo, apenas são garantidos que os deslocamentos associados aos graus de liberdade dos nós de conectividade são iguais. Assim, ao longo dos lados dos elementos as deformações são específicas para cada elemento e dependem do seu comportamento interno.

A formulação do MEF pode ser baseada no método dos deslocamentos, em modelos de equilíbrio, ou em modelos híbridos e mistos. Dentre os métodos existentes, este é aquele que apresenta um grau maior de simplicidade, e, portanto, uma maior versatilidade (AZEVEDO, 2003).

Os elementos usados no método podem ter as mais diversas formas geométricas, o que permite uma melhor representação do problema. Os mesmos podem ser unidimensionais (barras), bidimensionais (planos), tridimensionais (sólidos), laminares (placas e cascas), axi-simétricos, entre outros (LA ROVERE, 2002).

Na engenharia civil é comum começar o estudo dos elementos finitos com análise de estruturas limitada às vigas, pórticos, treliças e grelhas. As estruturas desse tipo recebem designação de reticuladas, por serem constituídas por barras prismáticas cuja seção transversal apresenta dimensões muito inferiores ao

comprimento do seu eixo. Já as estruturas não reticuladas são, em geral, estudadas como meio contínuo (ex: paredes lajes, cascas, sólidos) (AZEVEDO, 2003).

O MEF pode ser definido sob enfoques diferentes, tais como enfoque matemático, onde o método é utilizado para solução de equações diferenciais parciais ou Problemas de Valor de Contorno. Enfoque físico, onde o método é caracterizado como um método de discretização, ou seja, transforma um sistema contínuo, com uma infinidade de pontos em um sistema discreto com um número finito de pontos (LA ROVERE, 2002).

Além dos supracitados, La Rovere (2002) fala que o MEF pode ter enfoque variacional, nesse, o método é uma modificação do Método Variacional de Rayleigh-Ritz, em que o domínio de integração do *funcional* é subdividido em regiões.

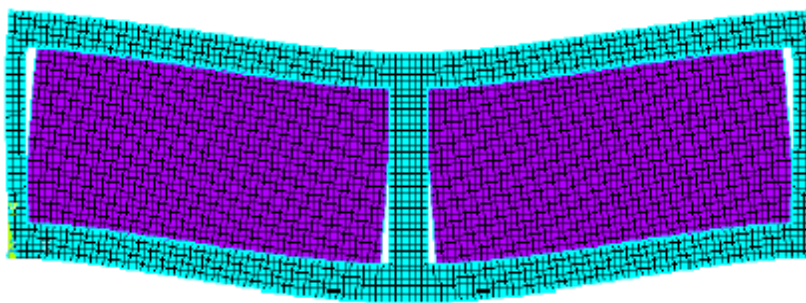
Waidemam (2004) disserta que a análise do comportamento estático e dinâmico de sistemas estruturais são importantes para o Engenheiro de Estruturas. Através da análise estrutural pode-se ter conhecimento da magnitude dos esforços internos e dos deslocamentos que será submetida determinada estrutura, sendo possível, assim fazer uma análise qualitativa que permitirá a utilização dos resultados em um projeto estrutural de determinado sistema.

De acordo com Morcelli (2015) alguns fatores podem causar deslocamento em peças estruturais ou não da edificação. O que limita esse deslocamento é a rigidez do elemento estrutural. A análise numérica visa auxiliar no processo de entendimento dos esforços e dos deslocamentos da estrutura e da vedação, mas para isso parâmetros corretos devem ser associados.

Na modelagem computacional é possível obter uma simulação eficiente da configuração da estrutura analisada em sua posição deslocada. O que causa o deslocamento, em geral, são ações externas atuantes, gerando tensões no corpo.

Na (Figura 45) observa-se um exemplo de deformação de uma estrutura de concreto armado com vedação em alvenaria, utilizando o *software* ANSYS, que trabalha as análises utilizando o MEF.

**Figura 45:** Deformação do painel com auxílio do programa ANSYS.



**Fonte:** Morcelli (2015).

Na simulação da figura acima, a cor azul representa a alvenaria e a cor roxa representa o concreto armado. As deformações visíveis são provenientes de ações externas previamente descritas na fase de modelagem, e a figura representa os resultados da mesma.

Gesualdo (2010) explica que ao aplicar o método divide-se o domínio de um problema – de forma aproximada – em subdomínios, esses quem são os chamados elementos finitos. Aplicando as devidas condições de contorno, se encontram resultados aproximados para cada subdomínio, que somados representam o resultado final da análise.

A principal vantagem do MEF é transformar o problema global (mais complexo) em um problema local. Assim a matriz resultado pode ser obtida mais facilmente por acoplamento das matrizes individuais de cada elemento. A precisão do resultado depende da forma, quantidade de elementos finitos e do tipo da função de interpolação, permitindo assim dizer que para obter bons resultados a melhor opção é utilizar elementos menores (maior refinamento) (GESUALDO, 2002).



## **4 MÉTODO E MATERIAIS**

Nesse capítulo apresenta-se a metodologia usada para atingir os objetivos desta pesquisa. Para isso, foi avaliado o comportamento da alvenaria via MEF, e realizada analogias com alguns casos existentes no teatro de Campo Mourão.

De acordo com Fregoneze et. al (2014) e os objetivos traçados o trabalho em questão trata-se de um estudo de caso e exploratória, onde o pesquisador precisa fazer uma seleção criteriosa do problema a ser estudado, com uma análise detalhada e exaustiva do mesmo. A pesquisa exploratória tem como finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos elaborando situações que se aproximem da realidade para futuras pesquisas.

Para auxiliar na elaboração da pesquisa, foram utilizados trabalhos com temas semelhantes. Esse material foi útil para fundamentação do texto, tanto de trincas e fissuras em alvenaria quanto do MEF. Sendo assim, optou-se por dividir o estudo em duas etapas: a primeira etapa foi de levantamento das trincas e fissuras presentes nas alvenarias do teatro. A segunda etapa foi de modelagem computacional via MEF do comportamento viga-alvenaria com foco na fissuração da alvenaria.

A modelagem foi realizada aplicando um carregamento devido ao peso próprio - da própria alvenaria e do concreto armado de uma viga - à alvenaria e observando as tensões e deformações resultantes. Com isso tornou-se possível avaliar os tipos de esforços que agem na mesma – tendo como premissa que a alvenaria não resiste a esforços de tração - obtendo um possível mecanismo de fissuração que pode ter agido isoladamente ou simultâneo com outro tipo de causa.

### **4.1 Dificuldades para inspeção**

As fontes utilizadas para obter informações sobre o teatro foram, principalmente, a prefeitura municipal e os servidores do local. Na prefeitura, o contato direto foi com o arquiteto em atividade.

A busca foi por informações sobre projetos existentes (arquitetônico, estrutural e outros), contudo sem sucesso. As fontes consultadas também não tinham informações sobre a empresa que executou a construção, método construtivo e afins.

A permissão concedida ao autor deste trabalho para intervir na edificação foi de análise tátil e visual, sem intervenções agressivas na mesma, pois foi sabido que

o trabalho tem caráter apenas informativo e não corretivo. Portanto não obtendo-se informações profundas sobre o teatro e suas peculiaridades.

Assim sendo, o presente trabalho baseou-se na teoria sobre patologia nas estruturas, análise de tensões e deformações - obtida por meio da análise via MEF - e hipóteses de possíveis causas das trincas e fissuras existentes para estudar e expor - com caráter informativo - os possíveis mecanismos de ruptura na alvenaria, seja por tração, compressão, cisalhamento ou algum outro esforço conhecido.

Vale ressaltar que o teatro possui outros problemas tais como descolamento de pastilhas da fachada e lateral, umidade e outros, contudo o presente trabalho deixa claro que o objetivo são as trincas e fissuras nas alvenarias, não abordando outras patologias.

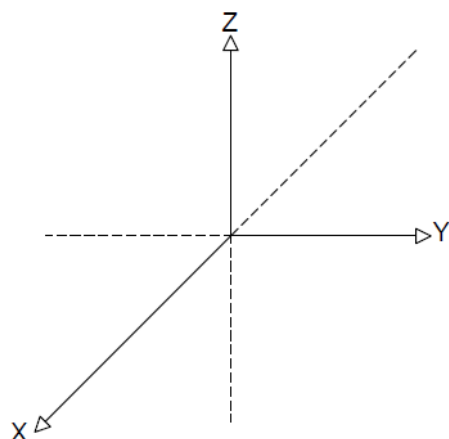
#### 4.2 Levantamento de trincas e fissuras típicas em alvenaria

O levantamento detalhado e análise visual e tátil das trincas e fissuras do teatro está apresentado no capítulo de resultados desse trabalho, mostrando as suas dimensões, características e grau de inclinação.

Para medição das patologias analisadas foram usados escalímetros com escala 1:100, para conferir maior confiabilidade nos tamanhos de abertura foi feito medições a cada 50 cm do sentido longitudinal da fissura/trinca e - fazendo uma média aritmética entre os valores - chegou-se a um valor médio de abertura (mm).

Utilizando um sistema de eixos (**Figura 46**) foram catalogadas as trincas e fissuras do teatro.

**Figura 46:** Sistema de eixos adotado para catalogação das patologias no trabalho.



**Fonte:** O autor (2019).

A inclinação característica foi tida a partir de análise visual, expondo a angulação aproximada das mesmas, uma vez que a alvenaria não é um material completamente isotrópico e homogêneo, tendo pequenas variações que podem causar certa dúvida ao leitor ao olhar as imagens.

### 4.3 Modelagem computacional

A segunda etapa desta pesquisa, foi a simulação do comportamento viga-alvenaria, das alvenarias fissuradas, do teatro via *software* SCIA *Engineer* (versão estudantil), com número de licença 152160,

No *software* foi feita a análise de uma estrutura parecida com a parte afetada dos cômodos administrativos do teatro, fazendo comparativos das patologias 2 e 4 (**Figura 60** e **Figura 66**), respectivamente.

A modelagem foi de uma parede em alvenaria, com vão livre de 5,50m, apoiada sobre uma viga na parte inferior e com uma viga na parte superior (ambas de mesmas dimensões) e pilares na extremidade esquerda e direita (**Figura 71**). Nos pontos de interseção entre pilares e vigas foram colocados engastes, maneira aproximada de simular a realidade.

Na alvenaria foi feita uma abertura próxima ao teto, novamente com o objetivo de simular a janela existente no local. As dimensões dos pilares, vigas e alvenaria foram descritas mais detalhadamente no item 5.2 desse trabalho.

Devido ao fato de não serem conhecidas as dimensões reais das vigas inferior e superior à alvenaria, foram tomadas dimensões de viga com base 20 cm e alternando sua altura. Ao alterar a altura das vigas, altera-se o grau de rigidez das mesmas, uma vez que aumenta o momento de inércia, reduzindo os efeitos de flexão sofridos

Nas análises, as alvenarias foram modeladas com resistência à compressão de 8 MPa, com resistência nula à tração.

Após a simulação o SCIA *Engineer* exibiu as tensões e deformações resultantes do sistema modelado. A **Figura 47** mostra as tensões atuantes apenas na alvenaria (objeto de estudo desse trabalho).

Analisando os resultados pressupõe-se que onde se apresenta tração na alvenaria, a mesma mostra-se suscetível à fissuração. E, nos casos analisados nesse trabalho percebe-se uma convergência da fissuração existente no local com as

expostas pelo programa que serão mostrados no capítulo de resultados. Assim fortalecendo a hipótese de que algo que tenha causado aquele tipo de esforço pode ter sido um dos fatores responsáveis pela abertura em questão.

**Figura 47:** Resumo de cálculo fornecido pelo *software*.

## Tensão/deformação 2D

Cálculo linear

Caso de carga: LC1

Extremo: Global

Seleção: Tudo

Localização: Em nós méd. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha

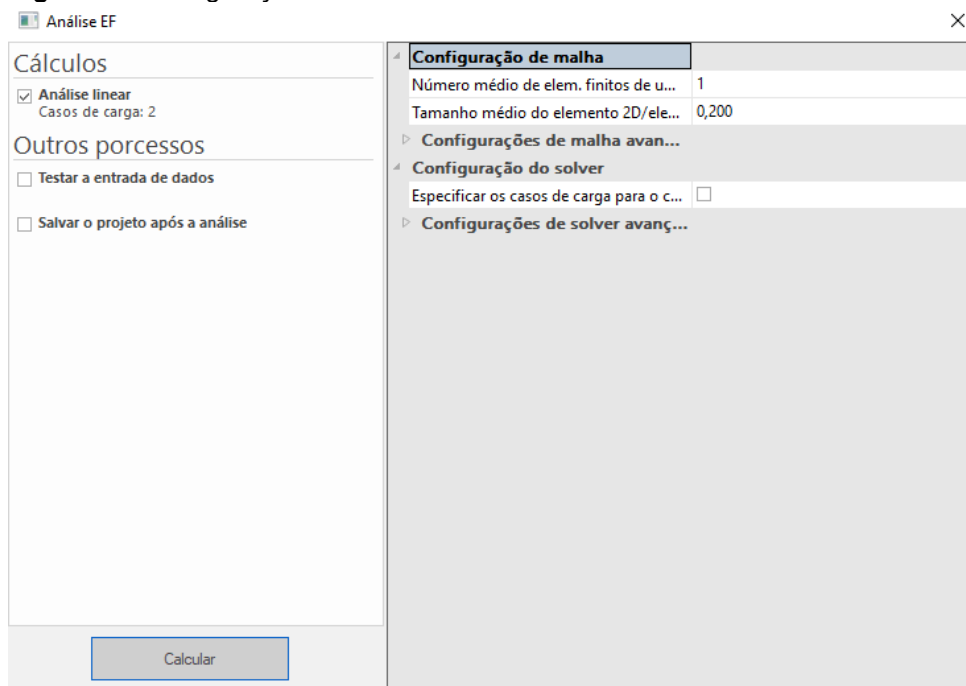
### Tensão básica

Nome	Malha	Posição [m]	Caso	$\sigma_{x+}$	$\sigma_{y+}$	$\tau_{xy+}$	$\tau_{xz}$	$\tau_{yz}$
				[MPa]	[MPa]	[MPa]		
				$\sigma_{x-}$	$\sigma_{y-}$	$\tau_{xy-}$		
				[MPa]	[MPa]	[MPa]		
S1	Elemento: 23 Nó: 105	2,848	LC1	<b>0,1</b>	0,0	0,0	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
		0,000		<b>0,1</b>	0,0			
		2,900						
S1	Elemento: 10 Nó: 3	5,500	LC1	0,0	<b>0,1</b>	0,0	0,0	0,0
		0,000		0,0	<b>0,1</b>			
		3,200						
S1	Elemento: 11 Nó: 7	5,200	LC1	-0,1	-0,1	<b>0,0</b>	0,0	0,0
		0,000		-0,1	-0,1			
		2,900						
S1	Elemento: 36 Nó: 6	0,300	LC1	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>0,0</b>	0,0	0,0
		0,000		<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>			
		2,900						

**Fonte:** O Autor (2019).

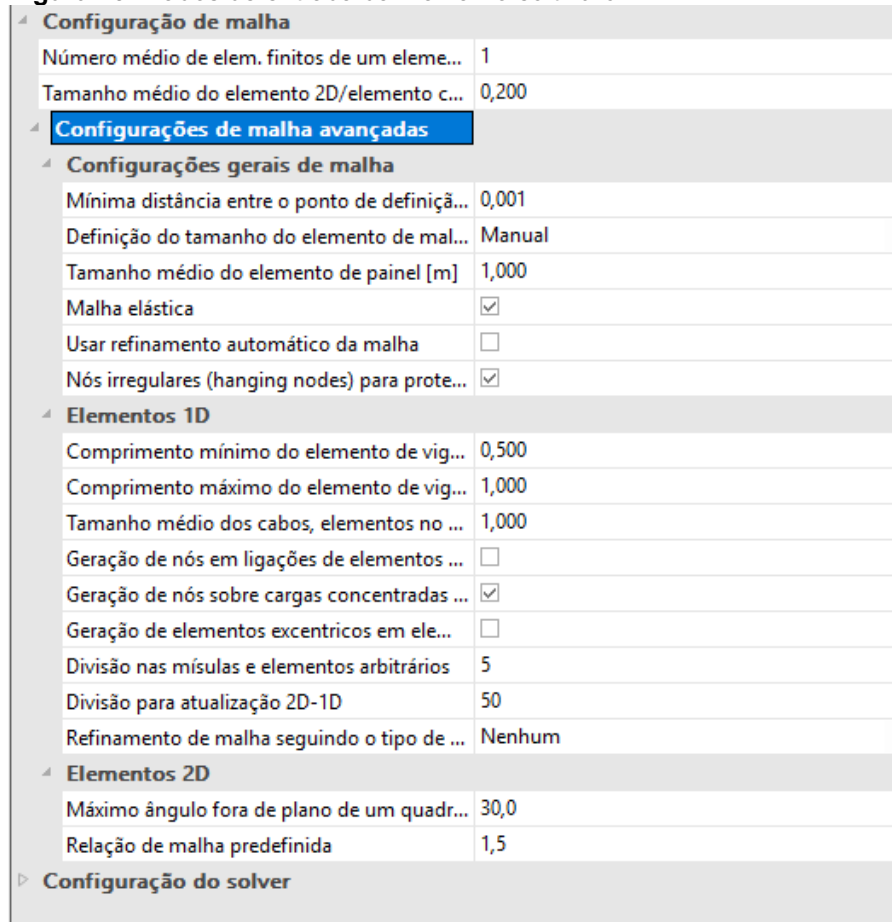
Na **Figura 48**, **Figura 49** e **Figura 50** tem-se os dados da configuração da malha simples, configuração da malha detalhada e as configurações de solver detalhadas que foram utilizados de parâmetro para entrada no *software* para realizar a análise.

**Figura 48:** Configurações de malha dos dados de entrada no *software*.



Fonte: O Autor (2019).

**Figura 49:** Dados de entrada da malha no *software*.



Fonte: O Autor (2019).

**Figura 50:** Dados do Solver que foram usados para entrada no *software*.

<b>Configuração de malha</b>	
Número médio de elem. finitos de um elemento ...	1
Tamanho médio do elemento 2D/elemento curv...	0,200
<b>Configurações de malha avançadas</b>	
<b>Configuração do solver</b>	
Especificar os casos de carga para o cálculo linear	<input type="checkbox"/>
<b>Configurações de solver avançadas</b>	
<b>Geral</b>	
Ignorar deformação por força cortante ( Ay, A...	<input type="checkbox"/>
Teoria de análise de flexão em placas/cascas	Mindlin
Tipo de solver	Iterativo
Número de seções em elemento médio	20
Aviso quando a máxima translação for maior ...	1000,0
Aviso quando a máxima rotação for maior do ...	100,0
Coefficiente para armadura	1
<b>Largura efetiva para as nervuras da placa</b>	
Número de espessuras da nervura	20
Tolerância de paralelismo para o cálculo auto...	10,00
Relação do comprimento do vão L/beff,max (...)	8,00
<b>Correção do comprimento do vão</b>	
Viga simplesmente apoiada [-]	1,00
Vão interno [-]	0,70
Vão final [-]	0,85
Balanço [-]	2,00
<b>Não linearidade</b>	
Método de cálculo	Picard
Número de incrementos	1
Iterações máximas	20
Taxa de precisão do solver	1
Taxa de robustez do solver	1

Fonte: O Autor (2019).

**Figura 51:** Protocolo detalhado de cálculo da análise realizada.

### Protocolo de cálculo

#### Cálculo linear

Número de elementos 2D	378
Número de elementos 1D	88
Número de nós de malha	449
Número de equações	2694
Teoria de flexão	Mindlin
Casos de carga	LC1, LC2
Início do cálculo	07.06.2019 13:50
Final do cálculo	07.06.2019 13:50

#### Soma das cargas e reações

Caso de carga	Valor	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]
LC1	cargas	0,00	0,00	-23,37
	reações nos nós	0,00	0,00	23,37
	reações em linhas	0,00	0,00	0,00
	contato 1D	0,00	0,00	0,00
LC2	contato 2D	0,00	0,00	0,00
	cargas	0,00	0,00	-55,00
	reações nos nós	0,00	0,00	55,00
	reações em linhas	0,00	0,00	0,00
	contato 1D	0,00	0,00	0,00
contato 2D	0,00	0,00	0,00	

Fonte: O Autor (2019).

A **Figura 51** exhibe o protocolo detalhado de cálculo fornecido pelo *SCIA Engineer*, mostrando detalhes da análise via Elementos Finitos. A figura expõe a quantidade de elementos 2D e 3D utilizados, número de nós e quantidade de equações resolvidas para que se chegasse ao resultado final.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo foi abordado o resultado da análise tátil e visual realizadas no teatro e da análise via MEF.

### 5.1 Levantamento das patologias de trincas e fissuras

O levantamento das trincas e fissuras do teatro municipal de Campo Mourão foi realizado com base em visita de campo. Nesse levantamento as mesmas foram mapeadas e, conseqüentemente, catalogadas de acordo com sua abertura, inclinação e classificação (trinca ou fissura).

Como exposto no item 2.3 desse trabalho, o critério utilizado para classificação foi o mesmo usado pela ABNT NBR 15575:2013. A escolha por esse tipo de classificação foi por ser uma norma recente e de simples aplicação prática, tornando o trabalho didático e com grau de confiabilidade razoável.

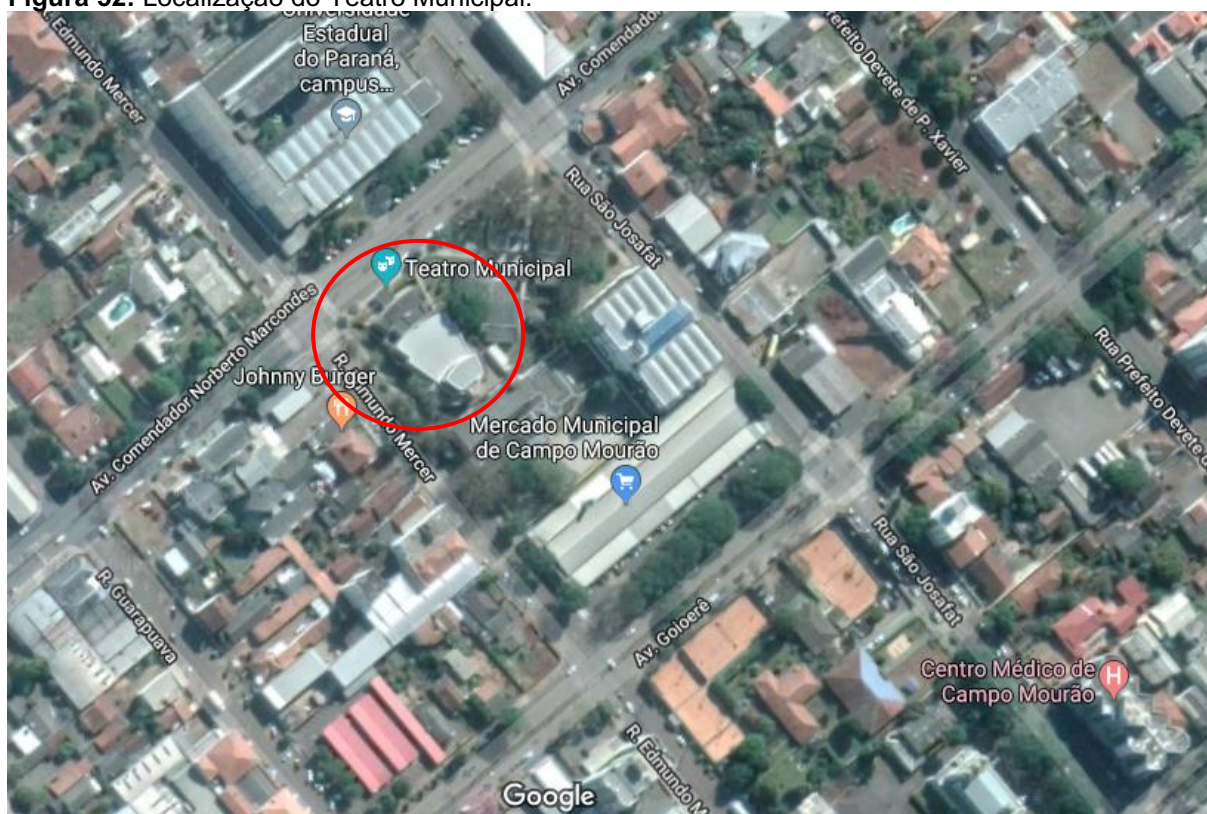
Como instrumento de apoio para o levantamento se utilizou a planta baixa da edificação, fornecida pela Prefeitura Municipal de Campo Mourão. Nesta serão feitos anotações e destacamentos das áreas afetadas que serão descritas no decorrer do trabalho, e, também, a disposição uma a uma de maneira detalhada, baseando-se em imagens adaptadas das disponíveis e fotos tiradas em inspeção de campo pelo autor. Nas fotos estão visíveis as trincas e fissuras e também as medições

#### 5.1.1 Localização e descrição do imóvel

O imóvel foi o Teatro Municipal, cujo proprietário é a prefeitura municipal de Campo Mourão, localizado na Avenida Comendador Norberto Marcondes, nº 684, Centro, CEP: 87302-060, esquina com a Rua Edmundo Mercer. Na cidade de Campo Mourão, Paraná – Brasil (**Figura 52**).



**Figura 52:** Localização do Teatro Municipal.

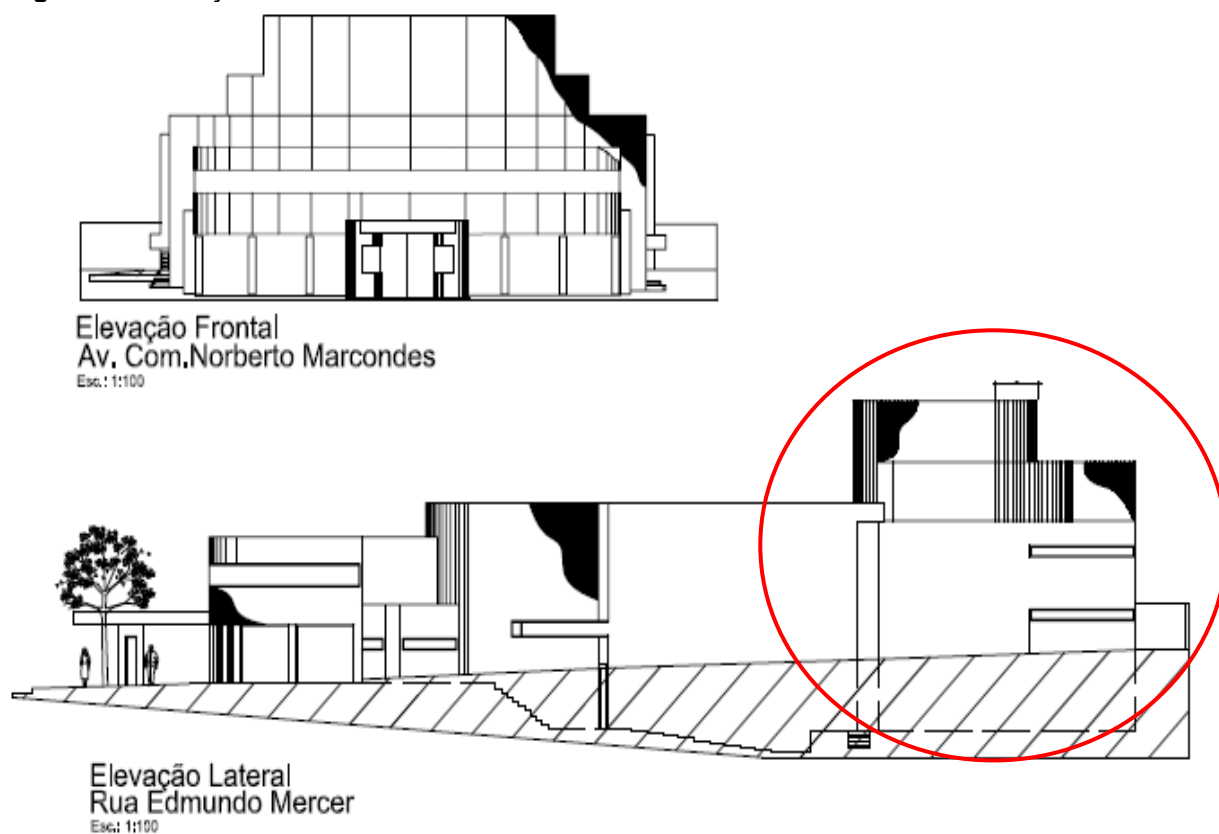


Fonte: Adaptado de Google Maps (2018).

O imóvel em análise possui, até a data de escrita desse trabalho, 24 anos de uso, tendo sido inaugurada em 1995. Possui 3 pavimentos, sendo térreo – parcialmente localizado no subsolo –, primeiro e segundo andar (Figura 53). Possui uma grande extensão territorial quando comparado a edificações residenciais do mesmo bairro da cidade, contudo a área analisada nesse trabalho foi restrita a parte do fundo da edificação, sendo mais preciso, a área dos camarins, cômodos administrativos (2º Andar) e garagem (Figura 54).

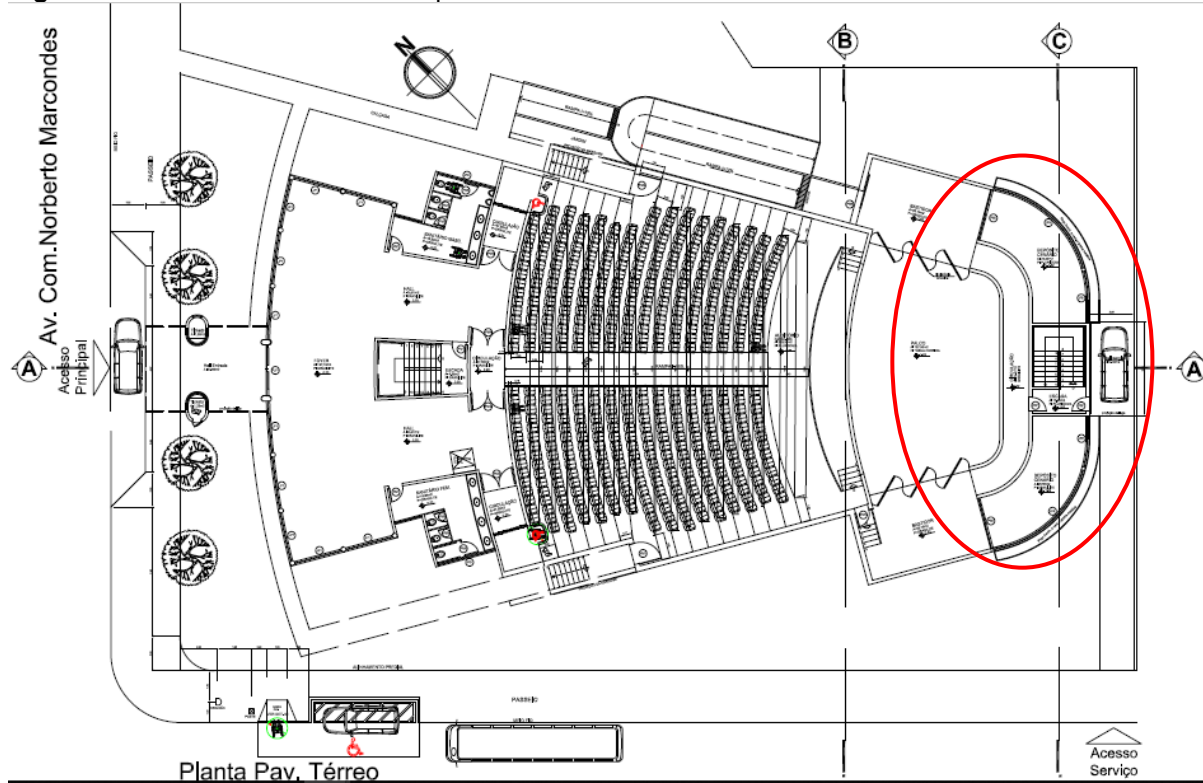
A região de Campo Mourão é caracterizada como subtropical úmida mesotérmica, com verões frescos frequentes a cada ano, contudo nota-se uma mudança de característica do verão, os mesmos, por sua vez apresentam temperaturas elevadas.

**Figura 53:** Elevação frontal e lateral do imóvel.



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Campo Mourão (2018).

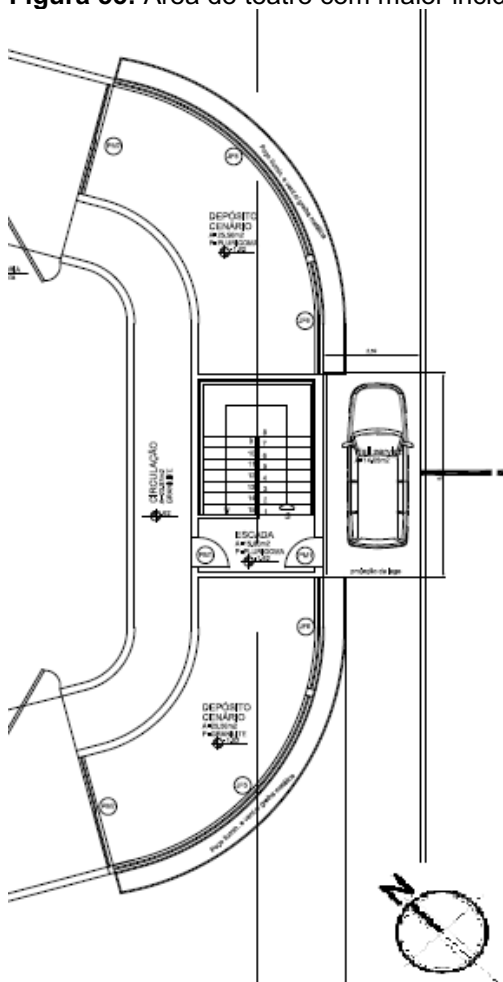
**Figura 54:** Planta Baixa do teatro e parte analisada no trabalho.



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Campo Mourão (2018).

Na **Figura 55** é possível ver, de forma aproximada a parte destacada da **Figura 54**, assim permitindo uma melhor visualização da parte da edificação que o referido trabalho de conclusão de curso tem seu foco.

**Figura 55:** Área do teatro com maior incidência de trincas e fissuras.



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Campo Mourão (2018).

As trincas e fissuras encontradas serão melhor expostas no item seguinte desse trabalho

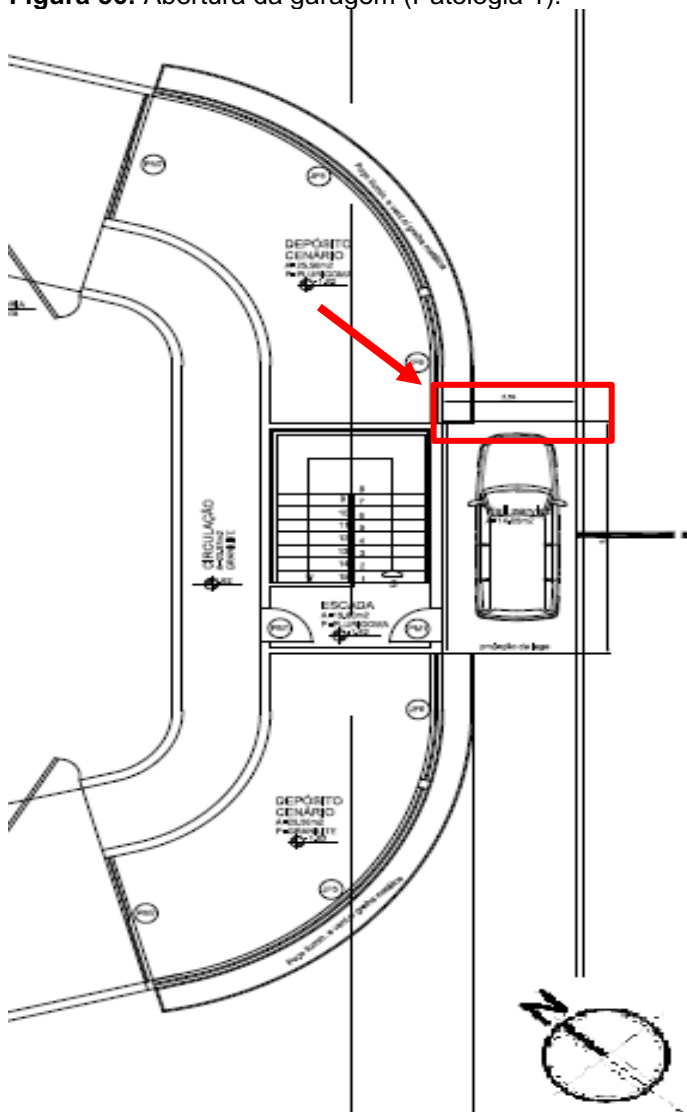
### 5.1.2 Apresentação das trincas e fissuras do local

As patologias do interesse do estudo encontradas nas visitas local serão enumeradas em ordem crescente por números naturais positivos, sendo expostas a partir do item 5.1.3

### 5.1.3 Garagem

A primeira abertura encontrada, antes mesmo de entrar na edificação é uma trinca em um dos pilares da garagem encontrado na parte destacada da Figura 56.

Figura 56: Abertura da garagem (Patologia 1).



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal (2018).

Na Figura 57 é possível ver claramente a abertura em questão, tendo no local visivelmente uma junta de dilatação, que foi preenchida com uma barra de isopor de dimensão 10 mm, e é exatamente onde a trinca aconteceu.

**Figura 57:** Patologia do Pilar da garagem (Patologia 1).



**Fonte:** O autor (2018).

De acordo com os servidores locais, essa estrutura da garagem foi construída após a inauguração do teatro, o que se faz entender que são tipos de fundações diferentes. A algum tempo, ainda de acordo com os servidores do local, ocorreu um vazamento de água no solo nos arredores do pilar em questão. Tal vazamento demorou cerca de 30 dias para ser descoberto, fazendo a “lavagem” do solo onde se apoiava sua fundação.

Tal feito fez com que o pilar sofresse recalque médio de 90 mm, formando essa trinca, predominantemente a 90° em relação ao solo, permitindo assim que afirme ser devido a tensões de cisalhamento na interface entre o pilar e a parede. A trinca possui exatamente a dimensão da placa de isopor, ou seja, 10 mm (Figura 58).

**Figura 58:** Medidas (Patologia 1).



**Fonte:** O autor (2019).

Como já destacado anteriormente, as medidas foram tomadas a partir de uma média aritmética de medidas a cada 50 cm. No caso do recalque, por não possuir extensão para mais de um ponto, foi obtida a medida a partir da média de 3 pontos medidos.

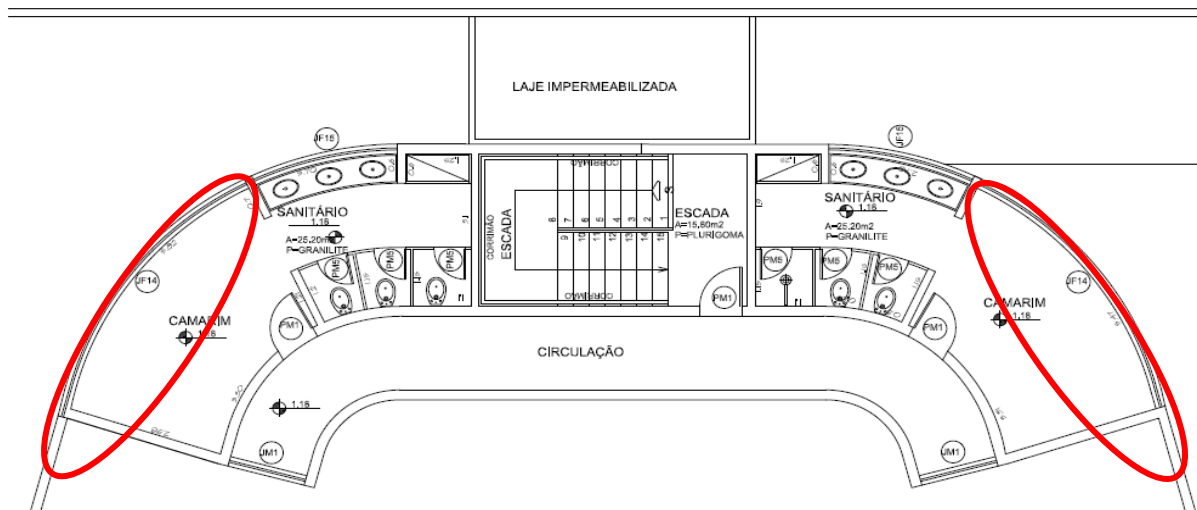
#### **5.1.4 Cômodos administrativos (interno)**

Como pôde ser observado na **Figura 54** e **Figura 55** a parte dos fundos no teatro é composta por uma estrutura semicircular simétrica. E assim como o local, as trincas e fissuras também se apresentam equivalentes dos dois lados, podendo entender que os motivos são os mesmos.

Por simplicidade, esse trabalho catalogará apenas um dos lados, deixando subentendido que do outro lado as aberturas são iguais ou muito parecidas, com as

mesmas características e mesma causa física. A parte em análise, dessa vez, são os Cômodos administrativos (Figura 59).

**Figura 59:** Detalhe dos cômodos administrativos do Teatro.

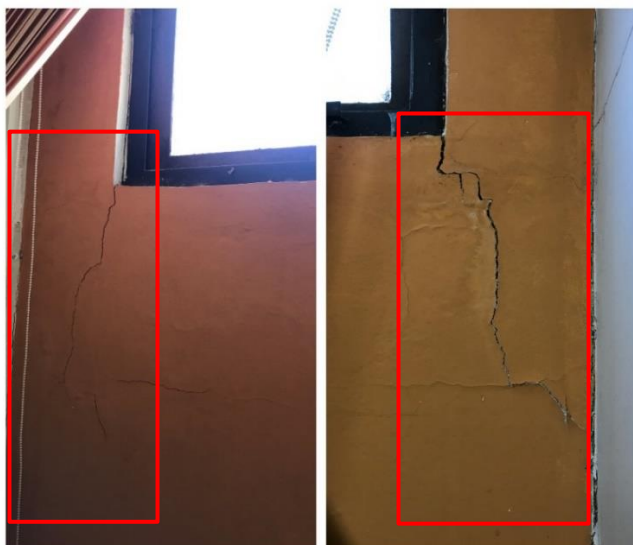


**Fonte:** Adaptado de Prefeitura Municipal (2018).

As partes circunscritas da figura acima são no segundo andar, onde, predominantemente, aparecem as patologias. Há incidência direta do sol nessas paredes e a presença de calhas no andar superior e, às vezes de acordo com os servidores locais, apresenta vazamentos e entupimentos.

Internamente, nos cômodos administrativos (2º Andar), pôde-se observar as seguintes trincas:

**Figura 60:** Fissuras nos cantos das janelas (Patologia 2).



**Fonte:** O autor (2018).

As janelas do segundo andar possuem trincas nos cantos, como mostra a **Figura 60**, elas estão dispostas a - aproximadamente -  $45^\circ$  da direção horizontal (eixo y) e tem abertura média de 3 mm (**Figura 62**). A trinca da esquerda, refere-se ao camarim localizado na parte esquerda do teatro (**Figura 59**) analogamente, o lado direito refere-se à direita da figura.

**Figura 61:** Medidas da Patologia 2.



**Fonte:** O autor (2018).

A **Figura 62** traz a próxima patologia, predominantemente vertical, de abertura 3 mm, a trinca esta equivalente dos dois lados do teatro. Na figura é mostrado a abertura do lado direito do teatro



**Figura 62:** Abertura vertical da parede do lado direito do teatro (patologia 3).



**Fonte:** O autor (2018).

Para melhor visualização da trinca supracitada, tem-se um esquema mais didático na **Figura 63** e **Figura 64**. Nesse esquema foi possível ver que claramente a predominância do sentido vertical da abertura ( $90^\circ$ ) e tem abertura média de 3 mm.

**Figura 63:** Detalhamento da patologia 3.



**Fonte:** O autor (2018).

**Figura 64:** Medições da Patologia 3.



**Fonte:** O autor (2018).

Como citado, essa trinca está localizada do lado direito do teatro, contudo do lado esquerdo apresenta-se uma bem parecida (Figura 65), assim podendo-se dizer que a causa das duas, classificação e tratamento devem ser iguais. Nesse trabalho ambas serão tratadas como Patologia 3.

**Figura 65:** Abertura vertical do lado esquerdo do teatro (patologia 3).



**Fonte:** O autor (2018).

A partir de análise visual, não foi possível observar nenhum tipo de emenda nas patologias supracitadas. Vale ressaltar que pequenas diferenças de abertura e localização serão desconsideradas, uma vez que o processo de construção não foi totalmente uniforme, permitindo variações pequenas de esforços e resistência da estrutura.

As abertura mais preocupante, por sua vez, são apresentadas na sequência, conforme mostram as **Figura 66** e **Figura 67**.

**Figura 66:** Abertura horizontal do lado direito do teatro (Patologia 4).



Fonte: O autor (2018).

**Figura 67:** Abertura horizontal do lado esquerdo do teatro (Patologia 4).



Fonte: O autor (2018).

A Patologia 4 foi medida e inspecionada tátil e visualmente (Figura 68).

Figura 68: Medições da Patologia 4.



Fonte: O autor (2018).

Aparentemente a laje, viga ou a alvenaria sofreu movimentação. Não podendo ser descartado a movimentação simultânea de mais de uma dessas estruturas. A movimentação foi tanto no plano vertical (plano yz) da parede quanto no plano horizontal (plano xy).

A patologia 4 tem abertura paralela à laje em que a alvenaria está apoiada, mostrando uma movimentação no eixo X, no sentido negativo da orientação. Novamente a patologia se repete com mesma intensidade e características,

possuindo pequena diferença de altura na abertura entre o lado esquerdo e o direito. A abertura é de, em média 12 mm no eixo X e 9 mm no eixo Z.

### 5.1.5 Camarim (externo)

Na parte externa dos camarins (1º andar), foi encontrado também uma trinca, dessa vez, diferentemente das anteriores, ela apresentava sinais de tentativa de correção, contudo sem sucesso. Localizada na viga que apoia a alvenaria do primeiro pavimento, a abertura vai no sentido longitudinal da mesma, tendo uma abertura média de 6 mm (Figura 69 e Figura 70).

**Figura 69:** Abertura na viga do que apoia a alvenria do primeiro pavimento (Patolgoia 5).



**Fonte:** O autor (2018).

**Figura 70:** Medições da Patologia 5.



**Fonte:** O autor (2018).

Nesse caso, pela análise visual vê-se a trinca apenas na camada de reboco da viga, e foi visível que o mesmo não foi executado de maneira ideal. O prédio, como um todo apresenta visíveis faixas de reboco com mais de 6 cm de espessura, o que passa longe do ideal de 2,5 cm. Isso faz com que o peso excessivo dessa argamassa e sua movimentação devidos ações externas sejam elevados, causando essas aberturas como nas figuras. Como citado anteriormente no texto, apenas análises visuais e táteis foram feitas, portanto as causas e problemas e suas dimensões podem ser maiores, contudo não foi possível observar com a metodologia empregada.

Em resumo, a classificação das patologias de interesse do teatro municipal de campo mourão ficarão como exposto na **Tabela 2**.

**Tabela 2:** Resumo do levantamento das patologias levantadas.

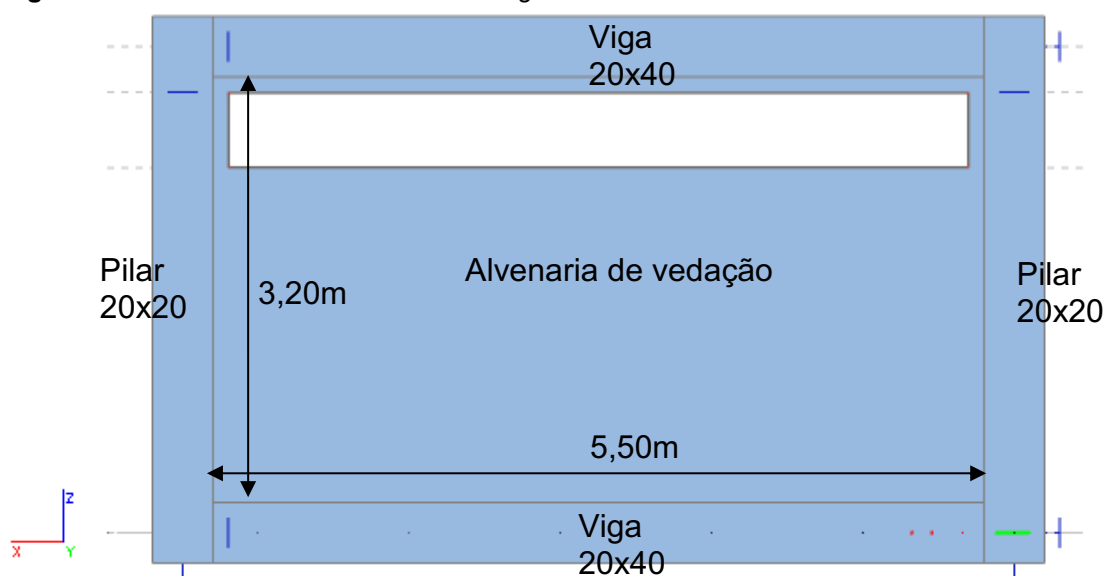
Levantamento de trincas e fissuras do teatro municipal			
Patologia	Abertura (mm)	Angulação (°)	Classificação
1	10,00	90	trinca
2	3,00	45	trinca
3	3,00	90	trinca
4	9,00	180	trinca
5	6,00	180	trinca

Fonte: O autor (2018).

## 5.2 Modelagem computacional de alvenaria apoiada em viga deformável

A modelagem computacional realizada no *SCIA Engineer* foi de alvenaria de vedação apoiada em viga deformável de concreto armado. No *software* foi modelado uma estrutura parecida com o vão dos cômodos administrativos do teatro (**Figura 55**) e, de acordo com os resultados puderam ser observadas tensões de tração nos pontos em que há fissuração nas patologias 2 e 4, que foram catalogadas no item 5.1.

A estrutura da **Figura 71** mostra o modelo simulado. Nesse caso a alvenaria (objetivo principal do estudo) tem resistência a compressão de 8 MPa e resistência nula à tração.

**Figura 71:** Estrutura analisada via *SCIA Engineer*.

Fonte: O Autor (2019).

A abertura observada na **Figura 71** é a janela existente no teatro. A cargas aplicadas no painel de alvenaria, vigas e pilares foi apenas o PP (peso próprio), que



são fornecidos pelo próprio *software*. O PP da alvenaria usado foi de  $650\text{kg/m}^3$  e do concreto foi de  $2500\text{kg/m}^3$ . Os demais carregamentos atuantes na viga não influenciam na análise, pois apenas intensificam os esforços.

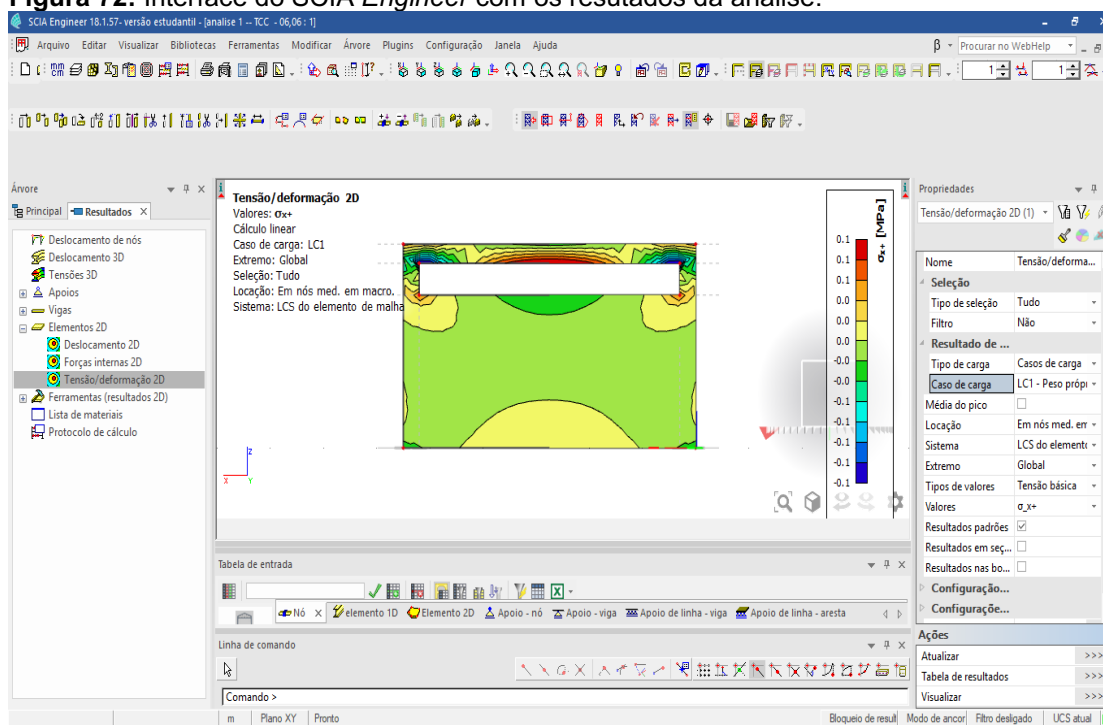
O painel de alvenaria tem dimensões 5,50m de comprimento entre faces mostradas na figura acima e 3,20m de altura e são dimensões semelhantes encontradas na inspeção de campo. Os apoios na interseção viga/pilar são engastes, também simulando a situação real.

Ao calcular os esforços, tensões e deslocamentos obteve-se os resultados descritos no item 5.2.1.

### 5.2.1 Resultados da análise numérica do comportamento viga-alvenaria

Adotados os parâmetros supracitados e feitos os cálculos com o *software* foram obtidos resultados. O primeiro resultado foi da análise do comportamento tensão/deformação da estrutura, mostrando onde acontece os maiores valores de tração e compressão (Figura 72).

**Figura 72:** Interface do SCIA Engineer com os resultados da análise.



Fonte: O Autor (2019).

No esquema de cores da **Figura 72** foi mostrada a intensidade dos esforços atuantes na estrutura, em MPa, após a deflexão das vigas. Tais vigas foram modeladas com os parâmetros já disponíveis no *software*, tendo seu peso próprio e outros parâmetros padronizados pelo próprio *SCIA Engineer*. O peso próprio da viga atua sobre o plano da parede de alvenaria.

Na análise, a cor azul escuro simboliza compressão (tensão negativa) e conforme fica mais claro a tensão negativa reduz. As cores verdes são os pontos de tensão nula na estrutura, não sendo afetados por tração nem compressão. Já os pontos amarelos são onde a estrutura começa a ser tracionada.

Quanto mais próximo do vermelho maior a intensidade da tração (tensão positiva) na estrutura. Com isso foi possível perceber a concentração de tensões positivas ao redor da abertura e no centro da janela (**Figura 73**).

**Figura 73:** Detalhe da abertura.



**Fonte:** O Autor (2019).

A deformação da estrutura por análise numérica foi exposta pela **Figura 74**, mostrando que as vigas - nessa análise - tendem a sofrer flexão, tracionando as fibras inferiores das mesmas e, por consequência causando tensões na alvenaria, que está apoiada sobre as vigas deformáveis.

No centro do vão da **Figura 73**, não foram observadas fissuras ou trincas, embora a concentração de tensões de tração nesse local seja alta. O emboço, reboco e pastilhas da parede naquele ponto inviabilizaram uma análise visual precisa. Outro fator que pode ter contribuído para isso é que o vão em alvenaria entre a janela e a viga superior é muito pequeno, fazendo com que a própria viga de concreto armado tenha assimilado as tensões provenientes da deflexão.

**Figura 74:** Deflexão das vigas em análise numérica via SCIA Engineer.



**Fonte:** O Autor (2019).

A partir das figuras acima, foi fortalecida a hipótese que a deflexão das vigas pode ter sido um agente causador ou agravante da situação da alvenaria local, fato comprovado ao comparar a patologia 2 (Figura 60) com a Figura 73. A comparação em questão foi feita na Figura 75.

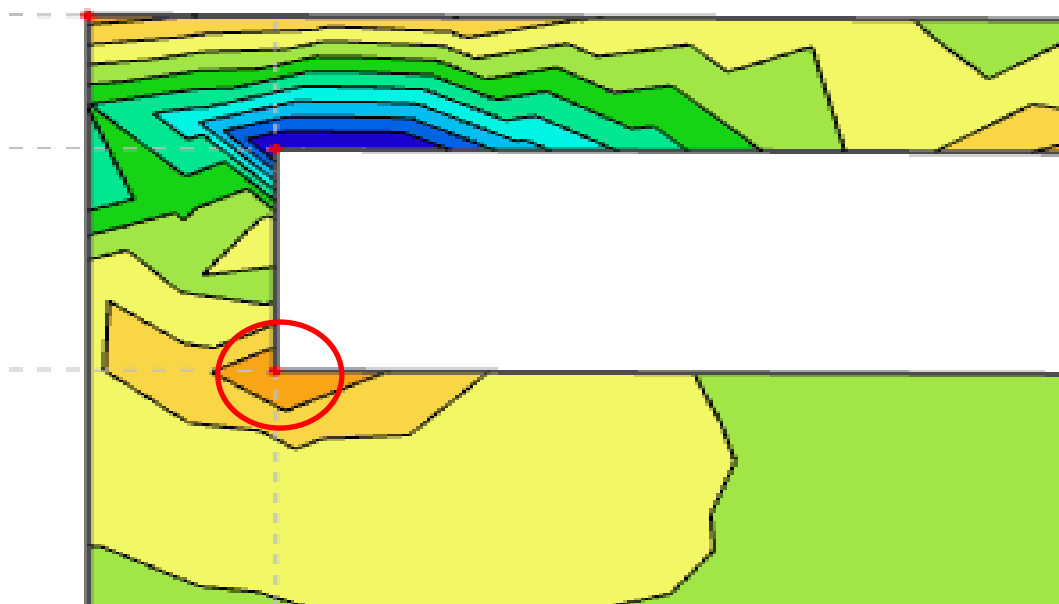
**Figura 75:** Comparativo entre aberturas dos cantos da janela.



**Fonte:** O Autor (2019).

Como pôde ser observado, o ponto onde ocorre tração na simulação computacional foi o mesmo ponto onde ocorre fissuração no ambiente real. Na visão aproximada somente da imagem fornecida pelo *software* (Figura 76) ficou mais claro o esquema de cores acima citado.

**Figura 76:** Tensões nos cantos da abertura via *software*.



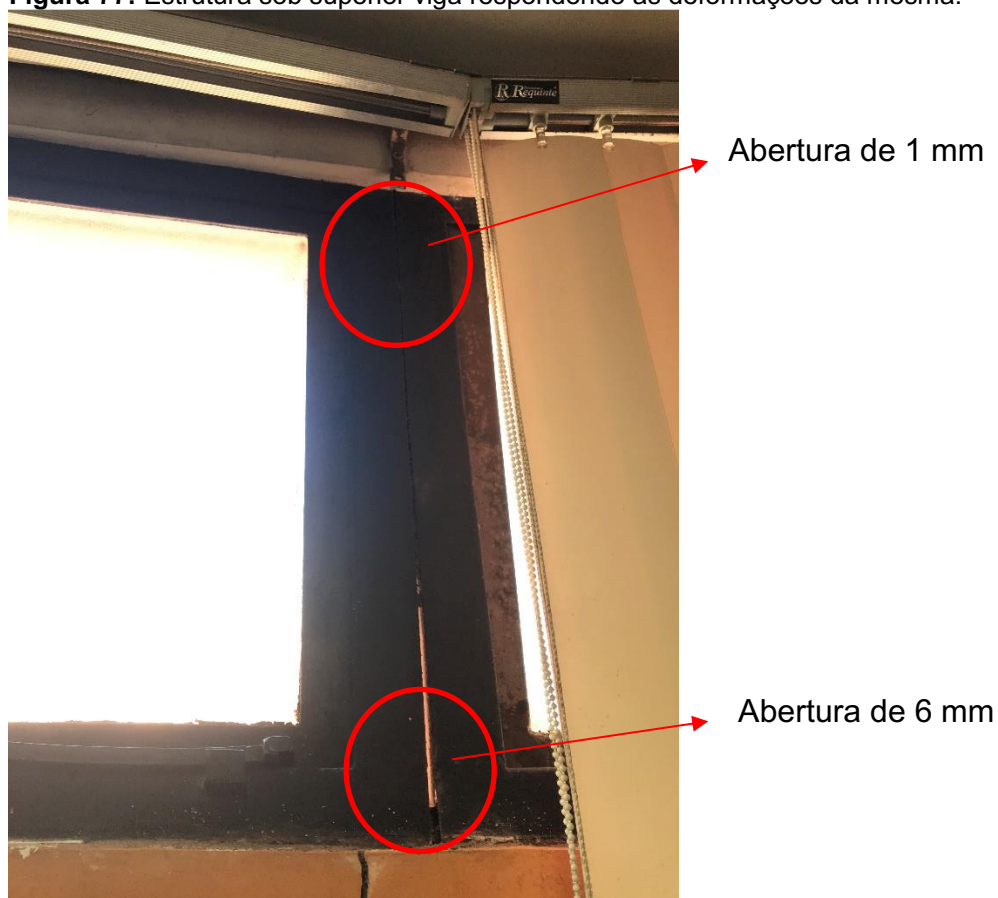
**Fonte:** O Autor (2019).

Como evidenciado pela **figura 74** a deformação das vigas colabora para deformação da alvenaria e dos outros componentes da estrutura, e, ao focar na viga superior, tem-se pela análise numérica que ela tende a sofrer maior deformação e, portanto, evidenciar mais sinais nas estruturas abaixo dela.

Assim sendo, obteve-se na (**Figura 77**) uma amostragem de que a estrutura abaixo tende a “responder” à deformação da viga e acompanha-la.

Na figura foi mostrada a janela, em que a parte superior apresenta abertura de 1 mm e a inferior abertura de 6 mm, medidas essas tiradas em análise de campo.

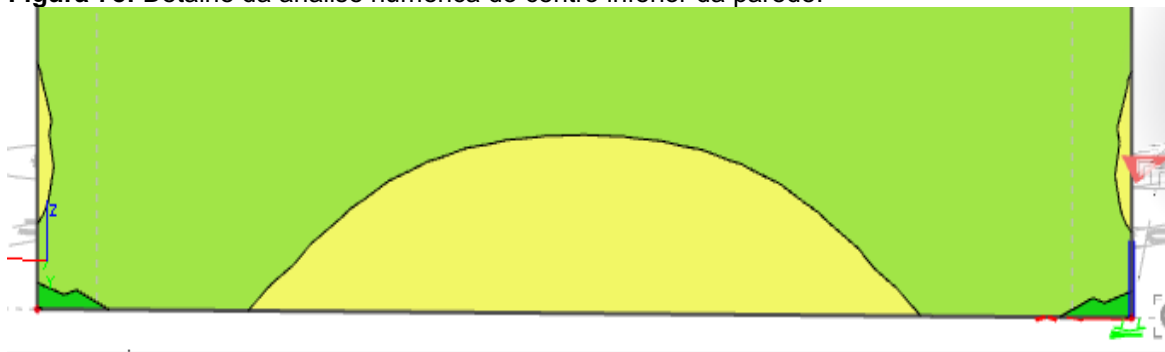
**Figura 77:** Estrutura sob superior viga respondendo às deformações da mesma.



Fonte: O Autor (2019).

Ao avaliar a parte de baixo da parede (**Figura 78**), onde se tem também patologias encontradas no estudo de campo, observou-se uma tendência de tração no meio do vão, justamente onde a deflexão da viga é maior, e, portanto, uma tendência de abertura nesse trecho com mecanismo de ruptura causado, ou agravado, pelas tensões positivas no local.

**Figura 78:** Detalhe da análise numérica do centro inferior da parede.

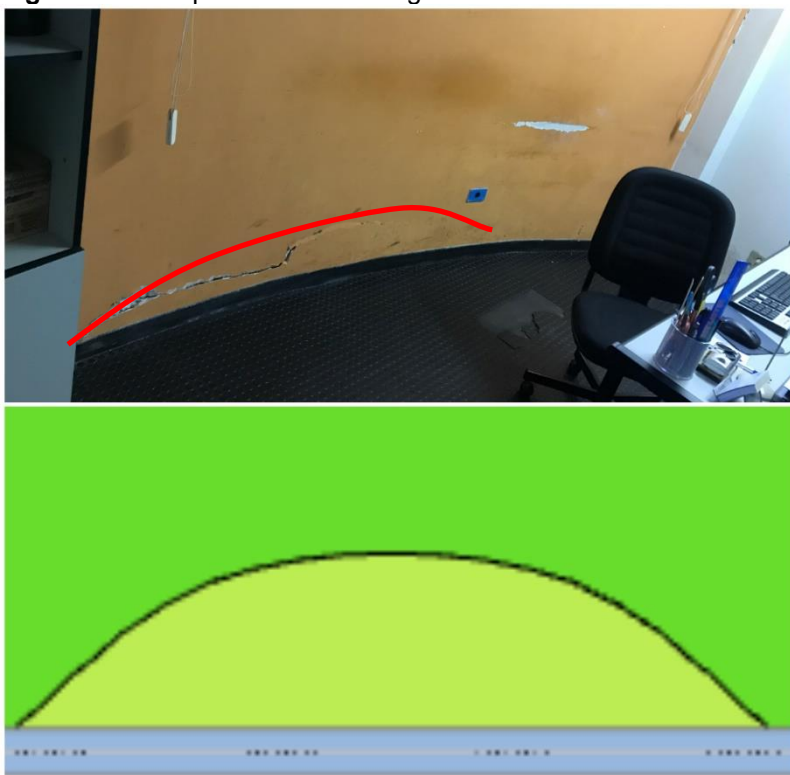


Fonte: O Autor (2019).

O efeito de arqueamento da tensão observado na figura tem relação inversamente proporcional com a rigidez da viga em que ela se encontra apoiada e o PP da alvenaria. Foram feitas simulações alterando a altura da viga, e conseqüentemente aumentando sua deformabilidade,

O formato da trinca em questão (patologia 4) foi arqueado, assim como o resultado via análise numérica, mais uma vez convergindo o resultado computacional ao caso existente. Na **Figura 79** foi realizado um comparativo da forma das aberturas, evidenciando sua semelhança.

**Figura 79:** Comparativo da Patologia 4 com resultado de tensões de tração via SCIA Engineer.



**Fonte:** O Autor (2019).

O interesse do estudo foi avaliar numericamente o comportamento da alvenaria apoiada por vigas deformáveis, e comparar os resultados com as trincas e fissuras observadas em inspeção de campo no teatro municipal.

Com isso, pôde-se ver que a tanto a patologia 2 quanto a patologia 4 convergem – nas duas análises – para as mesmas características patológicas. Assim permitindo dizer que o mecanismo de ruptura delas pode ter sido causado ou influenciado pelas tensões positivas causadas na alvenaria devido a deformação excessiva das vigas de concreto armado presentes.

Fatores como problemas estruturais, o recalque apresentado nos fundos da edificação e erros construtivos podem ter agido isoladamente ou simultaneamente para causar os problemas existentes, contudo tais causas não foram abordadas nesse trabalho.

Assim sendo, o TCC em questão mostra que o MEF, aliado a um estudo minucioso com maiores ferramentas e permissões para intervir na edificação em questão pode ser uma ferramenta que pode auxiliar no estudo de patologias nas edificações.

## 6 CONCLUSÃO

Em vista do estudo feito, com base na bibliografia, sabe-se que o aparecimento de trincas e fissuras em alvenaria é um tipo de patologia originado por fenômenos físicos, químicos ou mecânicos, ocasionados por falha em alguma etapa da obra, seja ela projeto, execução, uso, má qualidade dos materiais usados, entre outros.

Assim sendo, para melhor entendimento das trincas e fissuras em alvenaria foi recorrido a publicações sobre patologia nas edificações, procurando entender os tipos característicos de aberturas em alvenarias, seus possíveis agentes causadores e maneiras de classificação dessas aberturas.

Também foram utilizados estudos de métodos numéricos procurando explicar a aplicação do MEF numa modelagem computacional. Com foco no comportamento viga-alvenaria, a simulação mostrou uma estrutura defletida, tal como as tensões e deformações que nela agiram.

A escolha da edificação para estudo foi uma demanda da prefeitura municipal da cidade, que por intermédio da UTFPR pediu um estudo de caso na referida edificação.

O local possui outras patologias, como por exemplo o destacamento de pastilhas de fachada, que não foram abordados nesse trabalho. Vale enfatizar que o foco do presente trabalho foi as trincas e fissuras em alvenaria de vedação, não discorrendo sobre possíveis falhas estruturais ou de outros quesitos que não seja esse.

Afirmar as causas exatas das patologias não foi possível devido a limitação de informações, desconhecimento de projetos estruturais e sobre as etapas do processo construtivo, além de não ter permissão para intervir de maneira mais invasiva na edificação para descobrir detalhes da mesma. Entretanto foi possível estudar os principais mecanismos de ruptura para cada tipo característico de fissuração.

Em suma, pode-se concluir que, de acordo com a NBR 15575:2013, todas as patologias catalogadas são classificadas como trincas, tendo abertura maior que 0,6 mm e que elas possuem características diferentes.

Com a análise numérica de duas das patologias pelo *software SCIA Engineer* (Versão estudantil) concluiu-se que, embora tenham sido feitas simplificações no projeto utilizando um modelo aproximado e sem conhecimento real das propriedades



dos materiais empregados na edificação o comportamento da estrutura mostrou-se parecido com o simulado computacionalmente.

Assim, observa-se que a deflexão das vigas pode influenciar na fissuração da alvenaria, aliado ou não a outros fatores, tais como erros estruturais, falhas construtivas ou material de baixa qualidade empregados entre outros.

Apesar da análise não permitir expor totalmente as causas dos problemas, norteia futuros trabalhos e análises que podem ser realizados como complementação desse. Ainda, ressalta-se que a pesquisa desenvolvida possui objetivo acadêmico e, sendo assim, não possibilita a sua utilização para conclusões sobre o real estado das alvenarias do Teatro Municipal de Campo Mourão.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 9575 - Impermeabilização**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.
- ABNT. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.
- ABNT. **NBR 15575 - Edificações Habitacionais- Desempenho**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.
- AZEVEDO, A. F. M. **Método dos elementos finitos**. 1ª Edição ed. Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, 2003.
- CONTÃO, E. C. **Análise e proposições de medidas corretivas de fissuras e trincas manifestadas em alvenaria de vedação em uma edificação escolar no vale do Jequitinhonha**. 2016, 57p. Dissertação (Especialização) - Curso de Especialização em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. **Fissuras em paredes de alvenaria estrutural sob lajes de cobertura de edifícios**, 2012. Caderno de Engenharia de Estruturas. São Carlos. v.14, p.71-80.
- DUARTE, R. B. **Fissuras em Alvenarias: Causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação**. Porto Alegre. CINTEC, 1998. (Boletim técnico 25).
- FLORES, I.; BRITO, J. DE. **Patologia e Reabilitação de Construção em Alvenaria de Tijolo**, 2005.
- FREGONEZE, G. B. et al. **Metodologia científica**. Londrina: Educacional S.A., 2014.
- GESUALDO. F. A. R. **Método dos Elementos Finitos**, 2010. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia (UFU).
- HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992. 213 p.
- KWON, Y. W., & BANG, H. **The Finite Element Method using MatLab**, 1996. New York: TheMechanical Engineering Series.
- LORDSLEEM, A. C. J. **Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: Avaliação da Capacidade de Deformação**. 1997, 195p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia, Espoca Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MAGALHÃES, E. F. DE. **Fissuras Em Alvenarias: Configurações Típicas E Levantamento De Incidências No Estado Do Rio Grande Do Sul**. Porto Alegre - Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia , Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

MARINOSKI, D. L. **Aula 2: ALVENARIAS: conceitos , alvenaria de vedação , processo executivo**. Florianópolis: Notas de aula- Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2011.

MAZER, W. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR - 161p, 2008.

MORCELLI, C. I. C. **Análise numérica de fissuração em alvenarias produzida por recalques de fundações em edifícios**. Santa Maria - Dissertação (Graduação) - Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, 2015.

MOREIRA, C. **Recalcinação de estruturas de concreto carbonatado com utilização de gel saturado de solução alcalina**. Tese (Mestrado)- Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2006.

RIBEIRO, F.L.B. **Introdução Ao Método Dos Elementos Finitos**. Rio de Janeiro. Notas de aula- Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2004.

RIPPER, T. ;SOUZA, V.C.M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo- SP: Pini, 1998.

ROVERE, H. L. **Utilização do Método dos Elementos Finitos em projetos de Estruturas**. Especialização em Projetos de Estruturas (Apostila). 2002.

SILVA, A.P.S; JONOV, C. M. P. **Patologia das Construções**. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2011.

SILVA, P. E. V.; MOREIRA, R. R. **Projeto de Alvenaria de vedação- Diretrizes para elaboração, histórico, dificuldades e vantagens da implementação e relação com a NBR 15575**. Dissertação (Graduação)- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, UFMG, 2017.

SUSSEKIND, J. C. **Curso de análise estrutural**. 6. ed. Porto Alegre-Rio de Janeiro: Editora Globo, 1981.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: Causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

VALLE, J. B. D. S. **PATOLOGIA DAS ALVENARIAS:Causa/Diagnóstico/Previsibilidade**. Dissertação (Especialização) Especialização em Tecnologia da Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, p. 81, 2008.

WAIDEMAM, L. **Análise dinâmica de placas delgadas utilizando elementos finitos triangulares e retangulares**. Tese (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, 2004.

ZANZARINI, J. C. **Análise Das Causas E Recuperação De Fissuras Em Edificação Residencial Em Alvenaria Estrutural - Estudo de caso**. Dissertação (Graduação) Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, 2016.