

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Leonardo Borges Vargas

**AVALIAÇÃO DAS AÇÕES TÉRMICAS E DE RETRAÇÃO EM UMA  
EDIFICAÇÃO EM PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO**

Santa Maria, RS  
2021

**Leonardo Borges Vargas**

**AVALIAÇÃO DAS AÇÕES TÉRMICAS E DE RETRAÇÃO EM UMA EDIFICAÇÃO  
EM PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Engenheiro Civil**.

Orientador: Prof. Dr. André Lübeck

Santa Maria, RS  
2021

**Leonardo Borges Vargas**

**AVALIAÇÃO DAS AÇÕES TÉRMICAS E DE RETRAÇÃO EM UMA EDIFICAÇÃO  
EM PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Engenheiro Civil**.

**Aprovado em 05 de julho de 2021:**

---

**André Lübeck, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Almir Barros da Silva Santos Neto, Dr. (UFSM)**

---

**Alisson Simonetti Milani, Dr. (UNIPAMPA)**

Santa Maria, RS  
2021

## AGRADECIMENTOS

*- Primeiramente agradeço a Deus, pela minha vida e, por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo destes anos.*

*- aos meus pais, José Neimar Vargas e Elizete Borges Vargas, pelo amor, carinho e por sempre estarem ao meu lado demonstrando apoio ao longo de todo o período em que me dediquei a este trabalho e aos estudos.*

*- ao meu orientador Prof. Dr. André Lübeck pela confiança em mim depositada para realizar este trabalho, pela dedicação, compreensão e por todos os ensinamentos, grato pela orientação.*

*- ao Prof. Ms. Paulo Jorge Sarkis pela oportunidade de estagiar e desenvolver conhecimentos práticos e diversos ensinamentos transmitidos.*

*- aos meus colegas de trabalho Luciana Spolador Saicoski e Felipe Adams que sempre me apoiaram com o esclarecimento de dúvidas e contribuíram para este trabalho.*

*- à minha namorada Alessandra Machado Ferreira, por todo o carinho e compreensão dedicados a mim durante a elaboração deste trabalho.*

*- aos amigos que a universidade me presenteou, agradeço pelo dia a dia e por todos os momentos vividos dentro e fora da vida acadêmica.*

*- aos meus professores, que me lecionaram durante o curso e tiveram uma contribuição essencial na minha formação.*

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DAS AÇÕES TÉRMICAS E DE RETRAÇÃO EM UMA EDIFICAÇÃO EM PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS *IN LOCO*

AUTOR: Leonardo Borges Vargas

ORIENTADOR: André Lübeck

Este estudo objetiva analisar os efeitos das variações térmicas e ação de retração sobre quatro paredes e a laje de cobertura de um edifício de paredes de concreto moldadas *in loco*. Foram testados três tipos de carregamentos térmicos, uniforme de aquecimento e resfriamento, aplicados como uma deformação específica equivalente a uma variação térmica de +15 °C e -15 °C, respectivamente, e gradiente linear, equivalente a uma diferença térmica de 15 °C entre a face mais fria e a face mais quente dos elementos estruturais sujeitos a insolação direta. A ação de retração foi considerada como uma deformação específica equivalente a uma variação térmica uniforme de -30 °C. As ações térmicas e retração foram combinadas com os carregamentos permanentes e acidentais, de acordo com os preceitos das normas ABNT NBR 6118 (2014) e NBR 16055 (2012). O modelo da edificação foi discretizado em elementos finitos com auxílio do software SAP2000 V18. Tanto as paredes quanto as lajes foram modeladas como elementos de superfície. Os materiais foram considerados segundo a norma NBR 6118 (2014), para uma classe de agressividade ambiental II, sendo a resistência do concreto classe C30. Os resultados indicaram que os efeitos térmicos e retração são significativos quanto a análise para o Estado-Limite de Formação de Fissuras (ELS-F), desenvolvendo tensões de tração acima do admissível tanto nas paredes quanto na laje de cobertura. Ficou evidenciado que os carregamentos térmicos e de retração podem resultar em manifestações patológicas nos elementos, paredes e lajes, quando não considerados, sendo necessária a indicação de armaduras especialmente para combater esses efeitos.

**Palavras-chave:** Paredes de Concreto. Temperatura Uniforme. Temperatura Gradiente Linear. Retração. Formação de Fissuras.

## ABSTRACT

### EVALUATION OF THERMAL ACTIONS AND SHRINKAGE IN A CONCRETE WALLS CASTED IN PLACE BUILDING

AUTHOR: Leonardo Borges Vargas

ADVISOR: André Lübeck

This research aims to analyse the effects of thermal variations and shrinkage on four walls and the roof slab of a concrete walls casted in place building. Three types of thermal loads have been tested, a uniform heating and cooling, applied as deformations equivalent to a thermal variation of +15 °C and -15 °C, respectively, and a linear gradient, equivalent to a thermal difference of 15 °C between the coldest face and the hottest face of structural elements subjected to direct sunlight. The shrinkage was considered as a deformation equivalent to a uniform thermal variation of -30 °C. The thermal loads and shrinkage were combined with dead and live loads, in accordance with the precepts of ABNT NBR 6118 (2014) and NBR 16055 (2012) standards. The building model was discretized in finite elements with SAP2000 V18 software. Both walls and roof slab were modelled as surface elements. The materials were considered in accordance with NBR 6118 (2014) standard, for an environmental aggressiveness class II, being C30 the compressive strength of concrete. The results indicated that the thermal and shrinkage effects are significant as the analysis for the Limit State of Serviceability on cracking formation, developing tensile stresses above the admissible for both concrete walls and roof slab. It is evident that the thermal loads and shrinkage could develop pathological manifestations in elements, walls and slabs, when not considered, being necessary to indicate rebars to counter these effects.

**Keywords:** Concrete Walls. Uniform Temperature. Linear Temperature Gradient. Shrinkage. Crack Formation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de casa assobradada executada em sistema de paredes de concreto .....	15
Figura 2 – Parede de concreto moldada in loco em execução.....	16
Figura 3 – Formas metálicas (quadros e chapas em alumínio ou aço) .....	18
Figura 4 – Formas metálicas + compensado (quadros em alumínio ou aço e chapas de madeira compensada ou material sintético) .....	18
Figura 5 – Formas plásticas (quadros e chapas de plástico reciclável contraventadas por estruturas metálicas) .....	18
Figura 6 – Montagem das telas soldadas das paredes.....	20
Figura 7 – Parede de concreto armado com tela dupla .....	20
Figura 8 – Representação diagramática dos componentes constituintes de um perfil de temperatura .....	22
Figura 9 – Fatores térmicos que afetam a seção transversal de uma ponte.....	23
Figura 10 – Efeitos de diferentes variações de temperatura.....	24
Figura 11 – Efeitos de diferentes variações de temperatura.....	26
Figura 12 – Caso de fissuração vertical junto à fundação e à laje de cobertura em paredes de concreto em edifícios.....	28
Figura 13 – Movimentações que ocorrem numa laje de cobertura, sob ação da elevação de temperatura .....	29
Figura 14 – Trincas típicas presente no topo da parede paralela ao comprimento da laje, a direção das fissuras, perpendiculares às resultantes de tração (FDt), indica o sentido da movimentação térmica .....	29
Figura 15 – Fissura de cisalhamento provocada por expansão térmica da laje de cobertura...	29
Figura 16 – Caso de fissuração inclinada em paredes de alvenaria de prédio de concreto armado .....	30
Figura 17 – Componente reversível e irreversível da deformação por retração.....	32
Figura 18 – Conectividade das articulações dos elementos de área e definições de faces .....	35
Figura 19 – Orientação dos eixos locais das paredes externas .....	36
Figura 20 – Planta baixa da arquitetura.....	38
Figura 21 – Corte AA' .....	38
Figura 22 – Carta Solar da cidade de Porto Alegre .....	40
Figura 23 – Incidência solar nas paredes externas da edificação .....	40
Figura 24 – Modelo discretizado no software SAP2000 .....	42

Figura 25 – Localização das paredes analisadas .....	45
Figura 26 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 1 (tensões em MPa) .....	46
Figura 27 – Paredes 1 e 2 sob influência das paredes internas quanto a Combinação Rara 1 .	47
Figura 28 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 2 (tensões em MPa) .....	48
Figura 29 – Parede 1 sob influência da Combinação Rara 2.....	49
Figura 30 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 3 (tensões em MPa) .....	50
Figura 31 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 4 (tensões em MPa) .....	51
Figura 32 – Parede 1 sob influência da insolação direta.....	51
Figura 33 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 5 (tensões em MPa) .....	52
Figura 34 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 6 (tensões em MPa) .....	53
Figura 35 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 7 (tensões em MPa) .....	53
Figura 36 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 8 (tensões em MPa) .....	54
Figura 37 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 9 (tensões em MPa) .....	55
Figura 38 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura. Combinação Rara 1 (tensões em MPa) .....	56
Figura 39 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 1 (tensões em MPa) .....	56
Figura 40 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura. Combinação Rara 2 (tensões em MPa) .....	57
Figura 41 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 2 (tensões em MPa) .....	58
Figura 42 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura. Combinação Rara 3 (tensões em MPa) .....	59
Figura 43 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 3 (tensões em MPa) .....	59



Figura 44 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura. Combinação Rara 4 (tensões em MPa) .....	60
Figura 45 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 4 (tensões em MPa) .....	61
Figura 46 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura com faixa de limites ajustada. Combinação Rara 4 (tensões em MPa) .....	61
Figura 47 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura. Combinação Rara 5 (tensões em MPa) .....	62
Figura 48 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 5 (tensões em MPa) .....	62
Figura 49 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura. Combinação Rara 6 (tensões em MPa) .....	63
Figura 50 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 6 (tensões em MPa) .....	63
Figura 51 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura. Combinação Rara 7 (tensões em MPa) .....	64
Figura 52 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 7 (tensões em MPa) .....	64
Figura 53 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura. Combinação Rara 8 (tensões em MPa) .....	65
Figura 54 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 8 (tensões em MPa) .....	65
Figura 55 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura. Combinação Rara 9 (tensões em MPa) .....	67
Figura 56 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 9 (tensões em MPa) .....	67
Figura 57 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 1 (tensões em MPa) .....	73
Figura 58 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 2 (tensões em MPa) .....	73
Figura 59 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 3 (tensões em MPa) .....	74
Figura 60 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 4 (tensões em MPa) .....	74

Figura 61 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 5 (tensões em MPa).....	75
Figura 62 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 6 (tensões em MPa).....	75
Figura 63 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 7 (tensões em MPa).....	76
Figura 64 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 8 (tensões em MPa).....	76
Figura 65 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 9 (tensões em MPa).....	77

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	13
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	13
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	15
2.1	PAREDE DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO.....	15
<b>2.1.2</b>	<b>Projeto</b> .....	16
<b>2.1.3</b>	<b>Materiais Utilizados</b> .....	17
2.1.3.1	<i>Formas</i> .....	17
2.1.3.2	<i>Concreto</i> .....	19
2.1.3.3	<i>Armaduras</i> .....	19
2.2	TIPOS DE AÇÕES.....	21
2.4	AÇÕES TÉRMICAS .....	21
2.5	RETRAÇÃO.....	30
2.6	FORMAÇÃO DE FISSURA .....	33
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	35
3.1	EDIFICAÇÃO ANALISADA .....	37
3.2	VARIAÇÃO TÉRMICA E RETRAÇÃO DO CONCRETO.....	39
3.3	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS .....	41
3.4	DISCRETIZAÇÃO .....	41
3.5	CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES.....	42
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS E COMENTÁRIOS</b> .....	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	68
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	70
	<b>APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES NAS PAREDES 3 E 4</b> .....	73

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o sistema em paredes de concreto moldadas *in loco* é um método construtivo já consolidado no mercado da construção civil brasileira, sendo o mais utilizado em edificações voltadas ao público de baixa renda, com financiamento do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV). Segundo Lima e Costa (2018) foi realizada uma pesquisa pela Caixa Econômica Federal a qual apontou que essa tecnologia esteve presente em 36% das unidades habitacionais do MCMV em 2014, já no segundo semestre de 2015 foi observado um aumento para 52%, mostrando a crescente adesão a essa tecnologia.

Devido a demanda crescente e pela necessidade de regulamentar o uso do sistema, foram realizados estudos de viabilidade sobre o sistema em paredes de concreto o qual desencadeou o desenvolvimento e publicação da primeira versão da norma brasileira desse método no ano de 2012, a então chamada ABNT NBR 16055 - Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos. Aliado a isso, para estar entre os sistemas construtivos que são habilitados a requerer financiamentos, essa tecnologia foi submetida a ensaios do SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica), assim, transformando-se em um modelo de industrialização na construção civil, como explica Santos (2016).

Esse crescimento do sistema em paredes de concreto está atrelado principalmente ao fato de ser um método construtivo de alta velocidade de execução e racionalizado, sendo uma excelente tecnologia para projetos de alta repetição e prazos exíguos. Devido a essa recente utilização em larga escala, ainda há diversos questionamentos sobre o funcionamento das paredes de concreto moldadas *in loco* frente a situações menos usuais.

Para tanto, é imprescindível que os projetistas de estruturas possam compreender precisamente o comportamento desse sistema nas mais diversas situações para que possam entregar edificações com cada vez mais qualidade e segurança. Com isso, a coleta de resultados e discussões abordando tópicos específicos vêm para auxiliar na compreensão desse assunto.

Neste trabalho, é abordado o estudo da influência das variações térmicas uniformes e em gradiente, assim como a ação de retração em uma estrutura em paredes de concreto moldadas *in loco* para o dimensionamento no Estado-Limite de Formação de Fissuras e a comparação com uma análise apenas para os carregamentos usuais.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O tema escolhido está vinculado ao fato de haver poucos estudos a respeito do funcionamento estrutural do sistema de paredes de concreto moldadas *in loco* quando submetidas a ação de retração e às cargas térmicas. Visto que a primeira versão da norma brasileira desse sistema estrutural, a ABNT NBR 16055, teve sua publicação relativamente recente, no ano de 2012, ainda restam vários questionamentos a respeito do desempenho destas edificações.

Com a análise da ação de retração e das cargas térmicas, se propõe uma tentativa de obter regiões onde há a tendência de ocorrer a formação de fissuras tanto nas paredes quanto na laje de cobertura, haja visto que tanto a norma NBR 16055 (2012) quanto a norma de estruturas de concreto NBR 6118 (2014) determinam que sejam consideradas essas ações.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral realizar a análise estrutural de uma edificação de três andares em paredes de concreto moldadas *in loco* considerando os efeitos dos carregamentos provocados pela retração do concreto, variação uniforme e gradiente linear de temperatura e identificar regiões que tendem a ocorrer a formação de fissuras.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Aplicar em todas as paredes e lajes a deformação imposta de retração e cargas térmicas uniformes de aquecimento e resfriamento com seus respectivos valores, conforme a norma NBR 6118 (2014);
- Aplicar uma variação gradiente linear de temperatura, conforme a NBR 6118 (2014), em todas as fachadas sujeitas a insolação direta, assim como na laje de cobertura da edificação;
- Estruturar as combinações de carregamentos para o ELS-F considerando uma situação inicial e final de construção;
- A partir das combinações de ações para o Estado-Limite de Serviço, verificar as regiões onde ocorrem tensões de tração que resultariam na formação de fissuras nas paredes e laje de cobertura.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1, estão contempladas a introdução, justificativa, objetivo geral, objetivos específicos e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura, na qual são tratadas as características do sistema de paredes de concreto moldadas *in loco*, os tipos de ações presentes na estrutura, as definições e métodos para aplicação das cargas térmicas e retração e o comportamento do concreto frente ao Estado-Limite de Formação de Fissuras. A revisão das cargas térmicas e retração aborda conceitos já consagradas pela comunidade técnica e normatizações estrangeiras. Ainda, é apresentado o modo de atuação das cargas térmicas, métodos de aplicação e os efeitos que geram em uma estrutura quando restringidos. A revisão sobre a retração apresenta os diversos tipos de retração, a abordagem da norma brasileira e o método clássico de aplicação dessa deformação imposta na estrutura. Para a formação de fissuras, foram apresentadas as diretrizes que a norma brasileira estabelece quanto a resistência do concreto e as combinações a serem consideradas.

O capítulo 3 expõe a metodologia utilizada para a modelagem da edificação e o critério adotado para determinar as combinações analisadas no trabalho. Ainda, são apresentadas as características da edificação, a incidência das ações térmicas e retração na estrutura, as propriedades dos materiais utilizados e os carregamentos e combinações de ações.

No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados oriundos da análise das paredes de concreto e laje de cobertura para nove combinações raras de carregamentos. Para cada elemento estrutural é estudado o comportamento das tensões principais e identificadas as regiões que apresentam a possível formação de fissuras.

No capítulo 5 apresentam-se as conclusões sobre o estudo. Como elementos pós-textuais, tem-se as referências bibliográficas e o apêndice A.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 PAREDE DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO

Caracterizado pela sua alta produtividade, racionalidade e economia, o sistema construtivo em paredes de concreto vem sendo amplamente empregado no mercado brasileiro. Segundo Braguim (2013), além de possibilitar um maior controle de qualidade tecnológico esse processo construtivo permite reduzir drasticamente os desperdícios em obra, tornando-se, assim, um exemplo de industrialização na construção civil.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (Coletânea de Ativos 2007-2008) é recomendado o emprego de paredes de concreto em empreendimentos de alta repetitividade, como condomínios verticais, horizontais ou edificações residenciais, onde a velocidade de execução, economia e otimização de mão-de-obra sejam fatores determinantes na escolha de um sistema construtivo. Além disso, é afirmado por Faria e Bueno (2009) que mesmo esse método construtivo sendo aplicado a habitações do segmento econômico, também é possível empregá-lo em edifícios de médio e alto padrão.

Com isso, nota-se que o sistema em paredes de concreto é flexível às exigências do mercado da construção civil, sendo uma alternativa viável para os mais diversos tipos de construções, como ilustram as Figuras 1 e 2.

Figura 1 – Exemplo de casa assobradada executada em sistema de paredes de concreto



Fonte: (Faria e Bueno, 2009).

Figura 2 – Parede de concreto moldada in loco em execução



Fonte: (Forsa S.A., 2013).

### 2.1.2 Projeto

A consolidação do sistema estrutural em paredes de concreto no Brasil deu-se em 10 de abril de 2012, com a publicação da norma NBR 16055:2012 – Parede de concreto moldada no local para a construção de edificação – Requisitos e procedimentos. Esse documento fornece os requisitos básicos para a elaboração e dimensionamento de projetos em paredes de concreto, assim como recomendações de execuções no canteiro de obras.

Conforme a norma NBR 16055 (2012, p.3) o elemento parede de concreto é definido como “*elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento maior que dez vezes sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede*”.

Ainda, “*Todas as paredes de cada ciclo construtivo de uma edificação são moldadas em uma única etapa de concretagem, permitindo que, após a desforma, as paredes já contenham, em seu interior, vãos para portas e janelas, tubulações ou eletrodutos [...]*” (NBR 16055, 2012 p.3). Além disso, é considerado que as lajes em concreto armado também interagem com as paredes, fazendo com que o sistema estrutural seja monolítico.

Devido ao alto índice de repetição de montagem das formas e armaduras somado a velocidade de concretagem das paredes de concreto, é necessário que o projeto esteja alinhado ao sistema construtivo. Para isso, Braguim (2013) explica que ao realizar um projeto estrutural com modulação de medidas de paredes e aberturas, simetria na geometria da edificação em planta, alinhamento de paredes e padronização de distâncias entre pisos é possível otimizar a fabricação de formas e garantir a velocidade de execução da obra.



### 2.1.3 Materiais Utilizados

O sistema construtivo em paredes de concreto tem como principais materiais constituintes: as formas, o concreto e as armaduras. Cada material deve ser selecionado de acordo com suas respectivas especificações, dadas pela norma NBR 16055 (2012) e pela NBR 6118 (2014). A seguir será apresentado algumas das principais características de cada material mencionado.

#### 2.1.3.1 Formas

Como define Misurelli e Massuda (2009 p. 77),

As fôrmas são estruturas provisórias cujo objetivo são moldar o concreto fresco, compondo-se assim as paredes estruturais. A resistência a pressões do lançamento de concreto até a sua solidificação, é fator decisivo. Para isso, as fôrmas devem ser estanques e favorecer rigorosamente a geometria das peças que estão sendo moldadas.

Esse processo de modelagem do concreto através das formas é um dos principais fatores que tornam as paredes de concreto em um sistema construtivo considerado industrializado. Segundo Nakamura (2014, p. 66) é possível obter ganhos de produtividade, qualidade à obra e economia quando o sistema de formas é bem especificado.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2008) indica os tipos de formas possíveis de serem utilizados na moldagem do concreto, sendo os mais comuns: formas metálicas (Figura 3), formas metálicas + compensado (Figura 4) e formas plásticas (Figura 5). Ainda, é apresentado alguns aspectos a serem considerados na escolha, tais como:

- a) Produtividade da mão-de-obra na operação do conjunto;
- b) Peso por m<sup>2</sup> dos painéis;
- c) Número de peças do sistema;
- d) Durabilidade da estrutura (quadros);
- e) Modulação dos painéis;
- f) Flexibilidade diante das opções de projetos;
- g) Adequação à fixação de embutidos;
- h) Suporte técnico do fornecedor (capacidade instalada, área de cobertura, agilidade de atendimento, oferta de treinamento e assistência técnica).

Figura 3 – Formas metálicas (quadros e chapas em alumínio ou aço)



Fonte: (BKS, 2015).

Figura 4 – Formas metálicas + compensado (quadros em alumínio ou aço e chapas de madeira compensada ou material sintético)



Fonte: (Vigatec, 2018).

Figura 5 – Formas plásticas (quadros e chapas de plástico reciclável contraventadas por estruturas metálicas)



Fonte: Adaptado (Coletânea de Ativos, 2008).

### 2.1.3.2 Concreto

A Associação Brasileira de Cimento Portland (Coletânea de Ativos 2007-2008) recomenda quatro tipos de concreto passíveis de utilização para o sistema paredes de concreto, apresentados pelo Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo das tipologias de concreto

Tipo	Descrição	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Tipologia usualmente utilizada
L1	Celular	1.500 a 1.600	Casas de até 2 pavimentos
L2	Com agregado leve	1.500 a 1.800	Qualquer tipologia
M	Com alto teor de ar incorporado	1.900 a 2.000	Casas de até 2 pavimentos
N	Convencional ou auto-adensável	2.000 a 2.800	Qualquer tipologia

Fonte: Adaptado (Coletânea de Ativos, 2008).

Entre os tipos de concreto apresentados, é recomendado o uso do concreto autoadensável para facilitar o preenchimento de toda a altura da forma. Ainda, como afirmar Braguim (2013), é dispensável a vibração desse concreto devido a sua grande fluidez e plasticidade.

Hoppen (2019, p. 15) complementa que *“Após a concretagem, é de extrema importância o controle da cura do concreto das paredes, com a finalidade de evitar o aparecimento de fissuras que podem comprometer a qualidade destas peças.”*

### 2.1.3.3 Armaduras

Com o objetivo de aumentar a produtividade no canteiro de obras, são utilizadas telas soldadas para o processo de armação das paredes de concreto. Além disso, é possível utilizar o sistema de telas soldadas de forma simples, onde apenas uma tela é posicionada ao longo do eixo longitudinal da parede, como mostra a Figura 6, ou em telas duplas posicionadas em cada face da parede, como mostra a Figura 7, obedecendo os cobrimentos previsto pelo projeto estrutural.

Figura 6 – Montagem das telas soldadas das paredes



Fonte: (Sampaio, 2012).

Figura 7 – Parede de concreto armado com tela dupla



Fonte: Adaptado (Coletânea de Ativos, 2008).

Armações em vergalhões também são utilizadas nesse sistema estrutural, entretanto, sua finalidade é distinta das telas soldadas. Braguim (2013) explica que os vergalhões são utilizados principalmente para reforço de regiões específicas, tais como entorno de aberturas, bordas livres, periferia de furos, vergas, ou regiões onde a tensão de tração seja alta e localizada.

## 2.2 TIPOS DE AÇÕES

Para a análise estrutural de uma edificação é indispensável conhecer os tipos de ações que podem atuar na estrutura e seus efeitos, pois como afirma Meneses (2013) a não quantificação de ações pode levar ao desenvolvimento de esforços e, eventualmente, ao comprometimento da estrutura em sua utilização e segurança.

Para isso, a norma NBR 6118 (2014) apresenta as ações em três categorias, sendo elas: permanentes, acidentais e excepcionais. Podendo ainda, serem classificadas em diretas e indiretas.

As ações diretas consistem em cargas verticais ou horizontais aplicadas à estrutura e que geram esforços globais a fim de serem equilibradas. Atuando de forma direta na estrutura é dado pela NBR 6118 (2014): o peso próprio dos elementos estruturais, o peso dos elementos construtivos fixos, as instalações permanentes, os empuxos permanentes, as cargas acidentais previstas para o uso da construção, a ação do vento e da água.

As ações indiretas, por outro lado, são deformações impostas e apenas geram esforços na estrutura se sujeitas a restrições de sua livre movimentação. Essas deformações impostas, como apresentado pela NBR 6118 (2014), podem ser originadas de diversos fatores, tais como: a retração, a fluência do concreto, os deslocamentos de apoio, as imperfeições geométricas, a protensão, as ações dinâmicas e variações uniformes e não uniformes de temperatura.

## 2.4 AÇÕES TÉRMICAS

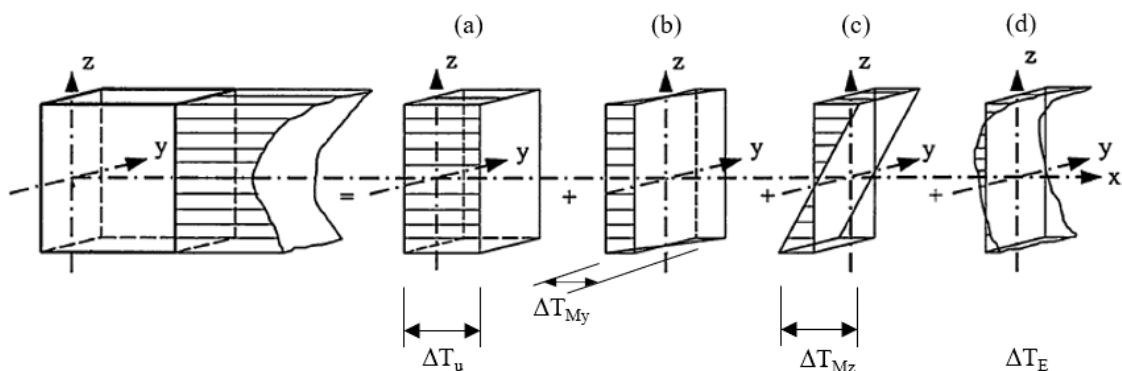
As ações térmicas, como previamente apresentadas, são consideradas pela norma NBR 6118 (2014) como ações variáveis indiretas e atuam na estrutura como deformações impostas, ainda, conforme recomendações da norma NBR 16055 (2012) devem ser consideradas no dimensionamento de estruturas de paredes de concreto.

Segundo Dal Molin (1988), as estruturas em concreto estão sujeitas ao efeito térmico, sejam por influências internas, como o calor de hidratação do cimento ou por influências externas, como as variações de temperatura causadas por condições ambientes ou incêndios. Ghali, Favre e Elbadry (2020) afirmam que essas ações térmicas podem provocar as situações mais críticas de esforços na estrutura e devido a isso, é imprescindível a análise de seus efeitos no dimensionamento.

Conforme apresentado por EN 1991-1-5 (2003), o comportamento das ações térmicas em uma seção transversal de concreto pode ser separado em quatro componentes essenciais (Figura 8), sendo eles:

- Varição Uniforme de Temperatura,  $\Delta T_u$ ;
- Varição Linear de Temperatura em torno do eixo z-z (em direção ao eixo y),  $\Delta T_{My}$ ;
- Varição Linear de Temperatura em torno do eixo y-y (em direção ao eixo z),  $\Delta T_{Mz}$ ;
- Distribuição Não-Linear de Temperatura,  $\Delta T_E$ .

Figura 8 – Representação diagramática dos componentes constituintes de um perfil de temperatura

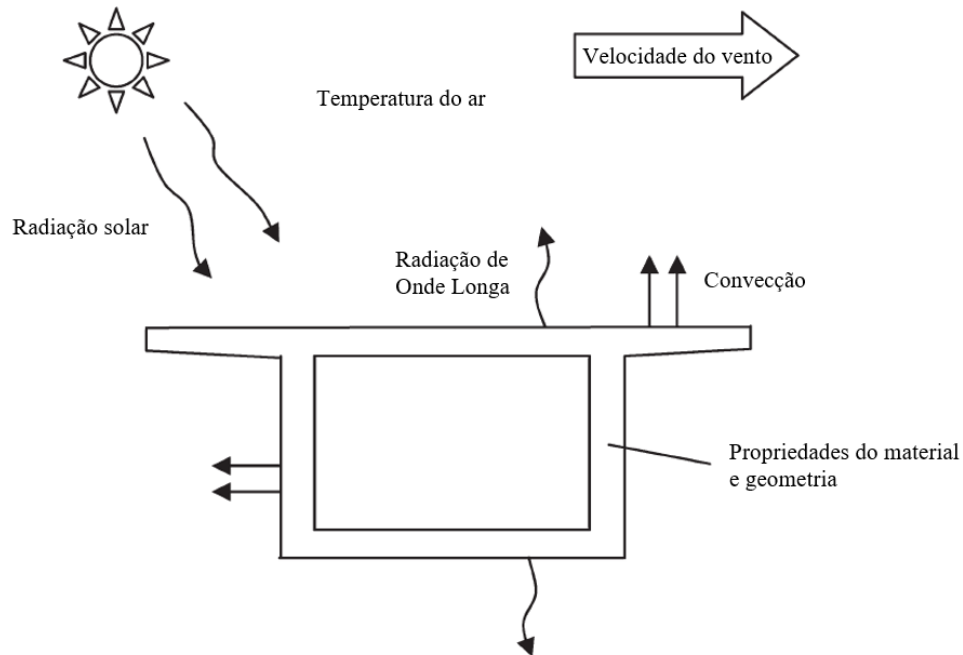


Fonte: Adaptado (EN 1991-1-5, 2003, p. 15).

As variações lineares de temperaturas serão tratadas no presente estudo como variações gradientes lineares de temperatura.

Larsson (2009) ressalta que a temperatura ambiente, a radiação solar e os raios infravermelhos (Figura 9) são os fatores ambientais que mais influenciam no comportamento dos perfis de temperatura. De modo que a temperatura ambiente é a principal responsável pela variação de temperatura espacial de toda a estrutura, sendo tomada como um valor representativo anual de temperatura local e dada pela componente de variação uniforme de temperatura ( $\Delta T_u$ ), já a radiação solar e os raios infravermelhos são os principais fatores geram as variações gradientes de temperatura ( $\Delta T_M$ ), resultantes da exposição solar de parte da edificação por períodos relativamente curtos.

Figura 9 – Fatores térmicos que afetam a seção transversal de uma ponte



Fonte: Adaptado (Larsson, 2009).

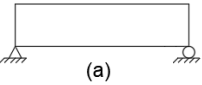




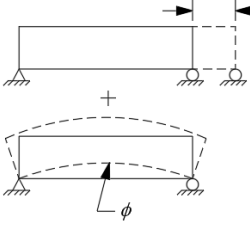
Como explicam O'Brien, Keogh e O'Connor (2015) o efeito da variação uniforme de temperatura ( $\Delta T_u$ ) resulta em uma expansão ou contração axial da peça e o efeito da variação gradiente linear de temperatura ( $\Delta T_M$ ) induz o movimento de curvatura. Apenas quando essas movimentações são restringidas é que as tensões térmicas se desenvolvem.

Laranjeiras (2017) ressalta que essas tensões térmicas ocorrem especialmente em edifícios de concreto, em que o sistema altamente hiperestático restringe a livre movimentação dos elementos estruturais e afirma que:

As variações uniformes de temperatura  $\Delta T_u$  provocam variações de comprimento nas peças, e, no caso de haver restrições, geram forças axiais de compressão em caso de elevação de temperatura ou forças axiais de tração em abaixamento de temperatura. As variações lineares de temperatura  $\Delta T_M$  provocam encurvamentos nas peças, e, no caso de haver restrições, geram momentos fletores. (LARANJEIRAS, 2017, p. 28).

Além disso, em uma edificação, os elementos estruturais podem estar sob influência de diferentes componentes de um perfil térmico e de acordo com Radolli e Green (1975) é possível analisar separadamente cada componente como uma ação térmica distinta, onde ao somar suas resultantes é obtido o efeito térmico total, mostrado pela Figura 10.

Figura 10 – Efeitos de diferentes variações de temperatura

GRADIENTE POSITIVO		
ESTRUTURA	DIST. TEMP.	EFEITO TÉRMICO INDUZIDO
 <p>(a)</p>		 <p>EXPANSÃO AXIAL</p>
 <p>(b)</p>		 <p>EXPANSÃO AXIAL</p> <p>CURVATURA</p>

Fonte: Adaptado (Radolli e Green, 1975).

A norma NBR 6118 (2014, p. 62 e 63) recomenda valores genéricos para as variações uniformes de temperatura ( $\Delta T_u$ ), de modo que:

- para elementos estruturais cuja menor dimensão não seja superior a 50 cm, deve ser considerada uma oscilação de temperatura em torno da média de 10 °C a 15 °C;
- para elementos estruturais maciços ou ocos, com os espaços vazios inteiramente fechados, cuja menor dimensão seja superior a 70 cm, admite-se que essa oscilação seja reduzida respectivamente para 5 °C a 10 °C;
- para elementos estruturais cuja menor dimensão esteja entre 50 cm e 70 cm, admite-se que seja feita uma interpolação linear entre os valores acima indicados.

Laranjeiras (2017) sugere que independente das dimensões das peças, é recomendável utilizar em toda a estrutura uma variação uniforme de temperatura de  $\pm 15$  °C, simplificando a aplicação das cargas térmicas sem influenciar na segurança estrutural.

Além da variação de temperatura, outro fator determinante para o comportamento das ações térmicas é o coeficiente de dilatação térmica do concreto ( $\alpha_c$ ), o qual é definido por Mehta e Monteiro (2014, p. 114) como uma “[...] variação unitária de comprimento dado pela variação de (um) grau de temperatura.”

Segundo Neville e Brooks (2013) o coeficiente de dilatação térmica é dependente da composição do concreto e do nível de umidade no instante da variação de temperatura. Além disso, Dal Molin (1988) ressalta que os principais constituintes do concreto, a pasta de cimento



e o agregado, possuem diferentes coeficientes térmicos e por isso, quando misturados em determinadas proporções alteram o valor final desse coeficiente.

Devido à complexidade gerada pelos diversos tipos de agregados e as muitas influências sobre a pasta de cimento, a NBR 6118 (2014) estabelece simplificada para fins de análise estrutural o valor do coeficiente de dilatação térmica do concreto como sendo igual a  $10^{-5} / ^\circ \text{C}$ .

Visto que uma variação de temperatura pode provocar alteração nas dimensões de um elemento em função do coeficiente de dilatação térmica do material, Hibbeler (2010) expressa essa deformação imposta através das Equações 1, 2 e 3:

$$\delta_T = \alpha \Delta T L \quad (1)$$

Como:

$$\varepsilon_T = \frac{\delta_T}{L} \quad (2)$$

Substituindo  $\delta_T$  da Equação 1 na Equação 2, obtém-se:

$$\varepsilon_T = \alpha \Delta T \quad (3)$$

Onde:

$\alpha$  = coeficiente de dilatação térmica do concreto;

$\Delta T$  = variação na temperatura do elemento;

$L$  = comprimento inicial do elemento;

$\delta_T$  = variação no comprimento do elemento;

$\varepsilon_T$  = deformação térmica.

A partir da deformação térmica, obtém-se a tensão térmica atuante na peça dada por Hibbeler (2010) pela Equação 4 e 5:

$$\sigma_T = E \varepsilon_T \quad (4)$$

Substituindo a Equação 3 em 4, obtém-se a tensão térmica atuante na peça em função da variação de temperatura e do coeficiente de dilatação térmica do material:

$$\sigma_T = E\alpha\Delta T \quad (5)$$

Onde:

$\sigma_T$  = tensão térmica;

$A$  = área da seção transversal da peça;

$E$  = módulo de elasticidade;

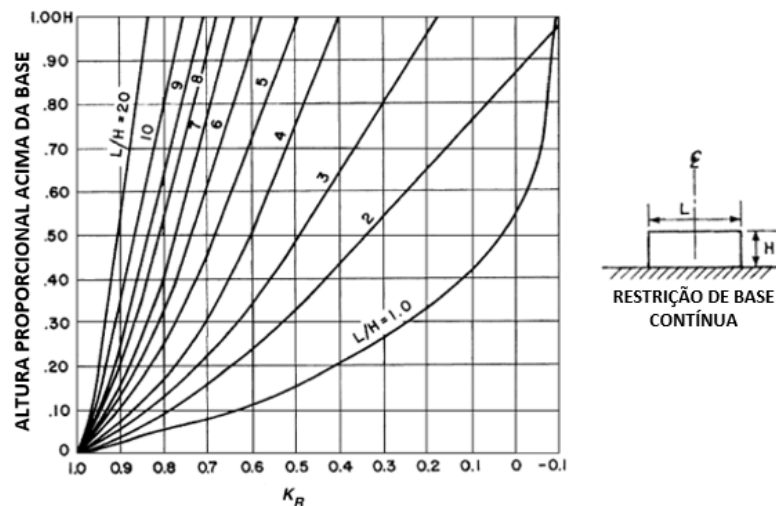
$N$  = força normal à seção transversal da peça.

De acordo com Isaia (2011) a livre movimentação do concreto faz com que não se desenvolvem tensões decorrentes das variações de temperatura. Contudo, o concreto sempre estará em estado restringido, seja de forma externa, dada pela ligação da estrutura com a fundação e/ou demais estruturas ou de forma interna, através de deformações diferenciais, ligações do concreto com a armadura ou sua coesão própria.

Mehta e Monteiro (2014) explicam que o grau de restrição é a representação do quanto a estrutura se encontra restringida e apresentam o exemplo de uma fundação rígida, onde o grau de restrição é total ( $K_R = 1$ ) e ao passo que a distância entre a interface com a fundação aumenta essa restrição diminui.

A ACI 207.2R-07 (2007) apresenta este mesmo parâmetro como fator de restrição de forma estrutural e explica que a restrição em um elemento estrutural é variável em função da relação comprimento-largura ( $L/H$ ) da peça e pode ser obtido através do gráfico apresentado pela Figura 11.

Figura 11 – Efeitos de diferentes variações de temperatura



Fonte: Adaptado (ACI Committee 207, Cooling Mass Concrete, 1998).

A tensão resultante da variação de temperatura em função do grau de restrição da estrutura é apresentada por Mehta e Monteiro (2014) através da Equação 6, onde já conhecido o coeficiente de fluência, tem-se:

$$\sigma_T = K_r \frac{E}{1 + \varphi} \alpha \Delta T \quad (6)$$

Onde:

$\sigma_T$  = tensão térmica;

$K_r$  = grau de restrição;

$E$  = módulo de elasticidade;

$\alpha$  = coeficiente de dilatação térmica do concreto;

$\Delta T$  = variação de temperatura;

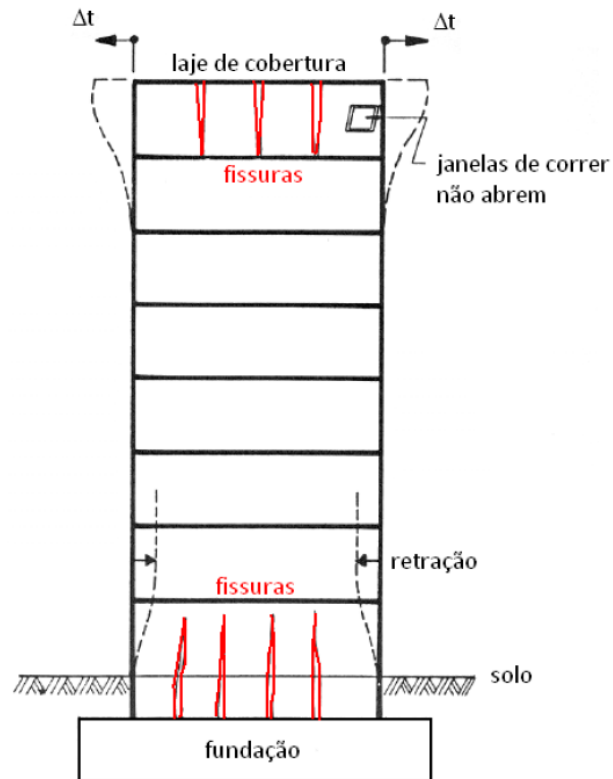
$\varphi$  = coeficiente de fluência do concreto.

Como apresentado por Thomaz e Carneiro (2013), as tensões térmicas em estruturas de paredes de concreto desenvolvem-se principalmente junto à fundação e no pavimento de cobertura da edificação, como mostra a Figura 12.

A hidratação do cimento é uma reação química exotérmica, assim, durante os primeiros dias, as paredes de concreto passam por um processo de resfriamento que aliado aos fenômenos de retração, tendem a reduzir o seu volume. Esse encurtamento é parcialmente impedido pelo elemento de fundação, gerando assim, elevadas tensões de tração na base das paredes. Nos demais pavimentos, todos os encontros entre elementos (paredes e lajes), também funcionam como restrições à livre movimentação, assim, especialmente nas lajes que são elementos contínuos de grande extensão, podem existir tensões de tração provocadas pela restrição ao movimento da retração.

Já no pavimento de cobertura, a incidência dos raios solares faz com que ocorra um aumento de temperatura na laje de cobertura e essa por sua vez, tende a se dilatar. Devido ao sistema parede-laje ser monolítico, esse movimento de expansão é transferido para as paredes do pavimento em forma de esforços horizontais que podem resultar em tensões de tração.

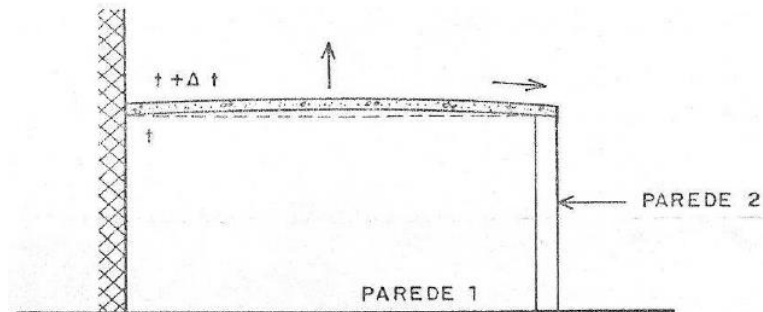
Figura 12 – Caso de fissuração vertical junto à fundação e à laje de cobertura em paredes de concreto em edifícios



Fonte: (Thomaz e Carneiro, 2013).

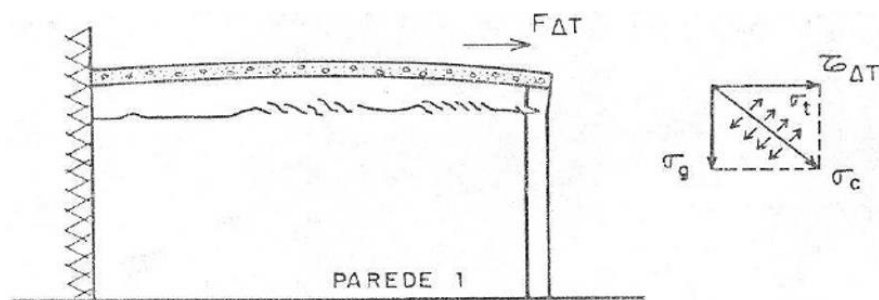
Além disso, Casotti (2007) ressalta que as movimentações térmicas ocorrem de forma mais brusca e com maior intensidade nas faces superiores das lajes de cobertura devido às diferenças de temperaturas entre faces, como mostra a Figura 13. Com isso, a combinação entre a temperatura ambiente em que a laje se encontra e a incidência solar, provocando uma variação térmica gradiente, acarreta no desenvolvimento de tensões de tração e cisalhamento nas paredes da edificação, ilustrado pelas Figuras 14 e 15.

Figura 13 – Movimentações que ocorrem numa laje de cobertura, sob ação da elevação de temperatura



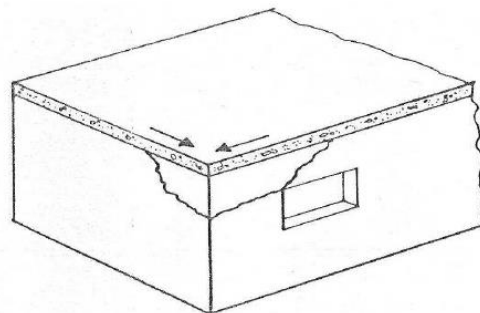
Fonte: (Thomaz, 1989)

Figura 14 – Trincas típicas presente no topo da parede paralela ao comprimento da laje, a direção das fissuras, perpendiculares às resultantes de tração ( $F\Delta T$ ), indica o sentido da movimentação térmica



Fonte: (Thomaz, 1989).

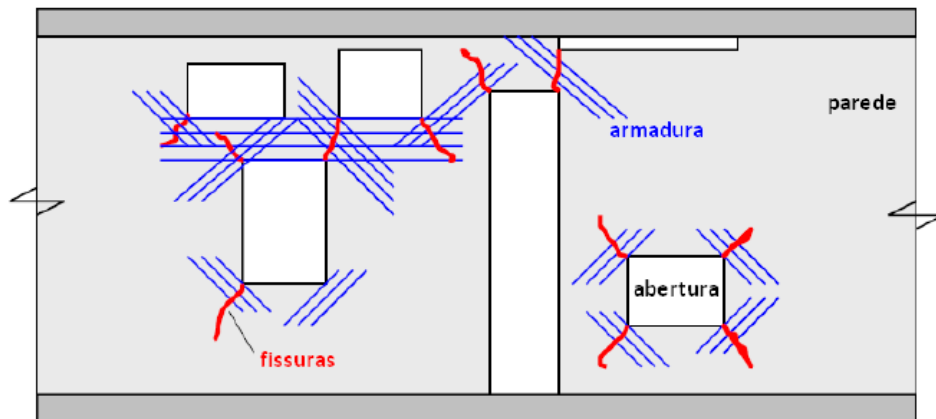
Figura 15 – Fissura de cisalhamento provocada por expansão térmica da laje de cobertura



Fonte: (Thomaz, 1989).

As tensões térmicas afetam também as aberturas de esquadrias de portas e janelas, onde, segundo Thomaz e Carneiro (2013), devido aos efeitos de retração e resfriamento do concreto, há uma concentração de tensões de tração junto aos cantos das aberturas, ilustrado pela Figura 16.

Figura 16 – Caso de fissuração inclinada em paredes de alvenaria de prédio de concreto armado



Fonte: (Thomaz e Carneiro, 2013)

## 2.5 RETRAÇÃO

A norma NBR 6118 (2014) categoriza a retração como uma ação permanente indireta a qual atua de forma semelhante à variação uniforme de temperatura, ou seja, como deformação imposta nos elementos estruturais. Meneses (2013) adverte que é de suma importância a avaliação dos efeitos da retração frente ao Estado Limite de Serviço (ELS), visto que o impedimento das deformações impostas podem produzir tensões de tração superiores à resistência a tração do concreto.

A retração é apresentada por Laranjeiras (2017, p. 32) como:

Retração é uma redução de volume do concreto, que se configura nos elementos lineares estruturais pela redução de seu comprimento, progressiva com o passar do tempo, e que se realiza mesmo sem ação de forças externas e sem variação de temperatura, dependendo, exclusivamente, da perda de umidade do concreto ou de sua água livre.

O processo de retração ocorre desde o início da vida de uma estrutura, quando o concreto ainda se encontra em estado fresco e continua seu desenvolvimento mesmo após o estado endurecido, como explicado por Recena (2014). Com isso, é possível segmentar o processo de retração em cinco componentes distintos, sendo eles: retração plástica, química, térmica, por carbonatação e hidráulica.

A retração plástica, segundo Souza e Ripper (1998) ocorre enquanto o concreto ainda se encontra em estado fresco. Esse fenômeno origina-se da evaporação da água próxima às superfícies livres dos elementos de concreto, onde, a água destinada ao processo de hidratação da pasta de cimento é perdida para o ambiente, resultando em uma redução de volume da peça, perda de resistência e possível ocorrência de fissuras.

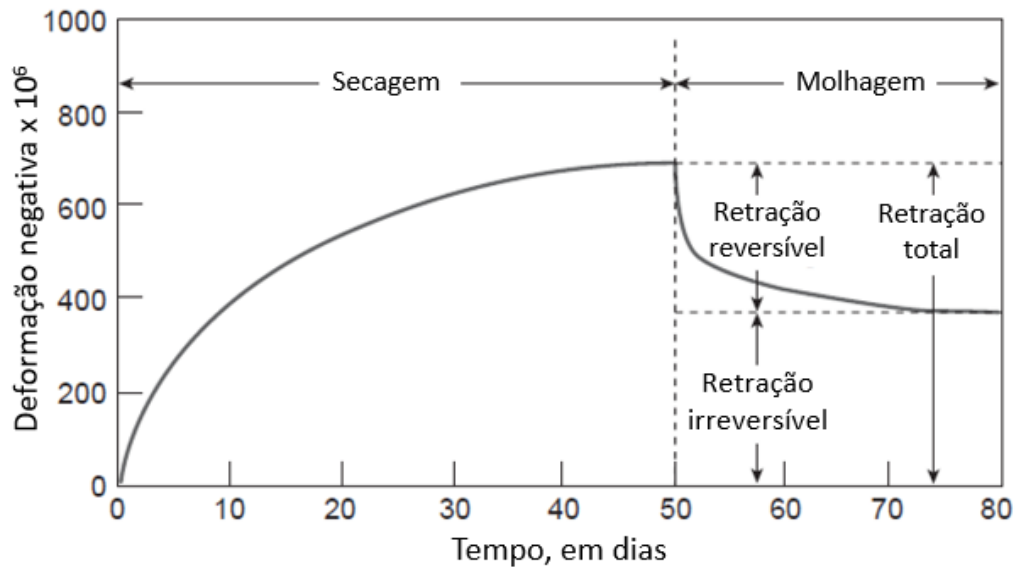
A retração química ou autógena é um processo natural e inevitável, o qual se desenvolve logo após o lançamento do concreto. De acordo com Recena (2014), durante os primeiros dias a água presente nos poros e na superfície sólida da pasta é consumida através da reação de hidratação. Essa reação gera o aumento da resistência do concreto, aumentando e aproximando os cristais de C-S-H pela redução de porosidade, e com isso, também ocorre a redução no volume do concreto.

A retração térmica ocorre logo nos primeiros dias, devido ao processo de cura do concreto. Segundo Machado (2016), as reações de hidratação da pasta de cimento geram um aumento de temperatura no concreto, levando-o a uma expansão. À medida que essa geração de calor diminui progressivamente o concreto inicia um processo de resfriamento e com isso ocorre a redução de seu volume.

A retração por carbonatação é um processo que ocorre ao longo do tempo e segundo Recena (2014) decorre da reação entre o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{HO})_2$ ) presente no concreto, e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), presente no ar. Como produto dessa reação, tem-se o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e a evaporação da água da solução, gerando uma diminuição no volume da pasta de cimento.

A retração hidráulica ou por secagem ocorre com o concreto em estado endurecido, sendo um processo duradouro, levando anos a se estabilizar. Neville e Brooks (2013, p. 234) explicam que *“a saída da água do concreto endurecido mantido ao ar não saturado causa a retração por secagem”*. Ainda, esse fenômeno apresenta uma parcela de deformação reversível e outra irreversível (Figura 17), devido aos ciclos de molhagem-secagem do concreto.

Figura 17 – Componente reversível e irreversível da deformação por retração



Fonte : Adaptado (Mehta e Monteiro, 2014, p, 100).

A norma NBR 6118 (2014) apresenta valores finais para a deformação específica de retração hidráulica do concreto ( $\epsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0)$ ), em função da umidade média ambiente e da espessura fictícia da peça, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Valores característicos superiores da deformação específica de retração  $\epsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0)$

Umidade média ambiente %		40		55		75		90	
Espessura fictícia $2A_c/u$ cm		20	60	20	60	20	60	20	60
$\epsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0)$ ‰	$t_0$ dias	5	-0,53 -0,47	-0,48 -0,43	-0,36 -0,32	-0,18 -0,15			
	30		-0,44 -0,45	-0,41 -0,41	-0,33 -0,31	-0,17 -0,15			
	60		-0,39 -0,43	-0,36 -0,40	-0,30 -0,31	-0,17 -0,15			

Fonte: Adaptado (NBR 6118, 2014, p. 28).

Laranjeiras (2017) explica que a deformação específica de retração pode ser considerada de forma similar ao efeito da variação uniforme de temperatura, ou seja, quando a peça está sob influência da retração e sofre restrição ao movimento de encurtamento, são desenvolvidas



tensões de tração no elemento estrutural. Com isso, pode-se utilizar a Equação 3, apresentada anteriormente, para se obter um valor de variação de temperatura ( $\Delta T$ ) correspondente à deformação específica de retração ( $\varepsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0)$ ) em função do coeficiente de dilatação térmica do concreto ( $\alpha$ ).

## 2.6 FORMAÇÃO DE FISSURA

Em estruturas de concreto armado o surgimento de fissuras é um problema relativamente frequente e pode causar diversos danos às edificações. Segundo Nakamura e Pinto (2017) esse tipo de patologia além de transmitir insegurança aos usuários, reduz a durabilidade da estrutura tornando-a suscetível a entrada de agentes agressivos que danificam o concreto e provocam a corrosão das armaduras.

Filho e Carmona (2013) explicam que os esforços mais comuns e que acarretam a formação de fissuras são aqueles que desenvolvem tensões de tração na estrutura. Sabendo disso, a norma NBR 6118 (2014, p. 5) estabelece que o “*Estado-limite de formação de fissuras ELS-F é o estado em que se inicia a formação de fissuras. Admite-se que este estado-limite é atingido quando a tensão de tração máxima na seção transversal for igual a  $f_{ct,f}$* ”.

A NBR 6118 (2014, p. 23) apresenta diretrizes para o cálculo da resistência à tração do concreto, onde na falta de ensaios para obtenção da resistência à tração indireta ( $f_{ct,sp}$ ) e da resistência à tração na flexão ( $f_{ct,f}$ ), a resistência à tração pode ser avaliada em seu valor médio ou característico ( $f_{ct,m}$ ) pelas Equações 7 e 8.

Para concretos de classes até C50:

$$f_{ct,m} = 0,3f_{ck}^{2/3} \quad (7)$$

Para concretos de classes C55 até C90:

$$f_{ct,m} = 2,12 \ln(1 + 0,11f_{ck}) \quad (8)$$

Ainda, é estabelecido um limite máximo e mínimo para a resistência à tração característica do concreto, sendo apresentados pelas Equações 9 e 10.

$$f_{ctk,sup} = 1,3f_{ct,m} \quad (9)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7f_{ct,m} \quad (10)$$

Onde:

$f_{ct,m}$  e  $f_{ck}$  são expressos em megapascal (MPa).

A norma em sua seção 17.3.1 indica que para o estado-limite de formação de fissuras, o quantil a ser utilizado para análises é o valor de  $f_{ctk,inf}$ , comparando-o à tensão de tração atuante na estrutura é possível identificar se ocorrerá fissuração na peça.

As formações de fissuras em estruturas de concreto armado são verificadas conforme a seção 11.8.3 da norma NBR 6118 (2014, p. 68) através das combinações frequentes e raras de serviço. Essas combinações são apresentadas pelas Equações 11 e 12.

Combinações frequentes de serviço (CF):

$$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \sum \psi_{2j} F_{qjk} \quad (11)$$

Combinações raras de serviço (CR):

$$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + F_{q1k} + \sum \psi_{1j} F_{qjk} \quad (12)$$

Onde:

$F_{d,ser}$  = valor de cálculo das ações para combinações de serviço;

$F_{q1k}$  = valor característico das ações variáveis principais diretas;

$\psi_1$  = fator de redução de combinação frequentes para ELS;

$\psi_2$  = fator de redução de combinação quase permanente para ELS.

### 3 METODOLOGIA

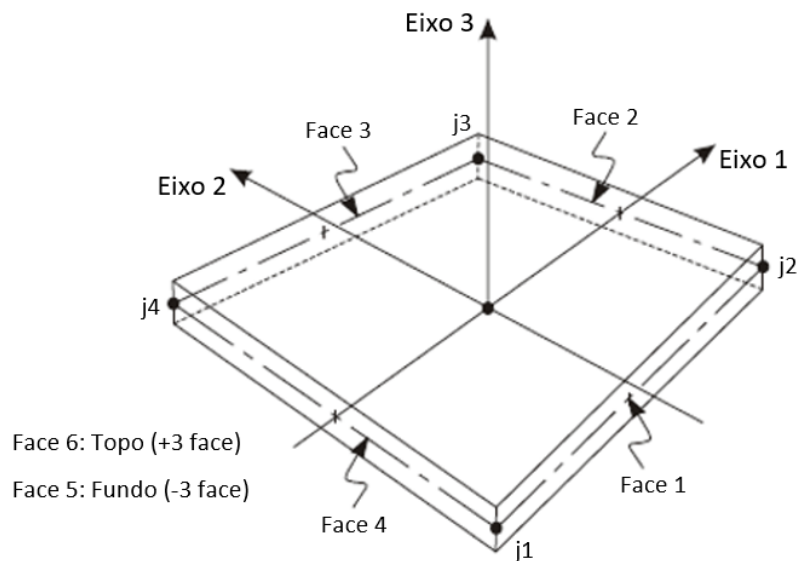
O presente estudo buscou analisar o comportamento das tensões nas paredes de concreto e laje de cobertura frente aos diferentes carregamentos térmicos e ação de retração, verificando-se a possível formação de fissuras nos elementos estruturais.

O edifício foi modelado e analisado no *software* de elementos finitos SAP 2000 V18. Para todos os casos de carregamentos, as análises adotadas foram elásticas lineares.

Foram considerados apoios com restrição de translação em todas as direções dos nós da base das paredes do primeiro pavimento, não levando em consideração os efeitos da interação solo-estrutura (ISE).

Para a modelagem, foram adaptadas as dimensões em planta da edificação proposta e discretizadas todas as paredes de concreto e lajes como elementos de casca (*shell*). Conforme o CSI Analysis Reference Manual (2016) o elemento de casca é um objeto do tipo área, utilizado para modelagem de membranas, chapas e comportamentos de casca em estruturas planas e tridimensionais. Como ilustra a Figura 18, o elemento de casca é constituído por três ou quatro nós e conta com um sistema de coordenadas local. Esse sistema de coordenadas possui três eixos de orientação local, sendo eles, eixo 1, eixo 2 e eixo 3.

Figura 18 – Conectividade das articulações dos elementos de área e definições de faces

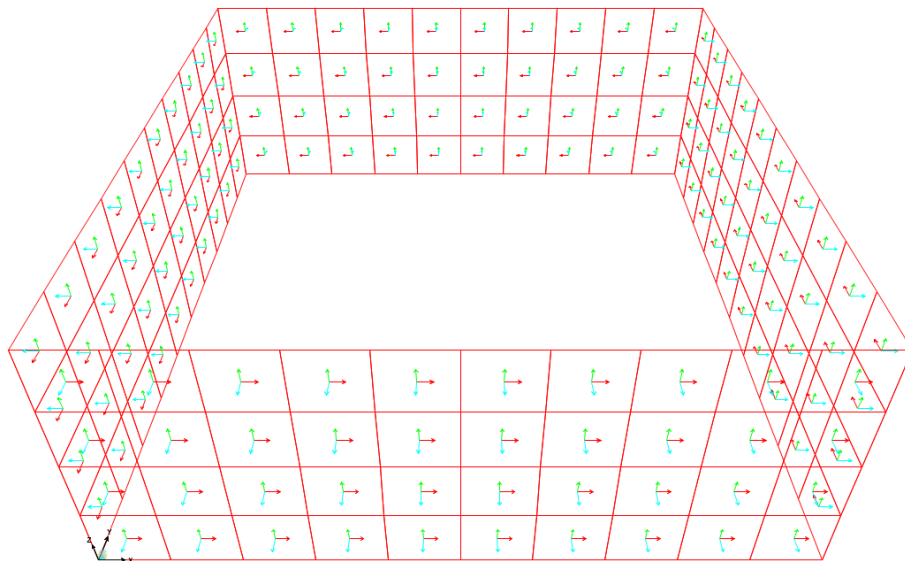


Elemento de Casca Quadrilátero de Quatro-nós

Os eixos locais 1-2-3 dos elementos de casca das lajes foram orientados com a mesma direção e sentido que os eixos globais X-Y-Z respectivamente. Essa orientação de eixos é usual para lajes, visto que a aplicação dos carregamentos se torna intuitiva por coincidir o eixo local 3 (normal ao plano XY) com o eixo global Z.

Por sua vez, as paredes da estrutura foram separadas em dois grupos, sendo eles, paredes externas e internas. Desse modo, para a modelagem das paredes externas, foi adotada a orientação do eixo local 3 sempre para o exterior da edificação como ilustrado pela Figura 19, onde o eixo local 3 é representado pela cor azul. Essa orientação tem como objetivo permitir o correto funcionamento das cargas térmicas gradiente lineares nas paredes, visto que esse carregamento é diretamente dependente da direção e sentido do eixo normal do elemento de casca.

Figura 19 – Orientação dos eixos locais das paredes externas



Fonte: Autor.

Ainda, para as paredes internas da edificação, onde não foram utilizadas cargas térmicas gradiente lineares, foi adotado para todas as paredes do plano XZ a orientação de eixos locais 1-2 correspondentes aos eixos globais X-Z, com o eixo local 3 tendo a mesma direção do eixo global Y, porém sentido contrário. Para as paredes do plano YZ, foi adotado a orientação dos eixos locais 1-2-3 com a mesma direção e sentido dos eixos globais Y-Z-X.

Com o auxílio das normas NBR 6118 (2014) e NBR 6120 (2019) foram definidos todos os carregamentos permanentes, acidentais, de temperatura e retração a serem utilizados no modelo estrutural, não sendo considerada a ação do vento para as análises.

Para verificação do estado-limite de formação de fissuras (ELS-F), adotou-se apenas combinações raras de serviço, visto que o fator de redução  $\psi_1$  se aplica apenas às ações variáveis secundárias, mantendo assim, o valor integral da ação variável principal e, conseqüentemente, proporcionando uma situação mais desfavorável. A verificação para a formação de fissuras foi adotada por estas funcionarem como um caminho para o ingresso de umidade na edificação e, por isso, devem ser evitadas.

Para a verificação do ELS-F foi calculado e utilizado como parâmetro limitador o valor da resistência inferior à tração do concreto ou  $f_{ctk,inf}$ , dado pela norma NBR 6118 (2014) como uma tensão dependente da classe do concreto adotado. Dessa forma, com o modelo estrutural processado foi limitada a faixa de contorno dos resultados para tensões apenas de tração, tendo como valor máximo a tensão limite para a formação de fissuras. A limitação da faixa de contorno permitiu a visualização precisa das regiões onde o valor de  $f_{ctk,inf}$  foi ultrapassado, ou seja, onde há a tendência de ocorrer fissuração.

Essa análise foi realizada para quatro paredes pré-determinadas, onde foi aplicado o carregamento térmico, e para toda a laje de cobertura da edificação.

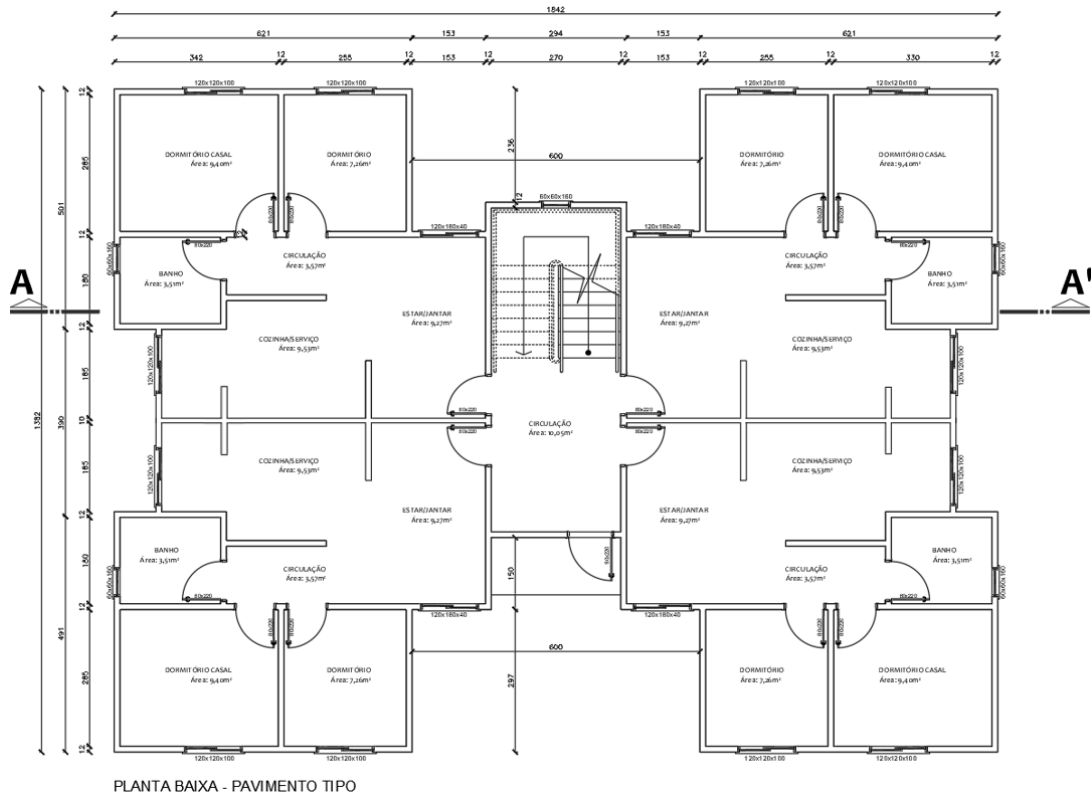
### 3.1 EDIFICAÇÃO ANALISADA

A edificação analisada neste estudo é um prédio multifamiliar de três pavimentos tipo, tendo uma área total em planta de 210,06 m<sup>2</sup>. Os pavimentos tipo, apresentados na Figura 20, são constituídos de quatro apartamentos espelhados além de áreas de uso comum, tornando a arquitetura da edificação simétrica, prática frequente em estruturas com paredes de concreto armado moldadas *in loco*. A distância de entrepisos é de 2,70 m e a altura total é de 8,10 m, como mostra o corte AA' na Figura 21.

A estrutura do edifício é constituída de paredes de concreto armado moldadas *in loco* com espessura de 12 cm e lajes maciças de concreto armado com espessura de 10 cm. Ainda, foi considerado em todas as lajes de áreas privativas o uso de forro de gesso acartonado.

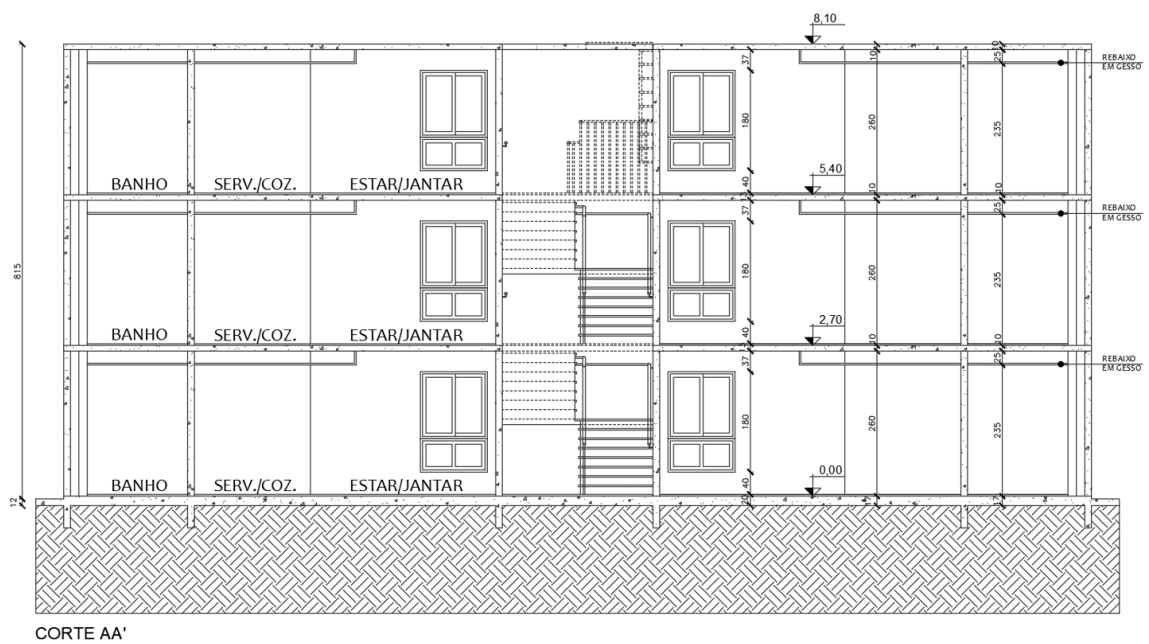
A edificação analisada teve suas principais características preservadas, contudo, para simplificar a modelagem numérica foi necessário adaptar a geometria para medidas múltiplas de 20 cm. Desse modo, a estrutura foi modelada sem que houvesse alterações significativas, permitindo a validade dos resultados obtidos.

Figura 20 – Planta baixa da arquitetura



Fonte: Autor.

Figura 21 – Corte AA'



Fonte: Autor.

### 3.2 VARIAÇÃO TÉRMICA E RETRAÇÃO DO CONCRETO

Para o presente estudo, foram consideradas as cargas térmicas referentes a temperatura ambiente e a incidência solar na edificação.

A temperatura ambiente é altamente influenciada pela sazonalidade, onde, em períodos de verão são atingidas as máximas temperaturas e nos invernos, as mínimas. Devido a variação de temperatura entre os períodos de inverno e verão, foram considerados os casos de temperatura ambiente para as duas estações, onde foi adotado um valor negativo para épocas de inverno e positivo para os períodos de verão.

A temperatura ambiente foi aplicada de maneira uniforme em todos os elementos da edificação, considerando de maneira hipotética que toda a estrutura foi executada em um mesmo período, com uma temperatura média única em todos os elementos. Desse modo, as temperaturas ambientes de verão-inverno foram aplicadas de maneira equivalente, mudando apenas o sinal, com valor positivo para aumento de temperatura provocando expansão nos elementos e valor negativo para o resfriamento, com conseqüente encurtamento.

Outro fator que influencia na variação térmica de uma edificação é a incidência dos raios solares ao longo do dia. Esse modo de aquecimento gera uma variação de temperatura no elemento estrutural, onde a face exposta ao sol apresenta uma temperatura mais elevada do que a face não exposta, resultando em um gradiente térmico ao longo da espessura dos elementos.

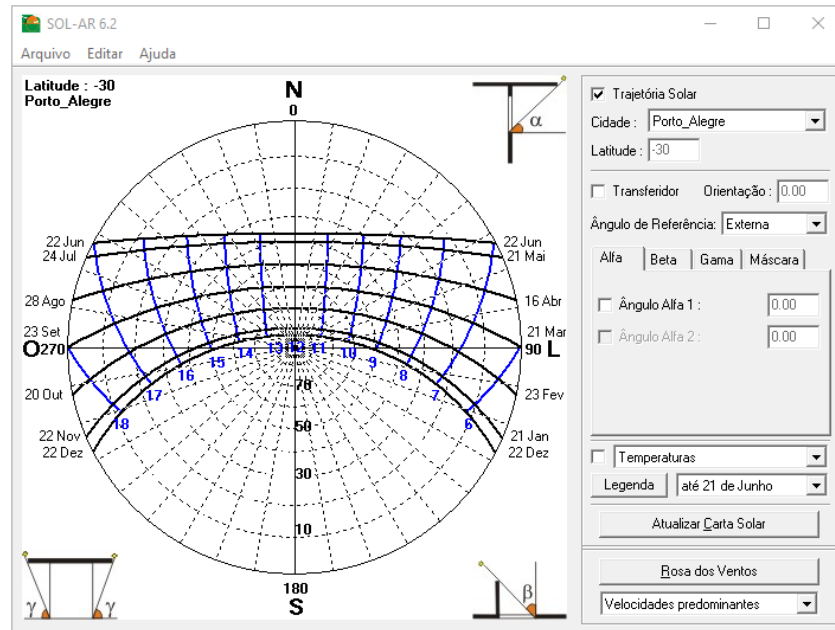
Essa variação de temperatura foi considerada como uma carga térmica gradiente linear na estrutura, sendo adotado para este estudo que a variação térmica entre faces se dá de forma linear ao longo da espessura da peça. Além disso, foi utilizado apenas um valor positivo para essa variação de temperatura, visto que essa carga térmica é referente ao aquecimento da estrutura.

Como os raios solares atingem a edificação de forma desigual, realizou-se um estudo a fim de representar uma situação real de incidência solar e, por conseqüência, de aquecimento térmico. Com o auxílio do *software* SOL-AR, foi gerada a Carta Solar da cidade de Porto Alegre, como mostra a Figura 22, assim, a partir do posicionamento da edificação, foi analisado o período de insolação de todas as paredes externas.

Com isso, foi possível compreender que as paredes da face Nordeste e Noroeste, ilustradas pela Figura 23 apresentam o mesmo período de insolação e, portanto, devem ser submetidas a carga térmica gradiente linear.

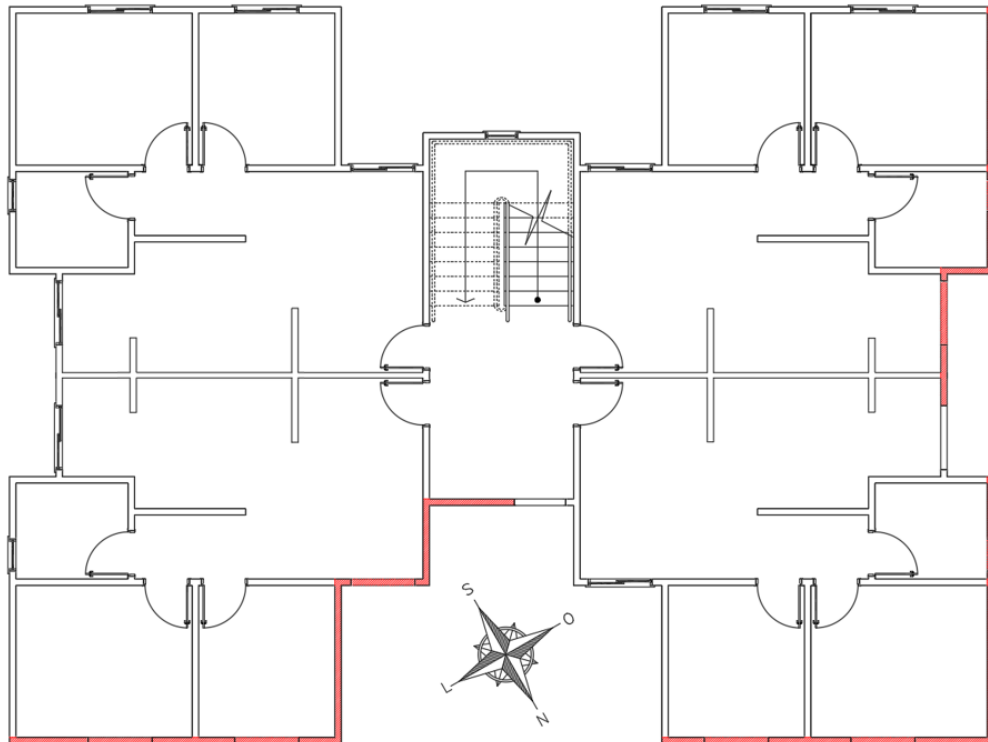
As lajes de cobertura estão sob incidência solar durante todo o período de exposição, assim, foi aplicada também a carga térmica gradiente linear em toda a cobertura da edificação.

Figura 22 – Carta Solar da cidade de Porto Alegre



Fonte: Autor.

Figura 23 – Incidência solar nas paredes externas da edificação



Fonte: Autor.



Para a retração, optou-se por utilizar um método bastante simples de aplicação, onde a partir do coeficiente de dilatação térmica do concreto é possível obter uma variação de temperatura equivalente à deformação específica de retração. Com isso, a retração foi considerada como uma carga térmica constante ao longo da espessura da peça e com valor negativo, reproduzindo o mesmo efeito de encurtamento da estrutura que a deformação imposta produziria.

Além disso, como a principal causa da retração do concreto é a perda de água e o endurecimento do concreto, toda a estrutura está sujeita a esse fenômeno. Logo, foi considerado em todas as paredes e lajes da edificação esse efeito de encurtamento das peças. Por ser um fenômeno inerente ao material concreto e irreversível, a retração foi considerada como um carregamento permanente indireto aplicado em todas as combinações de ações testadas.

### 3.3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Como todos os elementos estruturais da edificação analisada são em concreto armado, foram utilizados os critérios definidos pela norma NBR 6118 (2014). O concreto armado, de  $f_{ck}$  igual a 30 MPa conta com um peso específico de 25 kN/m<sup>3</sup>, módulo de elasticidade secante de 27 GPa, coeficiente de Poisson de 0,20, coeficiente de dilatação térmica de  $1,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e módulo de elasticidade transversal de 12,92 GPa.

### 3.4 DISCRETIZAÇÃO

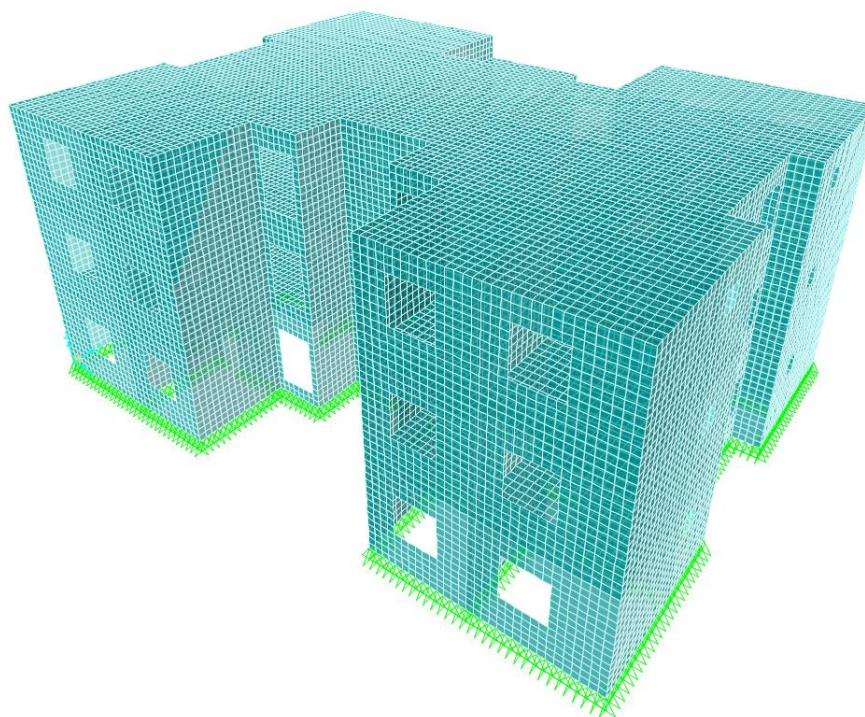
Para a modelagem da edificação, como citado no item 3.1, foi necessário adaptar a geometria da edificação a fim de simplificar a modelagem numérica e a discretização dos elementos estruturais.

Com o *software* de elementos finitos SAP 2000 V.18 foram utilizados elementos de casca fina (*shell-thin*) quadriláteros para a modelagem das paredes e lajes. A malha adotada para toda a estrutura possui 20 x 20 cm permitindo uma conexão precisa entre os nós gerados pela malha, além de possibilitar a modelagem das aberturas de esquadrias da edificação. Ao todo foram gerados 49.160 elementos de casca pela discretização completa da estrutura.

Como condições de contorno foram utilizados em todos os nós da base da edificação somente restrições de translação, impedindo os deslocamentos em todas as direções.

A Figura 24 mostra uma vista 3D da edificação discretizada.

Figura 24 – Modelo discretizado no software SAP2000



Fonte: Autor.

### 3.5 CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES

Para a edificação em estudo foram considerados os carregamentos permanentes e variáveis como prescreve a norma NBR 6120 (2019). Os pavimentos tipo contam com um carregamento permanente aplicado nas lajes de  $1,0 \text{ kN/m}^2$  decorrente do contrapiso e  $0,25 \text{ kN/m}^2$  proveniente do forro de gesso acartonado. O carregamento variável aplicado nas lajes foi estabelecido em conformidade com a categoria de ocupação do ambiente, desse modo, foi adotado  $3,0 \text{ kN/m}^2$  para áreas de uso comum, corredores e escada, para a área de serviço e lavanderia foi utilizado  $2,0 \text{ kN/m}^2$  e para os ambientes restantes  $1,5 \text{ kN/m}^2$ .

Para a laje de cobertura, foram definidos os mesmos carregamentos permanentes dos pavimentos tipo, contudo, o carregamento variável utilizado é referente a cobertura com acesso apenas para manutenção, de  $1,0 \text{ kN/m}^2$ .

Para a temperatura ambiente, foram consideradas cargas térmicas com temperaturas uniformes de  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  referentes aos períodos de verão-inverno, respectivamente.

Já para a carga térmica gradiente linear foi considerada uma variação de temperatura de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , de modo que ao somar seus efeitos com a temperatura uniforme de aquecimento, as

paredes sob incidência solar apresentam uma temperatura na face interna de +15 °C e na face externa, exposta ao sol, de +30 °C.

Como previamente mencionado, a retração foi considerada como uma variação de temperatura uniforme equivalente. Assim, de acordo com norma NBR 6118 (2014), para uma umidade média ambiente de 75%, correspondente ao estado do Rio Grande do Sul, espessura fictícia das peças de 20 cm e concreto com idade de 60 dias a deformação específica de retração é de -0,30 ‰, a qual corresponde a uma temperatura uniforme de -30 °C.

Como apresentado no item 2.2, a NBR 6118 (2014) traz a separação entre os tipos de ações atuantes na estrutura e para o presente trabalho foram adotadas as prescrições da norma, assim, o efeito da retração foi considerado como uma ação permanente indireta e as variações de temperatura, ações variáveis indiretas.

Às Combinações Raras 1, 2, 3 e 4 representam uma situação inicial de construção, onde apenas o peso próprio da estrutura e cargas como retração e de temperatura se fazem presentes. Já as Combinações Raras 5, 6, 7 e 8 correspondem a uma situação final de construção, onde todos os carregamentos atuam na edificação. Ainda, a Combinação Rara 9 apresenta apenas carregamentos usuais gravitacionais, permanentes mais acidentais, permitindo identificar o comportamento da estrutura quando não submetida aos carregamentos de retração e temperatura.

Através dos Quadros 2 e 3 são apresentadas, respectivamente, as siglas utilizadas para cada tipo de carregamento e as combinações de ações que foram consideradas no estudo das formações de fissuras da edificação.

Quadro 2 – Carregamentos

<b>Sigla</b>	<b>Carregamento</b>
PP	Peso Próprio
G	Permanente
Q	Acidental
AU	Aquecimento Uniforme
RU	Resfriamento Uniforme
AGL	Aquecimento Gradiente Linear
RET	Retração

Quadro 3 – Combinações de ações

Nº da Combinação	Combinação de ação
Rara 1	1,0*PP+1,0*RET
Rara 2	1,0*PP+1,0*RET+1,0*RU
Rara 3	1,0*PP+1,0*RET+1,0*AU
Rara 4	1,0*PP+1,0*RET+1,0*(AU+AGL)
Rara 5	1,0*PP+1,0*RET+1,0*G+1,0*Q
Rara 6	1,0*PP+1,0*RET+1,0*G+1,0*Q+0,5*RU
Rara 7	1,0*PP+1,0*RET+1,0*G+1,0*Q+0,5*AU
Rara 8	1,0*PP+1,0*RET+1,0*G+1,0*Q+0,5*(AU+AGL)
Rara 9	1,0*PP+1,0*G+1,0*Q

Fonte: Autor.

Como apresentado previamente, a resistência à tração do concreto é dada pela Equação 10. Para um concreto classe C30 utilizado na edificação em estudo, essa resistência é de:

$$f_{ctk,inf} = 0,7f_{ct,m} \rightarrow f_{ctk,inf} = 0,21(30^{2/3}) \rightarrow f_{ctk,inf} = 2,02 \text{ MPa}$$

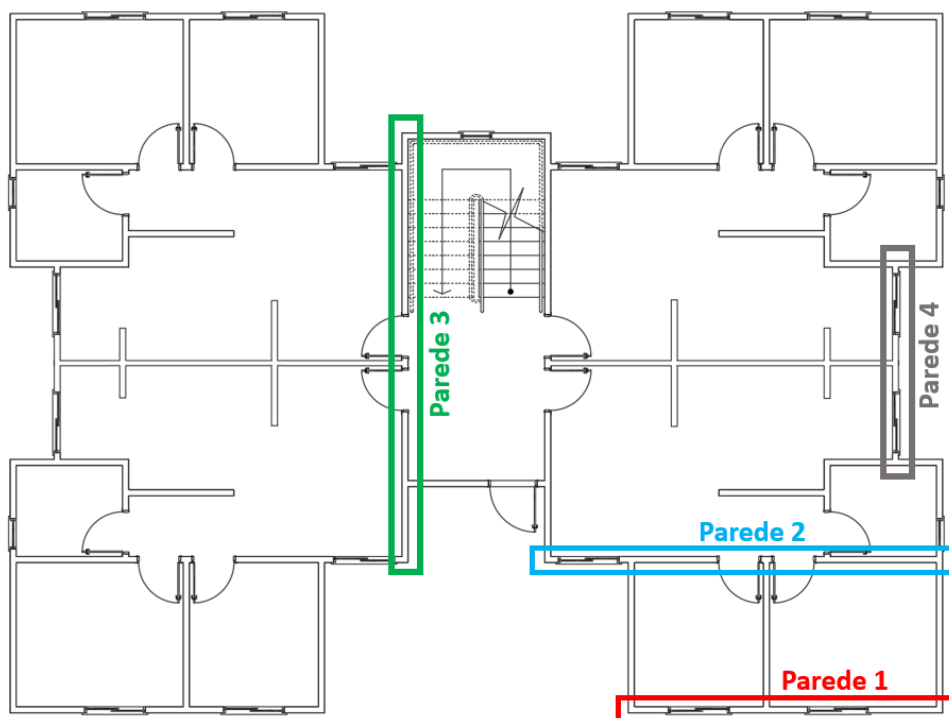
Com isso, as paredes de concreto e a laje de cobertura serão verificadas quanto às tensões principais de tração originadas das cargas térmicas e retração, sendo tomado como limite de resistência a tensão de tração do concreto o valor de  $f_{ctk,inf}$  igual a 2,02 MPa. Valores de tensões de tração superiores a esse limite indicam que o concreto superou a sua resistência e poderá fissurar.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E COMENTÁRIOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos. A análise foi realizada com foco nas tensões principais de tração para quatro paredes e a laje de cobertura da edificação. Como exposto por Thomaz e Carneiro (2013), as tensões decorrentes das ações térmicas e retração se desenvolvem na base das paredes, próximo à fundação, no pavimento de cobertura e próximo às aberturas de portas e janelas. Desse modo, para compreender todas as influências das ações térmicas e retração, as paredes avaliadas serão analisadas em toda sua extensão e altura. A laje de cobertura será analisada integralmente a fim de evidenciar a interação paredes-laje sob os carregamentos aplicados. As tensões principais, como apresentado previamente, serão limitadas a resistência característica inferior à tração do concreto, a fim de identificar regiões que tendem a fissurar sob os carregamentos.

Inicialmente, será realizada uma análise conjunta para as paredes nomeadas como Parede 1 e Parede 2, já as demais paredes avaliadas, Paredes 3 e 4, serão apresentadas no Apêndice A do presente trabalho, juntamente com alguns comentários pertinentes. A Figura 25 indica a posição de cada parede em planta. Após a análise das paredes mencionadas, será realizada a verificação das tensões principais para a laje de cobertura da edificação.

Figura 25 – Localização das paredes analisadas

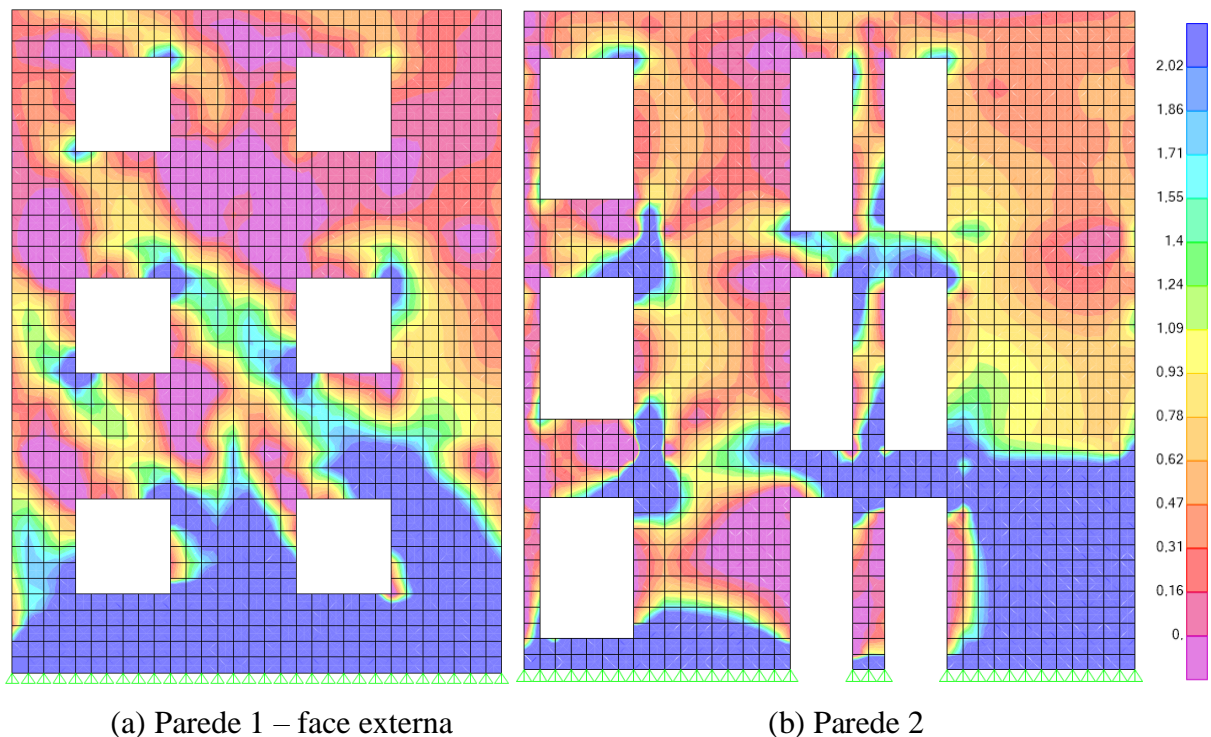


A Parede 1 faz parte do conjunto de paredes externas da edificação que está sob influência da insolação direta. Essa parede conta com uma espessura de 12 cm, comprimento total de 6,20 m, altura de 8,40 m, contêm duas aberturas de janelas, ambas com largura e altura de 1,20 m e entre as aberturas ocorre a ligação com uma parede interna.

A Parede 2 pertence ao conjunto de paredes internas da edificação e, embora apresente um trecho onde é externa, não sofre influência direta da insolação. Ela conta com uma espessura de 12 cm, comprimento total de 7,80 m, altura de 8,40 m, possui três aberturas, sendo uma janela de largura e altura igual a 1,20 m e duas portas com altura de 2,20 m e largura de 0,80. Além disso, existem três ligações com outras paredes internas, sendo a primeira à 0,20 m da abertura de janela, a segunda entre portas e a terceira à 0,20 m de distância da segunda porta.

Na Figura 26 é possível observar a distribuição de tensões principais referente à Combinação Rara 1 para as Paredes 1 e 2. Essa combinação reproduz uma situação inicial de construção, onde apenas o peso próprio e a ação de retração estão presentes na estrutura.

Figura 26 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 1 (tensões em MPa)

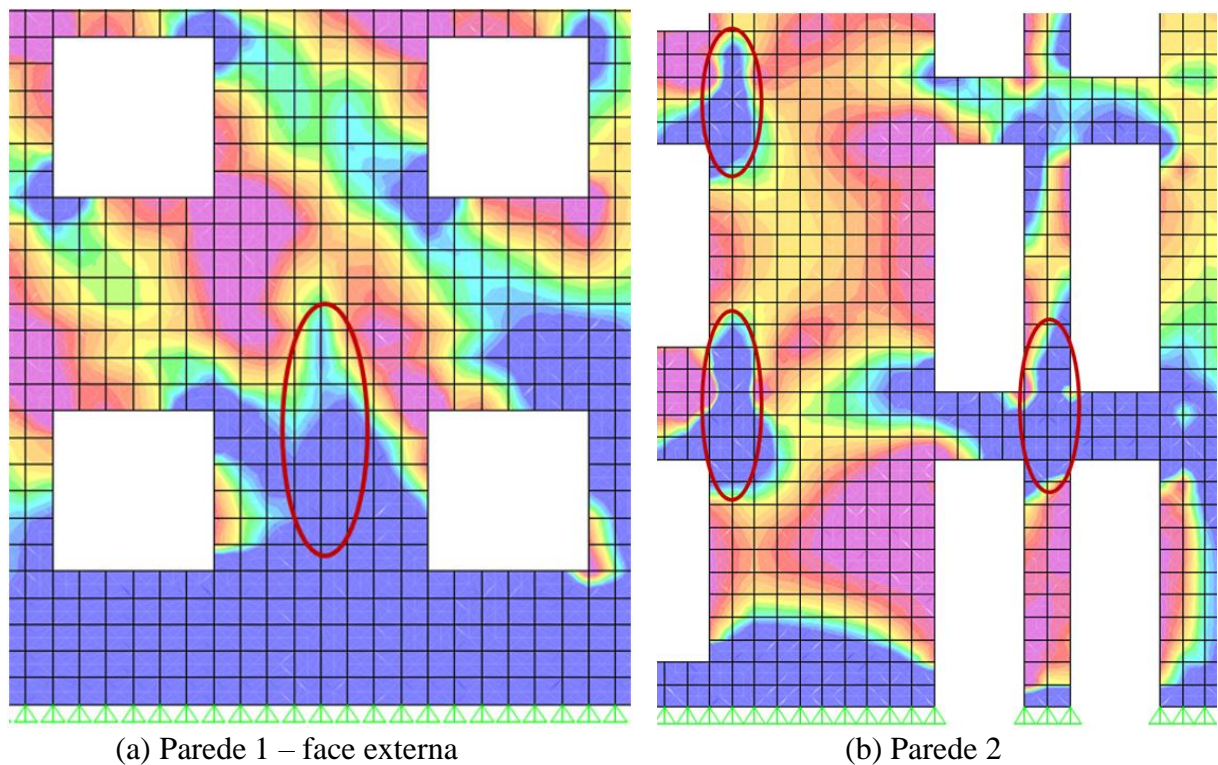


Fonte: Autor.

Em ambas as paredes é notável o somatório de tensões principais de tração na base da estrutura, região de ligação com a fundação. Essa concentração de tensões, já previstas por Thomaz e Carneiro (2013) ultrapassa o valor limite de 2,02 MPa previsto como resistência à tração do concreto, apresentando níveis de tensão da ordem de 8 MPa e 5 MPa para as Paredes 1 e 2, respectivamente, logo, são regiões que demandam maiores taxas de armação na estrutura. Além disso, é perceptível que próximo às aberturas de portas e janelas das Paredes 1 e 2, há concentração de tensões de tração que também ultrapassam o valor limite de resistência estabelecido, atingindo níveis de, aproximadamente, 4 MPa para a Parede 1 e 6 MPa para a Parede 2. A norma NBR 16055 (2012) prevê a obrigatoriedade de utilizar armaduras no entorno de aberturas para combater esses efeitos observados.

Ambas as Paredes 1 e 2 apresentam, elevadas tensões principais de tração verticais, geradas pelas restrições aos movimentos de encurtamento das paredes perpendiculares às paredes em análise, como mostrado na Figura 27. Tais regiões de encontros de paredes, principalmente próximas às aberturas, devem ter suas armações reforçadas para combater essas tensões principais de tração a fim de evitar a possível formação de fissuras.

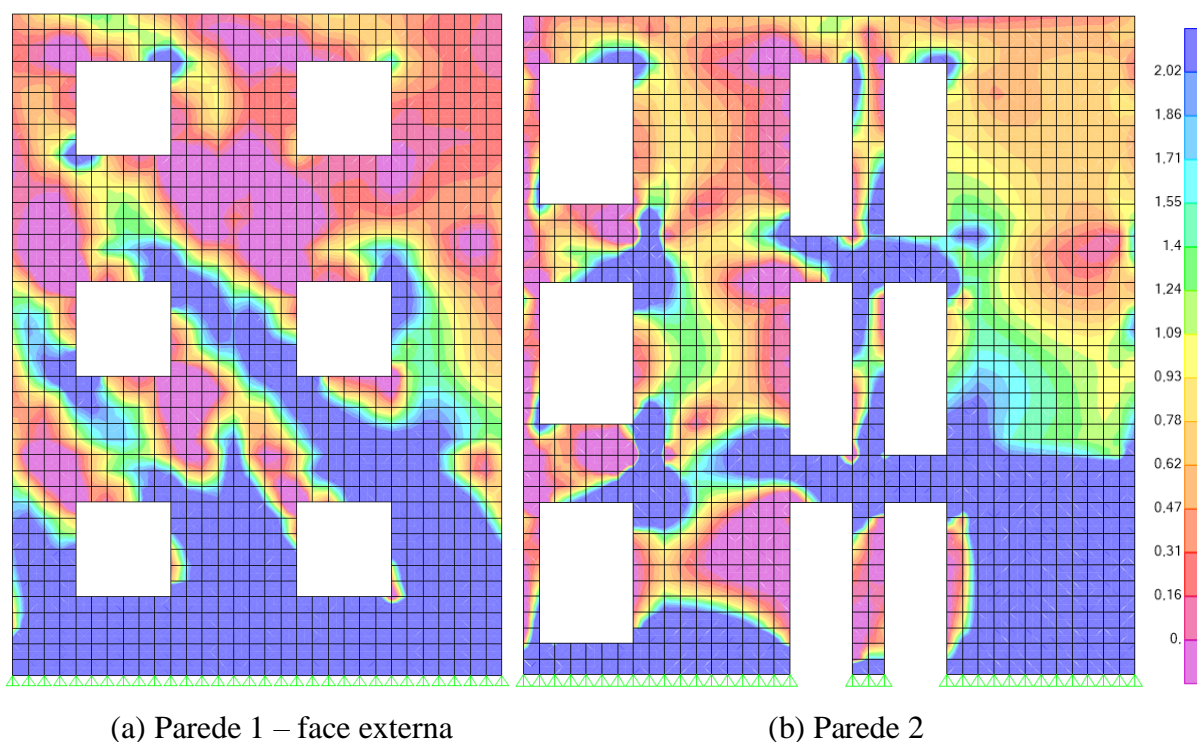
Figura 27 – Paredes 1 e 2 sob influência das paredes internas quanto a Combinação Rara 1



Fonte: Autor.

A seguir é apresentada na Figura 28 a distribuição de tensões principais referente a Combinação Rara 2 nas Paredes 1 e 2, geradas pelo acréscimo da ação térmica uniforme de resfriamento da estrutura ( $\Delta T_u = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Figura 28 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 2 (tensões em MPa)



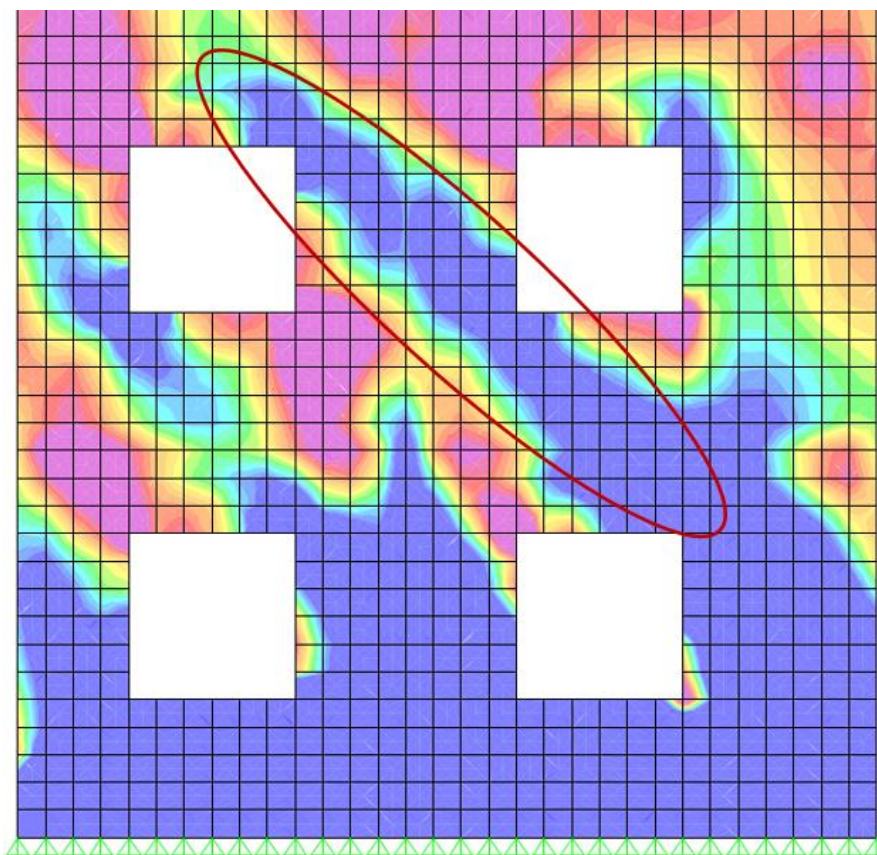
Fonte: Autor.

A concentração de tensões principais de tração segue o mesmo padrão observado na Figura 27, visto que a retração e a ação térmica de resfriamento atuam de modo similar na estrutura, dada a tendência de encurtamento das peças. Com isso, notam-se acréscimos das regiões com tensões principais de tração previamente mencionadas.

Tanto na base das paredes quanto próximo às aberturas de esquadrias, é perceptível um aumento considerável das regiões que extrapolam o limite de resistência à tração. Para a base das Paredes 1 e 2 são identificados níveis de tensão de tração da ordem de 12 MPa e 8 MPa, respectivamente, já para as aberturas de portas e janelas são identificadas tensões de 6 MPa e 8 MPa. Ainda, para a Parede 1, há o desenvolvimento de uma região entre aberturas com inclinação de aproximadamente  $45^\circ$  que ultrapassa ligeiramente o valor da tensão de tração de 2,02 MPa, como mostrado na Figura 29.



Figura 29 – Parede 1 sob influência da Combinação Rara 2



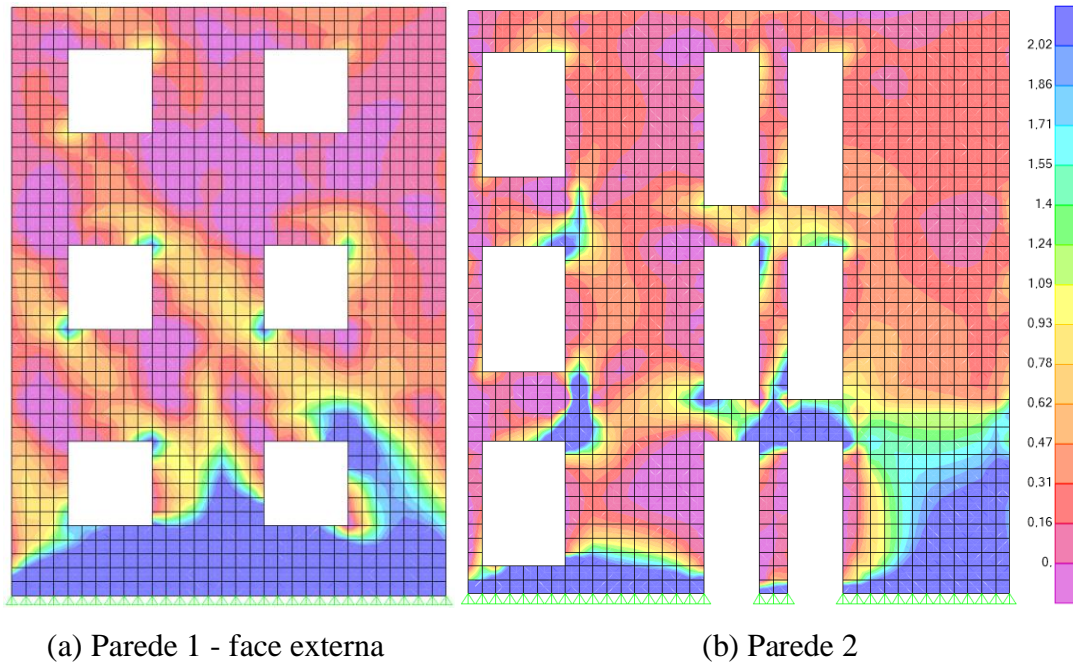
Fonte: Autor.

Os efeitos da Combinação Rara 3 para as Paredes 1 e 2 são apresentados na Figura 30, onde, juntamente com o peso próprio e a retração, foi considerada a ação térmica uniforme de aquecimento da estrutura ( $\Delta T_u = +15 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Visto que a ação térmica uniforme de aquecimento apresenta um efeito contrário à retração por induzir o movimento de expansão da estrutura, é possível verificar reduções nas regiões de maiores concentrações de tração. Contudo, ainda são encontradas regiões onde a resistência característica à tração do concreto é ultrapassada.

Desse modo, mesmo com a redução das regiões com maiores concentrações de tração, ainda é necessário que sejam utilizadas armaduras de reforço para combater a formação de fissuras.

Figura 30 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 3 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

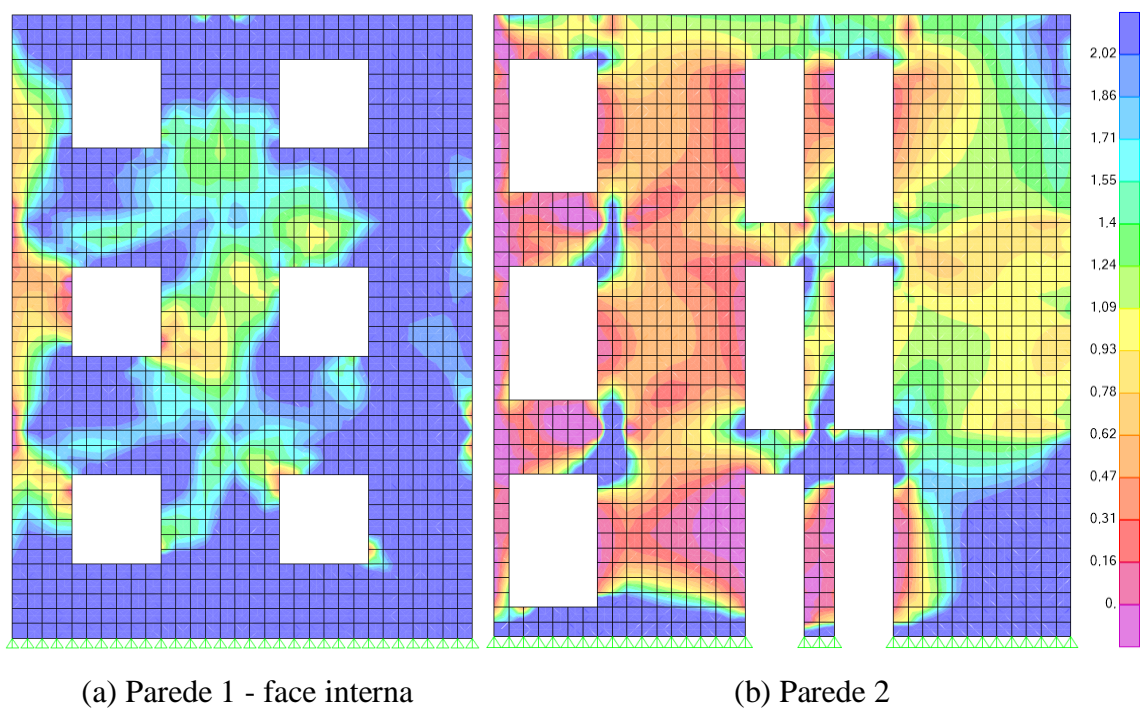
Adicionalmente aos efeitos da temperatura uniforme de aquecimento, as tensões mostradas na Figura 31, são provocadas pela Combinação Rara 4, que inclui o efeito da insolação direta através da temperatura gradiente linear de aquecimento ( $\Delta T_{Mz} = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Como apresentado anteriormente, a Parede 1 recebe insolação direta enquanto a Parede 2, por ser majoritariamente interna, não sofre diretamente esse efeito. A laje de cobertura, por sua vez, também está sob o aquecimento gradiente e, conseqüentemente, transmite seus efeitos para as demais paredes do pavimento devido a interação parede-laje, como previsto por Thomaz (1989) e Casotti (2007).

Para a Parede 1 é mostrada a face interna, onde ocorrem as maiores alterações de tensões. Com a influência da insolação direta, é perceptível o aumento das tensões principais de tração em toda a extensão da parede, além disso, regiões críticas para elevadas concentrações de tensões agora se tornam mais intensas em comparação com a combinação anterior, principalmente próximo às aberturas e na base da parede, ambas chegando a tensões de tração da ordem de 3,5 MPa.

Outro fator importante é o surgimento de novas regiões que ultrapassam a resistência à tração do concreto em ambas as paredes, localizadas principalmente no terceiro pavimento. Na

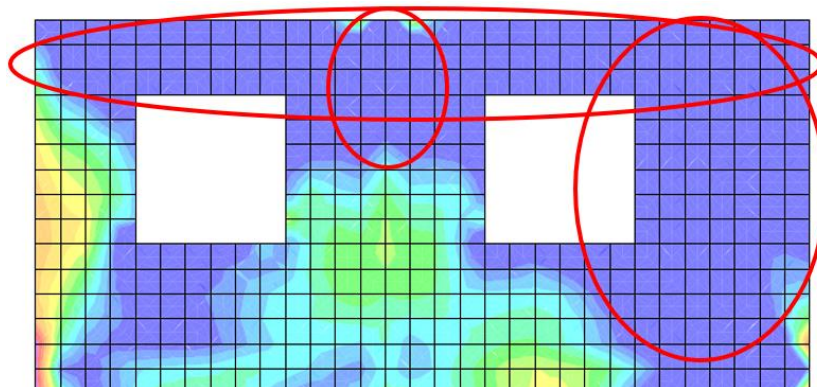
Figura 32 é mostrado que próximo a segunda abertura de janela e no encontro com a parede interna, agora ocorrem tensões de tração de até 4 MPa, ultrapassando o limite na Parede 1. Ainda, é visto que no encontro com a laje de cobertura há concentração de tensões de tração de até 3,5 MPa, logo, deve ser previsto uma armação de reforço adequada, dado o indício de formação de fissuras nessa nova região.

Figura 31 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 4 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Figura 32 – Parede 1 sob influência da insolação direta.

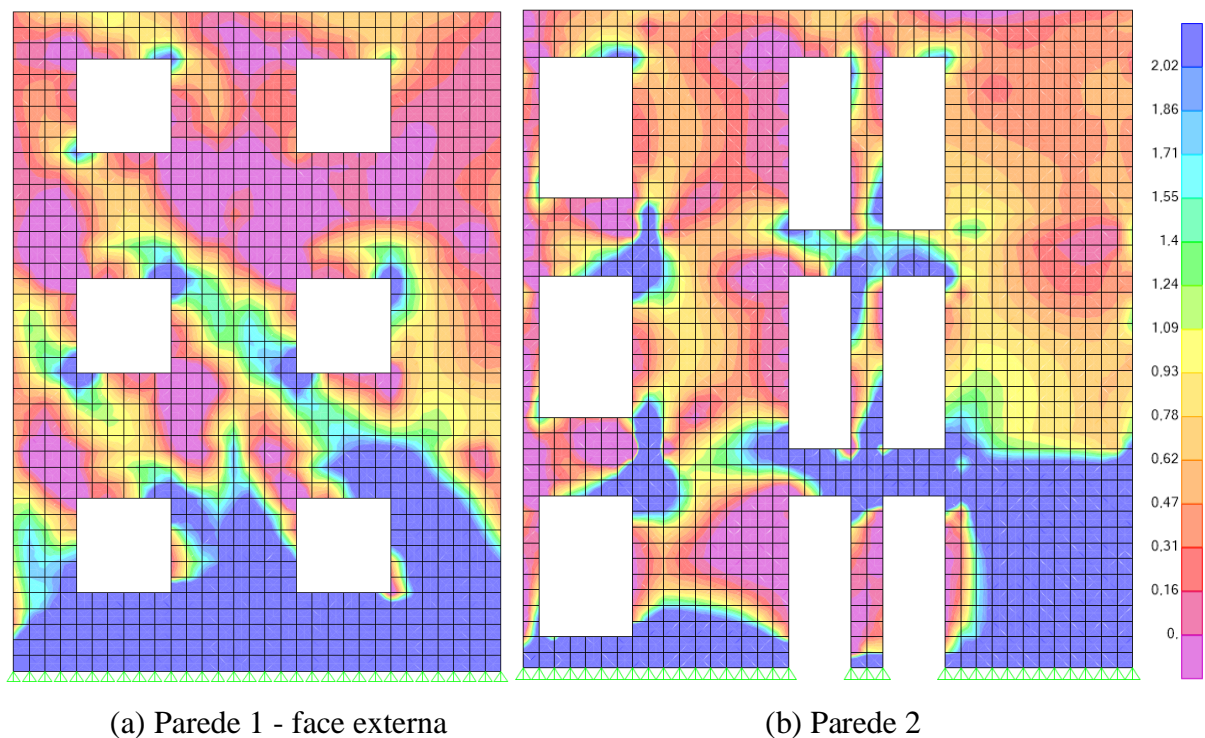


Fonte: Autor.

Também é possível observar a influência da laje de cobertura para com a Parede 2, onde próximo a ligação entre esses dois elementos ocorre um aumento das tensões de tração, desenvolvendo uma região no canto superior esquerdo da parede com tensões ligeiramente superiores a 2,02 MPa. Essa influência, embora não tão acentuada como visto na Parede 1, dá o indício de que a ligação parede-laje interfere tanto nas paredes externas quanto nas paredes internas.

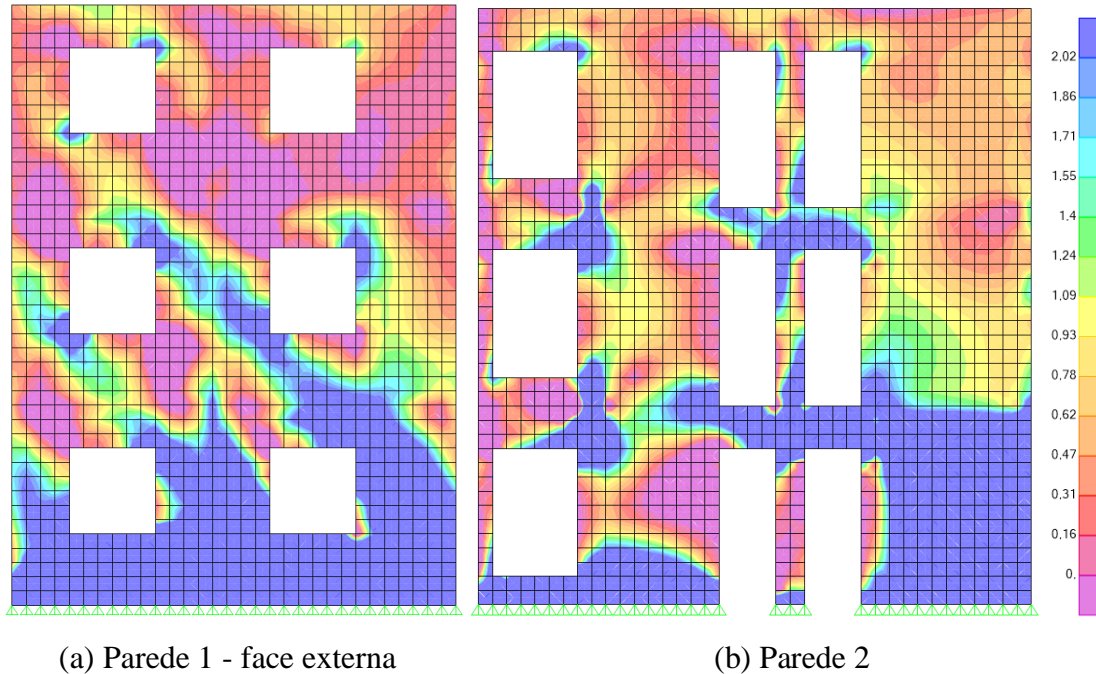
As Combinações Raras 5, 6, 7 e 8 reproduzem uma situação final de construção, onde segue-se o mesmo padrão de carregamento das combinações anteriores, porém com o acréscimo de cargas permanentes e acidentais. O comportamento das Paredes 1 e 2 frente as combinações mencionadas serão apresentadas sequencialmente nas Figuras 33, 34, 35 e 36.

Figura 33 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 5 (tensões em MPa)



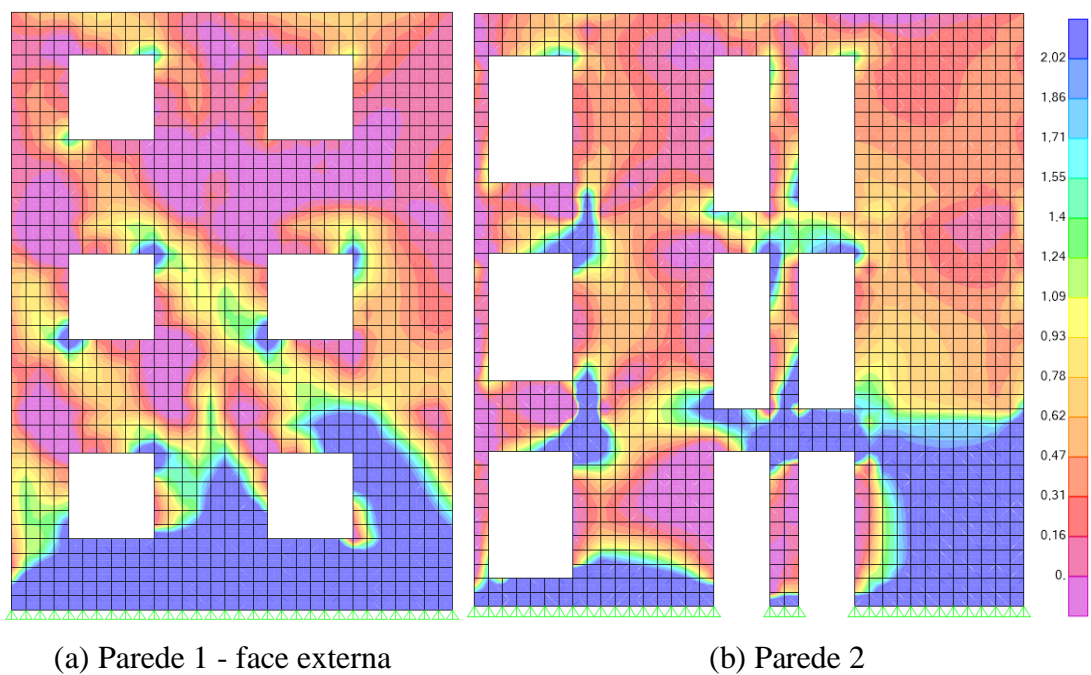
Fonte: Autor.

Figura 34 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 6 (tensões em MPa)



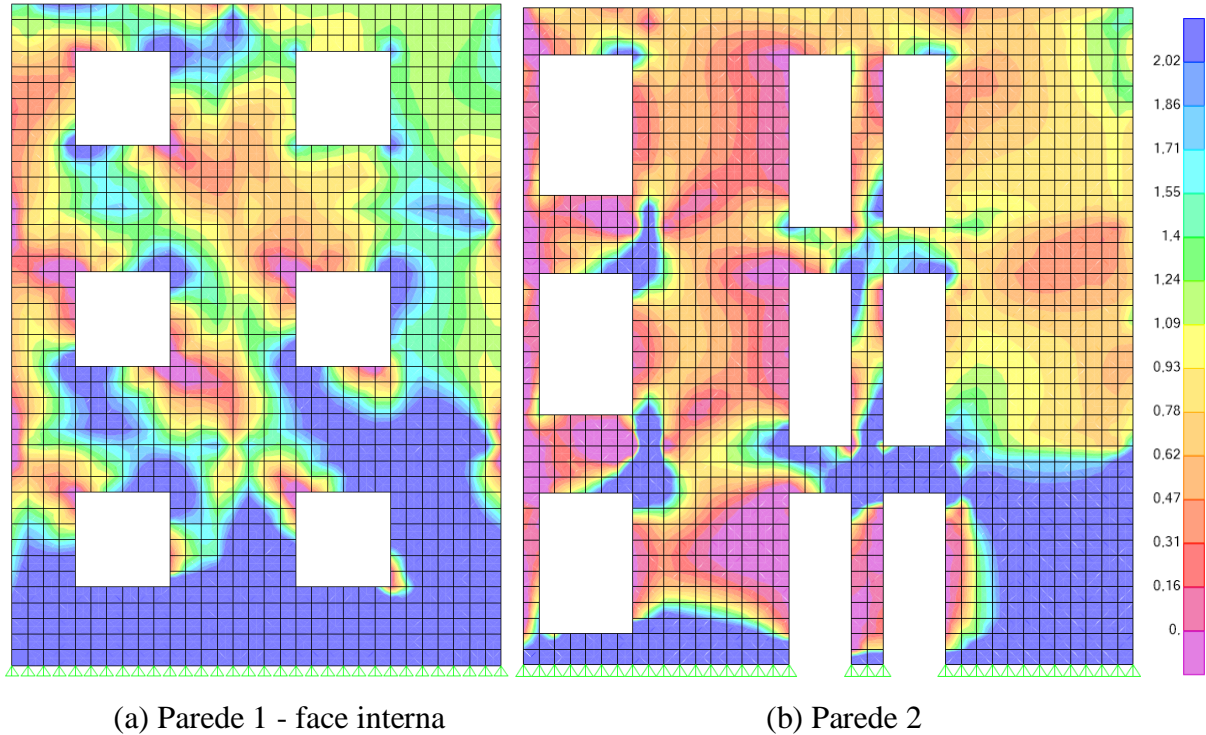
Fonte: Autor.

Figura 35 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 7 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Figura 36 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 8 (tensões em MPa)



(a) Parede 1 - face interna

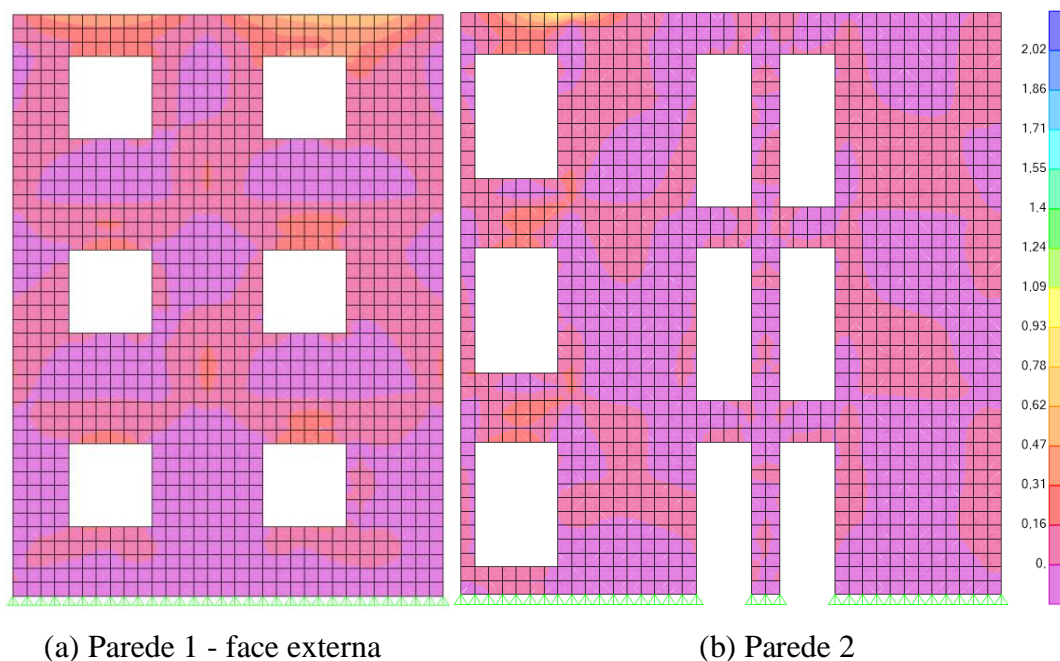
(b) Parede 2

Fonte: Autor.

Vê-se que para as Combinações Raras 5, 6, 7 e 8, as Paredes 1 e 2 apresentam um comportamento muito semelhante as Combinações Raras 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Desse modo, as regiões antes identificadas como críticas, extrapolando a tensão de tração de 2,02 MPa, são vistas novamente, logo, essas regiões seguem necessitando de armações complementares para combater a possível formação de fissuras. Para as Combinações Raras 5 e 6 não foram identificados níveis de tensões maiores que os já apresentados nas Combinações Raras 1 e 2. As Combinações Raras 7 e 8 mostraram que com a redução da carga térmica de aquecimento, o somatório de tensões de tração foi mais intenso, onde para a base das Paredes 1 e 2 foi encontrado níveis de tensão da ordem de 6 MPa e 5 Mpa, respectivamente, e próximo as aberturas, deu-se aproximadamente 3,5 MPa para a Parede 1 e 4 MPa para a Parede 2.

A seguir é apresentado o comportamento das Paredes 1 e 2 frente à Combinação Rara 9. Essa combinação, mostrada na Figura 37, reproduz uma situação usual de análise, onde não são utilizadas cargas térmicas e retração, apenas as cargas permanentes e acidentais usuais da estrutura estão presentes.

Figura 37 – Distribuição de tensões principais das Paredes 1 e 2 quanto a Combinação Rara 9 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

As Paredes 1 e 2 apresentam tensões principais predominantemente de compressão, apenas alguns pontos com tensões principais de tração menores que 0,93 MPa são encontradas. Com isso, é visto que apenas com os carregamentos permanentes e acidentais usuais não é possível identificar as regiões nas faces das paredes que tendem a fissurar quando sujeitas as ações térmicas e de retração.

A seguir será realizada a análise do comportamento da laje de cobertura da edificação frente as combinações de ações. Essa laje tem espessura de 10 cm, comprimento de 18,60 m em relação ao eixo X, 14,0 m em relação ao eixo Y, possui simetria bilateral em relação ao eixo Y e apresenta duas regiões de estrangulamento (redução da região de laje), localizadas sobre a Parede 3 e sua parede simétrica.

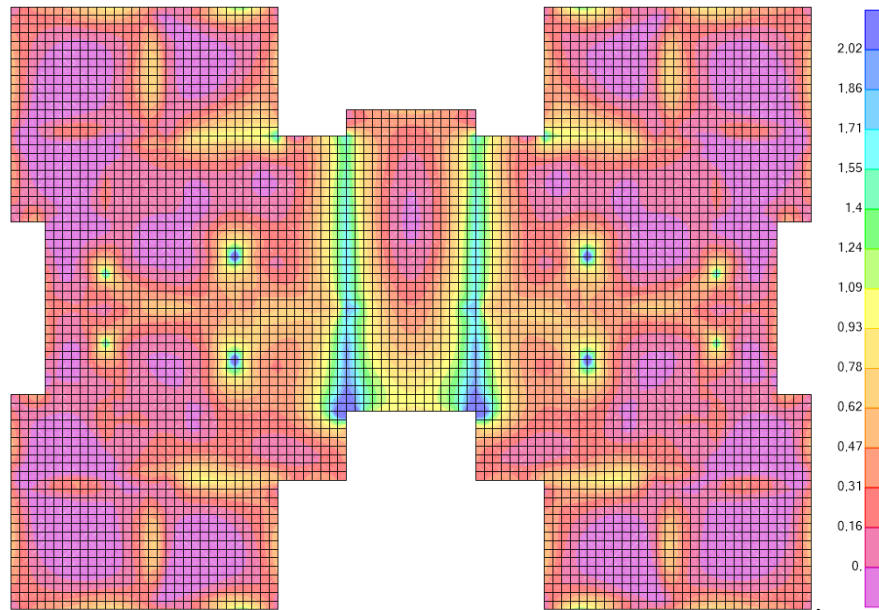
É visto nas Figuras 38 e 39 as distribuições de tensões principais na face superior e inferior da laje para a Combinação Rara 1. Observa-se que as maiores tensões principais de tração ocorrem na face superior da laje, com valores ligeiramente superiores a 2,02 MPa nas regiões de estrangulamento da seção central.

Esse comportamento é devido a redução da área de laje na região central da edificação, além da existência de paredes que restringem o movimento de encurtamento da retração e pelo

próprio comportamento natural da estrutura, onde a laje tende a tracionar na face superior devido ao apoio dado pelas paredes.

Figura 38 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura.

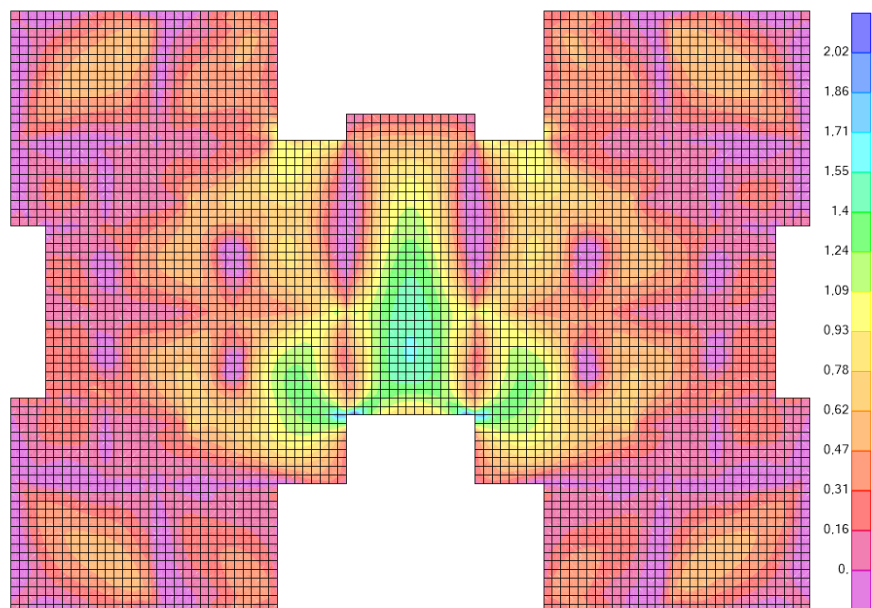
Combinação Rara 1 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Figura 39 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura.

Combinação Rara 1 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.



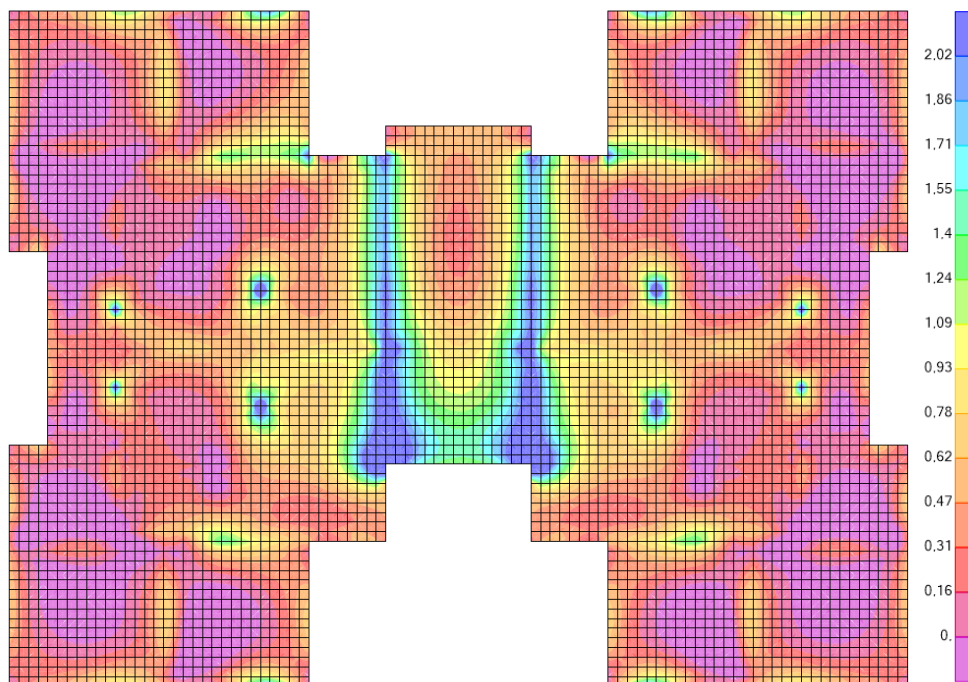
Esse padrão de tensões induz a formação de fissuras a partir das extremidades mais tracionadas, partindo daí para o interior da laje. Desse modo, o procedimento adequado para combater esse processo é verificar as armaduras negativas definidas no dimensionamento e, caso não sejam suficientes devido ao aumento das tensões de tração, redimensionar com taxas de aço correspondentes aos novos esforços encontrados. Ainda, pode ser adotado o sistema de juntas de dilatação para essas regiões, evitando assim, concentrações de tensões de tração na região do gargalo.

A face inferior da laje também apresenta tensões de tração, ainda que menos acentuadas. Contudo, se percebe um ligeiro aumento na região central da laje que, embora não desenvolva a formação de fissuras para esse caso, induz o alerta de que essa região pode apresentar tensões maiores nas combinações seguintes.

Para a Combinação Rara 2, é possível observar um aumento generalizado das tensões de tração para ambas as faces da laje, mostradas nas Figuras 40 e 41. Como visto anteriormente, esse comportamento ocorre devido a carga térmica de resfriamento produzir efeitos semelhantes à retração, intensificando todas as regiões tracionadas e atingindo níveis de tensão de aproximadamente 3,5 MPa na região de estrangulamento da face superior da laje.

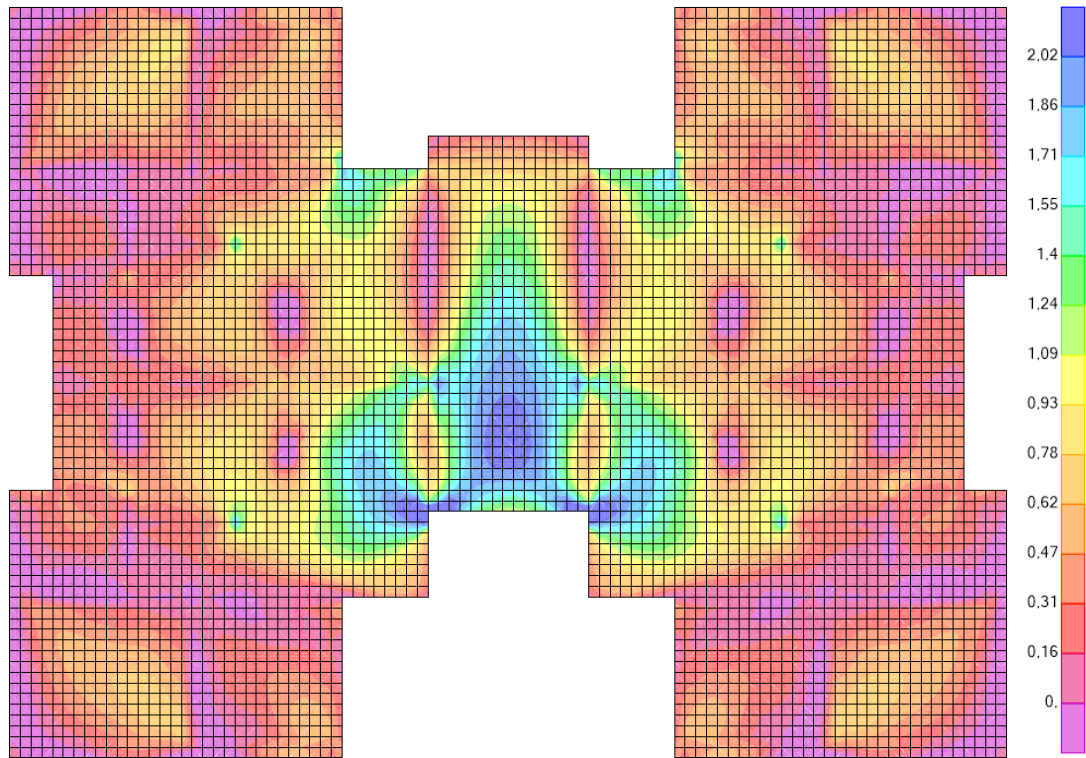
Figura 40 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura.

Combinação Rara 2 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Figura 41 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura.  
Combinação Rara 2 (tensões em MPa)

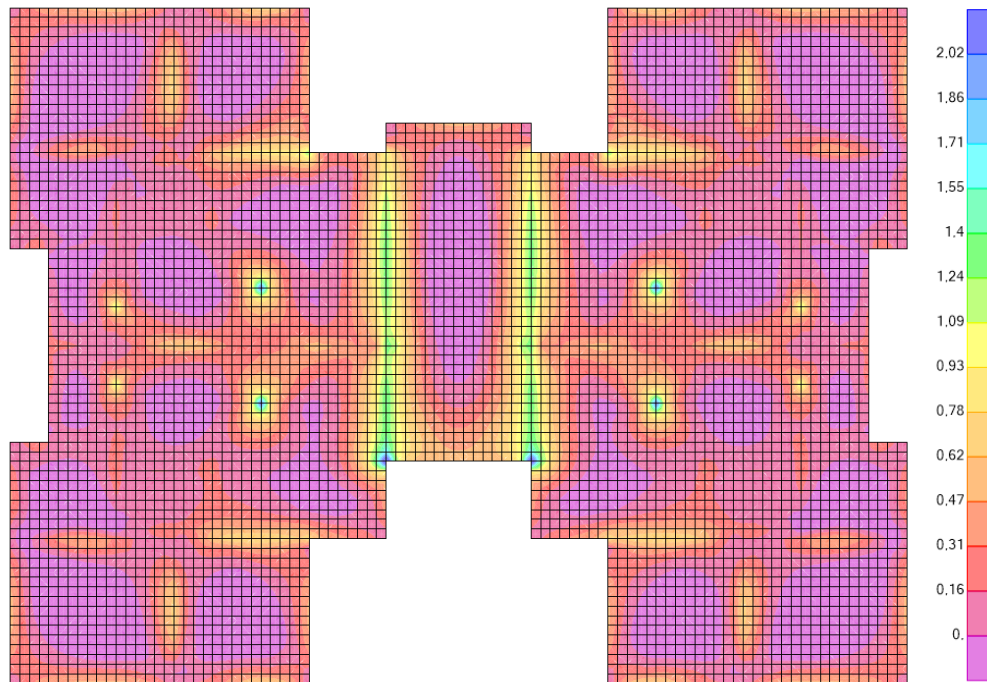


Fonte: Autor.

Logo, os resultados da análise para essa combinação são os mesmos já discutidos anteriormente, apenas ressaltando as novas regiões com indício de formação de fissuras, reflexo da elevada concentração de tensões de tração na face superior da laje e o desenvolvimento na face inferior da laje, de regiões com tensões principais de tração ligeiramente superiores ao limite adotado.

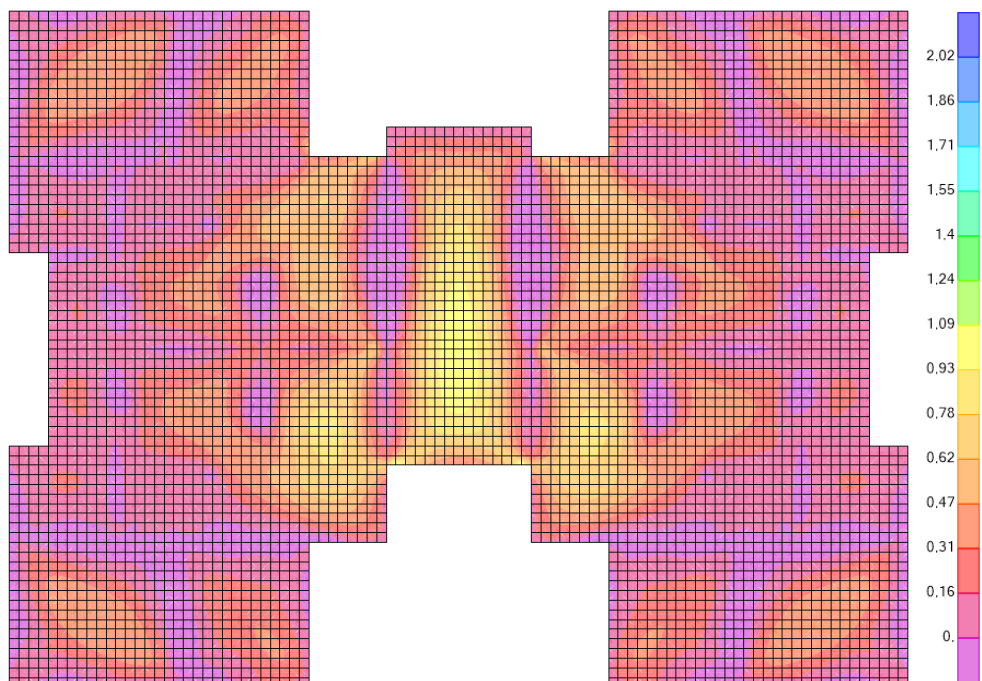
Para a Combinação Rara 3 pode ser observado nas Figuras 42 e 43 que as tensões principais de tração aparecem em menor intensidade quando comparadas com as obtidas através das combinações anteriores. Como visto para o caso das paredes, esse comportamento ocorre devido a carga térmica de aquecimento uniforme atuar de forma oposta a retração e a carga térmica de resfriamento, reduzindo assim, as tensões de tração na laje de cobertura.

Figura 42 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura.  
Combinação Rara 3 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Figura 43 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura.  
Combinação Rara 3 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

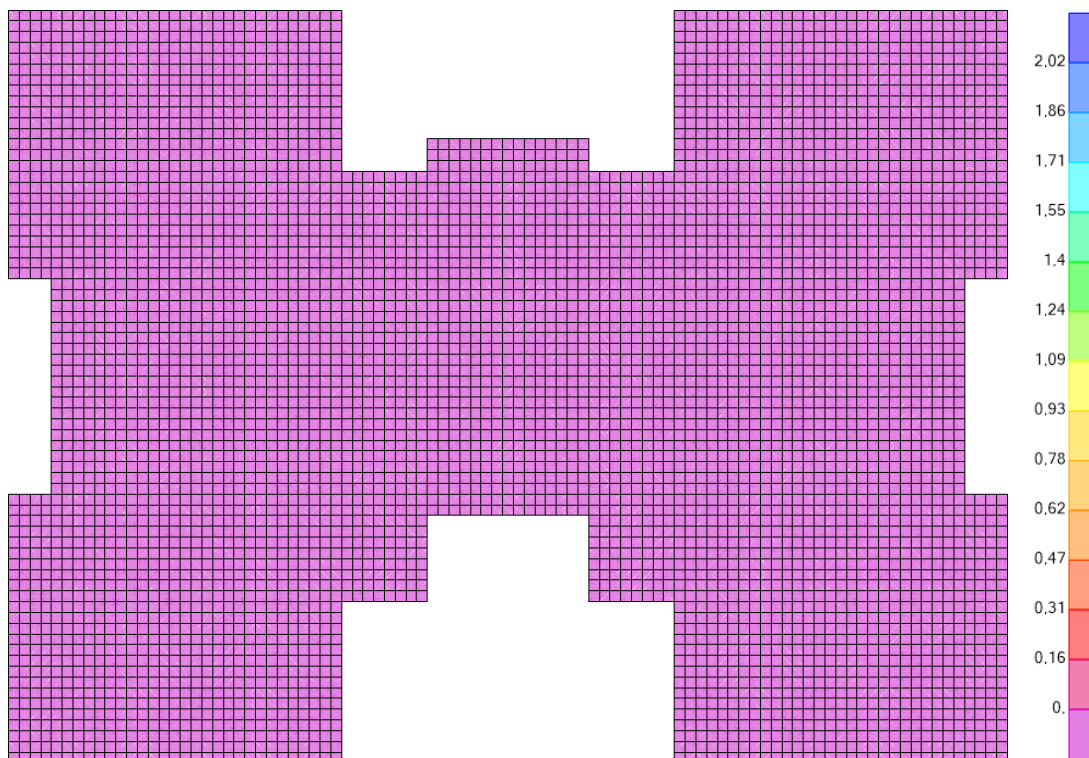
Uma vez que a laje de cobertura está sob influência da insolação direta, os efeitos do aquecimento gradiente uniforme aliados ao aquecimento uniforme (Combinação Rara 4) são mostrados nas Figuras 44 e 45 para a face superior e inferior da laje, respectivamente.

Na face superior da laje se manifestam apenas tensões de compressão, efeito esperado devido a temperatura gradiente uniforme e pela presença de paredes que fazem a restrição do movimento de curvatura da laje.

Já para a face inferior, é visto que as tensões principais de tração agora estão presentes em toda a laje. É visto que todos os painéis de lajes apresentam regiões que ultrapassam ligeiramente o limite de formação de fissuras, sendo identificadas as regiões com maiores níveis de tensões de tração, da ordem de 3,5 MPa, próximas às paredes que também estão sujeitas a insolação direta (Figura 46). Esses acréscimos de tensões de tração na face inferior da laje podem ocasionar uma necessidade de maiores taxas de armaduras positivas, sendo recomendado que sejam verificadas as armaduras adotadas para essas regiões e, caso necessário, reforçá-las.

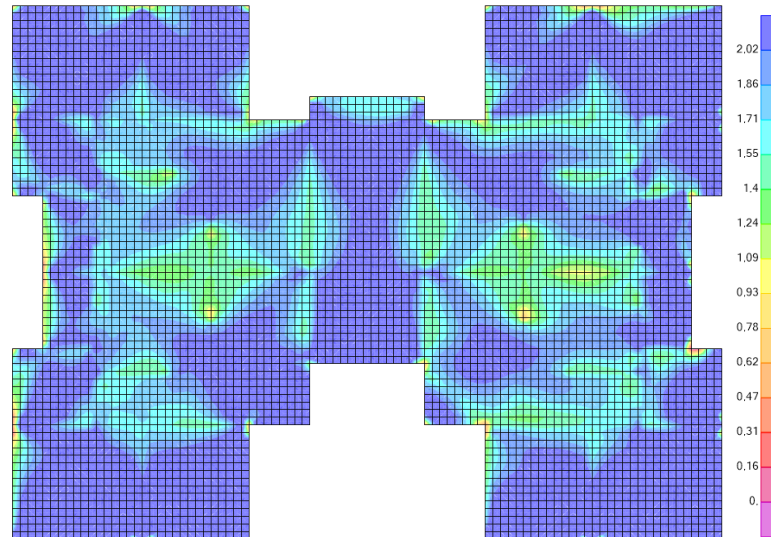
Figura 44 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura.

Combinação Rara 4 (tensões em MPa)



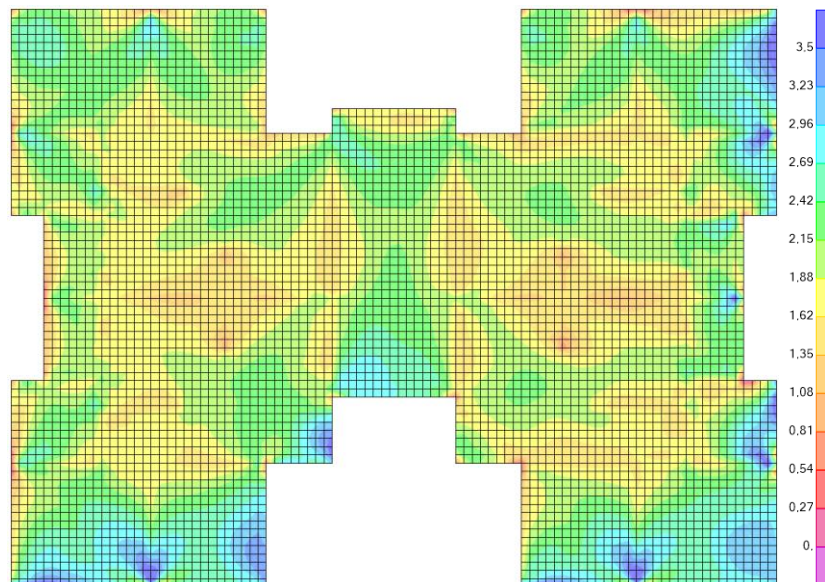
Fonte: Autor.

Figura 45 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura.  
Combinação Rara 4 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Figura 46 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura com faixa de limites ajustada. Combinação Rara 4 (tensões em MPa)



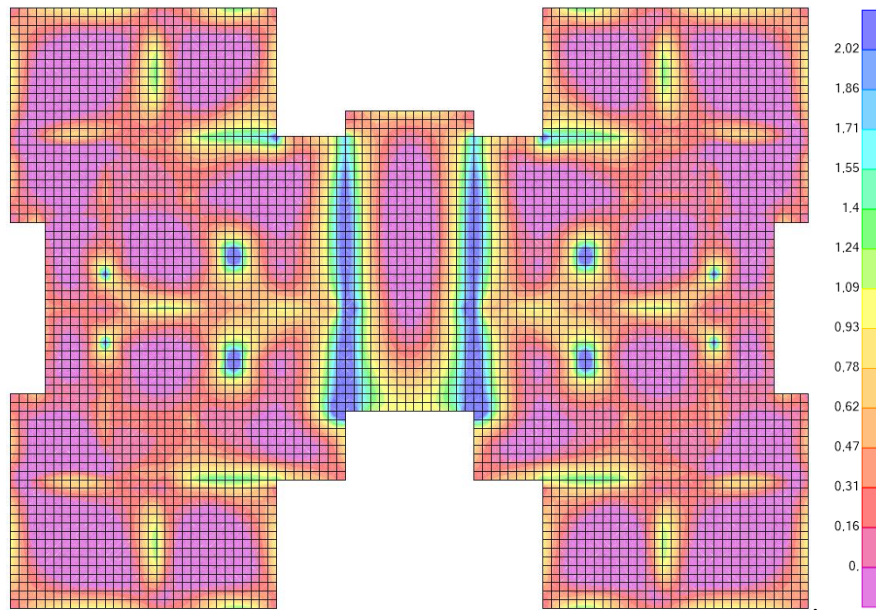
Fonte: Autor.

As Combinações Raras 5, 6, 7 e 8 serão apresentadas sequencialmente a seguir nas Figuras 47 e 48, 49 e 50, 51 e 52, 53 e 54, respectivamente. Como já citado, essas combinações

seguem o mesmo padrão das combinações anteriores, apenas acrescentando as cargas permanentes e acidentais da estrutura.

Figura 47 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura.

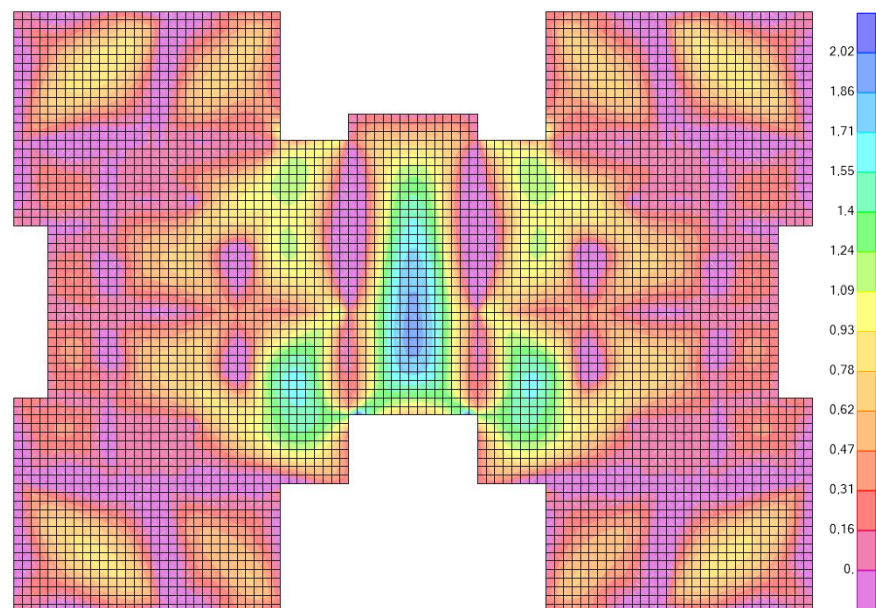
Combinação Rara 5 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

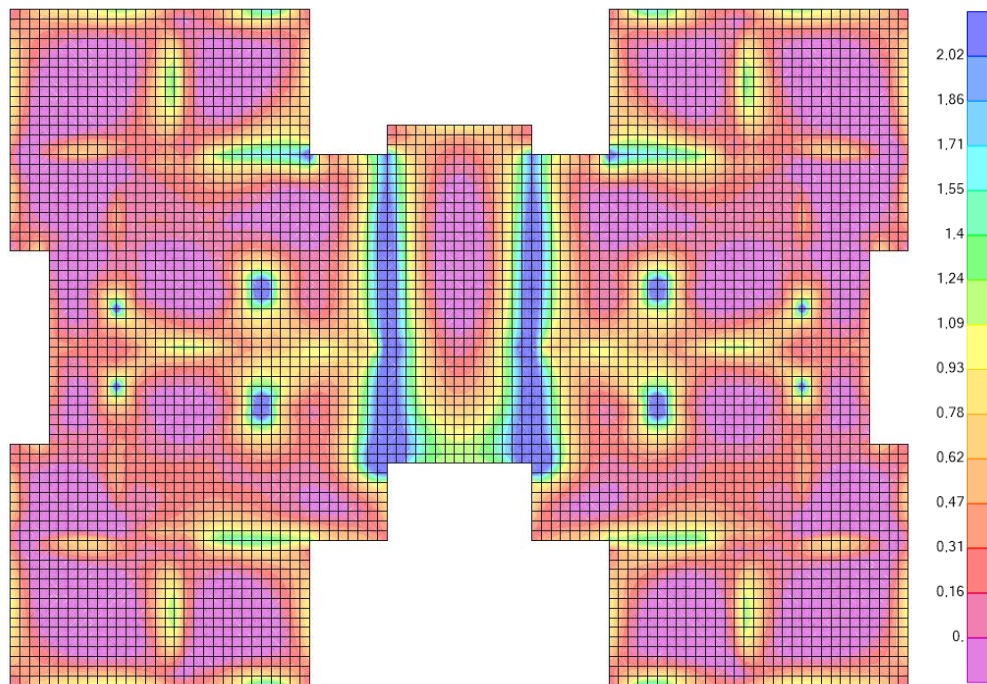
Figura 48 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura.

Combinação Rara 5 (tensões em MPa)



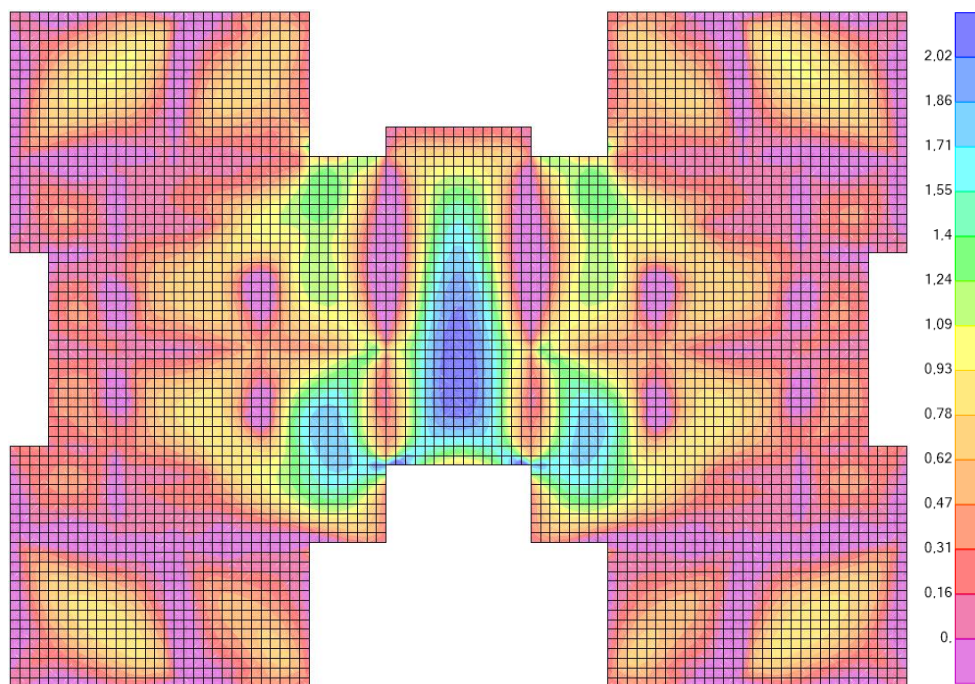
Fonte: Autor.

Figura 49 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura.  
Combinação Rara 6 (tensões em MPa)



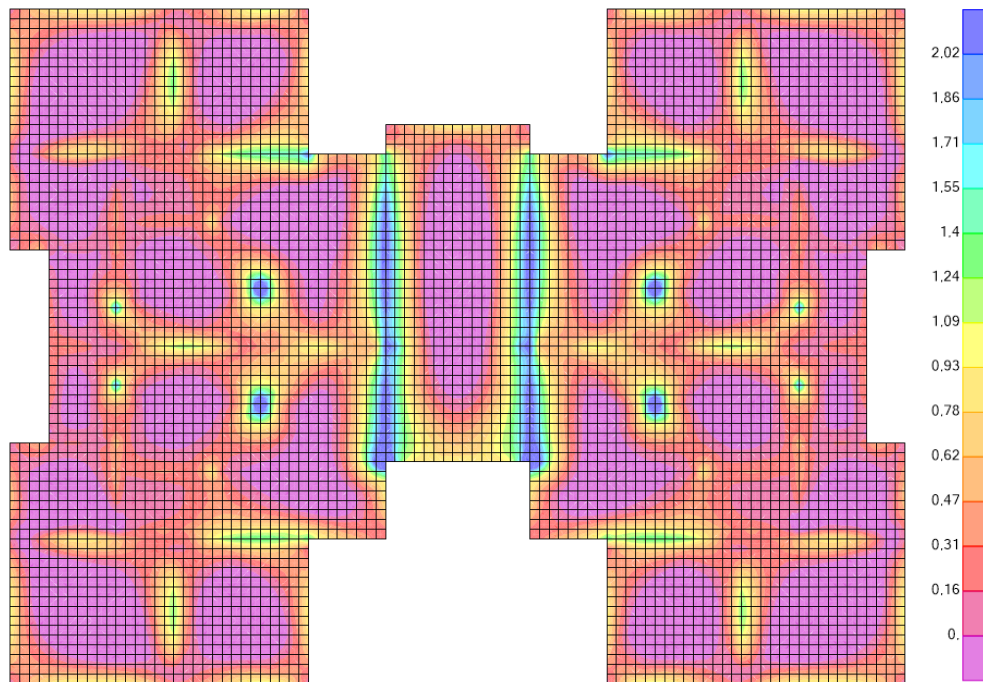
Fonte: Autor.

Figura 50– Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura.  
Combinação Rara 6 (tensões em MPa)



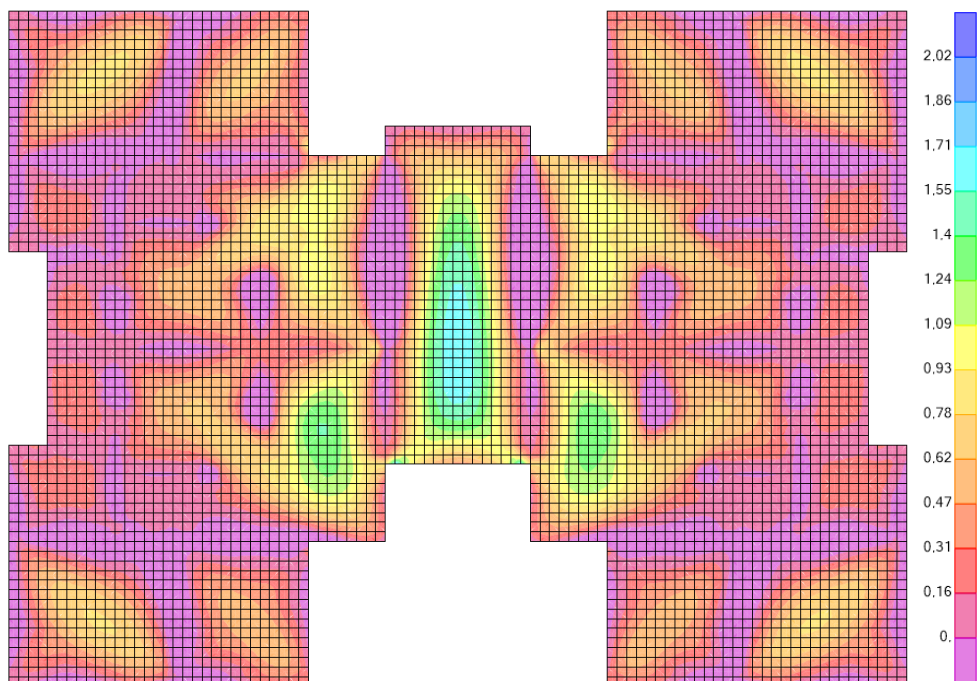
Fonte: Autor.

Figura 51 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura.  
Combinação Rara 7 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

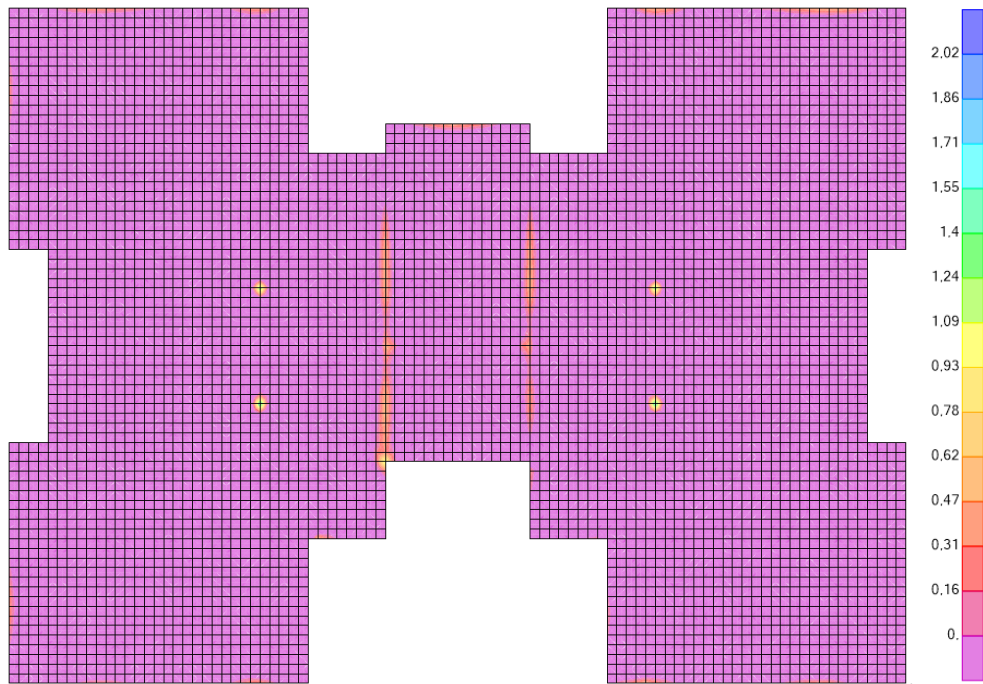
Figura 52 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 7 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

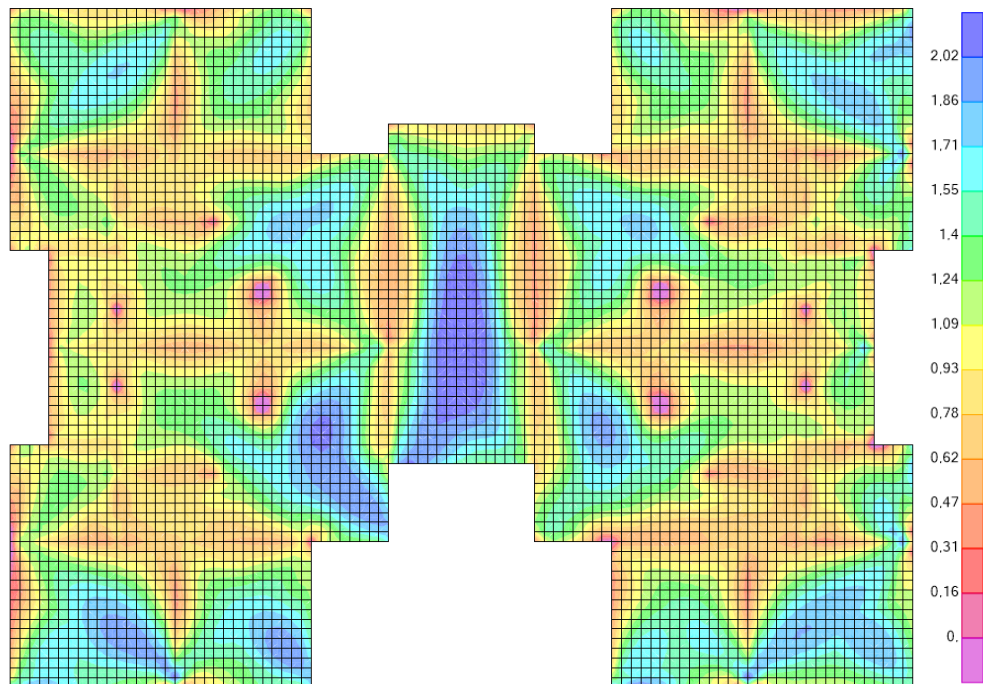


Figura 53 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura.  
Combinação Rara 8 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Figura 54 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 8 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Com a atuação das cargas permanentes e acidentais, ficam ainda mais visíveis as regiões críticas da laje de cobertura,

As Combinações Raras 5 e 6 apresentam regiões com elevadas tensões de tração, principalmente no trecho crítico de gargalo na face superior da laje, atingindo níveis de 2,5 MPa e 3,5 MPa, respectivamente. Essas tensões mostram que a formação de fissuras irá ocorrer e que essas fissuras tendem a partir da extremidade da laje para o seu interior, percorrendo toda a região de gargalo da estrutura. Isso deixa visível a necessidade de prever uma configuração de armaduras negativas que supra essas tensões principais de tração ou até mesmo a possibilidade de uma junta de dilatação. Além disso, a Combinação Rara 6 desenvolve no painel central da face inferior da laje, tensões ligeiramente maiores que a resistência à tração do concreto, assim como na Combinação Rara 2.

Embora a Combinação Rara 7 não apresente resultados significativos, a Combinação Rara 8 que alia ambas as cargas térmicas de aquecimento mostra o desenvolvimento de tensões principais de tração na face inferior da laje. Além do painel central de laje que possui tensões ligeiramente acima de 2,02 MPa, há outros painéis que apresentam tensões elevadas.

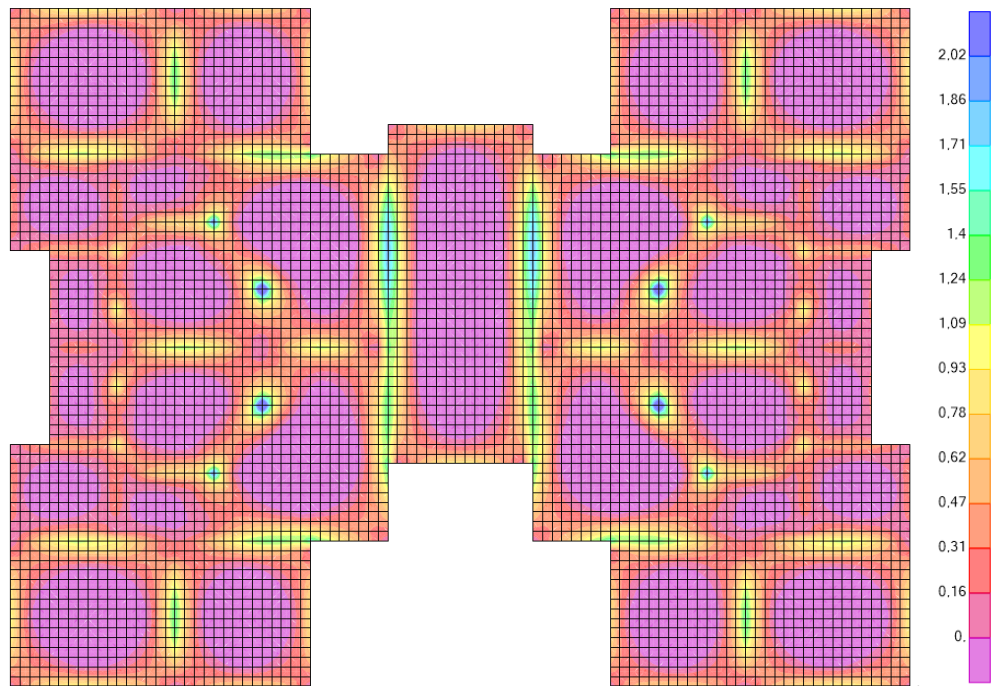
Assim como para as armaduras negativas da face superior, as armaduras positivas do painel central da laje devem ser verificadas e redimensionadas, se necessário, para evitar que essas elevadas tensões de tração desenvolvam a formação de fissuras.

A Combinação Rara 9 representa uma situação usual de combinação rara, onde apenas os carregamentos corriqueiros como o peso próprio, cargas permanentes e acidentais são considerados na estrutura. As Figuras 55 e 56 apresentam o comportamento da laje de cobertura quanto a essa combinação.

É possível identificar que mesmo sem as ações térmicas e retração, a região onde ocorre o estrangulamento da seção da laje apresenta tensões principais de tração acentuadas na face superior, comportamento já esperado da estrutura, assim como na face inferior, que também apresenta tensões principais de tração já esperadas em algumas regiões. Contudo, apenas com os carregamentos usuais de análise, não é possível identificar tanto para a face superior quanto inferior as regiões que ultrapassam a resistência a tração do concreto de 2,02 MPa.

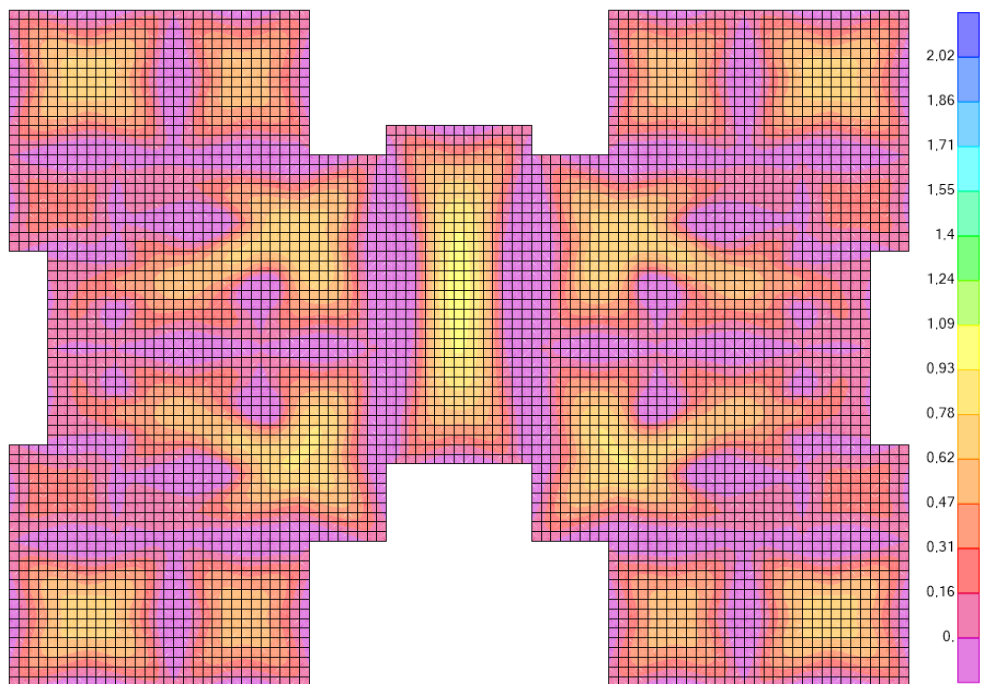
As quatro regiões pontuais que aparecem em todas as combinações raras que apresentam um pico de tensão na laje podem ser tratadas como distorções do modelo matemático, uma vez que ocorrem exatamente na borda das paredes internas dos apartamentos.

Figura 55 – Distribuição de tensões principais na face superior da laje de cobertura.  
Combinação Rara 9 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Figura 56 – Distribuição de tensões principais na face inferior da laje de cobertura. Combinação Rara 9 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

## 5 CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado e dos resultados apresentados, conclui-se que a ação de retração e as cargas térmicas podem causar impactos significativos na distribuição das tensões e formação de fissuras em edificações de paredes de concreto moldadas *in loco*. Sendo imprescindível a análise do comportamento da estrutura para o ELS-F frente a essas deformações impostas.

Pode-se observar que todas as paredes de concreto estudadas, sendo elas internas ou externas, apresentam tensões principais de tração superiores a resistência à tração adotada neste trabalho quando submetidas aos carregamentos térmicos e ação de retração.

A ação de retração e a carga térmica uniforme de resfriamento geraram as tensões principais de tração predominantes nas paredes, ficando evidente as maiores concentrações de tensões principais de tração nas regiões já esperadas, sendo elas na base das paredes, próximo as aberturas de portas e janelas e em encontros com paredes paralelas. Já a carga térmica uniforme de aquecimento não mostrou grandes desenvolvimentos de tensões principais de tração, apenas quando aliada à insolação direta, representada pela carga térmica gradiente linear de aquecimento, que produziu tensões significativas em toda a extensão das paredes externas.

Vale ressaltar a importância da consideração da estrutura em sua fase de construção, visto que a Combinação Rara 2, composta apenas pelo peso próprio, retração e carga uniforme de resfriamento, desenvolveu as tensões principais de tração mais elevadas em todas as paredes de concreto analisadas.

A laje de cobertura, por sua vez, apresentou tensões principais de tração acima do valor limite de formação de fissuras em quase todas as combinações de cargas térmicas e retração, com ressalva apenas para a Combinação Rara 3. Essas tensões principais de tração, originadas principalmente pela ação de retração e carga térmica uniforme de resfriamento, ocorrem majoritariamente na face superior da laje, na região de gargalo onde a seção de laje é reduzida devido a arquitetura da edificação, sendo as Combinações Raras 2 e 6, as quais apresentaram os níveis de tensão mais elevados para essa região. Além disso, o caso de maior ocorrência de regiões onde há a possibilidade de formação de fissuras foi identificado na Combinação Rara 4, onde através da influência da insolação direta há o desenvolvimento de tensões principais de tração acima do limite adotado em grande parte da laje de cobertura, sendo a única combinação que apresentou indícios de formação de fissuras nos encontros da laje com as paredes sob insolação direta.

Desse modo, assim como nas paredes de concreto, a laje de cobertura está sujeita a formação de fissuras quando submetida aos efeitos da ação de retração e as cargas térmicas e, mesmo que os carregamentos permanentes e acidentais atenuem os efeitos dessas deformações impostas, apenas com uma análise usual não é possível identificar a formação de fissuras em uma estrutura de paredes de concreto.

Além disso, nota-se a importância da análise das paredes de concreto e da laje de cobertura tanto durante a fase inicial quanto final de construção, visto que as tensões mais elevadas nesses elementos podem ocorrer mesmo quando as cargas permanente e acidentais diretas não se fazem presentes, como visto através dos resultados obtidos pelas Combinações Raras 2 e 4.

As regiões com tensões que superam o limite de formação de fissuras do concreto indicam que é necessário armar adequadamente esses elementos para evitar que essas fissuras ocorram, indicando que as ações avaliadas não podem ser negligenciadas.

É importante ressaltar que o estudo não levou em consideração a atuação de cargas horizontais, e as restrições na base das paredes foram consideradas como indeslocáveis. Com isso, propõe-se para trabalhos futuros:

- Incorporar a ação do vento no estudo de paredes de concreto com a ação da retração e cargas térmicas;
- Utilizar junto a retração e cargas térmicas, apoios flexíveis (interação solo-estrutura) para simular mais fielmente a ligação com a fundação;
- Realizar a análise de momento e esforço cortante, verificando os acréscimos em comparação com o dimensionamento realizado com apenas carregamentos usuais e a verificação das armaduras mínimas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 207.2R**: effect of restraint, volume change, and reinforcement on cracking of mass concrete. Farmington Hills, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Coletânea de Ativos**: parede de concreto (2007/2008). São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Coletânea de Ativos**: parede de concreto (2008/2009). São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: parede de concreto moldada no local para a construção de edificação: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

BKS INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS LTDA. **Formas metálicas de paredes e lajes para prédios de concreto**. Novo Hamburgo, RS. 2015. Disponível em: <[http://www.bks.ind.br/wp-content/uploads/2017/07/folheto-dobra\\_FORMA-METALICA\\_01\\_bks.pdf](http://www.bks.ind.br/wp-content/uploads/2017/07/folheto-dobra_FORMA-METALICA_01_bks.pdf)>. Acesso em: 18 de jul. 2021.

BRAGUIM, T. C. **Utilização de modelos de cálculo para projeto de edifícios de paredes de concreto moldadas no local**. 2013. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CASOTTI, D. E. Causas e recuperação de fissuras em alvenaria. 2007. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

COMPUTERS & STRUCTURES INC. (2016). **CSI Analysis reference manual for SAP2000**. Berkeley, California, USA, 2016.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado**: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul. 1988. 238 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1991-1-5/AC**: Eurocode 1: actions on structures – part 1.5: general actions – thermal actions. Brussels, 2003.

FARIA, R.; BUENO, L. Paredes maciças. **Revista Técnica**, São Paulo, ano 17, n. 143, p. 3, fev 2009. Disponível em: <<https://arci53.blogspot.com/2009/02/paredes-macicas-fonte-revista-techne.html>> . Acesso em: 15 de mar. 2021.

FILHO, A. C.; CARMONA, T. Fissuração nas estruturas de concreto. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT Int.). Brasil. Boletim Técnico n. 3, 2013, 18 p.

FORSA. FORSA BRASIL. Controles de fôrmas para edificações em altura. **Núcleo Parede de Concreto**. [S.I.] 2013. Disponível em: <<http://nucleoparededeconcreto.com.br/controles-de-formas-para-edificacoes-em-altura/>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

GHALI, A.; FAVRE, R.; ELBADRY, M. **Concrete structures: stresses and deformations: analysis and design for serviceability**. 4 ed. London: Spon Press, 2020. cap. 10, p. 377-406.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Education: Prentice-Hall, 2010. cap. 4, p. 85-124.

HOPPEN, E. O. J. Análise computacional de edifícios de paredes de concreto considerando a interação solo-estrutura e o faseamento construtivo. 2019. 77 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2019.

ISAIA, G. C. (Coord.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011. 2v. cap. 29, p. 1029-1068.

LARANJEIRAS, A. C. R. **Edifício sem juntas**. Salvador, 2017. 46 p.

LARSSON, O. Modelling of temperature profiles in a concrete slab under climatic exposure. **Structural Concrete**. Lund University, Sweden, v. 10, n. 4, 2009, p. 193-201. Disponível em: <<https://doi.org/10.1680/stco.2009.10.4.193>>. Acesso em: 22 de mar. 2021.

LIMA, J. R. P.; COSTA, C. P. Três sistemas construtivos em empreendimento residencial econômico. **Revista Concreto & Construção**. São Paulo, ano 90, p. 21-25, abr-jun, 2018. Disponível em: <[http://ibracon.org.br/site\\_revista/concreto\\_construcoes/pdfs/revista90.pdf](http://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/pdfs/revista90.pdf)> . Acesso em: 14 de jun. 2021.

MACHADO, G. V. **Efeitos das deformações impostas nas estruturas**. 2016. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa, 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed. São Paulo, IBRACON, 2014. cap. 4, p. 85-120.

MENESES, M. B. B. **Análise e dimensionamento estrutural de um reservatório cilíndrico em betão armado**. 2013. 230 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa, 2013.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Como construir paredes de concreto. **Revista Técnica**, São Paulo, ano 17, n. 147, p. 74-80, jun. 2009.

NAKAMURA, J. Fôrmas e escoramentos para edificações: as principais tecnologias disponíveis para obras de edificações. **Revista Construção mercado negócios de incorporação e construção**, São Paulo, ano 67, n. 152, p. 66-69, abr. 2014.

NAKAMURA, J.; PINTO, J. R. Fissuras põem em risco a vida útil das estruturas de concreto. **Portal AECweb**. [S.I.] 2017. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/fissuras-poem-em-risco-a-vida-util-das-estruturas-de-concreto/16243>>. Acesso em: 24 de abr. 2021.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Tradução Ruy Alberto Cremonini. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. cap. 13, p. 232-254.

O'BRIEN, E. J.; KEOGH, D. L.; O'CONNOR, A. J. **Bridge deck analysis**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. cap. 2, p. 46-55.

RADOLLI, M.; GREEN, R. Thermal stresses in concrete bridge superstructures under summer conditions. **Transportation Research Record, Transportation Research Board**, n. 547, 1975, p. 23-36. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/THERMAL-STRESS-ANALYSIS-OF-CONCRETE-BRIDGE-Radolli-Green/8d731c33da20fc8b37a1c0ee9f0f1623dd2da3b8>>. Acesso em: 24 de mar. 2021.

RECENA, F. A. P. **Retração do concreto**. Porto Alegre: ediPUCRS, 2014. 151 p.

SAMPAIO, A. J. A. P. Parede de concreto em edifícios altos. In: SEMINÁRIO RACIONALIZAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS À BASE DE CIMENTO, CONCRETE SHOW 2012, 17. **Anais...** São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/308/anexo/04paredeco.pdf>>. Acesso em: 20 de mar. 2021.

SANTOS, A. Paredes de concreto já dominam Minha Casa Minha Vida. **Portal Itaimbé**. Ilhéus, BA. mar. 2016. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/paredes-de-concreto-minha-casa-minha-vida/>>. Acesso em: 09 de jun. 2021.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1998. cap. 1, pg. 13-82.

THOMAZ, E.; CARNEIRO, L. A. V. Manifestações patológicas na construção: alguns casos reais de fissuração em paredes de edifícios de concreto armado. In: IX INTERNATIONAL CONGRESS ON PATHOLOGY AND REPAIR OF STRUCTURES, 2013, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB, 2013, 16 p. Disponível em: <<http://www.casadagua.com/biblioteca/cinpar-2013/>>. Acesso em: 19 abr. 2021.

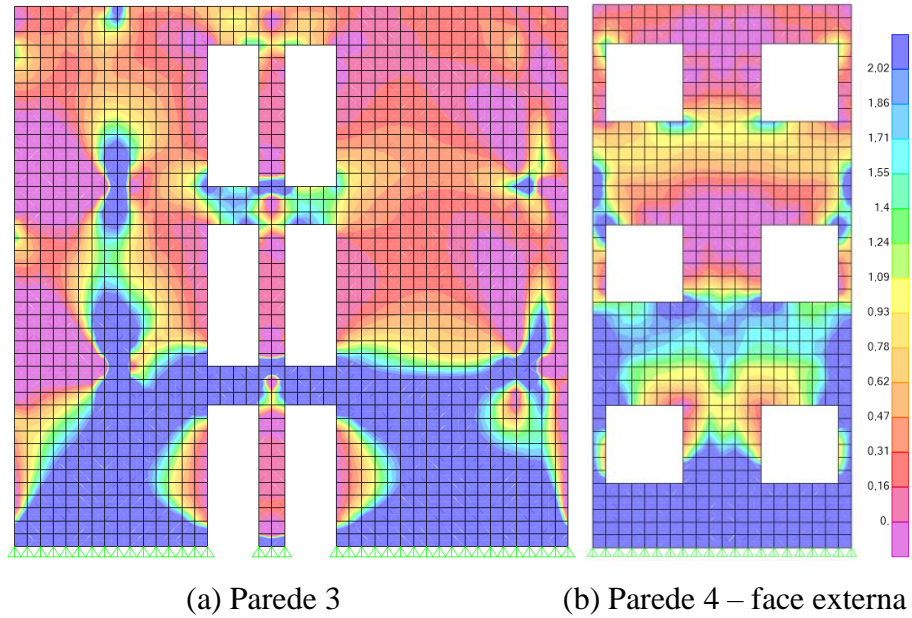
THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1 ed. São Paulo: IPT/EPUSP/PINI, 1989. 194 p.

VIGATEC SISTEMAS CONSTRUTIVOS. **Formas metálicas Vigatec**. São Paulo, SP, 2018. Disponível em: <<https://www.vigatec.com.br/forma-metalica.php>>. Acesso em: 18 de jul. 2021.



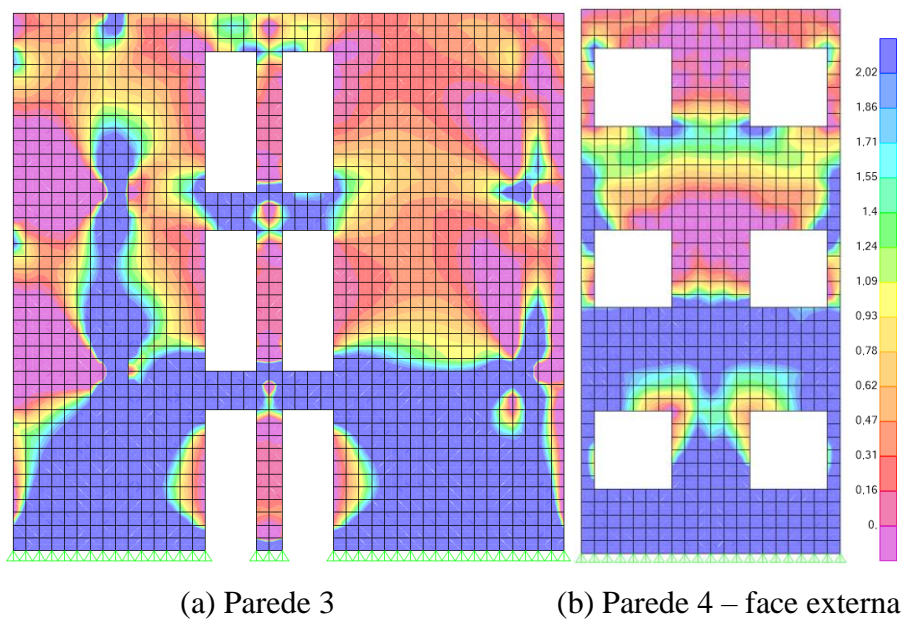
**APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES NAS PAREDES 3 E 4**

Figura 57 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 1  
(tensões em MPa)



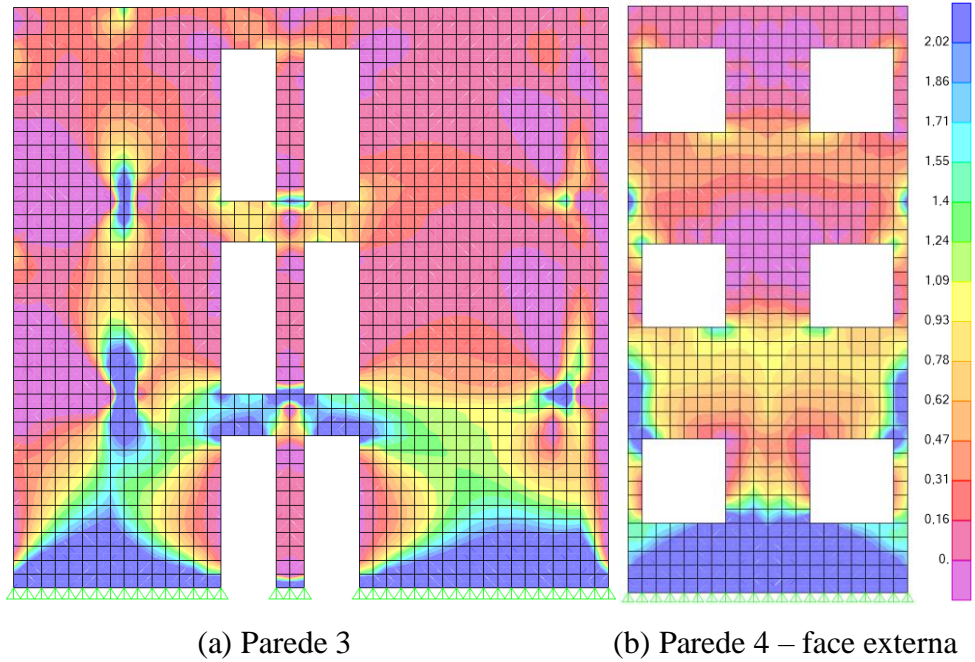
Fonte: Autor.

Figura 58 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 2  
(tensões em MPa)



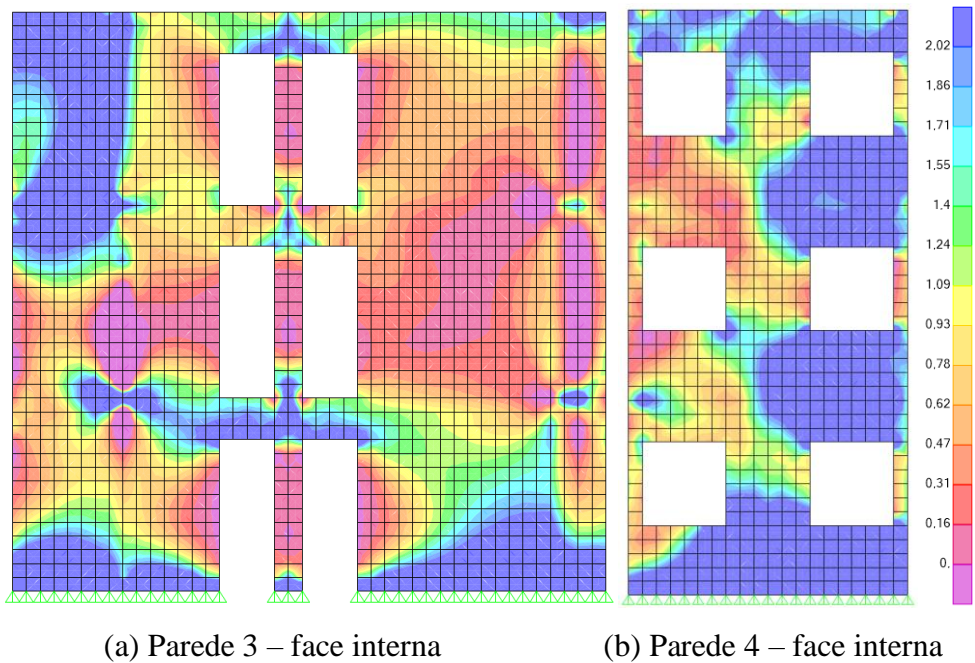
Fonte: Autor.

Figura 59 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 3 (tensões em MPa)



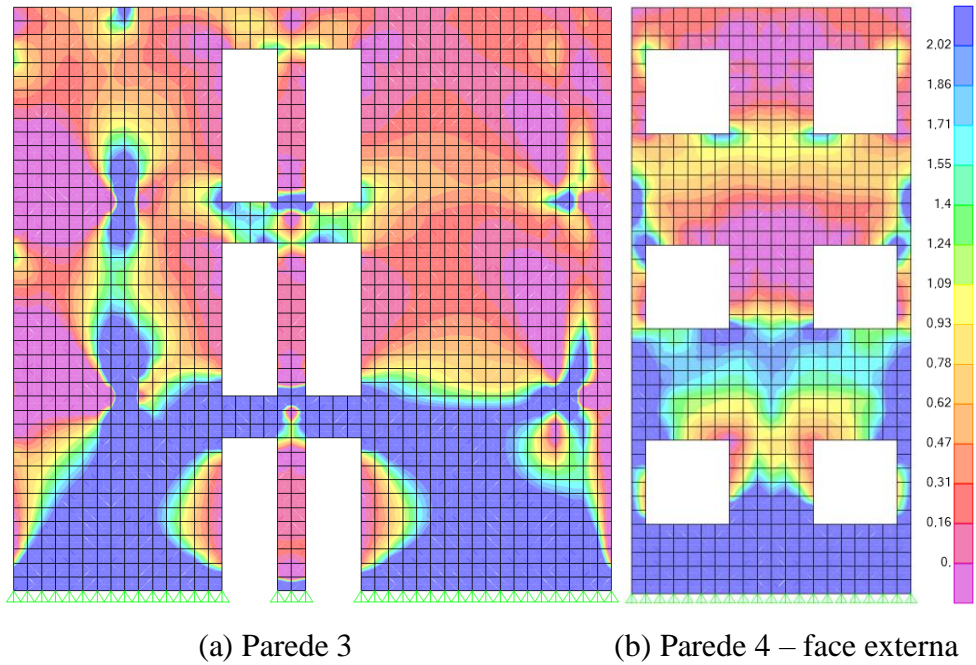
Fonte: Autor.

Figura 60 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 4 (tensões em MPa)



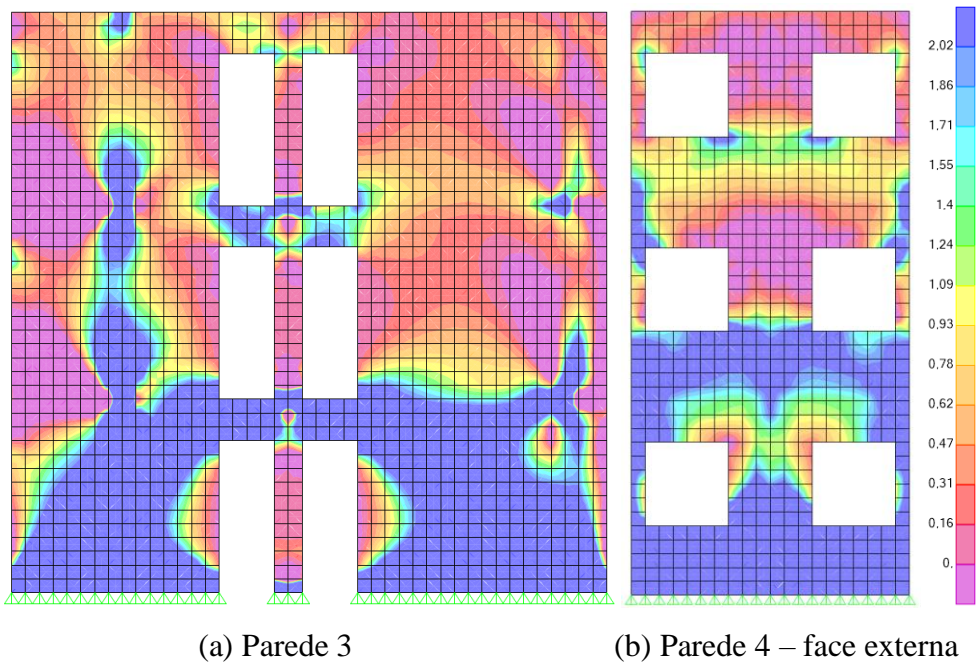
Fonte: Autor.

Figura 61 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 5 (tensões em MPa)



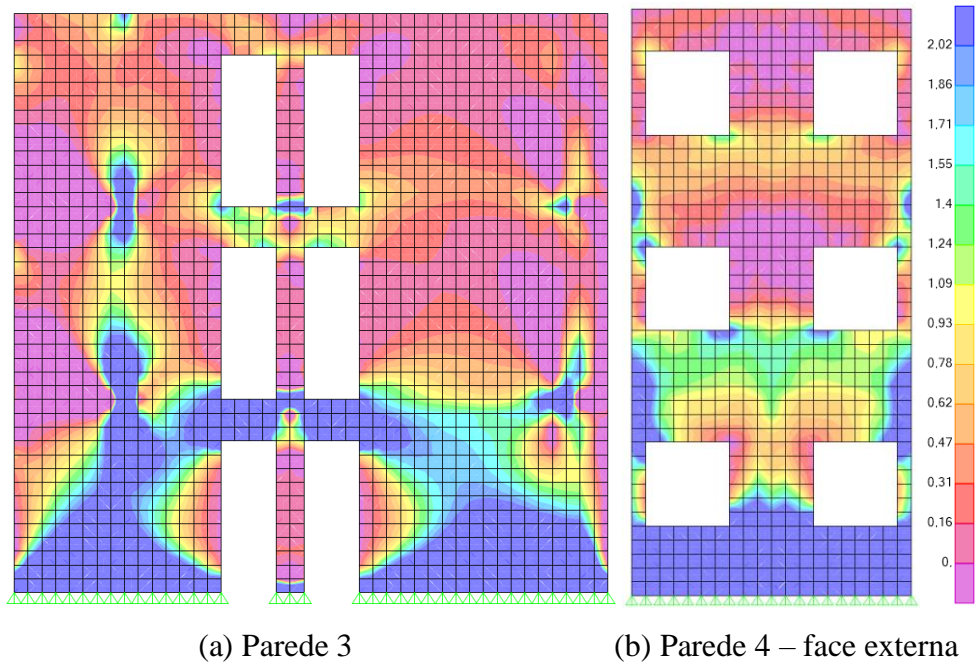
Fonte: Autor.

Figura 62 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 6 (tensões em MPa)



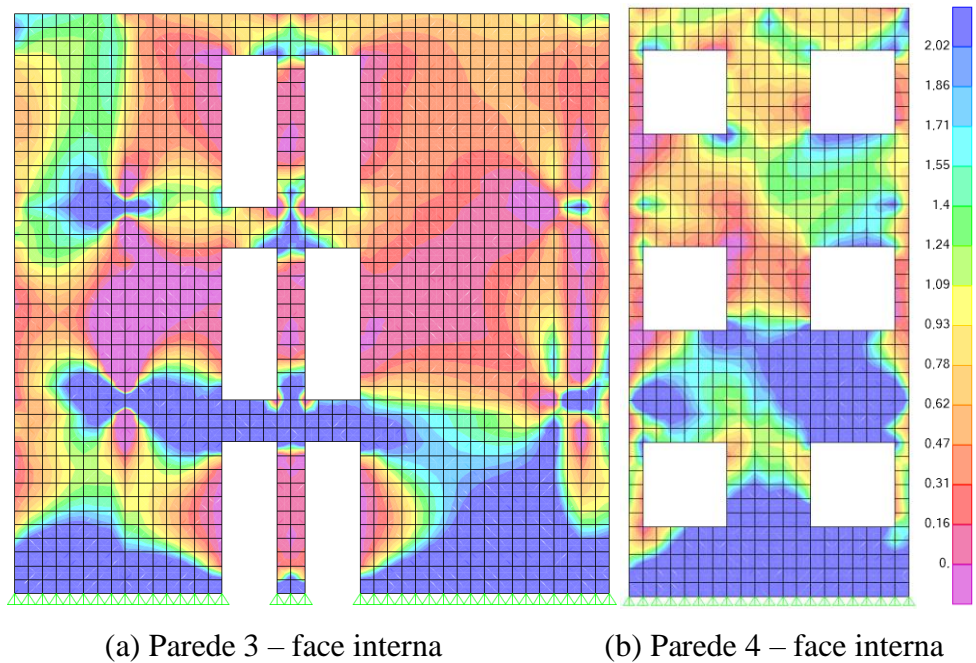
Fonte: Autor.

Figura 63 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 7 (tensões em MPa)



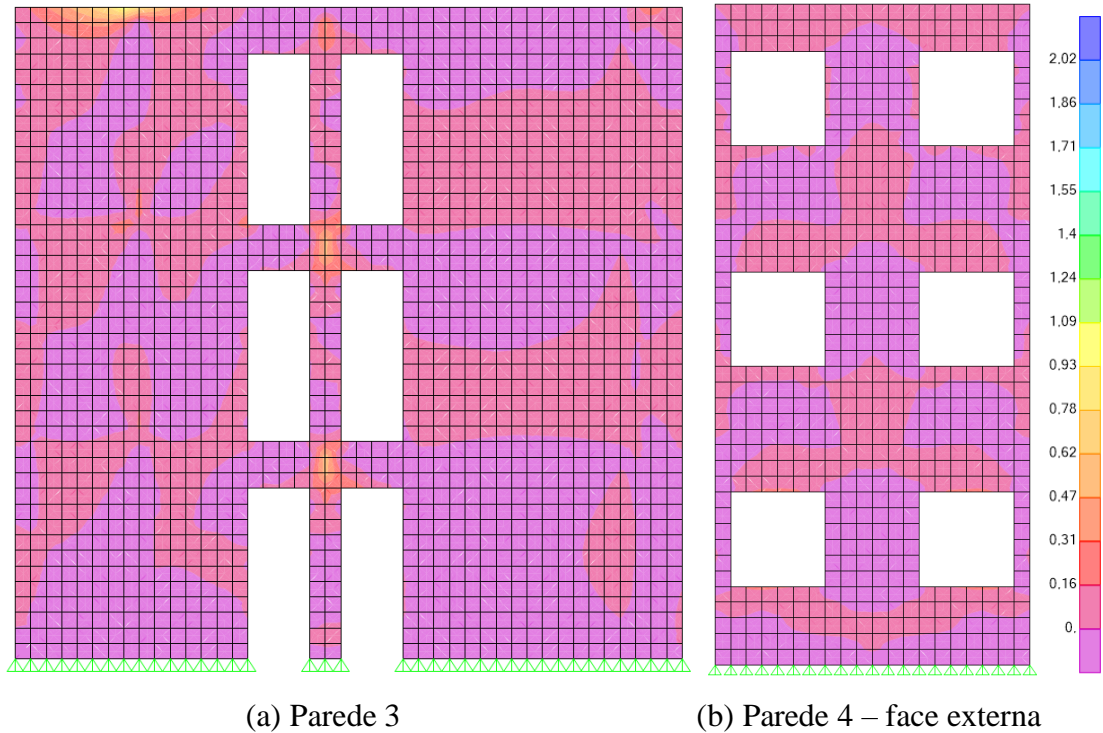
Fonte: Autor.

Figura 64 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 8 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Figura 65 – Distribuição de tensões principais das Paredes 3 e 4 quanto a Combinação Rara 9 (tensões em MPa)



Fonte: Autor.

Para a análise das Paredes 3 e 4 quanto as combinações raras desenvolvidas nesse estudo, é apresentado na Tabela 2 o resumo dos níveis de tensões principais de tração de maneira aproximada para as regiões críticas, sendo elas a base das paredes, regiões próximas às aberturas e encontros com paredes internas.

Como visto previamente com a análise das Paredes 1 e 2, a Combinação Rara 2 formada pelo peso próprio, retração e carga térmica uniforme de resfriamento desenvolveu as tensões principais de tração mais elevadas para as paredes em análise. Desse modo, para evitar a possível formação de fissuras nas regiões com elevadas tensões de tração, acima do valor de 2,02 MPa, é recomendado a verificar as taxas de aço para essas regiões e prever reforços caso necessário para suprir os acréscimos de tensões de tração.

Tabela 2 – Resumo das tensões principais de tração aproximadas para as Paredes 3 e 4. (tensões em MPa)

Nº da Combinação	Parede 3			Parede 4	
	Base	Aberturas	Encontros	Base	Aberturas
Rara 1	6,00	4,50	6,00	7,00	4,50
Rara 2	9,00	6,50	8,00	10,50	7,00
Rara 3	3,00	2,02	3,00	3,50	2,00
Rara 4	3,00	2,02	3,50	5,00	3,50
Rara 5	6,00	4,50	6,00	7,00	4,50
Rara 6	7,00	5,50	7,50	8,50	6,00
Rara 7	4,50	3,00	4,50	5,50	3,50
Rara 8	4,50	3,00	4,50	6,00	3,00
Rara 9	Todos os valores inferiores à 2,02 MPa				

Fonte: Autor.