



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFERSA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS – CMPF
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

IGOR MATEUS PESSOA DE LIMA

**ANÁLISE DO GRADIENTE DE TEMPERATURA EM PILARES POR
CALOR DE HIDRATAÇÃO DO CONCRETO**

**PAUDOS FERROS
2022**

IGOR MATEUS PESSOA DE LIMA

**ANÁLISE DO GRADIENTE DE TEMPERATURA EM PILARES POR
CALOR DE HIDRATAÇÃO DO CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Fernandes
de Araújo Silva.

**PAU DOS FERROS
2022**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

La LIMA, IGOR MATEUS PESSOA.
ANÁLISE DO GRADIENTE DE TEMPERATURA EM PILARES
POR CALOR DE HIDRATAÇÃO DO CONCRETO / IGOR MATEUS
PESSOA LIMA. - 2022.
46 f. : il.

Orientador: MATHEUS FERNANDES DE ARAÚJO SILVA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2022.

1. concreto armado. 2. elementos finitos. 3.
retração. I. SILVA, MATHEUS FERNANDES DE ARAÚJO,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

IGOR MATEUS PESSOA DE LIMA

**ANÁLISE DO GRADIENTE DE TEMPERATURA EM PILARES POR
CALOR DE HIDRATAÇÃO DO CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva
Presidente

Prof. Me. Fabíola Luana Maia Rocha
Primeiro Membro

Prof. Me. José Henrique Maciel de Queiroz
Segundo Membro

Dedico esse trabalho aos meus pais: Ana
Claúdia Chaves de Lima e Francisco
Lázaro Xavier Pessoa que sempre me
apoiaram e incentivaram ao longo de toda
essa jornada de estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família por sempre estarem presentes na minha vida acadêmica, torcendo pelas minhas conquistas e me apoiando nos momentos de dificuldades.

Aos meus amigos, por me aturarem durante esses cinco anos de graduação, entendendo o meu distanciamento e respeitando os meus momentos.

Aos meus professores, pelos ensinamentos repassados, pela confiança no desenvolvimento das atividades, por cada tempo precioso doado para tirar dúvidas e pela amizade que foi construída ao longo desses 5 anos de graduação. Em especial ao meu orientador Matheus Fernandes de Araujo Silva, pela paciência, ensinamentos e confiança ao longo do desenvolvimento deste trabalho e aos professores da banca examinadora pelas contribuições necessárias para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos meus colegas de Empresa Júnior Pirâmides Topografia e Projetos por serem minha segunda família ao longo dos últimos 3 anos e meio de graduação. Vocês me tornaram uma pessoa mais líder, confiante e ético.

Aos meus colegas de curso, que apesar de termos nos distanciado por um bom período de tempo durante a graduação, principalmente, pelo fato de estarmos em salas diferentes, sempre possibilitaram o compartilhamento de experiências e conhecimentos.

Aos meus colegas de Projetos de Extensão e Pesquisa, em especial aos membros do ESNIS, projeto que me acolheu ainda nos primeiros períodos da graduação e que me trouxe muitos aprendizados.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

(Aldo Novak)

RESUMO

O concreto é um material amplamente utilizado na construção civil. Durante o processo de concretagem as variações de temperatura nas partes internas e externas do mesmo podem gerar fissuras que, posteriormente, podem causar prejuízos financeiros e a vida útil da estrutura. Assim, o presente trabalho tem como intuito desenvolver uma análise paramétrica da seção transversal em pilares de concreto armado e avaliar os efeitos térmicos do calor de hidratação. Para isso foi necessário: determinar as dimensões da seção transversal dos pilares avaliados; desenvolver modelos numéricos em MEF, através do software gratuito LISA® versão 8.0.0 da Sonnenhof Holdings e calibrar condições de contorno térmicas. Desta forma, foram adotadas as seguintes dimensões das seções transversais dos pilares a serem analisados: (15 cm x 30 cm); (15 cm x 40 cm); (15 cm x 50 cm); (15 cm x 60 cm); (15 cm x 70 cm); (20 cm x 30 cm); (20 cm x 40 cm); (20 cm x 50 cm); (20 cm x 60 cm); (20 cm x 70 cm); (30 cm x 40 cm). A partir deles, foi possível constatar que as temperaturas máximas não chegaram a ultrapassar os 50 °C, o que indica risco de fissuração baixa, sendo o risco de fissuração alto quando as temperaturas máximas atingem 70 °C. Com relação a temperatura de lançamento o risco de fissuração é maior, tendo em vista que foi utilizado no modelo experimental a temperatura inicial de 34,8 °C, enquanto que para os riscos de fissuração serem controlados essa temperatura tem limite de 23 °C. Em relação a máxima variação de temperaturas que ocorreu nos pilares os valores obtidos não ultrapassaram 13,05 °C e como é menor que 25°C, pode-se afirmar com relação a essa análise que o risco de fissuração é baixo. Desta forma, conclui-se que a partir das três análises é possível constatar que caso os pilares venham a fissurar o principal motivo do aparecimento desta patologia é oriunda da temperatura de lançamento do concreto.

Palavras-Chave: concreto armado; elementos finitos; retração.

ABSTRACT

Concrete is a material widely used in civil construction. During the concreting process the temperature variations in the internal and external parts of the same can generate cracks that, later, can cause financial losses and the life of the structure. Thus, the present work aims to develop a parametric analysis of the cross section in reinforced concrete pillars and evaluate the thermal effects of hydration heat. For this it was necessary to: determine the dimensions of the cross-section of the evaluated pillars; develop numerical models in MEF, through the free LISA software version® 8.0.0 from Sonnenhof Holdings and calibrate thermal contour conditions. Thus, the following dimensions of the cross-sections of the pillars to be analyzed were adopted: (15 cm x 30 cm); (15 cm x 40 cm); (15 cm x 50 cm); (15 cm x 60 cm); (15 cm x 70 cm); (20 cm x 30 cm); (20 cm x 40 cm); (20 cm x 50 cm); (20 cm x 60 cm); (20 cm x 70 cm); (30 cm x 40 cm). From them, it was possible to observe that the maximum temperatures did not exceed 50 °C, which indicates a risk of low cracking, and the risk of cracking is high when the maximum temperatures reach 70 °C. Regarding the release temperature, the risk of cracking is higher, considering that the initial temperature of 34.8 °C was used in the experimental model, while for the risks of cracking to be controlled this temperature has a limit of 23 °C. Regarding the maximum variation of temperatures that occurred in the pillars, the values obtained did not exceed 13.05 °C and as it is less than 25°C, it can be affirmed in relation to this analysis that the risk of cracking is low. Thus, it is concluded that from the three analyses it is possible to verify that if the pillars come to crack the main reason for the appearance of this pathology comes from the release temperature of the concrete.

Keywords: reinforced concrete; finite elements; contraction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1: Composição do concreto armado.....	21
Figura 2.5.1: Modelo experimental revestido.....	25
Figura 2.5.2: Curvas de temperaturas do modelo teórico.....	26
Figura 3.1: Procedimentos metodológicos.....	28
Figura 3.2: Geometrias das modelagens dos pilares, elementos finitos e nós.....	29
Figura 3.3: Configurações do software LISA.....	32
Figura 7.1: Medição da variação da coordenada espacial.....	36
Figura 7.2: Variações de temperaturas nos pilares no intervalo de 48 horas.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 7.1: Temperaturas nos centros e bordas dos pilares.....	34
Tabela 7.2: Fluxo de calor nos pilares.....	35
Tabela 7.3: Variação de temperaturas durante as primeiras 48 horas.....	38

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	Instituto Americano de Concreto
k	Condutividade térmica
x	Coordenada espacial
Dr	Doutor
r	Fator de reação
qx	Fluxo de calor
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
MEF	Método dos Elementos Finitos
NBR	Norma Brasileira
EPS	Plástico Celular Rígido
Prof	Professor
T	Temperatura
K	Temperatura máxima adiabática
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

LISTA DE SÍMBOLOS

cal	Caloria
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro cuadrado
°C	Graus Celsius
K	Kelvin
®	Marca registrada
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
%	Porcentagem
kg	Quilograma
W	Watt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.3 JUSTIFICATIVA.....	18
2 REVISÃO TEÓRICA.....	20
2.1 CONCRETO.....	20
2.2 HIDRATAÇÃO DO CIMENTO.....	21
2.3 GRADIENTE DE TEMPERATURA.....	22
2.4 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.....	24
2.5 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS TRABALHOS ANTERIORES.....	25
3 METODOLOGIA.....	27
4 RESULTADOS.....	34
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material amplamente utilizado na construção civil, principalmente por conseguir resistir aos esforços de compressão e quando utilizado junto ao aço que tem boa resistência à tração, conseguem suportar grandes sobrecargas (PARIZOTTO, 2017). Desta forma, este composto é utilizado em vários tipos de construções dentre as quais estão as pontes, aeroportos, viadutos e grandes arranha céus.

O concreto pode ser produzido a partir da mistura de aglomerante, água, agregado miúdo e agregado graúdo, podendo ter a presença de alguns aditivos e outros compósitos de acordo com a sua finalidade. Segundo Teatini (2016) suas principais vantagens estão atreladas a facilidade em se adaptar às formas, durabilidade elevada, e resistência a choques, vibrações e altas temperaturas. Por outro lado, suas desvantagens são o peso próprio elevado, grande consumo no processo de concretagem e o aparecimento de fissuras inerentes às baixas resistências à tração que podem ser oriundas de movimentações térmicas que são conhecidas como gradiente de temperatura.

O gradiente de temperatura pode ser definido como a diferença de temperatura da parte interna e externa do concreto, sendo gerado a partir do contato do cimento com a água em que será iniciado o processo de hidratação do concreto e, conseqüentemente, ocorrerá a liberação de calor. Nesse sentido, esse processo irá produzir tensões térmicas que quando ultrapassam a resistência à tração do concreto provocará algumas patologias na estrutura em questão, como as fissuras (COELHO; SILVA; PEDROSO, 2016). Desta forma, comprometendo a estabilidade, estanqueidade e a vida útil da estrutura, bem como desencadeando outros

problemas secundários, tendo como exemplo a corrosão das armaduras, que pode ocorrer a partir das aberturas e poros que são formados.

Nesta linha de raciocínio, a formação de fissuras pode afetar a durabilidade, a permeabilidade e as tensões internas das estruturas, que podem ser geradas a partir das sobrecargas impostas à estrutura que ocorrem, principalmente, pelas mudanças volumétricas e estas são consequências das mudanças de temperaturas ocasionadas pelo calor da hidratação do concreto (COELHO, 2012). Portanto, se evidencia a importância do estudo de metodologias e novas tecnologias capazes de prever e controlar essas mudanças de temperaturas no concreto.

Desta forma, Coelho (2012) cita algumas das técnicas utilizadas atualmente na construção civil para diminuição do gradiente de temperatura, como: a concretagem por partes, compactação com rolo do concreto e a utilização de softwares para prever a temperatura interna do concreto e, consequentemente, identificar as temperaturas internas atingidas, o tempo necessário para atingi-las e o local em que se concentram. Assim, é possível buscar as melhores soluções para diminuir os efeitos do gradiente térmico a partir destes dados.

Assim, um dos softwares que podem ser utilizados é o Lisa que cria modelos lineares e analisa elementos finitos, podendo ser responsável por análises de fluxo de calor. De acordo com Fish & Belytschko (2009) o Método dos Elementos Finitos - MEF é uma aproximação numérica para equações parciais, sendo utilizado em várias temáticas relacionadas a engenharia, como escoamento de fluídos, análise de tensões e transferência de calor. Sendo esse último o que será abordado com maior frequência no decorrer deste trabalho.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

A construção civil é um setor muito importante para sociedade e que passa por mudanças inovadoras periodicamente. Tendo como objetivo projetar estruturas capazes de suportar cargas cada vez maiores com maior eficiência e eficácia na utilização dos recursos naturais, com maior economia financeira.

Logo, para que se tenha estruturas com maior resistência é necessário ter conhecimentos mais apurados com relação às consequências negativas provenientes do calor de hidratação do concreto e seus efeitos térmicos nas estruturas. Principalmente, provenientes da retração térmica que provocam a fissuração dos elementos estruturais.

É importante destacar que a longo prazo essas fissuras podem vir a se agravar e provocar patologias secundárias na estrutura, como é o caso da corrosão das armaduras por infiltrações, eflorescências provocadas pelos sais dissolvidos com a água penetradas nas estruturas através das aberturas, expansão interna do concreto provocado pelas dilatações ocorridas provenientes das altas temperaturas tornando o concreto mais poroso, deslocamento de partes da estrutura, dentre outros (SOARES JÚNIOR ET AL, 2018).

Essas patologias podem trazer sérias consequências como é o caso da perda de resistência da estrutura. Em casos mais graves provoca o colapso da mesma que acarretam perdas financeiras com reparos, reforços, diagnósticos e manutenção desta estrutura e durabilidade dos materiais empregados.

Em grandes estruturas, necessita de um consumo de cimento elevado, pois tem que resistir a grandes esforços de compressão e, em consequência disso, tende a sofrer uma grande geração de calor em seu interior (ROCHA; CASCUDO, 2016). Como é o caso dos pilares que são considerados estruturas de geometria

prismática, com eixo longitudinal reto e verticalizada que recebe cargas de compressão, que podem ser simples ou de flexão (NETO, 2017) e se destina a transferir as cargas das vigas, lajes, telhado para as fundações.

1.2 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma análise paramétrica da seção transversal em pilares de concreto armado e avaliar os efeitos térmicos do calor de hidratação. Além disso, possui os seguintes objetivos específicos: Desenvolver modelos numéricos em MEF e calibrar condições de contorno térmicas.

1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com Chung, Silva e Stucchi (2016), as pesquisas relacionadas às variações de temperaturas nas estruturas de concreto devido ao calor de hidratação ainda são pouco abordadas no Brasil. Neste sentido, estudos realizados nessa área se tornam muito importantes, tendo em vista que os problemas relacionados ao gradiente térmico no concreto podem trazer problemas que venham a comprometer as estruturas como é o caso das fissuras.

Vale ressaltar que essa problemática é ainda maior em grandes estruturas que necessitam de grandes volumes de concreto como é o caso de pilares de grandes edifícios. Segundo Coelho (2012) se as tensões de tração oriundas do gradiente de temperatura provocados pelo processo de hidratação do cimento ultrapassarem a resistência à tração do concreto poderá comprometer a estabilidade

e estanqueidade da estrutura e, conseqüentemente, provocar o colapso da estrutura.

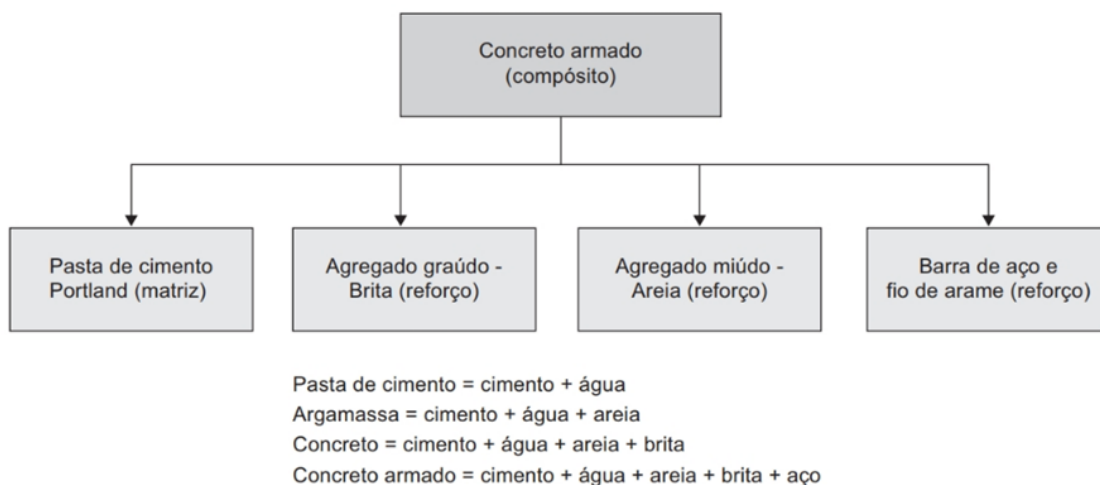
Desta forma, analisar os efeitos térmicos do concreto para pilares comumente utilizados na construção civil com base em dados obtidos em trabalhos anteriores. Sendo que estes trabalhos estão relacionados ao monitoramento realizado através de equipamento tecnológico, financeiramente econômico e eficiente, auxiliado pela utilização de um modelo teórico calibrado. Assim, prevendo o aparecimento de prováveis patologias oriundas do gradiente térmico do concreto e facilitando o diagnóstico e elaboração de possíveis soluções para estes problemas.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 CONCRETO

O concreto é formado por cimento, agregado fino, agregado graúdo e água, podendo ter a presença de alguns aditivos, tendo as suas quantidades de cada um desses elementos definidos de acordo a aplicação, que também pode ser chamado de traço. Assim, o uso de aditivos irá proporcionar mudanças nas características físicas ou químicas do concreto buscando melhorar suas propriedades a depender da demanda de sua aplicação, sendo este um material que possui a sua ruptura brusca, tendo em vista que se classifica como um material frágil (VENTURI; LAZZARI; BOTELHO, 2021).

Nesta linha de raciocínio, o concreto é considerado um material que resiste muito bem aos esforços de compressão. No entanto, com relação aos esforços de tração é necessário que se utilizem barras de aço de forma a proporcionar resistência a esses esforços. Além disso, pelo fato do cimento ser considerado o material mais caro do concreto, é utilizado o agregado graúdo para preencher uma boa parcela do volume de concreto e o agregado miúdo para fazer o preenchimento dos vazios (PINHEIRO; CRIVELARO, 2020), sendo a composição de cada fase do concreto armado evidenciada na Figura 5.3. 1.

Figura 2.1.1: Composição do concreto armado.

Fonte: Pinheiro e Crivelaro (2020).

2.2 HIDRATAÇÃO DO CIMENTO

O cimento pode ser definido como um material com propriedades coesivas e adesivas, tornando-o um importante ligante, sendo composto, principalmente, à base de calcário (NEVILLE, 2016) e a sua hidratação ocorre imediatamente após sua mistura com a água, aparecendo com maior intensidade nos concretos de alto desempenho (KOOA; KIMA; YOOB; LEEB, 2014).

Durante o processo de hidratação do cimento é possível perceber que os grãos de clínquer se subdividem em duas camadas: sendo a primeira localizada mais ao centro (anidra), sendo formada pelos minerais de clínquer e a outra parte que se localiza entre a anidra e o gel, sendo que isso ocorre em decorrência do cimento se hidratar a uma profundidade da ordem de 0,01 mm o que induz que os grãos não podem ser muito grossos pois o rendimento seria pequeno e poderia afetar o processo de endurecimento (NETO, 2017).

Ainda de acordo com Neto (2017) o estado de endurecimento do concreto ocorre em três etapas: a primeira etapa ocorre desde a mistura da água com cimento (hidratação do cimento) até o momento em que esta mistura oferece uma certa resistência à penetração de uma agulha (início da pega); a segunda fase ocorre entre o início e o final da pega, sendo este último definido quando a agulha já não consegue mais penetrar na mistura; por fim, a terceira etapa se dá pela continuação da mistura após o processo de pega. Neste sentido, alguns aditivos, como é o caso do gesso, podem ser usados para retardar o tempo de pega.

Nesta linha de raciocínio, a hidratação do cimento também pode ocasionar o aumento do volumétrico do concreto, decorrente do calor provocado pelo contato da cal livre encontrada no cimento portland com a água que irá se transformar em hidróxido de cálcio - Ca(OH)_2 . Também podendo ocorrer através da hidrólise dos silicatos, assim, a quantidade de calor gerado irá depender da proporcionalidade de cada substância que compõe o cimento, como também, do volume de concreto utilizado (NETO, 2017).

2.3 GRADIENTE DE TEMPERATURA

As grandes variações de temperatura e as fissuras formadas nas estruturas de concreto tem forte relação com o calor de hidratação (KOOA; KIMA; YOOB; LEEB, 2014). Além disso, em concretagens massivas, ou seja, em grandes quantidades, é mais provável que ocorra temperaturas mais elevadas no interior do concreto e, conseqüentemente, maior gradiente de temperatura, e por esse motivo as formas de lançamento e os agentes externos que estarão em contato direto com

a estrutura se tornam fatores muito importantes na concretagem (GAMBALE; BITTENCOURT, 2008).

Conforme Azenha (2009) as transferências de calor nos concretos podem acontecer de três formas, sendo a primeira delas a condução, em que a movimentação das moléculas em virtude das vibrações ou até mesmo a movimentação dos elétrons caracteriza a transferência de energia térmica. A segunda é a convecção que ocorre a partir da movimentação dos fluidos, em que os fluidos quentes são substituídos pelos fluidos frios em um processo constante. Por fim, a radiação se caracteriza pela troca de calor por ondas eletromagnéticas (Teoria Clássica de Maxwell) ou a partir de fótons discretos (Hipótese de Planck).

Desta forma, as trocas de calor podem ser expressas através da Lei de Fourier que calcula a taxa de condução de calor em sólidos e pode ser vista na Equação (5.2.1):

$$q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.3.1)$$

Sendo que:

q_x - Fluxo de calor (W) através de uma área A (m²);

k - Condutividade térmica (W/mK);

T - Temperatura (K);

x - Coordenada espacial (m).

É importante destacar que as deduções e detalhes desta equação podem ser verificados em: Azenha (2009).

Por fim, ocorre o processo de retração do concreto durante o seu resfriamento em que são gerados esforços de tração, aos quais o concreto não possui dentre as suas propriedades boas condições de resistência e em decorrência disso, ocorre a

desintegração do material e surgimento de fissuras. Vale ressaltar que aliada ao processo de retração por resfriamento, ocorre também a retração por união dos grãos de cimento em virtude do processo de evaporação capilar ao qual o concreto passa (NETO, 2017).

2.4 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

No campo da engenharia, muitos problemas são interpretados a partir de equações diferenciais parciais. No entanto, resolver essas equações por métodos analíticos muitas das vezes se torna inviável e, por esse motivo, o Método dos Elementos Finitos (MEF) se torna um importante para fazer uma aproximação numérica destas equações diferenciais parciais possam ser solucionadas de forma a retornar valores aproximados da situação real (FISH; BELYTSCHKO, 2009). Além disso, o MEF é muito usado em problemas de transferências de calor e análise de tensões.

Neste sentido, a partir da divisão da estrutura em análise por elemento finitos, que são conectados por nós e formam a malha de elementos finitos, é possível se obter uma solução aproximada a partir da geração dessa malha, que podem ser obtidos a partir de um programa de computador (FISH; BELYTSCHKO, 2009), sendo que no caso do presente trabalho será utilizado o Lisa. Assim, a partir da análise das tensões térmicas em um determinado período de tempo, espaçados com intervalos pré determinados é possível fazer uma investigação das manifestações térmicas (PEREIRA, 1986).

2.5 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS TRABALHOS ANTERIORES

Este trabalho foi desenvolvido a partir de duas outras obras. Sendo a primeira delas de Oliveira (2020) que desenvolveu um modelo experimental capaz de realizar o acompanhamento das variações de temperatura no interior de um bloco de concreto em formato cúbico com dimensões de 46 cm x 46 cm x 46 cm, tendo arestas externas de 50 cm, estado esse isolado do meio externo por uma camadas de EPS (interna e externa) que possuem 20 mm de espessura e outra camada de papel alumínio e pode ser visualizada na Figura 5.5.1.

Figura 2.5.1: Modelo experimental revestido.

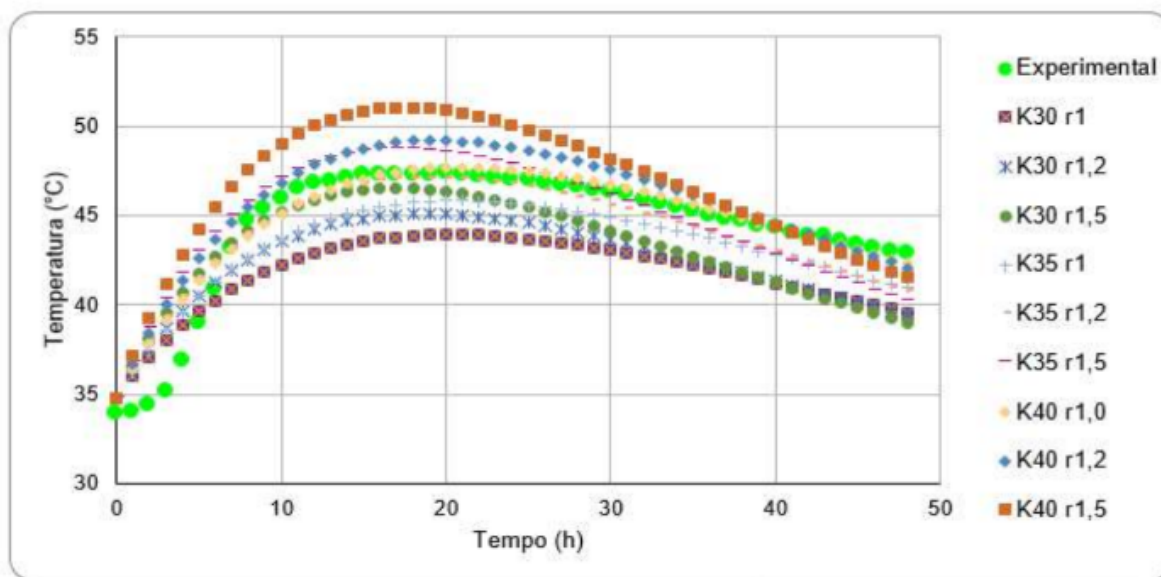


Fonte: Oliveira, 2020.

A segunda obra utilizada como referência foi a de Sousa (2021) que a partir dos resultados obtidos por Oliveira (2020) conseguiu calibrar os parâmetros do concreto que promovem variações da temperatura durante o intervalo de tempo de 48 horas, através de métodos numéricos. Para tanto, Sousa (2021) fez uma série de análises com a temperatura máxima adiabática (K) e fator de reação (r);

posteriormente, conseguiu obter a combinação que mais se aproxima do modelo experimental, sendo elas, (K30; r1,2) e (K40; r1,0) que podem ser identificadas no Figura 5.5.2.

Figura 2.5.2: Curvas de temperaturas do modelo teórico.



Fonte: Sousa, 2021.

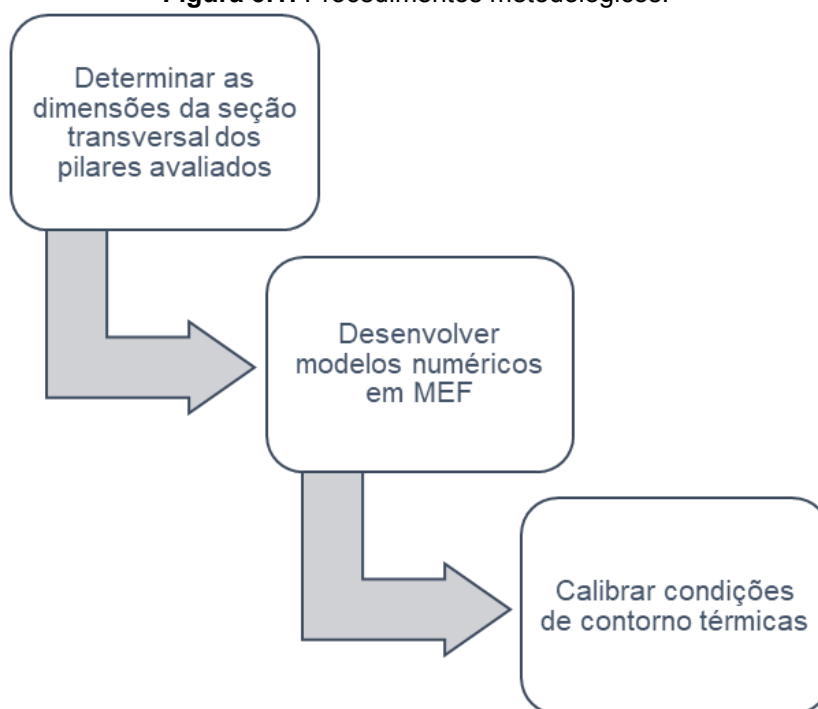
3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido a partir do método dedutivo, através da revisão da literatura utilizando assuntos inerentes ao desenvolvimento deste trabalho, disponíveis em artigos científicos, livros clássicos, normas técnicas, teses, dissertações e anais de eventos. Assim, coletando e condensando todas as informações necessárias para construção de uma base sólida que facilite o melhor entendimento do trabalho.

Além disso, este trabalho se caracteriza como qualitativo, tendo em vista que foram realizadas as análises dos comportamentos estruturais de diferentes pilares a partir do gradiente de temperatura e após ter os resultados obtidos, comparar com método calibrado e experimental desenvolvidos anteriormente.

Vale ressaltar que, foi necessário adquirir os conhecimentos sobre o software gratuito LISA® versão 8.0.0 da Sonnenhof Holdings para obter os resultados em conformidade com o método dos elementos finitos. Sendo este um programa muito usual em todo o mundo, tendo aplicabilidade em diversas áreas, dentre as quais estão: acústica, estruturas, hidráulica e térmica.

Neste sentido, este trabalho é continuação de uma linha de pesquisa dos trabalhos de Oliveira (2020) e Sousa (2021) que serão brevemente apresentados na seção resultados. Assim, o procedimento metodológico adotado pode ser apresentado a partir de 3 passos mostrados na Figura 6.1.

Figura 3.1: Procedimentos metodológicos.

Fonte: Autoria própria, 2022.

Vale ressaltar que, levando em consideração os resultados obtidos por Sousa (2021) para obtenção dos resultados deste trabalho optou-se por utilizar como parâmetros a combinação (K40; r1,0), tendo em vista que se aproxima mais do modelo experimental do que a outra combinação (K30; r1,2).

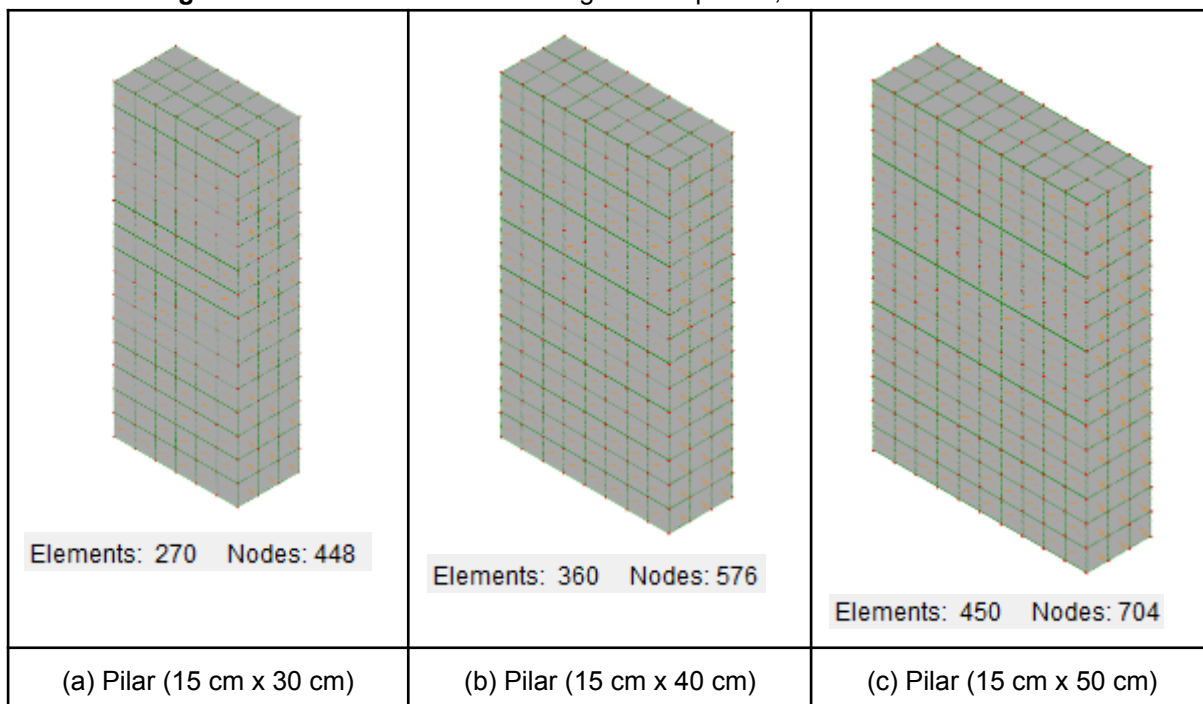
Inicialmente, foram adotadas as dimensões das seções transversais dos pilares a serem analisados, cujos valores escolhidos culminaram em onze seções transversais diferentes, sendo elas: (15 cm x 30 cm); (15 cm x 40 cm); (15 cm x 50 cm); (15 cm x 60 cm); (15 cm x 70 cm); (20 cm x 30 cm); (20 cm x 40 cm); (20 cm x 50 cm); (20 cm x 60 cm); (20 cm x 70 cm); (30 cm x 40 cm).

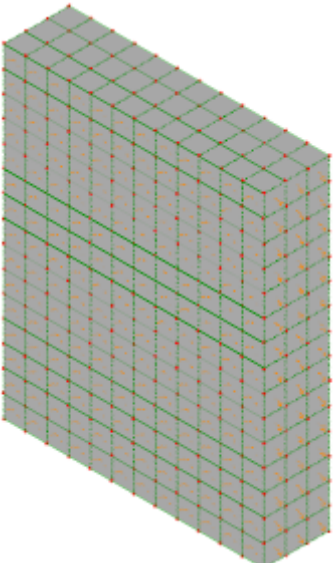
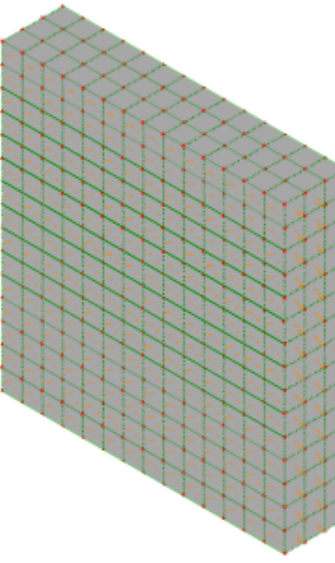
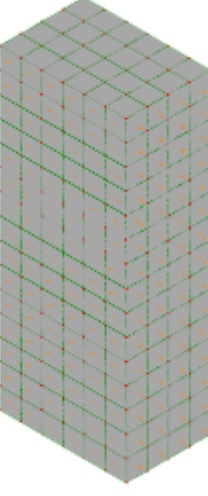
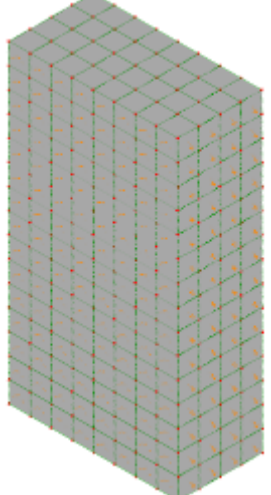
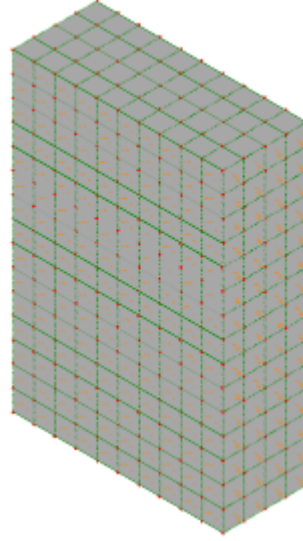
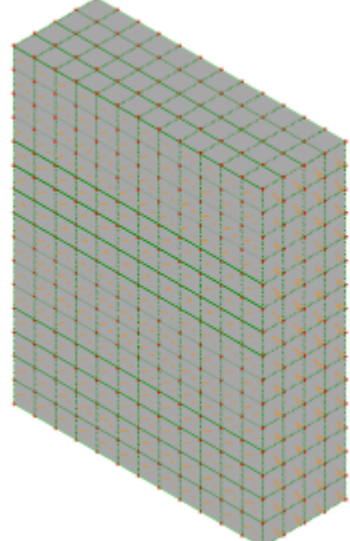
Para realizar a escolha dos pilares respeitou-se a NBR 6118:2014 que diz em seu item 13.2.3 que a seção dos pilares não deve apresentar dimensão menor que 19 cm, porém abre uma exceção para dimensões entre 19 cm à 14 cm desde que os esforços solicitantes de cálculos utilizados para se realizar o dimensionamento sejam multiplicados por um coeficiente γ_n indicado na Tabela 13.1 da mesma

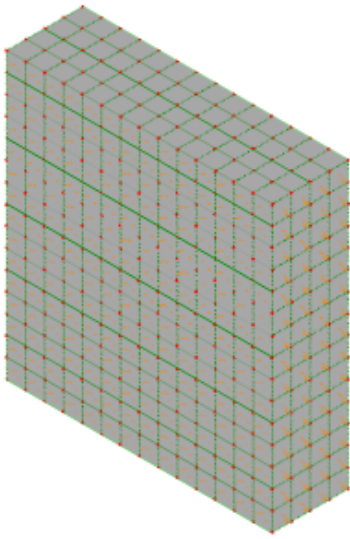
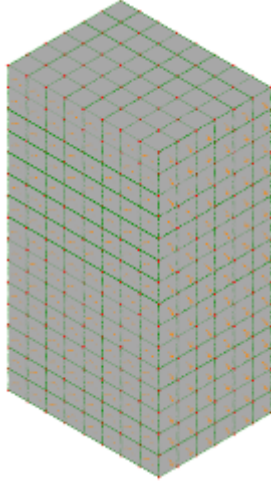
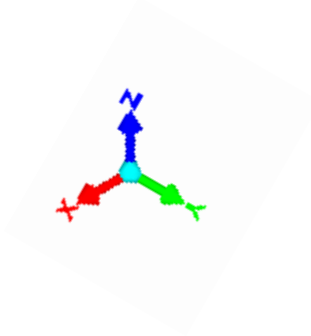
norma. Em todos os casos os pilares não podem ter seção transversal menor que 360 cm².

Além disso, cada pilar foi subdividido em elementos finitos cúbicos com dimensões de (5 cm x 5 cm x 5 cm) que são semelhantes aos utilizados no modelo experimental de Oliveira (2020). A seguir, na Figura 7.1, serão apresentados às modelagens geométricas de todos os pilares com seus respectivos números de nós e elementos finitos utilizados.

Figura 3.2: Geometrias das modelagens dos pilares, elementos finitos e nós.



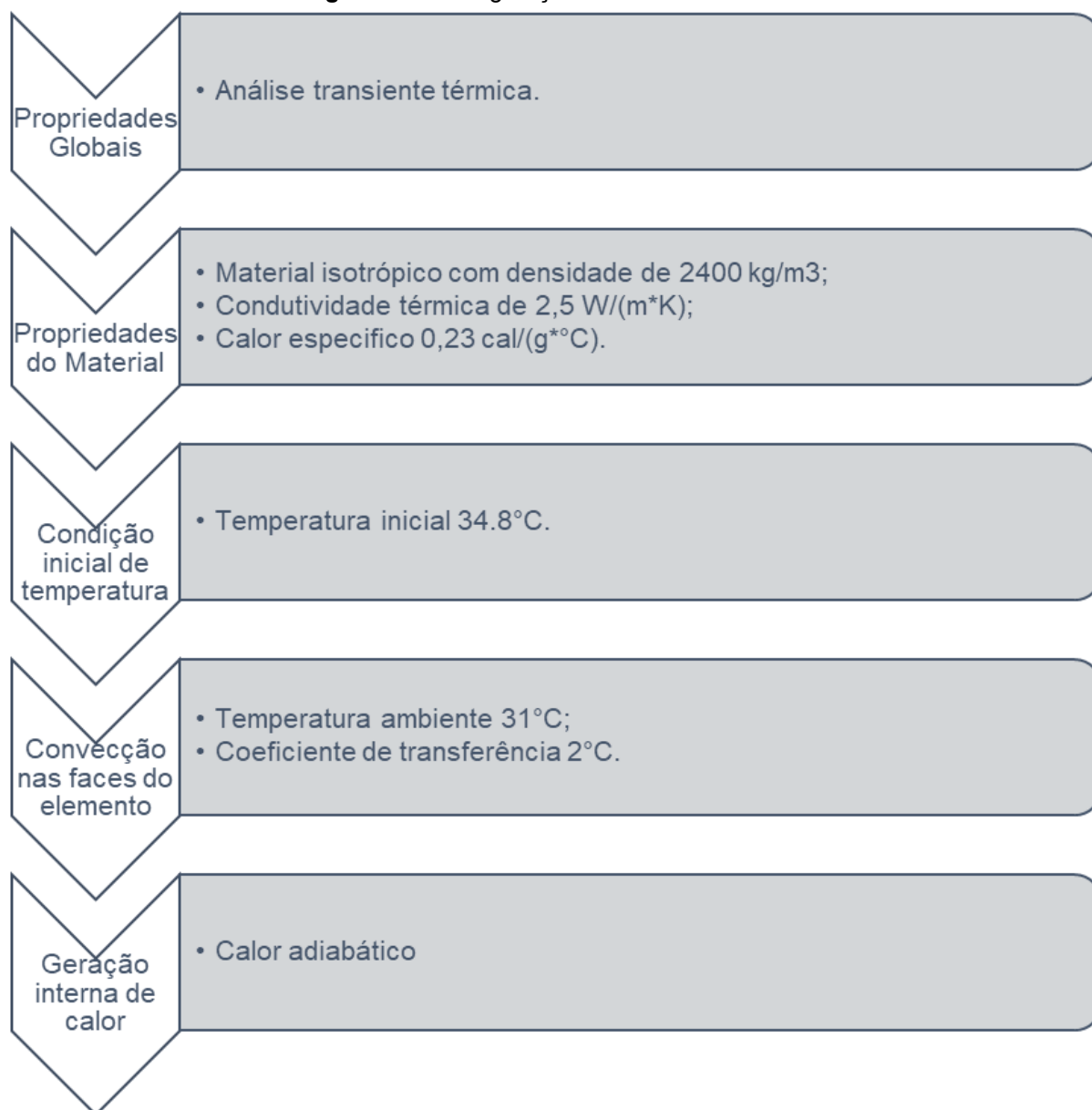
 Elements: 540 Nodes: 832	 Elements: 630 Nodes: 960	 Elements: 360 Nodes: 560
(d) Pilar (15 cm x 60 cm)	(e) Pilar (15 cm x 70 cm)	(f) Pilar (20 cm x 30 cm)
 Elements: 480 Nodes: 720	 Elements: 600 Nodes: 880	 Elements: 720 Nodes: 1040
(g) Pilar (20 cm x 40 cm)	(h) Pilar (20 cm x 50 cm)	(i) Pilar (20 cm x 60 cm)

 Elements: 840 Nodes: 1200	 Elements: 720 Nodes: 1008	
(j) Pilar (20 cm x 70 cm)	(j) Pilar (30 cm x 40 cm)	(i) Coordenadas dos pilares

Fonte: Autoria própria, 2022.

Vale salientar que os eixos dos pilares podem ser visualizados na Figura 7.1 (i), em que os eixos x e y representam a seção transversal do pilar (comprimento e largura), já o eixo z representa a altura do mesmo.

Em seguida, foi realizado a calibração das condições de contorno para cada um dos pilares evidenciados acima, estando de acordo com os parâmetros utilizados por Sousa (2021) em seu trabalho. Sendo esses parâmetros mostrados na Figura 7.2.

Figura 3.3: Configurações do software LISA.

Fonte: Adaptado pelo autor, 2022 (Sousa, 2021).

Nesta linha de raciocínio, como descreve Sousa (2021), em seu trabalho adotou-se a análise transiente térmica por permitir analisar o processo de hidratação térmica no concreto, com leituras no intervalo de 1 hora, no período de 48 horas. Em relação às propriedades do material foi levado em consideração que o concreto mantém suas propriedades térmicas e mecânicas em todas as direções (material isotrópico). Assim, optou-se pelo valor médio de 2400 kg/m³ para densidade, tendo

em vista que varia de 2200 kg/m³ a 2600 kg/m³. Além disso, utilizou-se para condutividade térmica 2,5 W/(m*K) e 0,23 cal/(g*°C) para o calor específico.

Além disso, utilizou-se a temperatura inicial de 34,8 °C de acordo com dados do modelo experimental desenvolvido por Oliveira (2020), temperatura ambiente de 31 °C e coeficiente de transferência de 2 °C levando em consideração a convecção existente entre o concreto e o meio externo, vale ressaltar que essa convecção foi aplicada apenas na face lateral dos elementos finitos dos pilares, tendo em vista que considerou-se que as faces inferior e superior estariam em contato direto com o mesmo concreto. Por fim, a taxa de calor adiabático de hidratação foram obtidas através das equações de Kyung-Mo *et al* (2013) que levam em consideração a temperatura máxima adiabática (K) e fator de reação (r), e estão deduzidas no trabalho de Sousa (2021) na seção 4.1 Modelo teórico.

4 RESULTADOS

A princípio foi possível obter as temperaturas no centro e na borda da seção transversal do pilar para três intervalos de tempos diferentes: 12 horas, 16 horas e 24 horas. A forma como a obtenção desses dados se deram no software LISA® podem ser mostrado na Tabela 7.1, lembrando que nos casos em que o centro do pilar não coincide com um dos nós dos elementos finitos, optou-se por fazer a interpolação de dados entre os dois nós mais próximos.

Tabela 7.1: Temperaturas nos centros e bordas dos pilares.

	12 horas		16 horas		24 horas	
	Centro (°C)	Borda (°C)	Centro (°C)	Borda (°C)	Centro (°C)	Borda (°C)
<i>Pilar 15x30 cm</i>	42,98	42,05	43,29	42,32	42,39	41,48
<i>Pilar 15x40 cm</i>	43,53	42,36	43,99	42,75	43,28	42,10
<i>Pilar 15x50 cm</i>	43,89	42,50	44,45	42,98	43,88	42,45
<i>Pilar 15x60 cm</i>	44,13	42,57	44,78	43,10	44,31	42,66
<i>Pilar 15x70 cm</i>	44,31	42,61	45,02	43,16	44,64	42,78
<i>Pilar 20x30 cm</i>	44,07	42,89	44,70	43,45	44,22	43,01
<i>Pilar 20x40 cm</i>	44,69	43,23	45,51	43,95	45,32	43,77
<i>Pilar 20x50 cm</i>	45,08	43,40	46,04	44,21	46,05	44,20
<i>Pilar 20x60 cm</i>	45,36	43,48	46,42	44,35	46,58	44,45
<i>Pilar 20x70 cm</i>	45,56	43,52	46,70	44,43	46,99	44,61
<i>Pilar 30x40 cm</i>	45,94	44,12	47,22	45,23	47,80	45,70

Fonte: Autoria própria, 2022.

Desta forma, a partir da Lei de Fourier mostrada anteriormente na Equação 5.2.1, será calculada utilizando os dados disponíveis na Tabela 7.2 que são inerentes a cada um dos pilares. É importante destacar que os valores negativos

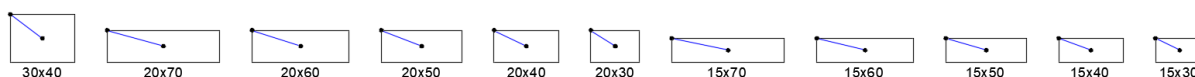
encontrados para o fluxo de calor podem ser explicados pelo valor do gradiente de temperatura está no mesmo sentido do fluxo de calor.

Tabela 7.2: Variação de temperatura e fluxo de calor nos pilares.

Pilares	k (W/(m*k))	A (m²)	∂x (m)	∂T (K) (12 horas)	∂T (K) (16 horas)	∂T (K) (24 horas)	qx (12 h)	qx (16 h)	qx (24 h)
15 cm x 30 cm	2,5	0,045	0,168	0,94	0,97	0,91	-0,63	-0,65	-0,61
15 cm x 40 cm	2,5	0,06	0,214	1,18	1,24	1,18	-0,83	-0,87	-0,83
15 cm x 50 cm	2,5	0,075	0,261	1,38	1,47	1,43	-0,99	-1,05	-1,03
15 cm x 60 cm	2,5	0,09	0,309	1,56	1,68	1,66	-1,14	-1,22	-1,21
15 cm x 70 cm	2,5	0,105	0,358	1,71	1,86	1,86	-1,25	-1,36	-1,37
20 cm x 30 cm	2,5	0,06	0,180	1,18	1,25	1,21	-0,98	-1,04	-1,01
20 cm x 40 cm	2,5	0,08	0,224	1,45	1,55	1,55	-1,30	-1,39	-1,39
20 cm x 50 cm	2,5	0,1	0,269	1,68	1,82	1,83	-1,56	-1,69	-1,70
20 cm x 60 cm	2,5	0,12	0,316	1,88	2,06	2,13	-1,79	-1,96	-2,02
20 cm x 70 cm	2,5	0,14	0,357	2,05	2,27	2,38	-2,01	-2,23	-2,33
30 cm x 40 cm	2,5	0,12	0,250	1,82	2,00	2,10	-2,18	-2,40	-2,51

Fonte: Autoria própria, 2022.

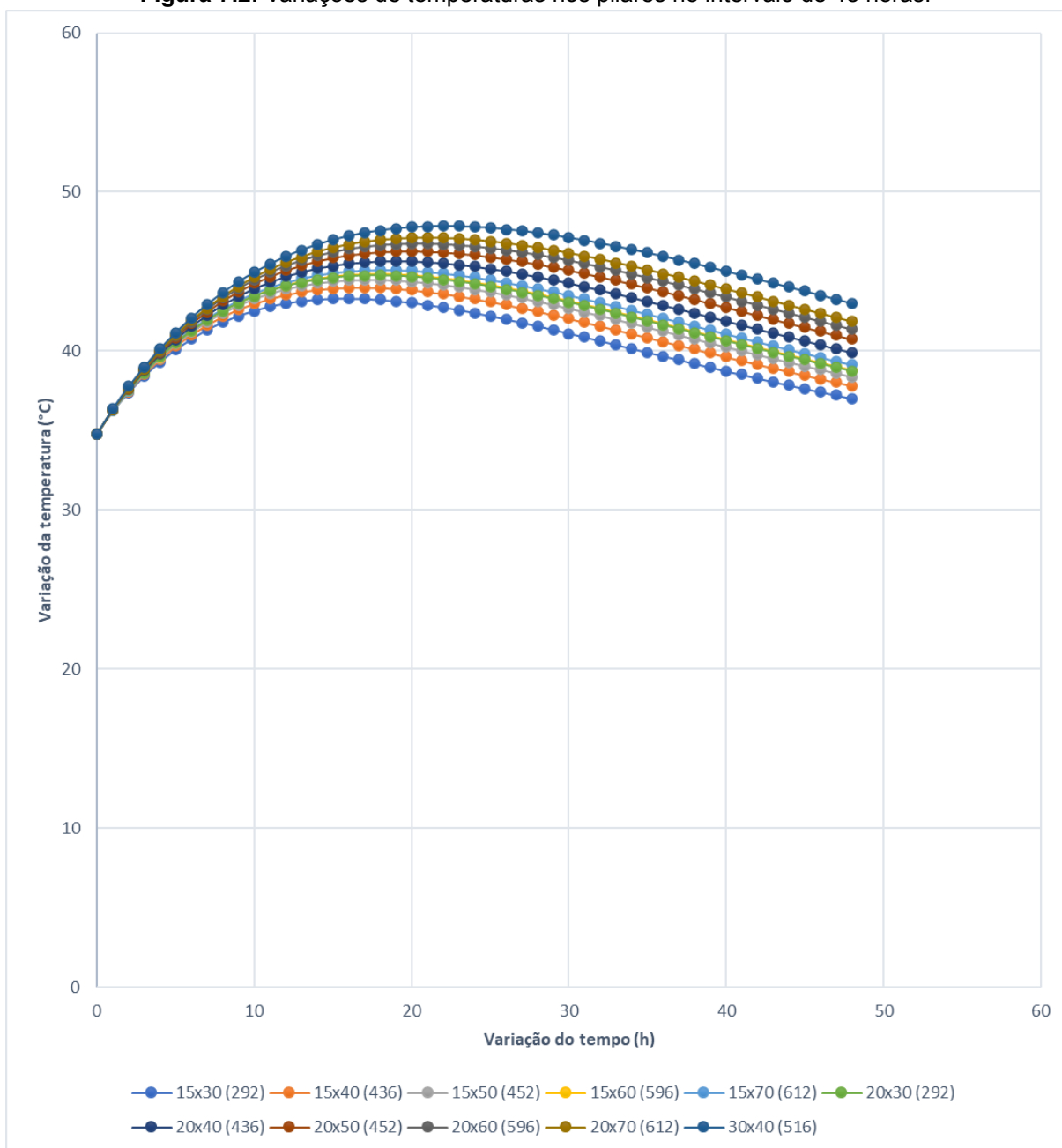
Vale ressaltar que a obtenção das variações de temperaturas (∂t) foram obtidas através da subtração da temperatura do centro pela temperatura da borda do pilar para cada um dos horários especificados e, posteriormente, convertidas de graus Celsius para Kelvin; a variação da coordenada espacial (∂x) foi obtida a partir do software AutoCAD, ilustrado na Figura 7.3; a área (A) foi obtida através da multiplicação das dimensões das seções transversais dos pilares, a condutividade térmica (k) já havia sido comentada anteriormente e, por fim, todos os dados foram calculados através da Lei de Fournier para se obter o fluxo de calor e apresentados nas três últimas colunas da Tabela 7.1.

Figura 7.1: Medição da variação da coordenada espacial.

Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir dos resultados apresentados na Figura 7.4 é possível perceber que todos os pilares partiram da mesma temperatura no instante zero, ou seja, 34,8 °C que corresponde à temperatura ambiente que foi obtida por Oliveira (2020) em seus estudos. Posteriormente, observa-se que o pilar que obteve temperaturas máximas em relação aos demais foi o de dimensões (30 cm x 40 cm), enquanto o que obteve temperaturas mínimas foi o de (15 cm x 30 cm). Outro fator interessante é que o comportamento da variação em todos os pilares seguiu um padrão com picos de temperatura variando entre os instantes: 16 horas até 22 horas após o início do processo de concretagem.

Figura 7.2: Variações de temperaturas nos pilares no intervalo de 48 horas.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Os resultados da Figura 7.4 podem ser representados a partir da tabela 7.3, em que são destacadas as temperaturas máximas encontradas no intervalo de tempo analisado.

Tabela 7.3: Variação de temperaturas durante as primeiras 48 horas.*Temperaturas registradas (°C)*

<i>Tempo (h)</i>	15x30 (292)	15x40 (436)	15x50 (452)	15x60 (596)	15x70 (612)	20x30 (292)	20x40 (436)	20x50 (452)	20x60 (596)	20x70 (612)	30x40 (516)
0	34,80	34,80	34,80	34,80	34,80	34,80	34,80	34,80	34,80	34,80	34,80
1	36,24	36,25	36,25	36,25	36,25	36,31	36,32	36,33	36,33	36,33	36,37
2	37,37	37,44	37,46	37,47	37,48	37,54	37,61	37,64	37,65	37,65	37,77
3	38,42	38,54	38,61	38,64	38,65	38,63	38,76	38,83	38,86	38,88	39,00
4	39,30	39,45	39,55	39,61	39,64	39,64	39,81	39,91	39,97	40,00	40,14
5	40,09	40,31	40,43	40,52	40,56	40,49	40,71	40,85	40,93	40,99	41,16
6	40,74	41,00	41,17	41,28	41,34	41,27	41,55	41,73	41,84	41,91	42,09
7	41,33	41,64	41,84	41,97	42,05	41,92	42,25	42,46	42,61	42,70	42,93
8	41,80	42,16	42,39	42,55	42,65	42,52	42,91	43,16	43,33	43,44	43,68
9	42,21	42,62	42,88	43,06	43,18	43,00	43,44	43,73	43,92	44,06	44,36
10	42,52	42,98	43,28	43,48	43,62	43,43	43,94	44,26	44,49	44,65	44,95
11	42,80	43,29	43,62	43,84	44,01	43,77	44,32	44,68	44,94	45,12	45,48
12	42,98	43,53	43,89	44,13	44,31	44,07	44,69	45,08	45,36	45,56	45,94
13	43,14	43,72	44,10	44,37	44,57	44,29	44,95	45,38	45,69	45,91	46,35
14	43,23	43,86	44,26	44,55	44,77	44,48	45,20	45,66	45,99	46,24	46,69
15	43,29	43,94	44,38	44,69	44,92	44,60	45,36	45,86	46,21	46,48	46,99
16	43,29	43,99	44,45	44,78	45,02	44,70	45,51	46,04	46,42	46,70	47,23
17	43,27	44,00	44,48	44,83	45,08	44,74	45,58	46,14	46,55	46,85	47,43
18	43,21	43,97	44,48	44,84	45,11	44,75	45,65	46,24	46,66	46,98	47,58
19	43,13	43,92	44,44	44,82	45,10	44,72	45,65	46,27	46,71	47,05	47,70
20	43,02	43,84	44,37	44,76	45,06	44,67	45,65	46,29	46,75	47,10	47,78
21	42,89	43,72	44,28	44,68	44,99	44,59	45,59	46,26	46,74	47,11	47,83
22	42,74	43,60	44,17	44,58	44,89	44,49	45,53	46,22	46,72	47,10	47,85
23	42,58	43,45	44,03	44,46	44,78	44,36	45,42	46,14	46,65	47,05	47,84
24	42,39	43,28	43,88	44,31	44,64	44,22	45,32	46,05	46,58	46,99	47,80
25	42,20	43,10	43,71	44,15	44,49	44,06	45,17	45,92	46,47	46,89	47,74
26	41,99	42,91	43,53	43,98	44,31	43,88	45,03	45,79	46,35	46,78	47,65
27	41,78	42,70	43,33	43,78	44,13	43,69	44,85	45,63	46,21	46,64	47,55
28	41,56	42,49	43,12	43,58	43,93	43,49	44,67	45,47	46,05	46,50	47,42
29	41,34	42,27	42,91	43,37	43,73	43,28	44,47	45,28	45,88	46,33	47,28
30	41,10	42,04	42,68	43,15	43,51	43,06	44,27	45,09	45,70	46,16	47,12

31	40,87	41,81	42,45	42,92	43,28	42,84	44,05	44,88	45,49	45,96	46,96
32	40,63	41,57	42,22	42,69	43,05	42,61	43,83	44,67	45,29	45,77	46,77
33	40,39	41,33	41,98	42,45	42,82	42,37	43,60	44,45	45,07	45,55	46,58
34	40,15	41,09	41,74	42,21	42,57	42,13	43,37	44,22	44,85	45,33	46,38
35	39,91	40,85	41,49	41,97	42,33	41,88	43,12	43,98	44,61	45,10	46,17
36	39,67	40,60	41,25	41,72	42,08	41,64	42,88	43,74	44,38	44,87	45,95
37	39,44	40,36	41,00	41,47	41,83	41,39	42,63	43,50	44,14	44,63	45,72
38	39,20	40,12	40,75	41,22	41,58	41,14	42,39	43,25	43,90	44,39	45,49
39	38,97	39,87	40,51	40,97	41,33	40,90	42,13	43,00	43,64	44,14	45,25
40	38,73	39,63	40,26	40,72	41,08	40,65	41,89	42,75	43,40	43,89	45,01
41	38,51	39,39	40,02	40,48	40,83	40,40	41,63	42,50	43,14	43,64	44,76
42	38,28	39,16	39,77	40,23	40,58	40,16	41,38	42,24	42,89	43,39	44,51
43	38,06	38,93	39,53	39,99	40,34	39,92	41,13	41,99	42,63	43,13	44,26
44	37,84	38,70	39,30	39,75	40,09	39,68	40,89	41,74	42,38	42,87	44,01
45	37,63	38,47	39,06	39,51	39,85	39,44	40,64	41,49	42,12	42,62	43,76
46	37,42	38,25	38,83	39,27	39,61	39,21	40,39	41,24	41,87	42,36	43,50
47	37,22	38,03	38,61	39,04	39,37	38,98	40,15	40,99	41,61	42,11	43,25
48	37,01	37,82	38,38	38,81	39,14	38,75	39,91	40,74	41,37	41,85	42,99
ΔT	8,49	9,20	9,68	10,04	10,31	9,95	10,85	11,49	11,95	12,31	13,05

Desta forma, foi possível obter as temperaturas mínimas e máximas após as primeiras 48 horas após a concretagem, sendo que as mínimas estão destacadas de vermelho na Tabela 7.3 e representam a temperatura inicial, já as temperaturas máximas estão destacadas de preta. Por fim, na última linha da Tabela 7.3 foi calculada essa variação de temperatura pela subtração das temperaturas máximas pelas mínimas.

Para realização da análise do risco de fissuração, realizou-se três análises de acordo com a obra de Santos (2019). A primeira análise foi com relação às temperaturas máximas atingidas pelos pilares durante a análise realizada durante as primeiras 48 horas, evidenciadas na Figura 7.4 e Tabela 7.3; a segunda análise se

deu com relação a temperatura de lançamento do concreto mostrada na Figura 7.2; por fim, a terceira análise avaliou as variações de temperatura em relação à temperatura ambiente (temperatura mínima), evidenciadas na Tabela 7.3.

Na primeira análise, foi possível constatar que as temperaturas máximas não chegaram a ultrapassar os 50 °C, sendo que Santos (2019) afirma que os riscos de fissuração são altos quando a temperatura do concreto atinge a marca de 70 °C, neste sentido a partir da análise deste autor pode considerar o que o risco de fissuração para os pilares que foram analisados é baixo.

Na segunda análise, ainda de acordo com Santos (2019) seguindo as proposições da ACI 301, estabelece o limite de 23 °C como a temperatura de lançamento do concreto adequada para que os riscos de fissura sejam controlados, ou seja, para temperaturas de lançamento superiores a essa, o risco de fissuração é mais significativo. Assim, como o concreto utilizado no modelo experimental de Oliveira (2020) foi de 34,8 °C, existe uma maior probabilidade do aparecimento de fissuras.

Por outro lado, a ABNT NBR 7212:2021 estabelece em seu item 5.8.1 que a temperatura ambiente para lançamento do concreto deve estar entre 5 °C e 32 °C (versão anterior de 2012, previa variação de 5 °C a 30 °C), para que se possa reduzir os riscos de aparecimento de fissuras, variação da resistência mecânica e alteração do tempo de pega. No entanto, como já foi apresentado anteriormente, o concreto foi lançado no modelo experimental de Oliveira (2020) com valor de 34,8 °C e, portanto, apresentando risco de aparecimento de fissuras. Vale ressaltar que essa norma é para casos concretos dosados em central.

Por fim, de acordo com o especialista em concreto Rubens Curti (2017): “Quando a temperatura do concreto se diferencia da temperatura ambiente em mais

de 25°C, a probabilidade de ocorrer uma fissura é muito alta.” Assim, como a máxima variação de temperaturas que ocorreu nos pilares foi de 13,05 °C, pode-se afirmar com relação a essa análise que o risco de fissuração é baixo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da realização deste trabalho foi possível adotar as dimensões das seções transversais dos pilares que foram analisados, respeitando a NBR 6118:2014. A partir do desenvolvimento dos trabalhos anteriores de Oliveira (2020) e Sousa (2021) conseguiu-se obter as temperaturas nos centros e nas bordas dos pilares e, posteriormente, calculou-se a variação de temperatura e o fluxo de calor para cada um dos pilares em três intervalos de tempos diferentes: 12 horas, 16 horas e 24 horas.

Além disso, foi possível constatar que o pilar de dimensões (30 cm x 40 cm) alcançou as máximas temperaturas, já o de dimensões (15 cm x 30 cm) obteve temperaturas mínimas.

Por fim, com relação às análises realizadas com relação ao risco de fissuração dos pilares, que se subdividiram em três vertentes: temperaturas máximas atingidas, temperatura de lançamento e variações de temperatura em relação à temperatura ambiente.

Constatou-se que com relação às temperaturas máximas atingidas o risco de fissuração foi baixo de acordo com a análise feita, com relação a temperatura de lançamento o risco de fissuração é alto e com relação às variações de temperatura em relação à temperatura ambiente o risco de fissuração também é baixo. Nesta linha de raciocínio, a partir das três análises é possível constatar que caso os pilares venham a fissurar o principal motivo do aparecimento desta patologia é oriunda da temperatura de lançamento do concreto.

Por fim, para estudos futuros é importante que seja feito uma análise dos riscos de fissuração com relação a tensões geradas a partir destas variações de

temperatura. Além disso, também é possível fazer uma análise térmica com relação a outros elementos estruturais, como: vigas, lajes, blocos, etc...

REFERÊNCIAS

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014. 238p.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 7212: **Concreto dosado em central - preparo, fornecimento e controle**. Rio de Janeiro, 2021. 25p.

ACI. **Specifications for Structural Concrete**: ACI 301-10, American Concrete Institute. Farmington Hills, MI, USA, 2010.

AZENHA, M. A. D. **Numerical simulation of the structural behaviour of concrete since its early ages**. Tese de doutoramento. Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, School of Engineering. University of Tokyo. 2009.

COELHO, N. A. **Um Estudo Numérico do Efeito Térmico em Concreto Massa**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. 152p. Publicação E.DM-006A/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília – UnB. Brasília, DF, 152p. 2012.

COELHO, N. A.; SILVA, D. A.; PEDROSO, L. J. Efeito térmico provocado pelo calor de hidratação em barragem de gravidade construída. **CILAMCE 2016** - Proceedings of the XXXVII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering. Suzana Moreira Ávila (Editor), ABMEC, Brasília, DF, Brazil, November 6-9, 2016.

CHUNG, G. M.; SILVA, V. P.; STUCCHI, F. R. Sobre o efeito do gradiente térmico linear em vigas de concreto armado em situação de incêndio. **CBC 2016** - Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, MG, 2016.

FISH, J.; BELYTSCHKO, T.. **Um Primeiro Curso em Elementos Finitos**. Barueri/SP: Grupo GEN, 2009. 978-85-216-1941-3. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1941-3/>. Acesso em: 02 ago. 2022.

GAMBALE, E.A.; BITTENCOURT, R.M. Análise do Fenômeno Térmico em Concreto com cimento Porthand Branco. **Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto**. IBRACON: Goiânia/GO, 2008.

KOOA, Kyung-Mo; KIMA, Gyu-Yong; YOON, Jae-Kang; LEEB, Eui-Bae. Properties of adiabatic temperature rise on concrete considering cement content and setting time. **Indian Journal of Engineering & Materials Sciences**. Vol. 21, October 2014, pp. 527-535.

LISA, 2013. BEGINNERS' GUIDE:GETTING STARTED WITH FEA. LISA Finite Element Analysis, Software Version 8.0.0.

NETO, Egydio P. **Caderno de Receitas Concreto Armado - Pilares - Vol. 2.** Barueri/SP: Grupo GEN, 2017. 9788521634676. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634676/>. Acesso em: 13 ago. 2022.

NETO, Egydio P. **Caderno de Receitas de Concreto Armado - Vol. 3 - Lajes.** Barueri/SP: Grupo GEN, 2017. 9788521634652. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634652/>. Acesso em: 11 ago. 2022.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Porto Alegre/RS: Grupo A, 2016. 9788582603666. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582603666/>. Acesso em: 05 ago. 2022.

OLIVEIRA, T. R. A. **Arduino: uma ferramenta para monitoramento da temperatura em elementos de concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação. Engenharia Civil. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA. Pau dos Ferros/RN, 2020.

PARIZOTTO, L. **Concreto Armado.** Porto Alegre/RS: Grupo A, 2017. 9788595020917. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020917/>. Acesso em: 31 jul. 2022.

PEREIRA, G. L. C. **Efeitos Térmicos em Estruturas Maciças de Concreto.** Dissertação de mestrado. Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 1986.

PINHEIRO, A. C. F. B.; CRIVELARO, M. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.** Uberlândia/MG: Editora Saraiva, 2020. 9788536532769. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532769/>. Acesso em: 11 ago. 2022.

ROCHA, P. A. O.; CASCUDO, O. Fatores intervenientes na temperatura máxima atingida por calor de hidratação em blocos de transição - Estudo de caso . **CBC 2016** - Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, MG, 2016.

SANTOS, S. B. **Fenômenos Térmicos do concreto:** fundamentos e aplicações práticas. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2019.

SOARES JÚNIOR, G. C.; GOULART, L. B.; FELIPE, J. M. M.; SILVA NETO, G. P. Reparo das estruturas de concreto armado com corrosão das armaduras. **XII Encontro de Iniciação Científica**. Mineiros/GO, 2018.

SOUSA, J. B. F. **Calibração de parâmetros térmicos por meio de modelagem numérica transiente térmica de um prisma de concreto**. Dissertação de graduação. Engenharia Civil. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA. Pau dos Ferros/RN, 2021.

TEATINI, João C. **Estruturas de Concreto Armado**. Barueri/SP: Grupo GEN, 2016. 9788595155213. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155213/>. Acesso em: 31 jul. 2022.

VENTURI, D. I. S. G.; LAZZARI, B. M.; BOTELHO, L. C G.; et al. **Concreto Armado Aplicado em Vigas, Lajes e Escadas**. Porto Alegre/RS: Grupo A, 2021. 9786556901015. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556901015/>. Acesso em: 05 ago. 2022.