



# A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala**  
(Organizadora)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2019

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)

# A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A642 A aplicação do conhecimento científico nas engenharias [recurso eletrônico] / Organizadora Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-244-9

DOI 10.22533/at.ed.449190404

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovação. I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.0072

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

O conhecimento científico é extremamente importante na vida do ser humano e da sociedade, pois possibilita entender como as coisas funcionam ao invés de apenas aceita-las passivamente. Mediante o conhecimento científico é possível provar muitas coisas, já que busca a veracidade através da comprovação.

Sendo produzido pela investigação científica através de seus procedimentos, surge da necessidade de encontrar soluções para problemas de ordem prática da vida diária e para fornecer explicações sistemáticas que possam ser testadas e criticadas através de provas. Por meio dessa investigação, obtêm-se enunciados, leis, teorias que explicam a ocorrência de fatos e fenômenos associados a um determinado problema, sendo possível assim encontrar soluções ou, até mesmo, construir novas leis e teorias.

Possibilitar o acesso ao conhecimento científico é de suma importância para a evolução da sociedade e do ser humano em si, pois através dele adquirem-se novos pontos de vista, conceitos, técnicas, procedimentos e ferramentas, proporcionando o avanço na construção do saber em uma área do conhecimento.

Na engenharia evidencia-se a relevância do conhecimento científico, pois o seu desenvolvimento está diretamente relacionado com o progresso e disseminação deste conhecimento.

Neste sentido, este E-book, composto por dois volumes, possibilita o acesso as mais recentes pesquisas desenvolvidas na área de Engenharia, demonstrando a importância do conhecimento científico para a transformação social e tecnológica da sociedade.

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
DESENVOLVIMENTO DE ARCABOUÇOS DE PLGA E PLDLA COM POROS INTERCONECTADOS DIRECIONADOS PARA ENSAIOS DE CULTURA DE CÉLULAS ÓSSEAS	
Joelen Osmari Silva Anna Maria Gouvea Melero Juliana Almeida Domingues Adriana Motta de Menezes Moema de Alencar Hausen Daniel Komatsu Vagner Roberto Botaro Eliana Aparecida de Rezende Duek	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
ENSAIOS IN VITRO E IN VIVO DE <i>SCAFFOLDS</i> DE PLGA INCORPORADOS COM ÓLEO-RESINA DO GÊNERO COPAIFERA SSP. PARA REPARAÇÃO DE TECIDOS	
Ana Luiza Garcia Massaguer Millás João Vinícios Wirbitzki da Silveira Rodrigo Barbosa de Souza Maria Beatriz Puzzi Edison Bittencourt Ivan Hong Jun Koh	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
MEMBRANAS MICROFIBROSAS DE POLI (L-ÁCIDO LÁCTICO) (PLLA) PARA REPARO ÓSSEO	
Bárbara Etruri Ciocca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>32</b>
ESTUDO DO POTENCIAL MICROBIOLÓGICO DE NANOCRISTAIS HÍBRIDOS DE ZnO DOPADOS COM AgO	
Ellen Quirino de Sousa Lucas do Nascimento Tavares Caio César Dias Resende Lorraine Braga Ferreira Carlos José Soares Anielle Christine Almeida Silva Luís Ricardo Goulart Filho Letícia de Souza Castro Filice	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>42</b>
PROCESSAMENTO DE LIGAS Mg-Zn-Ca PARA USO EM IMPLANTES CIRÚRGICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DE METALURGIA DO PÓ	
Jorge Alberto de Medeiros Carvalho José Adilson Castro Alexandre Antunes Ribeiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904045</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 54**

“VIABILIDADE DO USO DE CASCAS DE OVOS NA SÍNTESE DA HIDROXIAPATITA UTILIZANDO O MÉTODO SOL-GEL

Marilza Sampaio Aguilar  
José Brant de Campos  
Marcelo Vitor Ferreira Machado  
Francisco José Moura  
Suzana Bottega Peripolli  
Vitor Santos Ramos  
Adilson Claudio Quizunda  
Marla Karolyne dos Santos Horta

**DOI 10.22533/at.ed.4491904046**

**CAPÍTULO 7 ..... 63**

ESTUDO DA VELOCIDADE DE ADIÇÃO DOS REAGENTES NA SÍNTESE DE HIDROXIAPATITA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCAS DE OVOS DE GALINHA COMO PRECURSORES

Marilza Sampaio Aguilar  
José Brant de Campos  
Marcelo Vitor Ferreira Machado  
Francisco José Moura  
Suzana Bottega Peripolli  
Vitor Santos Ramos  
Adilson Claudio Quizunda  
Marla Karolyne dos Santos Horta

**DOI 10.22533/at.ed.4491904047**

**CAPÍTULO 8 ..... 70**

MEDIDAS DE MICRODUREZA VICKERS EM HIDROXIAPATITA SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO A CASCA DO OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

Marilza Sampaio Aguilar  
José Brant de Campos  
Marcelo Vitor Ferreira Machado  
Francisco José Moura  
Suzana Bottega Peripolli  
Vitor Santos Ramos  
Adilson Claudio Quizunda  
Marla Karolyne dos Santos Horta

**DOI 10.22533/at.ed.4491904048**

**CAPÍTULO 9 ..... 86**

ESTUDO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DE CORROSÃO DE ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS ÀS AÇÕES DE CLORETOS E DE CARBONATAÇÃO

Wanessa Souza de Lima  
Marcelo Lima Silva  
Fuad Carlos Zarzar Júnior  
Romilde Almeida de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.4491904049**

**CAPÍTULO 10 ..... 105**

ANÁLISE DA CORROSÃO DE BARRAS NO CONCRETO ARMADO E PREVISÃO DE VIDA ÚTIL POR MEIO DE MODELO COMPUTACIONAL

Wanessa Souza de Lima  
Romilde Almeida de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.44919040410**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>124</b>
ARGAMASSAS DE REJUNTE EXPOSTAS AOS CICLOS DE MOLHAGEM E SECAGEM	
Valéria Costa de Oliveira Emílio Gabriel Freire dos Santos Rafael Alves de Oliveira Júlia Silva Maia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>136</b>
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO (CAD) QUANDO SUBMETIDO A TEMPERATURAS ELEVADAS	
Klayne Kattiley dos Santos Silva Amâncio da Cruz Filgueira Filho Emerson Fernandes da Silva Alves Fernando Artur Nogueira Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040413</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>151</b>
COMPORTAMENTO DO CONCRETO EM RELAÇÃO AO ATAQUE QUÍMICO POR SULFATOS	
Amanda Gabriela Dias Maranhão Fuad Carlos Zarzar Júnior Romilde Almeida de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040414</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>162</b>
DURABILIDADE DE ESTRUTURAS CIMENTÍCIAS SUBMETIDAS A ATAQUES DE ÍONS SULFATOS	
Artur Buarque Luna Silva Fuad Carlos Zarzar Júnior Romilde Almeida de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040415</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>170</b>
SUGARCANE BAGASSE ASH INTO SILICON PRODUCTS	
Angel Fidel Vilche Pena Agda Eunice de Souza Silvio Rainho Teixeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040416</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>177</b>
ENSAIO NÃO DESTRUTIVO BASEADO NA INTERAÇÃO DE LINHAS DE CAMPO MAGNÉTICO PARA O ACOMPANHAMENTO DA PERDA DE MASSA EM MATERIAIS METÁLICOS	
David Domingos Soares da Silva Franklin Lacerda de Araújo Fonseca Júnior Alysson Domingos Silvestre	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040417</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>183</b>
ANÁLISE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL OFF-GRID NA ZONA URBANA DE FORTALEZA-CE	
Francisco Jeandson Rodrigues da Silva Cauli Guray Melo Freitas Fellipe Souto Soares Douglas Aurélio Carvalho Costa	

Obed Leite Vieira

DOI 10.22533/at.ed.44919040418

**CAPÍTULO 18 ..... 197**

RECREIAÇÃO DO EXPERIMENTO DE HERTZ

Camila Alice Silva Santos

Cláudia Timóteo de Oliveira Rufino

Denikson Figueiredo de Vasconcelos

Ericveiber Lima Dias Clemente

Gustavo Henrique Mathias de Lima

DOI 10.22533/at.ed.44919040419

**CAPÍTULO 19 ..... 205**

UTILIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE SOLDAGEM PARA CONTROLE DO NÍVEL DE PLANICIDADE DE UM ITEM SOLDADO UTILIZADO EM UM EQUIPAMENTO AGRÍCOLA

Alex Sandro Fausto dos Santos

Eduardo Carlos Mota

DOI 10.22533/at.ed.44919040420

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 219**

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO (CAD) QUANDO SUBMETIDO A TEMPERATURAS ELEVADAS

**Klayne Kattiley dos Santos Silva**

Universidade Católica de Pernambuco

Recife – Pernambuco

**Amâncio da Cruz Filgueira Filho**

Instituto Federal de Educação, Ciência, e

Tecnologia do Sertão Pernambucano

Salgueiro – Pernambuco

**Emerson Fernandes da Silva Alves**

Universidade Católica de Pernambuco

Recife – Pernambuco

**Fernando Artur Nogueira Silva**

Universidade Católica de Pernambuco

Recife – Pernambuco

**RESUMO:** O estudo do comportamento de estruturas de concreto armado em situações de incêndio tem ganhado uma maior importância nos últimos anos principalmente após a ocorrência de recentes catástrofes, que ocasionaram severas perdas para sociedade tanto do ponto de vista humano quanto econômico. Isso gerou a necessidade de atualização de normas, e que houvesse uma maior atenção para esse problema em toda a cadeia da construção civil. Outro fator que contribuiu para importância dada a este assunto foi a crescente utilização de concretos de alto desempenho (CAD). O efeito de “spalling” é severo nestes tipos de concreto devido possuir uma baixa porosidade, o que dificulta o transporte do vapor gerado

pela matriz durante o aquecimento gerando um aumento de tensões nestas regiões, tendo-se uma tendência do deslocamento ser instantâneo. Assim existe a necessidade de se buscar métodos alternativos para analisar o comportamento da estrutura quando submetida a incêndio. Este trabalho tem por objetivo simular o comportamento de peças de concreto de alto desempenho quando submetido a altas temperaturas, através de meios experimentais por ensaios não destrutivos (END) e análise numérica por modelagem computacional. Para os ensaios foram confeccionados corpos de prova de concreto e submetidos estes em elevadas temperaturas, à posteriori realizados ensaios de resistência à compressão e de velocidade de propagação de onda, comparando os resultados com concretos em temperatura ambiente. Na análise numérica, foi realizada modelagem utilizando método dos elementos finitos (MEF) para observar o fluxo de potencial energético que ocorre no concreto de alto desempenho perante altas temperaturas.

**PALAVRAS-CHAVE:** incêndio, CAD, spalling, END, MEF.

**ABSTRACT:** The study of the behavior of reinforced concrete structures in fire situations has become more important in recent years, especially after recent catastrophes, which have caused severe losses to society both from

a human and economic point of view. This generated the need to update standards, and that there was more attention to this problem throughout the construction chain. Another factor that contributed to the importance given to this subject was the increasing use of high performance concrete (HAD). The spalling effect is severe in these types of concrete because it has a low porosity, which makes it difficult to transport the steam generated by the matrix during the heating, generating an increase of tensions in these regions, with a tendency of the displacement to be instantaneous. Thus, there is a need to find alternative methods to analyze the behavior of the structure when subjected to fire. This work aims to simulate the behavior of high performance concrete parts when submitted to high temperatures, through experimental means by nondestructive testing (NDT) and numerical analysis by computational modeling. For the tests, concrete test specimens were prepared and submitted to high temperatures, after which tests of compressive strength and wave propagation velocity were carried out, comparing the results with concretes at room temperature. In the numerical analysis, modeling was performed using finite element method (FEM) to observe the flow of energy potential that occurs in high performance concrete at high temperatures.

**KEYWORDS:** fire, HAD, spalling, NDT, MEF.

## 1 | INTRODUÇÃO

O crescente avanço tecnológico das últimas décadas propiciou o surgimento de ferramentas capazes de promover a otimização de processos e análises nas mais diversas áreas de conhecimento. Na engenharia, em especial no âmbito estrutural, essas ferramentas tornaram mais simples a análise de estruturas como um todo, podendo produzir diretrizes que vão desde como um material se comporta frente à determinada situação até o grau de comprometimento da estrutura em análise, tornando os resultados experimentais ainda mais precisos ou até mesmo fazendo com que eles não sejam necessários.

Com o avanço da ciência, viu-se a necessidade de incorporar novas tecnologias ao estudo de estruturas de concreto para obter resultados capazes de simular os efeitos numa estrutura real. Com a utilização de ensaios por métodos não destrutivos, e softwares de aproximação numérica com aplicação do método dos elementos finitos (MEF), faz-se cada vez menos necessária a extração de corpos de prova da estrutura para análise de determinados efeitos no concreto.

Uma das situações responsáveis pelo comprometimento de uma estrutura é a exposição ao fogo (elevadas temperaturas). A variação térmica é responsável por alterar as propriedades de resistência e deformação dos elementos estruturais de concreto. O conhecimento acerca da ação de elevadas temperaturas nestes elementos estruturais se constitui de relevante importância e vem ganhando cada vez mais atenção do meio acadêmico e da pesquisa aplicada.

O concreto pode ser sujeito acidentalmente a altas temperaturas ou estas podem

fazer parte de suas condições normais de trabalho quando este é para servir a estruturas especiais. As características dos constituintes do concreto como teor de umidade e as condições para melhorar a sua resistência, podem precipitar a desagregação do concreto submetido a altas temperaturas.

Neste particular, as simulações numéricas têm um importante papel a desempenhar porque podem produzir uma importante gama de informação de qualidade para se entender a resposta estrutural de elementos de concreto submetidos a elevadas temperaturas.

O presente relatório apresenta os resultados de resistência à compressão e de velocidade de onda em corpos de prova de concreto de alto desempenho submetidos à ação de altas temperaturas obtidos por ensaios em laboratório. Também foi analisado o comportamento da distribuição de potencial energético que ocorre em um concreto de alto desempenho sob condições de elevadas temperaturas através de modelagem de corpo de prova via elementos finitos.

## **2 | CONCRETO SUBMETIDO A ELEVADAS TEMPERATURAS**

O concreto possui características mecânicas muito específicas (resistência mecânica, trabalhabilidade, difusão de sua tecnologia) que viabilizam sua utilização e fazem com que seja o principal material de construção utilizado no Brasil. Um dos fatores que justificam essa ampla utilização é a sua durabilidade quando submetido a variadas condições incluindo-se nesta categoria as situações de incêndio.

Porém propriedades importantes do material podem ser comprometidas quando o concreto é submetido de alguma forma à elevadas temperaturas. Embora este material apresente uma boa resistência ao fogo, suas propriedades podem ser alteradas dependendo de alguns fatores, tais como temperatura máxima a que a estrutura foi exposta, tempo de exposição, velocidade de resfriamento e etc.

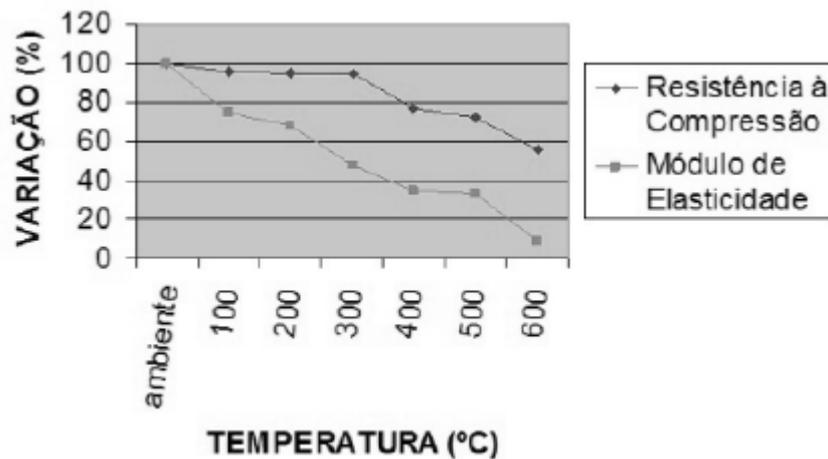
A elevação gradual da temperatura causa efeitos distintos no concreto, que pode ir de uma simples alteração da coloração, devido à calcinação superficial, até a perda de resistência mecânica, esfarelamento superficial ou a própria desintegração da estrutura. Na tabela 1 apresentada por Carvalho (2001) expõe os efeitos e causas sofridos em cada faixa de temperatura.

Característica	Efeito	Causa
Dureza superficial	Fissuração, fragmentação, fragilização	Desidratação a 100°C, remove a água livre; a desidratação se completa em 540°C; $Ca(OH)_2 \Rightarrow CaO$ em 450 a 500°C A pasta primeiro expande, depois retrai.
Fissuração	Fissuração superficial a 290°C; Fissuração profunda a 540°C	Perpendicular à face, e interna; pode assemelhar-se a fissuras de retração
Mudança de cor (sem lascamento)	Cor normal até 230°C Avermelhada de 290 a 590°C Vermelho/cinza de 590 a 900°C Cinza/camurça acima de 900°C O calcário se torna branco	Rochas sedimentares e metamórficas podem incorporar calor de forma estável em temperaturas baixas, tomam-se instáveis em maiores temperaturas e mostram permanente mudança de cor sob aquecimento.
Comportamento do agregado	Lascamento explosivo para concretos com alto teor de agregados silicosos próximos à superfície, acima de 573°C	Agregados diferem em difusibilidade, condutividade, coeficiente de dilatação; a transmissão de calor decresce para concretos feitos com agregados altamente silicosos, areia basáltica, calcário, agregados leves. Baixo quartzo inverte para alto quartzo em 573°C com expansão de 0,85% do volume.
Lascamento	Ocorre paralelamente à superfície livre seguido por quebra em lascas finas nos cantos e quinas (assemelha-se à esfoliação)	Redução da resistência

Tabela 1: Efeitos e causas ocorridos no concreto quando submetido a elevadas temperaturas.

Fonte: Carvalho, 2001.

O elemento estrutural tem uma perda considerável de rigidez com o aumento da temperatura, visto que seu módulo de elasticidade como sua resistência característica sofrem reduções extremamente danosas a estabilidade de uma estrutura. Na figura 1 é demonstrado o comportamento da resistência à compressão e do módulo de elasticidade em concreto submetido a elevadas temperaturas, sendo expresso em percentagem.



**Figura 1:** Perda da resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto com o aumento da temperatura.

Fonte: Morales, Campos E Faganello, 2011.

Segundo Rocha (2018) *apud*. Costa (2011), a boa resistência do concreto, quando submetido a temperaturas mais altas, é devida às características térmicas dos materiais que o compõe, como incombustibilidade, baixo coeficiente de dilatação e condutividade térmica. O autor ainda cita que características da pasta de concreto, como teor de umidade e as condições para melhorar a resistência, podem acelerar a desagregação do concreto submetido a elevadas temperaturas, condições estas que estão ligadas à concretos com baixa porosidade e alta resistência à exemplo do concreto de alto desempenho (CAD).

### 3 | EFEITOS DA AÇÃO TÉRMICA EM CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO

A propagação do calor no concreto dá-se, principalmente, por condução devido à temperatura fria no interior do concreto e quente na superfície, pela difusibilidade e pelo calor específico. Além disso, o concreto não é um bom condutor de calor, por isso o processo de propagação do calor no interior do concreto é lento quando comparado ao aço, por exemplo, formando um intenso gradiente térmico no seu interior e provocando modificações em suas propriedades (BRITTEZ, 2011)

O concreto, por ser um material heterogêneo, possui certa quantidade de água em seu interior, quando submetido a altas temperaturas, como no caso de incêndio, a água passa para o estado gasoso dentro da estrutura de concreto, resultando em acréscimo de pressão no concreto, provocado pela tentativa de fuga dos gases aquecidos. Pressões estas que segundo Mehta E Monteiro (2014) são decorrentes da permeabilidade do concreto, do tamanho do elemento e da taxa de aumento da temperatura.

Os concretos de alto desempenho, ou seja, que possuem alta resistência apresentam uma matriz bastante compacta e de porosidade reduzida, o que conduz ao desenvolvimento de pressões internas elevadas (“bolsas de pressão”) quando

este é submetido a altas temperaturas, ocasionando assim um fenômeno chamado “spalling” que configura um descolamento explosivo de placas de concreto justamente devido a esse aumento de pressão.

Neville (2016) indica que são maiores os riscos do “spalling” em concretos com baixa permeabilidade com o aumento na velocidade de elevação da temperatura e da umidade excessiva, sendo este último o fator mais relevante na determinação do comportamento estrutural em temperaturas elevadas.

Além de “spalling”, que nesse tipo de concreto é explosivo (mais intenso do que em um concreto de menor resistência), outro efeito nocivo ao concreto é o “sloughing”, que pela baixa condutividade térmica do concreto, criam-se no seu interior “camadas” com temperaturas diferenciadas, principalmente em relação à camada superficial, em contato direto com o fogo. Quando isto se torna intenso e a duração do fogo dura algumas horas pode provocar o desprendimento de camadas superficiais sem estilhaçamentos de grande magnitude nos primeiros momentos de um incêndio.

Com o lascamento explosivo da superfície livre do concreto, em geral a estrutura perde cerca de 75% de sua resistência original (quando em temperatura ambiente) se exposta à 600°C durante um longo período de tempo. Essa queda considerável se deve à completa decomposição dos hidratos de cimento. Saint e Turan apontam que a 900°C o concreto perde praticamente todas as suas propriedades mecânicas, deixando a estrutura totalmente comprometida (SILVA et al, 2018)

## 4 | METODOLOGIA

Foi analisado o efeito do concreto sob altas temperaturas por duas metodologias distintas, a primeira por ensaios não destrutivos em laboratório e a segunda por interpretação de do fluxo do potencial energético via software de análise por método dos elementos finitos.

### 4.1 Ensaios não destrutivos

Foi examinado o efeito de temperaturas elevadas nas propriedades mecânicas e elásticas do concreto estrutural confeccionando corpos de prova de concreto e submetendo eles a temperaturas elevadas de 500°C, 750°C e 900°C em autoclave. Foram realizados ensaios de resistência à compressão e velocidade de propagação de onda para os corpos de prova afetados pela ação de temperaturas elevadas e comparados estes com corpos de prova de concreto íntegros. Também foram realizados ensaios de ultrassom nos corpos de prova submetidos a elevadas temperaturas.

#### 4.1.1 Materiais e métodos

Para a realização da pesquisa foram confeccionados doze corpos de prova

cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento. O traço utilizado na confecção deste concreto está descrito abaixo na tabela 2. Os valores correspondem a unidades de Kg.

Cimento	Silica ativa	Ag. Miúdo	Ag. Graúdo	Água	Aditivo superplastificante
1	0,085	1,94	2,58	0,33	0,012

Tabela 2- Traço em massa, utilizado para a confecção dos corpos de prova de concreto.

Fonte: A autoria própria.

O traço utilizado foi para a confecção de um concreto com resistência à compressão estimada de 65 MPa, aspecto que justifica a utilização da sílica ativa e do superplastificante. O primeiro é responsável por deixar o concreto mais denso, sem muitos poros, e o segundo por garantir uma boa trabalhabilidade no estado fresco. A utilização do superplastificante se mostrou necessária porque a relação água/cimento é muito baixa.

O abatimento foi determinado através do teste utilizando tronco de cone, segundo a ABNT NBR 15823-2:2010. A partir desse traço foi obtido um abatimento de 95 mm.

Os corpos de prova foram separados aleatoriamente e identificados de acordo com a temperatura à qual seriam submetidos (Figura 3), conforme indicado na Tabela 3 a seguir.

Corpo de prova	Temperatura (°C)
A	500
B	750
C	900
D	20

Tabela 3 – Identificação dos corpos de prova em função da temperatura de exposição.

Fonte: A autoria própria.



Figura 3 - Classificação dos corpos de prova em função da temperatura de exposição.

Fonte: A autoria própria.

#### 4.1.2 Ensaios de ultrassom e resistência a compressão

Um dos métodos utilizados para inspeção das peças de concreto foi o ensaio não destrutivo (END) por ultrassom, segundo a ABNT NBR 8802:2013. O ensaio por ultrassom tem como objetivo determinar a integridade do material (concreto) na estrutura. O instrumento é viável para a inspeção em concreto e pode ser utilizado para a localização de vazios, falhas ou defeitos no interior da peça analisada. O aparelho fornece o tempo que a onda leva para percorrer a peça, o que possibilita a obtenção das suas velocidades de propagação, conforme figura 4.



Figura 4 – Utilização dos transdutores no ensaio de ultrassom.

Fonte: Autoria própria.

Os corpos de prova confeccionados foram submetidos às temperaturas de 500°C, 750°C e 900°C numa mufla. Após o atingimento da temperatura desejada, os corpos de prova foram mantidos por mais uma hora para que a temperatura fosse homogeneizada no interior da peça. O tempo médio para o alcance de cada temperatura estudada foi de cerca de 1 hora e 20 minutos. O resfriamento dos corpos de prova após o processo de homogeneização de temperatura foi realizado de maneira lenta tendo levado cerca de 3 a 4 horas, dentro da própria mufla.

Após o resfriamento dos corpos de prova foram realizadas leituras do tempo de ondas ultrassônicas longitudinais. Depois de coletados os dados todos os corpos de prova (A, B e C que foram submetidos a temperaturas elevadas, e D que permaneceram em temperatura ambiente) foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, conforme a ABNT NBR 5739:2007. A figura 5 ilustra o ensaio de compressão realizado e a forma típica de ruptura observada.



Figura 5 – Ensaio de compressão de corpos de prova.

Fonte: Autoria própria.

## 4.2 Modelagem de corpo de prova utilizando-se de software

Foi feito uma análise computacional do efeito de temperaturas elevadas no concreto utilizando-se do software de análise por elementos finitos ANSYS. O primeiro passo para formular uma análise no software é definir a geometria do elemento a ser modelado, nesse caso foi utilizada uma geometria que representa um corpo de prova cilíndrico de 10x20 (em cm).

Para análise do efeito da temperatura no concreto, nesse trabalho foira utilizados dois tipos de análise térmica, um estado estacionário e um estado transitório. Para ambos os estados a temperatura a que o corpo de prova foi submetido foi a de 1000°C, a partir da qual, segundo a literatura, o concreto perde quase que por completo as suas propriedades mecânicas. Vale salientar que o que foi observado neste trabalho é como se comportou o fluxo de potencial energético que acontece num corpo de prova de concreto armado, utiliaando a visualização gráfica do software.

### 4.2.1 Estado estacionário

A análise térmica em estado estacionário para determina temperaturas, gradientes térmicos, taxas de fluxo de calor e fluxos de calor em um objeto que são causados por cargas térmicas que não variam ao longo do tempo. Foi definido a temperatura de 1000° C para o corpo de prova todo. Nesse tipo de análise não há variação de temperatura, como mostra a figura 6.

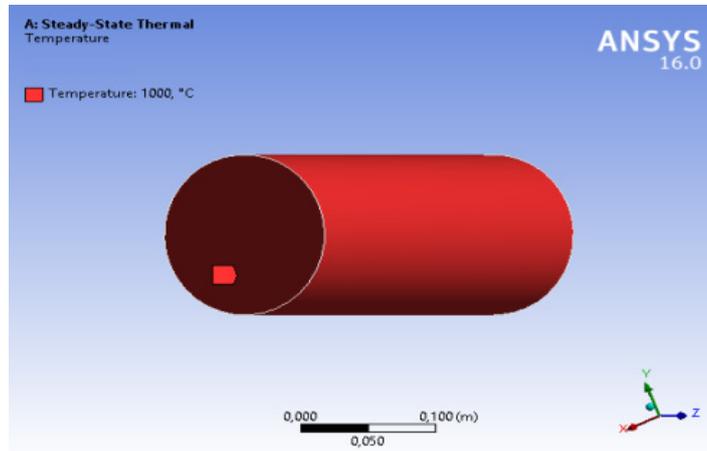


Figura 6 – Temperatura aplicada ao corpo-de-prova.

Fonte: A autoria Própria.

#### 4.2.2 Estado transitório

A análise térmica transitória determina as temperaturas e outras quantidades térmicas que variam ao longo do tempo. A temperatura para esse estado também foi 1000°C, porém, como se trata do estado transitório, a temperatura inicial 22°C, considerada como temperatura ambiente.

O tempo de transição utilizado foi de uma hora (3600 segundos). A análise térmica transitória segue basicamente os mesmos procedimentos que uma análise térmica em estado estacionário. A principal diferença é que a maioria das cargas aplicadas em uma análise transitória são funções do tempo, conforme demonstrado na figura 7.

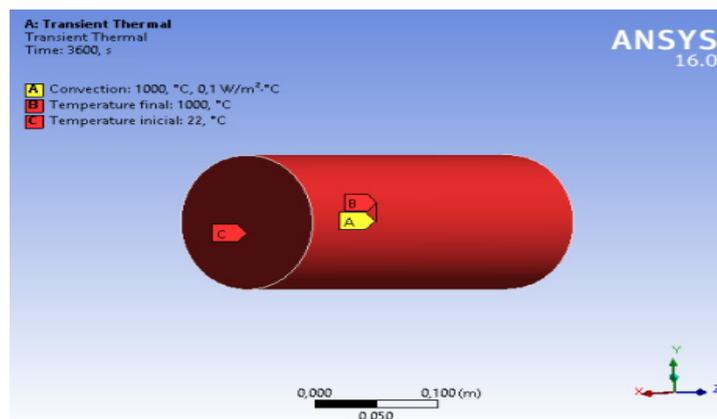


Figura 7 – Temperaturas inicial e final para o estado transitório aplicadas na peça.

Fonte: A autoria Própria.

## 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Assim como no tópico 4, serão expostos os resultados e suas respectivas discussões dividindo este tópico em duas etapas, a análise experimental e a análise

computacional.

## 5.1 Análise experimental

A Tabela 4 a seguir mostra os resultados das leituras de ondas ultrassônicas realizadas bem como da resistência à compressão obtida para cada temperatura estudada.

Corpo de prova	Diâmetro	Comprimento de onda (m)	Tempo de onda (s)	Velocidade (m/s)	Temperatura (°C)	Resistência (MPa)
A	0,102	0,187	0,000094	1996,453	500	37,66
B	0,101	0,195	-	-	750	8,67
C	0,101	0,199	-	-	900	4,72
D	0,1	0,193	0,000039	4948,717	20	62,67

Tabela 4 – Resultados obtidos.

Fonte: Autoria Própria.

Os valores da tabela acima correspondem a uma média dos valores encontrados para cada classe (A, B, C e D). A figura 8 a seguir mostra o decréscimo da resistência em relação às temperaturas a que às peças foram submetidas.

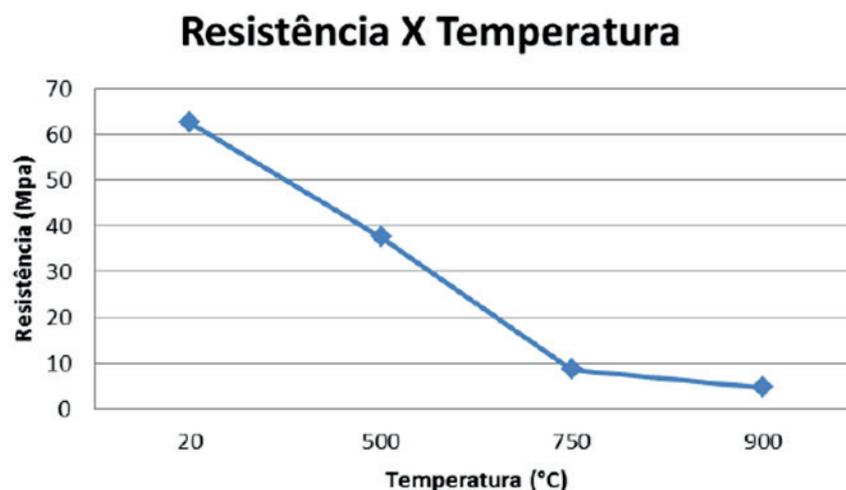


Figura 8 - Relação entre resistência e temperatura

Fonte: Autoria Própria.

Na figura 8 é possível observar que a temperatura influencia diretamente na resistência, à compressão principalmente, e que quanto maior for a temperatura a que a estrutura é submetida menor sua resistência. Na maior temperatura estudada (900°C) o concreto já não possui uma resistência significativa, pelo contrário, suas propriedades resistivas ficam completamente comprometidas, coerente com o comportamento indicado na literatura.

Observando os valores temos que os corpos de prova que foram submetidos a

elevadas temperaturas A, B, e C obtiveram resistências à compressão respectivamente de 60,1 %, 13,8% e 7,5 % correspondente ao valor da resistência a compressão do corpo de prova D que foi mantido em temperatura ambiente.

O corpo de prova A obteve resistência a compressão com valor em percentagem menor que o presente na literatura (75%), que está explicitada neste trabalho na figura 1 (Morales, Campos E Faganello, 2011). Isso pode ser devido ao concreto analisado neste trabalho ser um concreto de alta resistência, o qual os efeitos das elevadas temperaturas são mais danosas.

Foi observado que as peças mantidas à temperatura ambiente (cerca de 20°C) apresentaram velocidades entre 4000 e 5000 m/s (o que caracteriza um concreto bom). Já as peças que foram submetidas a temperaturas elevadas apresentaram um decréscimo bastante significativo, o que pode ser relacionado ao comprometimento das suas propriedades mecânicas. Pode-se notar na tabela 4 que os tempos de onda, conseqüentemente as velocidades, não puderam ser medidos para as classes B e C, porque a essas temperaturas o grau de fissuração da peça é muito alto, o que impossibilita uma leitura precisa, pois como existem muitas fendas e fissuras a onda tem dificuldades de passar do transdutor emissor para o receptor.

## 5.2 Análise computacional

O programa apresentou a distribuição do fluxo de calor de maneira direcional (para o estado estacionário), conforme foi solicitado no processo da modelagem. Os resultados foram fornecidos em W/m<sup>2</sup> (watt por metro quadrado) – Potência energética recebida por unidade de área, conforme demonstrado na figura 9.

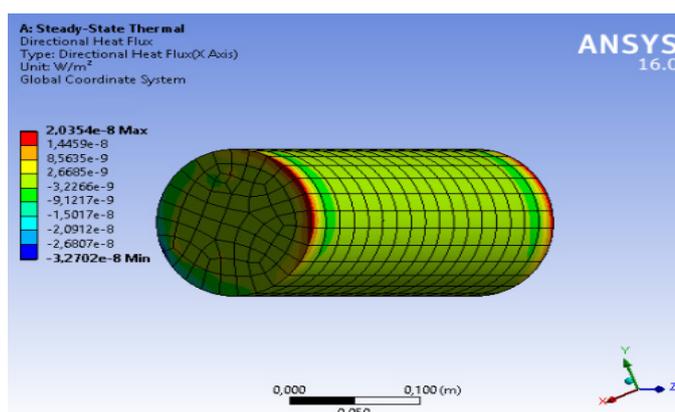


Figura 9: Fluxo direcional de calor no estado estacionário. Fonte: Autoria própria

Fonte: Autoria Própria

Também foi obtida a distribuição total de calor no estado transitório, que leva em consideração a variação térmica, bem como a variação de tempo, conforme demonstrado na figura 10. Os resultados para o potencial energético de transmissão de calor ou variação térmica, também foram fornecidos em W/m<sup>2</sup>.

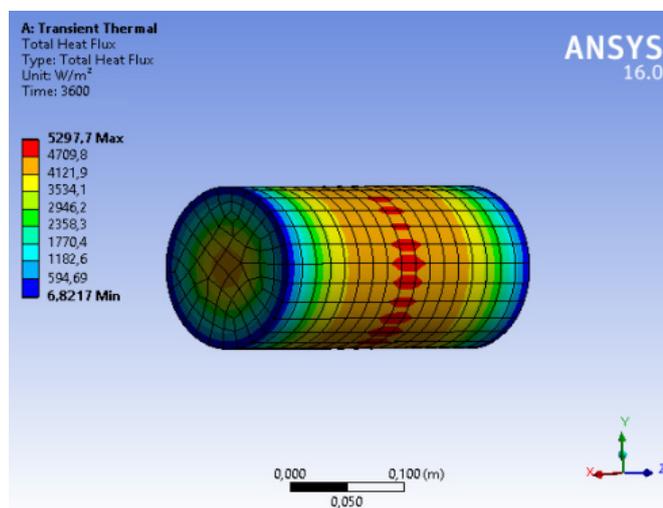


Figura 10: Fluxo total de calor no estado transitório. Fonte: Autoria própria  
 Fonte: Autoria Própria

A maneira que se distribui o potencial energético observado nas figuras acima é nitidamente diferente, isso se deve a maneira a qual elas foram analisadas. Na figura 9, na qual foi quando foi analisado o fluxo de calor para o estado estacionário, pode-se ver poucas variações ao longo do corpo de prova, pois por não considerar o tempo em que está se distribuindo o calor no corpo, o mesmo possui poucas variações entre a superfície e a sua parte interna. Salvo regiões de mudanças de direções de suas faces, as quais são regiões de concentração de tensões.

Na análise transitória presente na figura 10, pode-se observar uma maior variação do potencial energético de transmissão de calor, com regiões com comportamentos distintos para esta propriedade. Analisando a face circular do corpo de prova, observa-se que existe maiores valores de potencial energético, os mesmos que tendem a crescer mais ainda quando observados na metade da altura do cilindro. Isso se deve ao comportamento do material quando submetido a elevadas temperaturas, pois a água presente no concreto passa para o estado gasoso, resultando em acréscimo de pressão no corpo de prova, provocado pela tentativa de fuga dos gases aquecidos. Isso se torna mais atenuante no concreto de alto desempenho, o qual foi analisado neste trabalho, pois possui menor porosidade e tende as tensões internas serem ainda maiores.

## 6 | CONCLUSÕES

Os dois métodos utilizados no estudo de deterioração do concreto quando submetido à elevadas temperaturas, fornecem diretrizes do grau de comprometimento do elemento coerentes com as informações fornecidas pela literatura.

Os ensaios não destrutivos por ultrassom forneceram diretrizes no que diz respeito ao nível de fissuração do concreto frente à diferentes temperaturas, que apresentou

uma proporção direta à queda da resistência nos corpos de prova estudados. Esta análise foi impossibilitada nos corpos de prova B e C devido ao alto nível de fissuração que eles apresentavam, estes que foram submetidos a temperaturas de 750 °C e 900°C respectivamente.

Vale salientar também que o corpo de prova A (submetido a 500°C) obteve cerca de 60% da resistência a compressão do corpo de prova D (em temperatura ambiente de 20°C), que é uma perda significativa, ainda maior que os 75% dispostos na bibliografia, isso se deve à quão nocivo é este dano numa estrutura de concreto de alto desempenho.

O método por elementos finitos, utilizado por meio de um programa computacional empregado neste estudo, se mostrou eficaz por fornecer uma visualização em 3D de como a temperatura se distribui na peça de concreto de acordo com a análise térmica aplicada, seja estacionária ou transitória.

Na análise térmica estacionária não se obteve variações bruscas da variação térmica, pois nela não existe variação ao longo do tempo e a aplicação do efeito da temperatura ocorre como se aplicada de uma só vez, tornando uma análise mais simplificada.

A análise térmica transitória se mostrou mais eficaz no problema, pois pode-se observar variações térmicas ao longo do corpo de prova estudado, no qual as tensões tendem a serem maiores nas regiões centrais devido ao efeito dos gases internos estarem numa tentativa de fuga. Esta análise se mostrou mais próxima do comportamento real para concretos de alto desempenho, pois se comportou como ocorre do fenômeno do “spalling”, no qual as pressões internas tendem a gerar um deslocamento explosivo no elemento de concreto devido a baixa porosidade do material.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão dos corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8802: **Concreto Endurecido - Determinação da Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-2: **Concreto auto-adensável: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual – Método do cone de Abrams**. Rio de Janeiro, 2010.

BRITEZ, C. A. **Avaliação de pilares de concreto armado colorido de alta resistência, submetidos a elevadas temperaturas**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CARVALHO, E. F. T. **Contribuição ao estudo da resistência residual do concreto submetido ao**

**tratamento térmico padrão para situações de incêndio.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

COSTA, P. R. S. **Manifestações patológicas nas estruturas de concreto sujeitas a altas temperaturas.** Monografia. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SILVA, K. K. S.; SILVA, F.A.N.; FILGUEIRA FILHO, A. C.; ALVES, E. F. S. **COMPORTAMENTO DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO SUBMETIDO À TEMPERATURA ELEVADAS UTILIZANDO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.** In: 6ª CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2018, Rio de Janeiro. Anais 6º PATORREB, 2018.

MEHTA, P.K. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, IBRACON, 2014.

MOAVENI, S. **Finite element analysis. Theory and application with ANSYS.** New Jersey: Prentice hall, 1999.

MORALES, G.; CAMPOS. A.; FAGARELLO, A. M. P. **Ação do fogo sobre os componentes do concreto.** In: SEMINA: CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS, Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 32, n. 1, p. 47-55, Londrina, 2011.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** 5. Ed. São Paulo: Bookman, 2016, 912 p.

ROCHA, R. A. **Efeito da alta temperatura em concretos: uma revisão da literatura.** in: INTERSCIENTIA, vol. 6, nº1, 2018.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-244-9

