

Engenharia de Construção Civil e Urbana

Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)



Engenharia de Construção Civil e Urbana

Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)



Atena
Editora

Ano 2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Lorena Prestes
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
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. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	<p>Engenharia de construção civil e urbana [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-852-6 DOI 10.22533/at.ed.526191912</p> <p>1. Construção civil – Brasil. 2. Engenharia civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado.</p> <p style="text-align: right;">CDD 624</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia de Construção Civil e Urbana” contempla dezoito capítulos com abordagens sobre as mais recentes pesquisas relacionadas a construção civil e modificação do ambiente urbano. A utilização de novas tecnologias, desenvolvimento de novos materiais promovem um avanço na construção civil, permitindo a execução de novas construções, promovendo a reutilização de diversos materiais que antes eram descartados. O uso de ferramentas computacionais permite um maior controle e gerenciamento de obras, proporcionando uma melhor compatibilização de projetos, e evitando diversos problemas na sua execução. Existem aplicativos que permitem realizar o dimensionamento de diversos elementos, contribuindo para a agilidade na execução de projetos. O estudo sobre o comportamento de materiais utilizados na construção civil permite o desenvolvimento de novas soluções, bem como o aprimoramento de sistemas construtivos existentes, proporcionando maior qualidade, eficiência e segurança às obras. A utilização de resíduos de construção e desenvolvimento de materiais, têm sido amplamente utilizados e além de gerar novas soluções, resulta em benefícios ao meio ambiente. Da mesma forma, o uso da eficiência energética também tem sido utilizado em busca de soluções sustentáveis. Ante ao exposto, esperamos que esta obra proporcione ao leitor uma leitura agradável e traga conhecimento técnico, contribuindo para uma reflexão sobre os impactos que as pesquisas geram na engenharia de construção civil e urbana, e que seu uso possa trazer benefícios a sociedade.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO EM LINGUAGEM PYTHON PARA ANÁLISE DE ESTRUTURAS UTILIZANDO O MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS	
Amanda Isabela de Campos	
DOI 10.22533/at.ed.5261919121	
CAPÍTULO 2	16
IMPLANTAÇÃO DO BIM EM UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE – ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA JÚNIOR	
Rafael Braida Ribeiro	
Maurício Leonardo Aguilar. Molina	
DOI 10.22533/at.ed.5261919122	
CAPÍTULO 3	28
VARIAÇÃO DE CALOR EM UMA PLACA: ANÁLISE EXPERIMENTAL E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	
Fábio Gaspar Santos Júnior	
Ana Carolina Carius	
Mariana Anastácia de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.5261919123	
CAPÍTULO 4	40
UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA BIM PARA ELABORAÇÃO E EXECUÇÃO DE PROJETOS NA CIDADE DE ALFENAS-MG	
Leonardo Avelar Pereira	
Laísa Cristina Carvalho	
Iago Bernardes dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.5261919124	
CAPÍTULO 5	56
APLICATIVOS DE SMARTPHONE COMO FERRAMENTA PARA O GERENCIAMENTO DE OBRAS	
Francisco Diego Bezerra Soares	
Guilherme Álvaro Rodrigues Maia Esmeraldo	
DOI 10.22533/at.ed.5261919125	
CAPÍTULO 6	69
A ABORDAGEM <i>DESIGN THINKING</i> NO CURSO DE ENGENHARIA: UMA EXPERIÊNCIA NO DESAFIO DE CRIAR E INOVAR NA COMPLEXIDADE DO ENSINO E APRENDIZAGEM DA DISCIPLINA DE CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL	
Gilselene Garcia Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.5261919126	
CAPÍTULO 7	86
INFLUÊNCIA DA COLAGEM DE LAMINADOS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV) NO REFORÇO DE LIGAÇÕES VIGA-PILAR DE ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	
Juliana Penélope Caldeira Soares	
Nara Villanova Menon	
DOI 10.22533/at.ed.5261919127	

CAPÍTULO 8	101
MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO: UM ESTUDO SEMI PROBABILÍSTICO E SEUS DESDOBRAMENTOS	
Ana Carolina Carius	
Leonardo de Souza Corrêa	
Vinícius Costa Furtado da Rosa	
Alex Justen Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.5261919128	
CAPÍTULO 9	115
STUDY OF THE DURABILITY OF COMPOSITES OF EUCALYPTUS CELLULOSE FIBER STERIFIED FOR CEMENT MATRIX REINFORCEMENT	
Laís Fernanda dos Santos Marques	
Leila Aparecida de Castro Motta	
Rondinele Alberto dos Reis Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.5261919129	
CAPÍTULO 10	121
CONTROLE TECNOLÓGICO DA ARGAMASSA POR MEIO DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
Amanda Regina de Souza Macedo	
David Edson Macedo Palhares	
Ariadne de Souza e Silva	
Rafael Alexandre Raimundo	
Cleber da Silva Lourenço	
Ruan da Silva Landolfo	
Uilame Umbelino Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.52619191210	
CAPÍTULO 11	132
A IMPORTÂNCIA DO EMPREGO DE MATERIAIS RETARDANTES AO FOGO NAS GALERIAS COMERCIAIS DA CIDADE DE JUIZ DE FORA	
Jenifer Pungirum Quaglio	
Maria Teresa Barbosa	
Wendell Albuquerque	
DOI 10.22533/at.ed.52619191211	
CAPÍTULO 12	149
CONTRIBUIÇÕES PARA A UTILIZAÇÃO DE ENERGIA GEOTÉRMICA NO BRASIL	
Adriana Coelho Vieira	
Brunno Daibert Andrès	
Luis M. Ferreira Gomes	
Peter Kallberg	
DOI 10.22533/at.ed.52619191212	
CAPÍTULO 13	166
ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO SIMPLES COM ADIÇÃO DE CINZA DE CANA-DE-AÇÚCAR	
Ítalo Diego e silva morais	
Ariele Rebeca Martins ribeiro	
Francisco Willian Policarpo de Albuquerque	
Walber Alves Freitas	
Francisca Lucivania policarpo de Albuquerque	
DOI 10.22533/at.ed.52619191213	

CAPÍTULO 14	177
ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE USINA RECICLADORA DE RESÍDUOS DE CONCRETO NA INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE MOSSORÓ/RN	
Adeirton Gois de Lima	
Francisco Herikleptom Mariano da Costa	
Lucas Allan Saldanha dos Santos	
Hannah Lerissa Hydaradaya Moura Santos de Farias	
DOI 10.22533/at.ed.52619191214	
CAPÍTULO 15	188
COMPORTAMENTO DE BLOCOS DE TRANSIÇÃO COM PERFIL METÁLICO <i>Behavior of steel pile cap</i>	
Rodrigo Gustavo Delalibera	
Marcell Godoi Sivelli	
José Samuel Giongo	
DOI 10.22533/at.ed.52619191215	
CAPÍTULO 16	206
ESTUDO COMPARATIVO DA ASSOCIAÇÃO DE MEMBROS DE TRELIÇAS ISOSTÁTICAS	
Francisca Ires Vieira de Melo	
Leonardo Henrique Borges de Oliveira	
Layane Silva de Amorim	
Lourena Barbosa Cavalcante Paiva	
Sara Fernandes Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.52619191216	
CAPÍTULO 17	225
FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS ALTOS SEGUNDO DUAS VERSÕES: A SUGERIDA PELA NBR 6123/1988 E OUTRA SIMPLIFICADA	
Marcus Vinicius Paula de Lima	
Nara Villanova Menon	
Maicon de Freitas Arcine	
Juliana Penélope Caldeira Soares	
DOI 10.22533/at.ed.52619191217	
CAPÍTULO 18	240
COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO SUBMETIDOS À COMPRESSÃO DE ACORDO COM A NBR 14762:2010	
Amanda Isabela de Campos	
DOI 10.22533/at.ed.52619191218	
SOBRE A ORGANIZADORA	260
ÍNDICE REMISSIVO	261

MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO: UM ESTUDO SEMI PROBABILÍSTICO E SEUS DESDOBRAMENTOS

Ana Carolina Carius

Universidade Católica de Petrópolis, Centro de
Engenharia e Computação
Petrópolis, Rio de Janeiro

Leonardo de Souza Corrêa

Universidade Católica de Petrópolis, Centro de
Engenharia e Computação
Petrópolis, Rio de Janeiro

Vinícius Costa Furtado da Rosa

Universidade Católica de Petrópolis, Centro de
Engenharia e Computação
Petrópolis, Rio de Janeiro

Alex Justen Teixeira

Universidade Católica de Petrópolis, Centro de
Engenharia e Computação Petrópolis, Rio de
Janeiro

RESUMO: O presente trabalho tem por objetivo apresentar um estudo do comportamento da resistência à compressão do concreto, considerando que o concreto é um material compósito e, sendo assim, admite variabilidade significativa e comportamento semi probabilístico. A partir desta conclusão, conjectura-se que o módulo de elasticidade do concreto possui, também, um comportamento semi probabilístico, divergindo da norma ABNT NBR 6118 (2014), a qual considera o módulo de elasticidade a partir de cálculos determinísticos. A metodologia da pesquisa envolveu a escolha

de um traço de concreto com resistência característica (f_{ck}) de 40 MPa, com o qual foram realizados ensaios para determinação do módulo de elasticidade tangente (E_{ci}), além de ensaios que garantissem o valor da resistência a compressão indicado. Os ensaios para a obtenção do módulo de elasticidade foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 8522 (2017). Concluiu-se que, como o módulo de elasticidade do concreto recebe influência da resistência à compressão, que obedece a uma distribuição probabilística, e desta forma, não se deve manter o cálculo do módulo de elasticidade do concreto de forma determinística.

PALAVRAS-CHAVE: Módulo de elasticidade; concreto; probabilidade; comportamento semi probabilístico.

CONCRETE MODULUS OF ELASTICITY: A SEMI PROBABILISTIC STUDY AND ITS CONSEQUENCES

ABSTRACT: The present work aims to present a study of the compressive strength behavior of the concrete, considering that the concrete is a composite material and, therefore, admits significant variability and semi probabilistic behavior. From this conclusion, it is conjectured that the modulus of elasticity of the concrete also has a semi probabilistic behavior, diverging from the norms ABNT NBR 6118 (2014), which

consider the modulus of elasticity from deterministic calculations. The research methodology involved the selection of a concrete trait with characteristic strength (f_{ck}) of 40 MPa, with which tests were carried out to determine the tangential elasticity modulus (E_{ci}), in addition to tests that guarantee the value of the compressive strength indicated. The tests to obtain the modulus of elasticity were performed according to ABNT NBR 8522 (2017). It was concluded that as the modulus of elasticity of the concrete is influenced by the compressive strength, which obeys a probabilistic distribution, and in this way, the calculation of the concrete modulus of elasticity of the concrete must not be maintained deterministically.

KEYWORDS: Modulus of elasticity; concrete; probability; semiprobabilistic behavior

1 | INTRODUÇÃO

De acordo com Hibbeler (2010), vigas são elementos delgados que suportam carregamentos aplicados perpendicularmente a seu eixo longitudinal. Em virtude de sua ampla aplicabilidade na composição de elementos estruturais, as vigas são consideradas as partes mais importantes em elementos estruturais.

As vigas podem ser classificadas de acordo com o modo como as mesmas são apoiadas. Dentre os principais tipos de apoio, destacamos: viga simplesmente apoiada, que é aquela suportada por um apoio fixo em uma extremidade e um apoio móvel na outra extremidade; viga em balanço, que é engastada em uma extremidade e livre na outra e viga apoiada com extremidade em balanço, que é a viga na qual uma ou ambas as extremidades ultrapassam livremente os apoios (HIBBELER, 2010).

Considerando como ponto de partida para este estudo uma viga bi apoiada, o objetivo deste trabalho foi analisar a deflexão de uma viga biapoiada. Para tanto, define-se o conceito de linha elástica. Para Hibbeler (2010), **linha elástica** corresponde ao diagrama da deflexão do eixo longitudinal que passa pelo centroide de cada área da seção transversal da viga.

O modelo matemático que descreve a linha elástica inclui, em sua formulação, a contribuição do módulo de elasticidade ou módulo de Young. Por definição, o módulo de elasticidade é a razão entre a tensão aplicada sobre um corpo e a deformação específica sobre o corpo. Para os materiais idealizados por Robert Hooke, verifica-se uma proporcionalidade entre a força aplicada e a deformação verificada. No entanto, o concreto não mantém esta proporcionalidade, variando-se o módulo de elasticidade de acordo com a carga aplicada (PACHECO et. al, 2014). Desta forma, consideramos, primeiramente, dois tipos de módulo de elasticidade: módulo de elasticidade estático e módulo de elasticidade dinâmico. Em geral, o módulo de elasticidade é obtido através de métodos experimentais, uma vez que diversos fatores afetam o valor para o mesmo, tais como: o tempo de cura do concreto, a temperatura da cura, proporções da mistura e propriedades dos agregados, destacando-se a proporção água/cimento, tamanho e forma do corpo de prova, entre outros (DIÓGENES et. al, 2011).

A proposta inicial da pesquisa era estudar o comportamento da linha elástica que define a deflexão de uma viga bi apoiada, considerando-se carregamento pontual localizado na metade do comprimento da viga, a partir de um modelo matemático que não considerasse o módulo de elasticidade para o concreto como uma constante. Diante desse panorama, iniciou-se um estudo sobre o comportamento do módulo de elasticidade do concreto do ponto de vista probabilístico.

Segundo MEHTA e MONTEIRO apud DE MARCHI (2008), o módulo de elasticidade pode ser definido como a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite de proporcionalidade do material. Em alguns casos, este limite é simplesmente adotado por uma norma que padroniza o ensaio, como acontece na norma brasileira.

O concreto é um material compósito, cujas características de suas ligações químicas são semelhantes a materiais cerâmicos, sendo um material heterogêneo e multifásico. A fração volumétrica, a densidade e o módulo dos principais componentes, além de características da zona de transição na interface determinam o comportamento elástico do concreto (DE MARCHI, 2011).

O concreto é composto pela mistura de dois materiais bem distintos: o agregado, que é o material rígido e a pasta de cimento, que é um material poroso e flexível. Conseqüentemente o módulo de elasticidade do conjunto é a resultante da interação destas duas fases. De acordo com Neville (1997), o comportamento do concreto pode ser descrito de forma intermediária entre o comportamento do agregado e da pasta de cimento, conforme mostra a Figura 1.

Neville (1997) justifica o comportamento não-linear da curva do concreto no gráfico tensão X deformação pelo fato de que, mesmo antes de sofrer a aplicação de carga na compressão, o concreto possui microfissuras, principalmente na zona de transição entre os agregados e a pasta de cimento. Essas microfissuras evoluíram inicialmente dentro da zona de transição com a aplicação da carga, se tornando estáveis até 30% da resistência à compressão do concreto. Com solicitações acima de 70% da resistência à compressão, as fissuras se propagariam através da pasta de cimento. Neville (1997) destaca, ainda, que a retração autógena da pasta de cimento que o constitui não depende da ação de cargas sobre ele. Desta forma ocorrem retrações e deformação do material como um todo.

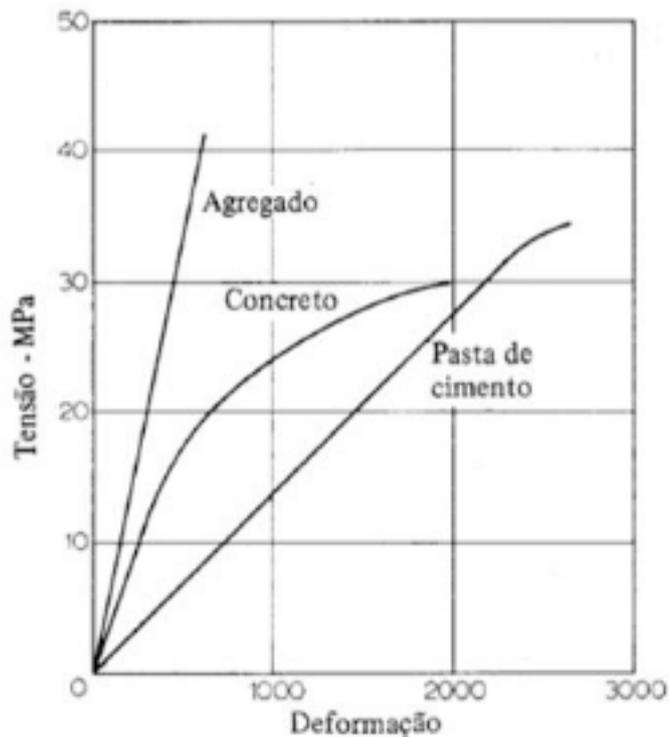


Figura 1 - Gráfico tensão X deformação para concreto, pasta de cimento e agregado. (NEVILLE, (1997)).

A partir do comportamento apresentado pelo concreto para os ensaios de compressão, modificando a relação tensão x deformação, o presente trabalho objetivou o estudo do módulo de elasticidade para concreto convencional, tomando-se, como base, um traço de resistência a compressão de 40 MPa. Foram confeccionados 47 corpos de prova cilíndricos, de acordo com a norma ABNT NBR 5738 (2014) e rompidos de acordo com a norma ABNT 5739 (2007). Utilizou-se o tempo de cura de 7, 14 e 28 dias para os ensaios de resistência à compressão e 60 dias para os ensaios de módulo de elasticidade. Optamos pelo método tangencial para o cálculo do módulo de elasticidade.

Após a obtenção dos dados através dos ensaios laboratoriais, realizamos um levantamento estatístico tanto para os valores referentes aos ensaios de resistência à compressão como para os ensaios para o cálculo de elasticidade visando o entendimento, do ponto de vista estatístico, do comportamento tanto da resistência à compressão quanto do módulo de elasticidade.

Concluimos que a resistência à compressão se comporta conforme uma distribuição gaussiana de probabilidade e investigamos o comportamento do módulo de elasticidade, a fim de propor um modelo probabilístico para o cálculo deste coeficiente. Pretendemos, ao final de todo o projeto, obter um modelo que melhor descreva o módulo de elasticidade do ponto de vista probabilístico, divergindo da norma brasileira, a qual considera o cálculo deste coeficiente de forma determinística.

2 | OBJETIVOS

O presente trabalho objetivou, a partir da hipótese de que a resistência a compressão do concreto não se comporta de forma determinística em função do mesmo não ser um material homogêneo regido pela Lei de Hooke e avaliar a contribuição da distribuição probabilística da resistência à compressão no cálculo do módulo de elasticidade. Conforme citado anteriormente, o estudo de variabilidade do concreto, quando considerado adequadamente, pode contribuir, de forma significativa, na otimização de usos de recursos naturais e materiais, conduzindo a projetos sustentáveis.

3 | MÉTODOS

3.1 Módulo de elasticidade: definições e normas existentes

De acordo com De Marchi (2011) são descritos três tipos de módulo de elasticidade do concreto quando sujeito à compressão:

Módulo tangente: é calculado através do coeficiente angular da reta tangente a qualquer ponto da curva tensão X deformação na compressão, mas quando não for especificado o ponto da curva, refere-se à origem, ou seja, ao módulo tangente inicial E_{ci} .

Módulo secante: é dado pela relação entre uma tensão qualquer e a deformação a ela correspondente, ou seja, o coeficiente angular da reta que liga os pontos da curva tensão X deformação correspondente a essa tensão e à tensão igual a zero. Quando a tensão não é mencionada, infere-se que o módulo secante seja relativo a uma tensão entre 40 e 50 % da resistência à compressão.

Módulo cordal: É definido pela reta que liga dois pontos quaisquer da curva tensão X deformação.

Adotamos, para este trabalho, o cálculo do módulo de elasticidade tangente, de acordo com o previsto pela ABNT NBR 8522 (2017). Existem, contudo, alguns modelos matemáticos que tentam prever o comportamento do módulo de elasticidade sem levar em consideração toda a variabilidade intrínseca, discutida na Seção 1. De acordo com De Marchi (2011), as abordagens teóricas não possuem muita aplicabilidade e se restringem ao uso do ponto de vista acadêmico. No entanto, é possível verificar algumas fórmulas para o cálculo do módulo de elasticidade, obtidas de forma empírica, que estão presentes em normas e recomendações técnicas internacionais de projetos de estruturas de concreto, conforme a Tabela 1.

3.2 Fatores Que Influenciam no Módulo de Elasticidade do Concreto

Conforme descrito anteriormente, o concreto é um material compósito e, devido a sua estrutura heterogênea, possui comportamento elástico. Destacam-se fatores de

variabilidade intrínsecos e extrínsecos os quais são descritos a seguir.

3.2.1 Variabilidade intrínseca

Os agregados ocupam, em média, 75 % do volume do concreto, impactando diretamente na variabilidade do mesmo e alterando significativamente o valor do módulo de elasticidade (DE MARCHI, 2011).

SBRIGHI (2005) apresenta os principais tipos de rochas utilizados como agregados para o concreto e seus respectivos módulos de elasticidade. Estes valores estão indicados na Tabela 2.

Tabela 1: Diferentes formas para o cálculo do módulo de elasticidade tangencial (PACHECO et. al, 2014).

Autor	Expressão
NBR 6118/2007	$E_{ci} = 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$
EUROCODE 2/2004	$E_c = 1,05 \cdot E_{cm}$ $E_c(t) = 1,05 \cdot \left(e^{\left\{ s + \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{0,5} \right] \right\}} \right)^{0,3} \cdot E_{cm}$
ACI 318/2005	Não tem cálculo para o módulo tangencial
Fib MODEL CODE 2010	$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck} + 8}{10} \right)^{\frac{1}{3}}$ $E_{ci}(t) = \left(e^{\left\{ s + \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{0,5} \right] \right\}} \right)^{0,5} \cdot E_{ci}$

Tipo de rocha	Módulo de elasticidade (GPa)
Arenito	20-40
Basalto	60-100
Calcário	30-50
Gnaisse	40-70
Granito	40-70
Quartzito	50-100
Xisto	25-40

Tabela 2: Módulo de elasticidade de agregados (SBRICHI, 2005).

Observa-se, no entanto, que de todas as propriedades do agregado gráudo, aquela que afeta o módulo de elasticidade de forma significativa é a porosidade. De acordo com METHA e MONTEIRO (2008), a porosidade do agregado determina a sua rigidez e, desta forma, controla a capacidade do agregado de restringir deformações da matriz da pasta de cimento, sendo a variação do módulo de elasticidade do agregado diretamente proporcional ao aumento do módulo de elasticidade do concreto.

Assim como para os agregados gráudos, a porosidade desempenha um papel fundamental no módulo de elasticidade da pasta de cimento endurecida. Esse fenômeno está diretamente atrelado à relação água/cimento, teor de ar incorporado, adições minerais e grau de hidratação do cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Os vários tipos de vazios na pasta de cimento são classificados como porosidade gel e porosidade capilar. O volume da porosidade diminui durante a hidratação.

A zona de transição entre a matriz da pasta de cimento e o agregado é normalmente considerada como a parte mais fraca do concreto de resistência normal. Para o concreto de alta resistência, a resistência da argamassa e da zona de transição pode ser comparável com a resistência do agregado gráudo (DE MARCHI, 2011).

MASO apud METHA e MONTEIRO (2008) descreve o comportamento do concreto a partir de seu lançamento: primeiro forma-se um filme de água ao redor das partículas dos agregados gráudos, podendo formar uma relação *água/cimento* mais elevada nas proximidades do agregado gráudo do que na matriz da pasta de cimento. Os íons de cálcio, sulfato, hidroxila e aluminatos formados pela dissolução dos compostos de sulfato de cálcio e de aluminato de cálcio, combinam-se para formar etringita e hidróxido de cálcio. Devido à relação *água/cimento* elevada, estes produtos cristalinos vizinhos ao agregado gráudo consistem de cristais relativamente grandes e, conseqüentemente, formam uma estrutura mais porosa do que na matriz da pasta de cimento ou na matriz da argamassa.

3.2.2. Variabilidade Extrínseca

Entre os parâmetros influenciadores para o módulo de elasticidade relacionados aos corpos-de-prova, encontram-se a forma e a dimensão da seção transversal,

a relação entre o comprimento e essa dimensão e a direção de concretagem (SHEHATA, 2005). Já os parâmetros relacionados ao procedimento de ensaio estão o teor de umidade do corpo-de-prova, a velocidade de aplicação da tensão, a restrição à deformação nas extremidades do corpo-de-prova causada pela placa de carregamento, o comprimento ao longo do qual se mede a deformação, o diâmetro do prato transmissor de carga e a rigidez da prensa.

De Marchi apud Montija (2007) sinaliza que o uso de uma fórmula que exige uma aproximação matemática contribui para a interpretação do resultado de ensaio do módulo de deformação do concreto. Desta forma, é necessário garantir que os limites do trecho retilíneo estejam bem definidos e confiáveis. Também são citados pelo autor como fontes de variabilidade inerentes ao ensaio, a velocidade de aplicação da carga, a definição do plano de carga e o tipo de instrumentação para a medição das deformações.

Para os ensaios do módulo de elasticidade, segue-se as recomendações da norma ABNT NBR 8522 (2017). São indicados 5 corpos de prova cilíndricos, de forma que a altura do corpo de prova seja o dobro do diâmetro do mesmo corpo de prova. O diâmetro deve ser dado de acordo com o tamanho do agregado graúdo, de forma que o diâmetro seja, no mínimo, 4 vezes o tamanho máximo do agregado graúdo. Primeiramente deve ser feito um ensaio de resistência à compressão para dois corpos de prova, de acordo a ABNT NBR 5739 (2007). Este ensaio tem por objetivo determinar o nível de carregamento a ser aplicado no ensaio de módulo.

A fim de determinar o módulo de elasticidade através da tangente inicial, posiciona-se o corpo de prova corretamente em relação aos medidores que serão usados e aplica-se o carregamento até uma tensão de 30% da resistência à compressão obtida no ensaio anterior (σ_b), a uma velocidade de 0,25 MPa/s, podendo-se variar esta velocidade em 0,05 MPa/s, tanto positivamente quanto negativamente. Esse nível de carregamento deve ser mantido por 60 segundos e, em seguida, reduzido à mesma velocidade do processo de carregamento até o nível de tensão básica (considerado $\sigma_a = 0,5$ MPa, com variação de 0,1 MPa, tanto positivamente quanto negativamente). Devem ser realizados mais ciclos de carregamento adicionais, entre σ_a e σ_b , mantendo essas tensões por 60 segundos. Depois do último ciclo de carga são medidas as deformações específicas.

Após o término das leituras de deformação, o corpo de prova deve ser carregado até a sua ruptura. Se a resistência efetiva à compressão do corpo de prova diferir de f_{ci} em mais de 20 %, os resultados do corpo de prova devem ser descartados.

O módulo de elasticidade, com tensão fixa σ_a , pode ser calculado pela seguinte equação

$$E_{ci} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} 10^{-3} = \frac{\sigma_b - 0,5}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} 10^{-3}$$

onde

σ_b é a tensão maior, em MPa ($\sigma_b = 0,3 f_{ck}$) (ou outra tensão especificada em projeto, de até 40 % de f_{ck});

0,5 é a tensão básica em MPa;

ε_b é a deformação específica média, sob a tensão maior;

ε_a é a deformação específica média, sob a tensão básica de 0,5 MPa.

4 | PROGRAMA EXPERIMENTAL E SEUS RESULTADOS

O objetivo deste programa experimental foi investigar o comportamento semi probabilístico dos ensaios de resistência à compressão para um traço de concreto de 40 MPa. A seguir, foram realizados ensaios para a medir a deformação e cálculo do módulo de elasticidade para o método da tangente inicial, descrito na Seção 3.

A primeira etapa da pesquisa foi realizada durante um período de sessenta dias. A partir de um traço calculado para um concreto convencional de 40 MPa, foram confeccionados 47 corpos de prova, dos quais 10 foram separados para a realização dos ensaios do módulo de elasticidade e os demais 37 foram ensaiados à compressão.

A segunda etapa da pesquisa objetivou o estudo estatístico dos dados obtidos nos ensaios realizados na primeira etapa, mapeando os fatores ligados a variabilidade da determinação do módulo de elasticidade, diante da variabilidade inerente aos materiais e a variabilidade do ensaio.

Por fim sugere-se, a partir dos resultados para a variabilidade da resistência à compressão, um comportamento semelhante para o módulo de elasticidade, o qual será melhor avaliado posteriormente, em uma próxima etapa desta pesquisa.

4.1 Materiais Constituindo do Concreto Utilizado na Pesquisa

O cimento utilizado na pesquisa foi o CP II, E-32, da TUPI. Foram usados 38 kg de cimento, de um mesmo saco (mesmo lote). Como agregado miúdo foi usada uma areia média (diâmetro de 0,42 a 2 mm) de origem natural, na quantidade de 63 kg, de uma mesma amostra. Para os agregados graúdos foram utilizados na composição de brita 0 e brita 1, de origem granítica, na proporção de 60 % de brita 0 (diâmetro de 4,8 a 9,5 mm) e 40 % de brita 1 (diâmetro de 9,5 a 19,0 mm). Foram utilizados 13,5 litros de água, fornecidos pela concessionária de água do município de Petrópolis (Águas do Imperador), dentro dos limites normais de potabilidade. Por fim, foram usadas 228

g de aditivo, TecFlow 9030 da GRACE.

4.2 Dosagem do Concreto

A Tabela 3 apresenta as dosagens para o traço de concreto utilizado na pesquisa.

F_{ck} (MPa)	40 MPa
Relação a/c	0,3563
Cimento (kg/m^3)	480
Água (l/m^3)	171
Areia (kg/m^3)	850
Brita 0 (kg/m^3)	600
Brita 1 (kg/m^3)	400
Aditivo (0,6%)/Massa cimento	28,8 L

Tabela 3: Traço do concreto.

4.3 Avaliação da Resistência À Compressão dos Concretos Estudados

Para o estudo foram realizadas análises baseadas nos ensaios de resistência aos 7, 14 e 28 dias de idade, para 37 corpos de prova. Os resultados podem ser observados no Gráfico 1.

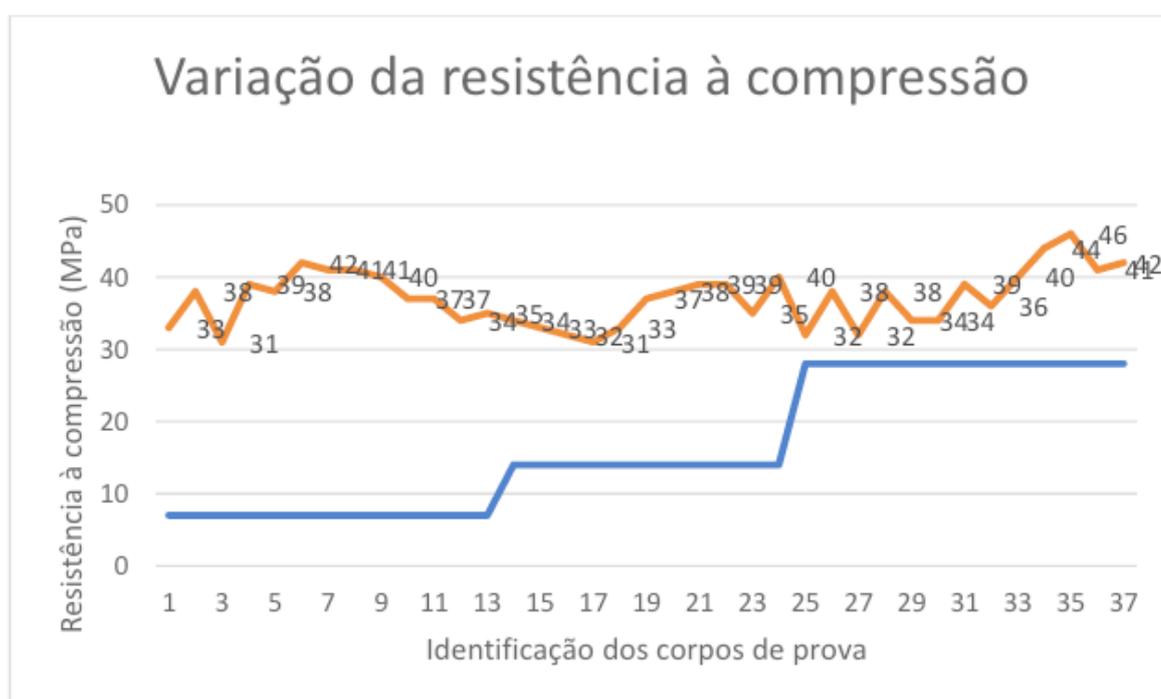


Gráfico 1: Resistência a compressão para os 37 corpos de prova.

Os dados analisados são dispostos na forma de uma tabela de frequências. Esta tabela é construída a partir dos intervalos de classes, que são escolhidos a partir da amplitude máxima dos dados. Para a resistência à compressão, a amplitude foi de 16, uma vez que o maior f_{ck} aferido foi de 46 MPa e o menor f_{ck} aferido foi de 30 MPa.

Foi construída uma tabela de frequências com 10 intervalos de classe, cuja amplitude é de 1,7 MPa. A partir desta tabela é possível construir o histograma para os dados obtidos, representado pelo Gráfico 2.

É possível observar pelo Gráfico 2 que as variabilidades intrínsecas aos materiais, assim como variabilidades relacionadas aos ensaios colaboraram para que o histograma não exprimisse uma distribuição gaussiana ou normal, conforme prevê a norma.

A Tabela 4 representa o resumo da análise estatística para o traço de 40 MPa.

Variável	Valor obtido
Número de amostras	37
$f_{ck,est}$ (NBR 12655)	49,7893259
f_c médio (MPa)	41,98706397
Desvio padrão f_c	5,932924791
Coeficiente de variação f_c (%)	14,13036357

Tabela 4: Resumo da análise estatística para a resistência do traço de 40 MPa.

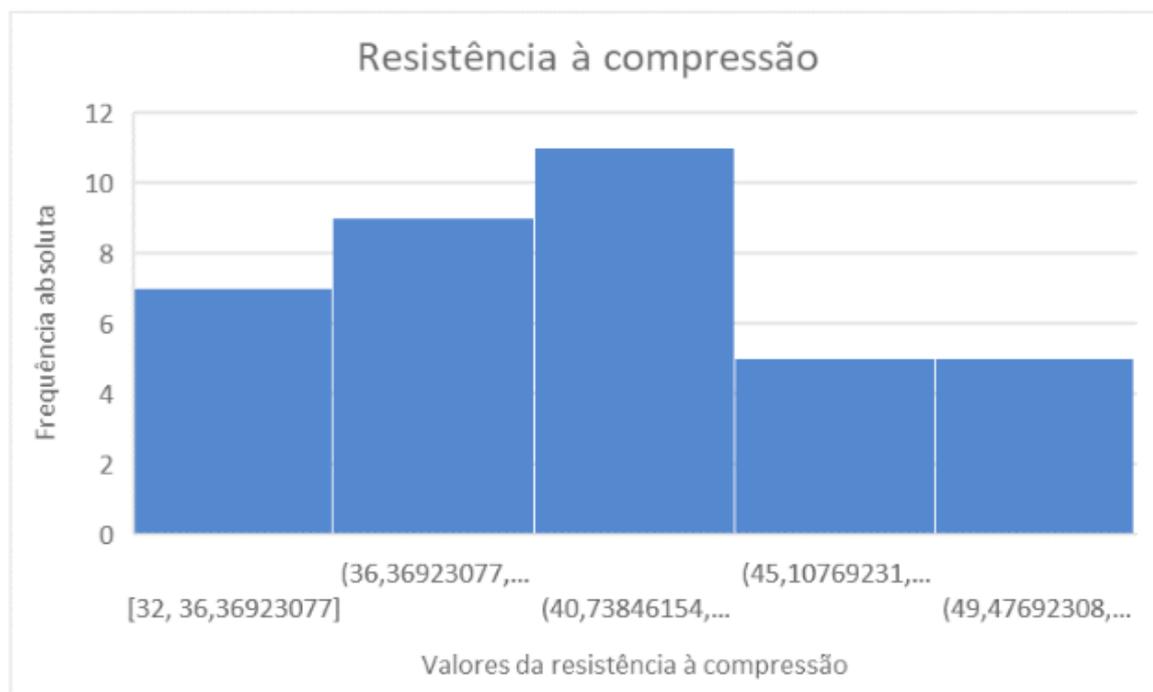


Gráfico 2: Histograma para os 37 corpos de prova submetidos à resistência à compressão.

4.4 Avaliação do Módulo de Elasticidade

Em virtude de condições externas à pesquisa, dos 9 corpos de prova que foram separados para os testes do módulo de elasticidade, foram ensaiados apenas três, cujos resultados podem ser indicados na Tabela 5.

Variável	Valor obtido		
Número de amostras		3	
Eci previsto segundo NBR 6118 (GPa)		35,417	
Eci <i>médio</i>		39,37	
Desvio padrão Eci		2,6777	
Coeficiente de variação (%)		6,8	

Tabela 5: Resumo da análise estatística para o módulo de elasticidade do traço de 40 MPa.

5 | CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente estudo objetivou discutir o caráter aleatório do concreto, destacando esta característica em duas propriedades: resistência à compressão e módulo de elasticidade. Conforme descrito na Seção 1, a norma brasileira prevê que a resistência à compressão para o concreto não se dê através de uma fórmula determinística, mas que possa ser calculada através de uma distribuição de probabilidade. Através do Gráfico 2, observa-se o histograma para os dados experimentais de resistência à compressão. É possível verificar uma maior concentração dos valores em torno da média aritmética. Acredita-se que, aumentando-se a quantidade de corpos de prova, o comportamento dos dados se aproxime de uma distribuição gaussiana (DE MARCHI, 2011).

Para o módulo de elasticidade, foram utilizados apenas uma média entre os valores para 3 corpos de prova. Conforme descrito na Seção 2, a norma brasileira ainda prevê o cálculo do módulo de elasticidade usando fórmulas determinísticas pré-estabelecidas. No entanto, percebe-se que pelo fato do módulo de elasticidade ser definido como o quociente entre a tensão aplicada ao corpo de prova e a deformação do mesmo, o caráter aleatório presente no concreto é expresso através dos ensaios de resistência à compressão deve ser considerado para o módulo de elasticidade, diferentemente do previsto pela norma brasileira.

Por fim, na Seção 5, apresenta-se a contribuição do módulo de elasticidade de forma aleatória, e a forma como essa construção pode contribuir no cálculo da linha elástica que define a deflexão de uma viga bi apoiada. Na próxima etapa do projeto, já em andamento, avalia-se o módulo de elasticidade para o concreto, considerando o mesmo traço, para, aproximadamente, 400 corpos de prova. De acordo com Torman et. al (2012), a fim de aplicar um teste para verificação se o conjunto de dados obedece a uma distribuição gaussiana, considera-se o teste de Kolgomorov-Smirnov, o qual possui um percentual de acerto de 100% para uma amostra de 500 dados, quando a amostra se trata de uma distribuição gaussiana. Baseados nesse trabalho, pretende-se obter experimentalmente o módulo de elasticidade de 400 corpos de prova de um mesmo traço e, posteriormente, comprovar que estes dados correspondem a uma distribuição gaussiana.

Após a verificação se o conjunto de dados para o módulo de elasticidade representa uma distribuição gaussiana, a análise semi probabilística para o mesmo será realizada, donde pretende-se obter conclusões a respeito da qualidade do concreto e indicar procedimentos de controle e qualidade que podem ser aplicados a estruturas, a exemplo das vigas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pela bolsa PIBIC ao estudante Leonardo de Souza Corrêa e pela bolsa PIBIC-EM a estudante Bruna Nogueira. A Universidade Católica de Petrópolis pela disponibilização do Laboratório de Engenharia Civil para os experimentos.

REFERÊNCIAS

- [1] ARAÚJO, D. L.; CARMO, L. C.; NUNES, F. G. T.; TOLEDO FILHO, R. D., 2010 **Modelagem computacional de vigas de concreto armado reforçado com fibras de aço submetidas a cisalhamento**, Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 3, n. 1, pp. 68-94.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 (2015): procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-provas, 2015.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 (2007): ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522 (2017): determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, 2017.
- [5] DE MARCHI, R. D. **Estudo sobre a variabilidade do módulo de deformação do concreto associada a fatores intrínsecos à produção do material**. São Paulo: Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado). 2011. 121 p.
- [6] DIÓGENES, H. J. F.; COSSOLINO, L. C.; PEREIRA, A. H. A.; EI DEBS M.K.; EI DEBS, A. L. H. C., **Determinação do módulo de elasticidade do concreto a partir da resposta acústica**, Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 4, n. 5, pp. 803-813, 2011.
- [7] HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais**. São Paulo: Editora Pearson, 2010.
- [8] METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**, Ed. PINI, São Paulo, 2008.
- [9] NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**, Ed. PINI, São Paulo, 1997.
- [10] PACHECO, J.; BILESKY, P.; MORAES, T.R.; GRANDO, F.; HELENE, P., Considerações sobre o módulo de elasticidade do concreto, **56º Congresso Brasileiro do Concreto**. Natal, IBRACON, 2014.
- [11] SBRIGHI NETO, C., In ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, vol. 1, cap. 11, IBRACON. São Paulo, 2005.
- [12] SHEHATA, L.D., In ISAIA, G.C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, vol 1, cap. 21, IBRACON. São Paulo, 2005.

[13] TORMAN, V. B. L., COSTER, R., RIBOLDI, J., **Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação**, Revista HCPA, v. 32 (2), pp. 227-234, 2012.

SOBRE O ORGANIZADORA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ação do vento 225, 226, 228, 229, 230, 235
Algoritmo 1, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 240, 251, 254, 258
Análise estrutural 1, 2, 4, 9, 14, 15, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 98, 198, 224
Aplicativo 28, 56, 60, 61, 62, 63, 66
Aprendizagem 69, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 84
Argamassa 107, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131
Armaduras 93, 95, 192, 196, 197, 199, 200, 202

B

BIM 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 40, 41, 42, 43, 53, 54, 55, 58
Blocos de concreto 190

C

Cálculo 1, 4, 10, 14, 15, 33, 38, 63, 66, 69, 75, 80, 84, 86, 90, 93, 98, 101, 104, 105, 106, 109, 112, 172, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 188, 195, 205, 210, 211, 226, 227, 230, 233, 238, 240, 245, 247, 248, 249, 251, 254, 257
Compatibilização 23, 24, 25, 40, 41, 44, 46, 49, 53, 55
Concreto 45, 52, 54, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 123, 130, 131, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 195, 198, 205, 230, 231, 238, 239
Controle tecnológico 121, 122, 127, 130

D

Desenvolvimento 1, 16, 34, 41, 42, 43, 53, 56, 57, 58, 59, 63, 65, 66, 69, 70, 71, 74, 77, 84, 90, 131, 149, 151, 163, 167, 209, 230, 259
Dimensionamento 2, 3, 26, 46, 50, 88, 142, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 197, 199, 204, 208, 212, 223, 238, 240, 241, 242, 246, 247, 249, 258, 259

E

Edificações 17, 41, 44, 54, 67, 87, 90, 99, 121, 122, 124, 130, 133, 135, 137, 140, 141, 142, 147, 148, 226, 229, 230, 233, 237, 238
Elementos finitos 15, 28, 33, 34, 38, 198, 199, 246
Eletricidade 149, 152, 153, 154, 156, 159, 160, 161, 163
Energia 5, 6, 15, 46, 59, 126, 149, 150, 151, 152, 153, 156, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 166, 168, 170, 179, 183, 184, 186
Energia renovável 149
Ensaio 28, 101, 104, 108, 109, 110, 111, 112, 121, 122, 128, 129, 130, 169, 170, 191, 197, 205
Estabilidade 86, 87, 88, 92, 93, 98, 99, 115, 226, 238, 246, 249, 258
Estacas 157, 188, 189, 190, 205
Estruturas 1, 2, 3, 9, 14, 15, 28, 38, 41, 45, 54, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 99, 100, 105, 113, 119, 167, 168, 169, 171, 176, 178, 179, 186, 205, 207, 208, 223, 224, 225, 238, 239, 241, 259

G

Gerenciamento de obras 56, 58, 60, 61, 66

Gerenciamento de projetos 16, 19, 27, 67

I

Inovação 41, 69, 70, 72, 73, 74, 85, 179

M

Materiais 2, 28, 30, 31, 35, 38, 44, 53, 60, 62, 63, 88, 99, 102, 103, 105, 109, 111, 113, 119, 120, 121, 122, 123, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 140, 143, 147, 148, 167, 168, 169, 172, 198, 199, 223, 228

Método dos deslocamentos 1, 3, 9, 14, 15

Modelagem estrutural 225

Módulo de elasticidade 4, 10, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 115, 121, 122, 127, 128, 130, 131, 198, 199, 209, 231, 244

P

Perfis de aço 240, 241, 249, 258, 259

Pré-moldados 90, 177, 178, 179, 180, 181, 186, 187

Projeto 1, 2, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 68, 70, 72, 74, 82, 87, 88, 89, 90, 99, 104, 109, 112, 124, 132, 134, 135, 142, 147, 168, 178, 181, 184, 186, 205, 224, 235, 238, 259

Projeto arquitetônico 26, 44, 54

Propriedades geométricas 3, 209, 222, 242, 243, 245, 249, 251

R

Reciclagem 120, 177, 180, 181, 182, 186, 187

Reforço estrutural 86

Resíduos sólidos 167, 177, 179, 180, 186

Resistência 23, 26, 35, 45, 88, 89, 90, 101, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 121, 122, 124, 126, 127, 128, 129, 131, 142, 166, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 189, 195, 198, 199, 200, 231, 240, 242, 249, 251, 257, 258

S

Segurança 53, 132, 134, 135, 139, 140, 142, 143, 151, 179, 212, 226, 230, 233, 238, 260

Simulações 28, 30, 31, 33, 35, 98, 190, 225

Sustentabilidade 19, 20, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 186

T

Tecnologia 27, 40, 41, 42, 53, 54, 57, 58, 59, 61, 67, 68, 121, 131, 152, 153, 157, 161, 163, 166, 260

Treliças 9, 14, 15, 206, 207, 208, 209, 211, 212, 213, 220, 223, 224

V

Viga 50, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 98, 99, 100, 102, 103, 112, 206, 209, 212, 221, 222, 223, 237, 246

