



As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 2

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a
Economia e o Meio Ambiente 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

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
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
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.^a Dr.^a 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 Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	<p>As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 2 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 2)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-430-6 DOI 10.22533/at.ed.306192506</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDOS DA ÁGUA E SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO UBERABINHA EM UBERLÂNDIA - MG	
Maria da Graça Vasconcelos	
Luiz Alfredo Pavanin	
Erich Vectore Pavanin	
DOI 10.22533/at.ed.3061925061	
CAPÍTULO 2	13
BATIMETRIA E MEDIÇÃO DE VAZÃO NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ - RO	
Renato Billia de Miranda	
Camila Bermond Ruezzeno	
Bruno Bernardo dos Santos	
Frederico Fabio Mauad	
DOI 10.22533/at.ed.3061925062	
CAPÍTULO 3	26
MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ENSAIO DE PROVA DE CARGA EM SOLO BASÁLTICO	
Daniel Russi	
Sandra Garcia Gabas	
Giancarlo Lastoria	
DOI 10.22533/at.ed.3061925063	
CAPÍTULO 4	37
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO PAPEL FILTRO E CENTRÍFUGA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E CORRELAÇÕES COM PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	
Ana Carolina Dias Baêso	
Eduardo Souza Cândido	
Roberto Francisco de Azevedo	
Gustavo Armando dos Santos	
Tulyo Diniz Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.3061925064	
CAPÍTULO 5	51
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE UM SOLO TROPICAL DA BAIXADA FLUMINENSE NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Fernando Benedicto Mainier	
Claudio Fernando Mahler	
Viktor Labuto Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.3061925065	
CAPÍTULO 6	61
ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE UNIDADES DE TERRENO DO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM – ES	
Bruna Xavier Faitanin	
Éder Carlos Moreira	
Altair Carrasco de Souza	
Vitor Roberto Schettino	
DOI 10.22533/at.ed.3061925066	

CAPÍTULO 7	69
ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO SILTE ARENOSO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA COM CAL PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO	
Wagner Teixeira	
Eclesielter Batista Moreira	
João Luiz Rissardi	
Vanessa Corrêa de Andrade	
Ronaldo Luis dos Santos Izzo	
DOI 10.22533/at.ed.3061925067	
CAPÍTULO 8	80
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA NA RESISTÊNCIA DE SOLOS SEDIMENTARES	
Jair de Jesús Arrieta Baldovino	
Eclesielter Batista Moreira	
Ronaldo Luis Dos Santos Izzo	
Juliana Lundgren Rose	
Erico Rafael Da Silva	
Wagner Teixeira	
Felipe Perretto	
Roberto Pan	
DOI 10.22533/at.ed.3061925068	
CAPÍTULO 9	95
PERFILAGEM DO SUBSOLO NO MUNICÍPIO DE APUCARANA-PR COM BASE EM DADOS DE SONDAgens DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT	
Mariana Alher Fernandes	
Augusto Montor de Freitas Luiz	
DOI 10.22533/at.ed.3061925069	
CAPÍTULO 10	104
UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO DE TUBO NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE CAMADAS SUPERFICIAIS DE SOLOS	
Marcos Túlio Fernandes	
Glaucimar Lima Dutra	
DOI 10.22533/at.ed.30619250610	
CAPÍTULO 11	116
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICOS	
Alessandra Lidia Mazon	
Maytê Pietrobelli de Souza	
Bianca Penteado de Almeida Tonus	
André Fanaya	
DOI 10.22533/at.ed.30619250611	

CAPÍTULO 12 133

AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO DE CARACTERÍSTICA NÃO LATERÍTICA SOB O ENFOQUE GEOTÉCNICO NAS MARGENS DA TO-222 NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA - TO

Glacielle Fernandes Medeiros
Renata de Moraes Farias
Palloma Borges Soares
Ana Sofia Oliveira Japiassu
Andressa Fiuza de Souza
Igor Guimarães Matias

DOI 10.22533/at.ed.30619250612

CAPÍTULO 13 144

ADAPTAÇÃO DE METODOLOGIA DE HIERARQUIZAÇÃO DE NÍVEIS DE ATENÇÃO UTILIZADA EM MINERAÇÃO PARA TRABALHOS DE MAPEAMENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ÁREA URBANA

Marcelo Corrêa da Silva
Daiara Luiza Guimarães

DOI 10.22533/at.ed.30619250613

CAPÍTULO 14 157

PRODUÇÃO DE CONCENTRADO ÚMIDO FOSFATADO: UMA EXPERIÊNCIA DE ESTÁGIO NA MINERAÇÃO

Matheus Henrique Borges Coutinho
Ricardo Antonio de Rezende
Cibele Tunussi
Marcos Vinicius Agapito Mendes

DOI 10.22533/at.ed.30619250614

CAPÍTULO 15 163

ESTUDO DOS DESPERDÍCIOS DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUGESTÕES PARA A MINIMIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DOS MESMOS, VISANDO A OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DAS OBRAS E MENORES IMPACTOS AMBIENTAIS

Beatriz Zeurgo Fernandes
Rafael Bergjohann
Luiz Carlos de Campos

DOI 10.22533/at.ed.30619250615

CAPÍTULO 16 176

USO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND

Kenyson Diony Souza Silva
Raduan Krause Lopes
Fabiano Medeiros Da Costa

DOI 10.22533/at.ed.30619250616

CAPÍTULO 17 192

ESTUDOS PRELIMINARES DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE MINÉRIO DE COBRE SULFETADO NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO

Julia Alves Rodrigues
Dilson Nazareno Pereira Cardoso
Abel Jorge Rodrigues Ferreira
Edinaldo José de Sousa Cunha
Bruno Marques Viegas
Edilson Marques Magalhães
José Antônio da Silva Souza

DOI 10.22533/at.ed.30619250617

CAPÍTULO 18 200

AValiação DO COMPORTAMENTO DE COMPOSIÇÕES A BASE DE CIMENTO DE ALUMINATO DE CÁLCIO FRENTE AOS MICRORGANISMOS STAPHYLOCOCCUS AUREUS E ESCHERICHIA COLI

Renata Martins Parrreira
Talita Luana de Andrade
Newton Soares da Silva
Cristina Pacheco Soares
Victor Carlos Pandolfelli
Ivone Regina de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.30619250618

CAPÍTULO 19 209

UMA TÉCNICA, BASEADA EM PROJETO DE EXPERIMENTOS, PARA OTIMIZAÇÃO DA DOSAGEM DE ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA

André Rodrigues Monticeli
Paulo César Mappa
Aellington Freire de Araújo
Emerson Ricky Pinheiro
Karoline Santos da Silva

DOI 10.22533/at.ed.30619250619

CAPÍTULO 20 221

REDUÇÃO DO CONSUMO DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS AO ESFORÇO CORTANTE ATRAVÉS DA ESCOLHA DO ÂNGULO DAS BIELAS

Lucas Teotônio de Souza
Paula de Oliveira Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.30619250620

CAPÍTULO 21 232

ANÁLISE DE CRONOGRAMA FÍSICO x CRONOGRAMA REALIZADO NA OBRA DO FÓRUM DE RIO NEGRO/PR PARA FINS DE DIMINUIÇÃO DOS ATRASOS

Nathalia Loureiro de Almeida Correa

DOI 10.22533/at.ed.30619250621

CAPÍTULO 22 250

ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO CORRETO DIMENSIONAMENTO DOS VERTEDORES EM BARRAGENS E SUAS INFLUÊNCIAS ECOLÓGICAS E SOCIOECONÔMICAS. ESTUDO DE CASO: USINA HIDRELÉTRICA DE XINGÓ

Jéssica Beatriz Dantas
Djair Félix da Silva

DOI 10.22533/at.ed.30619250622

CAPÍTULO 23	262
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL EM UMA ÁREA DA CIDADE DE JOINVILLE/SC	
Adilon Marques dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.30619250623	
CAPÍTULO 24	281
ANÁLISE NUMÉRICA DA SENSIBILIDADE DO ALGORITMO IMPLEX APLICADO EM UM CENÁRIO HIPOTÉTICO DE ESTABILIDADE DE TALUDE VIA TÉCNICA DE DESCONTINUIDADES FORTES	
Nayara Torres Belfort	
Ana Itamara Paz de Araujo	
Kátia Torres Botelho Galindo	
Igor Fernandes Gomes	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.30619250624	
CAPÍTULO 25	294
DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS POR MEIO DE CÁLCULO MANUAL E COM O AUXÍLIO DE UM SOFTWARE COMPUTACIONAL	
Iva Emanuely Pereira Lima	
Vitor Bruno Santos Pereira	
Vinicius Costa Correia	
DOI 10.22533/at.ed.30619250625	
CAPÍTULO 26	306
DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PILARES MISTOS PREENCHIDOS DE AÇO E CONCRETO	
Jéssica Salomão Lourenção	
Élcio Cassimiro Alves	
DOI 10.22533/at.ed.30619250626	
CAPÍTULO 27	325
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	
João Augusto Dunck Dalosto	
Luiz Fernando Hencke	
Jhonatan Conceição dos Santos	
Hevrlí da Silva Carneiro Pilatti	
DOI 10.22533/at.ed.30619250627	
CAPÍTULO 28	336
APLICAÇÃO DO CPR EM SOLOS MOLES NA REGIÃO DO CAMPO DOS PERDIZES: DUPLICAÇÃO DA BR 135, ENTRE O KM 39,36 E O KM 39,90	
Rodrigo Nascimento Barros	
Larysse Lohana Leal Nunes	
Saymo Wendel de Jesus Peixoto Viana	
DOI 10.22533/at.ed.30619250628	
CAPÍTULO 29	348
ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE UMA TERAPIA INTENSIVA	
Sylvia Katherine de Medeiros Moura	
Antonio Calmon de Araújo Marinho	
Wagner Amadeus Galvão de Souza	
Angelo Roncalli Oliveira Guerra	
DOI 10.22533/at.ed.30619250629	

CAPÍTULO 30	357
'ARTENGENHARIA': UMA PONTE TRANSDISCIPLINAR PARA O DESENVOLVIMENTO DO POTENCIAL HUMANO E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO DO CONHECIMENTO	
Ana Alice Trubbianelli	
DOI 10.22533/at.ed.30619250630	
CAPÍTULO 31	371
PROCEDIMENTO DE ANÁLISE EXPERIMENTAL E NÚMÉRICO DE UMA PONTE EXECUTADA COM PALITOS DE PICOLÉ	
Matheus Henrique Morato de Moraes	
João Eduardo Sousa de Freitas	
Diogo Henrique Morato de Moraes	
Juarez Francisco Freire Junior	
Wellington Andrade da Silva	
Geraldo Magela Gonçalves Filho	
DOI 10.22533/at.ed.30619250631	
CAPÍTULO 32	383
EXERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS REDUTORES DE PRESSÃO	
Conrado Mendes Moraes	
Ângela B. D. Moura	
Eduardo D. P. Schuch	
Eduardo de M. Martins	
DOI 10.22533/at.ed.30619250632	
SOBRE O ORGANIZADOR	393

REDUÇÃO DO CONSUMO DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS AO ESFORÇO CORTANTE ATRAVÉS DA ESCOLHA DO ÂNGULO DAS BIELAS

Lucas Teotônio de Souza

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

Paula de Oliveira Ribeiro

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade
de São Paulo
São Carlos – SP

RESUMO: Nas vigas, em geral, as solicitações predominantes são o momento fletor e a força cortante. No dimensionamento de uma viga de concreto armado, geralmente o primeiro cálculo feito é o de determinação das armaduras longitudinais, seguido pelo cálculo da armadura transversal. Diferentes modelos foram desenvolvidos para análise de vigas de concreto sob força cortante, sendo que o modelo de treliça é o que ainda se destaca. O modelo se baseia na analogia entre uma viga fissurada e uma treliça. O funcionamento como treliça ocorre em virtude da intensa fissuração da viga nas proximidades do ELU. Como as diagonais comprimidas são delimitadas pelas fissuras, o ângulo θ de inclinação das bielas é dado pela inclinação das fissuras. A ABNT NBR 6118 (2014) prescreve duas condições de cálculo de armadura de cisalhamento em vigas, o Modelo I onde o θ é tomado igual a 45° e o Modelo II, com θ entre 30° e 45° . Em geral, cabe ao engenheiro adotar um certo valor

para o ângulo de biela dentro das prescrições normativas. Tendo em vista a importância da adoção de um determinado ângulo de biela para o dimensionamento ao cortante, o presente trabalho trata da busca do θ que irá conduzir ao menor consumo de armadura em um caso específico.

PALAVRAS-CHAVE: Vigas; cortante; bielas.

ABSTRACT: In beams, in general, the predominant stresses are the bending moment and the shearing force. In the design of a reinforced concrete beam, generally the first calculation is the determination of the longitudinal reinforcement, followed by the calculation of the transverse reinforcement. Different models were developed for the analysis of concrete beams under shear force, and the trellis model is what still stands out. The model is based on the analogy between a cracked beam and a lattice. The trellis operation occurs due to the intense cracking of the beam near the ELU. As the compressed diagonals are delimited by the cracks, the inclination angle θ of the connecting rods is given by the inclination of the cracks. ABNT NBR 6118 prescribes two conditions for calculation of shear reinforcement in beams, Model I where θ is taken equal to 45° and Model II, with θ between 30° and 45° . In general, the engineer having to adopt a certain value for the connecting rod angle within the normative

prescriptions. Considering the importance of adopting a particular connecting rod angle for shear design, the present work deals with the search of the θ that claws the least consumption of armor in a specific case.

KEYWORDS: Beams; shear; connecting rods.

1 | INTRODUÇÃO

O procedimento empregado no dimensionamento de elementos de vigas de concreto armado geralmente sugere a determinação da armadura de flexão, calculadas pelos momentos máximos, seguindo daquelas resistentes às forças cortantes. A primeira é disposta longitudinalmente na estrutura e a segunda na direção transversal. A norma brasileira de projeto de estruturas de concreto, NBR 6118 (2014), propõe a adoção de dois modelos de cálculo da armadura transversal, ambos baseados na analogia de treliça. O modelo I é fundamentado na treliça clássica de Ritter- Morsch e no modelo II a treliça generalizada (BASTOS, 2017). Em síntese, a analogia de treliça de Ritter- Morsch é viabilizada admitindo que o comportamento de uma viga biapoiada após fissurada é similar ao de uma treliça. O modelo é adotado por normas nacionais e internacionais por sua simplicidade e suficiente precisão, sendo propostas apenas melhorias em pesquisas posteriores (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2003).

A ruptura por efeito de força cortante é iniciada após o surgimento de fissuras inclinadas, portanto um dos passos iniciais consiste em dispor os estribos de modo a “costurá-las”. Este cuidado evita a ruptura precoce, que para o caso geral, onde são empregados estribos verticais, ocorrerá quando o espaçamento for maior que o braço de alavanca da viga. Diversas variáveis influenciam na ruptura, tais como dimensões da viga, resistência do concreto, geometria e tipo de carregamento (BASTOS, 2017) (CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2014).

O comportamento de uma viga submetida ao cisalhamento é regido essencialmente pela geometria da seção transversal da peça. A fissuração conduz à redistribuição dos esforços de maneira proporcional a rigidez das diagonais e do banzo comprimidos, que naturalmente é função das armaduras longitudinal e transversal. No entanto, o fator predominante é a relação α , Figura 1, que expressa as áreas do banzo e diagonais comprimidos. Quanto menor for a relação α , maior a inclinação da força no banzo comprimido e menor o ângulo de inclinação das bielas (θ). O ângulo θ assume valor próximo de 30° quando α (seção retangular) tendendo para 45° se α (seções tipo T e I, por exemplo). Vigas cuja inclinação das bielas é inferior a 45° conduzem a menor esforço de tração na alma (LEONHARDT; MONNING, 1982).

F_{at} : resultante das tensões nas barras da armadura transversal;

F_c : resultante das tensões no concreto no banzo comprimido;

F_s : resultante das tensões na armadura transversal de tração.

Pelo equilíbrio das forças na vertical, obtém-se:

$$\sum F_y = 0 \quad (1)$$

$$R_1 - P_1 - P_2 = F_{at} \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (2)$$

Considerando o Estado Limite Último (ELU), a resultante nas barras da armadura transversal é dada por:

$$F_{at} = A_{sw} \cdot n \cdot f_{yd} \quad (3)$$

Sendo:

A_{sw} : área da seção transversal de cada barra da armadura transversal;

n : número de barras utilizadas;

f_{yd} : tensão de escoamento do aço.

De acordo com a Figura 2, o número de barras utilizadas (n) é igual ao comprimento $z + z \cdot \cot \alpha$ dividido pelo espaçamento entre os estribos (s). O esforço cortante solicitante de cálculo é a componente vertical da resultante das tensões nas barras de armadura transversal, ou seja:

$$V_{sd} = F_{at} \cdot \text{sen} \alpha \quad (4)$$

Substituindo a Eq. (3) na Eq. (4), obtém-se:

$$V_{sd} = A_{sw} \cdot \frac{z(1 + \cot \alpha)}{s} \cdot f_{yd} \cdot \text{sen} \alpha \quad (5)$$

Assumindo $z = 0,9d$ e generalizando a Eq. (5) para qualquer valor de ângulo de biela Θ , tem-se:

$$V_{sd} = A_{sw} \cdot \frac{0,9d(\cot \theta + \cot \alpha)}{s} \cdot f_{yd} \cdot \text{sen} \alpha \quad (6)$$

Por simples manipulação da Eq. (6) é possível calcular a armadura transversal por metro, conforme a Eq. (7).

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{sd}}{0,9d(\cot \theta + \cot \alpha) \cdot f_{yd} \cdot sen \alpha} \quad (7)$$

Algumas imperfeições são verificadas na analogia de treliça, a saber: a treliça é hiperestática; $\Theta < 45^\circ$ em regiões com maior cortante; parte do esforço cortante é absorvido na zona comprimida; os banzos não são paralelos; as bielas de concreto (compressão) estão parcialmente engastadas na ligação com o banzo superior; as bielas são mais rígidas que as diagonais tracionadas, absorvendo maior parcela do esforço cortante do que a determinada pelo modelo de treliça clássica; a taxa de armadura longitudinal influi no esforço da armadura transversal. Para corrigir o modelo de treliça clássica, a NBR 6118 (2014) propõe a parcela V_c (parcela da força cortante absorvida por mecanismos complementares ao de treliça). Portanto, deve-se subtrair o valor V_c do esforço solicitante de cálculo V_{sd} .

2.2 Ângulo da biela que minimiza o volume de aço

De início ressalta-se que a armadura de flexão devido ao momento fletor não é influenciada pelo ângulo da biela. Portanto, a minimização do volume de aço é função apenas da armadura de cisalhamento (V_{st}) e do acréscimo de armadura de flexão (V_{flex}) devido a decalagem. Logo, o volume total de aço em função do ângulo da biela será:

$$V(\theta) = V_{st} + V_{flex} \quad (8)$$

O cálculo de $V(\Theta)$ é dividido em duas etapas, na primeira é calculada a armadura de cisalhamento e na segunda o acréscimo da armadura de flexão por efeito da decalagem.

a. Volume da armadura de cisalhamento

O volume de estribos é dado pela multiplicação do comprimento de cada estribo, pela área da seção transversal, vezes o número de estribos. Como a área de armadura é dada por metro, o número de estribos vezes a área da seção transversal é obtida pela multiplicação da taxa de armadura (A_{sw}/s) pelo comprimento em que o estribo está distribuído (L_{faixa}) vezes o comprimento de cada estribo (l_{est}). Logo, o volume total de aço usado nos estribos é:

$$V_{st} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot L_{faixa} \cdot l_{est} \quad (9)$$

Substituindo a Eq. (7) na Eq. (9), obtém-se:

$$V_{st} = \left(\frac{V_{sd}}{0,9d(\cot \theta + \cot \alpha) \cdot f_{yd} \cdot sen \alpha} \right) \cdot L_{faixa} \cdot l_{est} \quad (10)$$

Acréscimo da armadura longitudinal pelo efeito da decalagem

As forças resultantes de tração e compressão atuantes na seção transversal podem ser calculadas a partir dos valores de F_{sd} e F_{wd} , conforme apresentado na Figura 3.

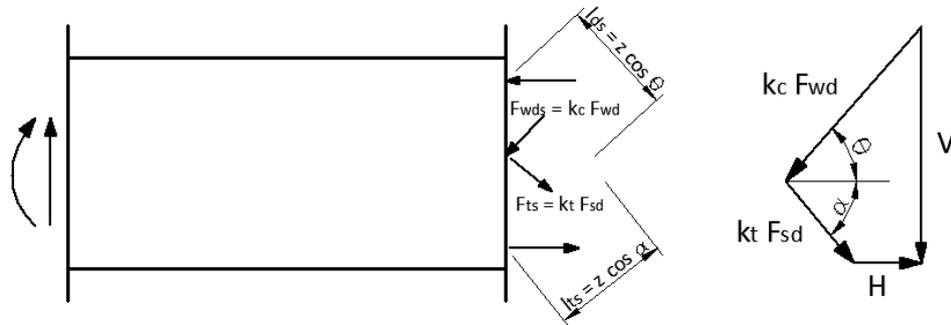


Figura 3. Forças atuantes na seção transversal

Fonte: Shehata, 2005.

Sendo:

$$k_c = \frac{\cot \theta}{\cot \theta + \cot \alpha}$$

$$k_t = \frac{\cot \alpha}{\cot \theta + \cot \alpha}$$

Pelo polígono de forças apresentado na Figura 3, obtém-se o valor de H , que é carga horizontal resultante da diferença entre os banzos tracionados e comprimidos.

$$H = k_c F_{wd} \cos \theta - k_t F_{sd} \cos \alpha = V(\cot \theta - \cot \alpha) \quad (11)$$

A carga H é responsável pelo acréscimo de armadura de flexão na viga, sendo que metade dessa carga vai para o banzo tracionado e outra metade vai para o banzo comprimido, proporcionando alívio da tensão no concreto.

A área de armadura longitudinal que deve ser acrescida devido ao efeito da decalagem será:

$$A_{s,af} = \frac{H}{2} \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \frac{V(\cot \theta - \cot \alpha)}{2f_{yd}} \quad (12)$$

O volume de aço é dado por:

$$V_{flex} = A_{s,ad} \cdot L_{ad} \Rightarrow V_{flex} = \frac{V(\cot \theta - \cot \alpha)}{2f_{yd}} \cdot L_{ad} \quad (13)$$

Sendo L_{ad} o comprimento da armadura adicional de flexão.

Substituindo a Eq. (10) e a Eq. (13) na Eq. (8), tem-se o volume total de aço que

depende do ângulo Θ .

$$V(\theta) = \left(\frac{V_{sd}}{0,9d(\cot\theta + \cot\alpha) \cdot f_{yd} \cdot \text{sen}\alpha} \right) \cdot L_{faixa} \cdot l_{est} + \frac{V(\cot\theta - \cot\alpha)}{2f_{yd}} \cdot L_{ad} \quad (14)$$

3 | MODELO GEOMÉTRICO

O modelo geométrico abordado em questão é uma viga de concreto armado engastada em uma extremidade e apoiada em outra, Figura 4. As dimensões do elemento estrutural são 6,0 m de comprimento (distância entre os apoios) e seção transversal retangular com largura (b_w) igual a 200 mm e altura (h) de 650 mm. A estrutura está submetida a carga (q) uniformemente distribuída, sendo adotado um valor unitário (1,0 kN/m) para tornar a análise genérica. O aço das armaduras é do tipo CA-50. Os diagramas de esforços atuantes e de força nos estribos é calculado e apresentado na Figura 4.

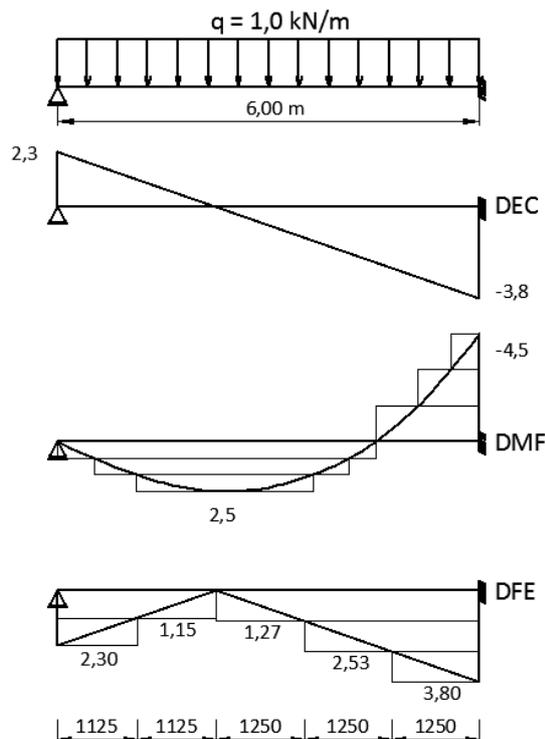


Figura 4. Modelo de viga em estudo

Fonte: Autor, 2019.

4 | RESULTADOS

4.1 Modelo de referência

Para a viga apresentada na seção 3, o comprimento estimado dos estribos, considerando gancho de 5 cm, é:

$$l_{est} = 2 \cdot [(65 - 2 \cdot 2) + (20 - 2 \cdot 2)] + 10 = 164 \text{ cm}$$

Admitindo estribos verticais ($\alpha = 90^\circ$) e utilizando os esforços solicitantes mostrados na Figura 4, calcula-se o volume total de aço (m^3):

$$V(\theta) = \frac{1,125(2,3+1,15) + 1,250(1,27+2,53+3,80)}{500 \cdot 10^3 / 1,15} \cdot \left(\frac{1,64}{0,9 \cdot 0,60 \cdot (\cot \theta + \cot 90) \cdot \text{sen} 90} + \frac{\cot \theta - \cot 90}{2} \right)$$

$$V(\theta) = \frac{9,347 \cdot 10^{-5}}{\cot \theta} + 1,539 \cdot 10^{-5} \cot \theta \quad (15)$$

O gráfico da equação 15 mostra a existência de um determinado valor de Θ que resulta no menor volume de aço a ser empregado no dimensionamento, conforme mostra a Figura 5.

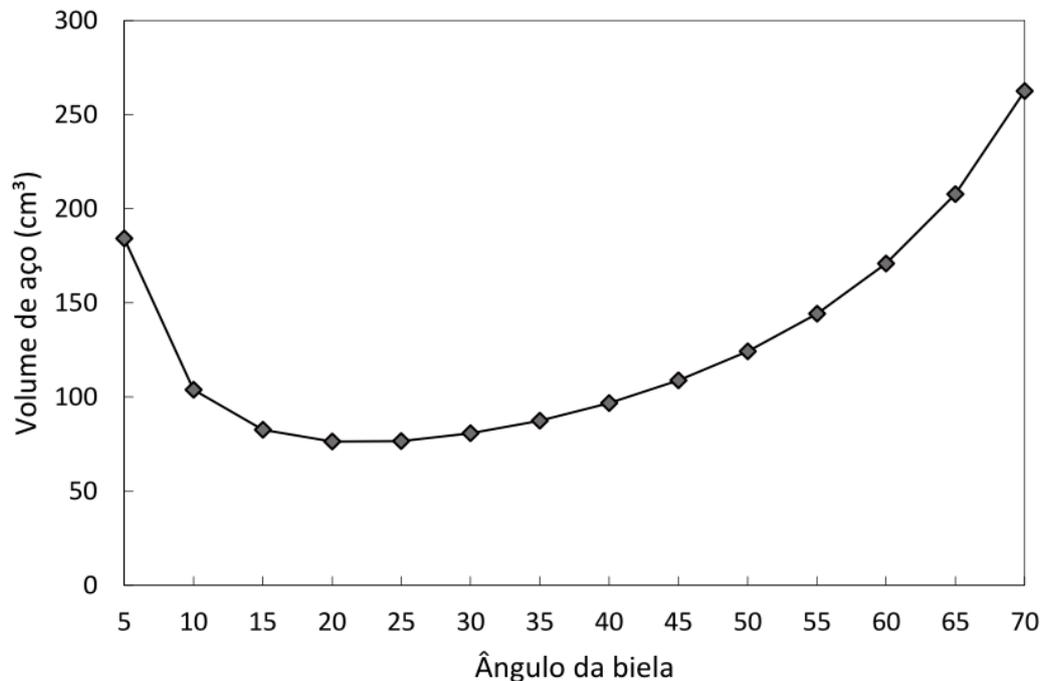


Figura 5. Volume de aço em função do ângulo Θ

Fonte: Autor, 2019.

Para calcular o ângulo que minimiza o volume de aço, basta derivar a Eq. (15):

$$\frac{dV}{d\theta} = 0$$

$$9,347 \cdot 10^{-5} \sec^2 \theta - 1,539 \cdot 10^{-5} \cos^2 \theta = 0$$

$$\text{tg}^2 \theta = \frac{1,539 \cdot 10^{-5}}{9,347 \cdot 10^{-5}} \therefore \theta = 22,08^\circ$$

Portanto, para exemplo estudado o valor do ângulo da biela que minimiza o consumo de aço é $\Theta = 22,08^\circ$.

4.2 Análise paramétrica

Com a finalidade de avaliar a influência da geometria da viga no ângulo de biela que minimiza o volume de aço, foi realizado um estudo paramétrico variando a relação entre o comprimento da viga e a altura útil (l/d). A Figura 6 apresenta as curvas de volume de aço em função do ângulo para diferentes relações l/d .

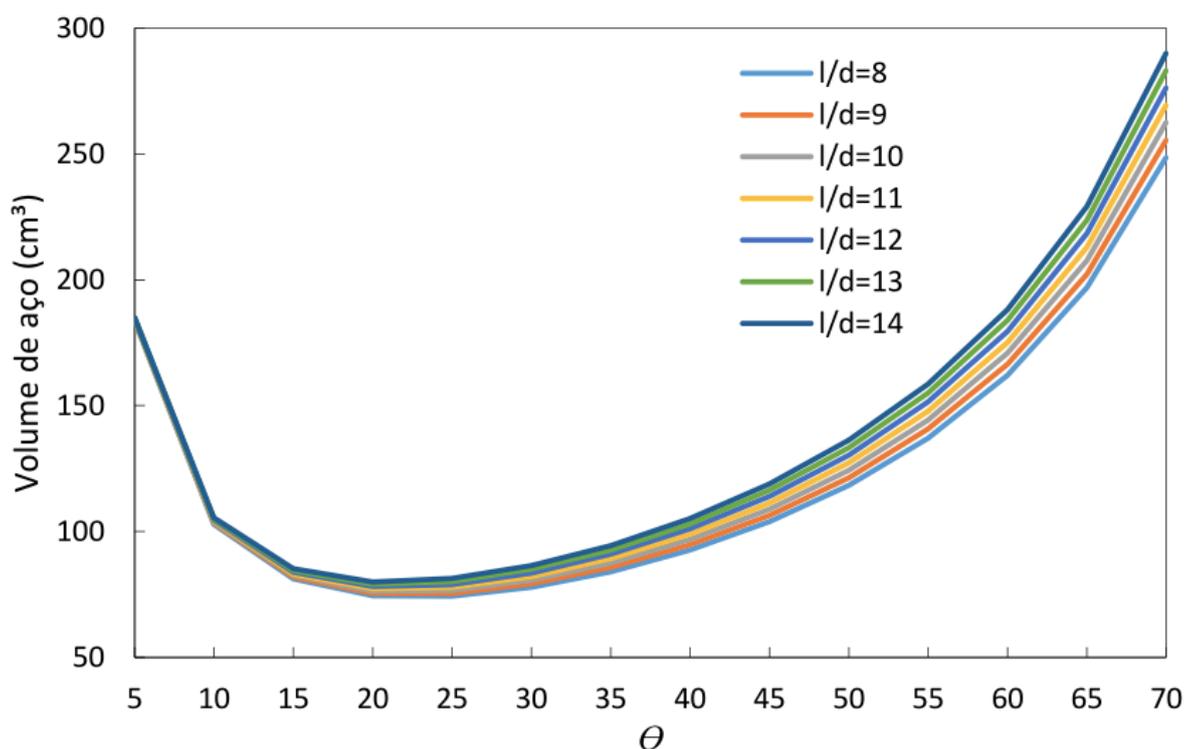


Figura 6. Volume de aço em função do ângulo Θ para diferentes

Fonte: Autor, 2019.

Por meio da derivação das curvas que relacionam o volume de aço com o ângulo da biela foram calculados os ângulos que minimizam o volume de aço para cada um dos casos estudados. A Figura 7 apresenta a variação do ângulo da biela em função da relação l/d .

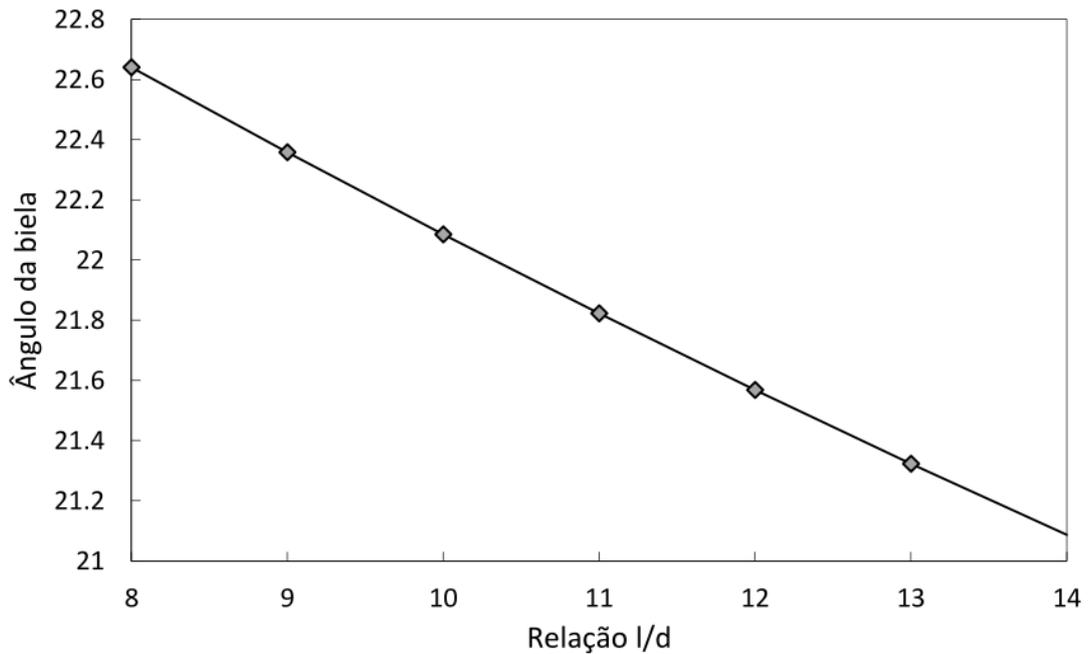


Figura 7 - Ângulo para diferentes l/d

Fonte: Autor, 2019.

O ângulo de biela responsável por minimizar o volume de aço foi bastante próximo para as diferentes relações entre o comprimento da viga e a altura útil, sendo ligeiramente menor para valores maiores de l/d , conforme pode ser observado na Figura 7. Outra observação é que o volume de aço é menor para valores de l/d menores (ver Figura 6), isso se deve ao fato de a altura útil ser maior nesses casos, ou seja, uma seção transversal de concreto maior requer menor volume de aço.

5 | CONCLUSÃO

A busca pela minimização do volume de aço é de extrema importância para a concepção de projetos otimizados, pois é primordial para a economia, logo é perfeitamente plausível. A análise gráfica mostra que para valores de Θ inferiores a 15° o volume de aço aumenta muito, acontecendo o mesmo para Θ superior a 35° . A área de aço combatente ao cisalhamento é proporcional ao ângulo da biela, enquanto a área de aço adicional à flexão é inversamente proporcional, justificando as observações. Portanto, existe uma região que equilibra essas reações de proporcionalidade, compreendendo valores de Θ entre 15 e 35° .

A norma de dimensionamento de estruturas de concreto armado (NBR 6118:2014), possibilita que o projetista escolha o valor de Θ entre 30 e 45° . Logo, para se atender ao menor consumo de aço, deve-se optar pelo menor valor do ângulo de biela, ou seja, $\Theta = 30^\circ$.

REFERÊNCIAS

Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

Bastos, P. S. S., 2017. **Dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante**. Notas de aula de estruturas de concreto II. UNESP. São Paulo.

Carvalho, R. C. e Figueiredo Filho, J. R., 2014. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6116:2014**. 4ª Ed, São Carlos, EdUFSCar, 215p.

Leonhardt, F. Mönnig, E., 1982. **Construções de concreto – Princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**, v. 1, Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 305p.

Pinheiro, L. M., Muzardo, C. D. e Santos, S. P., 2003. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. USP, São Carlos, São Paulo.

Shehata, I. A. M., 2005. **Estruturas de Concreto I**. Notas de aula. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-430-6



9 788572 474306