

ARMANDO DIAS DUARTE  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED CIVIL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

ARMANDO DIAS DUARTE  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED CIVIL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Armando Dias Duarte

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C697 Collection: applied civil engineering / Organizador Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-855-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.554222501>

1. Civil engineering. I. Duarte, Armando Dias. II. Título.  
CDD 624

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A coleção de trabalhos intitulada “*Collection Applied civil engineering*” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de diversos trabalhos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar, pesquisas cujos resultados possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no profissional.

Os trabalhos desenvolvidos foram realizados em instituições de ensino e pesquisa no Brasil e um em Porto. Nos capítulos apresentados, são encontrados estudos de grande valia nas áreas da educação, construção civil, segurança, métodos numéricos, resíduos sólidos e tratamento de esgoto. A composição dos temas buscou a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia Civil, através de temáticas atuais com resoluções inovadoras, descritas nos capítulos da coleção. Sendo assim, a divulgação científica é apresentada com grande importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, como a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os novos pesquisadores e os que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulgarem seus resultados.

Armando Dias Duarte

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

**METODOLOGIA PBL COMO ALTERNATIVA PARA VIABILIDADE DO ENSINO NO CONTEXTO DE PANDEMIA DA COVID-19**

Luamim Sales Tapajós  
Valquíria Santana da Silva  
Fabiano Hector Lira Muller  
Ronne Clayton de Castro Gonçalves  
Andryo Henrique Freitas da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225011>

### **CAPÍTULO 2..... 12**

**PATOLOGIAS EM IMÓVEL POR AUSÊNCIA DE IMPERMEABILIZAÇÃO - ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIO NA CIDADE DE MANAUS**

Rosalina Siqueira Moraes  
Anna Isabell Esteves Oliveira  
Kassem Assi  
Fátima Mendes Teixeira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225012>

### **CAPÍTULO 3..... 20**

**PERMEABILIDADE MÍNIMA DE ESPÉCIES DE MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC)**

Kelly Dayane Nadaleti de Souza  
Bárbara Branquinho Duarte  
Francisco Antonio Rocco Lahr

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225013>

### **CAPÍTULO 4..... 32**

**UTILIZAÇÃO DA INJEÇÃO DE RESINA EPÓXI COMO MÉTODO DE CORREÇÃO DO SOMCAVO EM FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO**

Guilherme Alves Correa  
Marcus Daniel Friederich dos Santos  
Yuri Dos Santos Tatim Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225014>

### **CAPÍTULO 5..... 46**

**ANÁLISE COMPARATIVA TERMOACÚSTICA ENTRE O SISTEMA MONOLÍTICO COM PAINEL DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) E A ALVENARIA CONVENCIONAL**

Pedro Afonso de Araújo Costa  
Felipe Daniel Bastos Lopes  
Marco Antônio de Moura Fortes  
Tiago de Macêdo Lima Moura Fé  
Renan Maycon Mendes Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225015>

**CAPÍTULO 6..... 64**

A IMPORTÂNCIA DA CALDA DE CIMENTO PARA INJEÇÃO NA PROTENSÃO DE PONTES:  
UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE NORMATIVOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS  
DE CONTROLE DE QUALIDADE

Paulo André Valadares

Fabio Albino de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225016>

**CAPÍTULO 7..... 79**

ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES DE HORMIGÓN CON  
CIMBRA AUTOLANZABLE – UN CASO PRÁCTICO

Pedro Pacheco

Diogo Carvalho

Hugo Coelho

Pedro Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225017>

**CAPÍTULO 8..... 92**

MODELAGEM NUMÉRICA DE VIGAS DE EQUILÍBRIO VIA MÉTODO DE BIELAS E  
TIRANTES

Philippe Queiroz Rodrigues

João da Costa Pantoja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225018>

**CAPÍTULO 9..... 106**

MATRIZES DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE EVA

Diana Santos de Jesus

Joabson Lima Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225019>

**CAPÍTULO 10..... 119**

REALCALINIZAÇÃO ELETROQUÍMICA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO  
CARBONATADAS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Guilherme Alves Correa

Yuri dos Santos Tatim Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.55422250110>

**CAPÍTULO 11..... 140**

ESTUDO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS ATRAVÉS  
DE MEDIDAS DE pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM SUSPENSÕES CAL:RESÍDUO

Lucas Gil Duarte

Letícia Freitas Assis

Gean Pereira da Silva Junior

Alan Henrique Vicentini

Mauro Mitsuchichi Tashima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.55422250111>

<b>CAPÍTULO 12.....</b>	<b>153</b>
DESEMPENHO NA REMOÇÃO DA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO) EM UM SISTEMA SIMULADOR DE VALA DE FILTRAÇÃO	
Ariston da Silva Melo Júnior	
Kleber Aristides Ribeiro	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.55422250112">https://doi.org/10.22533/at.ed.55422250112</a>	
<b>CAPÍTULO 13.....</b>	<b>166</b>
POLÍTICA INTEGRADA DE ESG APLICADA À MINERAÇÃO E SUAS RELAÇÕES COM A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	
Rafaela Baldi Fernandes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.55422250113">https://doi.org/10.22533/at.ed.55422250113</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>177</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>178</b>

## MODELAGEM NUMÉRICA DE VIGAS DE EQUILÍBRIO VIA MÉTODO DE BIELAS E TIRANTES

*Data de aceite:* 01/01/2022

*Data de submissão:* 06/11/2021

### Philipe Queiroz Rodrigues

Universidade de Brasília, Faculdade de  
Arquitetura e Urbanismo  
Brasília, DF  
<http://lattes.cnpq.br/5641186141915307>

### João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Faculdade de  
Arquitetura e Urbanismo  
Brasília, DF  
<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

**RESUMO:** O método de bielas e tirantes tem se apresentado útil na resolução de problemas envolvendo regiões de descontinuidade (consolos, aberturas em vigas, viga Gerber) em concreto armado. Destas aplicações, vigas de equilíbrio com carga excêntrica apoiadas em estacas têm sido frequentes em projetos devido as edificações atingirem a divisa do terreno embora seus estudos não ocorram em mesma intensidade. Este trabalho visa modelar numericamente e comparar diversas topologias de bielas e tirantes para uma viga de equilíbrio sob mesmo carregamento através do programa CAST baseado nos dispositivos normativos nacionais. A interface gráfica do programa dispõe ao usuário a verificação de cada elemento da treliça. Contudo, nesta ferramenta não há geração automática da disposição ótima de bielas e tirantes, cabendo assim à experiência

do projetista estrutural a escolha do modelo que mais se aproxima do comportamento da estrutura. Foram propostas, neste artigo, quatro modelos de treliças variadas para uma mesma viga com geometria e propriedades dos materiais constantes. Adotou-se como hipótese básica a mesma largura de biela para todos os modelos e escoamento da armadura antes do esmagamento da biela comprimida. São apresentados os resultados e comparados seus desempenhos e armadura requerida. A trajetória das cargas mobilizou diferentes elementos da treliça e, por vezes, tensões resistentes similares nas bielas comprimidas. Mediante análise dos resultados alcançados no CAST, obteve-se a topologia de treliça com desempenho satisfatório. Foram discutidas limitações e potencialidades do programa como otimização do cálculo pelo método de bielas e tirantes, possibilidade de verificação automática dos nós por análise simplificada e refinada além da didática da ferramenta para o ensino deste método.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vigas de equilíbrio; método de bielas e tirantes; região de descontinuidades, topologia; concreto armado.

### NUMERICAL MODELLING OF OVERHANGING BEAMS THROUGH STRUT-AND-TIE MODEL

**ABSTRACT:** The strut-and-tie model has been useful to solve problems involving D-regions (holes, dapped end beam) in reinforced concrete. On this approach, overhanging beams supported by pile foundation has been found frequently in building on the limit of land although its study does not follow the same intensity. This work

aims to compare the performance of some struts and tie topology for a beam under predefined load through CAST based on Brazil Codes. The tool allows users an iterative process verifying each truss element. Nevertheless, there isn't automatic optimum topology generation thus requiring an experience by the designer to choose the best model. It was proposed four varied layouts for a beam with constant geometric and materials properties. It was assumed as basic hypothesis the same width of strut for all models and tie yielding before crushing concrete strut. The results are presented comparing their reinforcement and limitations of layout. Some models reached equal maximum load working different members. The path of load took different elements of truss, and sometimes, near resistant stress. From the results, it was possible to define the beam with reasonable performance and their applicability in practical design. It was discussed the potentials of the program like teaching the strut-and-tie model and also automation in node verification.

**KEYWORDS:** strut-and-tie, topology, overhanging beams, reinforced concrete, D-regions.

## 1 | INTRODUÇÃO

Dada a crescente necessidade de pilares na divisa do terreno em edificações, tem-se empregado vigas de equilíbrio de modo a combater o momento gerado pela ação excêntrica (carga do pilar). O estudo de vigas de equilíbrio apoiadas em fundações em sapatas tem sido vasto, no entanto, diversos fatores podem impossibilitar ou inviabilizar o uso de fundações superficiais incorrendo, portanto, em fundações profundas. Neste caso recorre-se ao método de bielas e tirantes. A clássica analogia de treliça proposta por Rutter e Morsh derivou o modelo de bielas e tirantes – STM – (Strut-and-Tie Method) cujo uso estende-se a uma vasta gama de elementos estruturais. Esta generalização tornou-se notável desde SCHLAICH (1987), MARTI (1985a) que fundamentaram a análise do comportamento dos elementos nos estados limites, quer estado elástico, quer plástico. SILVA (1999) enuncia o citado modelo como representações discretas dos campos de tensão (compressão ou tensional de tração) dentro do elemento estrutural decorrente dos carregamentos atuantes e condições de contorno impostas. O modelo equivale simplificar a estrutura real por uma estrutura resistente na forma de treliça onde os elementos comprimidos são definidos bielas e os tracionados, tirantes (figura 1) (SOUZA, 2006). O local de interseção dos elementos bem como encontros de aplicação de cargas/reações são os nós. As principais aplicações estão no dimensionamento de regiões com descontinuidade como viga de equilíbrio, vigas-parede, ligação viga-pilar, blocos rígidos sobre estacas onde as hipóteses de Bernoulli não são válidas. SCHAFER E SCHLAICH (1998, 1991) quem propôs a divisão dos elementos estruturais em Região B (adoção das hipóteses de Bernoulli) e Região D (Descontinuidade) onde a teoria da viga não se aplica. As manifestações na região D podem ser geométricas; mudança abrupta de seção, aberturas em vigas ou estática (regiões próximas a carregamentos concentrados e reações) e sua extensão dado pelo princípio de Saint Venant's. O dimensionamento da região D mediante

os métodos convencionais empíricos pode levar a soluções inseguras ou inadequadas. O presente trabalho busca estudar diversos modelos de bielas e tirantes para uma viga de equilíbrio com propriedades geométricas e materiais constantes de modo a entender o seu comportamento em diferentes arranjos de treliças. A fim de facilitar e otimizar as comparações, a pesquisa utilizou a ferramenta computacional CAST (2000) baseado em análises elásticas matriciais.

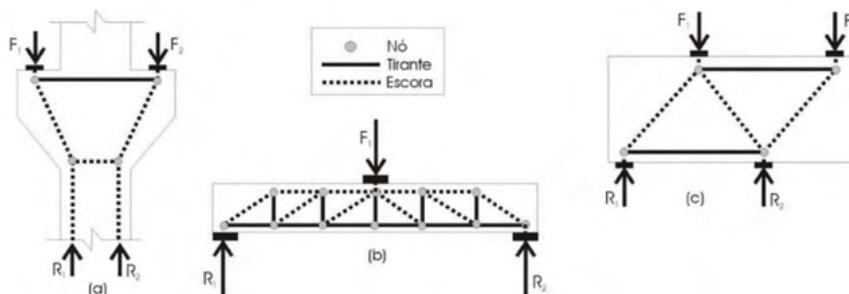


Figura 1 - Modelo de bielas e tirantes.

O STM é embasado no teorema do limite inferior que admite o seguinte: na existência de uma carga atuante, o campo de tensões intrínseco do elemento deve atender às condições de equilíbrio no interior e contorno (campo de forças) bem como o critério de resistência dos materiais satisfeito (campo dos materiais) a fim de se obter um limite inferior para a capacidade de materiais elasto-plásticos perfeitos (SANTOS, 2006). Desse modo, a carga atuante é inferior ou igual a carga de colapso da estrutura e o campo de tensões é dito estável e estaticamente admissível. No entanto, deve-se garantir que o esmagamento das bielas e regiões nodais não ocorra antes do escoamento dos tirantes.

A definição do modelo é função das forças atuantes e da geometria. SILVA (1999) aponta os aspectos:

- tipos de ações atuantes;
- ângulos entre bielas e tirantes;
- área de aplicação das ações e reações;
- quantidade de camadas da armadura;
- cobertura da armadura.

Definido modelo, busca-se a determinação da trajetória das cargas dentro do elemento através do método do caminho das cargas. Trata-se de interpretar o caminho tal que a carga aplicada percorra o elemento e encontre uma reação ou carga que a equilibre. Análises elásticas também são possíveis pelo método dos elementos finitos. A literatura destaca que esta abordagem conduz a valores mais eficazes pois a carga de colapso da

estrutura é obtida, logo, o modelo atenderá tanto às condições de serviço (controle de fissuração) como ao estado limite último. Recomendações precisam ser seguidas:

- Os caminhos de carga devem ser alinhados e não podem se interceptar;
- Os centros de gravidade das bielas e as linhas de ação das forças carecem coincidir em cada nó;
- Cargas opostas necessitam seguir o menor caminho possível;
- Curvas no caminho de carga denotam concentração de tensão.

Logo, geometria idêntica não obstante com carregamentos distintos se têm modelagens diferentes.

Consoante SCHLAICH (1988) a força do concreto nos campos de compressão ou dentro dos nós depende de uma faixa de extensão no estado multiaxial de tensões. Este campo assume configuração segundo distribuição de tensão;

- Biela prismática; tem distribuição paralela sem distúrbios, não gera tensão transversal de tração.
- Biela leque; o campo de tensão é radial e as curvas, desprezíveis. A compressão transversal é favorável especialmente se agir em ambas as direções transversais como por exemplo em regiões confinadas (SCHAFËR, 1988).
- Biela garrafa; a distribuição de tensões é curvilínea com afunilamento da seção. Próximo às forças atuantes há aparecimento de tensões de compressão biaxial e triaxial. As tensões transversais de tração são confirmadas.

SOUZA (2006) expõe que as bielas em formato de garrafa e leque estão presentes em “regiões D” e com formato prismático, característicos de “regiões B” (figura 02).

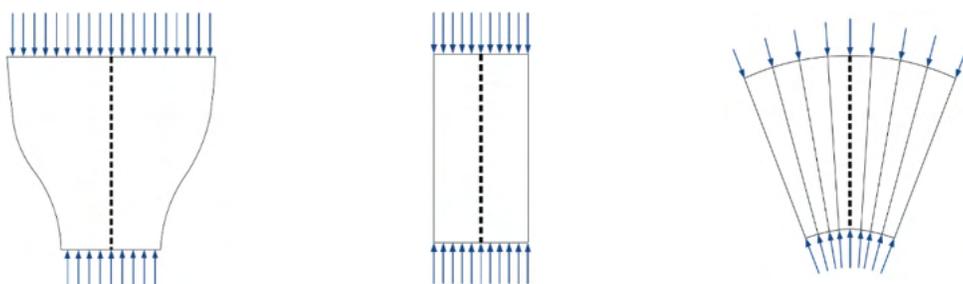


Figura 2 - Formato de bielas

SOUZA (2004) esgota as diversas recomendações de resistência em normas e autores renomados. A NBR 6118:2014 no item 22.3.2 dispõe as verificações para as bielas e regiões nodais;

- $f_{cd1}$ : tensão resistente máxima no concreto em regiões sem tensão de tração transversal, havendo tensão de compressão naquela direção (biela leque ou

prismática) e nós CCC.

$$f_{cd1} = 0,85 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \quad (1)$$

- $f_{cd2}$ : tensão resistente máxima no concreto em regiões com tensão de tração, (biela tipo garrafa) e nós CTT e TTT (converge dois ou mais tirantes);

$$f_{cd2} = 0,60 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \text{ (tirantes)} \quad (2)$$

- $f_{cd3}$ : tensão resistente máxima no concreto e nós CCT, convergindo um único tirante;

$$f_{cd3} = 0,72 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \quad (3)$$

$$\alpha_{v2}: (1 f_{ck} / 250), f_{ck} \text{ em MPa} \quad (4)$$

Segundo SILVA (1999) nós refere-se a uma parcela de volume de concreto idealizada nos vértices das bielas comprimidas e/ou tirantes e também forças atuantes ou restrições de apoio. Na estrutura real este nó possui um comprimento e largura enquanto no modelo suposto significa um ponto de encontro e de mudanças bruscas na direção das forças. PANTOJA (2012) enfatiza a necessidade de uma verificação criteriosa das tensões instaladas, ancoragem das armaduras nesta região e resistência do concreto para o correto dimensionamento da região nodal. Abaixo convenção de nós empregada atualmente;

CCC – Nós em que todos os elementos convergentes são escoras;

CCT – Nós em que um dos elementos é tirante;

CTT – Nós em que dois ou mais elementos são tirantes;

TTT – Nós em que todos os elementos são tirantes.

O dimensionamento dos tirantes é efetuado tal qual usualmente; a força solicitante no estado limite último e a tensão de escoamento do aço;

$$A_s = \frac{F_{sd}}{f_{yd}} \quad (5)$$

SOUZA (2004) salienta a importância da ancoragem dos tirantes na região D dentro do modelo de bielas e tirantes. A armadura precisa desenvolver a tensão solicitada no apoio para que não ocorra a perda de ancoragem. Ainda segundo o autor, essa ancoragem é obtida mediante um volume de concreto no entorno da armadura de tirante. A fim da ancoragem ser efetiva e não suceder esmagamento da região nodal, prevê-se expressiva zona tracionada de tirante pela disposição vertical das barras em camadas. A ancoragem de barras tipo grampo é mais eficiente pois as forças no tirante se tornam em forças de compressão por detrás do nó incrementando ainda mais a resistência à compressão na região nodal. O uso de diâmetros menores ajuda na definição da geometria e resistência das regiões nodais, além da limitação das fissuras.

As vigas de equilíbrio, recorrentes em sapatas de divisa, tem função de absorver o momento gerado pela excentricidade dos pilares em relação ao centro da sapata, posicionados na divisa do terreno (figura 03). As referências sobre viga de equilíbrio aplicadas a bloco de concreto armado sobre estacas são limitadas. TANNO (2012) propõe um estudo analítico e numérico de blocos de concretos posicionados nas divisas de terrenos que permeia desde exemplos como BURKE (1979) E ANDRADE (1989) até análise numérica em regime elástico-linear de um bloco com auxílio do DIANA. Estes autores desenvolveram rotinas de dimensionamento de vigas de equilíbrio associadas a blocos em três situações:

- Vigas de equilíbrio com forças diretas e sem momento fletor no pilar;
- Vigas de equilíbrio com forças diretas e com momento fletor no pilar;
- Vigas de equilíbrio com forças indiretas.



Figura 3 - Viga de equilíbrio.

BURKE (1979) APUD TANNO (2012) orienta que do centro da estaca até o pilar de divisa seja avaliado a segurança estrutural como consolo e do centro da estaca até o apoio consecutivo seja considerado a teoria convencional da viga. Para ANDRADE (1989), a decomposição da força e distribuição deve ser realizada por triângulos para que seja determinada a força no tirante e dimensionada as barras. A biela é formada entre o pilar e o apoio, região em diagonal que deve apresentar tensão resistente superior a tensão atuante. Com auxílio das relações trigonométricas para o triângulo retângulo e o ângulo da biela, se obtêm a tensão atuante. Outra via para cálculo das resistências das bielas e tirantes se faz pelo CAST, inclusive os processos iterativos também estão presentes no dimensionamento.

## 2 | SOFTWARE CAST

Desenvolvido por Daniel Kuchma da Universidade de Illinois at Urbana-Champaign, o programa CAST (Computer Aided Strut-and-tie) facilita a verificação e dimensionamento da região D baseado no STM. É reconhecido pela sua agilidade durante o processo gráfico do modelo viabilizando o desenho do contorno, vinculações dos nós, bielas, apoios, carregamentos e aberturas. O software não dispõe de um processo de otimização automatizado que forneça o melhor modelo, entretanto, não limita o usuário a uma única solução, permitindo uma gama de variedades para um elemento estrutural (SILVA E GIONGO, 2000).

O processo iterativo no CAST é iniciado após o desenho geométrico do modelo onde a estabilidade da treliça é verificada e as forças atuantes no modelo, obtidas. As considerações adotadas no CAST como distribuição uniformemente das tensões ao longo das escoras e tirantes, forças resultantes coincidentes nos nós, permite que a análise matricial seja realizada de acordo a treliças convencionais. É assegurado ao usuário a escolha da análise; elástica ou não-linear (SOUZA, 2006).

O dimensionamento das escoras baseia-se nos parâmetros adotadas pelo ACI-318 (2003) ou definido pelo usuário. O CAST dispõe de determinação automática da espessura por meio de um parâmetro adimensional definido como **stress ratio** que consiste na razão entre a tensão atuante e tensão resistente. Os valores superiores a 1,0 indicam a ruptura e escoras com **stress ratio** próximo de 1,0 indicam projeto ótimo, isto é, menor custo. Outro parâmetro é o fator de eficiência “ $\nu$ ” que reduz a resistência a compressão do concreto em corpos de prova. Também os tirantes detêm **stress ratio** que relaciona a força resistente ( $F_{tu}$ ) e força atuante ( $F_t$ ). As regiões nodais são produtos da intersecção das espessuras efetivas das escoras e tirantes. Há dois tipos de análise; simplificada (verifica o nível de tensão na interface tirante/escora e nó) e detalhada (segmenta a região nodal em “ $n$ ” quantidade de triângulos com tensões constantes) (SOUZA, 2006).

A verificação refinada é feita com a divisão da região nodal em triângulos nos nós com mais de três lados. Essa distribuição de descontinuidade é realizada desde que o estado de tensão nos triângulos seja constante e atendido o equilíbrio na interface dos triângulos. Aplica-se o critério de ruptura biaxial para validação da tensão atuante e tensão resistente em cada triângulo. Os nós com triangulação CCC é empregado o Critério Modificado de Mohr-Coulomb e aos tipos CCT, CTT, TTT uma versão linearizada do Critério de Mohr-Coulomb para cálculo da resistência dos triângulos no nó.

### 3 | MATERIAIS, COBRIMENTOS E DIMENSÕES CONSIDERADAS

Empregou-se concreto  $f_{ck}$  30 MPa e aço com tensão de escoamento característica de 500 MPa. A largura  $b_w$  da viga de 50 cm e os apoios de primeiro e segundo gênero, respectivamente, simulando a fundação (estacas). A força  $F$  indica a carga do pilar atuando na viga de equilíbrio. Para fins de comparação, estabeleceu-se diâmetro de 12.5 mm embora o número de barras não seja constante. O aparelho de apoio foi definido em 20 cm. A figura 04 representa as dimensões da viga analisada – a treliça ali existente é apenas para fins de exemplificação. Foram examinadas quatro topologias de treliças variadas, todas partindo da mesma hipótese básica: carregamentos iguais de 500 kN, largura da biela comprimida de 10 cm e armadura escoando antes do esmagamento da biela comprimida. O ângulo de inclinação das bielas/tirantes, dimensão da viga, e vão efetivo são constantes. Os tirantes são representados por barras contínuas e as bielas são barras tracejadas. Os valores positivos indicam esforços de tração de igual modo o valor negativo compressão. Expressa-

se a solicitação de cada barra e a porcentagem da solicitação em relação à resistência última. As cores condizem com a porcentagem do elemento; cores mais quentes denotam valores altos de igual modo cores frias valores baixos. Os elementos representados por linhas não-contínuas são barras estabilizadoras com esforços nulos.

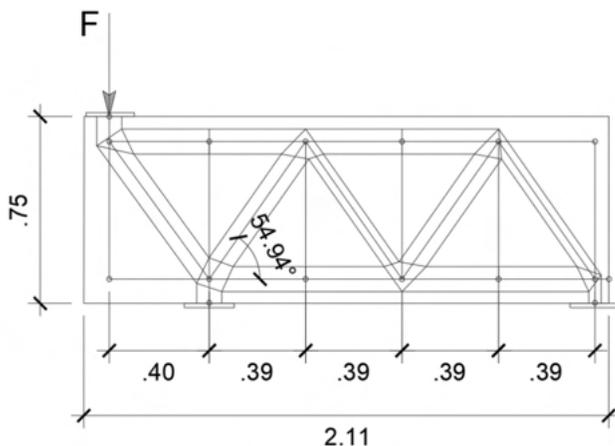


Figura 4 - Viga de equilíbrio proposta.

## 4 | RESULTADOS

Após as modelagens no CAST, efetuou-se a verificação de todos os elementos e nós. A aceitabilidade depende das capacidades resistente de cada elemento.

### 4.1 Topologia I

A figura 05 expõe a escora E7 que apresentou solicitação de -408,6 kN correspondendo a 60,2% da capacidade última. O tirante E2 foi mais solicitado (92,3% da tensão resistente). A tabela 1 e 2 mostra a área estimada para cada tirante horizontal de acordo com a força solicitante. O nó 8 teve próximo ao apoio um stress ratio de 0,785. Optou-se por fixar a maior armadura para todos os elementos.

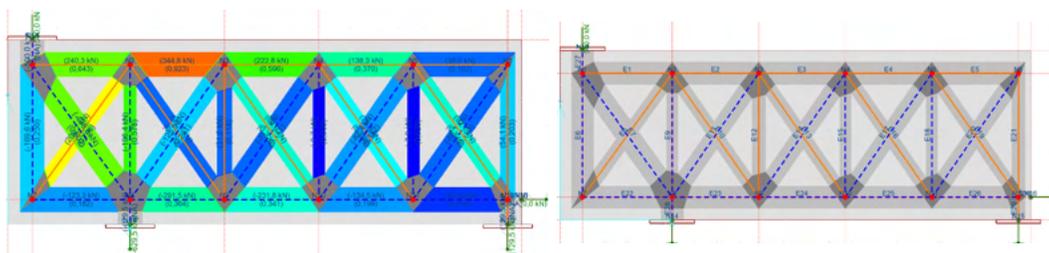


Figura 5 - (a) Bielas e tirantes (b) Solicitações nos elementos do modelo I.

Elemento	$F_{st}$ (kN)	$f_{yd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$A_{s, nec}$ (cm <sup>2</sup> )	Camada	$A_{s, ef}$ (cm <sup>2</sup> )	Stress Ratio
E2	344,8	43,5	7,93	5 (1c) + 2(2c)	7 12,5 mm	0,923
E1	240,3	43,5	5,52	5 (1c) + 2(2c)	12,5 mm	0,643
E3	222,8	43,5	5,12	5 (1c) + 2(2c)	12,5 mm	0,596
E4	138,3	43,5	3,18	5 (1c) + 2(2c)	12,5 mm	0,370
E5	38	43,5	0,87	5 (1c) + 2(2c)	12,5 mm	0,102

Tabela 1 - Tirantes Horizontais (modelo I).

Elemento	$F_{st}$ (kN)	$f_{yd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$A_{s, nec}$ (cm <sup>2</sup> )	Camada	$A_{s, ef}$ (cm <sup>2</sup> )	Stress Ratio
E8	209,7	43,5	4,82	3 (1c) + 2(2c)	512,5 mm	0,786
E10	32,7	43,5	0,75	3 (1c) + 2(2c)	512,5 mm	0,123
E12	31,6	43,5	0,73	3 (1c) + 2(2c)	512,5 mm	0,118
E13	86,9	43,5	2,00	3 (1c) + 2(2c)	512,5 mm	0,326
E16	75,8	43,5	1,74	3 (1c) + 2(2c)	512,5 mm	0,284
E19	92,1	43,5	2,12	3 (1c) + 2(2c)	512,5 mm	0,345
E21	54,1	43,5	1,24	3 (1c) + 2(2c)	512,5 mm	0,203

Tabela 2-Tirantes Verticais (modelo I).

## 4.2 Topologia II

A biela de concreto E7 demandou 91,1% da capacidade última (esforço de compressão de -618,2 kN). Os tirantes verticais atingiram uma capacidade de 98,8%. Seguido pelos tirantes horizontais E1 e E2, com stress ratio de 0,974 (Figura 6). A análise simplificada indicou o nó N1 com interface para a biela E7 como elemento mais solicitado (stress ratio = 0,911). A tabela 3 e 4 expressa a armadura necessária para esta topologia:

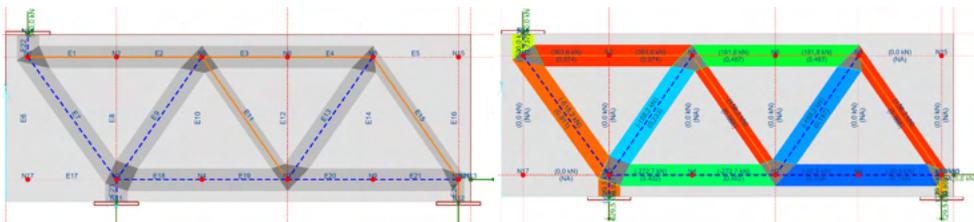


Figura 6 - (a) Bielas e tirantes (b) Solicitações nos elementos do modelo II.

Elemento	$F_{st}$ (kN)	$f_{yd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$A_{s,nec}$ (cm <sup>2</sup> )	Camada	$A_{s,ef}$ (cm <sup>2</sup> )	Stress Ratio
E1	363,6	43,5	8,36	3 (1c) + 2(2c)	512.5 mm	0,974
E2	363,6	43,5	8,36	3 (1c) + 2(2c)	12.5 mm	0,974
E3	181,8	43,5	4,18	3 (1c) + 2(2c)	12.5 mm	0,487
E4	181,8	43,5	4,18	3 (1c) + 2(2c)	12.5 mm	0,487

Tabela 3 - Tirantes Horizontais (modelo II).

Elemento	$F_{st}$ (kN)	$f_{yd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$A_{s,nec}$ (cm <sup>2</sup> )	Camada	$A_{s,ef}$ (cm <sup>2</sup> )	Stress Ratio
E11	158,2	43,5	3,64	3(1c)	12.5 mm	0.988
E15	158,2	43,5	3,64	3(1c)	12.5 mm	0.988

Tabela 4 - Tirantes Verticais (modelo II).

### 4.3 Topologia III

Na terceira topologia o tirante E7 foi mais solicitado (618,2 kN) com stress ratio de 0,966. Nas bielas E8 registrou-se capacidade última de 92,7% (compressão de -629,5 kN) e E6 com 73,7%. Os Tirantes horizontais E2 e E3 na sequência da ruptura com stress ratio de 85,2% (Figura 7). Quanto aos nós; N2 por verificação simples, na interface com a biela E8, respondeu com stress ratio 1,113% indicando uma ruptura por esmagamento no nó.

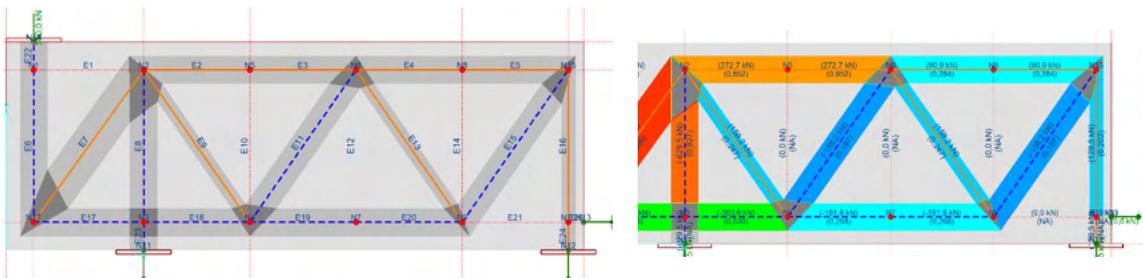


Figura 7- (a) Bielas e tirantes (b) Solicitações nos elementos do modelo III.

Elemento	$F_{st}$ (kN)	$f_{yd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$A_{s,nec}$ (cm <sup>2</sup> )	Camada	$A_{s,ef}$ (cm <sup>2</sup> )	Stress Ratio
E2	272,7	43,5	6,27	5 (1c) + 1(2c)	612.5 mm	0,852
E3	272,7	43,5	6,27	5 (1c) + 1(2c)	612.5 mm	0,852
E4	90,9	43,5	2,09	5 (1c) + 1(2c)	612.5 mm	0,284
E5	90,9	43,5	2,09	5 (1c) + 1(2c)	612.5 mm	0,284

Tabela 5 - Tirantes Horizontais (modelo III)



A tabela 13 resume os valores máximos de stress ratio nas bielas comprimidas (-) e tirantes (+) para cada modelo. As taxas de armadura (área de aço/área de concreto) de cada viga consideram apenas as áreas de aço dos tirantes verticais e horizontais não englobando ancoragens, estribos e armadura de pele. Na Figura 9 é explícito a performance de cada modelo inclusive qual destes aproximou-se da ruptura no primeiro momento. Os nós não são considerados nos exemplos seguintes, apenas bielas e tirantes.

Topologia	Biela comprimida Stress ratio máximo (-)	Tirante Stress Ratio máximo (+)	Taxa de armadura
I	.602	.923	0,569 %
II	.911	.988	0,417 %
III	.927	.966	0,820 %
IV	.911	.974	0,541 %

Tabela 9 - Comparativo stress ratio e taxa de armadura.

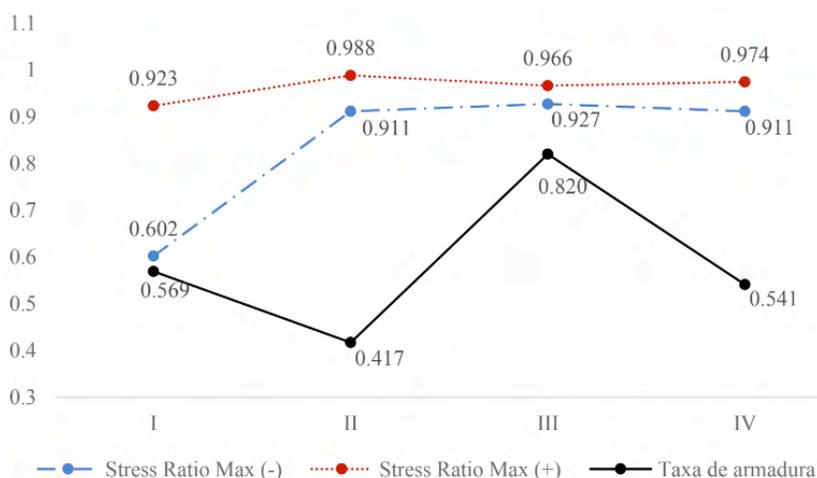


Figura 9 – Comparativo de modelos.

Na comparação dos modelos ficou evidente que a biela comprimida do modelo I ficou subaproveitado visto que ainda falta aproximadamente 40% para atingir a ruptura. Notou-se que o desempenho do modelo II foi satisfatório pois escoou-se o aço (hipótese básica para todos os modelos) consecutivamente obteve-se o máximo da biela comprimida atingindo 91,1% de sua capacidade máxima e a menor taxa de armadura entre todos os modelos. O modelo III apesar da biela comprimida superar levemente o modelo II, apresentou redução na capacidade dos tirantes e teve a maior taxa de armadura com 0,82%. A quarta topologia tem comportamento aproximado à segunda topologia pois as treliças tem proximidades. Nesta última simulação a biela comprimida atingiu também 91,1% de sua capacidade e os

tirantes seguiram com 54,1%.

## 5 | CONCLUSÕES

Houve convergência do stress ratio dos tirantes nos modelos I, II, III e IV ainda que variando a quantidade de barras. A biela do modelo I suporta maiores esforços de compressão haja vista que utilizou apenas 60% da sua capacidade última frente à carga atuante de 500 kN. A proposta II justifica seu uso na literatura através dos valores obtidos aqui: uso otimizado dos materiais (aço e concreto) e baixa taxa de armadura face aos demais modelos. No método de bielas e tirantes não se tem um controle direto da posição da linha neutra. A disposição em camadas das armaduras aumenta a zona de tração efetiva. O modelo III não se mostrou adequado dado a alta taxa de armadura além da carga percorrer maior caminho até o apoio, ponto não recomendado pela literatura. Dada a recorrência de projetos de edificações na divisa e a necessidade de análises fidedignas, o método de bielas e tirantes tem sido efetivo no dimensionamento de regiões descontínuas. O uso do CAST agiliza a verificação e poderá ser empregada em outros cálculos como vigas pré-fabricadas. Está provado que o usuário deve dispor de suporte teórico e experiência para considerar o correto encaminhamento das cargas bem como aspectos construtivos, econômicos pois a ferramenta não gera automaticamente a topologia ótima. Assim, erros como cruzamento do caminho de cargas, quando cometidos, induzem a representações não realistas. A presença de armadura inclinada pode implicar em redução de produtividade na execução, fator a ser considerado. Como citado, análise criteriosa deve ser efetuada nos nós optando, se possível, para uma verificação refinada. Por fim, o uso do CAST para ensino de STM é recomendado posto sua facilidade e didática.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. S., SIMONETTI, H. L., NETO, L. O., **Análise de modelos de bielas e tirantes para estruturas de concreto armado via uma técnica numérica**. IBRACON Structures and Materials Journal, v. 6, n. 1, p. 139-157, fevereiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto –Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações –Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

GIONGO, J. S., SANTOS, D., **Análise de vigas de concreto armado utilizando modelos de bielas e tirantes**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 10, n. 46, p. 61-90, 2008.

PANTOJA, J. C., **Geração automática via otimização topológica e avaliação de segurança de modelos de bielas e Tirantes**. Tese (Doutorado), Pontifícia Universidade Católica/PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.

SCHLAICH, J., SCHÄFER, K., e JENNEWEIN, M., **Toward a Consistent design of Structural Concrete**. PCI Journal/May-June, 1978.

SILVA, R. C., **Concreto Armado: Aplicações de modelos de bielas e tirantes**. Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos/EESC, São Carlos, SP, Brasil, 1991.

SOUZA, R. A., **Aplicação do Método dos Elementos Finitos e do Método das Bielas na Análise de Blocos Rígidos Sobre Estacas**. Relatório de estagio (pós-doutoral), University of Illinois at Urbana-Champaign, Paraná, PR, Brasil, 2006.

SOUZA, R. A., **Concreto estrutural: análise e dimensionamento de elementos com descontinuidades**. Tese (Doutorado), Escola Politécnica/USP, São Paulo, SP, Brasil, 2004.

TANNO, D. S., **Blocos de concreto sobre estacas posicionados nas divisas de terrenos: estudo analítico e análise numérica linear**. Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos/EESC, São Carlos, SP, Brasil, 2012.

WIGHT, J. K., **Reinforced Concrete Mechanics and Design**. 7<sup>th</sup> ed. Hoboken, New Jersey, Pearson Education, Inc.,2016.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Agregado graúdo 106, 108

### C

Calda de cimento 4, 64, 65, 66, 68, 69, 71, 73, 76, 77

Carbonatação 14, 15, 119, 120, 121, 122, 123, 127, 128, 129, 131, 133, 134, 135, 138, 145

Ciclo hidrológico 153

Cimbra autolanzable 4, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 89, 90

Concreto 4, 14, 15, 17, 19, 34, 36, 44, 53, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 77, 78, 79, 92, 95, 96, 97, 98, 100, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 141, 151

Concreto armado 4, 34, 36, 64, 68, 92, 97, 104, 105, 119, 120, 121, 122, 123, 126, 127, 135, 138, 139

Concreto leve 106, 107, 118

Concreto protendido 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 77, 78

Conforto acústico 46, 52, 62

Conforto térmico 46, 48, 55, 56, 63

Construcción de puentes 4, 79, 91

### D

Durabilidade 13, 18, 22, 65, 69, 108, 119, 130, 142, 151

### E

Edificação 12, 13, 14, 17, 33, 34, 35, 36, 44, 127

Eletroquímica 4, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 132, 134, 135, 137, 138, 139

Engenharia civil 2, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 31, 32, 44, 45, 63, 78, 118, 139, 153, 165, 177

Esgoto tratado 153, 158, 159

EVA 4, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118

### G

Grandes luces 79

### I

Injeções 32, 33, 35, 36, 38, 39, 44, 45

Intempéries 12, 17, 110

Itaituba 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10

## **M**

Madeira 3, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 35  
Manifestações patológicas 12, 13, 14, 18, 32, 33, 35, 44  
Materiais cimentícios suplementares 140  
Materiais pozolânicos 140, 150  
Método de alvenaria convencional 46, 49, 58  
Método de bielas 4, 92, 93, 104  
Metodologia PBL 3, 1, 3, 4  
MLC 3, 20, 21, 22, 30, 31

## **N**

Normatização 64, 65, 69

## **P**

Pandemia 3, 1, 2, 6, 8, 9, 168, 169, 172  
Patologia 15, 19, 32  
Permeabilidade 3, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 137, 155, 157  
Pinus 20, 21, 22, 23, 27, 28, 29, 30, 31  
Poluição 47, 142, 153, 165, 168, 175  
Propriedades mecânicas 106, 107  
Protótipos 32, 35, 36, 39, 43, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63

## **R**

Recalibração 4, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139  
Região de descontinuidades 92  
Resíduos Agroindustriais 4, 140, 142, 143  
Resina epóxi 3, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 43, 44, 45  
Revestimento 3, 16, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 44, 45

## **S**

Som cavo 3, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 43, 44, 45  
Sustentabilidade 5, 106, 152, 154, 166, 168, 170, 171, 174, 175, 177

## **T**

Tirantes 4, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105  
Topologia 92, 99, 100, 101, 102, 103, 104

## V

Vigas de equilibrio 4, 92, 93, 97

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED CIVIL ENGINEERING

  
Ano 2022

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED CIVIL ENGINEERING

  
Ano 2022