

ARMANDO DIAS DUARTE
(ORGANIZADOR)

Collection:

**APPLIED CIVIL
ENGINEERING
2**

**Atena**
Editora
Ano 2022

ARMANDO DIAS DUARTE
(ORGANIZADOR)

Collection:

**APPLIED CIVIL
ENGINEERING
2**

**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

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

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: Mariane Aparecida Freitas
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 2 / 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 978-65-258-0174-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.742222604>

1. Civil engineering. I. Duarte, Armando Dias
(Organizador). 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

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 2*” 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. Nos capítulos apresentados, são encontrados estudos de grande valia nas áreas de materiais da construção civil, métodos numéricos e segurança. A composição dos temas buscou a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos (as), mestres (as) e todos (as) aqueles (as) 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

A INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CINZA PESADA COMO SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NATURAL EM ARGAMASSA

André Valmir Saugo Ribeiro

Jéssyca Mendes da Silva

Eduardo Nobre Guindani

Julia Beatriz Saugo Milani

Philippe Jean Paul Gleize

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226041>

CAPÍTULO 2..... 13

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS: UM ESTUDO DE CASO

Francisca Evânia Carvalho

Aridenise Macena Fontenelle

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226042>

CAPÍTULO 3..... 20

ANÁLISE DE MODELOS DE CÁLCULO DE PONTES COM MÚLTIPLAS VIGAS

Luís Gabriel de Moura

Daniele Martins

Isadora Paczek

Guilherme Alves Correa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226043>

CAPÍTULO 4..... 32

ANÁLISE DA FORÇA CORTANTE EM LAJES COM VIGOTAS TRELIÇADAS

Rodrigo Bender

Daniele Martins

Isadora Paczek

Guilherme Alves Correa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226044>

CAPÍTULO 5..... 45

COMPARAÇÃO DE ARMADURA MÍNIMA EM VIGAS PROTENDIDAS EM PÓS-TRAÇÃO ADERENTE COM CAD E CRF

Fernando Machado Parizi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226045>

CAPÍTULO 6..... 58

MODOS DE FALHA EM BARRAGENS E O FENÔMENO DA LIQUEFAÇÃO

Rafaela Baldi Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226046>

CAPÍTULO 7	68
PRÉDIOS SOB AÇÃO DE TERREMOTO: ANÁLISE E PROJETO DE SISTEMA DE CONTROLE	
Denner Cirqueira Costa	
Wallysonn Alves de Souza	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226047	
CAPÍTULO 8	76
APLICAÇÃO DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS DO CBMPA PARA AVERIGUAÇÃO DAS MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO	
Flaviany Luise Nogueira de Sousa	
Nuria Pérez Gallardo	
Tamara Daiane de Souza	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226048	
SOBRE O ORGANIZADOR	88
ÍNDICE REMISSIVO	89

ANÁLISE DA FORÇA CORTANTE EM LAJES COM VIGOTAS TRELIÇADAS

Data de aceite: 01/04/2022

Rodrigo Bender

Engenheiro Civil / Universidade de Santa Cruz do Sul

Daniele Martins

Mestranda em Engenharia Civil / Universidade Federal de Santa Maria / PPGEC /

Isadora Paczek

Mestranda em Engenharia Civil / Universidade Federal de Santa Maria / PPGEC /

Guilherme Correa

Mestrando em Engenharia Civil / Universidade Federal de Santa Maria / PPGEC /

RESUMO: Presente trabalho analisa resultados experimentais de ruptura por força cortante em lajes treliçadas e em lajes sem armadura transversal e compara-os visando melhor entender a contribuição da treliça na resistência à força cortante. Através da análise teórica, com base na NBR 6118:2014, obteve-se a força cortante estimada de ruptura e a força cortante resistente de cálculo para cada protótipo. Esses resultados foram comparados com os resultados obtidos nos ensaios experimentais. Diante disso, com base nos ensaios e nos cálculos realizados, pôde-se concluir que, para o caso estudado, o método de cálculo utilizado pela normalização brasileira subestima a capacidade resistente ao esforço cortante em lajes sem armadura transversal. Além disso, apesar do uso das treliças resultarem em pouca diferença

na resistência à força cortante, as mesmas contribuíram significativamente para a ductilidade das lajes.

PALAVRAS-CHAVE: Laje treliçada; Força cortante; Análise experimental; Análise teórica; Armadura transversal.

ABSTRACT: The present work analyzes experimental results of shear failure in truss slabs and in slabs without transverse reinforcement and compares them in order to better understand the contribution of the truss to the shear strength. Through the theoretical analysis, based on NBR 6118:2014, the estimated shear force of rupture and the shear strength of calculation for each prototype were obtained. These results were compared with the results obtained in the experimental tests. Therefore, based on the tests and calculations performed, it was possible to conclude that, for the case studied, the calculation method used by the Brazilian standard underestimates the shear resistance capacity in slabs without transverse reinforcement. In addition, although the use of trusses resulted in little difference in shear strength, they contributed significantly to the ductility of the slabs.

KEYWORDS: lattice slab; cutting force; Experimental analysis; Theoretical analysis; Cross armor.

1 | INTRODUÇÃO

Lajes com vigotas treliçadas cada vez mais tem sido utilizadas na construção civil, muito devido a sua facilidade e rapidez na execução. Além disso, em comparação ao

sistema de lajes maciças, essa tipologia de laje possui peso próprio menor, podem ser usadas em vãos maiores e com maiores cargas.

O risco de ruptura de uma laje por cisalhamento é pequeno, pois na maioria das vezes as lajes mantêm sua capacidade de cargas sem armadura de cisalhamento. (LEONHARDT E MÖNNIG, 1977).

A fusão da armadura treliçada ao concreto permite alcançar grandes vãos, pois cada nervura fica armada ao cisalhamento de forma mais eficiente, adaptando altura da treliça à laje. Ademais, devido à existência das barras inclinadas da treliça, conhecidas como sinusóides, pode ser considerado nas verificações de cisalhamento, aplicando a teoria dos estribos inclinados, sendo mais eficientes que estribos perpendiculares (CAIXETA, 1998).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo elucidar a contribuição das treliças na resistência ao corte de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas e compará-las com a resistência ao corte em lajes pré-moldadas com vigotas de concreto armado.

1.1 Cálculo da resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento, é satisfatória, quando simultaneamente atender as seguintes condições (NBR 6118, 2014):

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad (1)$$

$$V_{sd} \leq V_{Rd3} = V_C + V_{SW} \quad (2)$$

Onde:

V_{sd} – força cortante solicitante de cálculo;

V_{Rd2} – força cortante resistente de cálculo;

V_{Rd3} – força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto.

Além disso, em lajes sem armadura à força cortante, a seguinte expressão deve ser atendida (NBR 6118, 2014):

$$V_{sd} \leq V_{Rd1} \quad (3)$$

Onde:

V_{Rd1} – força cortante máxima.

Sendo:

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40\rho_1 + 0,15 \sigma_{cp})] b_w d \quad (4)$$

Considerando:

$$\tau_{Rd} = 0,25 f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (5)$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot d} \leq 0,02 \quad (6)$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{sd}}{A_c} \quad (7)$$

Onde:

A_{sw} – área da armadura de tração, sendo em lajes com vigotas pré-moldadas, a armadura longitudinal total de nervuras no trecho considerado;

d – altura útil;

b_w – largura mínima da seção ao longo de d (100 cm em lajes);

τ_{Rd} – tensão resistente de cisalhamento;

k – coeficiente que tem os seguintes valores:

$k = 1,1$ para elementos onde 50% da armadura inferior não chegar até o apoio;

$k = 1,6 - d$ para os demais casos, considerando d em metros;

N_{sd} – força longitudinal na seção devido à protensão, não havendo protensão na peça, zera-se o σ_{cp} .

1.2 Modelo de cálculo I

Considera-se a analogia de Ritter-Mörsch, chamado de modelo de cálculo I, admitindo o ângulo de 45° entre o eixo longitudinal da estrutura e as bielas de compressão, adotando, o valor da parcela V_c como constante, independentemente a força de cisalhamento solicitante e desprezando a resistência do concreto à tração para o cálculo. (NBR 6118:2014).

Para tanto:

$$V_{Rd2} = 0,27 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (8)$$

Sendo:

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}, \text{ fck em Mpa} \quad (9)$$

O cálculo da armadura transversal é feito conforme a equação, onde:

$$V_{Sw} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot f_{ywd} (\text{sen} \alpha + \text{cos} \alpha) \quad (10)$$

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_x} = \frac{f_{yk}}{1,15} \leq 435 \text{ MPa} \quad (11)$$

Sendo:

$V_c = 0$, em elementos estruturais tracionados se a linha neutra se situar fora da seção;

$V_c = V_{c0}$, na flexão simples e na flexo-tração com a linha neutra cortando a seção;

Na flexo-compressão, V_c é definido conforme a equação 12.

$$V_c = V_{c0} (1 + M_0 / M_{Sd,m\acute{a}x}) < 2V_{c0} \quad (12)$$

$$V_{c0} = 0,6 f_{ctd} b_w d \quad (13)$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c \quad (14)$$

Onde:

α é o ângulo de inclinação dos estribos;

f_{ywd} é a tensão máxima no estribo.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Definição dos protótipos

Os protótipos para as lajes foram definidos com de 42 cm x 50 cm de dimensão, sendo que a largura de 42 cm foi definida devido à largura da nervura, que por sua vez foi definida ter 12 cm pelas dimensões da treliça utilizada.

Considerou-se, também, 30 cm para um material inerte, sendo 15 cm para cada lado da nervura. A altura total da laje foi definida como 12 cm, sendo que 7,6 cm de nervura, devido às dimensões reais do EPS adotado e, portanto, 4,4 cm de capa de concreto. A figura 1 demonstra um esquema com seções transversais das lajes, as quais foram concretadas de forma monolítica, não utilizando vigotas industrializadas.

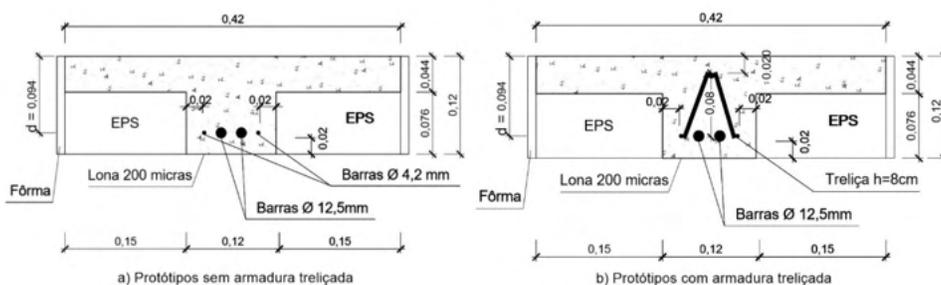


Figura 1 – a) Seção transversal das lajes sem armadura treliçada; b) seção transversal das lajes com armadura treliçada.

2.2 Materiais

Foi utilizado cimento de alta resistência inicial (CP V ARI), devido ao curto prazo para realização do dos protótipos. Foi utilizado traço 1,0:2,50:3,33:0,535, que corresponde a CP V ARI, areia média, brita 1 e água potável.

Para as lajes treliçadas, adotou-se a treliça TB 8L, sendo uma treliça eletrossoldada CA-60 com altura de 8 cm, banzo superior com diâmetro de 6mm e banzos inferiores com diâmetros de 4,2mm. Além disso, ela possui um espaçamento (S) de 20 cm e um ângulo α de 38,6°. Já nas lajes não-treliçadas utilizaram-se duas barras CA-60 com diâmetro de

4,2mm, idênticas aos banzos inferiores das treliças.

Nos dois modelos de lajes ensaiados foram adotadas duas barras de aço CA-50 com diâmetro de 12,5mm, a fim de impedir o rompimento central dos protótipos por tração na flexão, permitindo assim a observação dos rompimentos apenas por cisalhamento, que ocorrem nas extremidades.

2.3 Caracterização dos materiais

Para o controle do concreto utilizado nos protótipos foram moldados cinco corpos de prova e ensaiados à compressão, a fim de verificar a resistência à compressão do concreto (f_{ck}) utilizado na confecção das lajes.

Como a nervura e capa de todos os seis protótipos produzidos foram concretadas juntas a partir de apenas uma betonada, foram executados cinco corpos de prova.

Corpo de prova	Resistência à compressão (MPa)	Média	Desvio Padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
CP1	28,43			
CP2	28,29			
CP3	28,15	27,85	1,50	5,28
CP4	27,45			
CP5	26,93			

Tabela 1 – Resultados do ensaio de compressão nos CP's de concreto.

Com estes resultados determina-se a resistência real do concreto à compressão utilizada nos protótipos, sendo que, por haver pequeno número de CP's, a média dos resultados foi utilizada como a resistência à compressão do concreto das lajes.

Além disso, também foi realizado ensaio de tração para cada aço presente nas nervuras das lajes, utilizando três corpos de prova para cada tipo. Os resultados podem ser vistos das tabelas 2, 3 e 4.

Corpo de prova	Tensão de Escoamento (MPa)	Média (f_y)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
CP01	771,07			
CP02	778,66	753,97	66,49	8,82
CP03	712,17			

Tabela 2 – Resultados do ensaio de tração nas barras da treliça de 4,2mm.

Corpo de prova	Tensão de Escoamento (MPa)	Média (f_y)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
----------------	----------------------------	-----------------	---------------------	-----------------------

CP01	684,34			
CP02	662,78	673,18	21,56	3,20
CP03	672,41			

Tabela 3 – Resultados do ensaio de tração nas barras de 4,2mm.

Corpo de prova	Tensão de Escoamento (MPa)	Média (f_y)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
BT-CP01	573,72			
BT-CP02	575,60	577,42	9,22	1,60
BT-CP03	582,94			

Tabela 4 – Resultados do ensaio de tração nas barras de 12,5mm.

2.4 Execução dos protótipos

A execução dos protótipos das lajes treliçadas e armadas se deu através dos seguintes processos:

- a) Confecção das fôrmas: conforme as medidas citadas anteriormente, as fôrmas foram confeccionadas com chapas de compensado plastificado com 14 mm de espessura e após foram cortados e posicionados o EPS, firmados à fôrma por meio de arames;
- b) Posicionamento da armadura da nervura (figura 3): a armadura foi posicionada por meio de arames cravados no EPS, onde foram amarradas com arame recozido, tendo o cuidado de alinhar o centro das barras para que ambas as armaduras compartilhem o mesmo , usado nos cálculos e garantindo cobertura mínimo de 2 cm. Após foi fixado uma lona de 200 micras, servindo de fôrma do fundo da nervura;
- c) Preparação do concreto: O concreto foi preparado conforme o traço citado anteriormente em apenas uma betonada. Quando a mistura apresentou aparência homogênea, foi feito o *slump test*, a fim de mensurar se estava adequada ao uso a partir de sua consistência. Devido ao traço utilizado ficou definido abatimento do troco do cone de 140 mm \pm 20 mm, sendo que o concreto utilizado apresentou resultado de 125 mm de abatimento, portanto considerado dentro dos limites estabelecidos;
- d) Lançamento do concreto: Preparado o concreto, executou-se seu lançamento na fôrma o qual foi cuidadosamente bem adensado com o uso de um vibrador de concreto, a fim de evitar vazios, prejudiciais ao ensaio. Por fim, foi feito o nivelamento da superfície da laje com uma régua;
- e) Cura: Após pronto todo o processo, executou-se a cura das lajes, molhando todos os dias de modo a impedir o escape da água presente no concreto, necessária para as reações de cristalização dos componentes do concreto;
- f) Por fim procedeu-se a desforma após quatro dias de cura e ao sexto dia removeu-

se o EPS com o uso de espátulas.

2.5 Procedimento dos ensaios

Para os ensaios de cisalhamento nos protótipos das lajes, foi utilizado o equipamento EMIC GR048, o qual permite ensaios de tração e compressão. Este equipamento possui capacidade de 300 KN com sistema auto travante e pré aperto por sistema pneumático. Sua parte superior foi utilizada para os ensaios de tração das barras de aço e o módulo que a acompanha, cuja carga máxima é de até 2000 KN foi utilizada para ensaiar os CP's de concreto à compressão.

As lajes de 42 x 50 cm foram posicionadas sobre dois apoios metálicos, que por sua vez foram posicionados a 2,5 cm de cada extremidade da nervura, gerando um vão de 45 cm. A carga foi aplicada em dois pontos, a um terço de cada extremidade do vão de ensaio, conforme esquema da figura 2.

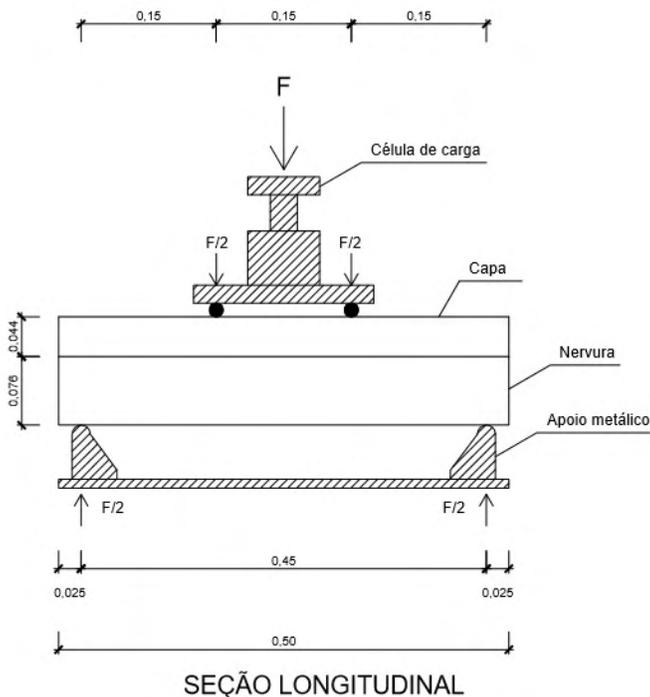


Figura 2 - Esquema de ensaio para análise de resistência à força cortante.

3 | RESULTADOS

3.1 Resultados teóricos

Para a análise da força cortante resistente de cálculo nas lajes nervuradas treliçadas e armadas utilizaram-se os modelos de cálculos da NBR 6118:2014. Foram utilizados os mesmos parâmetros e dimensões das lajes ensaiadas de modo a permitir comparação entre o modelo teórico e os ensaios práticos.

Parâmetro	Força cortante (KN)
Força cortante resistente de cálculo – V_{Rd1}	11,68
Força cortante estimada de ruptura - $V_{R,est,rup13}$	23,35

Tabela 5 - Força cortante pelo modelo de cálculo para lajes não-treliçadas.

Parâmetro	Força cortante (KN)
Força cortante resistente de cálculo – V_{Rd3}	13,42
Força cortante estimada de ruptura - $V_{R,est,rup3}$	31,09

Tabela 6 - Força cortante pelo modelo de cálculo para lajes treliçadas.

Além disso, em relação à ruína das diagonais comprimidas de concreto (V_{Rd2}) e a estimativa de ruptura das bielas de compressão ($V_{R,est,rup2}$), obteve-se, respectivamente, 53,69 kN e 75,17 kN. Logo, comparando esses resultados ao $V_{R,est,rup1}$ e V_{Rd1} , conclui-se que as lajes não irão romper por esmagamento da biela de compressão, pois romperá muito antes devido a força cortante.

3.2 Resultados experimentais

Depois de realizados os ensaios de cisalhamento nas lajes treliçadas e em concreto armado, foram coletados dados dos carregamentos aplicados e as deformações de cada laje até a ruptura. Deste modo obtiveram-se os resultados demonstrados na tabela 7, sendo que a ruptura ocorreu sete dias após a concretagem.

Laje sem treliça	Força máxima (KN)	Cortante experimental (KN)	Média experimental (KN)	Desvio Padrão (KN)	Coef. de variação (%)
LNT1	73,94	36,97			
LNT2	68,44	34,22	33,56	7,50	22,32
LNT3	58,95	29,48			

LT1	68,76	34,38			
LT2	75,31	37,66	35,83	3,28	9,15
LT3	70,87	35,44			

Tabela 7 – Resultados dos ensaios das lajes.

4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Modos de ruptura dos protótipos de lajes

A ruptura das seis lajes ensaiadas (figura 3), tanto treliçadas quanto em concreto armado, se deu por fissuras à aproximadamente 45° partindo do ponto onde as cargas foram aplicadas em direção aos apoios. Nenhuma das lajes apresentou qualquer sinal de fissuras oriundas de flexão, ou seja, a ruptura dos modelos de lajes foram oriundas das forças cortantes, como esperado.

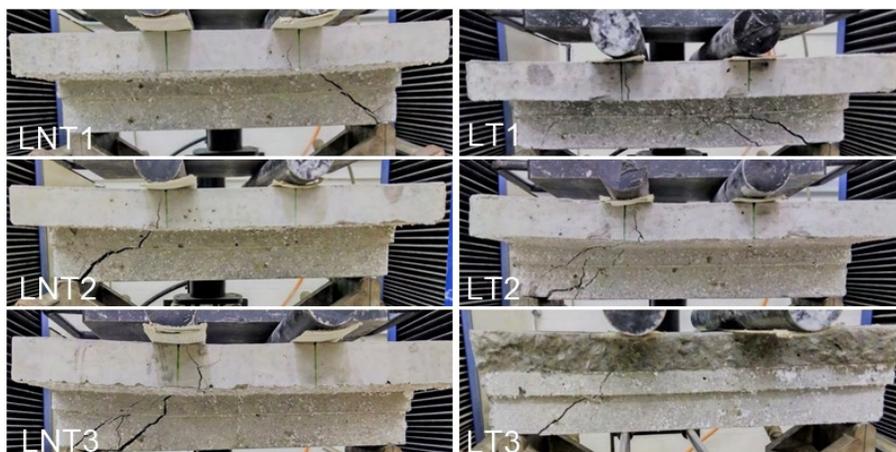


Figura 3 – Rupturas das lajes.

O rompimento da laje não-treliçada 1 (LNT1) demonstrou de forma nítida as características de um rompimento por cisalhamento com precisão, tendo sua seção deslocada ao ser movimentada após o ensaio. Além disso, apresentou resistência ao cisalhamento muito além da esperada para uma laje sem armadura transversal.

4.2 Força cortante nas lajes sem armadura transversal

Na figura 4 é possível visualizar os resultados de cada uma das lajes não-treliçadas, a média experimental e os resultados teóricos.

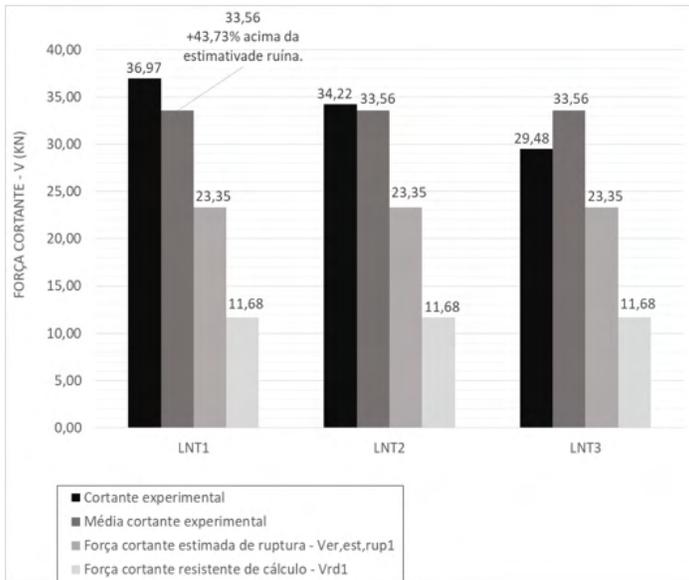


Figura 4 – Comparativo entre cortantes experimentais e teóricos das lajes não-treliçadas.

Ao analisar os resultados, é possível perceber que todas as lajes não-treliçadas apresentaram resistência superior a de cálculo e estimada de ruptura, apesar disso, verifica-se que apresentam grande variabilidade, sendo a média para a força cortante de 33,56kN, desvio padrão de 7,49kN e coeficiente de variação de 22,32%, o que demonstra grande instabilidade nas lajes sem armadura transversal.

4.3 Força cortante nas lajes treliçadas

Na figura 8 percebe-se que todas as lajes treliçadas romperam acima do valor estimado para ruína, tendo resistido em média 15,25% a mais que o previsto em cálculo, sendo que ao analisar os ensaios separadamente, nota-se que a laje LT1, que apresenta menor resultado de cortante experimental, resistiu 9,13% acima da estimativa e ruína.

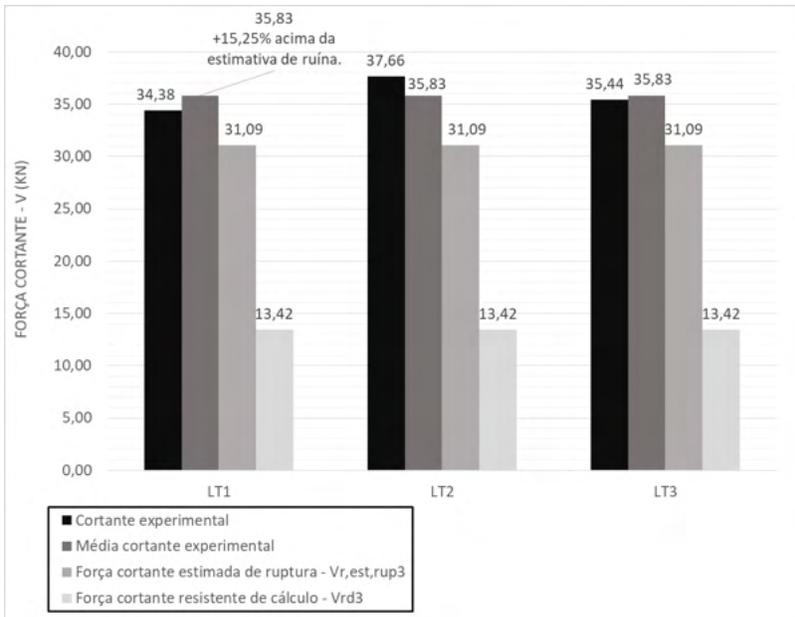


Figura 5 – Comparativo entre cortantes experimentais e valores teóricos das lajes treliçadas.

Ao analisar os resultados verificou-se baixa variabilidade nas lajes treliçadas, com a média em 35,83kN, desvio padrão de 3,28kN e coeficiente de variação de 9,15%, o que dá confiabilidade ao ensaio.

4.4 Análise comparativa entre resultados experimentais e teóricos

Na figura 6 nota-se facilmente que ambos os protótipos apresentaram ruptura experimental acima da estimativa de cálculo para a ruína. Verifica-se também as diferenças dos valores de força cortante resistente para as lajes treliçadas em comparação com as lajes sem armadura transversal. Em termos de força cortante resistente de cálculo, a laje treliçada deveria apresentar um valor 14,90% superior ao da laje sem treliça. Já quanto à força cortante estimada de ruptura, onde se considerou um fator γ , a laje treliçada apresentou um valor de resistência 33,15% superior ao da laje sem treliça. Porém, ao ensaiar em laboratório, notou-se que as lajes treliçadas resistem à força cortante, em média, apenas 6,76% a mais que as lajes não-treliçadas.

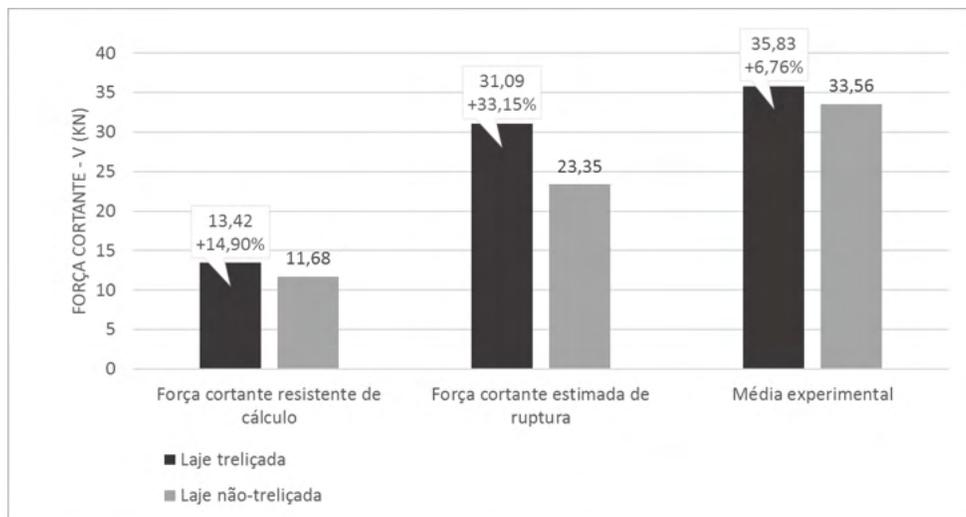


Figura 6 – Comparativo entre resultados teóricos e experimentais.

Ao comparar os dados referentes aos resultados médios de ruptura obtidos nos ensaios com os resultados teóricos pôde-se obter a Tabela 8, elaborada de maneira a facilitar a visualização e compreensão das diferenças.

Parâmetro	Média exp. (kN)	Desvio padrão (kN)	Coef. de variação	Força cortante estimada de ruptura (kN)	Relação entre a força cortante estimada de ruptura e experimental	Força cortante resistente de cálculo (kN)	Relação entre a força cortante de cálculo e experimental
Lajes não-treliçadas	33,56	7,50	22,32%	23,35	69,58%	11,68	34,80%
Lajes treliçadas	35,83	3,28	9,15%	31,09	86,77%	13,42	37,45%
Diferença	2,27 (6,67%)	4,22	13,17%	7,74 (33,15%)	17,19%	1,74 (14,90%)	2,65%

Tabela 8 - Proporções entre resultados experimentais e teóricos.

Observou-se que as lajes treliçadas apresentaram resistência média ao cisalhamento de 6,76% acima da média experimental das lajes não-treliçadas. É interessante ressaltar ainda, que mais do que resistência, a treliça proporcionou estabilidade às lajes e melhor controle devido à baixa variabilidade de resultados.

Por sua vez as lajes não-treliçadas apresentaram comportamento inesperado, com um valor médio 43,73% superior ao valor estimado de ruptura e até 187,33% superior aos

valores de força cortante resistente de cálculo.

5 | CONCLUSÕES

O presente trabalho abordou a análise da força cortante em lajes com vigotas treliçadas através de ensaio de ruptura de três protótipos de lajes com armadura treliçada e três equivalentes sem uso de treliças, no formato laje pré-moldada, onde todos os protótipos romperam ao cisalhamento. Então, compararam-se os resultados experimentais aos resultados calculados conforme a NBR 6118:2014, notando assim que todas as lajes ensaiadas romperam acima do previsto em cálculo.

Conclui-se, portanto, que a média das forças cortantes experimentais das lajes treliçadas resistiu em média 6,76% mais que as lajes sem armadura transversal, sendo esta a contribuição da treliça para resistência à força cortante.

Ao comparar os resultados experimentais com os resultados teóricos, verifica-se que o resultado de força cortante estimada de ruptura das lajes treliçadas foi de 86,77% da força cortante experimental, enquanto para as lajes sem armadura transversal, a força cortante estimada de ruptura resultou em 69,58% do resultado experimental obtido.

Isso demonstra, com base nos estudos realizados, que o método teve comportamento satisfatório quanto ao cálculo de estimativa de ruptura para os protótipos com armadura treliçada, sem grande margem abaixo do ensaiado. Porém, para as lajes sem armadura transversal, o modelo de cálculo apresentou-se demasiado conservador a favor da segurança, subestimando a resistência das lajes não-treliçadas, o que pode causar superdimensionamento da estrutura.

Conclui-se ainda que, além da resistência à força cortante adicional de 6,76% acima do encontrado para as lajes sem uso de treliça, tal armadura proporciona maior ductibilidade à nervura da laje, enquanto as lajes sem armadura transversal apresentam comportamento frágil, apesar de terem boa resistência, o que foi constatado no comportamento da laje LNT1.

Por fim, principalmente quanto às lajes sem armadura transversal, recomenda-se, para trabalhos futuros, que seja aumentado o número de corpos de prova de lajes ensaiados de modo reduzir as incertezas quanto à variabilidade dos resultados experimentais e assim proporcionar uma maior acurácia na análise dos modelos teóricos estudados.

REFERÊNCIAS

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

CAIXETA, D. P. Contribuição ao estudo de lajes pré-fabricadas com vigas treliçadas. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 1998.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. Construções de concreto. Interciência, 273 p., v. 1-3, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1977.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise de estruturas 20

Análise experimental 32

Análise teórica 32

Areias 58, 59, 64

Argamassa 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19

Armadura transversal 32, 34, 40, 41, 42, 44

B

Barragem 60, 61, 65

C

CAD 45

CBMPA 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86

CRF 45, 48, 54

D

Desigualdades matriciais lineares 68, 69, 70

Distribuição 20, 21, 31, 63

E

Estabilidade de lyapunov 69

Estado endurecido 1, 4, 5, 8

Estado fresco 1, 2, 4, 5, 6, 7

F

Fachadas 13, 14, 16, 17, 18, 19

Força cortante 32, 33, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44

I

Incêndio 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87

Instruções técnicas 77, 78, 79, 81, 86

L

Laje treliçada 32, 42

Liquefação 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66

M

Massa 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 59, 60, 61, 63, 64, 72, 73, 74

Medidas de segurança 77, 78, 82, 84, 85, 86

Métodos 2, 3, 10, 19, 20, 21, 25, 26, 29, 31, 45, 47

Modo de falha 58, 65, 66

P

Patologia 13, 16, 17, 18

Pontes 20, 21, 57

PONTES 20, 21, 31, 48

Pós-tração aderente 45, 46, 55, 57

Protendido 31, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 56, 57

R

Revestimento cerâmico 13, 15, 19

S

Sinistro 77, 78, 79, 80

Sistemas lineares 68, 70, 76

T

Terremotos 65, 66, 68, 69, 71, 72

V

Viga 18, 29, 45, 47, 48, 49, 50, 52, 54, 55

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED CIVIL ENGINEERING 2

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED CIVIL ENGINEERING 2