

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

LAMEC ZIANEDINE DE LIMA ANDRADE SÁ

**CONTRIBUIÇÃO NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA ARMADURA DE
PELE EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO**

Cajazeiras-PB
2023

LAMEC ZIANEDINE DE LIMA ANDRADE SÁ

**CONTRIBUIÇÃO NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA ARMADURA
DE PELE EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Daniel Torres Filho.

Cajazeiras-PB
2023

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca Biblioteca
Prof. Ribamar da Silva

Catálogo na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

S111c	<p>Sá, Lamec Zianedine de Lima Andrade. Contribuição na resistência ao cisalhamento da armadura de pele em vigas de concreto armado / Lamec Zianedine de Lima Andrade Sá. – 2023.</p> <p>40f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.</p> <p>Orientador(a): Prof. Esp. Daniel Torres Filho.</p> <p>1. Construção civil. 2. Estrutura de concreto. 3. Armadura de pele. 4. Concreto armado - Cisalhamento. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.</p>
-------	--

IFPB/CZ

CDU: 624.07(043.2)

LAMEC ZIANEDINE DE LIMA ANDRADE SÁ

**CONTRIBUIÇÃO NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA ARMADURA DE
PELE EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 18 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



DANIEL TORRES FILHO

Data: 02/02/2024 16:30:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Daniel Torres Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente



SEBASTIAO SIMAO DA SILVA

Data: 02/02/2024 17:22:49-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Sebastião Simão da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Documento assinado digitalmente



RIENZY DE MEDEIROS BRITO

Data: 02/02/2024 16:23:58-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rienzy de Medeiros Brito – Avaliador Externo
Examinador 2

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família que, acima de tudo, sempre me apoiaram e me permitiram conquistar este sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente à Deus, pelo dom da vida e por todos os dias vividos até aqui.

Aos meus pais, que sempre acreditaram em mim e fizeram o possível para tornar tudo possível.

Ao professor Daniel Torres, pela orientação, momentos de clareza, risadas, colaboração e oportunidade na produção deste trabalho.

À Andressa Ellen, por estar sempre ao meu lado, por me amparar em momentos difíceis e por todo carinho e amor.

Às amizades construídas ao longo dessa jornada, em especial, Andrey, Antônio Neto, Thiago, Ramon, e os demais companheiros que embarcaram nesta história ao longo dos anos.

Ao técnico do laboratório José e Moacir por todo auxílio durante as etapas experimentais deste trabalho.

Ao IFPB, *Campus* Cajazeiras, por todo conjunto de aprendizado, amparo, preparo e capacidades ao longo desta formação e produção deste trabalho.

RESUMO

As estruturas de concreto estão presentes em inúmeras aplicações da construção civil, com isso, diferentes tipos de esforços podem atuar solicitando de formas diversas a peça. Neste contexto, a fim de avaliar a influência do uso de armadura de pele na resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado, este trabalho propôs a realização de uma pesquisa experimental, onde foram ensaiadas vigas sem armadura de pele, como referência, e outras duas, de mesmas dimensões, com armaduras de pele, com mesma taxa de armadura, variando apenas o arranjo das barras. Embora a NBR 6118 (ABNT, 2023) indique a utilização deste tipo de armadura em peças com mais de 60 cm de altura, neste trabalho, foram ensaiadas peças com altura de 15 cm, devido a limitação do equipamento. Após a realização dos ensaios não foi possível constatar variação na resistência ao cisalhamento das peças ensaiadas, mostrando que o uso da armadura de pele para a situação proposta não exerceu influência na resistência ao cisalhamento.

Palavras-chave: cisalhamento; armadura de pele; concreto armado.

ABSTRACT

Concrete structures are present in numerous applications in civil construction; thus, different types of loads can act on the structure, soliciting it in different ways. In this context, in order to assess the influence of the use of skin reinforcement on the shear strength of reinforced concrete beams, this study proposed the conduct of an experimental investigation. Beams without skin reinforcement were tested as a reference, alongside two other beams with skin reinforcement, having the same reinforcement ratio, differing only in the arrangement of the bars. Although NBR 6118 (ABNT, 2023) recommends the use of this type of reinforcement in components with a height exceeding 60 cm, this study tested components with a height of 15 cm due to equipment limitations. After conducting the tests, no variation in the shear strength of the tested components was observed, indicating that the use of skin reinforcement in the proposed situation did not influence shear strength.

Keywords: Shear; Skin reinforcement; reinforced concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Analogia de treliça	15
Figura 2 - Efeito de pino.	17
Figura 3 - Engrenamento dos agregados.....	18
Figura 4 - Efeito de arco.	19
Figura 5 - Detalhamento das vigas.	20
Figura 6 - Posicionamento dos elementos no ensaio instrumentado de 4 pontos.....	21
Figura 7 - Posicionamento dos elementos no ensaio instrumentado de 4 pontos.....	22
Figura 8 - Resultados da resistência para levar as vigas à ruptura <i>versus</i> tempo.	22
Figura 9 - Detalhamento das vigas B1 à B10.	24
Figura 10 - Carregamentos experimentais e teóricos.....	25
Figura 11 - Dimensões e armaduras das vigas.....	27
Figura 12 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V1A.....	31
Figura 13 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V1B.....	31
Figura 14 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V2A.....	32
Figura 15 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V2B.....	32
Figura 16 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V3A.....	33
Figura 17 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V3B.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da resistência à compressão axial.....	21
Tabela 2 - Cargas máximas e deslocamentos na ruptura	23
Tabela 3 - Resistencia do concreto a compressão e detalhamento das armaduras de pele.	24
Tabela 4 - Resistência do concreto em função do traço e idade de ruptura.	29

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1	RESISTÊNCIA DO CONCRETO À TRAÇÃO.....	14
3.2	ANALOGIA DE TRELIÇAS	15
3.3	ANALOGIA DE TRELIÇAS GENERALIZADA	16
3.3.1	Efeito de Pino	16
3.3.2	Engrenamento dos agregados	17
3.3.3	Efeito de arco.....	18
3.4	DETERMINAÇÃO DA PARCELA RESISTENTE AO CISALHAMENTO DO CONCRETO.....	19
3.5	OUTRAS PESQUISAS DESENVOLVIDAS SOBRE ESTE ASSUNTO	20
3.5.1	Pereira (2016).....	20
3.5.2	Hassanean (2006)	23
4	METODOLOGIA	26
5	RESULTADOS E ANÁLISES	29
5.1	DOSAGEM DO CONCRETO.....	29
5.2	RUPTURA DAS VIGAS NO CISALHAMENTO	31
5.3	COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS TEÓRICOS E EMPÍRICOS.....	35
6	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS.....	37
	APÊNDICE A – CÁLCULO DA PARCELA DE FORÇA CORTANTE RESISTENTE POR MECANISMOS COMPLEMENTARES AO MODELO EM TRELIÇA.....	39

1 INTRODUÇÃO

As estruturas executadas em concreto são as mais comuns no âmbito da construção civil em todo o mundo. Não diferente, o Brasil utiliza, majoritariamente, este material composto para a execução dos elementos estruturais. Caracterizado por possuir boa resistência a compressão, o concreto se torna ideal para estruturas onde predomina-se esforços de compressão, entretanto, a resistência a tração do concreto é significativamente baixa e este possui o aspecto de ruptura frágil, limitando a sua utilização onde as tensões de tração estão presentes (Bastos, 2019).

Em virtude da sua baixa resistência a tração, o concreto sozinho não pode ser utilizado em estruturas sob flexão, por outro lado, a adição do aço, que possui boa resistência a tração e compressão, pode ser empregado na composição de peças ou elementos estruturais de forma conveniente, onde as barras de aço envoltas pelo concreto garantirão a parcela resistente aos esforços de tração, contornando tal fraqueza do concreto, e o resultado se denomina o concreto armado, conforme Gupta (2014). Com o concreto armado abre-se o leque de aplicações, embora o aço contribua na parcela referente aos esforços de tração, parte desse esforço ainda é transmitido para o concreto, que, com sua baixa resistência a tração, logo atinge a sua capacidade resistente e começa a apresentar sinais do esforço aplicado, que são as fissuras. O surgimento de tais fissuras é, inclusive, caracterizado como um fenômeno natural (Bastos, 2019).

A utilização de barras de aço junto ao concreto deve ser executada de forma conveniente, de modo que o seu posicionamento venha a combater os esforços de tração. Com isso, tais barras são comumente posicionadas na direção longitudinal ao eixo da peça e de forma transversal, resistindo aos esforços de flexão e de cisalhamento, respectivamente. Com a aplicação do carregamento tem-se o início da fissuração. Nos pontos onde o esforço cortante é mais significativo as fissuras passam a apresentar inclinações, surgindo a partir disso as bielas, e suas inclinações as direções das tensões de compressão. Para manter o equilíbrio, são necessárias armaduras transversais que atuem como tirantes, apoiando-se nas regiões comprimidas e tracionadas do elemento. Essa configuração resulta no modelo de treliça de Mörsch (Fusco, 2008).

Outros fenômenos também contribuem para a resistência aos esforços cortantes, tais mecanismos coexistentes ao modelo de treliça que buscam aproximar o comportamento teórico ao real. Estes são: efeito de pino, engrenamento dos agregados e efeito de arco.

Os estribos, assim chamadas as barras que compõe a armadura transversal, possuem

dois modelos para cálculo segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), sendo denominados Modelo de Cálculo I e Modelo de Cálculo II. A NBR 6118 (ABNT, 2023), ainda dispõe que em vigas com alturas maiores que 60 cm sejam aplicadas barras longitudinais na região lateral da alma. Estas, denominadas de armaduras de pele, são utilizadas para diminuir o nível de fissuração do elemento, que por sua vez são calculadas considerando apenas a área da seção transversal da viga.

Embora a armadura de pele seja aplicada com a função de reduzir a fissuração nas zonas de tração, Adorno (1996) expõe que dentre o contexto normativo, nacional e internacional, não há consideração de parcela contribuinte da armadura de pele quanto à capacidade resistente ao cisalhamento. Por outro lado, é difícil tomar noção teórica deste incremento, já que, através do processo de fissuração, ocorre um rearranjo complexo das tensões internas, que continuam a se ajustar até que a ruptura esteja atingida (Araúz, 2002). Diante desse contexto se faz necessário avaliar se a armadura de pele apresenta alguma contribuição na resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado, o que torna possível refinar ainda mais o dimensionamento desses elementos caso essa contribuição seja constatada.

2 OBJETIVOS

Nesse capítulo foram delineados os objetivos do Trabalho de Conclusão do Curso.

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a contribuição da armadura de pele na resistência aos esforços de cisalhamento em vigas de concreto armado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com intuito de atingir o objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar a determinação do esforço cortante referente à parcela resistente referente aos mecanismos complementares ao modelo de treliça para vigas de concreto armado, conforme o Método I, prescrito pela NBR 6118 (ABNT, 2023);
- Estabelecer de forma experimental a resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armadas longitudinalmente e com diferentes arranjos de armadura de pele, através de ensaios de aplicação de carga visando a ruptura ao cisalhamento;
- Quantificar a influência do uso da armadura de pele na resistência ao cisalhamento a partir dos dados dos ensaios de ruptura, tendo como referência a viga sem armadura de pele. Neste contexto será possível ainda comparar os esforços obtidos nos ensaios com o esforço referente aos mecanismos complementares prescrito pela NBR 6118 (ABNT, 2023).

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados alguns pontos relacionados com a resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado.

3.1 RESISTÊNCIA DO CONCRETO À TRAÇÃO

O concreto possui uma boa resistência a compressão e por outro lado uma baixa resistência a tração, características comuns aos materiais cerâmicos, e sua composição se assemelha com tais materiais, por seu caráter cimentício, constituído por cimento, água e agregados, estes podendo ser derivados cerâmicos ou não.

As microfissuras geradas pela aplicação de cargas compressivas no concreto acabam por reduzir a resistência à tração. Tais fissuras, de forma geral, se distribuem perpendicularmente à direção da aplicação das cargas segundo Vieira e Dal Molin (2011). Com esta constatação Slate & Hover (1984, *apud* Neville, 2015), ao afirmar que microfissuras existentes antes mesmo do carregamento contribuem negativamente, reduzindo a resistência do concreto a tração. Com isso, a cura inadequada juntamente com outros aspectos, como aplicação prévia de carregamento, pode comprometer ainda mais o concreto quanto a este tipo de esforço.

Assim como para a resistência a compressão, a resistência à tração pode ser obtida de forma indireta $f_{ct,sp}$ e por flexão. Tal parâmetro pode ser obtido através de ensaios e estes são normatizados e regulamentados pelas normas NBR 7222 (ABNT, 2011) e NBR 12142 (ABNT,2010), respectivamente. Por outro lado, para estes ensaios são utilizados aparelhos diferentes com diferentes corpos de prova. Caso não seja possível a determinação da resistência à tração mediante estes ensaios, a mesma pode ser obtida a partir da resistência a compressão. Assim, segundo a NBR 6118 (ABNT,2023), na falta de ensaios que possibilitem a obtenção desses valores, o valor médio da resistência a tração $f_{ct,m}$ ou até mesmo o valor característico inferior ($f_{ctk,inf}$) e superior ($f_{ctk,sup}$) podem ser obtidos a partir da resistência a compressão característica f_{ck} por meio das equações:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (1)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m} \quad (2)$$

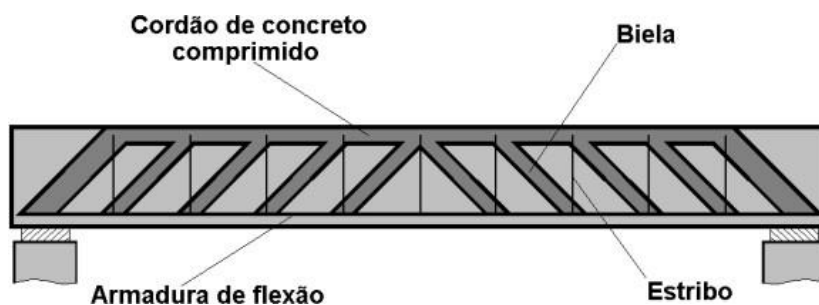
$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m} \quad (3)$$

Em que, $f_{ct,m}$ e f_{ck} são expressos em MPa.

3.2 ANALOGIA DE TRELIÇAS

No início do século XX, o modelo de treliça criado por W. Ritter foi modificado por E. Mörsch, neste modelo, o elemento estrutural fissurado é tratado como uma treliça, possuindo então algumas características diferentes de uma peça inteiramente maciça. Segundo este modelo, as diagonais ou bielas são determinadas como sendo comprimidas, com inclinação fixa de 45° , e os tirantes, correspondente à armadura transversal, tracionados. Esta armadura pode estar posicionada com inclinações que variam entre 45° e 90° em relação ao eixo longitudinal da peça. Considera-se também o banzo tracionado simbolizado pela armadura longitudinal, e o banzo comprimido será a extremidade oposta ao banzo tracionado, considerado como somente uma faixa de concreto.

Figura 1 - Analogia de treliça



Fonte: Pinheiro (2007).

Pinheiro (2007) afirma que alguns ensaios comprovaram existência de imperfeições quanto a esta analogia de treliça clássica. Para isso são feitas três considerações:

- As bielas possuem inclinação inferior à 45° ;
- Há uma mudança de direção no fluxo de tensão, excluindo a premissa de que os banzos são paralelos;
- A treliça age como um elemento muito hiperestático, provocando um engastamento entre as bielas e o banzo comprimido elevando a rigidez.

Com isso, algumas mudanças foram realizadas quanto ao modelo clássico, alguns aperfeiçoamentos foram aplicados e assim foi criada a analogia de treliça generalizada.

3.3 ANALOGIA DE TRELIÇAS GENERALIZADA

O cálculo segundo o modelo de Ritter e Morsch resultava em uma armadura de cisalhamento elevada, levando a um superdimensionamento (Carvalho, Figueredo Filho, 2014).

Algumas outras considerações e análises também concluem em reduzir a armadura de cisalhamento, sendo que alguns elementos e fenômenos que atuam em conjunto ao modelo de treliça. Estes são os efeitos da armadura longitudinal, da interação entre os agregados e a armaduras e o efeito de arco.

Samora (2015) afirma que a força de cisalhamento, em vigas esbeltas, onde a relação entre o vão de cisalhamento a e a altura útil d estiver entre 2 e 3, é transmitida pelo efeito pino da armadura longitudinal de tração, pelo engrenamento dos agregados ao longo da fissura e pela zona do concreto comprimido. Já para vigas curtas o efeito arco predomina quanto a resistência ao cisalhamento. Para vigas retangulares, Kim e Park (1996), afirmam haver uma proporcionalidade a qual a força de cisalhamento é distribuída pelos mecanismos.

3.3.1 Efeito de Pino

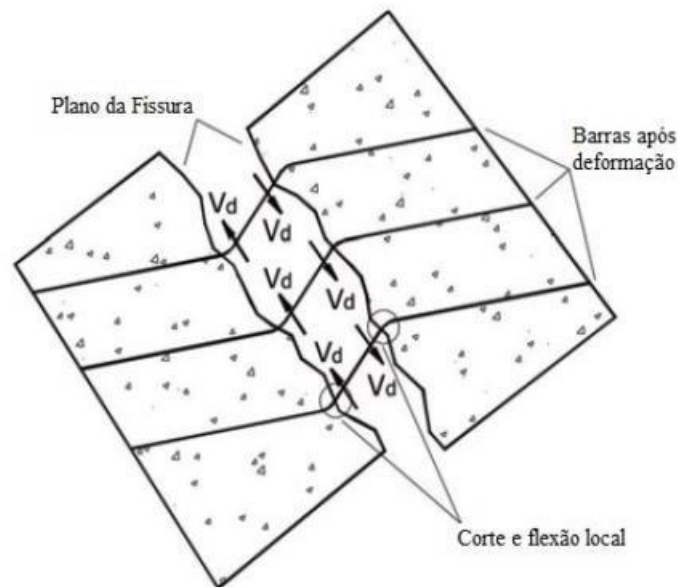
O efeito de pino pode ser descrito como a capacidade que uma barra tem de suportar esforços aplicados de forma perpendicular ao seu eixo, capacidade esta que pode ser expressa em forma de resistência. De acordo com Bastos (2023), este efeito foi percebido por volta dos anos 1930, ocorrendo em diversas peças únicas e outras aplicações de estruturas em concreto armado.

Fusco (2008) afirma que a qualidade da resistência deste efeito é fruto da qualidade do concreto na região de envolvimento da barra, pois este efeito depende da camada de cobrimento da armadura longitudinal. Bastos (2023) ao expor as diferentes formas de ruptura do mecanismo corrobora com este entendimento: sendo o Modo de Ruptura I, com baixo cobrimento do concreto, ruindo por fissuras de fendilhamento, e o Modo de Ruptura II onde o concreto sob a barra é esmagado. Em ambos os casos o aumento do diâmetro das barras não é proporcional a resistência deste mecanismo.

Segundo Nogueira (2010), devido a rigidez ao cisalhamento ser influenciada pelo esmagamento do concreto, ou fendilhamento das barras, este efeito tem caráter não linear e dependente do cobrimento. Samora (2015) conclui que a aplicação de esforço cisalhante, já em planos fissurados, provoca o deslizamento entre os lados da fissura, onde, neste caso, as barras atuam de modo a impedir tal separação, induzindo uma resistência contra a força aplicada.

Manzoli *et al* (2008) expõe que, nos estágios de cargas próximas ou posteriores ao limite, o efeito pino pode contribuir significativamente, ou seja, transferindo os esforços e atuando na resistência até próximo da falha do elemento, até mesmo já dado início à deformação das barras longitudinais, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Efeito de pino.



Fonte: Oliveira Filho (2019).

O efeito pino pode ser mais efetivo quando a peça está armada com uma considerável armadura transversal, e quando a armadura longitudinal está em mais de uma camada (Bastos, 2023).

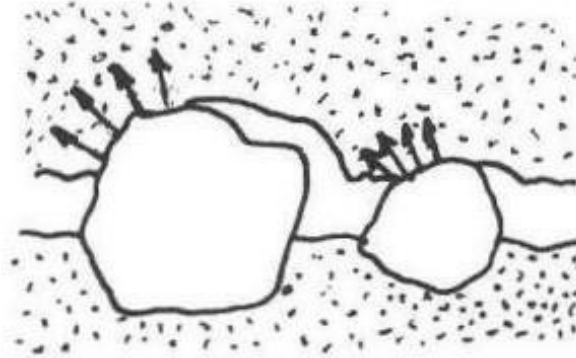
3.3.2 Engrenamento dos agregados

O apoio apresentado pelo engrenamento dos agregados pode ser resumido como o esforço resistido pelo atrito dos agregados em planos já fissurados. Desta forma, tal afirmação é válida quando se tem, em meio ao concreto com resistências usais, agregados graúdos com resistência e rigidez igual ou maior ao concreto, onde as fissuras tendem a seguir o contorno do agregado e não o romper (Albajar, 2008).

Levando-se em conta que os agregados graúdos são os responsáveis por gerar o engrenamento nas faces fissuradas e por consequência atuarem contribuindo para resistir ao esforço cisalhante, um concreto mais empacotado do que o outro, a fim de reduzir o número de

vazios, acarreta em uma significativa redução da contribuição deste mecanismo segundo Sagasetta e Vollum (2011).

Figura 3 - Engrenamento dos agregados.



Fonte: Walraven, 1980.

Sagasetta e Vollum (2011) afirma ainda que, em vigas não armadas transversalmente, a eficiência deste mecanismo é reduzida, além do que o caráter rugoso das faces fissuradas depende do agregado e não somente da capacidade resistiva do concreto.

3.3.3 Efeito de arco

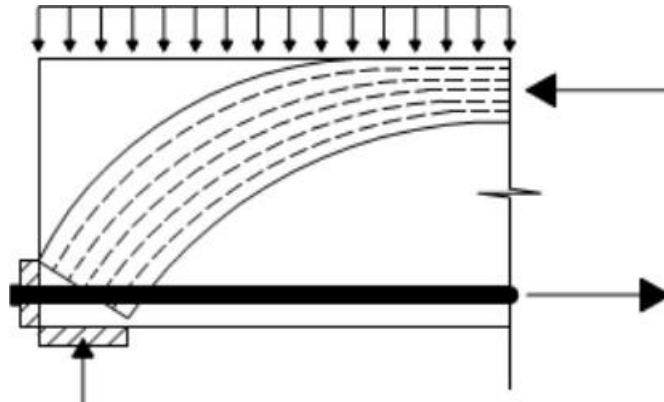
O efeito de arco é um mecanismo onde parte dos esforços gerados pelo carregamento são transferidos para os apoios, ainda mais efetivamente quando em vigas curtas (Samora, 2015). A distância da aplicação da carga também influencia este efeito, ao aplicá-lo mais próximos aos apoios (Fusco, 2008).

A NBR 6118 (ABNT, 2023) dispõe que a eficiência deste efeito é maior quando, para cargas concentradas, o ponto de aplicação seja a uma distância menor que duas vezes a altura útil da viga. Outras referências sugerem uma análise mais detalhada da eficiência do efeito de arco variando a relação entre a distância do ponto de aplicação do carregamento ao apoio mais próximo a e a altura útil da viga d , formulando assim uma relação a/d .

Joint ACI-ASCE Committee 426 (1973, *apud* Samora, 2015) determina três diferentes comportamentos e, conseqüentemente, diferentes formações de fissuras, com estes variando de acordo com a relação a/d . Para relação a/d menor do que 1, as fissuras ligam o ponto de apoio ao ponto onde a carga foi aplicada e com isso a peça passa a se comportar como um arco, uma vez que as fissuras interferem no fluxo de cisalhamento da armadura longitudinal. Em relações entre 1 e 2,5 as fissuras são inclinadas e, através de uma redistribuição de esforços internos, a peça passa a suportar mais carga, onde uma parcela desta capacidade de resistência adicional

se deve ao efeito de arco. Por fim, em vigas com relação entre 2,5 e 6,5, as fissuras inclinadas, dado o ponto de surgimento causam a ruptura da peça neste local. Para este último caso, a inexistência do efeito de arco pode ser considerada.

Figura 4 - Efeito de arco.



Fonte: Giongo (2020, *apud* Samora, 2015).

3.4 DETERMINAÇÃO DA PARCELA RESISTENTE AO CISALHAMENTO DO CONCRETO

A determinação da parcela resistente pelos mecanismos complementares ao modelo de treliça V_c , segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), pode ser realizada por dois modelos de cálculo. No Modelo de Cálculo I, a parcela V_c é constante, independente de qual seja a força cortante solicitante de cálculo V_{sd} . Este ainda admite que as diagonais comprimidas estejam a um ângulo de 45° em relação eixo do elemento. Já o Modelo de Cálculo II, além de admitir uma variância em relação ao ângulo das diagonais comprimidas (entre 30° e 45°), ainda permite a redução da parcela V_c de acordo com o aumento do V_{sd} .

A parcela V_c através do primeiro modelo, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), é determinada, para elementos submetidos a flexão simples ou flexo-tração com a linha neutra cortando a seção, pela seguinte equação:

$$V_c = 0,6 f_{ctd} b_w d \quad (4)$$

Em que, d é a altura útil da seção, b_w é a menor largura da seção e f_{ctd} é a resistência de cálculo à tração do concreto. Está por sua vez é calculado por:

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c \quad (5)$$

Em que, $f_{ctk,inf}$ é obtido conforme a eq. (3), e γ_c é o coeficiente de ponderação da resistência do concreto, neste caso, com valor igual à 1,4.

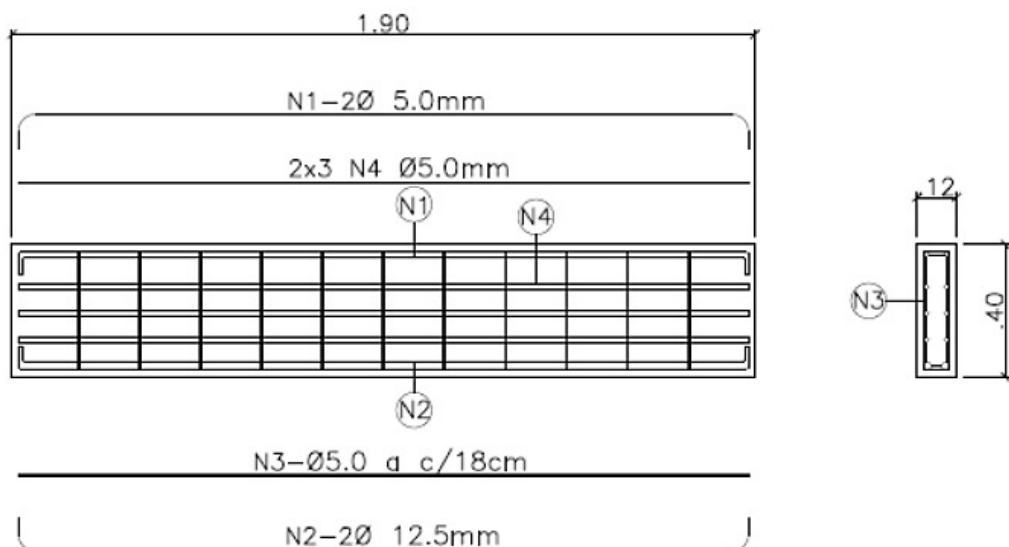
3.5 OUTRAS PESQUISAS DESENVOLVIDAS SOBRE ESTE ASSUNTO

Algumas pesquisas já foram realizadas sobre este assunto tanto dentro do âmbito nacional quanto internacional e estas dispõem de resultados diferentes mediante execuções de procedimentos ou até mesmo com outras considerações.

3.5.1 Pereira (2016)

Neste trabalho foram confeccionados dois grupos de vigas, um de referência e outro com armadura de pele. Em ambos os grupos as vigas possuíam as mesmas dimensões, 12 cm de largura, 40 cm de altura e com um comprimento total de 190 cm. Foram utilizadas como armadura longitudinal, na área tracionada, duas barras com 12,5 mm de diâmetro e, na área comprimida, duas barras com 5 mm de diâmetro. Além disto foram utilizados estribos espaçados a cada 18 cm com barras de 5 mm de diâmetro.

Figura 5 - Detalhamento das vigas.



Fonte: Pereira, 2016

A armadura transversal foi estabelecida com diâmetro de 5.0 mm, levando em conta ser o menor diâmetro especificado pela norma. Além disso, para a determinação dos demais parâmetros foi utilizado o Modelo de Cálculo I, com V_c constante.

A determinação da resistência do concreto foi obtida através do ensaio de compressão axial de corpos de provas cilíndricos com 28 dias de idade. A partir deste, foi determinado a resistência do concreto em 39,50 MPa.

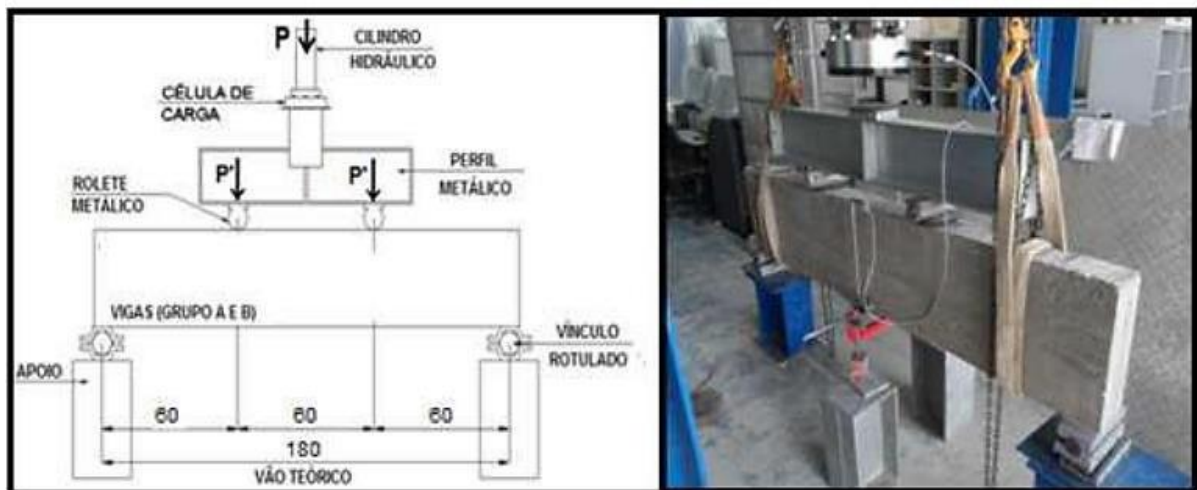
Tabela 1 - Resultados da resistência à compressão axial.

Corpos de prova – Grupo A	f_c (MPa)	Corpos de prova – Grupo B	f_c (Mpa)
CP 01	38,30	CP 01	38,80
CP 02	40,10	CP 02	42,10
CP 03	39,90	CP 03	38,30
Média	39,43	Média	39,73
Desvio Padrão	0,98	Desvio Padrão	2,06

Fonte: Pereira, 2016.

Os ensaios foram realizados em um equipamento instrumentado de 4 pontos, sendo 2 de apoio e 2 de aplicação de carga, considerando um vão teórico de 180 cm e cada ponto de aplicação de carga a 60 cm de distância do apoio mais próximo.

Figura 6 - Posicionamento dos elementos no ensaio instrumentado de 4 pontos.

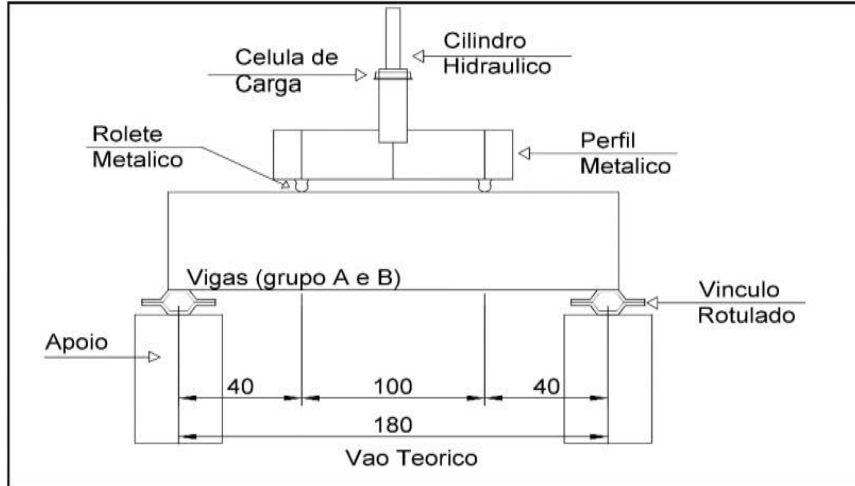


Fonte: Birolo, *apud* Pereira, 2016.

No entanto, dado a realização dos primeiros ensaios, as vigas V1 e V2, do Grupo A e B, respectivamente, apresentaram ruptura por flexão. Com isso um rearranjo na instrumentação de ensaio foi realizado, alterando a distância entre o ponto de aplicação de carga, saindo de 60 cm

para 40 cm de distância do apoio mais próximo. Esta alteração teve como objetivo induzir a ruptura por cisalhamento.

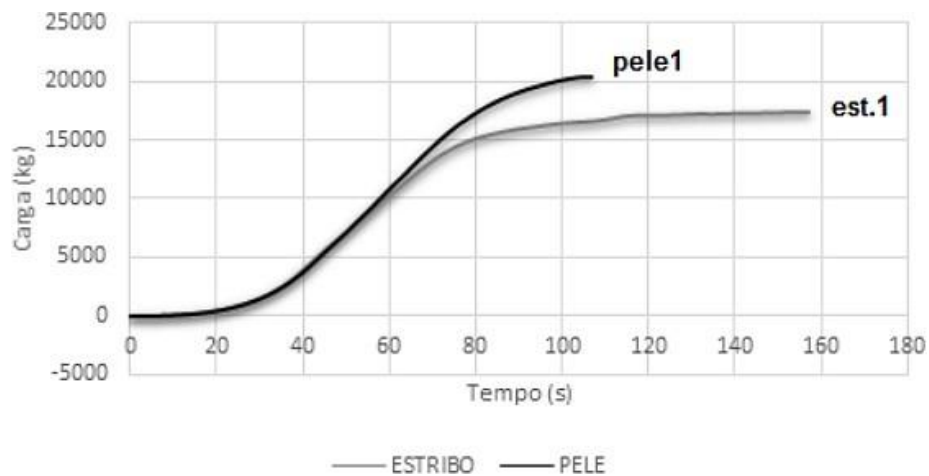
Figura 7 - Posicionamento dos elementos no ensaio instrumentado de 4 pontos.



Fonte: Pereira, 2016.

Os grupos de vigas foram classificados em Grupo A e Grupo B com 3 vigas cada. O Grupo A, de referência, contempla as vigas V1, V3 e V4 e o Grupo B, V2, V5 e V6. Porém, dado início aos ensaios, como as vigas V1 e V2 apresentaram rompimento por flexão, não foram considerados na análise geral. No entanto, estes primeiros ensaios apresentaram que ocorreu um ganho de resistência. A V2, primeira viga do Grupo B, demonstrou um ganho de 17% de resistência em relação a V1, do outro grupo.

Figura 8 - Resultados da resistência para levar as vigas à ruptura *versus* tempo.



Fonte: Pereira, 2016

A realização dos ensaios com as demais vigas, já realizados no novo arranjo de instrumentos apresentou, para as vigas do Grupo A, V3 e V4, uma carga de ruptura média de 211,73 kN e ambas rompendo por cisalhamento. Já as vigas do Grupo B, V5 e V6, resistiram a uma carga de ruptura de 298,74 kN. Porém, somente a V5 rompeu por cisalhamento, e a V6 ruindo por flexão, comprovando assim a eficiência no combate a cisalhamento. Os ganhos de resistência das vigas do Grupo B representaram um aumento de 41,1% em relação as vigas do Grupo A.

Tabela 2 - Cargas máximas e deslocamentos na ruptura.

Vigas Grupo A	Carga Máxima (kN)	Deslocamento na carga máxima (mm)	Vigas Grupo B	Carga Máxima (kN)	Deslocamento na carga máxima (mm)
Viga 1	-	-	Viga 1	-	-
Viga 2	177,77	4,99	Viga 2	297,93	9,70
Viga 3	245,69	12,56	Viga 3	299,54	13,60
Média	211,73	8,78	Média	298,74	11,65
Desvio Padrão	-	-	Desvio Padrão	-	-

Fonte: Pereira, 2016.

Quanto a fissuração, a viga V1 do Grupo A apresentou menos fissuras em relação a viga V2 do Grupo B em um percentual de 28,57%. As demais vigas que romperam por cisalhamento apresentaram fissuras inclinadas surgindo dos apoios, com inclinações entre 30° e 45° evidenciando as bielas de compressão divididas ao longo da peça.

Com este trabalho foi possível observar, que as vigas reforçadas com armadura de pele apresentaram ganho significativo de resistência ao cisalhamento em relação as de referência. Por outro lado, nas primeiras vigas que ruíram por flexão, a viga sem armadura de pele apresentou menos fissuras em relação a viga com esta armadura.

3.5.2 *Hassanean (2006)*

Neste trabalho, desenvolvido na *Assiut University* do Egito, foi realizado o estudo com 10 vigas, todas com mesmas dimensões, variando apenas a armadura de pele utilizada, tendo como referências as normas estrangeiras ECCS 203-2001, German Code Din 1045 Absch 21.1.2, CSA A23.3, Canadian Highway Bridge code CHBDC, ACI 318 Building code e AASHTO Bridge code, entre outras, para especificação de outros detalhes e fenômenos.

O concreto utilizado teve sua resistência obtida após ensaios com corpos de prova com 28 dias de idade, resultando em uma capacidade resistiva de 27,5 MP. Este concreto foi

utilizado em todas as vigas ensaiadas neste trabalho. Já as barras utilizadas são descritas na Tabela 3.

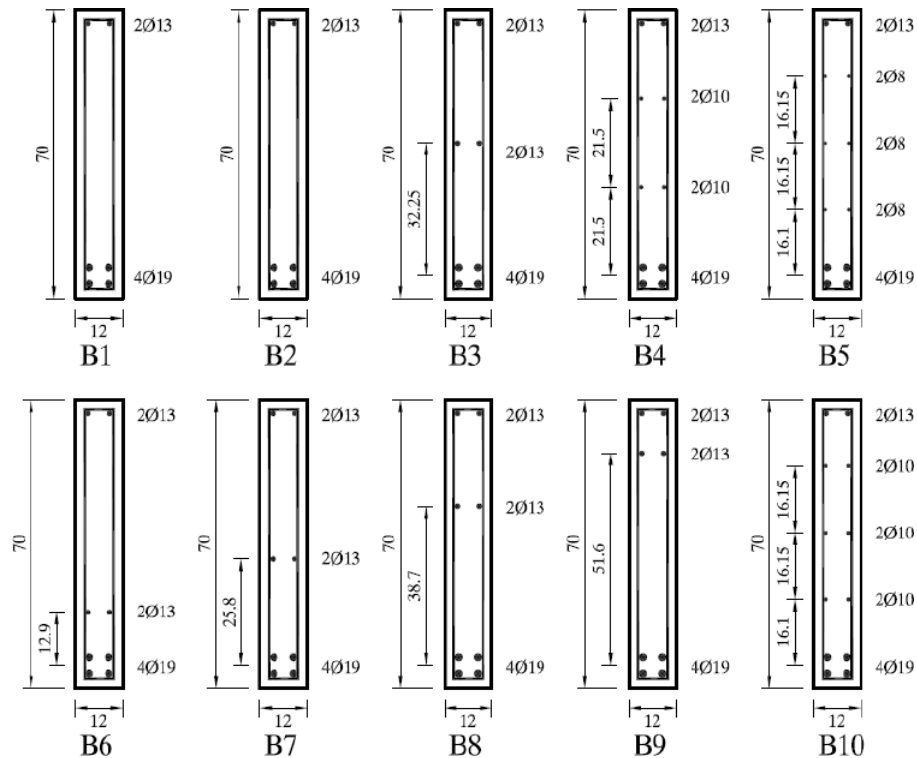
Tabela 3 - Resistência do concreto à compressão e detalhamento das armaduras de pele.

Beam No.	F_{cu} (MPa)	Side Bars	$\mu^{\circ}\%$	$\mu_{ss}\%$	ψ
B1	29.5	-	0	0	0
B2	29.0	-	0	0	0
B3	28.4	2 ϕ 13	0.70	0.235	0.117
B4	28.1	4 ϕ 10	0.83	0.277	0.139
B5	28.2	6 ϕ 8	0.79	0.266	0.133
B6	28.7	2 ϕ 13	0.70	0.235	0.047
B7	28.0	2 ϕ 13	0.70	0.235	0.094
B8	28.5	2 ϕ 13	0.70	0.235	0.141
B9	28.3	2 ϕ 13	0.70	0.235	0.188
B10	28.5	6 ϕ 10	1.27	0.416	0.208

Fonte: Hassanean, 2006.

Todas as vigas possuem as mesmas dimensões sendo 12 cm de base e 70 cm de altura, com armadura longitudinal positiva e negativa semelhantes, com 4 barras de 19.00 mm de diâmetro na área inferior, positiva, e 2 barras de 13.00 mm na área superior, negativa. De um total de 10 vigas, duas são de referência e as demais possuem armadura de pele. Estas por sua vez possuem a armadura distribuída de diferentes posições e em diferentes diâmetros.

Figura 9 - Detalhamento das vigas B1 à B10.



Fonte: Hassanean, 2006.

Os ensaios foram realizados com as vigas simplesmente apoiadas em um vão livre de 194 cm com carga sendo aplicada em um único ponto, tendo um incremento de uma tonelada antes do início da fissuração passando para duas toneladas dado o surgimento das primeiras fissuras, a carga é mantida constante durante um período de 5 minutos após dois incrementos sucessivos.

Através dos ensaios foi possível observar o surgimento de fissuras inclinadas com angulação entre 38,6° e 46,7°, estando dentro do previsto levando em conta a existência das bielas de compressão. Por outro lado, nas vigas com armadura de pele, as fissuras apresentaram menores aberturas em relação as vigas de referência. Além disso, a viga reforçada B10 demonstrou uma resistência 54% maior em relação aos cálculos teóricos, da mesma forma em comparação com a viga B2, o carregamento último teve um aumento de 35%.

Figura 10 - Carregamentos experimentais e teóricos.

Beam No.	Ψ	Cracking load (ton)			P_u Ton	Δ_2	Δ_3	Δ_4
		Exp.	Eqn. 5	Eqn. 6				
B1	0	12.9	14.25	8.45	35.0	1.0	1.11	0.97
B2	0	13.0	14.25	8.45	36.0	1.01	1.14	1.00
B3	0.117	13.0	14.25	8.70	43.4	1.01	1.37	1.21
B4	0.139	16.6	14.25	8.42	46.4	1.01	1.47	1.29
B5	0.133	16.9	14.25	8.42	47.1	1.29	1.49	1.31
B6	0.047	17.0	14.25	8.79	44.9	1.31	1.42	1.25
B7	0.094	13.6	14.25	8.44	43.5	1.32	1.37	1.21
B8	0.141	12.9	14.25	8.53	42.0	1.05	1.33	1.17
B9	0.188	13.2	14.25	8.55	40.8	1.00	1.33	1.13
B10	0.208	17.2	14.25	8.61	48.7	1.33	1.2	1.35

Fonte: Hassanean, 2006.

Como resultados esse trabalho apresentou alguns pontos interessantes. Além da já citada diminuição na abertura das fissuras, houve um ganho substancial na resistência ao cisalhamento. Por outro lado, foi observado que a aplicação prolongada de cargas influenciou negativamente a deformação, mas tem uma leve influência na resistência ao cisalhamento. Contudo, a disposição das barras em diversas camadas apresenta uma melhor reação à aplicação de cargas e deformação. Além disso, dado o início da fissuração, há uma redistribuição de esforços internos e um consequente aumento na capacidade de resistência ao cisalhamento.

4 METODOLOGIA

Neste trabalho foram realizadas pesquisas experimentais, juntamente com ensaios baseados nas referências teóricas encontradas e métodos normatizados. Na primeira etapa de pesquisa, foram determinados, teoricamente, a resistência ao cisalhamento de uma viga concebida para a realização desse estudo, com a determinação da parcela resistente referente aos mecanismos complementares ao modelo de treliça V_c de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), sendo utilizadas as equações do Modelo de Cálculo I para esta determinação.

O cálculo do V_c leva em conta as características geométricas do elemento e mecânicas do concreto, com isso, dentro deste modelo, o valor de V_c é constante, independente de qual seja o esforço cisalhante solicitante, ou seja, as variáveis envolvidas são dados em função de parâmetros mecânicos do concreto e da própria geometria do elemento. No entanto, tal cálculo só pode ser realizado estando a linha neutra cortando a seção do elemento, assim como descreve a NBR 6118 (ABNT, 2023). Portanto, a fim de garantir que este requisito seja atendido, as dimensões do elemento, assim como a armadura nele empregado foram determinadas de forma conveniente à análise, permitindo que as verificações e ensaios futuros pudessem ser realizados dentro dos padrões normativos.

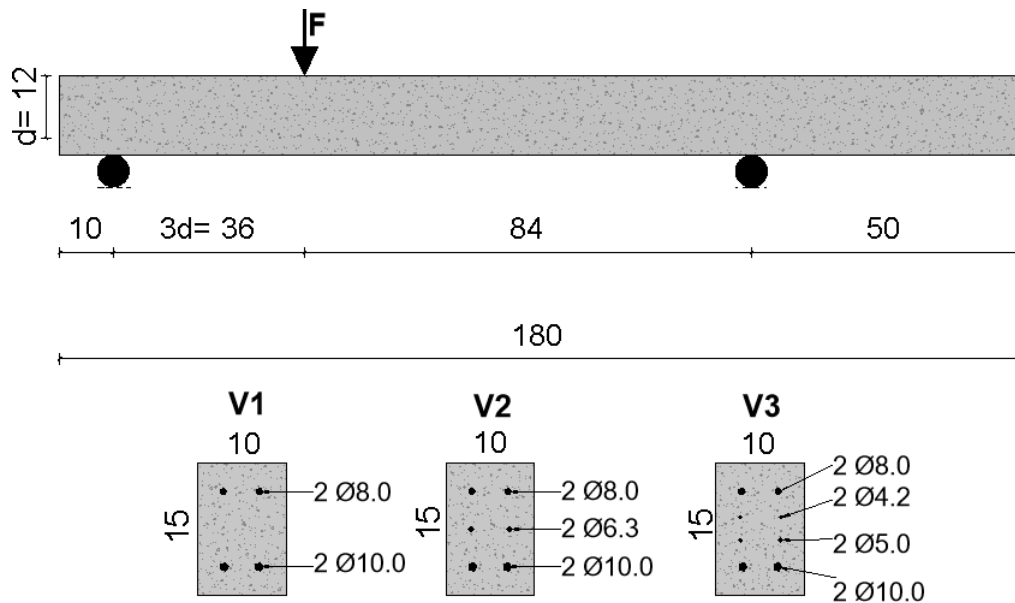
Os elementos estruturais utilizados nessa pesquisa possuíam dimensões reduzidas, por conta da limitação dos equipamentos. As vigas ensaiadas eram dotadas de uma seção com 10 cm de base, 15 cm de altura e comprimento igual a 180 cm. Com tais dimensões juntamente com as características mecânicas do concreto, tornou-se possível determinar teoricamente o V_c .

Para a obtenção de um traço de concreto que tenha uma resistência característica de 25 MPa aos 28 dias de idade, foram definidos três traços diferentes 1:3,5; 1:5 e 1:6,5 dos quais foram produzidos seis corpos de prova de cada, que foram submetidos aos ensaios de compressão axial, com todo procedimento seguindo as normas NBR 5738 (ABNT, 2015). A NBR 5739 (ABNT, 2018), estabeleceu os procedimentos para moldagem e cura dos corpos de prova e o ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos. Estes ensaios foram desenvolvidos em corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro com 200 mm de altura, curados submersos em água com idades de 7, 14 e 28 dias, sendo ensaiados dois corpos de prova de cada traço por ensaio.

Para a armação das vigas foram utilizadas como armadura longitudinal duas barras de 10 mm de diâmetro, totalizando uma área de aço equivalente à $1,6 \text{ cm}^2$. Como porta estribo foram utilizadas duas barras de 8 mm de diâmetro. Para a armação das vigas foi utilizada uma

única taxa de armadura, variando apenas o arranjo das barras da armadura de pele. Onde para a viga V3 foi armada com uma barra de 6,3 mm de diâmetro em cada face, resultando em uma área de aço equivalente à $0,63 \text{ cm}^2$. Para a outra viga (V2), foram utilizadas uma barra de 4,2 e outra de 5 mm de diâmetro em cada face. A viga foi armada com estribos de 5 mm de diâmetro somente nos apoios e no ponto de aplicação de carga para garantir o posicionamento das barras.

Figura 11 - Dimensões e armaduras das vigas.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os ensaios foram realizados através de um mecanismo de aplicação de carga. Para este trabalho, as vigas foram ensaiadas como biapoiada, sendo o primeiro apoio posicionado a 10 cm da face da extremidade esquerda da viga e o segundo à 50 cm da extremidade direita. O carregamento foi aplicado em um ponto específico posicionado a uma distância equivalente três vezes a altura útil d do elemento a partir do primeiro ponto de apoio. Cada viga foi ensaiada duas vezes invertendo os lados da peça e mantendo as posições dos apoios e aplicação de carga, para que assim fosse possível realizar dois ensaios em uma única só peça.

Inicialmente, foi ensaiada a viga sem armadura de pele. As outras vigas com dimensões idênticas foram subsequentemente ensaiadas, mas desta vez, contendo armadura de pele. O objetivo foi avaliar se, entre os resultados obtidos, houve algum aumento na resistência ao esforço de cisalhamento. Nessa segunda fase de ensaios, ocorreu uma variação no arranjo das barras, com a intenção de verificar se esse rearranjo das armaduras também resultaria em

alguma variação de resistência.

Os ensaios realizados tiveram os resultados comparados com o cálculo da resistência seguindo a teoria da norma NBR 6118 (ABNT, 2023), que serviu como um ponto comparativo entre o processo empírico e teórico.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

5.1 DOSAGEM DO CONCRETO

Inicialmente foram definidos três traços referenciais conforme a metodologia, de onde foram retiradas amostras para ensaio. Para cada traço foram produzidos seis corpos de prova cilíndricos com dimensões padrões de 100mm de diâmetro por 200mm de altura, estando em processo de cura por períodos de 7, 14 e 28 dias, respectivamente, salientando que a idade dos corpos foi considerada a partir do momento de moldagem.

Dado o determinado período de cura submersa em água, foram selecionados dois corpos de prova de cada traço para realização do ensaio de compressão axial. Uma vez realizados todos os ensaios, respeitando o período de cura e os padrões de ensaio, foi possível registrar os resultados com intuito de determinar a resistência do concreto a compressão segundo a variação do traço.

Tabela 4 - Resistência do concreto em função do traço e idade de ruptura.

dias	Traço					
	3,5		5		6,5	
	fci (MPa)	fc (MPa)	fci (MPa)	fc (MPa)	fci (MPa)	fc (MPa)
7	25,6	25,6	14,93	14,93	11,64	13,77
	24,44		12,61		13,77	
14	31,61	31,61	16,87	18,26	16,29	16,29
	26,96		18,26		15,52	
28	35,3	35,85	19,79	20,17	21,14	21,14
	35,85		20,17		17,56	

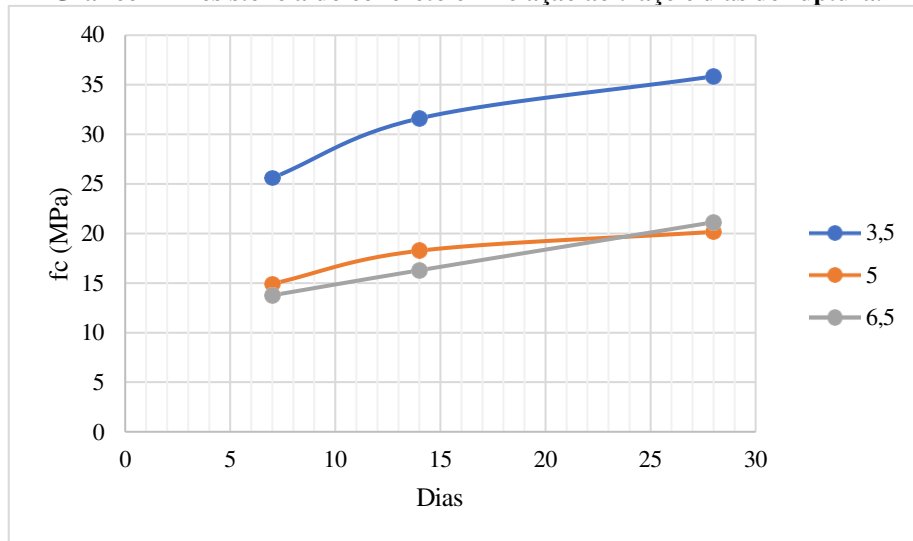
Fonte: Autoria própria, 2023.

Com as informações contidas na Tabela 4 foi possível projetar uma relação entre o traço e sua capacidade resistiva a compressão. A partir dos dados analisado foi produzido o Gráfico 1, onde está disposta de forma mais compreensível a relação entre o traço e a resistência, em que se nota também sua variação com relação a idade superior.

Apropriando-se das informações obtidas e analisadas a partir dos resultados dos ensaios, foi elaborada uma curva de resistência em função do traço realizado, tomando como base os pontos de maior resistência com idade máxima de 28 dias. A união de todos os dados resultou

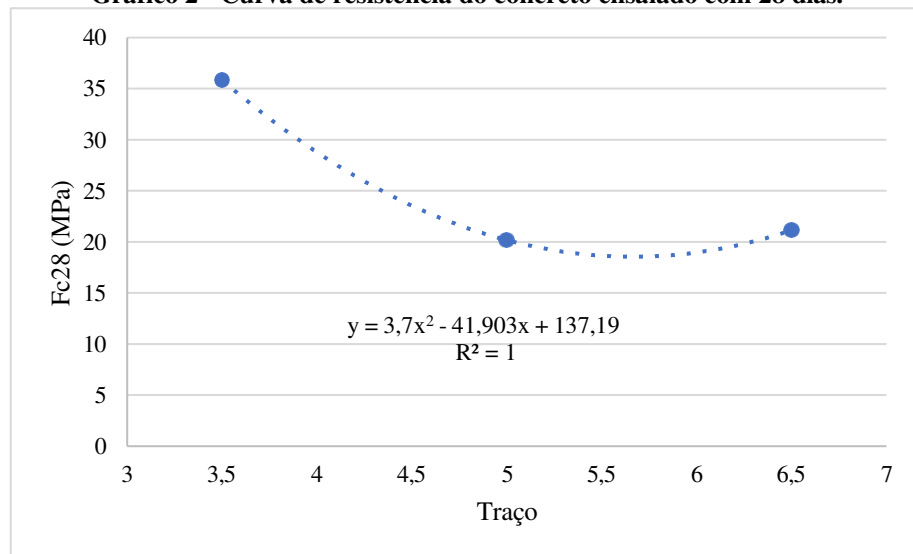
no Gráfico 2.

Gráfico 1 - Resistência do concreto em relação ao traço e dias de ruptura.



Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 2 - Curva de resistência do concreto ensaiado com 28 dias.



Fonte Autoria própria, 2023.

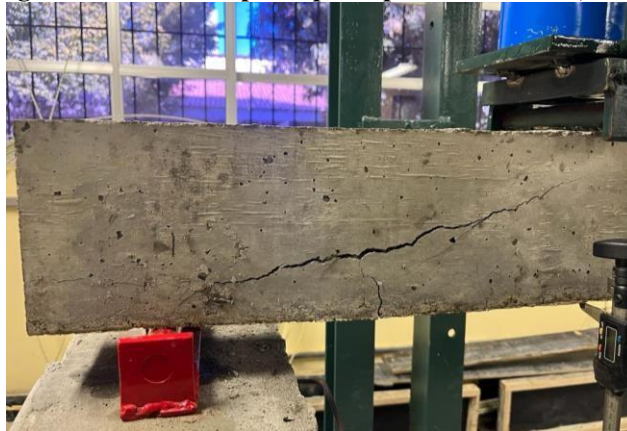
O traço ideal para este trabalho, o qual também foi utilizado para realização dos cálculos teóricos, foi de 25 MPa. Portanto, através da análise do gráfico, foi determinado o ponto de intersecção que representaria o traço ideal para atingir esta resistência. Com isso, o traço definido foi de 1:2,05:2,25.

Os cálculos para obtenção resistência referente aos mecanismos complementares ao modelo de treliça, descrito no apêndice 1.

5.2 RUPTURA DAS VIGAS NO CISALHAMENTO

As três vigas produzidas foram ensaiadas duas vezes cada uma, conforme citado na metodologia, totalizando um total de seis ensaios. A viga V1, no seu primeiro ensaio, denominado de V1A, apresentou ruptura por cisalhamento com carga máxima de 28,7 *kN*, com deslocamento máximo de 3,91 *mm*. O surgimento de fissuras inclinadas partindo do ponto de apoio com direção ao ponto de aplicação de carga caracterizou o modo de ruptura como ruptura por cisalhamento como visto na Figura 12.

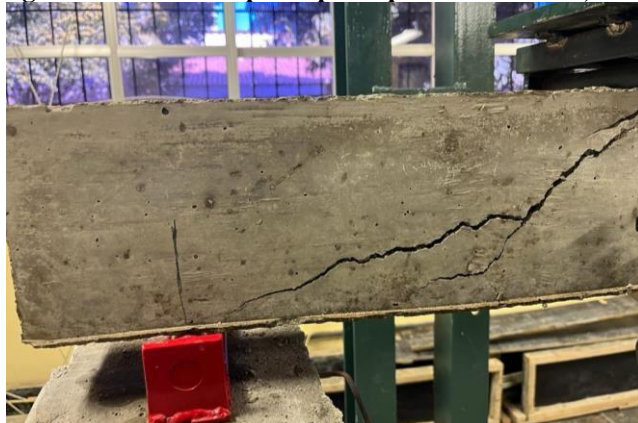
Figura 12 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V1A.



Fonte: Autoria própria, 2023

A viga V1B, segundo ensaio da viga V1, também apresentou ruptura por cisalhamento, com carga máxima de 29,52 *kN* e deslocamento máximo de 5,19 *mm*. Neste ensaio também ocorreram surgimento de fissuras inclinadas, tais quais as vistas no primeiro ensaio, projetando-se do ponto de apoio até o ponto de aplicação de carga como disposto na Figura 13.

Figura 13 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V1B.



Fonte: Autoria própria, 2023

A viga V2, também ensaiada duas vezes, denominando-se V2A e V2B, apresentou ruptura por cisalhamento em ambos os ensaios, com carga máxima de 25,39 kN e 24,25 kN , respectivamente, assim como deslocamento máximo de 3,48 mm e 3,58 mm . Tal como a viga V1, em ambos os ensaios, surgiram fissuras inclinadas a partir do ponto de apoio até o ponto de aplicação da carga, conforme as Figuras 14 e 15.

Figura 14 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V2A.



Fonte: Autorial própria, 2023

Figura 15 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V2B.



Fonte: Autorial própria, 2023.

Por fim, a viga V3, também ensaiada duas vezes, seguindo a mesma nomenclatura de ensaio das demais, V3A e V3B, teve sua ruptura por cisalhamento com cargas máximas de

30,1 kN e 22,83 kN , respectivamente. Quanto aos deslocamentos máximos, a viga, no ensaio V3A, teve deslocamento máximo de 4,78 mm . Assim como nas vigas V1 e V2, ocorreram o surgimento de fissuras inclinadas, também partindo do ponto de apoio até o ponto de aplicação de carga, como disposto nas Figuras 16 e 17.

Figura 16 -Fissuras após ruptura por cisalhamento, V3A.



Fonte: Autoria própria, 2023.

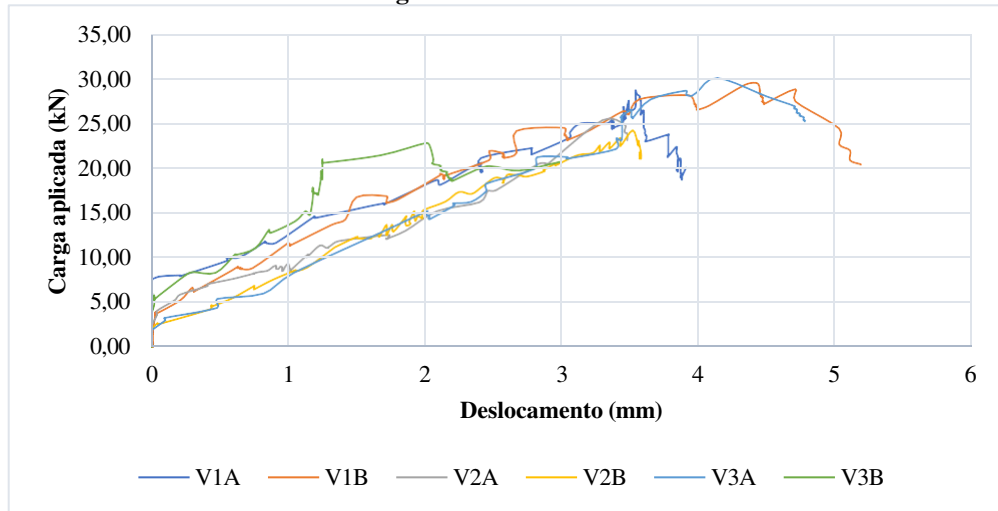
Figura 17 - Fissuras após ruptura por cisalhamento, V3B.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Com a realização e coleta de todos os resultados de ensaio foi possível a montagem do gráfico 3, onde pode-se verificar as cargas máximas e os deslocamentos máximos atingidos por cada viga nos ensaios antes descritos.

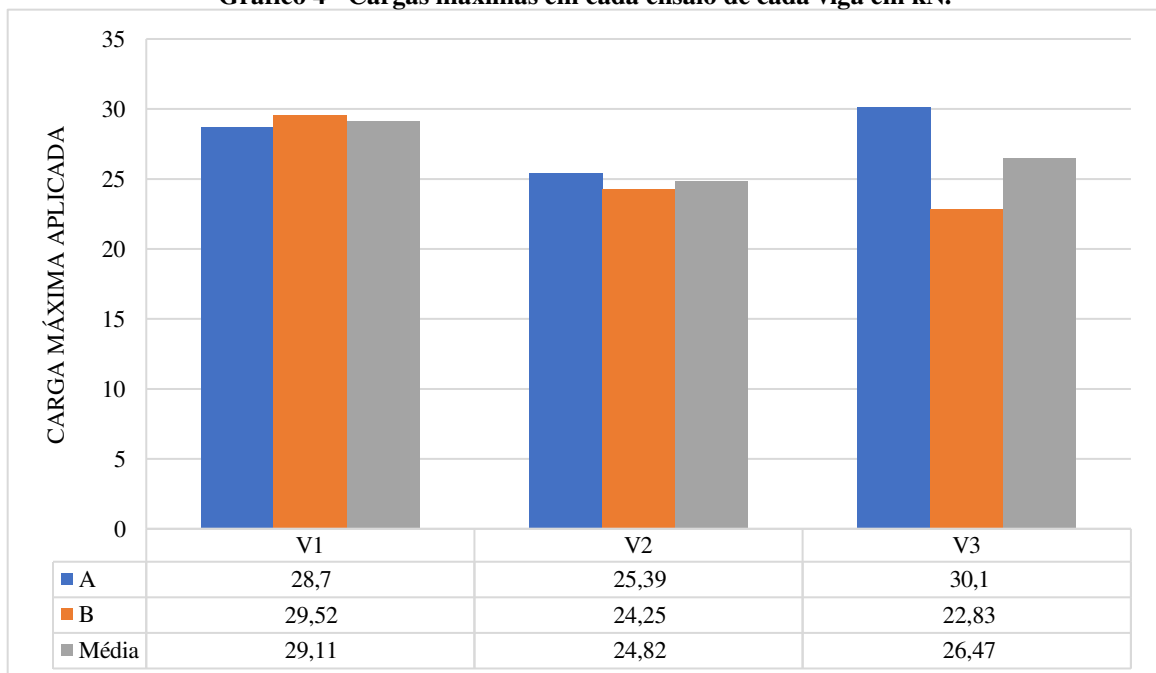
Gráfico 3 - Cargas versus deslocamentos máximos.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Já no gráfico 4 onde se verifica que, em média, a viga V1, sem armadura de pele, apresentou uma resistência 17,28% superior a viga V2 e 9,99% em relação a viga V3.

Gráfico 4 - Cargas máximas em cada ensaio de cada viga em kN.



Fonte: Autoria própria, 2023.

5.3 COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS TEÓRICOS E EMPÍRICOS

O cálculo do V_c , descrito no apêndice A, seguindo o modelo de cálculo I, descrito pela NBR (ABNT, 2023) resultou em uma resistência equivalente à $9,22 \text{ kN}$. Por outro lado, através dos ensaios foi constatado que a resistência de todas as vigas se mostrou muito superior. Em relação a viga V1, a peça resistiu, em média, quase que três vezes mais do que se previu teoricamente, e as vigas V2 e V3 cerca de duas vezes e meia a mais.

6 CONCLUSÃO

A utilização de armadura de pele como elemento de combate ao cisalhamento apresentou não aumento médio de resistência, uma vez que, a viga de referência V1 apresentou uma resistência superior às demais, que, com mesmas dimensões e maior área de aço, proveniente do reforço, apresentaram menor resistência ao esforço de cisalhamento. Por outro lado, as baixas dimensões da peça podem ter comprometido a atuação dos mecanismos complementares.

A resistência das três vigas se mostrou superior a calculada de forma teórica pelos procedimentos normativos. A V1 apresentou uma carga máxima mais do que 3 vezes maior, e resultado aproximado para as demais. Quanto as deformações, o ensaio que mais se diferenciou da viga de referência foi a V3B, apresentando uma deformação inferior a $3mm$, porém a menor resistência.

REFERÊNCIAS

- ADORNO, A. L. C. **Contribuição da armadura de pele na resistência ao cisalhamento em vigas de concreto armado**. 2020. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 1996.
- ALBAJAR, J. S. *The influence of aggregate fracture on the shear strength of reinforced concrete beams*. Londres (Inglaterra), 2008, 409p. Tese de Doutorado – Imperial College London
- ARAÚZ, A. C. **Resistência ao cisalhamento de vigas em concreto armado reforçado com fibras de aço**. 2002. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 5738**: Informação e documentação — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova — Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 5739**: Informação e documentação — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico — Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6118**: Informação e documentação — Projeto de estruturas de concreto – Procedimento — Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7222**: Informação e documentação — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – Procedimento — Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 12142**: Informação e documentação — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos – Procedimento — Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- BASTOS, P. S. Dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante. *In*: BASTOS, P. S. **Estruturas de concreto II (Disciplina)**. Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista, Campus Bauru-SP, abril 2023. 81 p. Notas de aula.
- BASTOS, P. S. Fundamentos do concreto armado. *In*: BASTOS, P. S. **Estruturas de concreto I (Disciplina)**. Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista, Campus Bauru-SP, abril 2019. 89 p. Notas de aula
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado - Segundo a NBR 6118:2014**. 4ed ed. SÃO CARLOS: EDUSFCAR, 2014. v. 01, p. 416.
- FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto: Solicitações Tangenciais**. São Paulo: Editora Pini Ltda., 2008.

GUPTA, R. S. **Principles of Structural Design: Wood, Steel, and Concrete**. Crc Press, 2019.

HASSANEAN, Y. A. **Shear response of large r. c. beams provided with side bars under repeated loading**. Faculty of Engineering, Assiut University, Assiut, Egypt, 2006.

KIM, J.; PARK, Y. Prediction of shear strength of reinforced concrete beams without web reinforcement. **ACI Materials Journal**, Estados Unidos, v. 93, n. 3, p.213-222, maio 1996.

MANZOLI, O. L. Oliver, J., Diaz, G., & Huespe, A. E. **Análise tridimensional de elementos estruturais de concreto armado via elementos finitos com descontinuidades incorporadas**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 1, p. 58-83, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**.5 ed. São Paulo: Editora Pini Ltda., 2016.

NOGUEIRA, C. G. **Desenvolvimento de modelos mecânicos, de confiabilidade e de otimização para aplicação em estruturas de concreto armado**. Tese (Doutorado), 353 páginas, Universidade de São Paulo. Maio, 2010.

OLIVEIRA FILHO, M. A. **Análise numérica e experimental do efeito de pino em lajes maciças de concreto armado**. 185 p., Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

PEREIRA, J. **Análise experimental da influência da armadura de pele no combate ao cisalhamento em vigas de concreto armado**. 2016. 16 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. 2007.

SAGASETA, J.; VOLLUM, R. L. Influence of beam cross-section, loading arrangement and aggregate type on shear strength. **Magazine of Concrete Research**, v. 63(2), p. 139-155, 2011.

SAMORA, M. S. **Avaliação dos mecanismos resistentes ao cisalhamento em concreto armado sem armadura transversal**. 140 p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

VIEIRA, G. L. e DAL MOLIN, D. C. C. **Avaliação da resistência à compressão, resistência à tração e formação de microfissuras em concretos produzidos com diferentes tipos de cimentos, quando aplicado um pré-carregamento de compressão**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 1, 2011.

WALRAVEN, J. C. **Aggregate interlock: A theoretical and experimental analysis**. Delft (Holanda), 1980, 197p. Tese de Doutorado – Delft University, 1980.

APÊNDICE A – CÁLCULO DA PARCELA DE FORÇA CORTANTE RESISTENTE POR MECANISMOS COMPLEMENTARES AO MODELO EM TRELIÇA


Para o cálculo da parcela referente aos mecanismos complementares ao modelo de treliça foi considerado um $f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$, $b_w = 10\text{cm}$ e $d = 12\text{cm}$, considerando a altura de 15cm com cobertura do concreto de 2,5cm e metade do diâmetro das barras que compõem a armadura longitudinal positiva.

Determinação do f_{ctd} , a partir das equações 1 e 2, onde foi possível chegar ao seguinte resultado:

$$\begin{aligned}f_{ct,m} &= 0,3 \cdot 25^{\frac{2}{3}} = 2,56\text{MPa} \\f_{ctk,inf} &= 0,7 \cdot 2,56 = 1,79\text{MPa} \\f_{ctd} &= \frac{1,79}{1,4} = 1,28\text{MPa} = 0,128\text{kN/cm}^2\end{aligned}$$

Por fim, a parcela obtida foi igual a:

$$V_c = 0,6 \cdot 0,128 \cdot 10 \cdot 12 = 9,22\text{kN}$$

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

Documento Digitalizado Restrito

Entrega de TCC

Assunto:	Entrega de TCC
Assinado por:	Lamec Sa
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo da Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Lamec Zianedine de Lima Andrade Sá, ALUNO (201912200032) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 16/02/2024 21:56:36.

Este documento foi armazenado no SUAP em 16/02/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1084410

Código de Autenticação: 4c09e8d874

