

Lucas Mateus Farias de Barros

Projeto de Pesquisa
Resistência ao cisalhamento de lajes espessas de
concreto armado sem armadura transversal

Brasil

2025

Lucas Mateus Farias de Barros

Projeto de Pesquisa
Resistência ao cisalhamento de lajes espessas de concreto
armado sem armadura transversal

Este projeto de pesquisa busca investigar o cisalhamento em lajes com espessura superior a 60 centímetros e o comportamento dessas estruturas. Será proposto uma atualização à ABNT NBR 6118, alinhando-a as normas internacionais e garantindo segurança em projetos estruturais complexos.

Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Programa de Pós-Graduação

Brasil
2025

Sumário

1	INTRODUÇÃO	5
2	OBJETIVOS	8
2.1	Objetivo Geral	8
2.2	Objetivos Específicos	8
3	HIPÓTESE DE PESQUISA	9
3.1	Hipótese 1	9
3.2	Hipótese 2	9
3.3	Hipótese 3	9
4	SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA	10
4.1	Modelo Clássico — A Treliça de Mörsch	10
4.2	Modelos Modernos	10
4.2.1	A Teoria do Campo de Compressão Modificada (MCFT)	11
4.2.2	A Teoria da Fissura Crítica de Cisalhamento (CSCT)	11
4.3	Normas e o Efeito de Escala	11
4.3.1	As Mudanças e Críticas ao Modelo ACI 318	12
4.3.2	Análise do Erro de Modelo da NBR 6118:2014 por Barros et al.	12
4.4	Lacunas na Literatura e Necessidade da Pesquisa	12
5	METODOLOGIA	14
6	CRONOGRAMA	16
7	RESULTADOS ESPERADOS	17
	Referências	18

1 Introdução

O **concreto simples** é um material não homogêneo, composto de agregados, cimento e água. O concreto destaca-se pela elevada resistência à compressão. Contudo, sua baixa resistência à tração limita severamente seu emprego estrutural. A combinação com barras de aço dá origem ao **concreto armado**, no qual a aderência entre o concreto e o aço permite resistir eficientemente a esforços de tração e compressão, conferindo ductilidade aos elementos. Um passo adiante, a introdução de forças de compressão por meio de cordoalhas de aço de alta resistência resulta no **concreto protendido**, que otimiza o uso do material ao controlar a fissuração e as deformações, possibilitando vãos maiores e seções mais esbeltas. (Araújo, 2023)

O comportamento ao cisalhamento do concreto, especialmente em elementos sem armadura transversal, é um fenômeno complexo. Diferentemente da flexão, governada por teorias bem consolidadas, como Bernoulli-Euler ou Timoshenko, o cisalhamento envolve múltiplos mecanismos de resistência que interagem de forma não linear. Conforme teorias como a **Teoria do Campo de Compressão Modificada** (*Modified Compression Field Theory – MCFT*) por Vecchio e Collins (1986) e a **Teoria da Fissura Crítica de Cisalhamento** (*Critical Shear Crack Theory – CSCT*) como descrito por Muttoni e Simões (2023), a resistência ao cisalhamento após a fissuração depende de um conjunto de contribuições, incluindo:

- a) a contribuição da zona de concreto comprimido não fissurada;
- b) o efeito de pino da armadura longitudinal (*dowel action*);
- c) o atrito entre as faces da fissura, o engrenamento dos agregados (*aggregate interlock*).
- d) a contribuição da armadura transversal, quando presente.
- e) resistência residual do concreto tracionado, que é desconsiderada na Teoria do Campo de Compressão Modificada (MCFT).

Elementos de maior espessura tendem a desenvolver fissuras mais abertas, o que reduz a eficácia dos mecanismos de transferência de cisalhamento pela interface, como o engrenamento dos agregados. Este fenômeno, que leva à diminuição da resistência específica com o aumento da dimensão do elemento, é conhecido como **efeito de escala** (*size effect*).

A **NBR 6118:2023**, em seu item 19.4 – “*Força cortante em lajes e elementos lineares com $b_w \geq 5d$* ” – estabelece os critérios para verificação da resistência ao cisalhamento em lajes. Em particular, o item 19.4.1 apresenta os critérios para lajes sem armadura transversal, introduzindo o fator k , definido como:

- a) para elementos em que menos de 50% da armadura inferior está ancorada até o apoio: $k = 1$;
- b) para os demais casos: $k = 1,6 - d$, não menor que 1,0, sendo d a altura efetiva da laje expressa em metros.

A origem desse coeficiente está associada a estudos experimentais conduzidos por [Hedman e Losberg \(1975\)](#), que identificaram a redução da resistência nominal ao cisalhamento com o aumento da altura efetiva (d), fenômeno conhecido como *efeito de escala* (*size effect*). Esse comportamento é resultado da natureza quase-frágil do concreto armado, cuja resistência ao cisalhamento diminui em elementos de maior profundidade devido à propagação instável de fissuras diagonais. O fator k tem origem empírica, derivada da análise de dados experimentais, e sua formulação visa capturar essa tendência observada.

Dada essa origem empírica, o fator k não está diretamente relacionado a um modelo mecânico específico, mas sim a uma correlação prática que reflete o comportamento observado em ensaios. Dessa forma, sua aplicação é limitada a lajes com espessura usual, ou seja, inferior a 60 centímetros, conforme orientações do [Instituto Brasileiro do Concreto \(IBRACON\) \(2020\)](#).

Atualmente, com o aumento de obras de infraestrutura, como as de linhas de metrô em São Paulo e outras cidades brasileiras, torna-se comum a presença de lajes maciças com espessura superior a 60 centímetros. Como orientado pelo [Instituto Brasileiro do Concreto \(IBRACON\) \(2020\)](#), nesse caso é comum o uso do Eurocode 2, visto que a norma tem incorporado o fator de escala para lajes espessas em sua seção 6.2.2(1), onde o fator k é definido como:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (1.1)$$

onde d é a altura efetiva da laje em milímetros. Esse fator reduz a resistência ao cisalhamento em lajes espessas, refletindo o efeito de escala observado experimentalmente.

O [American Concrete Institute \(2019\)](#), também introduziu o efeito de escala, (λ_s) tal que:

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + \frac{d}{10}}} \leq 1,0 \quad (1.2)$$

com d em polegadas. Esse fator λ_s pode reduzir a resistência ao cisalhamento em lajes usuais em até 40% e em fundações diretas espessas em até 2,5 vezes. Essa modificação têm gerado debate técnico significativo na comunidade internacional. Pesquisadores como [Marquesi et al. \(2021\)](#) apontam que a calibração deste fator foi realizada com base em um banco de dados que misturou indiscriminadamente ensaios de faixas de lajes e uma grande quantidade de vigas de pequenas dimensões, resultando em variabilidades muito distintas quando separados.

Esta abordagem metodológica é questionável, pois lajes e vigas apresentam estados limites últimos com comportamentos estruturais substancialmente diferentes. A inclusão de vigas de pequenas dimensões no banco de dados pode ter introduzido um viés significativo, uma vez que esses elementos não refletem adequadamente o comportamento de lajes espessas.

Esta pesquisa justifica-se como uma contribuição para o projeto de lajes espessas e possível atualização da NBR 6118 que alinhe a prática nacional às normas internacionais, com o objetivo de garantir a segurança estrutural e promover a otimização de projetos, evitando tanto o risco de rupturas frágeis quanto o superdimensionamento.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Investigar o comportamento ao cisalhamento de lajes espessas com o intuito de propor ajustes à formulação da ABNT NBR 6118, assegurando sua aplicabilidade em estruturas nacionais com elevada complexidade.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Revisão bibliográfica e normativa sobre o cisalhamento em elementos de concreto sem armadura transversal, com ênfase na evolução dos métodos de cálculo e posteriormente nos modelos mecânicos que fundamentam o efeito de escala e outros parâmetros influentes;
- b) A partir de bancos de dados experimentais, especialmente o de [Kuchma *et al.* \(2019\)](#), será avaliado o comportamento e os modos de ruptura em Estados Limites Últimos (ELU);
- c) Avaliar as formulações propostas pela [Associação Brasileira de Normas Técnicas \(2023\)](#), [Comité Européen de Normalisation \(2004\)](#), [American Concrete Institute \(2019\)](#) e [Fédération Internationale du Béton \(2024\)](#) do ponto de vista da resistência de lajes espessas;
- d) Desenvolver e propor uma extensão à formulação existente na ABNT NBR 6118, incorporando um termo mecanicamente consistente que considere o efeito de escala e outros parâmetros relevantes, visando a sua potencial inclusão em futuras revisões da norma.
- e) Calibrar os coeficientes parciais de segurança da formulação proposta utilizando a Teoria da Confiabilidade Estrutural, para garantir um nível de segurança (índice de confiabilidade β) consistente com os alvos normativos para modos de ruína frágeis.

3 Hipótese de Pesquisa

Com base na literatura recente e nas discussões normativas internacionais, levantam as seguintes hipóteses:

3.1 Hipótese 1

A resistência ao cisalhamento de lajes espessas (> 60 cm) sem armadura transversal é superestimada pelas fórmulas atuais da ABNT NBR 6118:2023, devido à ausência da consideração adequada do efeito de escala (size effect), fenômeno já incorporado em algumas normas internacionais. A pesquisa buscará quantificar essa superestimação, comparando os resultados previstos pela norma brasileira com dados experimentais de lajes espessas.

3.2 Hipótese 2

A variabilidade da resistência ao cisalhamento em lajes espessas, medida pelo coeficiente de variação (COV) dos resultados experimentais normalizados por um modelo teórico robusto, apresenta um comportamento distinto daquele observado em elementos esbeltos. A pesquisa investigará se esta variabilidade é maior ou menor, quantificando o impacto do volume de concreto na dispersão estatística da resistência e suas implicações para os coeficientes de segurança.

3.3 Hipótese 3

A calibração da equação e da formulação da norma brasileira, considerando bancos de dados de testes experimentais específicos em lajes de grande espessura, permitirá evitar o uso desnecessário de armadura transversal.

4 Síntese bibliográfica

A resistência ao cisalhamento em elementos de concreto sem armadura transversal é um tema amplamente estudado na engenharia estrutural, dada a sua complexidade e importância para a segurança das estruturas. O desenvolvimento de modelos de cálculo para este fenômeno remonta ao final do século XIX e início do século XX com a treliça de Mörsch ([Mörsch, 1909](#)), que propôs um modelo simplificado para entender o comportamento do concreto ao cisalhamento.

4.1 Modelo Clássico — A Treliça de Mörsch

Esse modelo, também conhecido como analogia da treliça clássica de Ritter-Mörsch, representa o comportamento da viga fissurada como uma treliça isostática. Onde:

- a) os tirantes representam as armaduras, que resistem às forças de tração;
- b) as bielas representam o concreto comprimido, que resiste às forças de compressão;

[Leonhardt \(1964\)](#) realizou ensaios que demonstraram que os estribos verticais eram suficientemente capazes de resistir ao cisalhamento e que a resistência não é tão diretamente ligada às barras longitudinais como inicialmente proposto. Mais importante, ele propôs a redução da quantidade de armadura transversal ao sugerir a introdução de uma parcela de resistência à força cortante atribuída ao concreto (V_c). Tal componente veio da observação de que em vigas com armadura de cisalhamento reduzida a resistência observada era superior à prevista pela treliça clássica.

A introdução do componente V_c foi um avanço significativo, pois reconheceu que o concreto fissurado ainda possui capacidade de resistir ao cisalhamento, mesmo na ausência de armadura transversal. Entretanto existiu, e ainda existe, um debate considerável sobre a magnitude e a formulação adequada para esse componente, dada a complexidade do comportamento do concreto sob cargas de cisalhamento e dado que os ensaios experimentais de Leonhardt foram limitados tanto em questão de geometria, materiais, taxa de armadura e duração do carregamento.

4.2 Modelos Modernos

Com o surgimento de novas necessidades das infraestruturas urbanas e offshore, como plataforma de petróleo, novos modelos foram propostos com objetivo de melhor representar o comportamento do concreto em cisalhamento.

4.2.1 A Teoria do Campo de Compressão Modificada (MCFT)

Vecchio e Collins (1986) propuseram a Teoria do Campo de Compressão Modificado (MCFT), que representa um avanço significativo na compreensão do comportamento do concreto ao cisalhamento. A MCFT considera o concreto fissurado como um material anisotrópico, onde a resistência ao cisalhamento é influenciada por múltiplos fatores, incluindo a contribuição do concreto comprimido, o efeito de pino da armadura longitudinal e o atrito entre as faces da fissura. Os principais pontos trazidos por essa teoria incluem:

- a) Relações baseadas em tensões e deformações médias: O modelo não considera tensões em pontos específicos, mas sim valores médios em uma área que inclui várias fissuras.
- b) Consideração do "amolecimento" do concreto: A teoria reconheceu que o concreto sob compressão diagonal se torna mais "mole" e menos resistente quando submetido a deformações de tração transversais
- c) Interação entre diferentes mecanismos de resistência: A MCFT integra a contribuição do concreto comprimido, o efeito de pino da armadura longitudinal e o atrito entre as faces da fissura, proporcionando uma visão mais completa do comportamento ao cisalhamento.

4.2.2 A Teoria da Fissura Crítica de Cisalhamento (CSCT)

Muttoni, Fernández Ruiz e Simões (2017) desenvolveu a Teoria da Fissura Crítica de Cisalhamento (CSCT) que parte de um princípio diferente. A teoria propõe que a ruptura por cisalhamento não vem da formação de diversas mini-fissuras, e sim de uma fissura crítica. A largura da fissura, por sua vez, depende da deformação da armadura longitudinal, criando uma relação direta entre flexão e cisalhamento. Este modelo tem bons resultados para explicar de forma racional o efeito de escala (*size effect*), e foi a base de modificações no fib Model Code 2010 e serviu de base para as novas expressões de cálculo da segunda geração do Eurocode 2.

4.3 Normas e o Efeito de Escala

A contínua pesquisa na área de cisalhamento tem levado a uma revisão crítica dos modelos presentes nas normas técnicas, tanto no Brasil quanto no exterior. Análises recentes, utilizando extensos bancos de dados experimentais, têm quantificado as imprecisões de modelos estabelecidos e guiado o desenvolvimento de novas formulações.

4.3.1 As Mudanças e Críticas ao Modelo ACI 318

Marquesi *et al.* (2021) realizaram uma análise crítica do modelo de cisalhamento do ACI 318-19, o modelo de cálculo do ACI 318-14 sofria com críticas devido a sua alta variabilidade e por não considerar o efeito de escala. A revisão de 2019 introduziu o fator de escala (λ_s) onde:

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + \frac{d}{10}}} \leq 1,0 \quad (4.1)$$

e considera a influência da taxa de armadura ($(\rho_w)^{\frac{1}{3}}$). Essa mudança foi baseada em extensos bancos de dados desenvolvidos em colaboração entre o comitê ACI-ASCE 445 e o comitê alemão DAfStb. Entretanto, ao misturar ensaios de vigas e lajes, a variabilidade dos resultados aumentou significativamente. Marquesi *et al.* (2021) demonstrou que para lajes espessas, o resultado proposto se tornou mais seguro, mas para lajes usuais, como uma laje de 18 cm, a resistência calculada foi reduzida em cerca de 33% (dividida por 1,5). Para uma sapata de 75 cm, a redução chegou a quase 45% (dividida por 1,8). Essa mudança levantou a questão de como justificar a segurança de inúmeras lajes existentes projetadas com os critérios anteriores e que não apresentam patologias.

4.3.2 Análise do Erro de Modelo da NBR 6118:2014 por Barros et al.

Um estudo de Barros, Beck e Bittencourt (2021) analisou o mesmo banco de dados utilizado por Kuchma *et al.* (2019) e outros para avaliar o desempenho da NBR 6118:2014. Os resultados obtidos indicaram que a norma brasileira apresentava um coeficiente de variação (COV) de 0,291 e um desvio padrão de 0.301. Esses valores sugerem que a NBR 6118:2014 não apresenta um resultado adequado para um largo conjunto de dados. Tendendo a superestimar a resistência ao cisalhamento em lajes espessas. Entretanto, ao se analisar a equação 4.3.2 proposta por Barros, Beck e Bittencourt (2021) e os gráficos de dispersão apresentados, percebe-se a similaridade com os dados apresentados por Kuchma *et al.* (2019), sugerindo que houve a combinação indiscriminada de ensaios de vigas e lajes, o que pode ter influenciado negativamente na precisão dos resultados, especialmente levando em conta que vigas sem armadura de cisalhamento não são permitidas pela NBR 6118.

$$V_{Rd1} = 1.35 \times \left(\frac{0.6}{d}\right)^{0.4} \times (\rho)^{\frac{1}{3}} \times 0.25 f_{ctd} \times d \times b_w \quad (4.2)$$

4.4 Lacunas na Literatura e Necessidade da Pesquisa

Apesar dos avanços significativos na compreensão do comportamento ao cisalhamento em elementos de concreto, ainda existem lacunas importantes. A maioria dos

estudos concentra-se em elementos esbeltos, como vigas, enquanto lajes espessas, que são comuns em infraestruturas modernas, recebem menos atenção, e a extrapolação de fórmulas propostas para esses elementos esbeltos pode levar a erros significativos. Logo, é de extrema importância a análise específica de lajes espessas e da análise de confiabilidade desse resultado, de maneira que a recomendação de projeto da NBR 6118 conduza a resultados adequados para lajes espessas, que são cada vez mais comuns em obras de infraestrutura no Brasil.

5 Metodologia

A seguinte metodologia será seguida para a produção da pesquisa.

- a) Estudo detalhado da evolução histórica e das bases conceituais das disposições de cisalhamento nas normas ABNT NBR 6118, Eurocode 2, ACI 318 e fib Model Code 2010;
- b) A análise crítica das teorias, como:
 - Teoria do Campo de Compressão Modificada (MCFT);
 - Modelos de Biela e Tirante e Modelos de Dente (Tooth Models);
 - a Teoria da Fissura Crítica de Cisalhamento (CSCT).

que servirão de base para o desenvolvimento de uma formulação mecanicamente consistente para a ABNT NBR 6118, em vez de uma abordagem empírica;

- c) Será utilizado como base principal o banco de dados desenvolvido e analisado pelo Comitê Conjunto ACI–ASCE 445 e pelo Comitê Alemão para Concreto Estrutural (*DAbStb*), que fundamentou as alterações do ACI 318–19, conforme detalhado por [Kuchma et al. \(2019\)](#) que pode ser obtido após demanda ao comitê ACI–DAbStb disponível em (<https://dafstb.de/aci-dafstb.html>). Serão selecionados ensaios com lajes de espessura superior a 60 centímetros para a análise;
- d) Para assegurar um número adequado de ensaios, será realizada uma busca bibliográfica adicional em bases de dados acadêmicas e técnicas.
- e) Será realizada uma análise estatística completa das razões para cada norma, calculando a média (indicador de acurácia), o desvio padrão e o coeficiente de variação (COV, indicador de precisão);
- f) Desenvolvimento de formulações que possam ser incorporadas à norma brasileira, incluindo a aplicabilidade para elementos estruturais espessos;
- g) A calibração dos coeficientes parciais de segurança da nova proposta será realizada com base na Teoria da Confiabilidade Estrutural. Serão definidos um estado limite de falha e as variáveis aleatórias relevantes, como a resistência do concreto e as cargas atuantes. O objetivo será atingir um índice de confiabilidade (β) alvo, consistente com o que é preconizado para rupturas frágeis, similar ao adotado na ABNT NBR 6118;
- h) Para o caso de uma única formulação para a resistência ao cisalhamento de elementos não armados, a fórmula será calibrada para não modificar o resultado

atual para lajes esbeltas, dado o desempenho histórico da [Associação Brasileira de Normas Técnicas \(2023\)](#) nesse campo;

- i) Avaliar, a partir dos dados de variabilidade da resistência, espessura, posição do aço no concreto, entre outros, se a formulação obtida se mantém segura para a variabilidade presente na aplicação real desse tipo de estrutura.

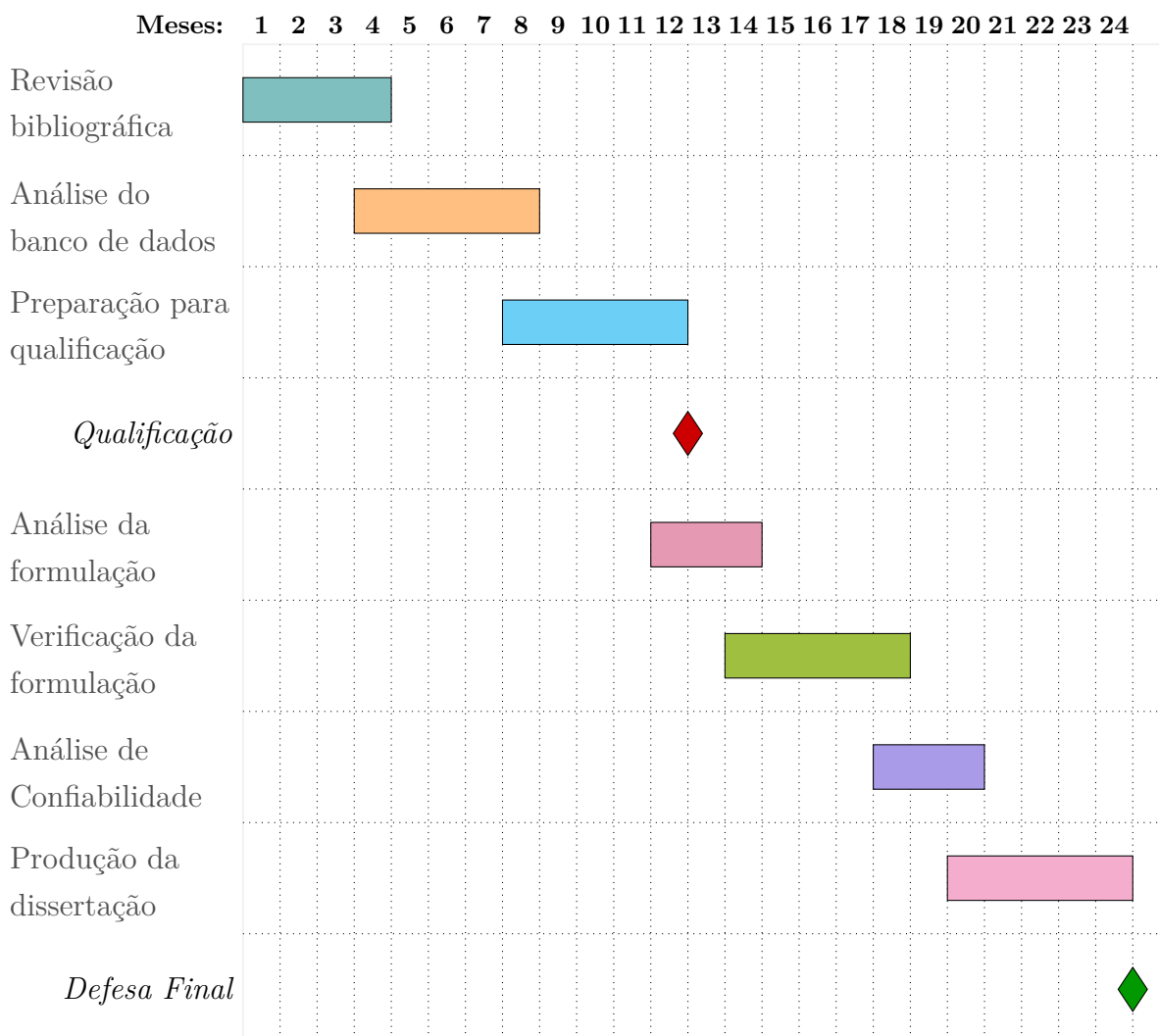
Para a execução deste projeto de pesquisa, serão necessárias as seguintes infraestruturas:

- a) Acesso a bases de dados acadêmicas e técnicas, como Scopus, Web of Science, Google Scholar, entre outras, para a revisão bibliográfica;
- b) Software estatísticos ou linguagens de programação adequadas para a análise dos dados experimentais.

6 Cronograma

O cronograma previsto para a execução do projeto de pesquisa é:

- a) Mês 1 à Mês 4 do projeto – Revisão bibliográfica;
- b) Mês 4 à Mês 8 do projeto – Análise do banco de dados;
- c) Mês 8 à Mês 12 do projeto – Preparação da documentação para a qualificação;
- d) Mês 12 à Mês 14 do projeto – Análise inicial da formulação proposta;
- e) Mês 14 à Mês 18 do projeto – Verificação da formulação proposta;
- f) Mês 18 à Mês 20 do projeto – Análise do índice de confiabilidade β ;
- g) Mês 20 à Mês 24 do projeto – Produção da dissertação.



7 Resultados Esperados

Essa pesquisa busca abordar uma lacuna crítica na engenharia estrutural brasileira: a verificação do cisalhamento em lajes espessas (≥ 60 centímetros). Conforme discutido anteriormente, a extrapolação das fórmulas da ABNT NBR 6118:2023 para tais estruturas pode comprometer a segurança, uma preocupação crescente diante da execução de obras de infraestrutura cada vez mais complexas, como as das linhas de metrô de São Paulo. A necessidade de alinhar a prática nacional às normas internacionais, que já incorporam o efeito de escala, justifica a presente investigação.

Ao final desta pesquisa, espera-se obter como principal resultado uma formulação para a resistência ao cisalhamento em lajes espessas, que possa ser incorporada na ABNT NBR 6118 em próximas revisões. Tal contribuição busca impactar a engenharia brasileira em três frentes:

- a) Atualização normativa, alinhando a norma brasileira com o estado da arte internacional;
- b) Fornecimento de uma ferramenta de verificação mais segura e precisa para engenheiros projetistas, evitando tanto o superdimensionamento custoso quanto o risco de rupturas frágeis;
- c) Aprofundamento do entendimento sobre o efeito de escala e o comportamento de estruturas de concreto em situações não cobertas adequadamente pela literatura técnica nacional.

Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318-19**: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. Farmington Hills, 2019. Citado nas pp. 6, 8.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. 5ª Edição. Rio de Janeiro: Dunas, 2023. v. 1. Citado na p. 5.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: [s. n.], 2023. Citado nas pp. 8, 15.

BARROS, Vinicius Paes de; BECK, André Teófilo; BITTENCOURT, Túlio Nogueira. Cisalhamento unidirecional de peças em concreto armado sem armadura transversal: análise do erro de modelo da NBR6118:2014. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 14, n. 1, e14112, 2021. DOI: [10.1590/S1983-41952021000100012](https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000100012). Citado na p. 12.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings**. Brussels: [s. n.], 2004. Citado na p. 8.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **fib Model Code for Concrete Structures 2020**. Lausanne: fib - International Federation for Structural Concrete, 2024. ISBN 978-2-88394-175-5. Citado na p. 8.

HEDMAN, G.; LOSBERG, A. **Shear strength of reinforced concrete slabs**. Gothenburg, Sweden, 1975. Citado na p. 6.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON). **ABNT NBR 6118:2014: comentários e exemplos de aplicação**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2020. Coordenação de Suely Bueno e Alio Kimura. Citado na p. 6.

KUCHMA, Daniel A.; WEI, Sihang; SANDERS, David H.; BELARBI, Abdeldjelil; NOVAK, Lawrence C. Development of the One-Way Shear Design Provisions of ACI 318-19 for Reinforced Concrete. **ACI Structural Journal**, Farmington Hills, v. 116, n. 4, p. 285–295, jul. 2019. DOI: [10.14359/51716739](https://doi.org/10.14359/51716739). Citado nas pp. 8, 12, 14.

LEONHARDT, Fritz. **On the reduction of shear reinforcement as derived from the Stuttgart shear tests 1961-1963**. Artigo apresentado no 7º congresso do IABSE. 1964. Disponível em: <http://retro.seals.ch/digbib/view?pid=bse-cr-001:1964:7::1948>. Acesso em: 15 fev. 2025. Citado na p. 10.

MARQUESI, Matheus; STUCCHI, Fernando; CARVALHO, Matheus; SILVA, Carolina. One way shear and punching shear without stirrups. *In: ANAIS do fib Symposium*. Lisboa: [s. n.], 2021. Citado nas pp. 6, 12.

MÖRSCH, Emil. **Concrete-Steel Construction (Der Eisenbetonbau)**. 3. ed. New York: The Engineering News Publishing Company, 1909. Tradução de E. P. Goodrich. Edição revisada e aumentada da edição alemã de 1908. Citado na p. 10.

MUTTONI, Aurelio; FERNÁNDEZ RUIZ, Miguel; SIMÕES, João T. The theoretical principles of the critical shear crack theory for punching shear failures and derivation of consistent closed-form design expressions. **Structural Concrete**, p. 1–17, 2017. DOI: [10.1002/suco.201700088](https://doi.org/10.1002/suco.201700088). Citado na p. 11.

MUTTONI, Aurelio; SIMÕES, João Tiago. **Shear and punching shear according to the Critical Shear Crack Theory: background, recent developments and integration in codes**. v. 16. [S. l.]: IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto, 2023. DOI: [10.1590/S1983-41952023000300002](https://doi.org/10.1590/S1983-41952023000300002). Citado na p. 5.

VECCHIO, F. J.; COLLINS, M. P. The modified compression-field theory for reinforced concrete elements subjected to shear. **ACI Journal Proceedings**, Farmington Hills, v. 83, n. 2, p. 219–231, mar. 1986. Citado nas pp. 5, 11.