



AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE PUNÇÃO EM LAJES COGUMELO COM ARMADURA DE CISALHAMENTO VIA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

João C. Pantoja

joaocpantoja@gmail.com

Universidade de Brasília – UnB – FAU (Departamento de Tecnologia)

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - DF - CEP 70910-900.

Thayane S. da Silva

thayane.santana.s@hotmail.com

Centro Universitário de Brasília – UniCEUB

SEPN 707/907, Asa Norte, Brasília-DF, 70790-075.

Nathaly S. Narvaez

natalysarasty@gmail.com

Centro Universitário de Brasília – UniCEUB (Departamento de Engenharia)

SEPN 707/907, Asa Norte, Brasília-DF, 70790-075.

Abstract. *O objetivo deste trabalho é avaliar os índices de segurança de punção em lajes cogumelo com armadura de cisalhamento via análise de confiabilidade. As variáveis aleatórias consideradas no problema serão geradas randomicamente considerando cada tipo de distribuição de probabilidade envolvida no problema e parâmetros consagrados na literatura. Foram feitas variações de perímetro crítico, taxa de armadura da laje, coeficiente de resistência do concreto à compressão, coeficiente de resistência do aço à tração e cargas permanente e acidental com o intuito de se analisar o nível de segurança para as oscilações realizadas. A análise foi feita para a formulação NBR 6118:2014 a fim de se estudar o comportamento das variáveis.*

Keywords: *punção, análise de confiabilidade, índice de segurança, laje cogumelo.*

1 INTRODUÇÃO

A estrutura de uma edificação deve ter garantia de segurança, funcionalidade e durabilidade durante toda sua vida útil, mantendo suas características de projeto a um custo razoável de execução e manutenção.

Na realização dos projetos estruturais o projetista convive com a existência de incertezas. Diversas vezes os dados existentes são incompletos ou insuficientes e de certo contém variabilidades. A consequência destas incertezas é a existência de uma probabilidade de falha da estrutura (Lima, E. C. P.; Sagrilo, L. V. S., 2002). O risco de falha da estrutura deve estar dentro de margens aceitáveis de segurança. A análise de confiabilidade estrutural tem como objetivo a avaliação da probabilidade de que a mesma não ultrapasse tais limites. Neste trabalho a análise da confiabilidade será utilizada como ferramenta para a avaliação de segurança de punção em lajes.

As lajes são elementos estruturais laminares horizontais com superfície média plana, submetida a solicitações predominantemente perpendiculares à sua superfície média, destinada a receber as cargas verticais que atuam na estrutura, transmitindo-as para os respectivos apoios. Quando a laje é apoiada diretamente nos pilares ela é denominada de laje cogumelo ou lisa.

Nos últimos anos o uso do sistema de lajes lisas tem se tornado bastante habitual, principalmente em edificações comerciais, devido à ausência de vigas este sistema permite uma grande flexibilidade no layout da edificação, como também na distribuição das instalações elétricas e hidráulicas. É possível citar outras diversas vantagens no uso deste tipo de laje, como simplificação na execução das formas e menor desperdício, redução da altura total do edifício e maior facilidade no lançamento, adensamento e desforma do concreto.

Porém este sistema também apresenta certas desvantagens, dentre as quais, pode-se destacar a possibilidade de uma ruptura por punção na região de ligação laje-pilar, por uma carga menor que do que aquela que geraria a ruína por flexão.

A punção está associada a esforços de cisalhamento e provoca uma separação completa entre a laje e o pilar. Ela ocorre repentinamente, com pequeno ou sem nenhum aviso prévio, podendo levar a ruína de toda a estrutura, por colapso progressivo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial Teórico

2.1.1 Segurança Estrutural

O conceito de segurança estrutural está vinculado à capacidade de uma determinada estrutura suportar as diversas ações a ela impostas durante sua vida útil, satisfazendo também às condições funcionais às quais sua construção foi destinada. É possível observar uma estreita relação entre a confiabilidade e a segurança de uma estrutura.

A questão da segurança estrutural está baseada nos estados limites, os quais representam as diversas interfaces existentes entre um desempenho admissível ou não admissível da estrutura (Beck, A. T., 2010).

Regras que limitem os valores das ações, deslocamentos e deformações presentes numa estrutura representam o nível de segurança associados a ela. Limites dessa natureza existem em decorrência da evolução do conhecimento na engenharia e são modificados constantemente. O grau de incerteza presente nas variáveis pode causar imprevistos que as hipóteses determinísticas mesmo convenientemente utilizadas não são capazes de detectar.

2.1.2 Análise de Confiabilidade

É nesse contexto que o estudo da confiabilidade é inserido, na tentativa de prever incertezas e flutuações nas várias estruturas. Seu objetivo maior é a determinação de uma possibilidade de falha em um cenário generalizado. Assim a confiabilidade pode então ser definida como a probabilidade da estrutura em desempenhar a função pra a qual foi projetada durante toda sua vida útil medindo as suas chances de violar um estado limite por falha ou por não satisfazer a um desempenho esperado (Neves, 2004). Estatisticamente podemos definir a confiabilidade como um evento complementar da possibilidade de falha, na forma:

$$C = 1 - P_f \quad (1)$$

Onde P_f é a probabilidade de falha da estrutura durante sua vida útil, ou seja, a probabilidade de ocorrência de uma situação de colapso nesse período em que a confiabilidade é aplicada. No caso de obras civis, valores de probabilidade de falha na ordem de 10^{-7} a 10^{-3} são utilizados.

A confiabilidade permite obter os diversos modos de falha da estrutura por meio do cálculo da probabilidade de falha (P_f), dessa forma se mostra essencial para uma tomada de decisão a respeito da segurança estrutural e da viabilidade econômica.

Para o cálculo da P_f é necessário determinar os estados limites da interface de falha/segurança a partir da função $g(x)$, equação do estado limite, e das diversas variáveis de projeto x , de acordo com a fórmula a seguir (Beck, A. T., 2010):

$$g(x) = g(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Por meio dessa equação pode-se obter um conjunto com todos os pontos do espaço amostral $X(n)$ denominado domínio de falha (Df) e domínio de segurança (Ds) que representam justamente esse limite em que a estrutura estará segura ou sofrerá falha, conforme indicado na Figura 2.1.

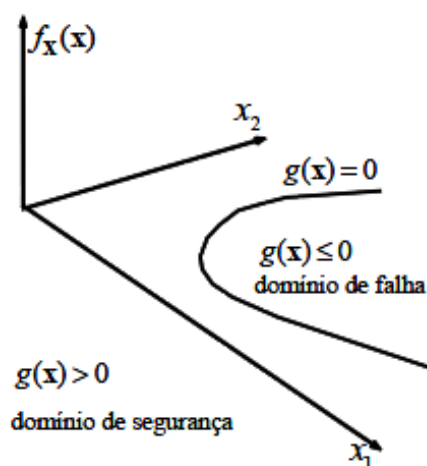


Figura 2.1 - Equação de estado limite e domínios de falha e não-falha.

A falha acontece quando parte ou toda estrutura não exerce a função à qual se destina de forma satisfatória.

2.1.3 Método Monte Carlo

É um método de amostragem artificial que utiliza sequências de números aleatórios para desenvolver simulações. Deve ser empregado em problemas com variáveis aleatórias em que as distribuições de frequências já estão bem definidas. Assim, simulação de Monte Carlo é um método estatístico aplicado na solução de experimentos aleatórios com uso da geração de amostras e da distribuição das probabilidades, permitindo a observação do desempenho de uma variável de interesse.

Nesse caso, a simulação é utilizada para analisar uma situação de risco. É considerada apenas uma aproximação, porém quanto maior o número de amostras obtidas melhor será a previsão do comportamento.

Primeiramente, no método, é gerada uma amostra aleatória de tamanho N , que na maioria dos casos é uma amostra ampla para reduzir os valores da probabilidade de falha (Saraiva, J. M. F., 1997). Após isso são definidas as suas distribuições e feitas simulações para as variáveis com base na função de densidade de probabilidade. A partir dos resultados obtidos faz-se uma avaliação.

As amostras são geradas e colocadas em coordenadas cartesianas, em um intervalo entre 0 e 1, conta-se o número de vezes em que o ponto cai dentro da área especificada e dividindo esse valor pelo N , número de amostras geradas, encontra-se a probabilidade de atingir essa área. Utilizando a simulação para a determinação das amostras consegue-se uma função de falha otimizada (Souza, L. P., 2005). A Figura 2.2 representa a função distribuição teórica ajustada às frequências acumuladas dos valores observados. Dessa forma, pode-se verificar a qualidade do ajuste obtido e avaliar os resultados da probabilidade de falha da estrutura.

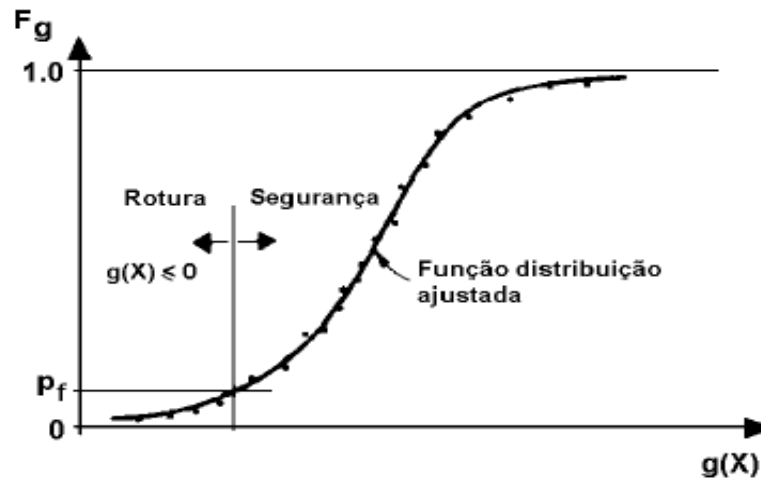


Figura 2.2 -Função distribuição teórica ajustada às frequências acumuladas dos valores observados.

Assim a probabilidade de falha (P_f) é calculada da forma descrita a seguir:

$$P_f = \frac{NF}{n} \quad (3)$$

Onde NF corresponde ao número de falhas e n ao número de simulações realizadas, que neste trabalho corresponde à 500.000 simulações.

2.1.4 Punção

De acordo com a NBR 6118:2014, a punção é um Estado Limite Último, determinado por cisalhamento no entorno de forças concentradas. É decorrente do acúmulo de tensões na região da ligação laje-pilar, a qual esta submetida tanto ao esforço cortante como ao momento fletor negativo. Existem maneiras de se minimizar as cargas atuantes na região, pode-se aumentar a espessura da laje, utilizar capitéis, adotar um concreto de alta resistência e colocar armadura de cisalhamento. O rompimento causado por punção se dá de maneira abrupta e com pouco ou sem nenhum aviso prévio, conforme mostrado na Figura 2.3.



Figura 2.3 – Rompimento de laje por punção.

A superfície de ruína para pilares internos, com lajes e carregamentos simétricos, apresenta uma forma troncônica ou tronco-piramidal, partindo do contorno da área carregada e estendendo até a outra face, com uma inclinação que varia de 30° a 35° em relação ao plano médio da laje. Para pilares de canto e de borda, a superfície de ruína se altera junto às bordas livres, permanecendo, no entanto, com a mesma forma dos casos simétricos, junto ao canto interno dos pilares de canto e junto à face interna dos pilares de borda.

A carga de ruptura em lajes cogumelo pode ser previstas através do cálculo da tensão nominal de cisalhamento atuante em uma das superfícies de controle e comparando-se esta tensão com a resistência do concreto ao cisalhamento. A base das normas e modelos de cálculo é a superfície de controle (também chamada de superfície crítica). Basicamente, a diferença entre os modelos é a superfície que é considerada de controle por cada um. A seguir serão apresentados, respectivamente, alguns critérios de dimensionamento apresentados nas normas estudadas neste trabalho.

2.1.5 NBR 6118:2014

O modelo de cálculo da NBR 6118 corresponde à verificação do cisalhamento em duas ou mais superfícies críticas definidas no entorno de forças concentradas (Figura 2.4). Na primeira superfície crítica (contorno C), do pilar ou da carga concentrada deve ser verificada indiretamente a tensão de compressão diagonal do concreto, através da tensão de cisalhamento.

Na segunda superfície crítica (contorno C') afastado $2d$ do pilar ou carga concentrada, deve ser verificada a capacidade de ligação à punção, associada à resistência à tração diagonal. Esta verificação também se faz através de uma tensão de cisalhamento, no contorno C'. Caso haja necessidade, a ligação deve ser reforçada por armadura transversal.

A terceira superfície crítica (contorno C'') apenas deve ser verificada quando for necessário colocar armadura transversal .

Quando se trata de um caso de pilar interno com carregamento simétrico a tensão de cisalhamento de sollicitação deve ser dada pela Eq. 6:

$$\tau_{sd} = \frac{P_{sd}}{u \times d} \quad (4)$$

Onde:

d = altura útil da laje ao longo do contorno crítico C' , externo ao contorno C da área de aplicação da força e deste distante $2d$ no plano da laje. Deve ser calculado como a média da soma das alturas úteis nas duas direções ortogonais (dx e dy);

u = perímetro do contorno crítico C' ;

ud = área da superfície crítica;

P_{sd} = força ou a reação concentrada de cálculo.

A força de punção P_{sd} pode ser reduzida da força distribuída aplicada na face oposta da laje, dentro do contorno considerado na verificação, C ou C' , como mostra a Figura 2.4.

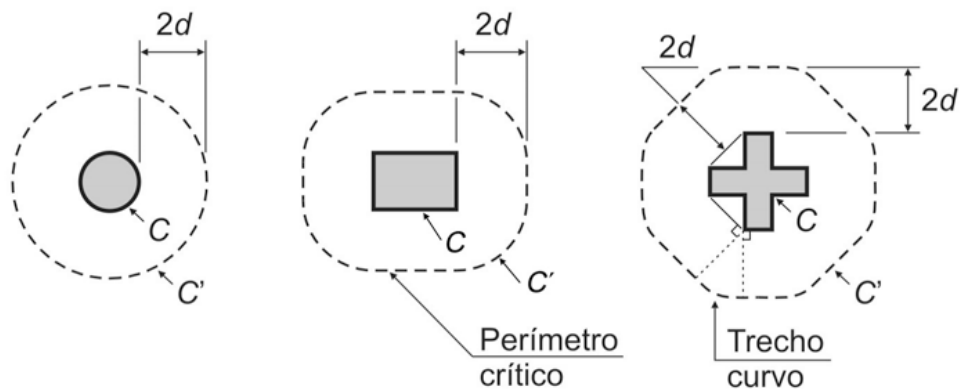


Figura 2.4 - Definição do perímetro crítico.

A tensão resistente no contorno C' deve ser calculada para o caso de laje sem armadura de cisalhamento conforme a Eq. 5:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd1} = 0,13 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) \cdot (100\rho f_{ck})^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

Sendo:

ρ = área de aço dividida pela área de concreto (mm^2)

A tensão resistente no contorno C' deve ser calculada para o caso de laje com armadura de cisalhamento conforme a Eq. 6:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd3} = 0,10 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) \cdot (100\rho f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 1,5 \frac{d}{S_r} \frac{A_{sw} f_{ywd} \text{ sen } \alpha}{ud} \quad (6)$$

Onde:

S_r = espaçamento radial entre linhas de armadura de punção (deve ser menor que $0,75d$)

A_{sw} = área de armadura de punção (mm^2)

α = ângulo de inclinação entre a armadura de punção e o plano da laje

u = perímetro crítico (mm)

f_{ywd} = resistência de cálculo de armadura de punção (MPa)

Quando for necessário utilizar armadura transversal, ela deve ser estendida em contornos paralelos a C' até que, num contorno afastado $2d$ do último contorno armadura, a mesma não seja mais necessária, ou seja, $\tau_{sd} \leq \tau_{rd1}$.

3 METODOLOGIA

As etapas para desenvolvimento do trabalho são:

- Determinar as N amostras com uso de ferramentas computacionais específicas para a realização do trabalho.
- Analisar e avaliar os resultados obtidos pelos programas computacionais e pelos cálculos estatísticos realizados.
- Realizar uma análise de sensibilidade, importância das variáveis, do problema em questão, gerando e interpretando gráficos.

A laje cogumelo é submetida à punção por uma carga total aplicada ao pilar em que está apoiada. A ruptura da peça pode ocorrer na face C , localizada junto a pilar, ou na face C' localizada a uma distância ' x ' do pilar, que varia de formulação para formulação.

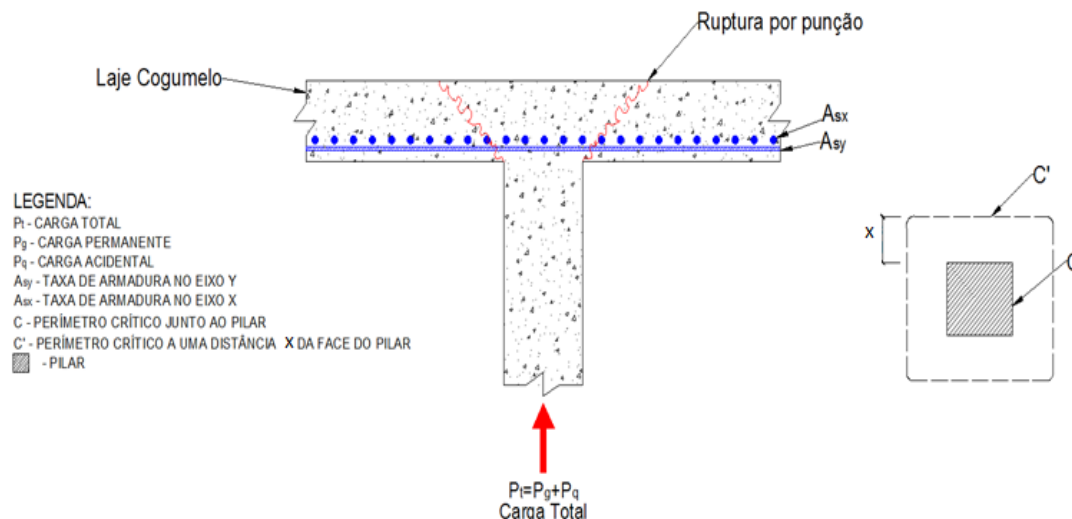


Figura 3.1 - Esquema do problema a ser avaliado via análise de confiabilidade.

No exemplo são consideradas como variáveis aleatórias a resistência média à compressão (f_{cm}), a resistência média à tração (f_{tm}) o perímetro crítico (d_m), armadura de

cisalhamento (A_{sw}) e cargas acidentais (P_q) e permanentes (P_g). A Tabela 3.1 mostra os valores adotados para as variáveis aleatórias do problema durante a análise de confiabilidade.

Tabela 3.1 - Modelos probabilísticos das variáveis aleatórias para laje com armadura de cisalhamento.

Variável Aleatória	Valor Médio	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Tipo de Distribuição
f_{cm} (Mpa)	20*	20*0,17	17	Lognormal
d (cm)	0,075*	Variou	Variou	Normal
P_g (N)	60*	0,5	5	Normal
P_q (N)	40*	0,25	25	Gumbel
f_{tm} (MPa)	250	25*0,05	5	Lognormal
A_{sw} (cm ²)	1*	-	-	Determinística

* Os valores médios foram variados para obtenção do comportamento da laje para as formulações consideradas.

As variações foram realizadas para armaduras de cisalhamento assumindo os seguintes valores: 1 cm²/m, 2 cm²/m, 3 cm²/m e 4 cm²/m.

Para as lajes com armadura de cisalhamento o modo de falha 1 indica o esmagamento do concreto junto ao pilar, o modo de falha 2 é o esmagamento do concreto no perímetro crítico, o modo de falha 3 é o escoamento do aço no perímetro crítico e o modo de falha 4 é o esmagamento do concreto fora do perímetro crítico, conforme indicado na Figura 3.2 a seguir.

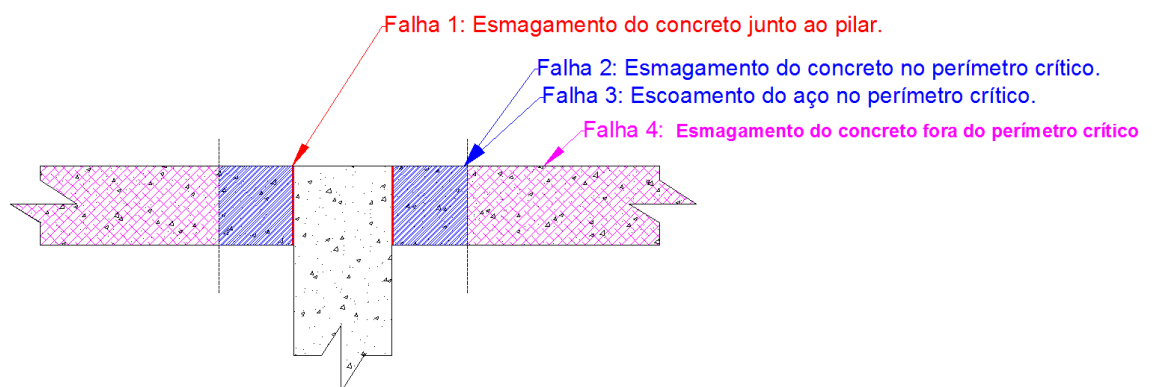


Figura 3.2 - Modos de falha da laje com armadura de cisalhamento.

3.1 Funções de Falha

Para a NBR 6118:2014 foram utilizadas as seguintes funções de falha:

- Região do contorno do pilar:

$$\alpha v_i := \left(1 - \frac{f_{c_i}}{250} \right)$$

$$\tau d2_i := 0.27 \alpha v_i \cdot f_{c_i}$$

$$Vrd2_i := \tau d2_i \cdot 0.1 \cdot \mu_0 \cdot d_{ml_i}$$

b) Contorno externo:

$$\tau d1_i := 0.1 \cdot 0.13 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d_{ml_i}}} \right) \cdot \left(100 \cdot \rho \cdot f_{c_i} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$Vrd1_i := \tau d1_i \cdot \mu c1_i \cdot d_{ml_i}$$

Para as lajes com armadura de cisalhamento:

c) Região da armadura de cisalhamento:

$$Vrd3_i := \left(0.75 Vrd2_i \right) + A_{sw_s} \cdot 1.5 \cdot f_{t_i}$$

d) Região fora da armadura de cisalhamento:

$$Vrd4_i := \tau d1_i \cdot 10 \mu_{nef_i} \cdot d_{ml_i}$$

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para as lajes com armadura de cisalhamento as variações foram realizadas para as seguintes áreas de aço: 1 cm²/m, 2 cm²/m, 3 cm²/m e 4 cm²/m. Assim como nas lajes sem armadura de cisalhamento, primeiramente foi feita uma variação percentual das cargas permanente e acidental, de forma que a soma fosse sempre 100%.

O nível de segurança foi obtido via índice de confiabilidade (β) para a formulação NBR 6118:2014.

A Figura 4.1 abaixo mostra a variação do índice de confiabilidade em função do aumento da carga acidental.

À medida que se aumenta a carga acidental há uma queda dos índices de confiabilidade para todos os valores de A_{sw} adotados. Avaliando o gráfico conclui-se que a falha 3, escoamento da armadura no perímetro crítico, é quem comanda o nível de segurança. Uma vez que a partir de $A_{sw} = 2$ cm²/m a falha será no concreto, ou seja, não há porque aumentar a armadura. Sendo assim, é possível inferir que todos os outros modos de falha são mais seguros que o modo de falha 3.

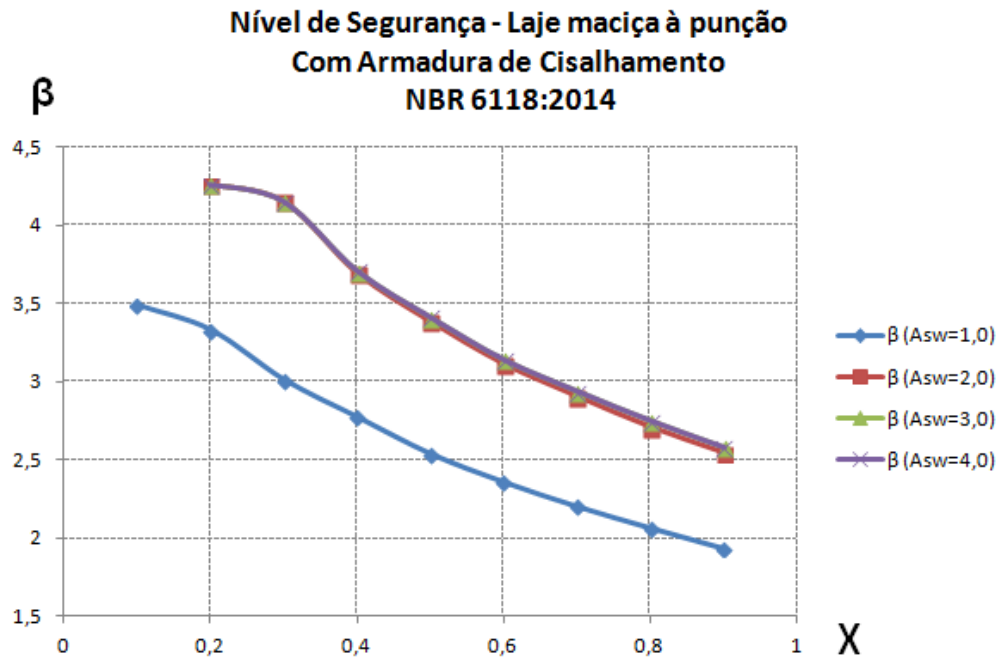


Figura 4.1 - Variação da carga acidental para a alteração da área de armadura de cisalhamento.

Para a variação da resistência média à compressão do concreto, observando o gráfico mostrado na Figura 4.2, nota-se que para valores de A_{sw} variando entre 1 e 3 cm^2/m a ruptura se dá no esmagamento do concreto, ou seja, modo de falha 2. Para $A_{sw} = 4 \text{ cm}^2/\text{m}$ a falha acontece no concreto entre 20 e 25 MPa. Valores acima de 25 MPa a falha se dá no escoamento da armadura, ou seja, em nada mudará o nível de segurança com o aumento do f_{cm} .

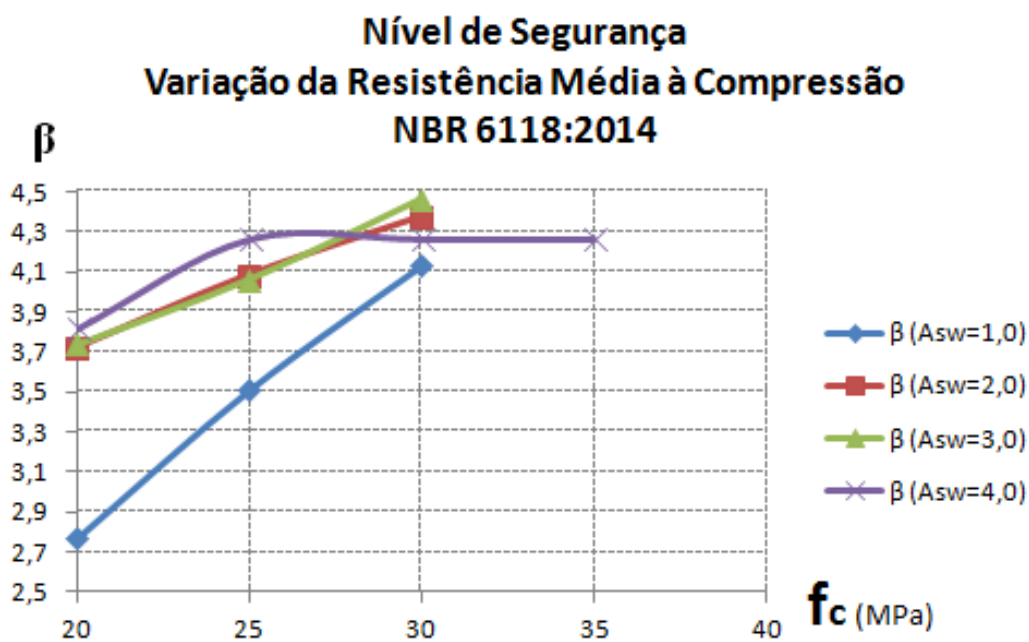


Figura 4.2- Variação da resistência média à compressão para a alteração da área de armadura de cisalhamento.

Analisando o comportamento para $A_{sw} = 1\text{cm}^2/\text{m}$, verifica-se que com o aumento da resistência média à tração do aço há um aumento no índice de confiabilidade, o que indica que o modo de falha 3 comanda a ruptura, ou seja, a falha se dá por escoamento da armadura. Para áreas de aço acima de $2\text{ cm}^2/\text{m}$, a partir de 250 MPa, o aumento de A_{sw} não gera aumento no índice de confiabilidade, isso significa que o esmagamento do concreto é a falha ativa, como pode ser observado na Figura 4.3.

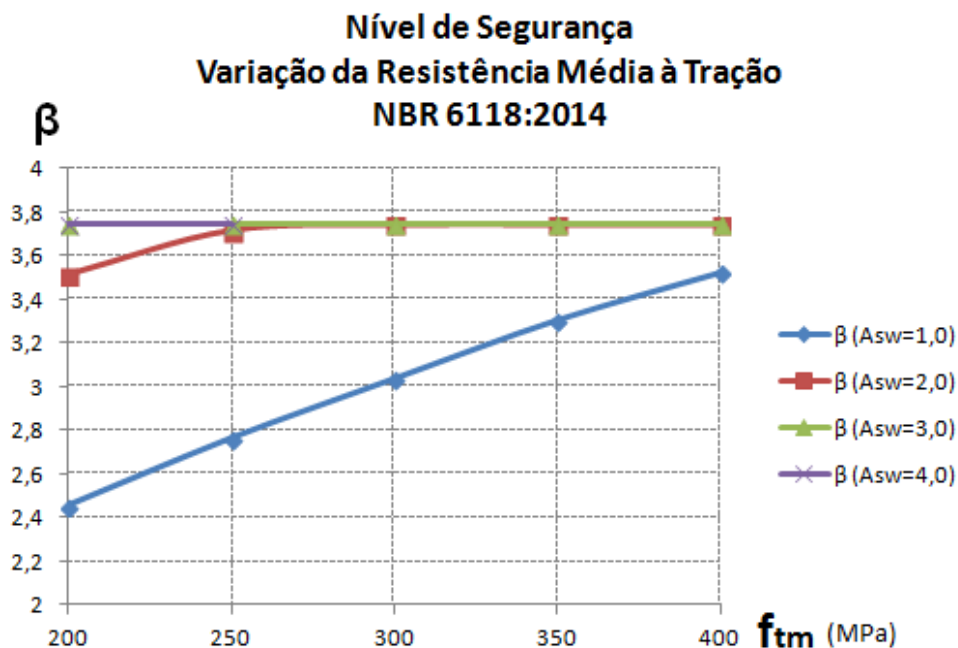


Figura 4.3 - Variação da resistência média à tração para a alteração da área de armadura de cisalhamento.

Na Figura 4.4, para as alterações feitas com o coeficiente de variação do perímetro crítico constata-se que quanto menor a área de armadura utilizada, menor será a variação no índice de confiabilidade, uma vez que a falha se dá no escoamento do aço (falha 3). Observa-se também que quanto maior o coeficiente de variação do perímetro crítico, menor será o índice de segurança, devido ao aumento das incertezas.

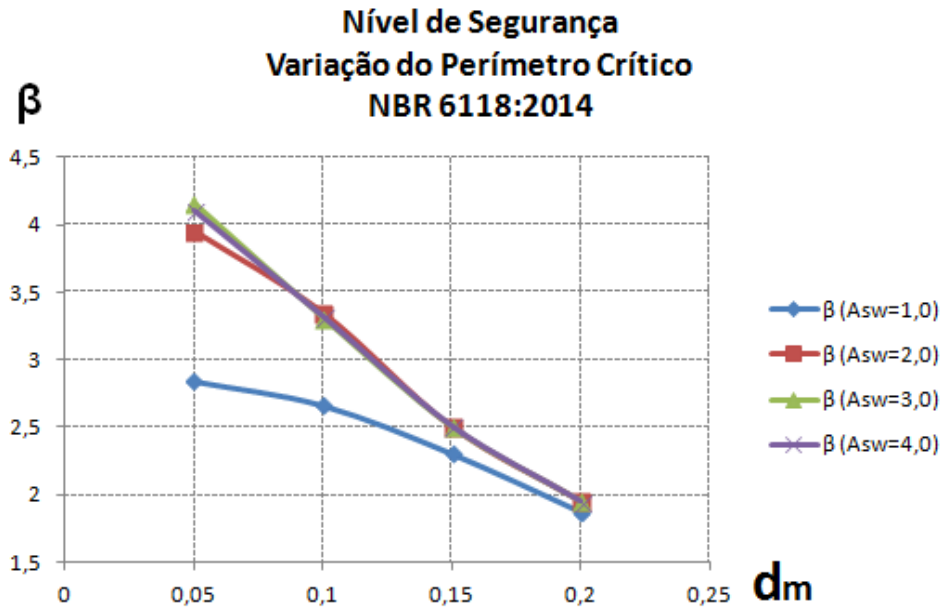


Figura 4.4 - Variação do perímetro crítico para a alteração da área de armadura de cisalhamento.

Realizando a variação da armadura da laje, na falha do sistema observa-se que para valores $1 < A_{sw} < 2 \text{ cm}^2$ a ruptura ocorrerá no esmagamento do concreto. Após isso, para valores de $A_{sw} > 2 \text{ cm}^2$ a ruptura se dará no esmagamento do concreto, pouco importando se a quantidade de armadura for aumentada. A diferença entre os índices de segurança do modo de falha 2 e do modo de falha do sistema correspondem ao ganho no nível de segurança com a colocação da armadura de cisalhamento, conforme pode ser observado na Figura 4.5.

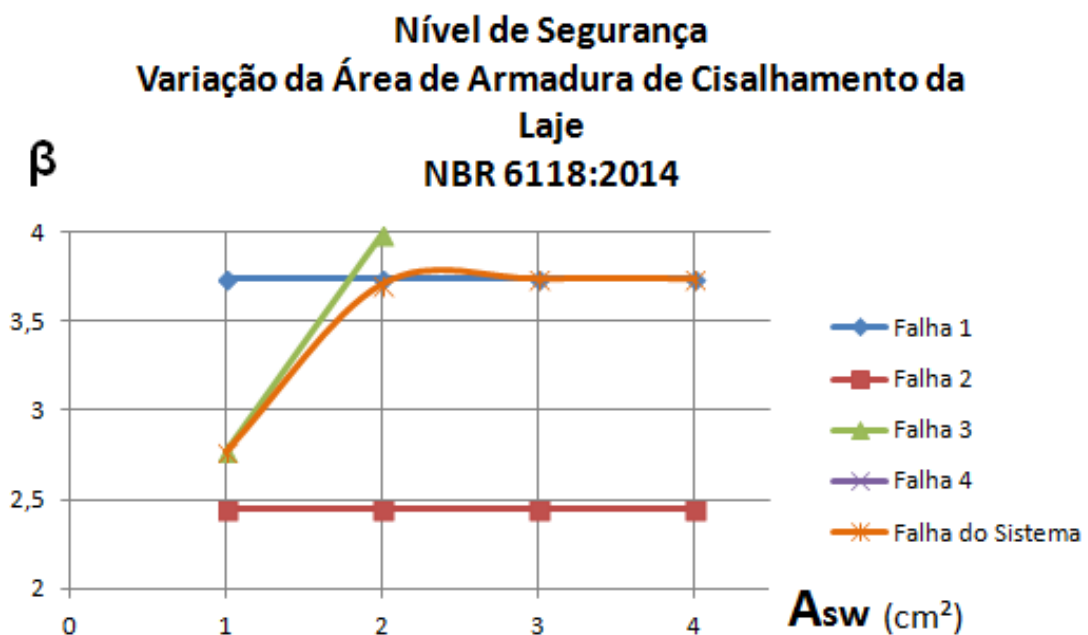


Figura 4.6 - Variação da área de armadura de cisalhamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Através deste trabalho foi possível mostrar que é viável verificar e avaliar os resultados para punção em lajes cogumelo, com e sem armadura de cisalhamento, via análise de confiabilidade, para as diversas formulações apresentadas.

O estudo analisou e comparou como os diferentes modelos normativos de verificação de punção em lajes, via análise de confiabilidade, reagiram diante da variação dos seguintes parâmetros: variação das cargas permanentes e acidentais, da resistência média à compressão do concreto, da resistência média à tração do aço, do perímetro crítico, da área de armadura da laje, e por fim, para as lajes com armadura de cisalhamento, a área de armadura de cisalhamento. Este estudo foi feito com a finalidade de identificar qual das formulações apresentaria menor probabilidade de falha, mostrando também quais as variáveis que mais influenciam na segurança da estrutura de acordo com cada método e qual das formulações apresenta o maior índice de confiabilidade para cada uma das variações.

A aplicação de análise de confiabilidade na verificação da resistência da laje à punção proporciona parâmetros para uma avaliação mais precisa de seu comportamento, o que pode subsidiar projetos mais seguros e econômicos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES PEREIRA, E. D. , Análise Comparativa de Normas para Cálculo de Lajes Submetidas ao Efeito de Punção. Curitiba, Brasil, 2014.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318-02. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318R-02). Farmington Hills, Michigan (2002).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, Brasil (2003).

BECK, A.. – Curso de Confiabilidade Estrutural. Apostila USP/São Carlos, 2010.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON, CEB - FIP. CEB – FIP Model Code Design Code 1990: Final Draft. Bulletin d'Information, CEB, Lousanne, Switzerland (1991).

D'ÁVILA DIAS, L. C.; RIOS, R. D. - Estudo do Efeito de Punção em Lajes Lisas e Cogumelo Mediante a Utilização de Normas Técnicas e Resultados Experimentais. Cinpar (2010).

FERREIRA, M. P. - Punção em Lajes de Concreto Armado com Armaduras de Cisalhamento e Momentos Desbalanceados. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD – 007 A/10 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental de Brasília, Brasília, DF, Brasil (2012).

HENRIQUES, A. A. R., Aplicação de Novos Conceitos de Segurança no Dimensionamento do Betão Estrutural. Tese Doutorado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.1998.

NEVES, R. A. – Desenvolvimento de Modelos Mecânicos-Probabilísticos Para Estruturas de Pavimentos de Edifícios. Tese de Doutorado. USP. Escola de Engenharia de São Carlos, SP, Brasil (2004).

PANTOJA, J. C. - Geração Automática Via Otimização Topológica e Avaliação de Segurança de Modelos de Bielas e Tirantes. Tese de Doutorado, Engenharia Civil, PUC-RIO, Brasil (2012).

PONTES DOS SANTOS, V. M. – Análise de Confiabilidade em Modelos de Bielas e Tirantes. Tese Mestrado, Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil (2014).

SAGRILO, L. V. S. – Apostila do curso de confiabilidade estrutural. PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

SOUZA, L. P. - Avaliação de Confiabilidade Estrutural com Monte Carlo e Redes Neurais em um Ambiente de Software Integrado. Mestrado, Engenharia Civil, UFF, Niterói, Brasil, 2005.

SOUZA, L. P. - Avaliação de Confiabilidade Estrutural com Monte Carlo e Redes Neurais em um Ambiente de Software Integrado. Mestrado, Engenharia Civil, UFF, Niterói, Brasil (2005).

TRAUTWEIN MOUTA, LEANDRO – Punção em Lajes Cogumelo de Concreto Armado: Análise Experimental e Numérica. Tese Doutorado, Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil (2006).