

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO PILAR NO PROJETO DE BLOCOS
SOBRE DUAS ESTACAS**

Cleiton Fernandes Paulino

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade Federal
de São Carlos como parte dos requisitos
para a conclusão da graduação em
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Fernando Menezes
de Almeida Filho

São Carlos
2024

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais, Ana e Vilson, que ao longo de todos os anos me apoiaram e incentivaram a concretizar meus sonhos, acreditaram junto comigo no meu potencial em me tornar um Engenheiro Civil.

Dedico também à minha irmã Paloma, que é inspiração de dedicação e empenho nos estudos e sempre foi presente me auxiliando na minha vida acadêmica.

À Daiane, minha companheira, que foi essencial durante todo esse processo, foi alicerce nas horas difíceis e compartilhou cada conquista, acreditou em mim e nos meus objetivos, me dando suporte para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos primeiramente a Deus que me sustentou até aqui, me dando forças, resiliência e sabedoria para enfrentar as adversidades ao longo deste percurso. Sou grato, meu senhor, obrigado pela oportunidade de realizar meu sonho.

Aos meus pais que me deram a oportunidade de estudar, me apoiaram em todas minhas decisões e sempre acreditaram em mim, foram meu alicerce e porto seguro em dias difíceis, sem vocês esse momento não seria possível.

Agradeço a minha irmã Paloma, que sempre foi minha inspiração, uma mulher dedicada, honesta, atenciosa e que sempre fez questão de me auxiliar, seja na vida pessoal ou acadêmica. Ao meu cunhado Vitão, que sempre me ajudou quando precisei de algo relacionado ao meu notebook, não entendo muito dessa área e ele sempre me salva.

Obrigado meu parceiro.

A minha companheira de vida, Daiane, que está comigo há muito tempo e sabe como eu sonho com este diploma. Ela me apoia, acredita no meu sonho e sonha junto comigo, levanta minha auto-estima, sempre dizendo que tudo já deu certo, só basta eu acreditar. Obrigado meu amor, por estar comigo ao longo de toda essa jornada.

Aos meus amigos de faculdade, da turma 018 da Engenharia Civil UFSCar, obrigado por compartilharmos momentos de alegria e os de desespero também rsrs, por todos os trabalhos, projetos e as provas que realizamos juntos, pela parceria e troca de conhecimento.

Aos meus professores, que foram essenciais para a minha formação, obrigado pela dedicação e empenho. Me sinto muito feliz em ter tido o privilégio de aprender com todos. Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando, por ter me orientado não apenas no trabalho de conclusão de curso, mas também por ser sempre prestativo e com conselhos para a vida.

RESUMO

Blocos sobre estacas são os elementos mais comuns na transição entre as fundações profundas e a estrutura de uma edificação. Neste trabalho foi realizado o dimensionamento de blocos sobre duas estacas quando submetidos à cinco seções de pilares diferentes. Através disto foi realizado análises dos parâmetros mecênicos que regem o comportamento do bloco rígido sobre duas estacas, a fim de se entender a influência da geometria do pilar sobre o elemento de fundação. Para isso foram pré-definidos parâmetros de entrada e duas combinações de esforços solicitantes atuantes no pilar, além de condições da distância em que as reações dos esforços serão transmitidas para as estacas, o que afeta a inclinação e ângulação das bielas de concreto. A análise da influência da geometria do pilar no projeto de blocos sobre duas estacas foi realizada através de tabelas e gráficos. Todos os modelos foram concebidos e dimensionados de acordo com recomendações normativas brasileiras. Espera-se com o trabalho encontrar limites entre a geometria do pilar retangular e a distância e disposição das estacas em um bloco sobre duas estacas e contribuir para o projeto deste elemento estrutural.

Palavras-chave: Blocos sobre estacas, geometria do Pilar, Estacas, Concreto Armado, blocos rígidos.

ABSTRACT

Two-pile caps are the most common elements in the transition between deep foundations and the superstructure of a building. This work presents the design of two-pile caps subjected to five different column sections. Through this analysis, the mechanical parameters that govern the behavior of a rigid two-pile cap were evaluated, in order to understand the influence of the column geometry on the foundation element. For this purpose, input parameters and two combinations of loading conditions acting on the column were predefined, in addition to conditions of the distance at which the effort reactions will be transmitted to the piles, which affects the inclination and angle of the concrete struts. The analysis of the influence of the column geometry on the design of two-pile caps was carried out through tables and graphs. All models were designed and dimensioned according to Brazilian normative recommendations. It is expected that this work will find limits between the geometry of the rectangular column and the distance and arrangement of the piles in a two-pile cap and contribute to the design of this structural element.

Key-words: Pile caps, column geometry, piles, reinforced concrete, rigid blocks.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Esquema de bloco sobre estaca..... | 13 |
| Figura 2: Esquema treliça espacial formada por bielas e tirantes no interior do bloco..... | 14 |
| Figura 3: Bloco sobre duas estacas – classificação quanto a rigidez..... | 14 |
| Figura 4: Zonas nodais | 15 |
| Figura 5: Situações típicas de regiões “D” | 16 |
| Figura 6: Identificação de escoras, tirantes e nós | 16 |
| Figura 7: Identificação dos elementos da treliça e tipologia dos nós | 17 |
| Figura 8: Bloco sobre duas estacas..... | 21 |
| Figura 9: Dimensões do bloco rígido sobre duas estacas | 23 |
| Figura 10: Pilar 20x20cm disposto sobre o bloco rígido sobre duas estacas | 28 |
| Figura 11: Modelo de treliça – Ponto A no centro do pilar ($k=a_{est}/2$)..... | 33 |
| Figura 12: Pilar 40x20cm disposto sobre bloco rígido sobre duas estacas | 37 |
| Figura 13: Pilar 60x20cm disposto sobre bloco rígido sobre duas estacas | 41 |
| Figura 14: Pilar 80x20cm disposto sobre bloco rígido sobre duas estacas | 41 |
| Figura 15: Pilar 100x20cm disposto sobre bloco rígido sobre duas estacas | 41 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1:Dados de entrada | 19 |
| Tabela 2: Distância do CG do setor circular ao centro do círculo..... | 20 |
| Tabela 3: Dimensões dos Pilares | 25 |
| Tabela 4: Parâmetros | 25 |
| Tabela 5: Situações estudadas | 26 |
| Tabela 6: Pilar 20x20cm..... | 28 |
| Tabela 7: Dimensão do bloco sobre duas estacas e altura do bloco | 29 |
| Tabela 8: Cálculo do ângulo..... | 29 |
| Tabela 9: Tensão limite de compressão da biela de concreto..... | 30 |
| Tabela 10: Tensões na biela junto ao pilar | 30 |
| Tabela 11: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal..... | 31 |
| Tabela 12: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando Esforço Normal e Momento Fletor | 31 |
| Tabela 13: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal..... | 32 |
| Tabela 14: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor..... | 32 |
| Tabela 15: Altura do Bloco, considerando $k= a_{est}/2$ | 33 |
| Tabela 16: Cálculo do ângulo..... | 34 |
| Tabela 17: Tensões na biela junto ao pilar | 34 |
| Tabela 18: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando Esforço Normal.... | 35 |
| Tabela 19: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando Esforço Normal e Momento Fletor | 35 |
| Tabela 20: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal..... | 36 |
| Tabela 21: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor..... | 36 |
| Tabela 22: Altura do bloco fixando ângulo das bielas | 37 |
| Tabela 23: Cálculo do ângulo das bielas fixando $h_{BLOCO}= 35\text{cm}$ | 38 |
| Tabela 24: Tensão limite de compressão..... | 38 |
| Tabela 25: Tensões na biela junto ao pilar | 39 |
| Tabela 26: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal..... | 39 |
| Tabela 27: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor | 40 |
| Tabela 28: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal..... | 40 |
| Tabela 29: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor..... | 40 |
| Tabela 30: Resumo dos parâmetros | 42 |
| Tabela 31: Altura do bloco, fixando o ângulo das bielas | 43 |
| Tabela 32: Razão (a_p / d) x Ângulo θ – Esforço Normal e Biela a $1/4a_p$ da distância do CG do Pilar..... | 44 |
| Tabela 33: Razão (a_p / d) x Ângulo θ – Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a $1/4a_p$ da distância do CG do Pilar | 44 |
| Tabela 34: Razão (a_p / d) x Ângulo θ – Biela no CG do Pilar | 45 |
| Tabela 35: Relação entre a razão (a_p / d) x σ_c ,biela,Pilar – Biela a $1/4a_p$ da distância do CG do pilar..... | 46 |
| Tabela 36: Relação entre a razão (a_p / d) x σ_c ,biela,Pilar – Biela no CG do pilar..... | 46 |
| Tabela 37: Relação entre a razão (a_p / d) x σ_c ,biela,Estaca – Esforço Normal e Biela a $1/4a_p$ do CG do pilar | 47 |
| Tabela 38: Relação entre a razão (a_p / d) x σ_c ,biela,Estaca – Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a $1/4a_p$ do CG do pilar | 47 |

| | |
|---|----|
| Tabela 39: Relação entre a razão $(a_p / d) \times \sigma_c$, biela, Estaca – Esforço Normal e Biela a partir do CG do pilar. | 48 |
| Tabela 40: Relação entre a razão $(a_p / d) \times \sigma_c$, biela, Estaca – Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a partir do CG do pilar. | 49 |
| Tabela 41: Relação entre a razão $(a_p / d) \times$ Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ do CG do pilar | 49 |
| Tabela 42: Relação entre a razão $(a_p / d) \times$ Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ do CG do pilar | 50 |
| Tabela 43: Relação entre a razão $(a_p / d) \times$ Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Biela à partir do CG do pilar | 51 |
| Tabela 44: Relação entre a razão $(a_p / d) \times$ Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Momento Fletor e Biela à partir do CG do pilar. | 51 |
| Tabela 45: Altura do bloco calculada $(\theta = 45^\circ) \times$ Altura mínima. | 52 |
| Tabela 46: Volume de concreto Bloco | 53 |
| Tabela 47: Condição para bloco rígido. | 54 |
| Tabela 48: Verificação - Pilar: 40x20cm. | 55 |
| Tabela 49: Verificação - Pilar: 60x20cm. | 55 |
| Tabela 50: Verificação - Pilar: 80x20cm. | 55 |
| Tabela 51: Verificação - Pilar: 100x20cm. | 55 |
| Tabela 52: Altura do Bloco, considerando $k = a_{est}/2$ | 60 |
| Tabela 53: Cálculo do ângulo | 61 |
| Tabela 54: Tensão limite de compressão | 61 |
| Tabela 55: Tensões na biela junto ao pilar | 61 |
| Tabela 56: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal. | 62 |
| Tabela 57: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal. | 62 |
| Tabela 58: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor | 63 |
| Tabela 59: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor | 63 |
| Tabela 60: Altura do bloco fixando ângulo das bielas | 64 |
| Tabela 61: Cálculo do ângulo das bielas fixando $h_{BLOCO} = 35\text{cm}$ | 64 |
| Tabela 62: Tensões na biela junto ao pilar | 65 |
| Tabela 63: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal. | 65 |
| Tabela 64: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal. | 66 |
| Tabela 65: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor | 66 |
| Tabela 66: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor | 66 |
| Tabela 67: Altura do Bloco, considerando $k = a_{est}/2$ | 67 |
| Tabela 68: Cálculo do ângulo | 67 |
| Tabela 69: Tensões na biela junto ao pilar | 68 |
| Tabela 70: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal. | 68 |
| Tabela 71: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal. | 69 |
| Tabela 72: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor | 69 |
| Tabela 73: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor | 69 |
| Tabela 74: Altura do bloco fixando ângulo das bielas | 70 |
| Tabela 75: Cálculo do ângulo das bielas fixando $h_{BLOCO} = 35\text{cm}$ | 70 |
| Tabela 76: Tensões na biela junto ao pilar | 71 |
| Tabela 77: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal. | 71 |
| Tabela 78: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal. | 72 |

| | |
|---|----|
| Tabela 79: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor | 72 |
| Tabela 80: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor | 72 |
| Tabela 81: Altura do Bloco, considerando $k= a_{est}/2$ | 73 |
| Tabela 82: Cálculo do ângulo | 73 |
| Tabela 83: Tensão limite de compressão | 74 |
| Tabela 84: Tensões na biela junto ao pilar | 74 |
| Tabela 85: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal..... | 75 |
| Tabela 86: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal | 75 |
| Tabela 87: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor | 76 |
| Tabela 88: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor | 76 |
| Tabela 89: Altura do bloco fixando ângulo das bielas | 77 |
| Tabela 90: Cálculo do ângulo das bielas fixando $h_{BLOCO}= 35\text{cm}$ | 77 |
| Tabela 91: Tensão limite de compressão..... | 78 |
| Tabela 92: Tensões na biela junto ao pilar | 78 |
| Tabela 93: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal..... | 79 |
| Tabela 94: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal | 79 |
| Tabela 95: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor | 80 |
| Tabela 96: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor | 80 |
| Tabela 97: Altura do Bloco, considerando $k= a_{est}/2$ | 81 |
| Tabela 98: Cálculo do ângulo | 81 |
| Tabela 99: Tensão limite de compressão..... | 82 |
| Tabela 100: Tensões na biela junto ao pilar | 82 |
| Tabela 101: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal... | 83 |
| Tabela 102: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal | 83 |
| Tabela 103: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor | 84 |
| Tabela 104: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor | 84 |

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 10 |
| 1.2 OBJETIVOS | 10 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 12 |
| 2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 12 |
| 2.2 MÉTODO DAS BIELAS | 13 |
| 2.3 REGIÕES NODAIS | 17 |
| 2.4 BLÉVOT E FRÉMY (1967)..... | 17 |
| 2.5 INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO PILAR | 18 |
| 3. METODOLOGIA | 19 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 28 |
| 4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS..... | 28 |
| 4.2 ANÁLISE GRÁFICA..... | 44 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 54 |
| 6. CONCLUSÕES..... | 57 |
| 7. REFERÊNCIAS..... | 58 |
| 8. ANEXOS..... | 60 |

1. INTRODUÇÃO

A concepção de um projeto leva em consideração diversos fatores, desde o conhecimento prévio do local onde será realizada a construção, como por exemplo, a investigação e sondagem do tipo de solo, para conhecimento das suas características, e o vento da região, para avaliação da estabilidade global e as consequências da ação do vento sobre a estrutura, assim como a funcionalidade que a edificação terá para que seja realizada a determinação das cargas de projeto. O conhecimento destes fatores, estão ligados à escolha do tipo de fundação (infraestrutura) e ao dimensionamento dos pilares (superestrutura), para que a edificação seja segura e adequada ao meio em que será inserida. Além disso, os pilares são os responsáveis por transferir toda a carga da superestrutura para a infraestrutura, no caso a fundação.

Visto isto, observa-se a importante relação entre os pilares e os sistemas estruturais de fundação, que podem ser formados por sapatas, tubulões ou blocos sobre estacas. Este último será o elemento estrutural de fundação do estudo em questão, portanto, conhecer a relação entre pilares e blocos rígidos sobre estacas é fundamental para que o sistema tenha interação eficaz, ou seja, que trabalhem em conjunto de forma adequada, onde as cargas da estrutura são transferidas para os pilares, dos pilares para os blocos rígidos e destes para as estacas, as quais são responsáveis pela transferência final para o solo.

Vale destacar que, após finalizada a execução do conjunto fundação/pilar é inviável a fiscalização e manutenção do sistema que interliga estes dois elementos estruturais, uma vez que estarão aterradas. Logo, o conhecimento da influência de um em relação ao outro é de extrema importância para saber como ambos irão se comportar durante a vida útil da edificação.

Há diversas pesquisas relacionadas aos blocos rígidos sobre estacas, porém não encontra-se muito conhecimento direcionado à relação entre pilares e estes elementos de fundação, no que se diz respeito a influência da seção transversal do pilar sobre eles. Dessa forma, a determinação da influência da seção do pilar sobre o bloco rígido sobre estaca, isto é, o quão a dimensão do pilar de seção retangular afeta no comportamento do bloco rígido sobre estaca, será importante para descrever parâmetros que irão simplificar e auxiliar no dimensionamento e realização do projeto estrutural destes elementos construtivos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em estruturas de concreto armado, usualmente são utilizados pilares com seções retangulares e quadradas. Além disso, blocos sobre estacas são os elementos mais comuns na transição entre as fundações profundas e a estrutura de uma edificação. Visto isto, é muito importante entender e conhecer a relação que a geometria de pilares retangulares, bem como a posição das estacas, causam quando dispostas a blocos rígidos sobre estacas.

O comportamento estrutural dos blocos sobre estacas está relacionado com a seção transversal do pilar, uma vez que os blocos apresentam maior potencial resistente, quando são combinados com pilares que possuem maiores dimensões. Segundo Delalibera e Giongo (2009), pilares com seção transversal quadrada com lado igual a 25 cm possuem o valor da relação entre a tensão calculada junto à estaca e a resistência do concreto, ou seja ($\sigma_{b,zs}/f_c$), menor quando comparado a pilares retangulares com dimensões iguais a 25cm e 50 cm.

Além disso, o crescente avanço dos centros urbanos, fez-se necessidade de aproveitar cada vez mais o uso do solo, de tal forma que edifícios de vários pavimentos tornaram-se cada vez mais comuns, mesmo em locais que não eram viáveis em aspectos geotécnicos. Desse modo, as fundações profundas ganharam um papel importante para contornar estes problemas relacionados ao solo e assim são consideradas a maneira mais comum de execução de fundações hoje em dia.

Visto isto, edifícios que possuem diversos pavimentos necessitam de fundação profunda, assim como as construções em que o solo com resistências altas encontram-se em locais mais profundos do perfil geológico. Em caso de edificações robustas, observa-se a necessidade da concepção de blocos, com o intuito de abranger a atuação de diversas estacas. A concepção de edifícios de múltiplos pavimentos, ou seja, com alturas elevadas, é uma situação muito comum onde pilares centrais são dispostos aos blocos sobre diversas estacas.

Portanto, o conhecimento da influência de um elemento estrutural em relação ao outro, fornecerá parâmetros que contribuirão para o dimensionamento e projeto de blocos rígidos sobre estacas.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é identificar a influência que a dimensão do pilar estabelece quando submetida ao bloco rígido sobre estacas. Para isso serão dimensionados blocos sobre duas estacas submetidos à ação de cinco pilares de seções retangulares diferentes, e assim comparar o comportamento do bloco rígido sobre duas estacas. Através da comparação dos

resultados, pretende-se compreender as variações nas tensões, deformações e distribuição de esforços internos nos blocos, visando aprofundar o conhecimento sobre o comportamento mecânico desse tipo de fundação.

Além disso, encontrar parâmetros que correlacionem a geometria do pilar, ou seja a dimensão da seção do pilar retangular, com a distância e disposição das estacas em um bloco rígido sobre duas estacas de concreto armado, e assim contribuir para o projeto deste elemento estrutural.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

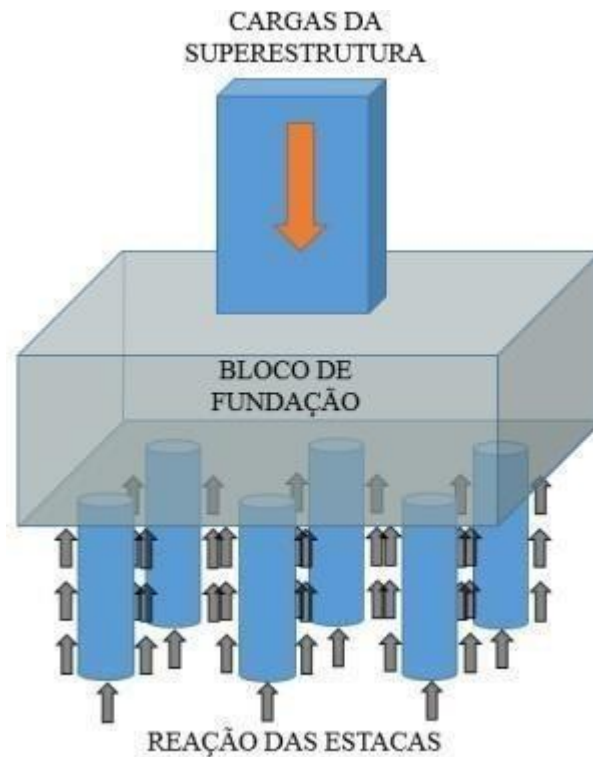
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A concepção da fundação de uma determinada construção é uma das etapas mais importantes do projeto, logo a escolha desse elemento estrutural necessita de considerações que garantam as necessidades técnicas e econômicas. A partir do estudo prévio dos parâmetros do solo, bem como, as ações submetidas à infraestrutura, análise do entorno e os tipos de fundações que estão disponíveis na região, é possível definir a melhor alternativa, levando em consideração a viabilidade técnica e econômica, para a implantação do projeto em questão.

As fundações profundas, ou seja em estacas, são necessárias quando o solo que possui resistência com capacidade de suportar as ações provenientes da superestrutura está localizado nas camadas mais profundas. Além disso, quando a fundação é composta por estacas é imprescindível a construção de outro elemento estrutural chamado de bloco de coroamento ou também conhecido como bloco sobre estacas. Vale ressaltar que em caso de fundações em tubulões também têm-se a necessidade da utilização de blocos sobre estacas para a transferência das ações da superestrutura para o solo. (MUNHOZ, 2004).

Os blocos sobre estacas são responsáveis por transferir as ações oriundas da superestrutura para as estacas e de forma análoga as estacas transferem para o solo. Esses elementos estruturais não permitem a inspeção visual, devido a sua localização enterrada, dessa forma, é de extrema importância conhecer o seu comportamento nos Estados Limites de Serviço e Último, para garantir a estabilidade e segurança da estrutura. A Figura 1 ilustra este elemento estrutural. (DELALIBERA, 2006).

Figura 1: Esquema de bloco sobre estaca



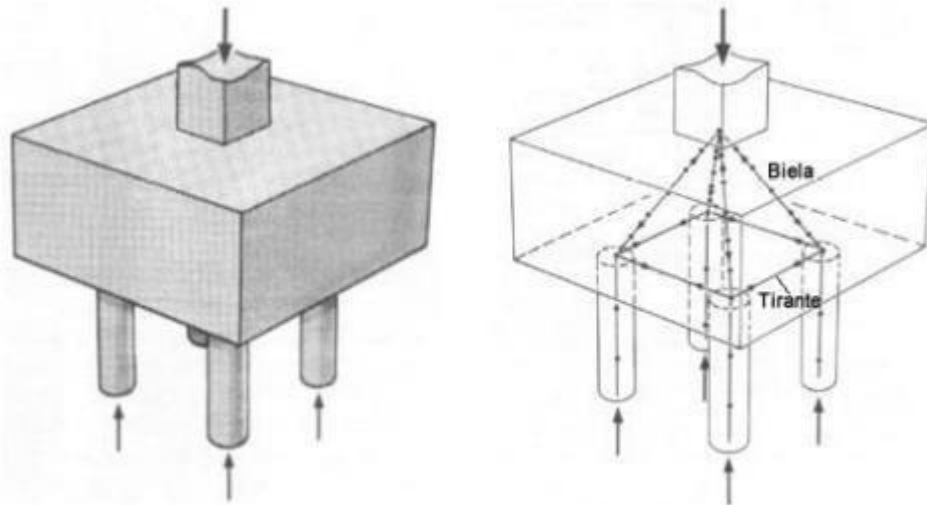
Fonte: Bavaresco (2016)

2.2 MÉTODO DAS BIELAS

Um dos métodos mais utilizados no dimensionamento dos blocos rígidos de fundação é o das Bielas, no qual é utilizado o carregamento de um pilar com geometria quadrada e centrado. Neste método não há comprovação para casos de blocos que suportam pilares com formas complexas, como verificado em núcleos rígidos de edifícios, por exemplo. Nessas situações, é realizada a simplificação do formato complexo para uma seção equivalente em geometria quadrada.

Embora a norma brasileira não evidencie, o método das bielas e tirantes é uma maneira de cálculo muito utilizada no Brasil. O método considera que no interior do bloco forma-se uma treliça espacial entre o pilar e as diversas estacas, como apresentado na Figura 2. As bielas são caracterizadas por ligarem o pilar às estacas, já os tirantes são os eixos que estão no plano entre as estacas e a parcela inferior do bloco. As bielas estão submetidas a compressão e os tirantes estão submetidos a tração e no detalhamento deste elemento estrutural, posiciona-se a armadura nos tirantes e as tensões nos eixos das bielas são verificadas. (Bartocci, 2017)

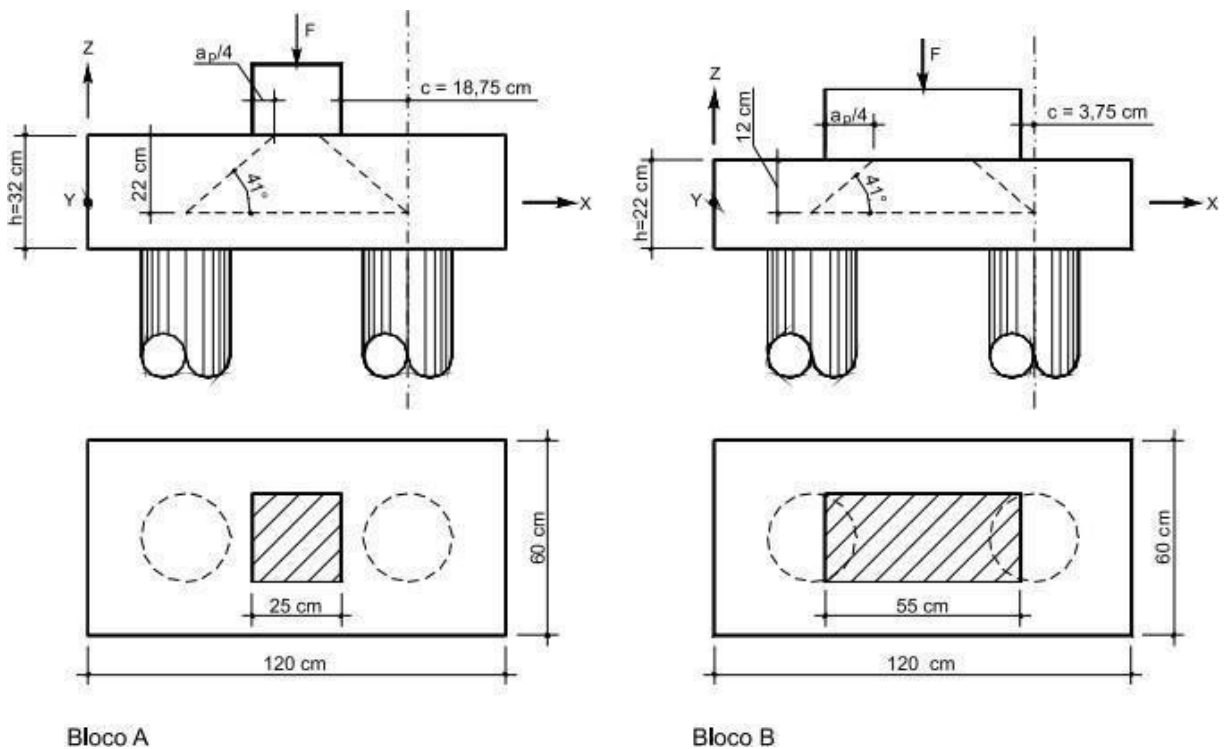
Figura 2: Esquema treliça espacial formada por bielas e tirantes no interior do bloco



Fonte: AltoQI (2014)

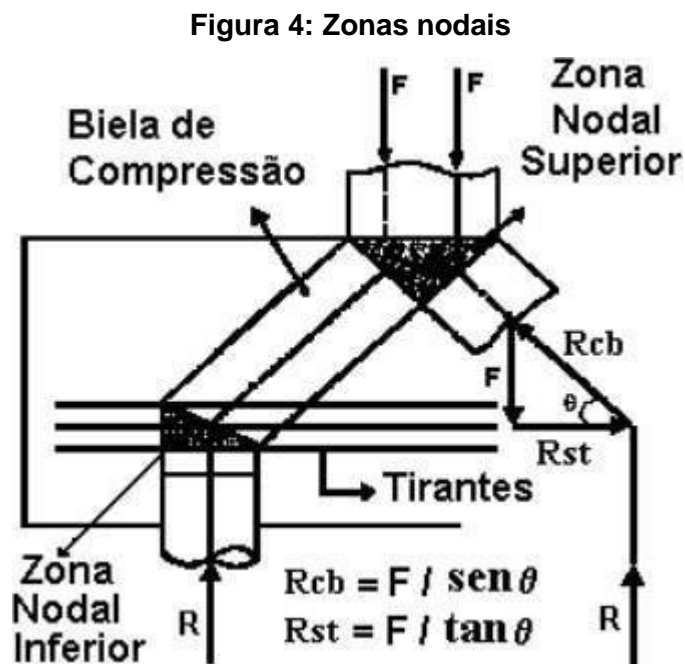
Os blocos rígidos são caracterizados por apresentarem a distância entre as faces do pilar e as faces do bloco, menor ou igual, a 1,5 vez a 2,0 vezes a altura do bloco (Figura 3). (DELALIBERA E GIONGO, 2009).

Figura 3: Bloco sobre duas estacas – classificação quanto a rigidez



Fonte: DELALIBERA E GIONGO (2009) – Modificado

O dimensionamento é realizado de forma a envolver limites para as tensões no concreto, de tal maneira que garanta que as barras das armaduras dos tirantes escoem antes que ocorra a ruptura do concreto. As armaduras dos tirantes, devem estar devidamente ancoradas nas zonas nodais, para que suas funções sejam atendidas corretamente. Já a armadura adicional presente na base, tem a finalidade de garantir que a estrutura tenha ductilidade suficiente para suportar e se adaptar ao sistema de forças internas (Figura 4). (MIGUEL, 2000).

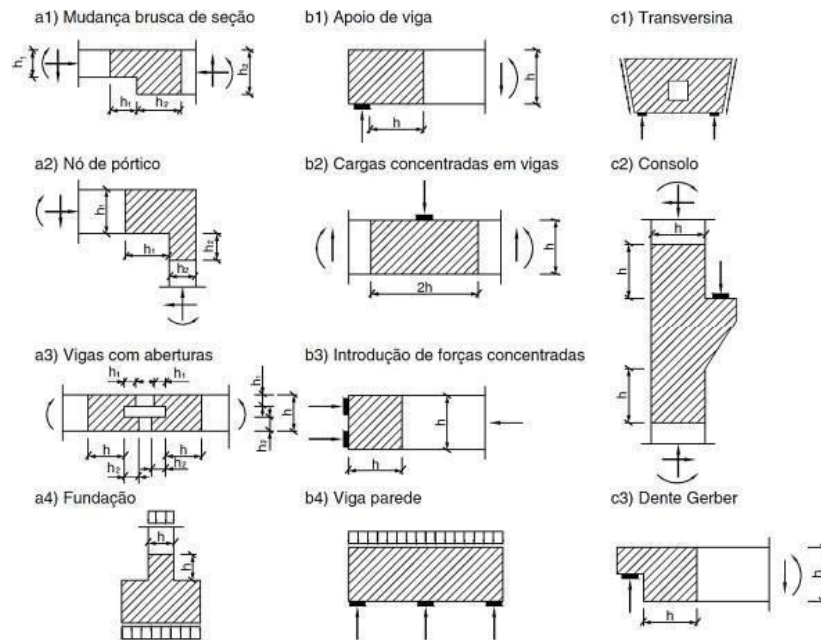


Fonte: ADEBAR et al., (1990)

Por definição, as regiões denominadas por “D”, são aquelas que não são aplicadas pela hipótese de Bernoulli, onde “seções planas permanecem planas após a deflexão”. Em contrapartida, as seções em que essa hipótese é válida são chamadas de regiões “B”. Visto isso, a norma considera o limite entre regiões “B” e “D” como sendo a distância de h (altura da seção transversal) da seção efetiva da descontinuidade.

Como os blocos de fundação sobre estacas são considerados regiões “D”, devido a sua geometria, a norma permite a aplicação do Método das Bielas. A seguir são ilustradas algumas situações típicas da região “D”, Figura 5 (BAVARESCO, 2016).

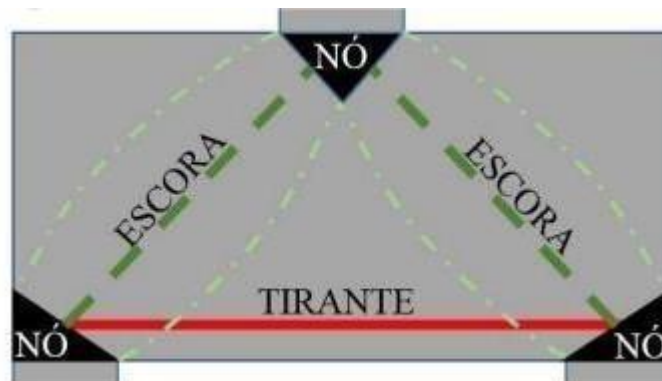
Figura 5: Situações típicas de regiões “D”



Fonte: Bavaresco (2016)

A análise da segurança no estado limite último de um elemento estrutural, ou em outras palavras, região “D” contida no elemento, é habilitada pela norma ABNT NBR 6118:2014. Essa análise é realizada por meio de um modelo de escoras e tirantes que compõem uma treliça idealizada formada por elementos de compressão (escoras), elementos de tração (tirantes) e também por elementos que transferem as forças (nós), conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Identificação de escoras, tirantes e nós



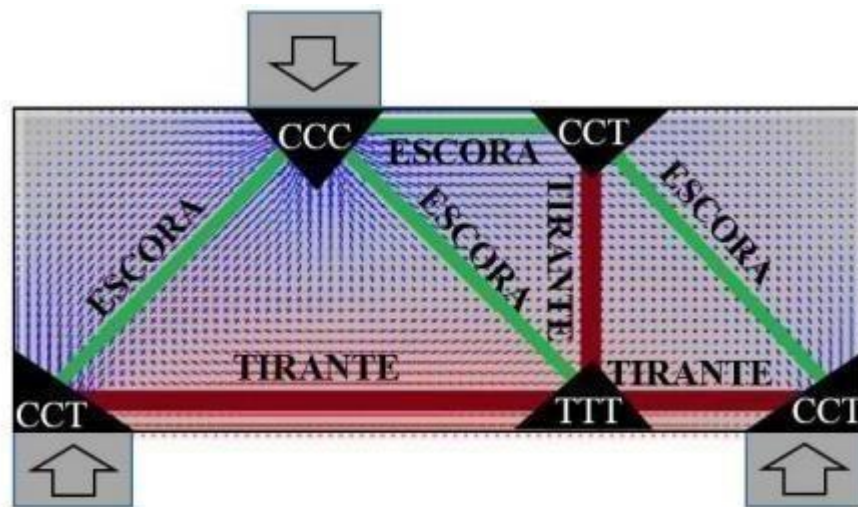
Fonte: Bavaresco (2016)

2.3 REGIÕES NODAIS

Os nós possuem a função de interligar as escoras e os tirantes, além de serem responsáveis por receberem as forças concentradas que são aplicadas ao elemento. As Zonas nodais são as regiões no entorno dos nós, onde está presente um volume de concreto, nelas devem ser verificadas as resistências, de tal forma que a transmissão entre os elementos seja adequada conforme é previsto pela ABNT NBR 6118:2014.

Os tirantes estão diretamente ligados a capacidade resistente do nó, já que quanto maior a quantidade de tirantes, mais tracionado será o elemento, resultando numa menor resistência para o mesmo. A Figura 7, mostra uma representação onde são identificados os elementos e o tipo de nó de acordo com a ABNT NBR 6118:2014.

Figura 7: Identificação dos elementos da treliça e tipologia dos nós



Fonte: Bavaresco (2016)

2.4 BLÉVOT E FRÉMY (1967)

Blébot e Frémy realizaram ensaios em blocos sobre estacas, com o intuito de verificar e analisar, na prática, a teoria das bielas. Para isso, foram ensaiados modelos que foram submetidos a aplicação de uma força centrada e com armaduras em posições variadas. Os resultados obtidos, serviram para analisar os estados de formação de fissuras, assim como os estados de limite último.

Para os blocos sobre duas estacas com aplicação de carga recebida por um pilar quadrado e com a alternância de armadura, ora utilizando barras lisas com ganchos, ora com barras retas com mossas, Blébot e Frémy (1967), constataram que a tensão de compressão na escora junto ao pilar superou em 40% à resistência característica do concreto. Já em relação a força na armadura, esse valor foi de 15% acima do valor que é proposto para o

cálculo. Através dessas análises, foi sugerido que as escoras deveriam ter uma inclinação entre 45° e 55°. Logo, a relação entre a tensão junto ao pilar ($\sigma_{b,zs}$) e a resistência a compressão do concreto f_c , vale, $\sigma_{b,zs}/f_c = 1,40$. (BLÉVOT E FRAMY, 1967).

2.5 INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO PILAR

A seção transversal do pilar é capaz de modificar o comportamento estrutural do blocos sobre estacas. Os blocos apresentam maior potencial resistente, quando são combinados com pilares que possuem maiores dimensões, ou seja, com uma seção transversal maior. De fato, a seção transversal do pilar interfere na capacidade resistente do bloco, pois, de acordo com Delalibera e Giongo (2009), pilares com seção transversal quadrada com lado igual a 25 cm possuem o valor da relação entre a tensão calculada junto à estaca e a resistência do concreto, ou seja ($\sigma_{b,zs}/f_c$), menor quando comparado a pilares retangulares com dimensões iguais a 25cm e 50 cm. A relação ($\sigma_{b,zs}/f_c$) para pilares quadrados com lado 25 cm vale 0,84, já a relação ($\sigma_{b,zs}/f_c$) para pilares retangulares com lados 25 cm e 50 cm vale 1,38. Isto demonstra que pilares com geometrias maiores, afetam a capacidade resistente dos blocos, aumentando sua resistência. (DELALIBERA E GIONGO, 2009).

3. METODOLOGIA

Para a realização do estudo da influência da geometria do pilar no projeto do bloco sobre duas estacas, inicialmente foi necessário definir alguns dados de entrada para o dimensionamento do bloco, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Dados de entrada

| DADOS DE ENTRADA | | DESCRIÇÃO |
|------------------------|-----------|---|
| ϕ (est) (cm) | 20 | Diâmetro da estaca |
| θ (°) | 45 | Ângulo das bielas |
| N_{sk} (kN) | 125 | Força normal sobre o pilar |
| M_{sk} (kN.m) | 12,5 | Momento Fletor aplicado no pilar |
| γ_f | 1,4 | Coefficiente de segurança do concreto |
| γ_n | 1,2 | Coefficiente de ajustamento |
| γ_s | 1,15 | Coefficiente de segurança do aço |
| CA | 50 | Resistência do aço ao escoamento |
| f_{ck} (MPa) | 25 | Resistência característica do concreto à compressão |
| F_{cd} (MPa) | 17,857143 | Resistência de cálculo à compressão do concreto |
| f_{yk} | 50 | Resistência característica do aço ao escoamento |
| f_{yd} | 43,48 | Resistência de cálculo do aço ao escoamento |
| ϕ (arm. tir) (cm) | 1,25 | Diâmetro da armadura do tirante |
| Cobr. (cm) | 3 | Cobrimento |
| Embut. (cm) | 3 | Altura de embutimento no bloco |
| $R_{est\ 1}$ (kN) | 83,333333 | Reação na estaca 1 |
| $R_{est\ 2}$ (kN) | 41,666667 | Reação na estaca 2 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Diante disso, foi possível dimensionar o bloco rígido, tendo como referência um pilar quadrado inicial com dimensões 20 X 20 cm.

O dimensionamento do bloco foi realizado de acordo com as recomendações da Norma NBR 6118:2014, além de critérios de projeto definidos na literatura relacionados ao tema. Para o dimensionamento do bloco em planta, teve-se a necessidade de conhecer o diâmetro e a disposição das estacas, vale ressaltar que a distância entre as estacas deve possuir um valor de eixo a eixo de no mínimo 2,5 a 3 vezes o diâmetro utilizado da estaca.

Em relação as dimensões verticais, fixou-se o ângulo das bielas em 45°, a partir disso encontrou-se o braço de alavanca, z . Sabendo que a tangente de 45° vale 1, observou-se que o braço de alavanca z , possui o valor da distância horizontal entre o eixo da estaca e o eixo onde uma parcela da força normal é aplicada pelo pilar.

A literatura apresenta algumas formas de como este eixo pode ser determinado, uma delas é através da divisão da área do pilar em “n” partes, onde este valor é o número de estacas. Para a obtenção deste eixo, pode-se aplicar o processo descrito por Carvalho e Pinheiro (2013), onde a seção do pilar é transformada em uma seção circular, de tal forma que pode ser dividida em setores circulares, assim, através de uma tabela (Tabela 2), pode-se determinar o centro de gravidade para quantidades distintas de estacas.

Tabela 2: Distância do CG do setor circular ao centro do círculo

| Número de estacas | Ângulo do setor circular | Distância do CG ao centro |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|
| 3 | 120 | 0,555.R |
| 4 | 90 | 0,600.R |
| 5 | 72 | 0,622.R |
| 6 | 60 | 0,636.R |

Fonte: Carvalho e Pinheiro (2013)

Logo, o raio de seção circular equivalente é determinado através da seguinte relação, apresentada na Equação (1):

$$a^2 = \pi \times R^2 \quad (1)$$

Onde:

a: Lado do pilar.

R: raio do pilar de seção circular equivalente.

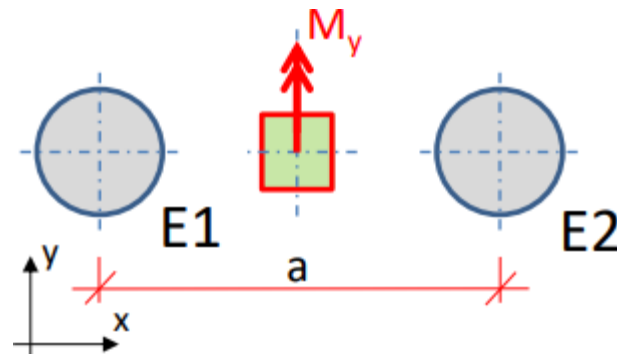
As demais dimensões, como a distância horizontal entre os eixos central do pilar e central das estacas pode ser determinada a partir das relações geométricas obtidas em planta. Além disso, tendo em mente a distância dos centros de gravidade (Tabela 2), é possível obter o valor do braço de alavanca (z), subtraindo essas distâncias dos respectivos setores circulares. Após determinado o braço de alavanca, pode ser obtido a altura útil “d” do bloco, utilizando a relação $z = 0,9.d$.

Enfim, a altura total do bloco será o valor da altura útil com os acréscimos do cobrimento inferior, ou seja, o embutimento que neste estudo será de 3 cm, mais a metade do

diâmetro da barra de armadura, que neste bloco será utilizado barras com $\phi = 12,5$ mm. Lembrando que estes valores foram definidos como dados de entrada para o dimensionamento dos blocos sobre duas estacas.

Entretanto, neste trabalho foi realizado o dimensionamento de bloco sobre duas estacas (Figura 8), e como a Tabela 2 não oferece esta opção, realizou-se o dimensionamento pelas equações a seguir.

Figura 8: Bloco sobre duas estacas



Fonte: Alonso (2006)

As Equações (2), (3) e (4), são referentes ao dimensionamento do bloco sobre duas estacas, e expressam respectivamente a altura do bloco, altura auxiliar e braço de alavanca.

$$h_{\text{bloco}} = h_{\text{aux}} + emb.^2 \quad (2)$$

$$h_{\text{aux}} = d + cob. + 0,5 \cdot \phi_s \quad (3)$$

$$z = 0,9 \cdot d \quad (4)$$

Onde:

h_{bloco} : altura do bloco

h_{aux} : altura auxiliar

$emb.$: embutimento

d : altura útil

cob: cobrimento

ϕ_s : diâmetro da barra de aço

z: braço de alavanca

Como já mencionado anteriormente e tratando-se de bloco rígido, para o dimensionamento do bloco, levando em consideração o pilar quadrado 20 X 20 cm, será fixado o ângulo θ de 45° para o valor do ângulo das bielas, conforme a teoria de Blévoit e Frémy.

A Equação (5) refere-se aos parâmetro k, que é necessário para a verificação do ângulo, calculado a partir da Equação (6)

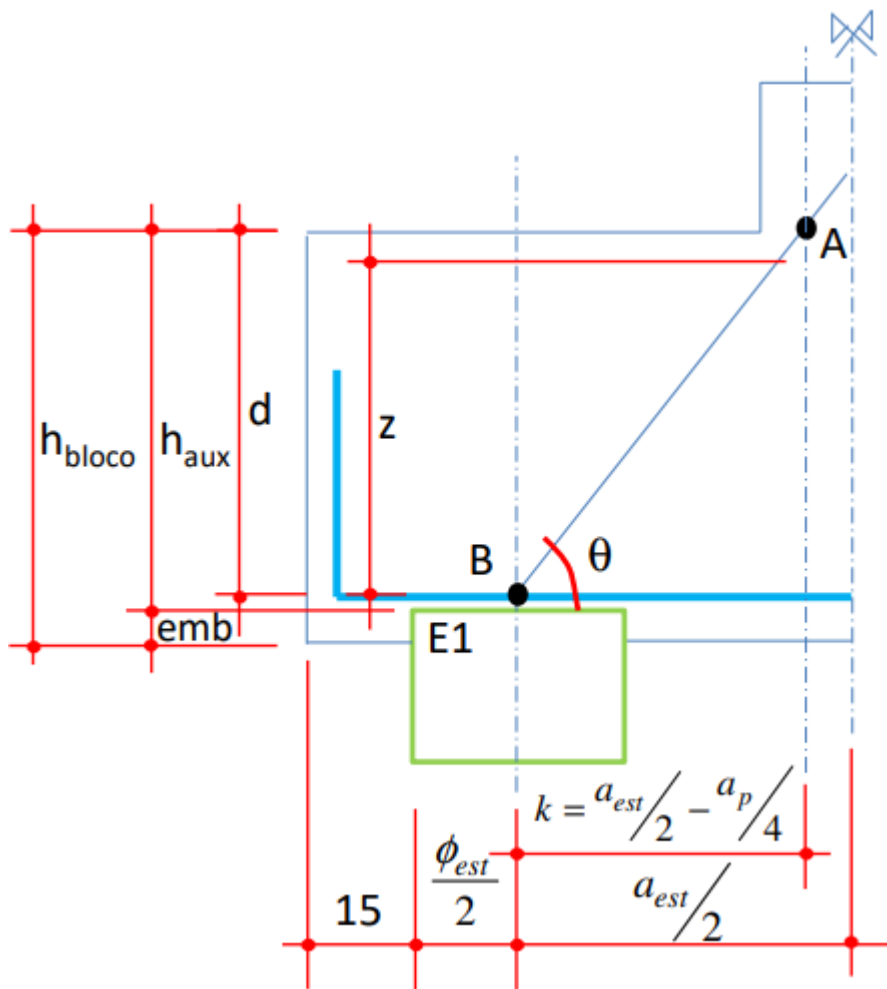
Logo:

$$k = (a_{est} \div 2) + (a_p \div 4) \quad (5)$$

$$\tan\theta = z \div k \quad (6)$$

Os parâmetros estão esquematizados na Figura 9, e os cálculos utilizados na determinação das tensões na biela foram realizados através do equilíbrio de nó no ponto B na treliça.

Figura 9: Dimensões do bloco rígido sobre duas estacas



Fonte: Notas de aula Concreto 2.

Visto isto, após o dimensionamento do bloco rígido sobre duas estacas utilizando a carga de um pilar quadrado de lado 20 cm, analisou-se as tensões nas bielas comprimidas, pelas equações a seguir.

A Equação (7) apresenta o cálculo da tensão limite de compressão da biela de concreto e as Equações (8) e (9) apresentam o cálculo das tensões das bielas junto ao pilar ($\sigma_{c,biela,P}$):

$$f_{cd3} = 0,72 * \alpha_{v2} * f_{cd} \quad (7)$$

Onde:

f_{cd} : resistência de cálculo do concreto

α_{v2} : $1 - (f_{ck}/250)$

f_{ck} : resistência característica do concreto

$$\sigma_{c,biela,P} = N_{Sd} \div (A_{c,pilar} * \text{Sen}^2\theta) \quad (8)$$

$$\sigma_{c,biela,P} = (\gamma_f * \gamma_n * N_{Sk}) \div (a_P * b_P * \text{Sen}^2\theta) \quad (9)$$

Onde:

$A_{c,pilar}$: área do pilar

N_{Sk} : força normal característica sobre o pilar

As Equações (10) e (11) permitem o cálculo da tensão da biela junto à estaca mais solicitada ($\sigma_{c,biela,e}$):

$$\sigma_{c,biela,e} = N_{Sd} \div (2A_{c,estaca} * \text{Sen}^2\theta) \quad (10)$$

$$\sigma_{c,biela,e} = (\gamma_f * \gamma_n * N_{Sk}) \div (2\pi * (\phi_{estaca}^2 \div 4) * \text{Sen}^2\theta) \quad (11)$$

Onde:

$A_{c,estaca}$: área da estaca

N_{Sk} : força normal característica sobre o pilar

De forma análoga, estudou-se o comportamento do bloco rígido sobre duas estacas, quando submetido a pilares com dimensões diferentes, totalizando a análise de 5 pilares. A Tabela 3 apresenta os pilares que foram aplicados sobre o elemento estrutural.

Tabela 3: Dimensões dos Pilares

| PILAR | DIMENSÕES | |
|-------|------------------|------------------|
| | $a_p(\text{cm})$ | $b_p(\text{cm})$ |
| 1 | 20 | 20 |
| 2 | 40 | 20 |
| 3 | 60 | 20 |
| 4 | 80 | 20 |
| 5 | 100 | 20 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

A verificação da influência da geometria do pilar sobre o bloco, foi verificada através de modelos e combinações entre alguns parâmetros, conforme ilustrado nas tabelas: Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4: Parâmetros

| MÉTODOLOGIA | | |
|--|--|---------------------------------------|
| PARÂMETRO | DESCRIÇÃO | MÉTODO DE OBTENÇÃO |
| $a_p(\text{cm})$ | Maior lado do Pilar | 5 MODELOS DE PILARES RETÂNGULARES |
| $d(\text{cm})$ | Altura útil do bloco | ANÁLISE NUMÉRICA: FORMULÁRIO |
| a_p/d | Maior lado do Pilar/Altura útil do bloco | RESULTADO DIRETO: ANÁLISE NUMÉRICA |
| $h_{\text{BLOCO}}(\text{cm})$ | Altura do Bloco | FIXADO/CALCULADO |
| $\theta(^{\circ})$ | Ângulo da biela | FIXADO/CALCULADO |
| $\sigma_{c,\text{biela,Pilar}} (\text{kN/m}^2)$ | Tensão na biela junto ao pilar | ANÁLISE NUMÉRICA: FORMULÁRIO |
| $\sigma_{c,\text{biela,Estaca}} (\text{kN/m}^2)$ | Tensão na biela junto à estaca mais solicitada | ANÁLISE NUMÉRICA: FORMULÁRIO |
| $A_{ST}(\text{cm}^2)$ | Armadura para o tirante | ANÁLISE NUMÉRICA: FORMULÁRIO |
| Volume de Concreto (cm^3) | Volume de concreto do bloco | RESULTADO DIRETO: ANÁLISE NUMÉRICA |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 5: Situações estudadas

| PARÂMETROS RELACIONADOS | CONDIÇÃO DE ANÁLISE | FERRAMENTA UTILIZADA |
|---|---|---------------------------------------|
| ap/d X θ (°) | 1) Esforço submetido: NORMAL 2) Posição da biela na base do pilar: 1/4a_P , ou seja, k=(a_{est}/2) - (a_P/4) 3) Altura do Bloco fixa: h= 35 cm | PLANILHA ELETRÔNICA: EXCEL E GRÁFICOS |
| ap/d X $\sigma_{c,biela,Pilar}$ (kN/m ²) | | |
| ap/d X $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | | |
| ap/d X AST(cm ²) | | |
| ap/d X θ (°) | 1) Esforço submetido: NORMAL 2) Posição da biela na base do pilar: CG do pilar , ou seja, k=a_{est}/2 3) Ângulo θ fixo e calculou-se altura do Bloco | PLANILHA ELETRÔNICA: EXCEL E GRÁFICOS |
| ap/d X $\sigma_{c,biela,Pilar}$ (kN/m ²) | | |
| ap/d X $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | | |
| ap/d X AST(cm ²) | | |
| ap/d X θ (°) | 1) Esforço submetido: NORMAL E MOMENTO FLETOR 2) Posição da biela na base do pilar: 1/4a_P , ou seja, k=(a_{est}/2) - (a_P/4) 3) Altura do Bloco fixa: h= 35 cm | PLANILHA ELETRÔNICA: EXCEL E GRÁFICOS |
| ap/d X $\sigma_{c,biela,Pilar}$ (kN/m ²) | | |
| ap/d X $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | | |
| ap/d X AST(cm ²) | | |
| ap/d X θ (°) | 1) Esforço submetido: NORMAL E MOMENTO FLETOR 2) Posição da biela na base do pilar: CG do pilar , ou seja, k=a_{est}/2 3) Ângulo θ fixo e calculou-se altura do Bloco | PLANILHA ELETRÔNICA: EXCEL E GRÁFICOS |
| ap/d X $\sigma_{c,biela,Pilar}$ (kN/m ²) | | |
| ap/d X $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | | |
| ap/d X AST(cm ²) | | |
| h _{BLOCO} (cm) X ap/d | 1) Esforço submetido: NORMAL E MOMENTO FLETOR 2) Posição da biela na base do pilar: 1/4a_P , ou seja, k=(a_{est}/2) - (a_P/4) 3) Ângulo θ fixo e calculou-se a altura do Bloco | PLANILHA ELETRÔNICA: EXCEL E GRÁFICOS |
| h _{BLOCO} (cm) X Volume de concreto (cm ³) | | |

Diante destes dados pode-se realizar gráficos que expressam a influência da seção transversal do pilar em relação ao comportamento estrutural do bloco rígido sobre duas estacas, estes fatores podem estabelecer critérios que auxiliam no dimensionamento e execução do elemento estrutural.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após o dimensionamento do bloco rígido para os cinco pilares, foram encontrados os parâmetros necessários para análise e determinação da influência da seção quadrada do pilar em relação ao bloco sobre duas estacas.

A seguir serão apresentadas tabelas com os resultados obtidos. Lembrando que, inicialmente para a dimensionamento do bloco foi considerado a menor seção de pilar, dentre os cinco analisados. Para isso, fixou o ângulo das bielas em 45° e encontrou-se a altura do bloco $h = 35$ cm, posteriormente verificou-se o ângulo e calculou-se os demais parâmetros. Na sequência, para as demais seções de pilares, fixou-se a altura do bloco igual a 35 cm e determinou-se os ângulos das bielas referentes aos respectivos pilares.

A Tabela 6, indica a dimensão do pilar que será aplicado no bloco sobre duas estacas.

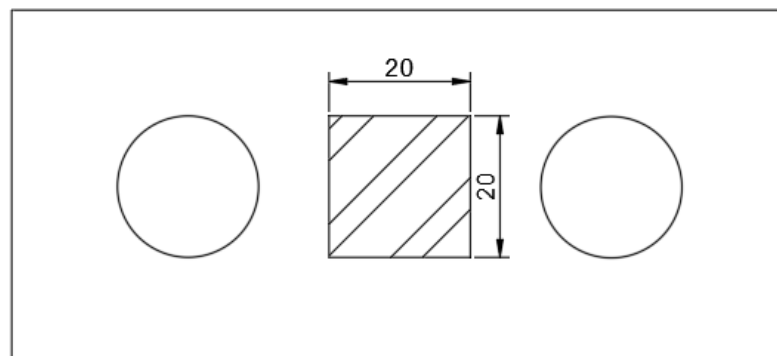
Tabela 6: Pilar 20x20cm

| DIMENSÕES DO PILAR | |
|--------------------|----|
| $a_{(P)}$ (cm) | 20 |
| $b_{(P)}$ (cm) | 20 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

A seguir, a Figura 10, apresenta uma ilustração do pilar quadrado (20x20 cm) disposto sobre o bloco rígido sobre duas estacas.

Figura 10: Pilar 20x20cm disposto sobre o bloco rígido sobre duas estacas



Fonte: Autor do TCC, 2024

Levando em consideração os dados de entrada, que foram mencionados na Tabela 1, foi possível dimensionar o bloco rígido sobre duas estacas submetido ao pilar quadrado 20x20 cm, apresentado na Tabela 7. Vale ressaltar que essa tabela considera o fator $k = (a_{est}/2) - (a_p/4)$, ou seja, o esforço proveniente do pilar é aplicado na sua base distante $\frac{1}{4}$ de a_p .

Tabela 7: Dimensão do bloco sobre duas estacas e altura do bloco

| DIMENSÃO DO BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS | |
|--|-------|
| Distância entre estacas (a_{est}) (cm) | 60 |
| Largura do bloco (b_{bloco}) (cm) | 50 |
| Comprimento do bloco (a_{bloco}) (cm) | 110 |
| tang 45 | 1 |
| k | 25 |
| z (cm) | 25 |
| d (cm) | 27,78 |
| $h_{(aux)}$ (cm) | 31,40 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 34,40 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 35,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Foi realizada a verificação do ângulo (θ) entre as bielas, conferindo se encontrava-se no intervalo entre $45^\circ \geq \theta \leq 55^\circ$. Dessa forma a Tabela 8 apresenta esta verificação.

Tabela 8: Cálculo do ângulo

| VERIFICAÇÃO DO ÂNGULO (θ) | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Altura auxiliar (h_{aux}) (i) | 32,00 |
| d(cm) | 28,38 |
| z (cm) | 25,54 |
| tang θ | 1,0215 |
| θ | 45,61 |
| VERIFICAÇÃO | OK, Dentro do intervalo |

Fonte: Autor do TCC, 2024

A Tabela 9 calcula o valor da tensão limite de compressão da biela de concreto, para verificação em relação as tensões junto ao pilar e à estaca mais solicitada.

Tabela 9: Tensão limite de compressão da biela de concreto

| VALOR DA TENSÃO LIMITE DE COMPRESSÃO DA BIELA DE CONCRETO | |
|--|----------|
| α_2 | 0,9 |
| f_{cd} | 17,86 |
| f_{cd3} (MPa) | 11,57143 |
| f_{cd3} (kN/m ²) | 11571,43 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

A Tabela 10 determina a tensão limite de compressão da biela de concreto, nota-se que o valor da força normal de compressão é multiplicado pelos coeficientes de segurança do concreto e coeficiente de ajustamento que foram apresentados nos dados de entrada.

Tabela 10: Tensões na biela junto ao pilar

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO AO PILAR | |
|--|-------------|
| N_{sd} (kN) | 210 |
| $A_{c,pilar}$ (m ²) | 0,04 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,714586918 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,510634464 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ (kN/m ²) | 10281,33 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

As tabelas a seguir, Tabela 11 e Tabela 12, apresentam o cálculo da tensão na biela junto à estaca mais solicitada para dois casos: Considerando apenas a força normal de compressão aplicada ao pilar e, uma segunda situação, quando o pilar está submetido ao esforço normal e, também, com atuação do momento fletor.

Tabela 11: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 105 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $sen\theta$ | 0,714586918 |
| $sen^2\theta$ | 0,510634464 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 3272,648091 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 12: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 140 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $sen\theta$ | 0,714586918 |
| $sen^2\theta$ | 0,510634464 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 8727,061575 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

As tabelas, Tabela 13 e Tabela 14, expressam respectivamente a armadura necessária no tirante, quando aplicado ao elemento estrutural o esforço normal e para o caso em que é aplicado a combinação dos dois esforços, ou seja, esforço normal e momento fletor.

Tabela 13: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|------------|
| $1,8 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 2220,65 |
| A_{st} (cm ²) | 2,3642 |
| n | 1,89133627 |
| n | 2,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

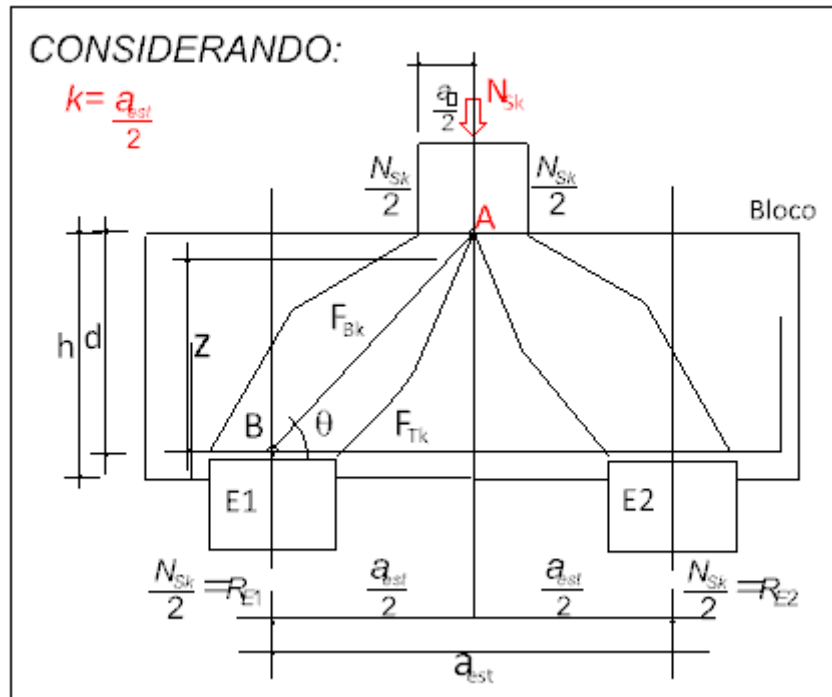
Tabela 14: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|-------------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1110,33 |
| A_{st} (cm ²) | 3,1522 |
| n | 2,521781694 |
| n | 3,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

O comportamento do bloco também foi verificado quando os esforços provenientes da superestrutura é aplicado na base do pilar, em seu centro de gravidade, e a partir desse ponto é absorvido pelas estacas. Ou seja, para os cálculos é levado em consideração a constante $k = a_{est}/2$, como apresentado na Figura 11.

Figura 11: Modelo de treliça – Ponto A no centro do pilar ($k=a_{est}/2$)



Fonte: Notas de aula Concreto Armado 2 - Modificado

A seguir são apresentados os cálculos para esse caso em relação ao pilar quadrado 20x20 cm, a Tabela 15 calcula a altura do bloco.

Tabela 15: Altura do Bloco, considerando $k = a_{est}/2$

| DIMENSÃO DO BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS | |
|--|-------|
| Distância entre estacas (a_{est}) (cm) | 60 |
| Largura do bloco (b_{bloco}) (cm) | 50 |
| Comprimento do bloco (a_{bloco}) (cm) | 110 |
| tang 45 | 1 |
| k | 30 |
| z (cm) | 30 |
| d (cm) | 33,33 |
| $h_{(aux)}$ (cm) | 36,96 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 39,96 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 40,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Após definir a altura do bloco foi possível determinar o real ângulo, como pode ser visto na Tabela 16.

Tabela 16: Cálculo do ângulo

| VERIFICAÇÃO DO ÂNGULO (θ) | |
|--|--------------------------------|
| Altura auxiliar (h_{aux}) (i) | 37,00 |
| d(cm) | 33,38 |
| z (cm) | 30,04 |
| tang θ | 1,00125 |
| θ | 45,04 |
| VERIFICAÇÃO | OK, Dentro do intervalo |

Fonte: Autor do TCC, 2024

A Tabela 17 calcula a tensão na biela junto ao pilar e compara com a tensão limite de compressão da biela de concreto, apresentada na Tabela 9, e assim é verificado se a tensão solicitada na biela é menor do que a tensão limite resistente.

Tabela 17: Tensões na biela junto ao pilar

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO AO PILAR | |
|--|-------------|
| N_{sd} (kN) | 210 |
| $A_{c,pilar}$ (m ²) | 0,04 |
| sen θ | 0,707548309 |
| sen ² θ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ | 10486,89957 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

O cálculo das tensões junto à estaca mais solicitada é realizado, de forma análoga ao primeiro caso ($k = a_{est}/2 - a_p/4$), para duas situações: Primeiramente considerando apenas o esforço normal e posteriormente quando é aplicado junto a ele o momento fletor, conforme as tabelas Tabela 18 e Tabela 19.

Tabela 18: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando Esforço Normal

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 105 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $sen\theta$ | 0,707548309 |
| $sen^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 6676,167616 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 19: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 140 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $sen\theta$ | 0,707548309 |
| $sen^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 8901,556821 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

E por fim, as tabelas Tabela 20 e Tabela 21, apresentam a armadura necessária no tirante para as duas situações.

Tabela 20: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|---------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1304,35 |
| A_{st} (cm ²) | 2,4150 |
| n | 0,805 |
| n | 1,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 21: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|---------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1304,35 |
| A_{st} (cm ²) | 3,2200 |
| n | 2,576 |
| n | 3,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Desse modo foram determinadas as propriedades mecânicas do bloco sobre duas estacas, quando submetido ao pilar 20x20 cm.

A seguir será demonstrado como foi realizado os cálculos para o bloco de seção 40x20 cm. (Figura 12)

Primeiramente fixou-se o ângulo das bielas em 45° e verificou-se a altura do bloco, entretanto como a altura encontrada foi inferior a 30cm, menor que a altura mínima determinada pela NBR 6120, obteve-se o restante do dimensionamento do bloco rígido sobre duas estacas fixando a altura do bloco em 35cm (altura encontrada em relação ao pilar 20x20 cm).

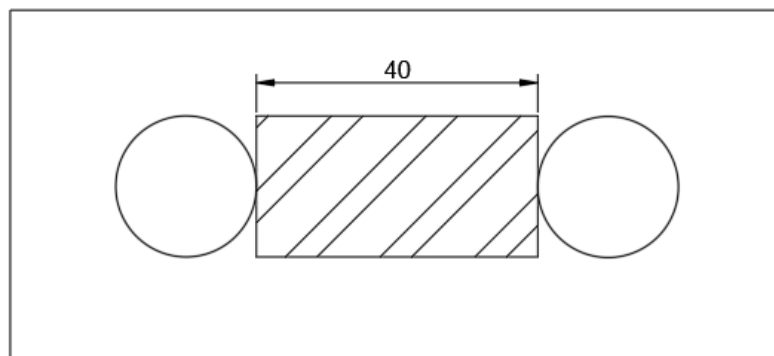
Através da Tabela 22, percebe-se que a altura do bloco é igual a 29cm, menor que o recomendado.

Tabela 22: Altura do bloco fixando ângulo das bielas

| DIMENSÃO DO BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS | |
|--|-------|
| Distância entre estacas (a_{est}) (cm) | 60 |
| Largura do bloco (b_{bloco}) (cm) | 50 |
| Comprimento do bloco (a_{bloco}) (cm) | 110 |
| tang 45 | 1 |
| k | 20 |
| z (cm) | 20 |
| d (cm) | 22,22 |
| $h_{(aux)}$ (cm) | 25,85 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 28,85 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 29,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Visto isto, o ângulo foi determinado através da altura do bloco pré-definida, conforme mostrado na Tabela 23.

Figura 12: Pilar 40x20cm disposto sobre bloco rígido sobre duas estacas

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 23: Cálculo do ângulo das bielas fixando $h_{\text{BLOCO}} = 35\text{cm}$

| FIXANDO A ALTURA DO BLOCO $h_{\text{bloco}}=35\text{ cm}$ | |
|---|-------------|
| h_{bloco} (cm) | 35 |
| Altura auxiliar (h_{aux}) (cm) | 32 |
| d (cm) | 28,375 |
| z (cm) | 25,5375 |
| k (cm) | 20 |
| tang θ | 1,276875 |
| θ | 51,93330171 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

O cálculo da das tensões na biela junto ao pilar é verificado através do valor da tensão limite de compressão da biela de concreto. As tabelas, Tabela 24 e Tabela 25, apresentam estes resultados.

Tabela 24: Tensão limite de compressão

| VALOR DA TENSÃO LIMITE DE COMPRESSÃO DA BIELA DE CONCRETO | |
|--|----------|
| α_2 | 0,9 |
| fcd | 17,86 |
| fcd3 (MPa) | 11,57143 |
| fcd3 (kN/m ²) | 11571,43 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Em relação as tensões na biela junto à estaca mais solicitada, como já mencionado, o cálculo foi realizado considerando as duas situações de esforços provenientes da estrutura, de acordo com os dados expressos nas tabelas Tabela 26 e Tabela 27.

Assim como, as armaduras no tirante que estão demonstradas nas tabelas Tabela 28 e Tabela 29.

Tabela 25: Tensões na biela junto ao pilar

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO AO PILAR | |
|---|-------------|
| N_{sd} (kN) | 210 |
| $A_{c,pilar}$ (m ²) | 0,08 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,787293525 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,619831095 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ (kN/m ²) | 4235,024704 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 26: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|---|-------------|
| R_{sdest1} (kN) | 105 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,787293525 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,619831095 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 2696,100463 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 27: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 140 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,787293525 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,619831095 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 7189,601234 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 28: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|-------------|
| $1,8*d*f_{yd}$ | 2220,65 |
| A_{st} (cm ²) | 1,8913 |
| n | 1,513069016 |
| n | 2,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 29: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|-------------|
| $0,9*d*f_{yd}$ | 1110,33 |
| A_{st} (cm ²) | 2,5218 |
| n | 2,017425355 |
| n | 3,00 |

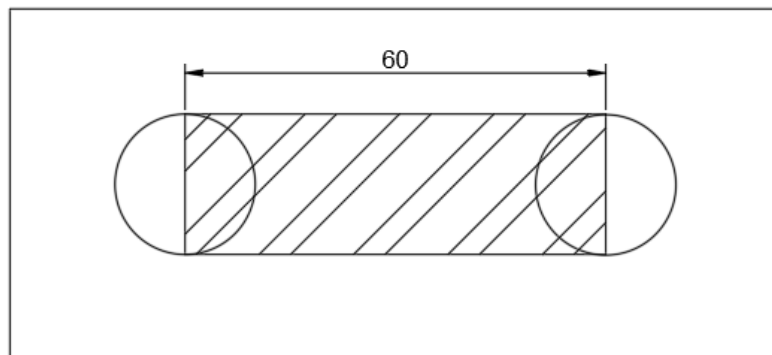
Fonte: Autor do TCC, 2024

O comportamento do bloco também foi verificado quando os esforços provenientes da superestrutura é aplicado na base do pilar, na direção do seu centro de gravidade, e a partir desse ponto é absorvido pelas estacas. Ou seja, para os cálculos é levado em consideração

a constante $k = a_{est}/2$. Essa análise foi realizada em todos os cinco modelos de relação entre bloco sobre duas estacas e pilar.

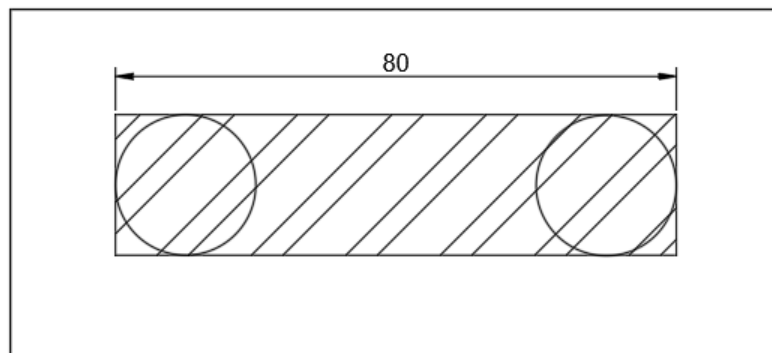
A seguir será apresentado um resumo dos parâmetros, que foram determinados conforme mostrado nos cálculos das duas primeiras seções de pilares e, também, uma ilustração em planta do bloco sobre duas estacas para cada uma das demais seções que não foram apresentadas anteriormente. (Figura 13, Figura 14 e Figura 15)

Figura 13: Pilar 60x20cm disposto sobre bloco rígido sobre duas estacas



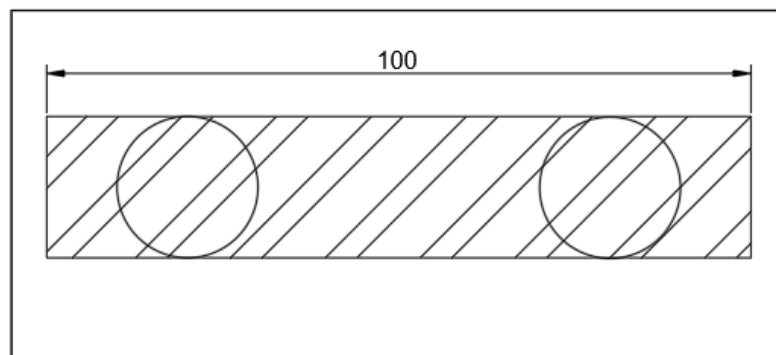
Fonte: Autor do TCC, 2024

Figura 14: Pilar 80x20cm disposto sobre bloco rígido sobre duas estacas



Fonte: Autor do TCC, 2024

Figura 15: Pilar 100x20cm disposto sobre bloco rígido sobre duas estacas



Fonte: Autor do TCC, 2024

A Tabela 30 apresenta de forma resumida os parâmetros após a análise de todos os modelos.

Tabela 30: Resumo dos parâmetros

| 1/4a _p DISTANTE DO CENTRO DO PILAR (k=a _{est} /2 - a _p /4) | | | | | | | | | |
|---|---------------------|-------|-------------------|----|----------------------------|-------|---|---------------------------------------|--|
| PILAR SUBMETIDO AO ESFORÇO NORMAL | | | | | | | | | |
| PILAR (cmxcm) | PARÂMETROS | | | | | | | | |
| | a _p (cm) | d(cm) | a _p /d | k | h _{bloco} (cm) | θ(°) | σ _{c,biela,Pilar} (kN/m ²) | A _{st} (cm ²) | σ _{c,biela,Estaca} (kN/m ²) |
| 20X20 | 20 | 27,78 | 0,72 | 25 | 35 | 45,61 | 10281,33 | 2,36 | 3272,64 |
| 40X20 | 40 | 28,38 | 1,41 | 20 | 35 | 51,93 | 4235,02 | 1,89 | 2696,10 |
| 60X20 | 60 | 28,38 | 2,11 | 15 | 35 | 59,57 | 2353,76 | 1,42 | 2247,67 |
| 80X20 | 80 | 28,38 | 2,82 | 10 | 35 | 68,62 | 1513,75 | 0,95 | 1927,37 |
| 100X20 | 100 | 28,38 | 3,52 | 5 | 35 | 78,92 | 1090,25 | 0,47 | 1735,19 |
| CENTRO DE GRAVIDADE DO PILAR (k=a _{est} /2) | | | | | | | | | |
| PILAR SUBMETIDO AO ESFORÇO NORMAL | | | | | | | | | |
| PILAR (cmxcm) | PARÂMETROS | | | | | | | | |
| | a _p (cm) | d(cm) | a _p /d | k | h _{bloco} (cm) | θ(°) | σ _{c,biela,Pilar} (kN/m ²) | A _{st} (cm ²) | σ _{c,biela,Estaca} (kN/m ²) |
| 20X20 | 20 | 33,33 | 0,60 | 30 | 40 | 45,04 | 10486,90 | 2,415 | 6676,16 |
| 40X20 | 40 | 33,33 | 1,20 | 30 | 40 | 45,04 | 5243,45 | 2,415 | 6676,16 |
| 60X20 | 60 | 33,33 | 1,80 | 30 | 40 | 45,04 | 3495,63 | 2,415 | 6676,16 |
| 80X20 | 80 | 33,33 | 2,40 | 30 | 40 | 45,04 | 2621,72 | 2,415 | 6676,16 |
| 100X20 | 100 | 33,33 | 3,00 | 30 | 40 | 45,04 | 2097,38 | 2,415 | 6676,16 |
| 1/4a _p DISTANTE DO CENTRO DO PILAR (k=a _{est} /2 - a _p /4) | | | | | | | | | |
| PILAR SUBMETIDO AO ESFORÇO NORMAL E MOMENTO FLETOR | | | | | | | | | |
| PILAR (cmxcm) | PARÂMETROS | | | | | | | | |
| | a _p (cm) | d(cm) | a _p /d | k | h _{bloco} (cm) | θ(°) | σ _{c,biela,Pilar} (kN/m ²) | A _{st} (cm ²) | σ _{c,biela,Estaca} (kN/m ²) |
| 20X20 | 20 | 27,78 | 0,72 | 25 | 35 | 45,61 | 10281,33 | 3,15 | 8727,06 |
| 40X20 | 40 | 28,38 | 1,41 | 20 | 35 | 51,93 | 4235,02 | 2,52 | 7189,6 |
| 60X20 | 60 | 28,38 | 2,11 | 15 | 35 | 59,57 | 2353,76 | 1,89 | 5993,798 |
| 80X20 | 80 | 28,38 | 2,82 | 10 | 35 | 68,62 | 1513,75 | 1,26 | 5139,65 |
| 100X20 | 100 | 28,38 | 3,52 | 5 | 35 | 78,92 | 1090,25 | 0,63 | 4627,167 |
| CENTRO DE GRAVIDADE DO PILAR (k=a _{est} /2) | | | | | | | | | |
| PILAR SUBMETIDO AO ESFORÇO NORMAL E MOMENTO FLETOR | | | | | | | | | |
| PILAR (cmxcm) | PARÂMETROS | | | | | | | | |
| | a _p (cm) | d(cm) | a _p /d | k | h _{bloco} (cm) | θ(°) | σ _{c,biela,Pilar} (kN/m ²) | A _{st} (cm ²) | σ _{c,biela,Estaca} (kN/m ²) |
| 20X20 | 20 | 33,33 | 0,60 | 30 | 40 | 45,04 | 10486,90 | 3,22 | 8901,56 |
| 40X20 | 40 | 33,33 | 1,20 | 30 | 40 | 45,04 | 5243,45 | 3,22 | 8901,56 |
| 60X20 | 60 | 33,33 | 1,80 | 30 | 40 | 45,04 | 3495,63 | 3,22 | 8901,56 |
| 80X20 | 80 | 33,33 | 2,40 | 30 | 40 | 45,04 | 2621,72 | 3,22 | 8901,56 |
| 100X20 | 100 | 33,33 | 3,00 | 30 | 40 | 45,04 | 2097,38 | 3,22 | 8901,56 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Embora não tenha levado em consideração a altura do bloco, na situação em que é fixado o ângulo da bielas, foi elaborada uma tabela (Tabela 31) que constam essas

informações. Dessa forma, obteve-se dados para uma análise crítica da relação entre as dimensões do pilar e o bloco, quando sujeitos a esse caso, ou seja fixando o ângulo da bielas.

Tabela 31: Altura do bloco, fixando o ângulo das bielas

| ALTURA DO BLOCO: FIXANDO ÂNGULO DAS BIELAS | | | | | | |
|---|------------|--------------------|-------|---------|-------------------|---------------------|
| PILAR (cmxcm) | a_p (cm) | $\theta(^{\circ})$ | d(cm) | a_p/d | h_{aux} (cm) | h_{bloco} (cm) |
| 20X20 | 20 | 45 | 27,78 | 0,72 | 31,40 | 35,00 |
| 40X20 | 40 | 45 | 22,22 | 1,80 | 25,85 | 29,00 |
| 60X20 | 60 | 45 | 16,67 | 3,60 | 20,29 | 24,00 |
| 80X20 | 80 | 45 | 11,11 | 7,20 | 14,74 | 18,00 |
| 100X20 | 100 | 45 | 5,56 | 17,99 | 9,18 | 13,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

4.2 ANÁLISE GRÁFICA

Através dos resultados obtidos, foram realizadas análises gráficas, onde a razão entre o lado do pilar e a altura útil (a_p/d) é relacionada com os parâmetros: ângulo da biela (θ), tensão na biela junto ao pilar, tensão na biela junto à estaca mais solicitada, armadura no tirante e altura do bloco.

As tabelas, Tabela 32 e Tabela 33, apresentam a relação entre a razão (a_p/d) e o ângulo θ . Nota-se que elas são iguais, ou seja os esforços provenientes da estrutura não interferem no ângulo das bielas.

Tabela 32: Razão (a_p/d) x Ângulo θ – Esforço Normal e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ da distância do CG do Pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| a_p/d | 0,72 | 1,41 | 2,11 | 2,82 | 3,52 |
| θ (°) | 45,61 | 51,93 | 59,57 | 68,62 | 78,92 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

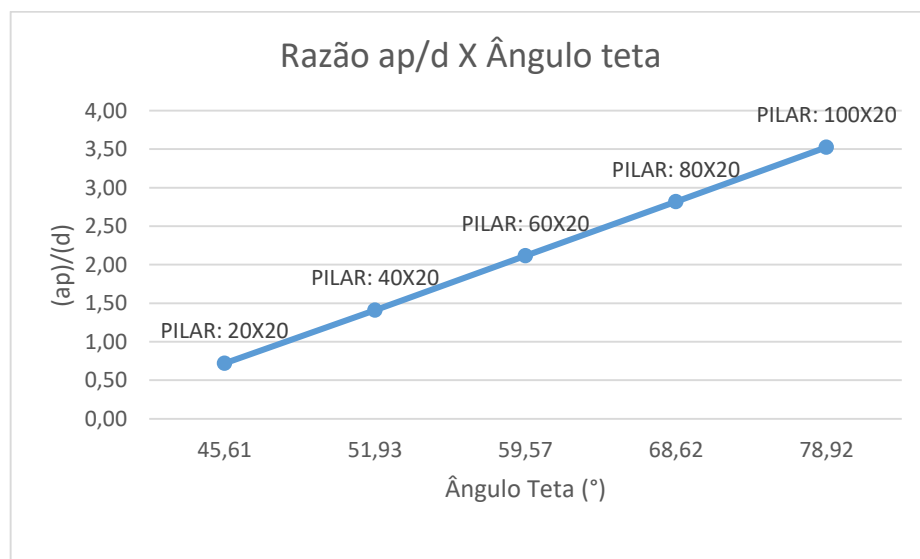
Tabela 33: Razão (a_p/d) x Ângulo θ – Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ da distância do CG do Pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| a_p/d | 0,72 | 1,41 | 2,11 | 2,82 | 3,52 |
| θ (°) | 45,61 | 51,93 | 59,57 | 68,62 | 78,92 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Através das tabelas acima, foi possível traçar o Gráfico 1 e expressar a relação entre a razão (a_p/d) pelo ângulo θ .

Gráfico 1: Razão (a_p/d) x Ângulo θ – Biela a $\frac{1}{4}a_p$ da distância do CG do Pilar



Fonte: Autor do TCC, 2024

A Tabela 34 apresenta a relação entre a razão (a_p/d) e o ângulo θ das bielas. Como já visto anteriormente, os esforços não influenciam nesta relação. O Gráfico 2 mostra que o ângulo é constante independentemente das dimensões do pilar, isto ocorre pois nesta situação o ângulo da biela está “saindo” do centro geométrico do pilar, logo todos os modelos de pilares apresentam mesmo valor e k.

Tabela 34: Razão (a_p/d) x Ângulo θ – Biela no CG do Pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| a_p/d | 0,60 | 1,20 | 1,80 | 2,40 | 3,00 |
| θ (°) | 45,04 | 45,04 | 45,04 | 45,04 | 45,04 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 2: Razão (a_p/d) x Ângulo θ – Biela no CG do Pilar



Fonte: Autor do TCC, 2024

Em relação as tensões na biela junto ao pilar, os esforços ou combinações de esforços aplicados no pilar não interferem nesta análise, ao contrário da posição que é considerado para o cálculo do ângulo das bielas, uma vez que essas tensões dependem do ângulo para seu cálculo.

Tendo isto em mente, será apresentado dois gráficos relacionando estes parâmetros, uma análise para $\frac{1}{4}a_p$ da distância e outra no CG do pilar.

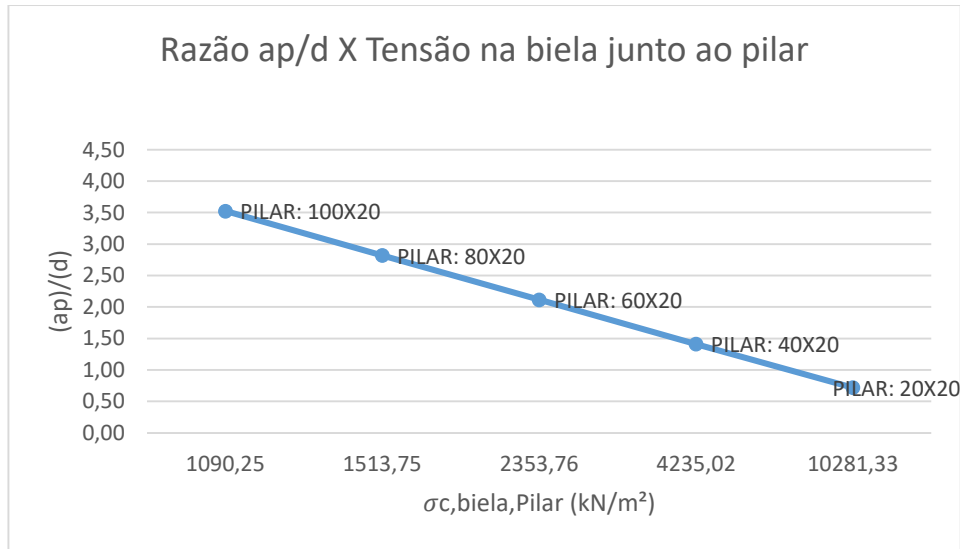
A Tabela 35 e o Gráfico 3 apresentam a relação entre os valores para o primeiro caso citado acima. Já a Tabela 36 e o Gráfico 4 dizem a respeito ao segundo caso.

Tabela 35: Relação entre a razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Pilar}$ – Biela a $\frac{1}{4}a_p$ da distância do CG do pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|--------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| a_p/d | 0,72 | 1,41 | 2,11 | 2,82 | 3,52 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ | 10281,33 | 4235,02 | 2353,76 | 1513,75 | 1090,25 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 3: Razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Pilar}$ – Biela a $\frac{1}{4}a_p$ da distância do CG do pilar



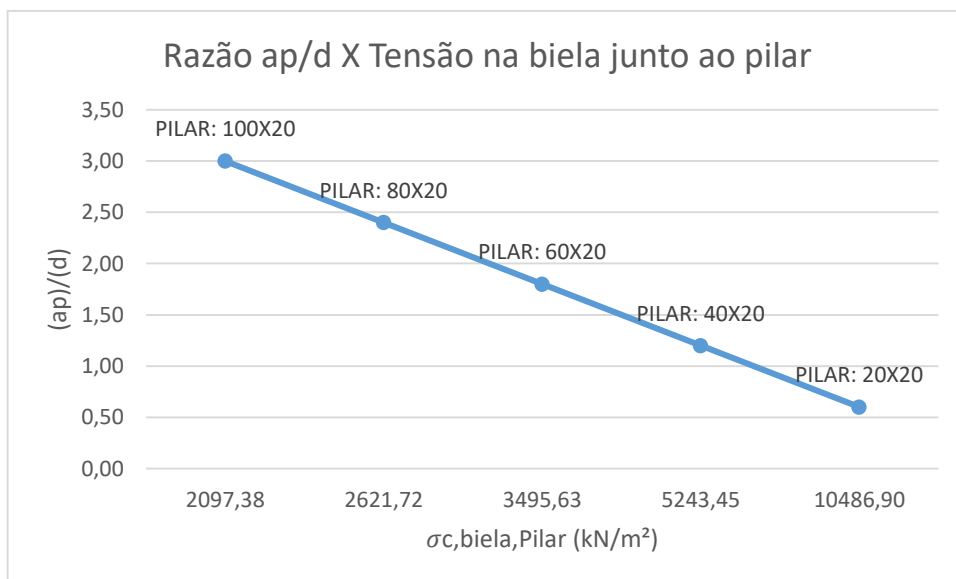
Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 36: Relação entre a razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Pilar}$ – Biela no CG do pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|--------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| a_p/d | 0,60 | 1,20 | 1,80 | 2,40 | 3,00 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ | 10486,90 | 5243,45 | 3495,63 | 2621,72 | 2097,38 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 4: Razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Pilar}$ – Biela no CG do pilar



Fonte: Autor do TCC, 2024

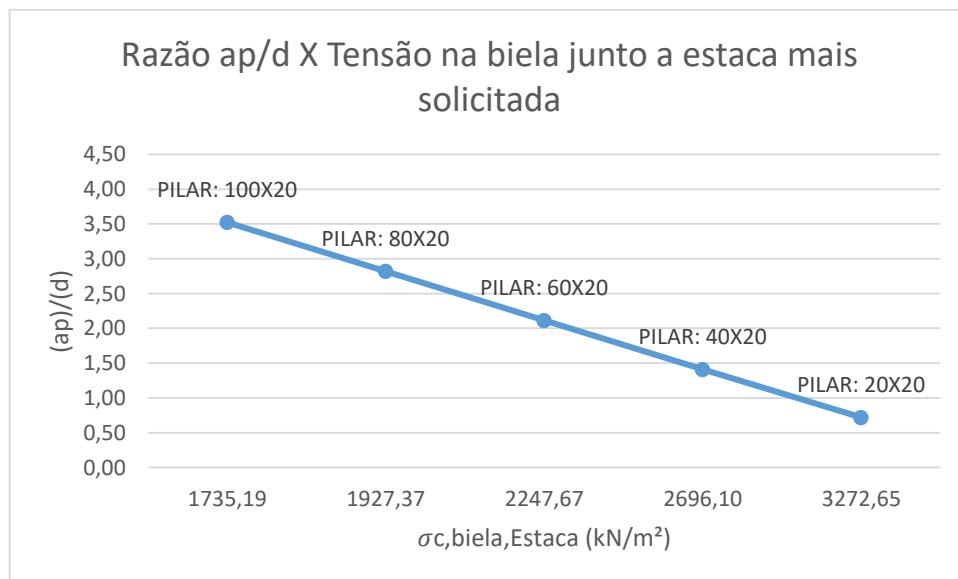
A seguir serão apresentados as tabelas e gráficos referentes as tensões junto à estaca mais solicitada, esses parâmetros possuem comportamentos que dependem da combinação de esforços aplicado ao pilar. A reação da estaca se comporta de forma distinta quando há a presença de momento fletor em comparação a uma situação em que apenas o esforço normal está atuando. As tabelas, Tabela 37 e Tabela 38, como seus respectivos gráficos, Gráfico 5 e Gráfico 6, expressam a relação entre os fatores, de acordo com cada condição de análise.

Tabela 37: Relação entre a razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Estaca}$ – Esforço Normal e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ do CG do pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| a_p/d | 0,72 | 1,41 | 2,11 | 2,82 | 3,52 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ | 3272,65 | 2696,10 | 2247,67 | 1927,37 | 1735,19 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 5: Relação entre a razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Estaca}$ – Esforço Normal e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ do CG do pilar



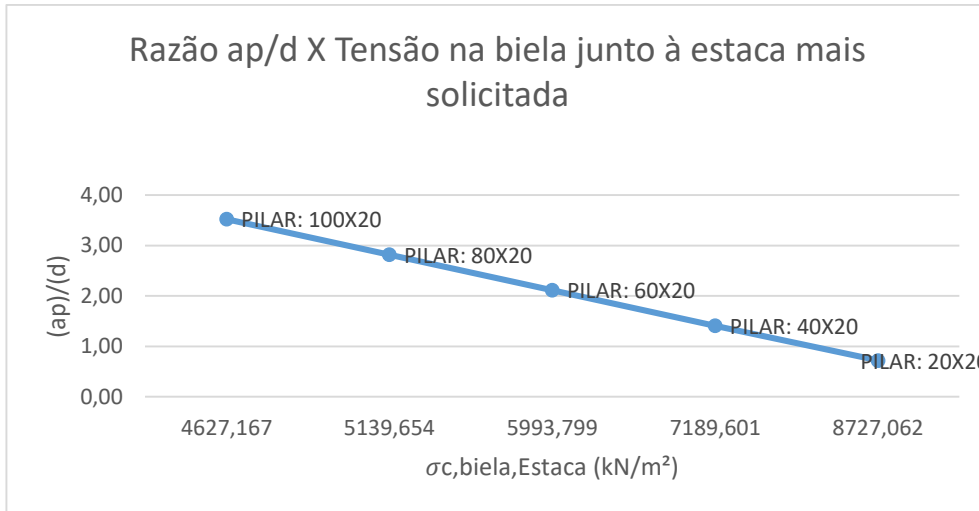
Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 38: Relação entre a razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Estaca}$ – Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ do CG do pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| a_p/d | 0,72 | 1,41 | 2,11 | 2,82 | 3,52 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 8727,06 | 7189,60 | 5993,80 | 5139,65 | 4627,17 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 6: Relação entre a razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Estaca}$ – Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ do CG do pilar



Fonte: Autor do TCC, 2024

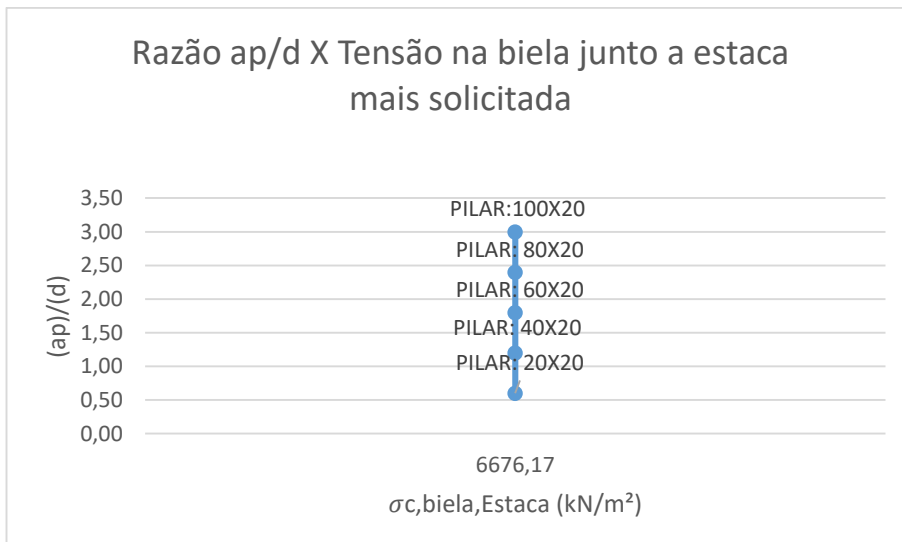
As tabelas (Tabela 39 e Tabela 40) e os gráficos (Gráfico 7 e Gráfico 8) apresentam a relação entre a razão a_p/d e as tensões na biela junto à estaca mais solicitada. Essa análise leva em consideração as duas situações de esforços solicitantes da estrutura e, também, quando $k = a_{est}/2$, em outras palavras, a biela é estudada a partir no centro geométrico do pilar.

Tabela 39: Relação entre a razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Estaca}$ – Esforço Normal e Biela a partir do CG do pilar.

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| a_p/d | 0,60 | 1,20 | 1,80 | 2,40 | 3,00 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ | 6676,17 | 6676,17 | 6676,17 | 6676,17 | 6676,17 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 7: Relação entre a razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Estaca}$ – Esforço Normal e Biela a partir do CG do pilar.



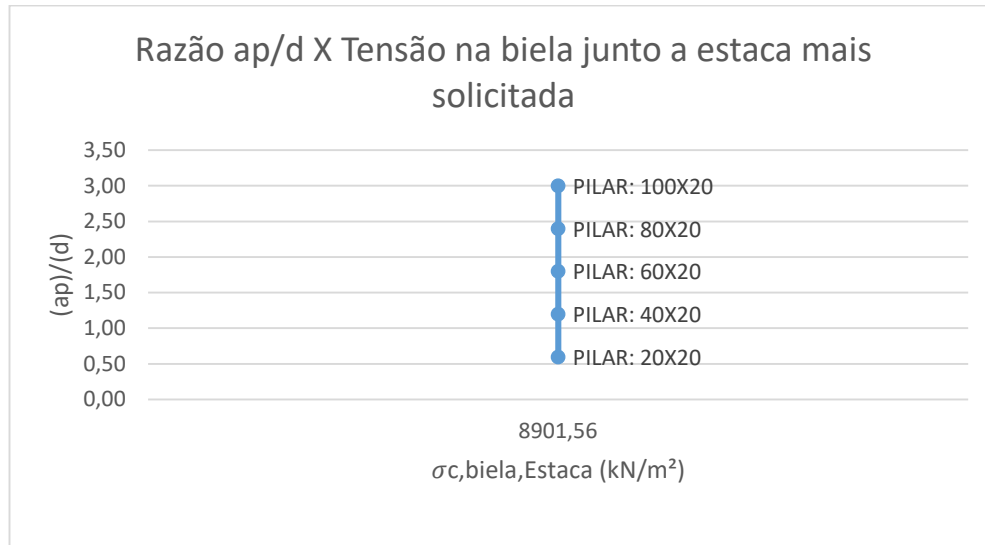
Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 40: Relação entre a razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Estaca}$ – Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a partir do CG do pilar.

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| a_p/d | 0,60 | 1,20 | 1,80 | 2,40 | 3,00 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 8901,56 | 8901,56 | 8901,56 | 8901,56 | 8901,56 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 8: Relação entre a razão (a_p/d) x $\sigma_{c,biela,Estaca}$ – Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a partir do CG do pilar.



Fonte: Autor do TCC, 2024

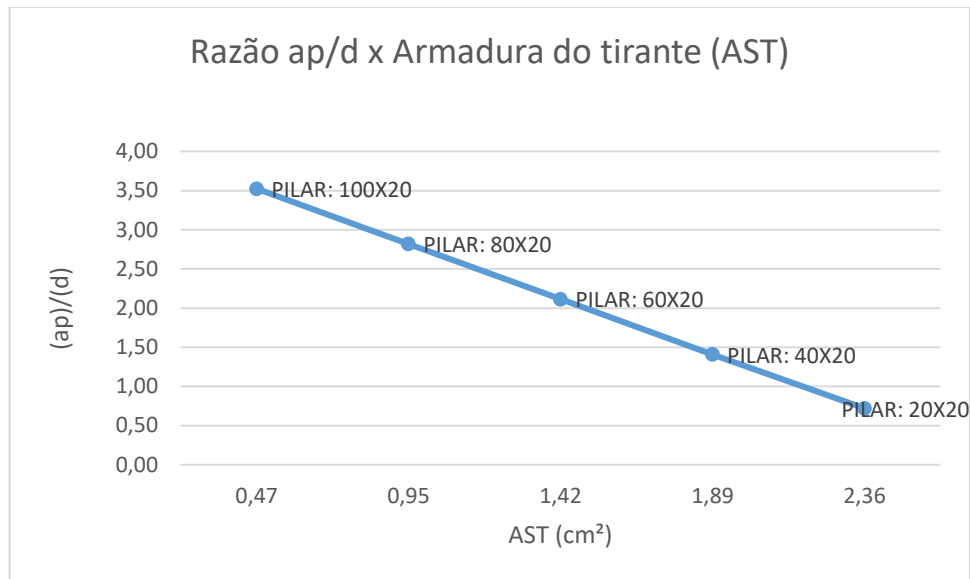
As tabelas (Tabela 41, Tabela 42, Tabela 43 e Tabela 44) e os gráficos (Gráfico 9, Gráfico 10, Gráfico 11 e Gráfico 12) a seguir relacionam a razão a_p/d e a armadura no tirante. Essas análises levam em consideração as mesmas situações abordadas nas relações entre os outros parâmetros estudados.

Tabela 41: Relação entre a razão (a_p/d) x Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ do CG do pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| a_p/d | 0,72 | 1,41 | 2,11 | 2,82 | 3,52 |
| A_{st} (cm ²) | 2,36 | 1,89 | 1,42 | 0,95 | 0,47 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 9: Razão (a_p/d) x Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ do CG do pilar



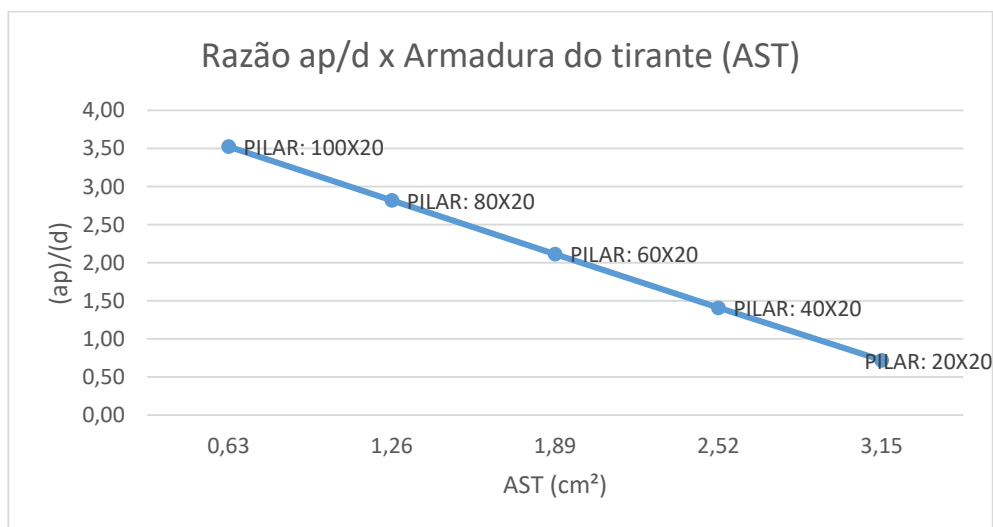
Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 42: Relação entre a razão (a_p/d) x Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ do CG do pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| a_p/d | 0,72 | 1,41 | 2,11 | 2,82 | 3,52 |
| A_{st} (cm ²) | 3,15 | 2,52 | 1,89 | 1,26 | 0,63 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 10: Razão (a_p/d) x Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Momento Fletor e Biela a $\frac{1}{4}a_p$ do CG do pilar



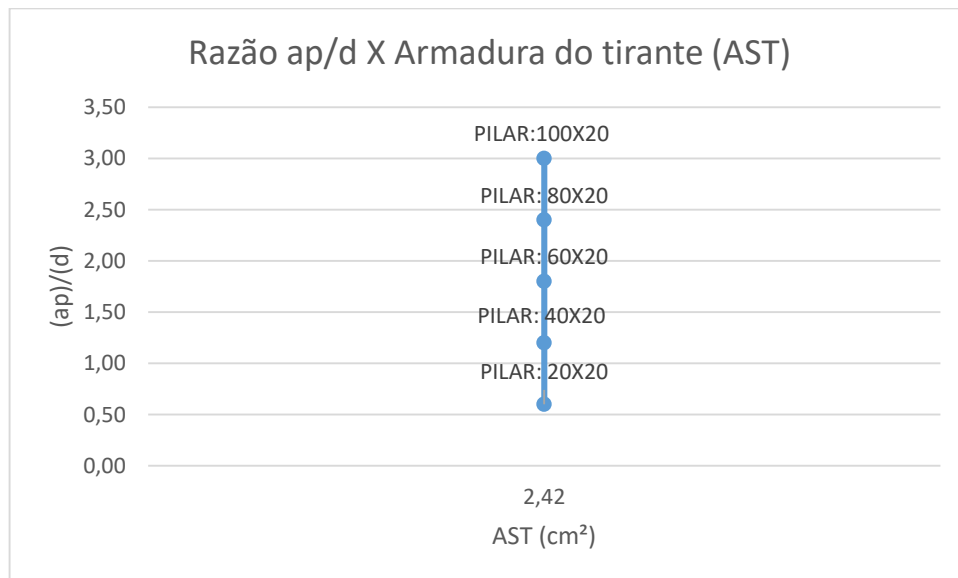
Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 43: Relação entre a razão (a_p/d) x Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Biela à partir do CG do pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| a_p/d | 0,60 | 1,20 | 1,80 | 2,40 | 3,00 |
| A_{st} (cm ²) | 2,42 | 2,42 | 2,42 | 2,42 | 2,42 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 11: Razão (a_p/d) x Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Biela à partir do CG do pilar



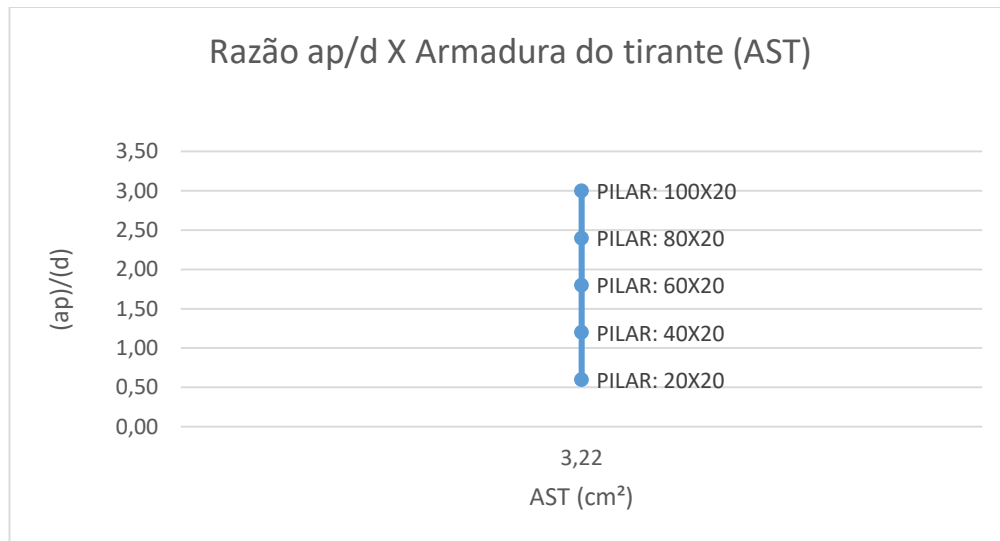
Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 44: Relação entre a razão (a_p/d) x Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Momento Fletor e Biela à partir do CG do pilar

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|
| a_p/d | 0,60 | 1,20 | 1,80 | 2,40 | 3,00 |
| A_{st} (cm ²) | 3,2200 | 3,22 | 3,22 | 3,22 | 3,22 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 12: razão (a_p/d) x Armadura do tirante (A_{ST}) - Esforço Normal e Momento Fletor e Biela à partir do CG do pilar



Fonte: Autor do TCC, 2024

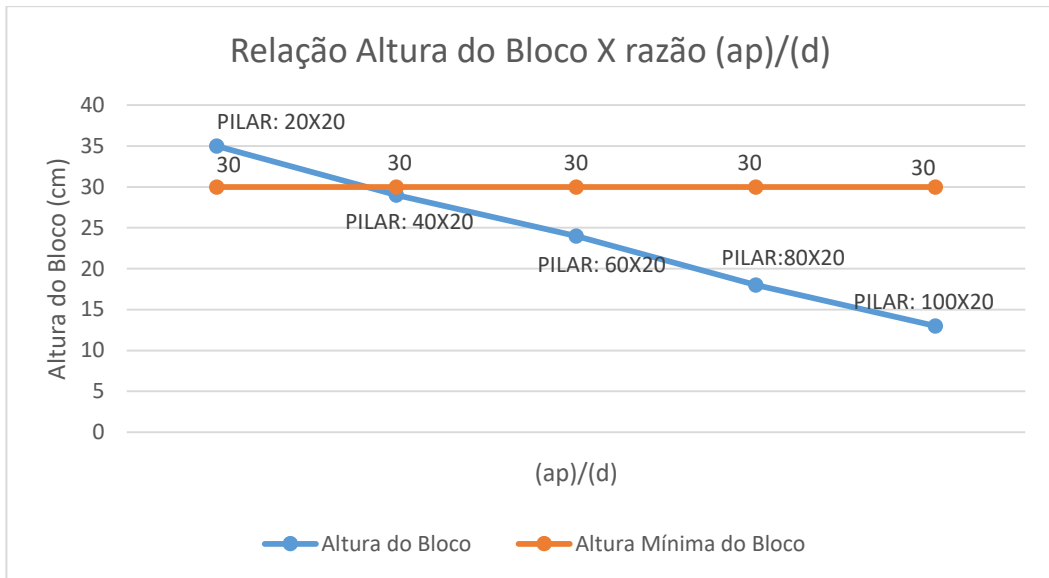
Por fim, a Tabela 45 apresenta os dados da altura mínima do bloco ($h=30\text{cm}$) em relação as alturas, para cada modelo, que foram calculadas fixando o ângulo das bielas em 45° .

O Gráfico 13 compara a altura mínima com as calculadas.

Tabela 45: Altura do bloco calculada ($\theta = 45^\circ$) x Altura mínima

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|---|-------|-------|-------|-------|--------|
| a_p/d | 0,72 | 1,80 | 3,60 | 7,20 | 18,00 |
| Altura do Bloco (h_{bloco})(cm) | 35,00 | 29,00 | 24,00 | 18,00 | 13,00 |
| Altura Mínima do Bloco (h_{min})(cm) | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 13: Altura do bloco calculada ($\theta = 45^\circ$) x Altura mínima

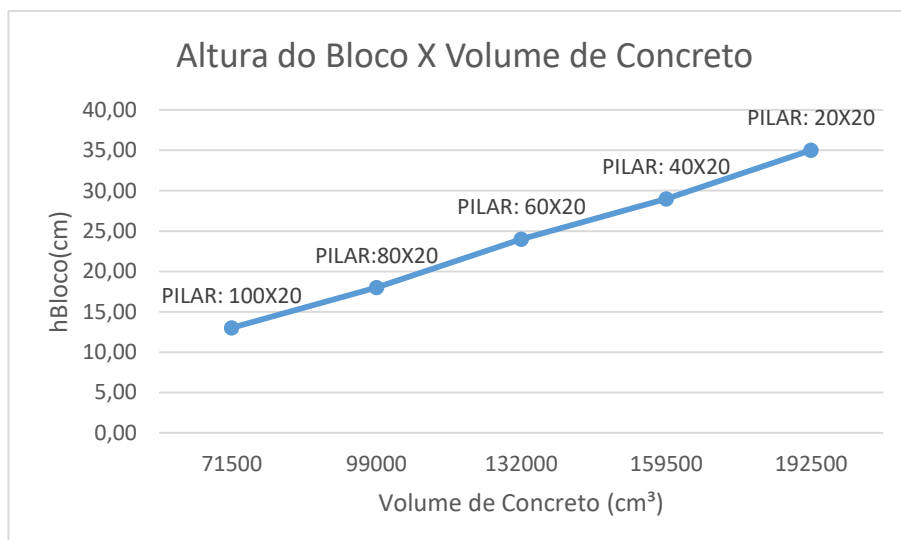
Fonte: Autor do TCC, 2024

A Tabela 46 e o Gráfico 14, apresentam o volume de concreto calculado para cada altura de bloco. Vale ressaltar que o volume de concreto considerado foi apenas o do Bloco, não foi calculado o concreto para as estacas, pois a altura da estaca deveria ser conhecida para encontrar o volume total (Bloco + Estacas).

Tabela 46: Volume de concreto Bloco

| PILAR (cmxcm) | 20x20 | 40x20 | 60x20 | 80x20 | 100x20 |
|--|--------|--------|--------|-------|--------|
| Altura do Bloco (h_{bloco})(cm) | 35,00 | 29,00 | 24,00 | 18,00 | 13,00 |
| Comp. do Bloco (a_{Bloco})(cm) | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| Larg. do Bloco (b_{Bloco})(cm) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Volume de Concreto (cm^3) | 192500 | 159500 | 132000 | 99000 | 71500 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Gráfico 14: Volume de concreto Bloco

Fonte: Autor do TCC, 2024

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O bloco atua como elemento de transferência de carga da estrutura superior para as estacas, logo um dimensionamento inadequado pode levar a uma distribuição de cargas desigual, resultando em sobrecargas em determinadas áreas e comprometendo a segurança da estrutura. A seção do pilar exerce uma influência significativa no projeto de blocos sobre duas estacas. Essa influência se manifesta de diversas formas e impacta diretamente na capacidade resistente e no comportamento estrutural do bloco.

Como visto neste trabalho, alguns parâmetros influenciam no dimensionamento e no comportamento da relação Pilar-Bloco sobre estacas. O conhecimento destes parâmetros e como eles atuam nos elementos estruturais em questão podem contribuir para ampliação das condições de dimensionamento na literatura, garantindo uma maior segurança para os projetos.

Um fato interessante é a relação da altura do bloco quando fixado o ângulo da biela em 45°, nesta situação observou-se que para manter-se o ângulo pré-definido, a altura do bloco diminui à medida que a seção do pilar aumentou. Ainda que com alturas h_{BLOCO} , inferiores a 30cm, o dimensionamento da altura dos blocos para as seções 40x20cm, 60x20cm, 80x20cm e 100x20cm respeitaram a condição para bloco rígido (Tabela 47). Entretanto, mesmo que com alturas inferiores às mínimas, no presente trabalho foi respeitada a altura maior ou igual a 30cm para realização das análises.

Tabela 47: Condição para bloco rígido

$$h \geq (a_{\text{bloco}} - a_{\text{P}}) / 3$$

Fonte: Autor do TCC, 2024

As tabelas, (Tabela 48, Tabela 49, Tabela 50 e Tabela 51), apresentam a verificação dos blocos quanto a rigidez, levando em consideração as seções dos pilares.

Tabela 48: Verificação - Pilar: 40x20cm

| CONDIÇÃO-BLOCO RÍGIDO | |
|--|---------------------|
| h (cm) | 29,00 |
| a _{bloco} (cm) | 110 |
| a _(p) (cm) | 40 |
| (a _{bloco} - a _p)/3 | 23,33 |
| VERIFICAÇÃO | BLOCO RÍGIDO |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 49: Verificação - Pilar: 60x20cm

| CONDIÇÃO-BLOCO RÍGIDO | |
|--|---------------------|
| h (cm) | 24,00 |
| a _{bloco} (cm) | 110 |
| a _(p) (cm) | 60 |
| (a _{bloco} - a _p)/3 | 16,67 |
| VERIFICAÇÃO | BLOCO RÍGIDO |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 50: Verificação - Pilar: 80x20cm

| CONDIÇÃO-BLOCO RÍGIDO | |
|--|---------------------|
| h (cm) | 18,00 |
| a _{bloco} (cm) | 110 |
| a _(p) (cm) | 80 |
| (a _{bloco} - a _p)/3 | 10 |
| VERIFICAÇÃO | BLOCO RÍGIDO |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 51: Verificação - Pilar: 100x20cm

| CONDIÇÃO-BLOCO RÍGIDO | |
|--|---------------------|
| h (cm) | 13,00 |
| a _{bloco} (cm) | 110 |
| a _(p) (cm) | 100 |
| (a _{bloco} - a _p)/3 | 3,33 |
| VERIFICAÇÃO | BLOCO RÍGIDO |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Apesar dessas alturas dos blocos não terem sido consideradas nas demais análises, foi realizada uma comparação com a altura mínima, mostrada no Gráfico 13. Visto isto, pode-se concluir que embora os blocos obedecessem a condição de rigidez quanto à altura, não seriam viáveis para o dimensionamento e execução.

Da mesma forma, economicamente falando o pilar de seção 100x20cm, geraria um volume de concreto menor, entretanto as dimensões que o bloco possui invalidaria sua execução, já que resultaria em uma altura de 13cm.

6. CONCLUSÕES

A influência da geometria do pilar no projeto de blocos sobre duas estacas depende de alguns parâmetros como apresentado neste trabalho. Os resultados mostram que a dimensão do pilar, ou seja o lado a_P , está relacionada ao ângulo da biela, quando considera-se o esforço solicitante proveniente da superestrutura aplicado na base do pilar a $1/4a_P$ do seu centro. Isto ocorre, pois quanto maior a dimensão a_P , maior será a distância do ponto de aplicação do esforço e dessa forma maior será o ângulo da biela. Levando isto em consideração, quanto maior a dimensão do pilar, maior o ângulo e menor será as tensões, tanto nas bielas junto ao pilar, quanto na biela junto à estaca mais solicitada. Conseqüentemente, quanto menor as tensões, menor será a taxa de armadura necessária para o tirante, considerando um carregamento fixo sobre o pilar.

Porém, não é encontrado na literatura uma taxa mínima de armadura do tirante, neste estudo foi possível verificar que, por exemplo, para a seção de pilar 100x20cm e bloco com altura $h=35$ cm, com esforços Normal e Momento Fletor atuando na estrutura e a condição da distância de $1/4a_P$, a armadura calculada foi de $A_{st}=0,63$ cm². Logo, considerando um vergalhão de aço de 10mm com área aproximadamente de 0,785 cm², apenas uma barra já seria o suficiente para atender ao que foi calculado. Entretanto, seria o suficiente? Talvez, adotar uma área de aço mínima para o dimensionamento dos blocos, assim como é visto para vigas, seria mais interessante em termos de segurança.

Outros aspectos foram analisados, como o fato da situação em que a biela é gerada no centro do pilar ($k=a_{est}/2$), nesse caso a dimensão do pilar não influencia no ângulo da biela, uma vez que independente do lado a_P a biela possui a mesma inclinação. Portanto, como visto na apresentação dos resultados, a taxa de armadura no tirante é constante, assim como a tensão junto à estaca mais solicitada. O que não é observado nas tensões das bielas junto ao pilar, visto que a medida que a relação a_P/d cresce, as tensões nas bielas junto ao pilar diminui.

Contudo, o estudo da influência da geometria do pilar no projeto de blocos sobre duas estacas estabelece parâmetros que auxiliam no dimensionamento e execução deste sistema pilar-bloco. Entender quais fatores interferem no comportamento do elemento estrutural de fundação é de extrema importância, uma vez que depois de executado, este sistema tem suas limitações para interferências e deve garantir a segurança da estrutura como um todo.

7. REFERÊNCIAS

ADEBAR, P.; KUCHMA, D.; COLLINS, M. P. Strut-and-tie models for design of pile caps: an experimental study. **ACI Journal**, v. 87, p. 81-91, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

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

BACARJI, Edgar. **Análise de estrutura de edifícios: projeto de pilares**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

BARTOCCI, Felipe Oliveira. **Análise comparativa de blocos sobre estacas para diferentes arranjos de estacas**. 2017. 59 p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2017.

BAVARESCO, DANICLER. **Análise e dimensionamento de blocos de fundação destinados ao apoio de pilares de geometria complexa**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016

BLÉVOT, J.; FRÉMY, R. Semelles sur piex. *Annales d'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, Paris, v. 20, n. 230, 1967, p. 223-295, fev

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. (2013). **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado - Volume 2**. 2a. Edição, Editora PINI, 2013.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. São Carlos: EdUFSCar, 4ª ed., 2014, 424p.

DELALIBERA, R. G.; GIONGO, J. S.. Influência das dimensões da seção transversal do pilar e da excentricidade da força de compressão no comportamento estrutural de blocos sobre duas estacas. **IBRACON de estruturas e materiais**, v. 2, n.2, p. 306-325, 2009.

LOPES, Guilherme Martins. **Dimensionamento e detalhamento de blocos de fundação para pilares de seções compostas**. 2011. 79 p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2011.

MIGUEL, Miriam Gonçalves. **Análise experimental e numérica de blocos sobre três estacas**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MUNHOZ, Fabiana Stripari. **Análise do comportamento de blocos de concreto armado sobre estacas submetidas à ação de força centrada**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

MUNHOZ, F. S.; BARROS, R.; GIONGO, J. S. **Análise do comportamento de um bloco de concreto armado sobre seis estacas para um pilar com seção transversal composta de**

retângulos. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 52, 2010, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza: IBRACON, 2010.

8. ANEXOS

A seguir serão apresentadas as tabelas referentes ao dimensionamento e cálculo dos parâmetros mecânicos, assim como as taxas de armadura dos tirantes, que foram estudados para os demais modelos de pilar em relação ao bloco sobre duas estacas. Vale destacar que todas as tabelas foram elaboradas pelo autor do trabalho de conclusão de curso.

- Pilar 40x20cm:

Tabela 52: Altura do Bloco, considerando $k = a_{est}/2$

| DIMENSÃO DO BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS | |
|--|-------|
| Distância entre estacas (a_{est}) (cm) | 60 |
| Largura do bloco (b_{bloco}) (cm) | 50 |
| Comprimento do bloco (a_{bloco}) (cm) | 110 |
| tang 45 | 1 |
| k | 30 |
| z (cm) | 30 |
| d (cm) | 33,33 |
| $h_{(aux)}$ (cm) | 36,96 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 39,96 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 40,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 53: Cálculo do ângulo

| VERIFICAÇÃO DO ÂNGULO (θ) | |
|--|--------------------------------|
| Altura auxiliar (h_{aux}) (i) | 37,00 |
| d(cm) | 33,38 |
| z (cm) | 30,04 |
| tang θ | 1,00125 |
| θ | 45,04 |
| VERIFICAÇÃO | OK, Dentro do intervalo |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 54: Tensão limite de compressão

| VALOR DA TENSÃO LIMITE DE COMPRESSÃO DA BIELA DE CONCRETO | |
|--|----------|
| α_2 | 0,9 |
| fcd | 17,86 |
| fcd3 (MPa) | 11,57143 |
| fcd3 (kN/m ²) | 11571,43 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 55: Tensões na biela junto ao pilar

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO AO PILAR | |
|--|-------------|
| N_{sd} (kN) | 210 |
| $A_{c,pilar}$ | 0,08 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,707548309 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ | 5243,449784 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 56: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 105 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $sen\theta$ | 0,707548309 |
| $sen^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 6676,167616 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 57: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal

| Cálculo da armadura para o tirante (Ast) | |
|---|---------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1304,35 |
| A_{st} (cm ²) | 2,4150 |
| n | 0,805 |
| n | 1,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 58: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 140 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,707548309 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 8901,556821 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 59: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|---------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1304,35 |
| A_{st} (cm ²) | 3,2200 |
| n | 2,576 |
| n | 3,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

- Pilar 60x20cm:

Tabela 60: Altura do bloco fixando ângulo das bielas

| DIMENSÃO DO BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS | |
|---|-------|
| Distância entre estacas (a_{est}) (cm) | 60 |
| Largura do bloco (b_{bloco}) (cm) | 50 |
| Comprimento do bloco (a_{bloco}) (cm) | 110 |
| tang 45 | 1 |
| k | 15 |
| z (cm) | 15 |
| d (cm) | 16,67 |
| h_{aux} (cm) | 20,29 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 23,29 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 24,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 61: Cálculo do ângulo das bielas fixando $h_{BLOCO}= 35\text{cm}$

| FIXANDO A ALTURA DO BLOCO $h_{bloco}=35\text{ cm}$ | |
|--|-------------|
| h_{bloco} (cm) | 35 |
| Altura auxiliar (h_{aux}) (cm) | 32 |
| d (cm) | 28,375 |
| z (cm) | 25,5375 |
| k (cm) | 15 |
| tang θ | 1,7025 |
| θ | 59,57123737 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 62: Tensões na biela junto ao pilar

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO AO PILAR | |
|---|-------------|
| N_{sd} (kN) | 210 |
| $A_{c,pilar}$ | 0,12 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,86225953 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,743491498 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ (kN/m ²) | 2353,759264 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 63: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|---|-------------|
| $R_{sdest 1}$ (kN) | 105 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,86225953 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,743491498 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 2247,67453 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 64: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|-------------|
| $1,8 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 2220,65 |
| A_{st} (cm ²) | 1,4185 |
| n | 1,134801762 |
| n | 2,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 65: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sdest\ 1}$ (kN) | 140 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,86225953 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,743491498 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 5993,798747 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 66: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|-------------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1110,33 |
| A_{st} (cm ²) | 1,8913 |
| n | 1,513069016 |
| n | 2,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 67: Altura do Bloco, considerando $k = a_{est}/2$

| DIMENSÃO DO BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS | |
|---|-------|
| Distância entre estacas (a_{est}) (cm) | 60 |
| Largura do bloco (b_{bloco}) (cm) | 50 |
| Comprimento do bloco (a_{bloco}) (cm) | 110 |
| tang 45 | 1 |
| k | 30 |
| z (cm) | 30 |
| d (cm) | 33,33 |
| $h_{(aux)}$ (cm) | 36,96 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 39,96 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 40,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 68: Cálculo do ângulo

| VERIFICAÇÃO DO ÂNGULO (θ) | |
|--|--------------------------------|
| Altura auxiliar (h_{aux}) (i) | 37,00 |
| d(cm) | 33,38 |
| z (cm) | 30,04 |
| tang θ | 1,00125 |
| θ | 45,04 |
| VERIFICAÇÃO | OK, Dentro do intervalo |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 69: Tensões na biela junto ao pilar

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO AO PILAR | |
|---|-------------|
| N_{sd} (kN) | 210 |
| $A_{c,pilar}$ | 0,12 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,707548309 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ | 3495,633189 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 70: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|---|-------------|
| $R_{sdest\ 1}$ (kN) | 105 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,707548309 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 6676,167616 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 71: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|---------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1304,35 |
| A_{st} (cm ²) | 2,4150 |
| n | 0,805 |
| n | 1,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 72: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sdest 1}$ (kN) | 140 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,707548309 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 8901,556821 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 73: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|---------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1304,35 |
| A_{st} (cm ²) | 3,2200 |
| n | 2,576 |
| n | 3,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

- Pilar 80x20cm:

Tabela 74: Altura do bloco fixando ângulo das bielas

| DIMENSÃO DO BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS | |
|---|-------|
| Distância entre estacas (a_{est}) (cm) | 60 |
| Largura do bloco (b_{bloco}) (cm) | 50 |
| Comprimento do bloco (a_{bloco}) (cm) | 110 |
| tang 45 | 1 |
| k | 10 |
| z (cm) | 10 |
| d (cm) | 11,11 |
| h_{aux} (cm) | 14,74 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 17,74 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 18,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 75: Cálculo do ângulo das bielas fixando $h_{BLOCO}= 35\text{cm}$

| FIXANDO A ALTURA DO BLOCO $h_{bloco}=35\text{ cm}$ | |
|--|-------------|
| h_{bloco} (cm) | 35 |
| Altura auxiliar (h_{aux}) (cm) | 32 |
| d (cm) | 28,375 |
| z (cm) | 25,5375 |
| k (cm) | 10 |
| tang θ | 2,55375 |
| θ | 68,61563241 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 76: Tensões na biela junto ao pilar

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO AO PILAR | |
|--|-------------|
| N_{sd} (kN) | 210 |
| $A_{c,pilar}$ | 0,16 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,931155333 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,867050254 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ (kN/m ²) | 1513,753088 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 77: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sdest\ 1}$ (kN) | 105 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,931155333 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,867050254 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 1927,370293 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 78: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|-------------|
| $1,8 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 2220,65 |
| A_{st} (cm ²) | 0,9457 |
| n | 0,756534508 |
| n | 1,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 79: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sdest\ 1}$ (kN) | 140 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,931155333 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,867050254 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 5139,654114 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 80: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|-------------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1110,33 |
| A_{st} (cm ²) | 1,2609 |
| n | 1,008712677 |
| n | 2,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 81: Altura do Bloco, considerando $k = a_{est}/2$

| DIMENSÃO DO BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS | |
|---|-------|
| Distância entre estacas (a_{est}) (cm) | 60 |
| Largura do bloco (b_{bloco}) (cm) | 50 |
| Comprimento do bloco (a_{bloco}) (cm) | 110 |
| tang 45 | 1 |
| k | 30 |
| z (cm) | 30 |
| d (cm) | 33,33 |
| $h_{(aux)}$ (cm) | 36,96 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 39,96 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 40,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 82: Cálculo do ângulo

| VERIFICAÇÃO DO ÂNGULO (θ) | |
|--|--------------------------------|
| Altura auxiliar (h_{aux}) (i) | 37,00 |
| d(cm) | 33,38 |
| z (cm) | 30,04 |
| tang θ | 1,00125 |
| θ | 45,04 |
| VERIFICAÇÃO | OK, Dentro do intervalo |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 83: Tensão limite de compressão

| VALOR DA TENSÃO LIMITE DE COMPRESSÃO DA BIELA DE CONCRETO | |
|--|----------|
| α_2 | 0,9 |
| fcd | 17,86 |
| fcd3 (MPa) | 11,57143 |
| fcd3 (kN/m ²) | 11571,43 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 84: Tensões na biela junto ao pilar

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO AO PILAR | |
|--|-------------|
| N_{sd} (kN) | 210 |
| $A_{c,pilar}$ | 0,16 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,707548309 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ | 2621,724892 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 85: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 105 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $sen\theta$ | 0,707548309 |
| $sen^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 6676,167616 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 86: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|---------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1304,35 |
| A_{st} (cm ²) | 2,4150 |
| n | 0,805 |
| n | 1,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 87: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 140 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $sen\theta$ | 0,707548309 |
| $sen^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 8901,556821 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 88: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|---------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1304,35 |
| A_{st} (cm ²) | 3,2200 |
| n | 2,576 |
| n | 3,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

- Pilar 100x20cm:

Tabela 89: Altura do bloco fixando ângulo das bielas

| DIMENSÃO DO BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS | |
|---|-------|
| Distancia entre estacas (a_{est}) (cm) | 60 |
| Largura do bloco (b_{bloco}) (cm) | 50 |
| Comprimento do bloco (a_{bloco}) (cm) | 110 |
| tang 45 | 1 |
| k | 5 |
| z (cm) | 5 |
| d (cm) | 5,56 |
| h_{aux} (cm) | 9,18 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 12,18 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 13,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 90: Cálculo do ângulo das bielas fixando $h_{BLOCO}= 35\text{cm}$

| FIXANDO A ALTURA DO BLOCO $h_{bloco}=35\text{ cm}$ | |
|--|-------------|
| h_{bloco} (cm) | 35 |
| Altura auxiliar (h_{aux}) (cm) | 32 |
| d (cm) | 28,375 |
| z (cm) | 25,5375 |
| k (cm) | 5 |
| tang θ | 5,1075 |
| θ | 78,92216409 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 91: Tensão limite de compressão

| VALOR DA TENSÃO LIMITE DE COMPRESSÃO DA BIELA DE CONCRETO | |
|--|----------|
| α_2 | 0,9 |
| fcd | 17,86 |
| fcd3 (MPa) | 11,57143 |
| fcd3 (kN/m ²) | 11571,43 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 92: Tensões na biela junto ao pilar

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO AO PILAR | |
|--|-------------|
| N_{sd} (kN) | 210 |
| $A_{c,pilar}$ | 0,2 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,981367065 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,963081316 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ (kN/m ²) | 1090,250618 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 93: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 105 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $sen\theta$ | 0,981367065 |
| $sen^2\theta$ | 0,963081316 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 1735,18775 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 94: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|-------------|
| $1,8*d*f_{yd}$ | 2220,65 |
| A_{st} (cm ²) | 0,4728 |
| n | 0,378267254 |
| n | 1,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 95: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 140 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,981367065 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,963081316 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 4627,167333 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 96: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|-------------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1110,33 |
| A_{st} (cm ²) | 0,6304 |
| n | 0,504356339 |
| n | 1,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 97: Altura do Bloco, considerando $k = a_{est}/2$

| DIMENSÃO DO BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS | |
|---|-------|
| Distancia entre estacas (a_{est}) (cm) | 60 |
| Largura do bloco (b_{bloco}) (cm) | 50 |
| Comprimento do bloco (a_{bloco}) (cm) | 110 |
| tang 45 | 1 |
| k | 30 |
| z (cm) | 30 |
| d (cm) | 33,33 |
| $h_{(aux)}$ (cm) | 36,96 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 39,96 |
| Altura do bloco (h_{bloco}) (i) | 40,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 98: Cálculo do ângulo

| VERIFICAÇÃO DO ÂNGULO (θ) | |
|--|--------------------------------|
| Altura auxiliar (h_{aux}) (i) | 37,00 |
| d(cm) | 33,38 |
| z (cm) | 30,04 |
| tang θ | 1,00125 |
| θ | 45,04 |
| VERIFICAÇÃO | OK, Dentro do intervalo |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 99: Tensão limite de compressão

| VALOR DA TENSÃO LIMITE DE COMPRESSÃO DA BIELA DE CONCRETO | |
|--|----------|
| α_2 | 0,9 |
| fcd | 17,86 |
| fcd3 (MPa) | 11,57143 |
| fcd3 (kN/m ²) | 11571,43 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 100: Tensões na biela junto ao pilar

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO AO PILAR | |
|--|-------------|
| N_{sd} (kN) | 210 |
| $A_{c,pilar}$ | 0,2 |
| $\text{sen}\theta$ | 0,707548309 |
| $\text{sen}^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Pilar}$ | 2097,379914 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 101: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 105 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $sen\theta$ | 0,707548309 |
| $sen^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 6676,167616 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 102: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|---------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1304,35 |
| A_{st} (cm ²) | 2,4150 |
| n | 0,805 |
| n | 1,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 103: Tensões na biela junto à estaca mais solicitada, considerando esforço Normal e Momento Fletor

| CÁLCULO DAS TENSÕES NA BIELA JUNTO A ESTACA MAIS SOLICITADA | |
|--|-------------|
| $R_{sd_{est\ 1}}$ (kN) | 140 |
| $A_{c,estaca}$ (m ²) | 0,031415927 |
| $sen\theta$ | 0,707548309 |
| $sen^2\theta$ | 0,500624609 |
| $\sigma_{c,biela,Estaca}$ (kN/m ²) | 8901,556821 |
| Verificação | |
| OK | |

Fonte: Autor do TCC, 2024

Tabela 104: Armadura do tirante, considerando Esforço Normal e Momento Fletor

| Cálculo da armadura para o tirante (A_{st}) | |
|---|---------|
| $0,9 \cdot d \cdot f_{yd}$ | 1304,35 |
| A_{st} (cm ²) | 3,2200 |
| n | 2,576 |
| n | 3,00 |

Fonte: Autor do TCC, 2024