



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**PLANILHA PARA O DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS APOIADOS SOBRE 2 A
4 ESTACAS DE CONCRETO**

JOSÉ RONY PASSOS BRITO

POMBAL – PB

2024

JOSÉ RONY PASSOS BRITO

PLANILHA PARA O DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS APOIADOS
SOBRE 2 A 4 ESTACAS DE CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros.

B862p

Brito, José Rony Passos.

Planilha para o dimensionamento de blocos apoiados sobre 2 a 4 estacas de concreto / José Rony Passos Brito. – Pombal, 2024.
25 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2024.

“Orientação: Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros”.

Referências.

1. Concreto armado. 2. Excel - Desenvolvimento de planilha. 3. Blocos sobre estacas. 4. Dimensionamento de blocos. I. Medeiros, Eduardo Morais de. II. Título.

CDU 691.328(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

JOSÉ RONY PASSOS BRITO

**PLANILHA PARA O DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS APOIADOS SOBRE 2 A
4 ESTACAS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso do discente JOSÉ RONY PASSOS BRITO **APROVADO** em 05 de junho de 2024 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande

Registre-se e publique-se.



Assinado digitalmente por
Eduardo Morais de
Medeiros Razão: Eu
sou o autor deste
documento
Localização: Pombal/PB
Data: 2024.06.06 21:18:05-03'00'

Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros
(Orientador – UFPG)

**CLOVIS DE MEDEIROS
DANTAS JUNIOR:06062433488**

Assinado digitalmente por CLOVIS DE MEDEIROS DANTAS JUNIOR:06062433488
DN: C=BR, O=CP-Brasil, OU=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, OU=RFB e-CPF A1,
OU=(EM BRANCO), OU=38016084000124, OU=videoconferencia, CN=CLOVIS DE MEDEIROS
DANTAS JUNIOR:06062433488
Razão: Eu estou aprovando este documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2024.06.07 06:34:23-03'00'
Foxit PDF Editor Versão: 11.0.1

Prof. Mr. Clóvis de Medeiros Dantas Júnior
(Membro Interno – UFPG)



Documento assinado digitalmente
ARTHUR COUTINHO DE ARAUJO PEREIRA
Data: 06/06/2024 20:34:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Arthur Coutinho de Araújo Pereira
(Membro Externo – UFPG)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais e irmãos, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Agradeço ao professor Eduardo Moraes, orientador deste trabalho, por toda ajuda, atenção e paciência com a qual guiou o meu aprendizado.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

E por fim aos meus colegas de curso, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

PLANILHA PARA O DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS APOIADOS SOBRE 2 A 4 ESTACAS DE CONCRETO

Spreadsheet For Sizing Blocks Supported On 2 to 4 Concrete Piles

José Rony Passos Brito, joserony360@gmail.com

Eduardo Morais de Medeiros, mm.edu@hotmail.com

RESUMO

O dimensionamento dos elementos de fundação desempenha um papel crucial no contexto do projeto estrutural de edificações. A escolha entre uma fundação direta ou indireta, como tubulões ou blocos sobre estacas, depende da capacidade de carga do terreno e das exigências do projeto estrutural. Este trabalho aborda a formulação do problema de dimensionamento para blocos sobre 2, 3 e 4 estacas, considerando restrições definidas pelas normas ABNT NBR 6118:2023, incluindo o espaçamento entre estacas e a resistência à compressão do concreto (f_{ck}). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma planilha no Excel com a finalidade de dimensionamento de blocos sobre estacas de concreto armado. Os resultados obtidos utilizando a ferramenta em questão demonstram que esta pode ser um grande auxílio no dimensionamento desses blocos, quando estes atenderem aos requisitos mínimos definidos pela norma. Exemplos numéricos comparativos mostram que quando não existe limitação de geometria, uma solução pode ser obtida reduzindo ou aumentando a quantidade de estacas e alterando a configuração geométrica do bloco.

Palavras-chave: Excel. Bloco sobre estacas. Dimensionamento. Concreto armado.

ABSTRACT

The design of foundation elements plays a crucial role in the context of structural design of buildings. The choice between a direct or indirect foundation, such as pipes or blocks on piles, depends on the load capacity of the land and the requirements of the structural design. This work addresses the formulation of the design problem for blocks on 2, 3 and 4 piles, considering restrictions defined by ABNT NBR 6118:2023 standards, including the spacing between piles and the concrete compressive strength (f_{ck}). In this sense, the objective of this work is to develop an Excel spreadsheet for the purpose of sizing blocks on reinforced concrete piles. The results obtained using the tool in question show that it can be a great help in sizing these blocks, when they meet the minimum requirements defined by standards. Comparative numerical examples show that when there is no geometry limitation, a solution can be obtained by reducing or increasing the number of piles and changing the geometric configuration of the block.

Keywords: Excel. Block on piles. Sizing. Reinforced concrete.

1. INTRODUÇÃO

Blocos sobre estacas são elementos de volume que têm a finalidade de transmitir o esforço proveniente do pilar para as estacas. Os blocos podem ser suportados por um número variado de estacas, sendo mais frequentes aqueles que repousam sobre uma, duas ou três estacas. Essa escolha é principalmente influenciada pelas características do solo, pela capacidade das estacas e pela carga exercida pelo pilar. Em construções de menor porte, como galpões, residências térreas e sobrados de dois pavimentos, é comum encontrar blocos apoiados em uma ou duas estacas, uma vez que a carga proveniente dos pilares geralmente é de baixa intensidade (Bastos, 2023).

O dimensionamento inicia-se com uma predefinição da geometria do elemento, seguida pela obtenção das solicitações e pela verificação se a geometria escolhida atende a todas as condições estabelecidas. Caso não atenda a alguma das condições, uma nova geometria é adotada até que todas as condições sejam satisfeitas. O projetista, com sua experiência, decide se manterá a solução ou a modificará em busca de uma alternativa mais eficiente (Tomaz e Alves, 2015).

No Brasil, os modelos de cálculo mais utilizados para o dimensionamento seguem uma rotina simplificada como consta na ABNT NBR 6118:2023, fazendo uso de dois métodos para cálculo das armaduras: com o método das Bielas de Blévo e Frémy (1967) e o método do CEB-FIB (1970), os quais devem ser aplicados apenas em blocos rígidos (Bastos, 2023).

Conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 6118:2023, blocos de fundação são estruturas volumétricas empregadas na transferência de cargas para estacas e tubulões. A classificação destas estruturas como rígidas ou flexíveis geralmente depende da disposição das estacas. Para o dimensionamento de blocos flexíveis deve ser realizado uma análise mais completa, partindo da distribuição dos esforços nas estacas, dos tirantes de tração, até a necessidade da verificação de punção. Ainda de acordo com essa norma, o bloco deve ter altura suficiente para permitir a ancoragem da armadura de arranque dos pilares podendo ser considerado o efeito favorável da compressão transversal às barras decorrente da flexão do bloco.

Nesse sentido, o pesquisador Tomaz (2016), chegou à conclusão de que como as reações das estacas influenciam a interação solo-estrutura, é fundamental para o estudo de blocos. Por exemplo, se o solo for considerado nas análises de blocos rígidos, as reações mais significativas são concentradas nas estacas laterais do bloco, independentemente do tipo de aplicação de carga estudada, em vez de concentrar-se nas estacas centrais, como sugerem alguns métodos mais simplificados.

Dessa forma, esse trabalho tem como finalidade a formulação de uma planilha desenvolvida no Microsoft Excel com o propósito de dimensionar, blocos de concreto armado, empregando o modelo das bielas e tirantes de Blévo e Frémy (1967), utilizando a metodologia de dimensionamento de autores encontrados na literatura que estejam de acordo com as normas vigentes, atendendo a todos os parâmetros e limites estabelecidos pelo usuário da ferramenta.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O intuito desse trabalho é desenvolver uma planilha eficaz para o dimensionamento de blocos sobre estacas considerando diferentes variáveis comparando os resultados obtidos com a literatura.

Outrossim, a planilha foi criada para ser mais eficiente no que diz respeito ao tempo de projeto, uma vez que, fazer todos os cálculos de forma manual não é tão célere quanto o uso de uma planilha com todos os cálculos automatizados e em acordo com as normas vigentes

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever a formulação do problema de dimensionamento para blocos apoiados em estacas, considerando diferentes tipos de geometria e quantidades de 2, 3 e 4 estacas;
- Analisar o método das bielas e tirantes partindo de verificações encontradas na literatura para dimensionar blocos apoiados em estacas, seguindo orientações da ABNT NBR 6118:2023;
- Desenvolver uma tabela para o dimensionamento de blocos de fundação na plataforma Excel;
- Fazer uma análise comparativa entre os dados obtidos e a literatura, bem como verificar a eficiência do modelo proposto.

3. METODOLOGIA

A ferramenta utilizada nesse trabalho é o Microsoft Excel com a proposta de criação de uma planilha com o objetivo principal de dimensionar blocos apoiados sobre 2, 3 e 4 estacas de concreto armado, levando em consideração a geometria, o volume de concreto que será utilizado como também a ancoragem das armaduras para o mesmo e assim desenvolver uma estrutura clara na planilha do Excel, com abas distintas para entrada de dados, cálculos e resultados. Utilizando fórmulas e funções do Excel para automatizar os cálculos, proporcionando uma interface amigável e de fácil compreensão.

Na Figura 1 pode-se observar o fluxograma de etapas até a criação da planilha para o dimensionamento do bloco.

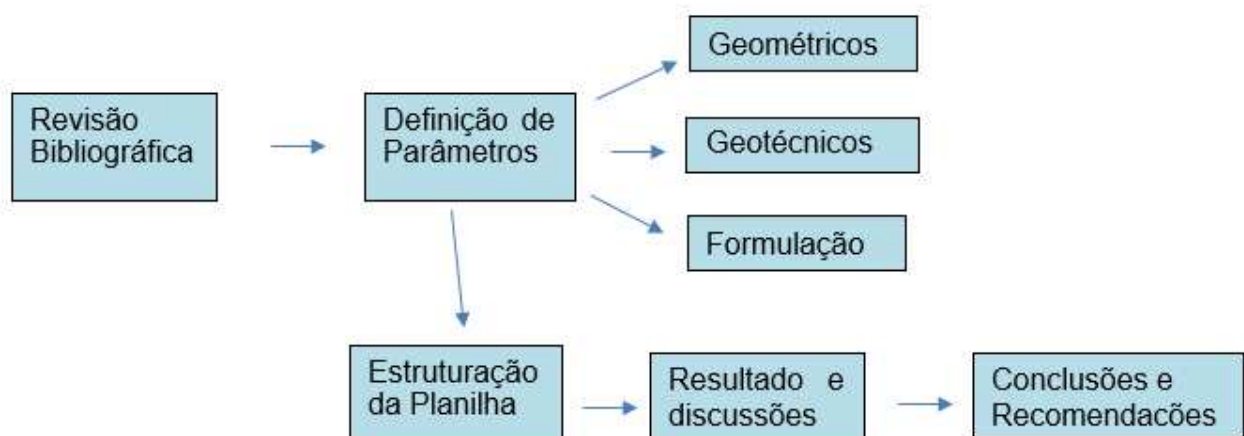


Figura 1- Fluxograma de atividades. (Fonte: Autor; 2024)

O presente trabalho foi dividido em cinco etapas, apresentadas abaixo:

- Revisão bibliográfica: levantamento de referências sobre dimensionamento de blocos sobre estacas e análise de métodos existentes e normas técnicas aplicáveis;
- Definição de parâmetros: identificação e listagem de parâmetros essenciais para o dimensionamento e estabelecimento dos critérios de otimização;

- Estruturação da planilha no Excel: criação da estrutura inicial da planilha, incluindo abas para entrada de dados, cálculos e resultados com a implementação de fórmulas básicas para organização do dimensionamento e integração das informações inseridas;
- Resultado e discussões: comparar valores obtidos com a bibliografia pesquisada;
- Conclusões e recomendações: síntese das conclusões obtidas durante o desenvolvimento e sugestões para futuras melhorias e expansões.

3.1 Revisão bibliográfica

3.1.1 Dimensionamento de blocos sobre estacas

Os métodos de cálculo mais comuns no Brasil para o dimensionamento de blocos sobre estacas historicamente incluíam o "Método das Bielas" (Blévet, de 1967) e o método do CEB-70, e mais recentemente, o modelo tridimensional de bielas e tirantes. O Método das Bielas e o método do CEB-70 são recomendados especificamente para blocos considerados rígidos. Quanto aos blocos flexíveis, deve ser levada em consideração a distribuição dos esforços nas estacas e até mesmo a verificação de punção que é normalmente utilizada no dimensionamento de lajes (Tomaz, 2016).

3.1.2 Método das bielas e tirantes

O método das bielas e tirantes, fundamentado nos estudos de Blévet e Frémy (1967), pressupõe a existência de uma treliça espacial dentro do bloco, composta por barras tracionadas e comprimidas conectadas por nós. A partir de um modelo de treliça isostática, as forças nas bielas e tirantes são determinadas através do equilíbrio entre as forças internas e externas. As forças de compressão nas bielas são absorvidas pelo concreto, enquanto as forças de tração nas barras horizontais da treliça são suportadas pela armadura. O método envolve o cálculo da força de tração, que determina a área requerida para a armadura, e a conferência das tensões de compressão nas bielas, calculadas nas seções próximas ao pilar e à estaca (Tomaz, 2016).

Dessa forma, o método pressupõe que os pilares possuam uma força normal centralizada e que todas as estacas estejam igualmente distantes do centro do pilar. No caso de uma carga excêntrica, todas as estacas são tratadas como se estivessem sujeitas à maior reação. Além disso, o método é aplicável apenas a pilares com seção transversal quadrada, sendo recomendado considerar uma seção quadrada de área equivalente para pilares com seção retangular pouco alongada (OLIVEIRA, 2013).

Segundo a ABNT NBR 6118:2023, blocos são estruturas volumétricas usadas para transmitir às estacas e aos tubulões as cargas de fundação, sendo portanto, considerados rígidos ou flexíveis. Para ser considerado rígido o bloco deve obedecer a condição descrita a seguir na equação 1, caso contrário, o bloco é considerado flexível. Vejamos:

$$h \geq \left(\frac{a - ap}{3} \right) \quad (1)$$

Onde:

h - é a altura do bloco;

a - é a dimensão do bloco em uma determinada direção;

ap - é a dimensão do pilar na mesma direção.

Nesse sentido, Tomaz e Alves (2015), descreveram que a transferência de forças do pilar para as estacas ocorre principalmente através de bielas de compressão, as quais

possuem formas e dimensões complexas. O trabalho ao cisalhamento também ocorre em duas direções, não resultando em falhas de tração diagonal, mas sim em compressão das bielas.

3.2 Definição de parâmetros

Para fins desse trabalho, serão utilizados os critérios definidos por Tomaz (2016) em sua dissertação intitulada “Dimensionamento ótimo de bloco sobre estacas” e Bastos (2023) em suas notas de aulas “Blocos de fundação”, os quais fizeram adaptações do método das bielas para dimensionamento de blocos sobre estacas, além das orientações exigidas pela ABNT NBR 6118: 2023. À vista disso, serão abordadas as formulações que nortearam a planilha de acordo com a quantidade de estacas.

3.2.1 Bloco sobre 2 estacas

Para o dimensionamento o ângulo da biela de compressão (θ) deve estar no intervalo $45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ e pode ser obtido através das dimensões do bloco como pode ser visto na equação 2 a seguir:

$$\theta = \arctg \left(\frac{D}{\frac{e}{2} - \frac{bp}{4}} \right) \quad (2)$$

Onde:

θ = ângulo da biela de compressão em graus;
D = altura útil do bloco
e = espaçamento entre os eixos das estacas
bp = dimensão do pilar na direção com a maior dimensão

Substituindo θ pelos ângulos 45° e 55° tem-se o intervalo, para isso foi utilizada a equação 3 a seguir:

$$0,419 \left(e - \frac{ap}{2} \right) \leq D \leq 0,714 \left(e - \frac{ap}{2} \right) \quad (3)$$

Sendo:

e = espaçamento entre os eixos das estacas
ap = direção do eixo das duas estacas na direção y
D = altura útil do bloco

Segundo Machado (1985), deve-se ter $45^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$, o que resulta na equação 4 apresentada abaixo:

$$d_{min} = 0,5 \left(e - \frac{ap}{2} \right); d_{max} = 0,71 \left(e - \frac{ap}{2} \right) \quad (4)$$

Logo:

d_{min} = altura útil mínima
ap = área do pilar
 d_{max} = altura útil máxima

A altura H do bloco é dada pela equação 5: (5)

$$H = D + d'$$

Onde:

H = altura do bloco
D = altura útil do bloco

Como espaçamento mínimo entre as estacas (e) pode-se tomar a equação 6 descrita a seguir:

$$e_{\min} \geq 2,5 * \phi_e \rightarrow \text{para estacas pré-moldadas} \quad (6)$$

Sendo:

e_{\min} = espaçamento mínimo
 ϕ_e = diâmetro da estaca

O cálculo do espaçamento mínimo será adotado para todos os blocos no dimensionamento utilizando a ferramenta desenvolvida.

As forças de compressão das bielas e a força de tração da armadura dependem da carga aplicada e do ângulo da biela de compressão. As equações 7 e 8 a seguir se referem a força de compressão das bielas e a força de tração, respectivamente:

$$R_{cd} = \left(\frac{Pd}{2 * \text{sen } \theta} \right) \quad (7)$$

onde:

$$R_{sd} = \left(\frac{Pd}{2 * \text{tg } \theta} \right) \quad (8)$$

R_{sd} = força de tração no tirante
 R_{cd} = força de compressão da biela
 Pd = carga de projeto
 θ = ângulo da biela de compressão

A seguir temos as variáveis utilizadas para o dimensionamento do bloco de duas estacas representado pela figura 2.

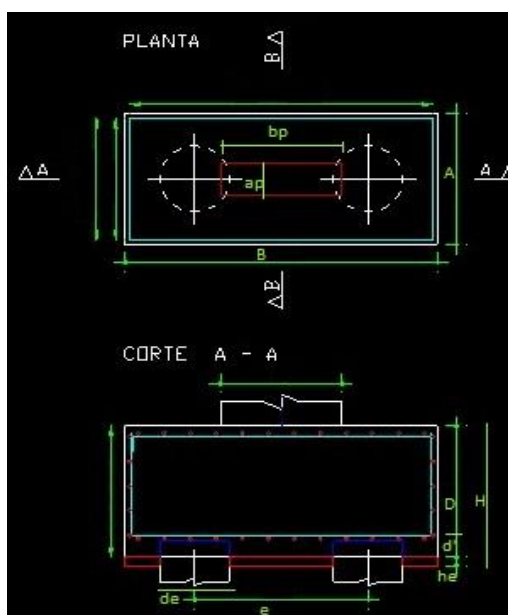


Figura 2- Bloco sobre 2 estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Substituindo o valor de θ da equação na equação do Rsd, obtém-se a equação 9 a seguir:

$$Rsd = \frac{Pd}{8} * \frac{(2e - ap)}{D} \quad (9)$$

O valor da área de aço obtida através da força de tração conforme a equação 10:

$$As = \frac{Rsd}{fyd} \quad (10)$$

Onde:

As = área de aço principal

Rsd = força de tração no tirante

Fyd = resistência de cálculo do aço

A armadura superior é obtida utilizando de uma pequena parcela da armadura principal mostrado na equação 11 a seguir:

$$As, sup = 0,2 * As \quad (11)$$

De modo que, possa ser estimado o comprimento do bloco sobre duas estacas enquanto o comprimento de ancoragem lb, nec não é inicialmente conhecido, é possível fazer uma estimativa de um diâmetro para as barras da armadura principal e, com isso, determinar o comprimento de ancoragem inicial (lb), utilizando a Tabela A1 ou Tabela A2 anexadas, para regiões de boa ancoragem e sem gancho. Utiliza-se um coeficiente de $\alpha=0,7$ e c como o cobrimento da armadura (Bastos, 2023). Mostrado na equação 12 a baixo:

$$l_{bl, 2} = e - \phi e + 2 * (0,7 * lb + c + \phi l) \quad (12)$$

A área da biela junto ao pilar (Abp) e a área da biela junto à estaca (Abe) podem ser obtidas através das expressões 13 e 14, abaixo:

$$Abp = \frac{Ap}{2} * sen\theta \quad (13)$$

$$Abe = Ae * sen\theta \quad (14)$$

Em posse do valor da força de compressão na biela e da área da biela encontram-se as tensões na biela junto ao pilar e à estaca equação 15 e 16, respectivamente:

$$\sigma_{cd, pil} = \frac{Pd}{Ae * sen^2\theta} \quad (15)$$

$$\sigma_{cd, est} = \frac{Pd}{2 * Ae * sen^2\theta} \quad (16)$$

Para pilares retangulares ($ap * bp$) será adotado um pilar de seção quadrada equivalente usando a equação 17 descrita abaixo:

$$ap, eq = \sqrt{ap * bp} \quad (17)$$

Para evitar que o concreto seja esmagado, as tensões atuantes no elemento devem ser menores que as tensões que resistem a ele. Para isso, é utilizada a equação 18:

$$\sigma_{cd, b, lim, pil} = \sigma_{cd, b, lim, est} = 1,4 Kr f_{cd} \quad (18)$$

$Kr = 0,9$ a $0,95$ = é um coeficiente que considera a perda de resistência do concreto ao longo do tempo de vida devido a cargas permanentes conhecido como efeito Rüsck.

3.2.2 Bloco sobre 3 estacas

Para blocos com três estacas o centro de gravidade das estacas coincide com o centro de gravidade do pilar. Por geometria para bloco de três estacas (figura 3) com a armadura na direção estaca encontra-se:

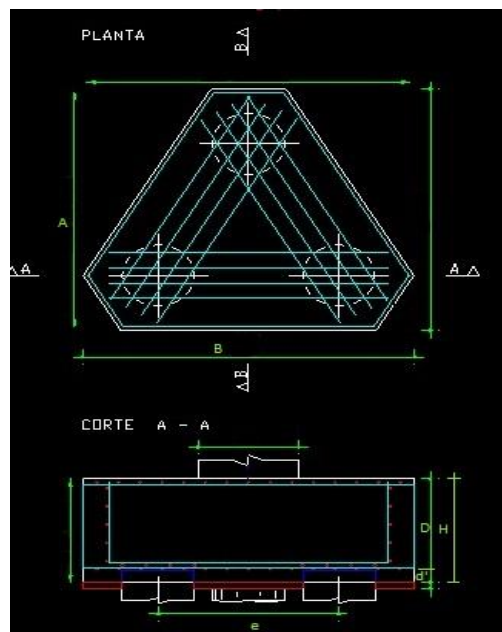


Figura 3 - Bloco sobre 3 estacas. (Fonte: Autor; 2024)

O ângulo da biela de compressão (θ) para o bloco de 3 estacas é obtido através da equação 19 a seguir:

$$\theta = \arctg \left(\frac{D}{e * \frac{\sqrt{3}}{3} - 0,3 * bp} \right) \quad (19)$$

Substituindo θ pelos ângulos 45° e 55° tem-se o intervalo descrito na equação 20, abaixo:

$$0,58 \left(e - \frac{ap}{2} \right) \leq d \leq 0,825 \left(e - \frac{ap}{2} \right) \quad (20)$$

Segundo Machado (1985), deve-se ter $45^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$, o que resulta na equação 21 a seguir:

$$d_{min} = 0,58\left(e - \frac{ap}{2}\right); d_{max} = 0,825\left(e - \frac{ap}{2}\right) \quad (21)$$

A altura H do bloco segue o mesmo cálculo do bloco de duas estacas da equação 5. Para espaçamento mínimo entre as estacas (e) pode-se tomar o valor obtido com a equação 6.

No mesmo sentido que, para o bloco de duas estacas é adotado uma seção quadrada equivalente caso o pilar seja retangular, apresentado na equação 22:

$$ap, eq = \sqrt{ap * bp} \quad (22)$$

Análogo ao bloco de duas estacas, a força de compressão das bielas e a força de tração da armadura dependem da carga aplicada e do ângulo da biela de compressão, que é dado pelas equações 23 e 24 a seguir:

$$Rsd = \left(\frac{Pd}{3 * tg\theta}\right) \quad (23)$$

$$Rcd = \left(\frac{Pd}{3 * sen\theta}\right) \quad (24)$$

Substituindo o valor de θ da equação 19 na equação 23 obtém-se a equação 25 a seguir:

$$Rsd = \frac{Pd}{9} * \frac{(e\sqrt{3} - 0,9 * bp)}{D} \quad (25)$$

Nesse sentido, quando o bloco de três estacas tem a armadura paralela à face, o que é mais usual, a única alteração é na força de tração na armadura, dada pela equação 26.

$$Rsd' = Rsd * \frac{\sqrt{3}}{3} \quad (26)$$

O valor da área de aço segue o mesmo cálculo para o bloco de duas estacas com a alteração do Rsd'.

Quanto as tensões junto ao pilar ($\sigma_{cd,p}$) e junto à estaca ($\sigma_{cd,e}$) podem ser expressas pelas equações 27 e 28 respectivamente.

$$\sigma_{cd, pil} = \frac{Pk * 1,4}{Ap * sen^2\theta} \quad (27)$$

$$\sigma_{cd, est} = \frac{Pd}{3 * Ae * sen^2\theta} \quad (28)$$

De mesmo modo, para evitar que o concreto seja esmagado, as tensões atuantes sobre o bloco devem ser menores que as tensões resistentes, obtido com a equação 29:

$$\sigma_{cd, b, lim, pil} = \sigma_{cd, b, lim, est} = 1,75 Kr f_{cd} \quad (29)$$

3.2.3 Bloco sobre 4 estacas

De mesmo modo que aos blocos de duas e três estacas. O ângulo da biela deve estar dentro do intervalo $45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$. Para isso foi utilizado da equação 30 a seguir:

$$\theta = \arctg \left(\frac{D}{e * \frac{\sqrt{2}}{2} - bp * \frac{\sqrt{2}}{4}} \right) \quad (30)$$

Substituindo θ pelos ângulos 45° e 55° tem-se o intervalo apresentado na equação 31, abaixo:

$$d_{min} = 0,71 \left(e - \frac{ap}{2} \right); d_{max} = \left(e - \frac{ap}{2} \right) \quad (31)$$

A altura do bloco e o espaçamento mínimo são obtidos através da equação 5 e 6 de modo semelhante aos blocos com 2 e 3 estacas.

De maneira análoga, pode-se obter as equações necessárias para o dimensionamento do bloco apresentado na figura 4 a seguir.

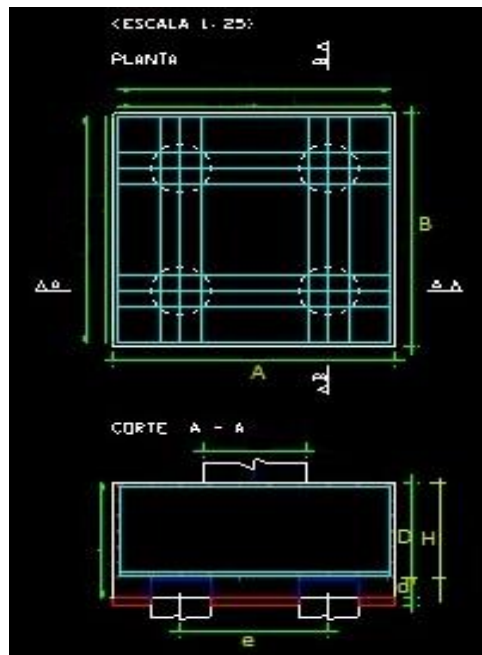


Figura 4- Bloco sobre 4 estacas. (Fonte: Autor; 2024)

De forma similar, a parcela da força no tirante é dada pela equação 32:

$$R_{sd} = \left(\frac{Pd}{4 * \text{sen}\theta} \right) \quad (32)$$

Igualando as equações θ e R_{sd} , a força de tração fica definida pela equação a seguir, que é válida para disposição da armadura estaca-pilar visto na equação 33 a seguir:

$$(33)$$

$$Rsd = \frac{Pd}{20} * \frac{\sqrt{2} * (2 * e - bp)}{D}$$

Para pilares retangulares pode-se substituir bp pelo valor encontrado na equação 34:

$$bp,eq = \sqrt{ap \cdot bp}. \quad (34)$$

Na equação 35 está sendo mostrado o cálculo para estimar o comprimento mínimo do bloco de maneira análoga ao bloco de duas estacas:

$$lbl,2 = e - \phi e + 2 * (0,7 * lb + c + \phi l) \quad (35)$$

A tensão na biela junto ao pilar é definida pela equação 36 e junto à estaca pela equação 37.

$$\sigma_{cd,pil} = \frac{Pk * 1,4}{Ap * \text{sen}^2\theta} \quad (36)$$

$$\sigma_{cd,est} = \frac{Pd}{4 * Ae * \text{sen}^2\theta} \quad (37)$$

As tensões que atuam no bloco devem ser menores que as tensões resistentes o que garante que o elemento suporta a carga que está sendo submetido, como observado na equação 38 a seguir:

$$\sigma_{cd,b,lim,pil} = \sigma_{cd,b,lim,est} = 2,1 \text{ Kr fcd} \quad (38)$$

3.3 Estruturação da planilha

Nesse sentido, para o funcionamento da ferramenta devem ser informados, como dados de entrada, os seguintes parâmetros pelo usuário:

- Carregamentos atuantes;
- Propriedades dos materiais, a resistência característica do concreto (f_{ck}) e do aço (f_{yk});
- Bitola e ancoragem mínima definida com as Tabelas A-1 e A-2 anexadas;
- Parâmetros geométricos: dimensões do pilar e diâmetro das estacas;
- Carga admissível nas estacas quando existir;
- Espaçamento entre as estacas respeitando o espaçamento mínimo dado na planilha;
- Altura útil (D) do bloco e (d') respeitando a mínima e máxima dada na planilha;
- Comprimento do bloco respeitando o valor mínimo ($lbl,2$) e a distância entre a face externa da estaca com a face interna do bloco de 15 cm dado na tabela.

A ferramenta possui uma planilha diferente para cada bloco para facilitar o entendimento e tornar a interface clara para o usuário. Todos os campos em amarelo na planilha devem ser preenchidos pelo usuário, pois são os dados de entrada da planilha. Caso o dado inserido seja inválido para o problema em questão uma mensagem de erro em vermelho aparecerá na tela informando o que deve ser alterado pois não corresponde aos critérios predefinidos.

Na figura 5, por exemplo, o espaçamento entre as estacas não está em conformidade com o valor mínimo a ser considerado (ex,min). Logo, sendo o valor inserido menor que o mínimo exigido, uma mensagem de erro está sendo informada na célula ao lado.

Dados de Entrada										
Parâmetros Geométricos			Carregamento			Propriedades dos Materiais				
ap =	20	cm	Pk =	620	KN	Fck =	25	Mpa	Fcd =	1,79 KN/cm ²
bp =	30	cm	MxK =	0	KN.m	Fyk =	500	Mpa	Fyd =	43,48 KN/cm ²
de =	30	cm	MyK =	1000	KN.m					
C =	30	cm				AS principal				
cob =	3	cm	Carga Admissível na Estaca			φ	1,6	cm		
ex =	60	cm	deve ser maior	Padm =	400	KN	lb(NBR6118)	60	cm	
D =	45	cm	Reação máxima na estaca			Ancoragem da armadura longitudinal pilar				
d' =	5	cm	Re, max			332,86667	KN	φ.pil	1,6	cm
dmin	22,5	cm	Nd			932,02667	KN	lb(NBR6118)	42	cm
dmax	31,95	cm	ex,min			75	cm			
O valor D precisa está entre dmin e dmax										
lb,2	124,00	cm								

Figura 5 - Interface da Planilha. (Fonte: Autor; 2024)

Após a inserção dos dados, a planilha faz os cálculos utilizando as fórmulas descritas inicialmente. Nesse contexto, caso o dado inserido esteja totalmente de acordo com as restrições estabelecidas uma mensagem de “ok” surgirá, bem como, se o valor estiver menor que o mínimo exigido, uma mensagem informando o erro aparece na planilha na cor vermelha, conforme demonstrado na figura 6.

Fórmulas												
Restrições				Método das bielas								
c1	50,00	>=0	ok	40,00	σcd.lim.pil	2,38	kn/cm ²	23,75	Mpa	Rsd	258,90	kn/cm ²
c2	-18,43	<=0	ok		σcd.lim.est	2,38	kn/cm ²	23,75	Mpa	Rcd	521,02	kn/cm ²
c3	8,43	<=0	tensão da biela maior que c		σcd.p	1,94	kn/cm ²	19,42	Mpa	As	6,85	cm ²
c4	-4,33	<=0	ok		σcd.e	0,82	kn/cm ²	8,24	Mpa	Kr	0,95	
c5	-15,51	<=0	ok		θ =	63,43	°			Abp	268,33	cm ²
c6	-67,13	<=0	ok		θ =	1,11	rad			Abe	632,23	cm ²
c7	15,00	<=0	Espacamento mínimo entre as estacas foi ultrapassado							ae	706,86	cm ²

Figura 6 – Fórmulas para o dimensionamento do bloco de duas estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Em vista disso, com relação as armaduras, existe uma aba na planilha desenvolvida que contém valores de referência, onde pode ser verificada a quantidade de barras para cada bitola de aço que podem ser alterados pelo usuário, como também outros parâmetros que serão utilizados no procedimento de dimensionamento dos blocos de 2, 3 e 4 estacas.

Na Figura 7, estão a presentados os resultados obtidos no dimensionamento juntamente com as quantidades de barra para de cada bitola de aço.

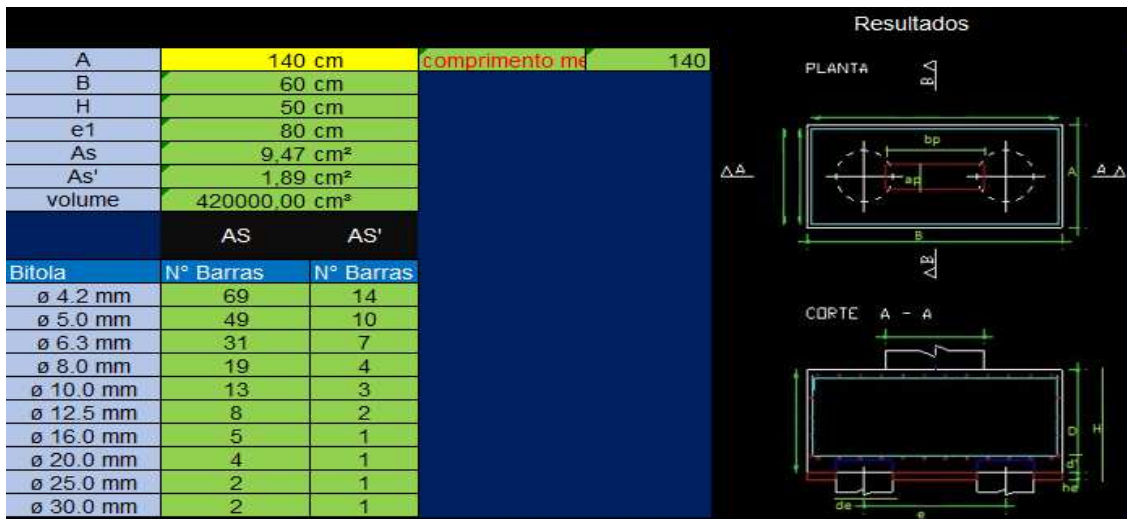


Figura 7 - Interface de resultados dentro da planilha. (Fonte: Autor; 2024)

Onde:

A = comprimento do bloco

B = largura do bloco

H = altura do Bloco

e1 = espaçamento entre o eixo das estacas

As = área de aço principal

As' = área de aço superior

Outrossim, nos resultados apresentados na figura 6, são obtidas as dimensões geométricas do bloco, volume do bloco e área de aço com a opção das quantidades de barras para cada bitola.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Desta feita, para demonstrar o funcionamento da planilha desenvolvida neste trabalho, serão utilizados exemplos para a quantidade de duas, três e quatro estacas sobre o bloco, dimensionado de acordo com as dimensões exigidas pela norma.

Ademais, será realizada uma comparação entre projetos de blocos sobre estacas encontrados na literatura com as soluções apresentadas pela ferramenta. Os exemplos são de blocos sobre estacas retirados de Bastos (2023).

4.1.1 Exemplo 1 - Bloco Sobre Duas Estacas

Para um pilar de canto com seção transversal de 20 x 30 cm, um bloco deve ser dimensionado e detalhado sobre duas estacas pré-moldadas com capacidade de carga igual a 400 kN (40 tf) e o diâmetro da estaca (ϕ_e) de 30 cm.

Dados do problema:

Cobrimento = 3,0 cm; concreto C25; aço CA-50;

$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 50/1,15 = 43,5 \text{ kN/cm}^2$; $\phi_{pil} = 16 \text{ mm}$.

$N_k = 620 \text{ kN}$; $M_x = 0 \text{ kN.m}$ (relativo à direção x do pilar);

$M_y = 1.000 \text{ kN.m}$ (relativo à direção y do pilar).

Para a resolução do problema a planilha utilizada foi a de dimensionamento de blocos sobre duas estacas. Os dados foram inseridos na planilha nas células de cor amarela conforme apresentado na figura 8.

Dimensionamento de Blocos sobre 2 Estacas											
Dados de Entrada:											
Parâmetros Geométricos			Carregamento			Propriedades dos Materiais					
ap =	20	cm	PK =	620	kN	Fck =	25	MPa	Fcd =	1,79	kN/cm ²
bp =	30	cm	Mxk =	0	kN.m	Fyk =	500	MPa	Fyd =	43,48	kN/cm ²
de =	30	cm	Myk =	1000	kN.m	AS principal ϕ = 1,6 cm lb(NBR6118) = 60 cm					
C =	20	cm	Carga Admissível na Estaca								
cob =	3	cm	Padm =	400	kN	Ancoragem da armadura longitudinal pilar ϕ.pil = 1,6 cm lb(NBR6118) = 42 cm					
ex =	80	cm	Reação máxima na estaca								
D =	45	cm	Re,max	328,7	kN	Nd = 920,36 kN ex,min = 75 cm					
d' =	5	cm	Reação máxima na estaca								
dmin	32,5	cm				ex,min = 75 cm					
dmáx	46,15	cm									
l _{b,2}	144,00	cm									

Figura 8 – Dados de entrada para o bloco de duas estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Posteriormente, com os dados fornecidos a planilha faz os cálculos utilizando as fórmulas nela integradas. Desse modo, caso o dado inserido seja menor que o mínimo exigido, uma mensagem informando o erro aparece na planilha na cor vermelha, o que deve ser analisado pelo usuário. Na figura 9 temos os resultados das equações que serão a base para o dimensionamento do bloco, estas fórmulas são de suma importância, uma vez que, delas derivam todo o dimensionamento.

Fórmulas												
Restrições				Método das bielas								
c1	50,00	>=0	ok	43,33	σ _{cd,lim,pil}	2,38	kn/cm ²	23,75	MPa	R _{sd}	357,92	kn/cm ²
c2	-9,16	<=0	ok		σ _{cd,lim,est}	2,38	kn/cm ²	23,75	MPa	R _{cd}	567,65	kn/cm ²
c3	-0,84	<=0	ok		σ _{cd,p}	2,33	kn/cm ²	23,34	MPa	A _s	9,47	cm ²
c4	-0,41	<=0	ok		σ _{cd,e}	0,99	kn/cm ²	9,91	MPa	k _r	0,95	
c5	-13,84	<=0	ok		θ =	54,16	°			A _{bp}	243,20	cm ²
c6	-71,30	<=0	ok		θ =	0,95	rad			A _{be}	573,04	cm ²
c7	-5,00	<=0	ok							ae	706,86	cm ²

Figura 9 – fórmulas para o dimensionamento do bloco de duas estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Além disso, são apresentados os resultados do dimensionamento do bloco de acordo com as especificações utilizadas pelo usuário no preenchimento da planilha. O comprimento do bloco deve ser maior que o l_{b,2} observado na figura 8 de modo a permitir a ancoragem mínima das armaduras além do espaçamento mínimo entre as estacas e a distância entre a face externa da estaca e a face interna do bloco que é de no mínimo 15cm. No exemplo utilizado, esses requisitos foram atendidos e uma mensagem de “ok” aparece na célula ao lado juntamente com a confirmação do comprimento do bloco. Vide figura 10.

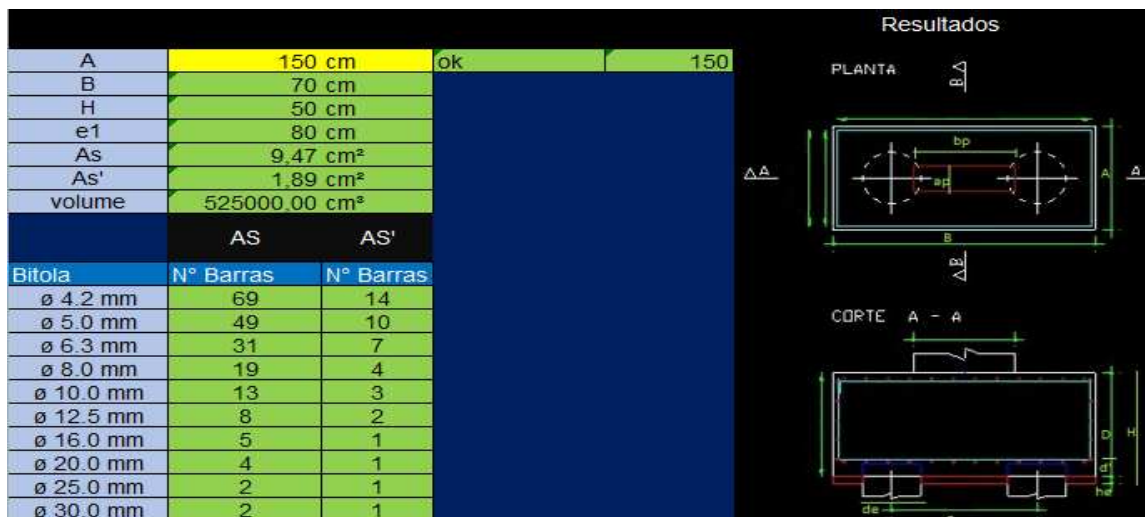


Figura 10 – Resultados para o bloco de duas estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Como visto anteriormente, os resultados informam o dimensionamento do bloco a partir do comprimento, largura e altura até as áreas de aço. A quantidade de barras para a área de aço encontrada fica a cargo do usuário da planilha que deve escolher a bitola das barras que melhor condiz com o projeto.

4.1.2 Exemplo 2 - Bloco Sobre Três Estacas

Dimensionar e detalhar um bloco colocado sobre três estacas de concreto com os seguintes dados:

- diâmetro da estaca: $\phi_f = 70$ cm;
- seção transversal do pilar: 65 x 65 cm;
- diâmetro da armadura vertical do pilar: $\phi_{\lambda, pil} = 25$ mm;
- carga vertical do pilar $N_k = 5.000$ kN;
- coeficientes de ponderação: $\gamma_c = \gamma_f = 1,4$; $\gamma_s = 1,15$;
- concreto C25; aço CA-50 ($f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 50/1,15 = 43,5$ kN/cm²);
- cobrimento : $c = 4,0$ cm.

O dimensionamento para blocos de três estacas segue os mesmos passos do dimensionamento anterior, com a utilização da planilha de dimensionamento de blocos sobre três estacas, partindo da inserção dos dados iniciais de entrada como está demonstrado na figura 11.

Dimensionamento de Blocos sobre 3 Estacas					
Dados de Entrada:					
Parâmetros Geométricos		Carregamento		Propriedades dos Materiais	
ap =	65 cm	Pk =	5000 kN	Fck =	25 MPa
bp =	65 cm	Mxk =	kN.m	Fcd =	1,79 kN/cm ²
de =	70 cm	Myk =	kN.m	Fyk =	500 MPa
C =	30 cm			Fyd =	43,48 kN/cm ²
cob =	4 cm	Carga Admissível na Estaca		AS principal	
ex =	250 cm	Padm =	1700 kN	ø	1,6 cm
ey =	250 cm	Reação máxima na estaca		lb(NBR6118)	60 cm
D =	148 cm	Re,max	1700 kN	Ancoragem da armadura longitudinal pilar	
d' =	12 cm	Nd	7350 kN	ø.pil	2,5 cm
dmin	126,15 cm	ex,min	175 cm	lb(NBR6118)	42 cm
dmáx	179,44 cm	ey,min	175 cm		
lbl,2	276,00 cm				

Figura 11 – Dados de entrada para o bloco de três estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Logo após os dados serem inseridos a ferramenta faz os cálculos utilizando os critérios definidos anteriormente e apresenta os resultados dentro dos parâmetros exigidos, ficando na cor verde como representado na figura 12.

Restrições				Fórmulas				Método das bielas			
c1	160,00	<=0	ok	105,00	$\sigma_{od,lim,pil}$	2,97 kn/cm ²	29,69 MPa	Rsd	1193,13	kn/cm ²	
c2	-4,85	<=0	ok		$\sigma_{od,lim,est}$	2,97 kn/cm ²	29,69 MPa	Rcd	3205,18	kn/cm ²	
c3	-5,15	<=0	ok		$\sigma_{od,p}$	2,84 kn/cm ²	28,36 MPa	As	27,44	cm ²	
c4	-1,33	<=0	ok		$\sigma_{od,e}$	1,09 kn/cm ²	10,90 MPa	kr	0,95		
c5	-18,79	<=0	ok		$\theta =$	49,85 °		Abp	1614,77	cm ²	
c6	0,00	<=0	ok		$\theta =$	0,87 rad		Abe	2941,71	cm ²	
c7	-75,00	<=0	ok					ae	3848,45	cm ²	
c8	-75,00	<=0	ok								

Figura 12 – fórmulas para o dimensionamento do bloco de três estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Em seguida, obtém-se os resultados do dimensionamento do bloco, apresentado na figura 13.

Resultados			
A	380 cm	ok	380
B	380 cm		
H	160 cm		
e1	250 cm		
e2	250 cm		
As	27,44 cm ²		
As'	5,49 cm ²		
volume	23104000,00 cm ³		
	AS	AS'	
Bitola	N° Barras	N° Barras	
ø 4.2 mm	199	40	
ø 5.0 mm	140	28	
ø 6.3 mm	89	18	
ø 8.0 mm	55	11	
ø 10.0 mm	35	7	
ø 12.5 mm	23	5	
ø 16.0 mm	14	3	
ø 20.0 mm	9	2	
ø 25.0 mm	6	2	
ø 30.0 mm	4	1	

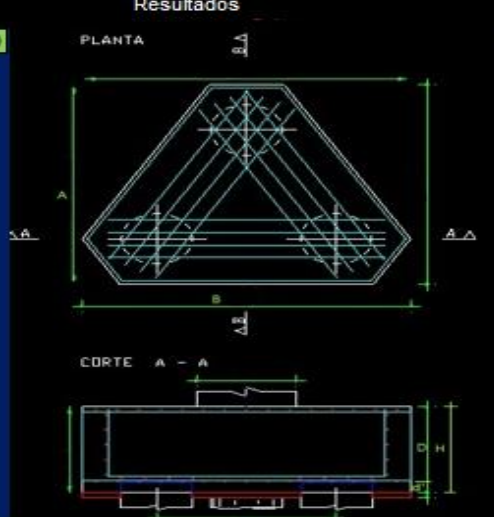


Figura 13 – Resultados para o bloco de três estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Do mesmo modo que o exemplo anterior do bloco de duas estacas, é apresentado a quantidade de barras para diversas bitolas de aço deixando a cargo do usuário a escolha de qual a bitola utilizar no bloco calculado.

4.1.3 Exemplo 3 - Bloco Sobre Quatro Estacas

Dimensionar um bloco sobre quatro estacas, supondo estacas de concreto armado pré-moldadas.

Dados iniciais:

Capacidade de carga da estaca: 400 kN (40 tf), diâmetro da estaca: $\phi_e = 30$ cm;

Seção transversal do pilar: 20 x 75 cm;

Diâmetro da armadura vertical do pilar: $\phi_{\lambda,pil} = 16$ mm;

Carga vertical $N_k = 1.303$ kN;

Momentos fletores nulos: $M_{xk} = M_{yk} = 0$; concreto C20;

Aço CA-50, cobertura nominal: $c = 3 \text{ cm}$;
 Coeficientes de ponderação: $\gamma_c = \gamma_f = 1,4$; $\gamma_s = 1,15$.

Dessa maneira, a planilha escolhida para o problema é a de dimensionamento de blocos sobre 4 estacas, de posse dos dados iniciais de entrada, o dimensionamento é iniciado levando em consideração as mensagens de erro, caso houver alguma alteração necessária. Vide figura 14.

Dimensionamento de Blocos sobre 4 Estacas											
Dados de Entrada:											
Parâmetros Geométricos			Carregamento			Propriedades dos Materiais					
ap =	20	cm	Pk =	1303	kN	Fck =	20	MPa	Fcd =	1,43	kN/cm ²
bp =	75	cm	Mxk =		kN.m	Fyk =	500	MPa	Fyd =	43,48	kN/cm ²
de =	30	cm	Myk =		kN.m	AS principal					
C =	20	cm	Carga Admissível na Estaca			ϕ					
cob =	3	cm	Padm =	400	kN	lb(NBR6118)					
ex =	80	cm	Reação máxima na estaca			ϕ_{pil}					
ey =	80	cm	Re,max	332,27	kN	lb(NBR6118)					
D =	55	cm	Nd	488,4296	kN	Anchagem da armadura longitudinal pilar					
d' =	5	cm	ex,min			75 cm					
dmin	43,05	cm	ey,min			75 cm					
dmáx	60,64	cm									
lbt,2	144,00	cm									

Figura 14 – Dados de entrada para o bloco de quatro estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Através da inserção de dados na ferramenta foi obtida a solução indicada na figura 15 pelo método das bielas. O cálculo segue o mesmo passo a passo dos exemplos citados anteriormente com algumas mudanças nas equações embutidas na planilha.

Fórmulas												
Restrições				Método das bielas								
c1	60,00	≤ 0	ok	43,33	$\sigma_{cd,lim,pil}$	2,85	kn/cm ²	28,50	MPa	Rsd	62,16	kn/cm ²
c2	-7,06	≤ 0	ok		$\sigma_{cd,lim,est}$	2,85	kn/cm ²	28,50	MPa	Rcd	309,65	kn/cm ²
c3	-2,94	≤ 0	ok		$\sigma_{cd,p}$	0,52	kn/cm ²	5,24	MPa	As	1,64	cm ²
c4	-23,26	≤ 0	ok		$\sigma_{cd,e}$	0,28	kn/cm ²	2,78	MPa	kr	0,95	
c5	-25,72	≤ 0	ok		$\theta =$	52,06	°			Abp	591,50	cm ²
c6	-67,74	≤ 0	ok		$\theta =$	0,91	rad			Abe	557,48	cm ²
c7	-5,00	≤ 0	ok							ae	706,86	cm ²
c8	-5,00	≤ 0	ok									

Figura 15 – fórmulas para o dimensionamento do bloco de quatro estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Considerando os dados informados, dimensões e cargas do pilar, como geotécnicos (diâmetro e capacidade de carga da estaca), através da ferramenta foi obtida a solução indicada na figura 16.

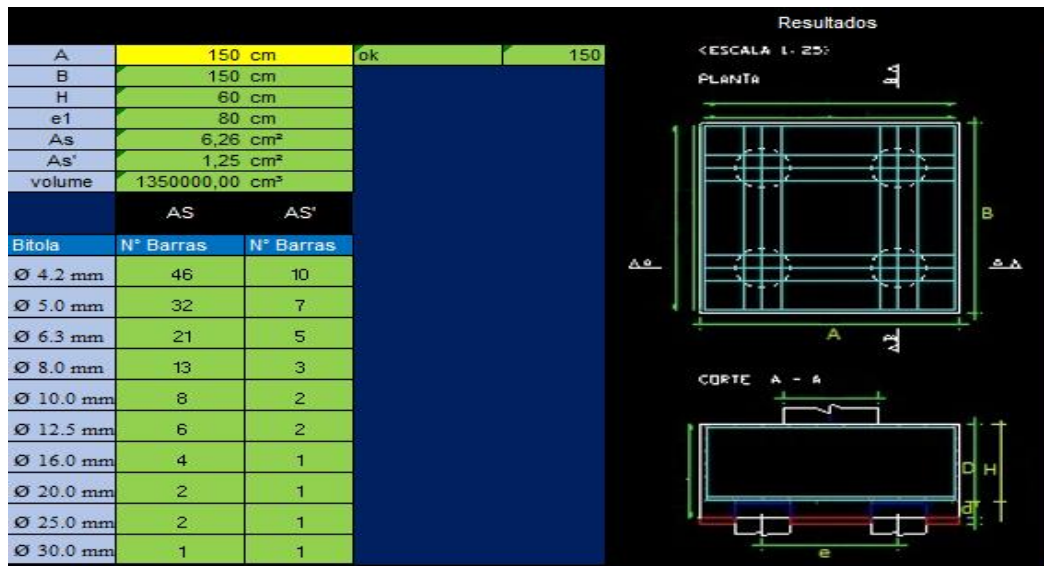


Figura 16 – Resultados para o bloco de quatro estacas. (Fonte: Autor; 2024)

Nessa esteira, o usuário recebe todo o dimensionamento de forma automática em conformidade com os critérios preestabelecidos na planilha, durante a inserção dos dados e análise das respostas da ferramenta.

4.1.4 Exemplo 4 - Bloco Sobre Duas Estacas

Nesse contexto, para melhor compreensão do funcionamento da planilha será apresentado um exemplo com valores de carga maiores que os usuais com o objetivo de demonstrar as respostas da ferramenta ao usuário para a resolução do problema de forma a atender os critérios estabelecidos.

Dimensionar um bloco apoiado sobre duas estacas com os seguintes dados:

- capacidade nominal da estaca: 600 kN, diâmetro da estaca: $\phi_e = 80$ cm;
- Seção transversal do pilar: 30 x 70 cm;
- diâmetro da armadura vertical do pilar: $\phi_{\lambda, pil} = 16$ mm;
- carga horizontal $N_{xk} = 1.000$ kN;
- carga vertical $N_{yk} = 5000$ kN;
- concreto C30; Aço CA-50; cobrimento nominal: $c = 3$ cm;
- altura útil (D) = 45 cm;
- espaçamento entre as estacas (e_x) = 150 cm;
- comprimento do bloco (A) = 200 cm.

Em suma, com os dados apresentados no problema a planilha identifica as incoerências e mensagens de erros aparecem informando que o valor inserido não obedece os critérios mínimos para o dimensionamento do elemento assim como visualizado na figura 17:

Dados de Entrada:																				
Parâmetros Geométricos			Carregamento			Propriedades dos Materiais														
ap =	30	cm	Pk =	5000	KN	Fck =	30	Mpa	Fcd =	2,14	KN/cm ²									
bp =	70	cm	MxK =	1000	KN.m	Fyk =	500	Mpa	Fyd =	43,48	KN/cm ²									
de =	80	cm	MyK =	2000	KN.m	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">AS principal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>φ</td><td>1,6</td><td>cm</td> </tr> <tr> <td>lb(NBR6118)</td><td>60</td><td>cm</td> </tr> </tbody> </table>					AS principal		φ	1,6	cm	lb(NBR6118)	60	cm		
AS principal																				
φ	1,6	cm																		
lb(NBR6118)	60	cm																		
C =	10	cm	Aumentar comprimento do bloco			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ancoragem da armadura longitudinal pilar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>φ,pil</td><td>1,6</td><td>cm</td> </tr> <tr> <td>lb(NBR6118)</td><td>42</td><td>cm</td> </tr> </tbody> </table>					Ancoragem da armadura longitudinal pilar		φ,pil	1,6	cm	lb(NBR6118)	42	cm		
Ancoragem da armadura longitudinal pilar																				
φ,pil	1,6	cm																		
lb(NBR6118)	42	cm																		
cob =	3	cm	Carga Admissível na Estaca			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reação máxima na estaca</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Re,max</td><td>2583,3333</td><td>KN</td> </tr> <tr> <td>Nd</td><td>7177,3333</td><td>KN</td> </tr> </tbody> </table>					Reação máxima na estaca		Re,max	2583,3333	KN	Nd	7177,3333	KN		
Reação máxima na estaca																				
Re,max	2583,3333	KN																		
Nd	7177,3333	KN																		
ex =	150	cm	Espaçamento deve ser maior			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ex_min</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ex_min</td><td>200</td><td>cm</td> </tr> </tbody> </table>					ex_min		ex_min	200	cm					
ex_min																				
ex_min	200	cm																		
D =	45	cm	O valor D precisa está entre dmin e dmax			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">dmin</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>dmin</td><td>57,5</td><td>cm</td> </tr> <tr> <th colspan="2">dmax</th> </tr> <tr> <td>dmax</td><td>81,65</td><td>cm</td> </tr> </tbody> </table>					dmin		dmin	57,5	cm	dmax		dmax	81,65	cm
dmin																				
dmin	57,5	cm																		
dmax																				
dmax	81,65	cm																		
d' =	5	cm	lb1,2			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">lb1,2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>lb1,2</td><td>164,00</td><td>cm</td> </tr> </tbody> </table>					lb1,2		lb1,2	164,00	cm					
lb1,2																				
lb1,2	164,00	cm																		
dmin	57,5	cm	lb1,2			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">lb1,2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>lb1,2</td><td>164,00</td><td>cm</td> </tr> </tbody> </table>					lb1,2		lb1,2	164,00	cm					
lb1,2																				
lb1,2	164,00	cm																		
dmax	81,65	cm	lb1,2			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">lb1,2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>lb1,2</td><td>164,00</td><td>cm</td> </tr> </tbody> </table>					lb1,2		lb1,2	164,00	cm					
lb1,2																				
lb1,2	164,00	cm																		
O valor D precisa está entre dmin e dmax			lb1,2			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">lb1,2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>lb1,2</td><td>164,00</td><td>cm</td> </tr> </tbody> </table>					lb1,2		lb1,2	164,00	cm					
lb1,2																				
lb1,2	164,00	cm																		
lb1,2	164,00	cm	lb1,2			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">lb1,2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>lb1,2</td><td>164,00</td><td>cm</td> </tr> </tbody> </table>					lb1,2		lb1,2	164,00	cm					
lb1,2																				
lb1,2	164,00	cm																		

Figura 17 – Dados de entrada do exemplo quatro. (Fonte: Autor; 2024)

Desse modo, surgiram os seguintes avisos: o primeiro, “aumentar comprimento do bloco”, pois o comprimento do bloco não permite a distância mínima entre a face externa da estaca e a face interna do bloco, que foi definida como sendo 15 cm; o segundo, “o espaçamento deve ser maior que o mínimo”, em razão do espaçamento entre as estacas dado no exemplo ser menor que o espaçamento mínimo calculado pela planilha que é de 200 cm; e o último, “o valor D precisa está entre dmin e dmax”, em virtude da altura útil do bloco que deve obedecer o intervalo dmin e dmax para permitir a ancoragem da armadura do pilar.

Tendo em vista que, o dimensionamento deve ser para blocos rígidos o exemplo em questão não obedece essa restrição, uma vez que, a altura do bloco (H) e menor que a dimensão do bloco em uma determinada direção menos é a dimensão do pilar na mesma direção dividido por três definido pela NBR 6118:2023, o que torna impossível seu dimensionamento, além disso, a tensão limite ($\sigma_{cd,lim,pil}$) no pilar e a carga máxima suportada pela estaca foram excedidas e todos esses erros são automaticamente identificados na planilha. Vide figura 18:

Fórmulas												
Restrições			Método das bielas									
c1	65,00	>=0	bloco não rígido	73,33	$\sigma_{cd,lim,pil}$	2,85	kn/cm ²	28,5	Mpa	Rsd	4037,25	kn/cm ²
c2	-1,22	<=0	ok		$\sigma_{cd,lim,est}$	2,85	kn/cm ²	28,5	Mpa	Rcd	4970,53	kn/cm ²
c3	-8,78	<=0	ok		$\sigma_{cd,p}$	6,56	kn/cm ²	65,57	Mpa	As	106,79	cm ²
c4	37,07	<=0	tensão limite no pilar excedido		$\sigma_{cd,e}$	1,37	kn/cm ²	13,70	Mpa	Kr	0,95	
c5	-14,80	<=0	ok		$\Theta =$	46,22	°			Abp	758,09	cm ²
c6	1963,33	<=0	carga máxima suportada pela		$\Theta =$	0,81	rad			Abe	3629,11	cm ²
c7	50,00	<=0	Espaçamento mínimo entre as estacas foi ultrapassado							ae	5026,55	cm ²

Figura 18 – Dimensionamento do exemplo quatro. (Fonte: Autor; 2024)

Sendo assim, Mesmo que o ângulo da biela esteja entre 45 e 55 graus o bloco não é considerado rígido, necessitando de uma análise mais completa como a verificação de punção.

A partir desse cenário, comparando-se os resultados do dimensionamento dos blocos, levando em consideração a proposta deste trabalho de dimensionar através de uma planilha, as principais diferenças nos cálculos se deram devido aos coeficientes de majoração das cargas atuantes nos blocos utilizados e de critérios como a distância entre a face externa da estaca e a face interna no bloco. O resumo dos resultados mostrados na

tabela 1 evidenciam essa diferença, mesmo que pequena, se comparado ao obtido pela planilha.

Tabela 1 - Comparação com os resultados obtidos por Bastos (2023).

Tabela 1 - comparação com os resultados obtidos por Bastos (2023) para o bloco de duas, três e quatro estacas					
Dimensões			Bastos (2023)		
Nº estacas	Altura do bloco (cm)	A x B	Blévtot e Frémy		
			As (cm²)	$\sigma_{cd,e}$ (MPa)	$\sigma_{cd,p}$ (MPa)
2	50	150 x 50	8,79	9,91	23,34
3	160	410 x 365	27,43	10,9	28,3
4	60	150 x 150	6,1	10,9	19,8
Resultados encontrados neste trabalho					
Dimensões			Planilha		
Nº estacas	Altura do bloco (cm)	A x B	Blévtot e Frémy		
			As (cm²)	$\sigma_{cd,e}$ (MPa)	$\sigma_{cd,p}$ (MPa)
2	50	150 x 70	9,47	9,91	23,34
3	160	380 x 380	27,44	10,58	28,92
4	60	150 x 150	6,26	10,58	19,94

Fonte: Autor, 2024.

Os valores demonstram um resultado satisfatório levando em conta que o dimensionamento mínimo deve ser sempre revisado pelo projetista alguns coeficientes de majoração podem ser modificados, o estudo da disposição das estacas é feito integrado entre o geotécnico e o estrutural e pode gerar reduções consideráveis no custo da fundação. Uma vez que, o dimensionamento é interativo e deve sempre levar em consideração a relação solo-estrutura.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maior parte do meio técnico usa métodos simplificados para dimensionar blocos sobre estacas; o método das bielas e tirantes proposto por Blévtot e Frémy é o principal. De acordo com o que aqui foi exposto nos exemplos, o método tradicional de cálculo do bloco sobre estacas depende da experiência do projetista e não garante que a solução encontrada seja a melhor. Os blocos sobre estacas são uma parte essencial de construções com fundação profunda pois, garantem que as cargas sejam transferidas dos pilares para as estacas. Devido às dificuldades de visualização após o término da obra, sua inspeção é dificultada, apesar de ser extremamente importante. Isso mostra a importância de um bom dimensionamento do elemento.

Desta feita, os exemplos aqui apresentados demonstram que a planilha criada pode auxiliar na resolução desse tipo de problema, uma vez que, o usuário conheça as variáveis de projeto. Com base em tudo o que foi apresentado e discutido anteriormente, pode-se dizer que o trabalho foi feito com sucesso no que se propôs, pois conseguiu criar uma ferramenta usando a Microsoft Excel para dimensionar blocos de 2, 3 e 4 estacas. Se utilizada em um ambiente profissional e prático, isso dará ao usuário mais tempo para resolver problemas e fornecer soluções viáveis, tornando-se útil para os profissionais do setor da construção civil, servindo como aliada para os engenheiros projetistas.

É importante ressaltar, que cabe ao projetista responsável analisar as soluções da ferramenta, seja com outro modelo de cálculo ou utilizando outros coeficientes de majoração das cargas atuantes no bloco para que este possa ser executado de forma a atender todos os parâmetros e critérios do projetista.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros: Usar a formulação sugerida pelo método das bielas e tirantes de acordo com as especificações da ABNT NBR 6118:2023 para implementar o dimensionamento para os demais tipos de blocos; Aplicar métodos de otimização no dimensionamento de blocos pelo método das bielas e tirantes, na busca de otimizar o custo deste elemento; Dimensionamento de armaduras de distribuição e fissuração para blocos sobre estacas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**, NBR 8681. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:2010 – Projeto de estruturas de concreto**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto**, NBR 6118. Rio de Janeiro, ABNT, 2023, 242p.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Ancoragem e emenda de armaduras**. Notas de Aula do Curso de Estruturas de Concreto II. UNESP. Bauru, 2018.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Blocos de fundação**. São Paulo: UNESP, 2023.

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

KIMURA, Alio Ernesto. **Indústria 4.0, cidades inteligentes e o concreto**. Revista Concreto & Construções, São Paulo, 2019-. ISSN 1809-7197. Trimestral.

OLIVEIRA, D. S. (2013). **Análise do comportamento estrutural de blocos de concreto armado sobre cinco e seis estacas**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

TOMAZ, Aclay Gabriel da Silva. **Dimensionamento ótimo de bloco sobre estacas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2016.

TOMAZ, Aclay Gabriel da Silva; ALVES, E. C. Dimensionamento ótimo de bloco sobre estacas. **Engenharia Estudo e Pesquisa. ABPE**, v. 15, n. 1, p. 56-65, 2015.

TURINI, Thiago Tononi et al. Análise comparativa de dimensionamento otimizado de blocos de concreto sobre estacas de concreto. **Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural**, v. 16, n. 1, 2019.

ANEXOS

Tabela A-1														
COMPRIMENTO DE ANCORAGEM (cm) para $A_{s,ef} = A_{s,calc}$ CA-50 nervurado														
ϕ (mm)	Concreto													
	C20		C25		C30		C35		C40		C45		C50	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
6,3	39	28	34	24	30	21	27	19	25	17	23	16	21	15
	28	19	24	17	21	15	19	13	17	12	16	11	15	10
8	50	35	43	30	38	27	34	24	31	22	29	20	27	19
	35	24	30	21	27	19	24	17	22	15	20	14	19	13
10	62	44	54	38	48	33	43	30	39	28	36	25	34	24
	44	31	38	26	33	23	30	21	28	19	25	18	24	17
12,5	78	55	67	47	60	42	54	38	49	34	45	32	42	30
	55	38	47	33	42	29	38	26	34	24	32	22	30	21
16	100	70	86	60	76	53	69	48	63	44	58	41	54	38
	70	49	60	42	53	37	48	34	44	31	41	29	38	27
20	125	87	108	75	95	67	86	60	79	55	73	51	68	47
	87	61	75	53	67	47	60	42	55	39	51	36	47	33
25	156	109	135	94	119	83	108	75	98	69	91	64	85	59
	109	76	94	66	83	58	75	53	69	48	64	45	59	42
32	200	140	172	121	152	107	138	96	126	88	116	81	108	76
	140	98	121	84	107	75	96	67	88	62	81	57	76	53
40	271	190	234	164	207	145	187	131	171	120	158	111	147	103
	190	133	164	115	145	102	131	92	120	84	111	77	103	72

Valores de acordo com a NBR 6118.
 N° Superior: Má Aderência ; N° Inferior: Boa Aderência
Sem e **Com** indicam sem ou com gancho na extremidade da barra
 $A_{s,ef}$ = área de armadura efetiva ; $A_{s,calc}$ = área de armadura calculada
 $\gamma_c = 1,4$; $\gamma_s = 1,15$

O comprimento de ancoragem deve ser maior do que o comprimento mínimo: $\ell_{b,min} \geq \begin{cases} 0,3 \ell_b \\ 10 \phi \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$

Fonte: Bastos. Ancoragem e emenda de armaduras. Bauru, 2018.

Tabela A-2														
COMPRIMENTO DE ANCORAGEM (cm) para $A_{s,ef} = A_{s,calc}$ CA-60														
ϕ (mm)	Concreto													
	C20		C25		C30		C35		C40		C45		C50	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
4,2	71	50	61	43	54	38	49	34	45	31	41	29	38	27
	50	35	43	30	38	26	34	24	31	22	29	20	27	19
5	84	59	73	51	64	45	58	41	53	37	49	34	46	32
	59	41	51	36	45	32	41	28	37	26	34	24	32	22
6	101	71	87	61	77	54	70	49	64	45	59	41	55	38
	71	50	61	43	54	38	49	34	45	31	41	29	38	27
7	118	83	102	71	90	63	81	57	74	52	69	48	64	45
	83	58	71	50	63	44	57	40	52	36	48	34	45	31
8	135	94	116	81	103	72	93	65	85	59	79	55	73	51
	94	66	81	57	72	50	65	46	59	42	55	38	51	36
9,5	160	112	138	97	122	86	110	77	101	71	93	65	87	61
	112	78	97	68	86	60	77	54	71	49	65	46	61	43

Valores de acordo com a NBR 6118.
 N° Superior: Má Aderência ; N° Inferior: Boa Aderência
Sem e **Com** indicam sem ou com gancho na extremidade da barra
 $A_{s,ef}$ = área de armadura efetiva ; $A_{s,calc}$ = área de armadura calculada
 $\gamma_c = 1,4$; $\gamma_s = 1,15$

O comprimento de ancoragem deve ser maior do que o comprimento mínimo: $\ell_{b,min} \geq \begin{cases} 0,3 \ell_b \\ 10 \phi \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$

Fonte: Bastos. Ancoragem e emenda de armaduras. Bauru, 2018.