IMPACTO DOS VAZIOS NA PARTE PIRAMIDAL DA SAPATA ISOLADA

IMPACT OF VOIDS IN THE PYRAMIDAL PART OF THE INSULATED FOOTING

Bruno Daniel Batista Martins, Erick Lira Da Silva, Vitor Nepomuceno Toledo, Paulo Eduardo de Oliveira Andrade, André Luís Gomes Paes

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Civil
E-mail para contato: brunodaniel2003@gmail.com

RESUMO – Este estudo investiga o impacto de vazios na região piramidal de sapatas isoladas, elementos essenciais na transferência de cargas ao solo. Esses vazios, decorrentes de falhas de adensamento em áreas de difícil acesso, comprometem a resistência e a durabilidade da fundação. Para análise, foram moldados quatro protótipos de sapatas em fôrmas tradicionais e adaptadas, estas últimas com molde específico para a parte piramidal, facilitando a concretagem. Também foram produzidos 24 corpos de prova cilíndricos para simular os dois métodos e aumentar a confiabilidade estatística. Utilizou-se o traço 1:2,2:3 (cimento, areia média e brita 1). Os resultados contribuem para o entendimento dos vazios na resistência das sapatas e reforçam a importância do controle tecnológico em fundações.

Palavras-chave: Vibração; Fundações; Patologias.

ABSTRACT – This study investigates the impact of voids in the pyramidal region of isolated footings, which are essential elements in transferring loads to the ground. These voids, resulting from compaction failures in areas that are difficult to access, compromise the strength and durability of the foundation. For analysis, four footing prototypes were molded in traditional and adapted forms, the latter with a specific mold for the pyramidal part, facilitating concreting. Twenty-four cylindrical test specimens were also produced to simulate the two methods to increase statistical reliability. A 1:2.2:3 mix ratio (cement, medium sand, and 57# stone) was used. The results contribute to the understanding of voids in footing strength and reinforce the importance of technological control in foundations.

Keywords: Vibration; Foundations; Pathologies.

1 INTRODUÇÃO

A fundação é um dos componentes mais críticos em um projeto de construção civil, sendo responsável por garantir a estabilidade e segurança da estrutura ao transferir as cargas da edificação para o solo. Entre os diferentes tipos de fundações, as sapatas isoladas são amplamente utilizadas, principalmente em solos com boa capacidade de carga, por sua simplicidade e eficiência na distribuição das cargas concentradas dos pilares. No entanto, um dos principais desafios no uso de sapatas isoladas é a presença de vazios na parte piramidal dessa fundação. Esses vazios podem surgir devido a diversos fatores, como falhas na compactação do concreto, segregação dos materiais durante a concretagem e inadequada execução da forma ou do lançamento do concreto (NEVILLE, 2016). A ocorrência desses espaços não preenchidos compromete a adequada distribuição das tensões ao longo da fundação, resultando em pontos de concentração de esforços e redução da capacidade de suporte da estrutura (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

A falta de controle sobre essa problemática pode levar a diversas consequências estruturais, incluindo recalques diferenciais, fissuração precoce dos elementos suportados e diminuição da durabilidade da edificação (ABNT, NBR 6118:2023). Além disso, em casos mais severos, pode haver falha prematura da fundação, exigindo reforços estruturais ou até mesmo a substituição parcial ou total da base de apoio. Dessa forma, a análise criteriosa da formação de vazios na parte piramidal das sapatas isoladas é essencial para garantir a segurança e a eficiência do sistema de fundação (Kosmatika e Wilson, 2004).

A sapata isolada é projetada para suportar as cargas de um pilar específico, sendo ideal para situações em que a carga não é excessivamente alta. O formato piramidal da sapata visa otimizar a distribuição das tensões no solo, de modo a oferecer maior estabilidade. No entanto, durante o processo de concretagem, podem surgir vazios nas regiões de difícil acesso da sapata, como na parte piramidal, que, se não tratados adequadamente, podem reduzir a resistência do concreto e prejudicar a eficácia da fundação. A presença desses vazios pode ser atribuída a falhas no processo de compactação ou preenchimento do concreto, frequentemente causadas pela dificuldade de vibração do concreto em áreas de geometria mais complexa (Tacconi, 2020).

Adicionalmente, este estudo visa analisar a influência da presença de vazios no desempenho estrutural de sapatas isoladas, com ênfase na alteração do estado de tensões e na

redução da resistência do concreto na região piramidal. A investigação contempla a avaliação dos efeitos deletérios causados por essas descontinuidades, os quais podem comprometer a integridade e a capacidade de carga da fundação.

O presente trabalho busca aprofundar o entendimento sobre a influência dos vazios na parte piramidal da sapata isolada e propor soluções práticas para mitigar esse problema, assegurando que o concreto atenda aos requisitos de resistência e durabilidade necessários para garantir a segurança estrutural das edificações. Através de uma análise detalhada da execução do concreto, dos ensaios de controle de qualidade e das possíveis melhorias no processo de concretagem, este estudo contribui para a otimização da execução de fundações e para a prevenção de falhas que possam comprometer a integridade das construções ao longo do tempo.

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o impacto dos vazios na resistência do concreto da parte piramidal das sapatas isoladas e propor soluções para amenizar esse problema. Já os objetivos específicos:

I. Investigar através de protótipos e corpos de prova a formação de vazios na região piramidal das sapatas isoladas durante o processo de concretagem, identificando suas principais causas.

II. Avaliar o impacto dos vazios na resistência à compressão do concreto, particularmente nas áreas de difícil acesso da sapata, utilizando ensaios de controle de qualidade como o de compressão, abatimento e entre outros.

III. Realizar comparações de desempenho entre sapatas isoladas executadas com diferentes técnicas de concretagem, com o objetivo de determinar as práticas mais eficientes para garantir a resistência e durabilidade da fundação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o propósito de avaliar a influência da vibração do concreto na resistência à compressão de sapatas isoladas, foi conduzido um estudo experimental de natureza exploratória e explicativa, com abordagem qualiquantitativa, fundamentado no método hipotético dedutivo envolvendo a análise comparativa de dois modelos distintos de fôrmas: uma convencional, sem a definição geométrica da porção piramidal, e outra com a geometria piramidal incorporada ao molde adaptada pelo grupo.

A principal variável analisada é o efeito da vibração do concreto sobre a resistência à compressão das sapatas como um todo, além de corpos de prova cilíndricos utilizados como referência de desempenho do concreto conforme prática usual de controle tecnológico, visando dados mais precisos sobre a influência dos vazios na fundação.

A escolha dos materiais foi baseada em componentes comumente utilizados no cotidiano de obras, priorizando praticidade e desempenho compatível com as exigências da aplicação; a madeira utilizada na confecção da forma foi o compensado naval com espessura de 18 mm, sendo empregados pregos com cabeça de 17 x 21 mm para a montagem, enquanto o arame galvanizado de 18 mm foi utilizado tanto na amarração quanto como guia para o molde da porção piramidal nas formas convencionais.

O concreto utilizado foi dosado para uma resistência característica de 25 MPa, com base em recomendações de Mehta e Monteiro (2014), e seguindo as orientações da ABNT NBR 12655:2022. O traço por massa foi:

I. Cimento CP II-Z 25: 1,0 parte
II. Areia média: 2,2 partes
III. Brita 1: 3,0 partes
IV. Água: 0,55 (fator a/c)

Esse traço foi escolhido por apresentar bom desempenho em fundações superficiais, conforme também adotado em estudos como Silva et al. (2019).

Nas sapatas com forma tradicional, não foi aplicada vibração na região superior, simulando um cenário real de obra, enquanto nas sapatas com forma adaptada foi aplicada vibração com o vibrador desde a base até o topo garantindo adensamento completo e homogêneo, nas figuras 1 e 2 mostra as formas de cada um dos métodos.

Figura 1 forma tradicional



Figura 2 forma adaptada pelo grupo



Este procedimento buscou simular condições reais de campo e demonstrar a diferença entre um concreto bem vibrado e outro com vibração deficiente, especialmente em regiões críticas da fundação.

A definição da quantidade de corpos de prova neste estudo baseou-se nos critérios estabelecidos pelas normas brasileiras vigentes, com ênfase especial na ABNT NBR 5738:2015, que trata da preparação, moldagem e cura de corpos de prova de concreto, e na ABNT NBR 12655:2022, que estabelece diretrizes para o controle tecnológico da produção do concreto. De acordo com essas normas, para cada amostra de concreto devem ser moldados, no mínimo, dois corpos de prova cilíndricos para cada idade de ruptura, a fim de possibilitar a avaliação da resistência mecânica do material.

Contudo, visando aumentar a confiabilidade estatística dos resultados obtidos e possibilitar análises mais robustas, este estudo optou pela moldagem de três corpos de prova cilíndricos para cada uma das idades de ensaio (7, 14, 21 e 28 dias), e para cada tipo de sapata avaliado. Essa decisão resultou no total de 24 corpos de prova cilíndricos, com dimensões padronizadas de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, todos submetidos às mesmas condições de preparo conforme estabelecido nas normas técnicas aplicáveis.

A adoção de três corpos de prova por idade não apenas aumenta a representatividade amostral, como também permite o cálculo de parâmetros estatísticos fundamentais, como a média aritmética e o desvio padrão das resistências à compressão obtidas, os quais são essenciais para o controle de qualidade e validação do desempenho do concreto. Tais parâmetros auxiliam na detecção de possíveis anomalias nos resultados, contribuindo para a confiabilidade do processo de dosagem e execução.

Além disso, conforme determinado pela ABNT NBR 12655:2022, a resistência média à compressão aos 28 dias deve ser superior ou igual ao valor de projeto (fck) acrescido de 1,65 vezes o desvio padrão da amostra. Esse critério busca garantir que a variabilidade natural do concreto não comprometa a segurança estrutural. Outro requisito importante é que nenhum dos valores individuais de resistência pode ser inferior a fck menos 4 MPa, o que estabelece um limite mínimo admissível para os resultados experimentais. Esses critérios normativos têm como objetivo assegurar que os dados obtidos em laboratório sejam representativos das condições reais de aplicação do concreto, promovendo maior confiabilidade nas conclusões do estudo e no desempenho das estruturas executadas com o material avaliado.

Serão utilizadas betoneira, masseiras, baldes, desempenadeiras, colher de pedreiro e o vibrador de imersão, na figura 3 está presente todos os itens utilizados no laboratório de práticas.

Figura 3 Todos os materiais e a serem utilizadas



O primeiro passo na concretagem foi separar a areia, brita e cimento por volume para a serem colocados na ordem correta na betoneira respeitando também o fator água/cimento.

Como o concreto a ser utilizado nas formas adaptadas pelo grupo não necessita o molde da parte piramidal. O mesmo pode ser trabalhado para que seja mais fluido comparado ao concreto a ser utilizado nas formas convencionais que devido a parte piramidal ao qual necessita um concreto em termos práticos mais seco.

Diferentemente de estudos que utilizam apenas testemunhos extraídos, este experimento inovou ao realizar o ensaio de compressão direta em cada sapata inteira, com o objetivo de avaliar a resistência global do elemento, considerando a presença ou ausência de falhas internas devido à vibração deficiente.

O ensaio de compressão foi realizado em uma prensa hidráulica da universidade, visível na Figura 4, respeitando alinhamento e carga centricamente aplicada. Este tipo de ensaio simula de forma mais realista as condições de carga atuantes sobre fundações em serviço.

Figura 4 Prensa hidráulica do laboratório de materiais



Com base nos ensaios de compressão realizados nos corpos de prova utilizando dois métodos distintos de vibração, serão elaboradas tabelas com os resultados obtidos. Esses dados permitirão calcular o desvio padrão de cada método e, assim, comparar o desempenho entre eles. A partir dessa comparação, será possível identificar a diferença entre os desvios e verificar se o método com forma adaptada apresenta um desempenho superior em relação ao método convencional.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Iniciando-se pelo processo de concretagem dos protótipos desenvolvidos em cada método construtivo, observou-se que o método tradicional apresentou determinadas limitações práticas e técnicas. A necessidade de moldagem manual da parte piramidal da sapata resultou em um maior tempo de execução, além de comprometer a qualidade do processo em alguns aspectos. Entre os principais pontos críticos identificados, destacam-se as deficiências no adensamento do concreto, ocasionadas pela geometria da fôrma e pela dificuldade de acesso às regiões de mais difícil acesso. Segundo Helene e Terzian (1992), falhas no adensamento podem gerar descontinuidades internas no concreto, reduzindo a resistência em aproximadamente em até

50%. Por outro lado, a ausência da parte piramidal confere ao método maior simplicidade, uma vez que a fôrma se torna mais prática e rápida de montar, reduzindo significativamente o tempo de preparação e permitindo economia de material empregado na sua fabricação.

No que se refere ao método adaptado pelo grupo, que contempla a execução da fôrma completa da sapata, incluindo a porção piramidal, verificou-se que este apresentou melhor desempenho técnico durante a concretagem. A configuração da fôrma favoreceu o adensamento adequado do concreto, reduzindo a ocorrência de vazios e segregações, além de proporcionar maior precisão geométrica, atendendo com rigor às dimensões estabelecidas em projeto. Em conformidade com Neville (2016), a qualidade da concretagem está diretamente relacionada ao controle da moldagem e ao adensamento eficiente, fatores que afetam diretamente a resistência à compressão. Entretanto, essa eficiência estrutural aprimorada causa uma maior complexidade da fôrma, o que implica um tempo de montagem mais extenso e um custo elevado em relação ao método convencional.

Para prosseguir com a análise, foram realizados testes de compressão axial simples em corpos de prova moldados de acordo com as características representativas de cada método construtivo. Esses ensaios foram conduzidos de acordo com os procedimentos definidos pela ABNT NBR 5739:2018 Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, que estabelece os requisitos para a preparação, cura e execução do ensaio para determinar a resistência à compressão do concreto. Como enfatizam Mehta e Monteiro (2014), a resistência à compressão ainda é a principal propriedade mecânica analisada, atuando como um parâmetro essencial para o controle tecnológico do concreto. Os resultados alcançados estão dispostos em duas fases, de acordo com as tabelas 1 e 2.

- Tabela 1: mostra os valores individuais da resistência à compressão axial de cada corpo de prova, classificados conforme a idade do ensaio (dias de cura).
- Tabela 2: exibe a média dos resultados de resistência à compressão para cada idade, possibilitando uma avaliação comparativa mais precisa e objetiva do desempenho do concreto em relação ao método construtivo utilizado.

Tabela 1 Resistencia a compressão de cada corpo de prova

IDADE	ADAPTADA	CONVENCIONAL
07 DIAS	5,32	4,34
	5,27	4,12
	4,95	4,40
14 DIAS	6,12	5,37
	6,80	5,02
	6,45	5,54
21 DIAS	8,26	7,25
	9,36	7,73
	8,84	7,48
28 DIAS	13,16	10,43
	12,56	10,83
	13,18	10,12

A Tabela 1 apresenta os valores individuais de resistência à compressão obtidos para os corpos de prova moldados a partir dos dois métodos construtivos (adaptado e convencional), em diferentes idades de cura. Para reforçar a análise, as figuras 5 e 6 destacam os valores máximos observados em cada método, possibilitando uma comparação direta e a comprovação da superioridade do método adaptado.

Figura 5 Resistencia a compressão adaptada



Figura 6 Resistencia a compressão convencional



Com o avanço do período de cura, a diferença entre os métodos torna-se mais evidente. Aos 14 e 21 dias, os resultados do método adaptado mantêm-se consistentemente acima dos obtidos pelo convencional, confirmando a maior eficiência do processo de concretagem. Por

fim, aos 28 dias, idade de referência para avaliação da resistência característica do concreto, as resistências médias atingem aproximadamente 13 MPa para o método adaptado contra 10 MPa no método convencional, valores que demonstram um ganho significativo no desempenho do concreto quando utilizada a técnica adaptada.

Esses resultados reforçam a importância de um processo de moldagem e adensamento adequado, conforme discutido por Neville (2016), uma vez que influenciam diretamente no ganho de resistência do material ao longo da cura.

Tabela 2 Média da resistência a compressão de cada corpo de prova

IDADE	ADAPTADA	CONVENCIONAL
7	5,18	4,28
14	6,45	5,31
21	8,82	7,48
28	12,97	10,46

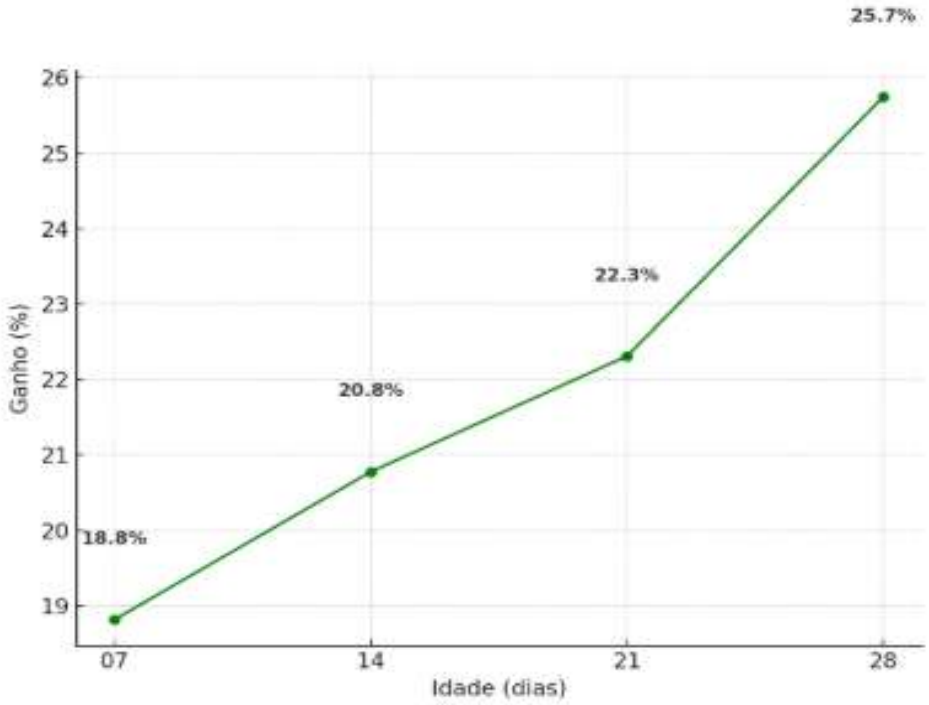
A Tabela 2 apresenta as médias aritméticas dos valores de resistência à compressão obtidos para cada idade de ensaio, considerando os corpos de prova referentes aos métodos adaptado e convencional. A análise evidencia um comportamento consistente: em todas as idades avaliadas (7, 14, 21 e 28 dias), o método adaptado apresentou valores médios superiores em relação ao convencional.

O gráfico mostra a progressão do percentual de aumento na resistência à compressão axial dos corpos de prova moldados pelo método adaptado em comparação com o método convencional, ao longo de várias idades de cura (7, 14, 21 e 28 dias). Os valores foram determinados com base nas médias exibidas na Tabela 2 e refletem o desempenho relativo do método adaptado em relação à resistência mecânica.

Observa-se que, ao sétimo dia, o método adaptado demonstrou um aumento de 18,8% em relação ao método tradicional, evidenciando um desempenho superior desde as primeiras idades. Aos 14 e 21 dias, os ganhos permanecem em 20,8% e 22,3%, respectivamente, evidenciando a consistência no progresso da resistência durante o período de cura. Finalmente, aos 28 dias, que é a idade padrão para verificar a resistência característica do concreto, o ganho

relativo chega a 25,7%, confirmando a superioridade do método adaptado em comparação ao convencional.

Gráfico 1 Porcentual de ganho do método adaptado em ralação ao método convencional



Esses resultados destacam a eficácia técnica do método adaptado, cuja configuração da fôrma favoreceu um adensamento superior e uma precisão geométrica aprimorada durante a concretagem. Esses fatores estão diretamente ligados ao aumento da resistência do concreto (NEVILLE, 2016). Embora haja maiores demandas construtivas, como tempo e custo elevados na montagem da fôrma, o desempenho mecânico alcançado justifica sua utilização em situações que requerem maior confiabilidade estrutural ou maior agilidade na concretagem, embora com um custo adicional.

4 CONCLUSÃO

O estudo evidenciou a importância crucial do controle da vibração do concreto durante a concretagem de sapatas isoladas, sobretudo na porção piramidal, mais suscetível à formação de vazios devido à sua geometria complexa. Os resultados experimentais mostraram que o método adaptado, com uso de fôrma completa que definiu a geometria da parte piramidal e permitiu

vibração integral do concreto, garantiu adensamento mais eficiente e redução significativa de vazios internos, refletindo-se em melhor desempenho estrutural, com resistências à compressão superiores em todas as idades de cura, alcançando valores médios próximos a 13 MPa aos 28 dias, contra cerca de 10 MPa no método convencional com vibração deficiente. Essa diferença comprova que os vazios comprometem a integridade e a capacidade do concreto de suportar cargas, elevando o risco de falhas estruturais. Assim, o emprego de técnicas que assegurem o adequado adensamento, como fôrmas adaptadas que favoreçam a vibração completa da sapata, é fundamental para a segurança, durabilidade e eficiência das fundações superficiais, sendo que, apesar da maior exigência na preparação e do tempo adicional, os ganhos em resistência e qualidade justificam o investimento. Por fim, o trabalho reforça a necessidade de rigor no controle tecnológico do concreto em obras civis, essencial para prevenir patologias estruturais e garantir a longevidade das construções.

5 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 12655:2022 – Concreto – Procedimento para execução de concretagem. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2022.

ABNT. NBR 5738:2015 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

ABNT. NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto*. São Paulo: Pini, 1992.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do Concreto*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

SILVA, João. Tecnologia do Concreto: Fundamentos e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora XYZ, 2019.

TACCONI, A. M. Fundações: Teoria e Prática. São Paulo: Editora Manole, 2006.