

FUNDAÇÕES: CRITÉRIOS AVALIATIVOS E PATOLOGIAS CAUSADAS PELA ESCOLHA EQUIVOCADA DO ELEMENTO

Laura Ribeiro Nunes Rodrigues¹

Renato Silva Ferreira²

Diego Silva Souza³

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Sabe-se que as fundações são os elementos estruturais responsáveis por transmitir as cargas da estrutura de uma edificação para o solo de forma segura e estável. Dessa maneira, tais elementos têm a função de distribuir o peso da construção de maneira adequada, impedindo o surgimento de problemas relacionados à estabilidade e à integridade estrutural do edifício. Dito isso, o presente artigo tem como objetivo geral investigar o surgimento de patologias ocasionadas pela escolha equivocada do elemento de fundação. Para tanto, iniciou-se com uma revisão minuciosa bibliográfica dos diferentes tipos de fundação, enfatizando suas particularidades estruturais e suas aplicações em variados contextos. Posteriormente, discutiu-se e foram analisados os principais critérios considerados na escolha/adoção do tipo de fundação, com destaque para a análise do solo, englobando sua capacidade de suporte, expansão e outras propriedades geotécnicas. Logo, pode-se afirmar que este estudo fornece uma compreensão abrangente dos fatores cruciais na seleção do tipo de fundação, oferecendo *insights* valiosos para profissionais e acadêmicos na área da engenharia civil. Além do mais, também contribui para otimizar projetos e prevenir problemas na construção civil ao ressaltar a importância de escolher as fundações de forma apropriada desde a fase de projeto, dedicando-se a uma análise aprofundada das patologias que afetam as fundações em construções civis.

PALAVRAS-CHAVE

Construção Civil. Critérios Avaliativos. Fundação. Patologias.

ABSTRACT

It is known that foundations are the structural elements responsible for transmitting the loads of a building's structure to the ground in a safe and stable way. In this way, these elements have the function of distributing the weight of the construction appropriately, preventing the emergence of problems related to the stability and structural integrity of the building. That said, the general objective of this article is to investigate the emergence of pathologies caused by the wrong choice of the foundation element. To this end, we began with a thorough bibliographical review of the different types of foundation, emphasizing their structural particularities and their applications in various contexts. Subsequently, the main criteria considered in the choice/adoption of the type of foundation were discussed and analyzed, with emphasis on soil analysis, encompassing its support capacity, expansion and other geotechnical properties. Therefore, it can be stated that this study provides a comprehensive understanding of the crucial factors in selecting the type of foundation, offering valuable insights for professionals and academics in the field of civil engineering. Furthermore, it also contributes to optimizing projects and preventing problems in civil construction by highlighting the importance of choosing foundations appropriately from the design phase, dedicating itself to an in-depth analysis of the pathologies that affect foundations in civil construction.

KEYWORDS

Construction. Evaluation Criteria. Foundation. Pathologies.

1 INTRODUÇÃO

A fundação em uma edificação, também chamada por alguns autores de infraestrutura, têm por finalidade transmitir as cargas da superestrutura de uma edificação para as camadas mais resistentes do solo sem provocar colapso no sistema (maciço de solo). Assim, todas as obras de construção civil necessitam de uma base sólida e estável para ser apoiada (Albuquerque; Garcia, 2022).

Neste sentido, as fundações são estruturas localizadas abaixo do solo e, por isso, não são facilmente inspecionadas após a conclusão da obra. Por essa razão, a execução e o controle de qualidade são essenciais para garantir um bom desempenho da fundação. Logo, verifica-se que as etapas de controle de qualidade mais importantes são: materiais utilizados, monitoramento de recalque e cálculo da carga admissível.

Contudo, a escolha do tipo de fundação depende das características do solo, da existência de lençóis freáticos, das edificações vizinhas, custos, dos esforços atuantes sobre a edificação, dos materiais disponíveis e elementos estruturais da fundação. Quando bem projetada, a fundação corresponde de 3% a 10% do custo total do edifi-

cio, mas caso contrário podem atingir de 5 a 10 vezes o custo da fundação apropriada para o caso (Barros, 2003).

Diante do exposto, questiona-se sobre quais os critérios técnicos recomendados pela literatura para escolha do tipo de fundação a ser utilizado em determinadas edificações? Assim, tal escolha fundamenta-se na importância em avaliar aspectos técnicos, econômicos e de mercado para definir o elemento de infraestrutura mais adequado, levando em conta que este deve garantir a segurança, funcionalidade e durabilidade. Por conseguinte, com a aplicação adequada desses critérios técnicos, é possível garantir uma fundação segura, funcional e durável, que atenda às necessidades do projeto e às expectativas do mercado.

Assim, o presente estudo tem como objetivo geral investigar o surgimento de patologias ocasionadas pela escolha equivocada do elemento de fundação. Para tanto, são objetivos específicos: identificar os tipos de fundações de acordo com a transmissão de cargas e profundidade; e associar as indicações de uso de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Com relação aos procedimentos metodológicos, a pesquisa adotará uma abordagem qualitativa para a análise dos dados coletados em pesquisas, a fim de determinar o tipo de fundação mais adequado para cada estrutura. O referencial teórico será construído por meio de uma pesquisa bibliográfica e documental, que permitirá embasar teoricamente o estudo. Quanto aos objetivos, a pesquisa será de natureza explicativa, propondo a descrição destas, e assim analisá-las de forma dedutiva.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o correto dimensionamento do elemento de fundação a ser utilizado no projeto estrutural, é necessário antes definir o tipo de fundação utilizada. Neste sentido, sabe-se que tal elemento estrutural pode ser do tipo rasa ou profunda, em seus mais variados processos executivos. Nesta fase é primordial que se tenha o conhecimento de alguns elementos para que se possa fazer a opção técnica e economicamente adequada para determinada obra (Albuquerque; Garcia, 2022).

Diante de tais prerrogativas, nesta seção serão apresentados os conceitos de fundações rasas e profundas e seus respectivos critérios para adoção à luz da NBR NBR 6122 (Abnt, 2019).

2.1 FUNDAÇÕES RASAS OU DIRETAS

As fundações rasas transmitem a carga ao terreno. Majoritariamente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, em que a profundidade de assentamento (H) em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação (B). Essas fundações devem ser apoiadas em profundidade mínima de 1,5 m a partir da superfície do terreno, exceto quando apoiada em material com características de rocha (Albuquerque; Garcia, 2022).

Neste sentido, para o autor citado no parágrafo anterior, a fundação rasa se caracteriza quando a camada de suporte está próxima à superfície do solo, ou quando a cota de apoio é inferior à largura do elemento da fundação, caso essas condições não sejam satisfeitas, a fundação é considerada profunda se suas dimensões ultrapassam todos os limites acima mencionados.

O primeiro elemento de fundação rasa, a Sapata, é um elemento de fundação rasa, de concreto armado dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego da armadura especialmente disposta para esse fim (Abnt, 2019). Outrossim, as sapatas podem ser classificadas em diversos tipos, conforme será apresentado nos parágrafos seguintes.

Sapata corrida sujeita a ação de uma carga distribuída linearmente ou de três ou mais pilares ao longo de um mesmo alinhamento, desde que representem menos de 70% das cargas da estrutura (Abnt, 2019). O carregamento permitido para este tipo de fundação não deve ser maior que 30% da carga da estrutura. Por fim, recomenda-se que esse tipo de sapata seja utilizada em obras de pequeno porte, pois não possuem cargas elevadas que atuam sobre as fundações. Na prática, a sapata corrida é uma infraestrutura utilizada para dar suporte a alvenarias estruturais e indicadas também para solos com elevada rigidez, isto é, tensão admissível do solo maior que 4,0 kgf/cm² (Barbosa, 2021).

Uma sapata é dita associada, quando é comum a dois pilares, tal denominação se aplica também a sapata comum a mais do que dois pilares, quando não alinhados e desde que representem menos de 70% das cargas da estrutura (Abnt, 2019). Utilizada principalmente, quando ocorre a sobreposição das projeções das sapatas concebidas individualmente. Recomenda-se, ainda, utilizar este tipo de sapata quando se tem pilares suficientemente próximos, como, por exemplo, em pilares duplos em uma junta de dilatação (Barbosa, 2021).

Já uma sapata de divisa é usada devido a imposição arquitetônica do projeto, necessita construir uma fundação que está próxima ou no limite da divisa do terreno. Podem ser divididas em dois grupos: excêntrica ou com viga de equilíbrio. A sapata de divisa excêntrica é a solução mais imediata para fundações de divisa, porém, essa solução pode gerar grande excentricidade na estrutura, principalmente se o carregamento for muito elevado. No intuito de resistir ao momento fletor gerado pela excentricidade, é recomendado utilizar a viga de equilíbrio que vai tanto resistir ao esforço de momento fletor quanto distribuir o carregamento entres as fundações unidas pela viga (Barbosa, 2021).

Neste sentido, a viga de equilíbrio recebe as cargas de um ou dois pilares e as transmite de forma centrada às fundações. Devido a utilização da viga de equilíbrio, a carga resultante que atua nas fundações é diferente da somatória aritmética das cargas individuais transmitida pelos pilares nelas atuantes (Abnt, 2019).

Já a sapata isolada deve ser construída em concreto armado e dimensionada de maneira que as tensões de tração solicitadas na estrutura devem ser resistidas, utilizando-se armaduras. Ao combater esses esforços de tração que surgem na sapata com armadura, é possível reduzir a altura do elemento estrutural (Abnt, 2019). Para

esse tipo de sapata, não existe uma recomendação ou limitação de carga e pode ser utilizado qualquer carregamento desde que sejam verificadas a tensão admissível do solo (estado limite último) e os recalques aceitáveis (estado limite de serviço de deformação excessiva) (Barbosa, 2021).

Os blocos de fundação são elementos rígidos, de concreto, que resistem principalmente por compressão; conseqüentemente, necessitam somente de armadura mínima, uma vez que as alturas destes são relativamente elevadas. Assumem a forma de bloco escalonado ou pedestal, ou de um tronco de cone, de forma a reduzir o volume de concreto empregado em sua confecção (Albuquerque; Garcia, 2022). São dimensionados de modo que a estrutura resista aos esforços de tração, o que ocasiona uma grande altura ao elemento. Recomenda-se que seja utilizado bloco para suportar carregamento de até 30 tf, sendo desejável que o solo tenha uma resistência mínima de 2,0 kgf/cm² (Barbosa, 2021).

Por fim, o radier é definido como aquele que recebe e distribui mais do que 70% das cargas da estrutura. As cargas são transmitidas diretamente ao solo por meio de uma grande área em forma de "laje". Entretanto, a geometria da seção desta laje pode assumir algumas formas no intuito de melhorar sua rigidez. Em geral, utiliza-se radiers quando a área das sapatas ocupa cerca de 70% da área coberta pela construção ou quando se deseja reduzir ao máximo os recalques diferenciais (Albuquerque; Garcia, 2022).

Assim, pode-se afirmar que o radier é uma solução técnica que distribui o carregamento para o solo de forma uniformemente distribuída, sendo recomendado para edificações de pequeno porte e quando houver solo de baixa resistência. Todavia, possui elevado custo, pois a estrutura é armada tanto na face superior quanto na inferior nas duas direções. Outro aspecto a ser levado em consideração sobre o radier é o elevado nível de dificuldade por execução, principalmente, em terrenos urbanos confinados (Barbosa, 2021).

2.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS OU INDIRETAS

Nas fundações profundas a carga proveniente da superestrutura é transmitida para a fundação por meio da resistência de ponta (base), pela resistência de fuste (lateral) ou pela combinação das duas. De acordo com a norma, nas fundações profundas, a profundidade de assentamento deve ser maior que o dobro da menor dimensão em planta do elemento de fundação (Abnt, 2019). Podem ser classificadas em: estacas, tubulões e caixões.

As estacas são implantadas no maciço de solo por equipamento situado à superfície do terreno. Geralmente, são utilizadas em grupo, solidarizadas por um bloco rígido de concreto armado, denominado bloco de coroamento (Albuquerque; Garcia, 2022).

Dessa maneira, a estaca é um elemento de fundação profunda executado inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja trabalho manual em profundidade. Quanto aos materiais empregados podem ser:

madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado *in loco*, argamassa, calda de cimento, ou qualquer combinação dos anteriores (Abnt, 2019). No Quadro 1 são apresentados os 3 principais tipos de estacas, suas características e processo executivo.

Quadro 1 – Principais tipos de estacas

Tipo de estaca	Características e Processo executivo
Estaca Franki	Pode atingir amplas profundidades, é usada em diversos tipos de projetos, em contrapartida, pode causar vibrações que afetam construções próximas. Envolve a cravação de um tubo de ponta fechada com uma bucha e a execução de uma base alargada por meio da introdução de material granular por meio de golpes de um pilão. Os danos às estruturas vizinhas podem variar de rachaduras em paredes a danos estruturais mais graves, dependendo da intensidade das vibrações e da proximidade das construções.
Estaca Strauss	Moldada <i>in loco</i> , é especialmente recomendada para terrenos acidentados e construções já existentes. Seu processo de execução difere das estacas tradicionais devido ao método de moldagem diretamente no solo no local da construção, com diâmetros variando de 25 cm a 55 cm, adaptáveis aos requisitos do projeto. O método envolve uma sonda de percussão que remove o solo e o substitui por concreto fresco, sendo ideal onde o acesso é restrito ou onde fundações convencionais são difíceis de instalar, evitando mobilização de equipamentos pesados. São mais apropriadas para estruturas leves ou com cargas relativamente baixas, devido à sua capacidade de carga mais limitada em comparação a outros tipos de estacas. No entanto, não são aconselháveis em locais com lençol freático elevado, areia saturada, ou solos de alta resistência.
Estaca Hélice Contínua monitorada	Amplamente utilizadas em áreas urbanas, se destacam pela alta produtividade, ausência de vibrações em solos vizinhos, monitoramento eletrônico de parâmetros, penetração em camadas resistentes e alta capacidade de carga, tornando-se um dos métodos mais adotados em grandes centros urbanos. Essas estacas são produzidas por um trado helicoidal contínuo, perfurando o solo sem removê-lo do furo. Ao atingir a profundidade desejada, o concreto é bombeado por dentro do trado, preenchendo o espaço vazio deixado por ele. Para resistência à tração, feixes de barras longitudinais são emendados por luvas, dispensando estribos. Essa técnica é eficiente e rápida, permitindo a instalação de várias estacas em curto período, sem gerar vibrações significativas no solo ou em estruturas vizinhas, sendo especialmente adequadas para áreas urbanas sensíveis.

Fonte: Organizado pelos autores (2023), com base em Souza (2023).

Salienta-se, contudo que cada tipo de estaca é escolhido com base nas condições do solo, nos requisitos de carga da estrutura e nas restrições do local. Neste sentido, a escolha adequada de estacas é fundamental para garantir a segurança e a estabilidade das fundações de uma construção. E, não menos importante, ao usar qualquer técnica de fundação que envolva cravação ou vibrações no solo, é impor-

tante realizar estudos de impacto ambiental e estrutural, bem como adotar medidas de mitigação, como monitoramento das vibrações e adoção de técnicas para reduzir o impacto das vibrações nas construções próximas. O objetivo é garantir a segurança das estruturas existentes durante o processo de cravação das estacas e minimizar qualquer possível dano.

O Tubulão por sua vez, elemento de fundação profunda em que, pelo menos na etapa final da escavação do terreno, faz-se necessário o trabalho manual em profundidade para executar o alargamento de base ou pelo menos para a limpeza do fundo da escavação, uma vez que neste tipo de fundação as cargas são resistidas preponderantemente pela ponta (Abnt, 2019).

Nos tubulões a céu aberto há uma concretagem de um poço a céu aberto, apresentando uma base alargada. Essa escavação pode ser realizada manualmente ou mecanicamente, o tubulão é utilizado acima do lençol freático e em solos resistentes e coesivos abaixo do lençol freático; essas delimitações são necessárias para garantir que não ocorra desmoronamento (Guimarães, 2018).

Segundo o mesmo autor, citado no parágrafo anterior, os tubulões a ar comprimido, podem ser de aço ou concreto e são requeridos quando se executa a perfuração em solos nos quais haja água. É importante verificar, durante todo o procedimento, a compressão e a descompressão dos equipamentos. Para que o operário tenha segurança, é montada uma câmara de descompressão, pela qual possam trabalhar sob o efeito do ar comprimido. A pressão máxima de ar comprimido empregada é de 340 kPa, pela pressão empregada é baixa, limita a profundidade da tubulação a 30m abaixo do nível do mar.

Por fim, o último elemento de fundação profunda, o caixão é um elemento de fundação profunda de forma prismática, concretado na superfície e instalado por escavação interna. Podem apresentar, ou não, a base alargada e ser executados com ou sem ar comprimido.

2.3 INDICAÇÕES E CRITÉRIOS DE ESCOLHA

Sabe-se que existem critérios técnicos a serem analisados na escolha da infraestrutura a ser escolhida. Entre eles podem ser citados: a avaliação do local da obra, analisando as questões urbanísticas e suas restrições (ruídos, vibrações etc.); o sistema estrutural empregado; a intensidade das cargas, incluindo a forma (distribuída ou concentrada) e o tipo dos carregamentos; características geológicas e geotécnicas do subsolo e informações sobre o nível do lençol freático (Albuquerque; Garcia, 2022).

Para identificar e caracterizar o solo que servirá como suporte de um elemento, um dos ensaios mais clássicos e defendidos pela NBR 6484 (Abnt, 2020) é a sondagem SPT, que segundo Pereira (2018) é uma sigla em inglês para *Standard Penetration Test* ou Ensaio de Sondagem à Percussão. ainda segundo o autor supracitado, neste tipo de sondagem mede-se a resistência de uma camada de solo de um metro medindo o número de golpes com um martelo que são necessários para penetrar trinta

centímetros, o que chamamos de N_{SPT} . Os resultados deste ensaio são bons para solos com algum grau de resistência, e são ruins quando se fala de solos moles ou argilosos.

Dessa maneira, verifica-se que as informações sobre o perfil do solo são relacionadas a ensaios geotécnicos que são realizados de acordo com a NBR 6484 (Abnt, 2020) para obter dados sobre as características do solo e as condições do subsolo. Caso haja necessidade de informações mais detalhadas, podem-se executar ensaios adicionais, como por exemplo: o Ensaio de Penetração do Cone (CPT); o *Piezcone Penetration Test* (CPTu) para previsibilidade de recalques de fundações em solos pouco resistentes; ou o Ensaio Dilatométrico (*Dilatometric Marchetti Test* - DMT).

Neste contexto, a elaboração do projeto de fundações deve ser realizada de modo a atender aos critérios básicos de deformação e segurança ao colapso do solo e dos elementos estruturais e garantir que os elementos de fundação transmitam, de forma adequada, as cargas provenientes da superestrutura para o solo. A definição e execução apropriada desses elementos são essenciais para assegurar a viabilidade técnica e econômica de uma construção, além de influenciar diretamente na qualidade do produto (Emiliano, 2022).

Por fim, e não menos importante, partindo para os critérios econômicos deve-se avaliar os custos envolvidos, pois de acordo com a literatura há determinados casos com mais de uma solução, embora apresentem as mesmas condições técnicas em termos de segurança. Em suma, o critério econômico será um fator decisivo no processo de escolha do tipo de fundação a ser empregado. Outro fator a ser analisado é o tempo de execução, pois deve estar adequado ao cronograma da obra. Sempre que for possível, aspectos relacionados à logística e à economia de escala devem ser priorizados, optando-se pelo uso de um único tipo de fundação para uma obra. (Albuquerque; Garcia, 2022). Neste contexto, o Quadro 2 traz algumas considerações sobre os critérios avaliativos, envolvendo tensão admissível, para cada tipo de elemento da fundação:

Quadro 2 – Critérios de escolha/adoção

TIPO DE ELEMENTO	CRITÉRIOS DE ESCOLHA/ADOÇÃO
Sapatas, sapatas corridas, blocos de fundação, radiers*	<p>A tensão admissível da base de apoio (caso não seja fornecido), pode ser estimada:</p> $\sigma_{adm} = \frac{SPT \text{ médio}}{50} \text{ (MPa), para } SPT \leq 20$ <p>Em princípio, este tipo de fundação só é vantajoso quando a área ocupada pela fundação abranger, no máximo, de 50% a 70%, da área disponível.</p> <p>Limitações: solos potencialmente colapsíveis e com possibilidade do aumento do teor de umidade, o que pode ser um fator impeditivo para adoção desta solução; abaixo do N.A. necessitam de esgotamento e/ou rebaixamento do lençol; aterros não controlados e/ou de materiais não convencionais (resíduos).</p>

TIPO DE ELEMENTO	CRITÉRIOS DE ESCOLHA/ADOÇÃO
Tubulões a céu aberto	<p>Usados acima do nível da água, ou abaixo, se o terreno for predominantemente argiloso de tal modo que seja possível esgotar a água com auxílio de bomba, sem haver perigo de desmoronamento.</p> <p>De acordo com a NR 18, o diâmetro do fuste $\geq 0,90$ m.</p> <p>A tensão admissível da base de apoio (caso não seja fornecido), pode ser estimada:</p> $\sigma_{adm} = \frac{SPT \text{ médio}}{30}, \text{ para } SPT \leq 20$ <p>Limitações: estabilidade das paredes da escavação, necessitando de revestimentos; abaixo do N.A.; operários não habilitados para a atividade (NR 18).</p>
Tubulões a ar comprimido	<p>Executados abaixo do nível da água (no máximo, 30 m de coluna de água), quando não é possível esgotar a mesma.</p> <p>Mesmas características do fuste e da tensão admissível.</p> <p>Limitações: custo elevado; limitados em profundidades elevadas abaixo do N.A. por causa da pressão de ar interna da câmara (campânula); proibido no Brasil a partir de agosto/2023 (NR 18).</p>
Estaca Strauss	<p>Abrangem a faixa de carga compreendida entre 200 kN e 800 kN. Apresentam a vantagem de não provocar vibrações, evitando, desse modo, danos às construções vizinhas, mesmo nos casos em que estas se encontrem em situação relativamente precária.</p> <p>Limitações: limitação no comprimento; revestimento obrigatório; demanda cuidados na concretagem; presença de solos moles.</p>
Pré-moldada de concreto	<p>A faixa de carga dessas estacas é de 200 kN a 1 500 kN.</p> <p>Limitações: mobilização; terrenos com presença de matacões ou camadas de pedregulhos; quando as construções vizinhas se encontrem em estado precário, quando as vibrações causadas pela cravação das estacas possam criar problemas.</p>
Estaca Franki	<p>Abrangem a mesma faixa de carga das pré-moldadas (de 550 kN a 1 700 kN), porém seu processo executivo (cravação de um tubo com a ponta fechada e execução de base alargada) causa muita vibração. Em linhas gerais apresenta as mesmas limitações que as estacas pré-moldadas de concreto.</p>

Fonte: Organizado pelos autores (2023), com base em Souza (2023).

3 METODOLOGIA

Nesta seção, serão delineados os procedimentos metodológicos adotados com intuito de atingir os objetivos definidos para esta pesquisa. O estudo é conduzido sob a perspectiva qualitativa, a qual os dados são coletados e subsequentemente analisados de maneira sistemática e intuitiva, com ênfase na compreensão total do

fenômeno em questão, priorizando a amplitude sobre a delimitação de conceitos específicos. Além disso, propõe-se a descrição abrangente dos dados e sua análise sob uma perspectiva dedutiva.

Quanto aos objetivos, é uma pesquisa descritiva, a qual se trata de um método de investigação com base na descrição objetiva das características, comportamentos e características de um fenômeno, sem a manipulação proposital de variáveis independentes. Ela busca fornecer uma representação precisa e detalhada de como as coisas são em uma certa situação, permitindo uma compreensão aprofundada do contexto em estudo.

Assim, utilizou-se de métodos experimentais para explorar os critérios avaliativos para a determinação do tipo de fundação mais apropriado para cada caso. A discussão visa proporcionar maior familiaridade com a identificação dos tipos de fundações de acordo com a transmissão de cargas e profundidade, e associando-as às indicações de uso de acordo com as normas da ABNT. Levando ao problema final das patologias estruturais causadas pela escolha equivocada da fundação.

Neste contexto, o levantamento bibliográfico realizado para o conseqüente estudo teve por objeto revisões da literatura, obras como artigos, teses e dissertações nas plataformas do Google Acadêmico e Biblioteca Virtual da UNIT, com acesso de agosto a novembro de 2023. No Google Acadêmico não houve necessidade de identificação do usuário, o acesso é gratuito. Já na Biblioteca Virtual da UNIT o procedimento de consulta fora conforme descrito no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Procedimento de consulta na Biblioteca Virtual da UNIT



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Dessa maneira, nas buscas realizadas, utilizou-se os seguintes termos: fundações rasas e profundas; critérios avaliativos de escolha, envolvendo o tipo do solo e meios econômicos; patologias e como estas atuam sobre a edificação e sua fundação.

4 DISCUSSÕES

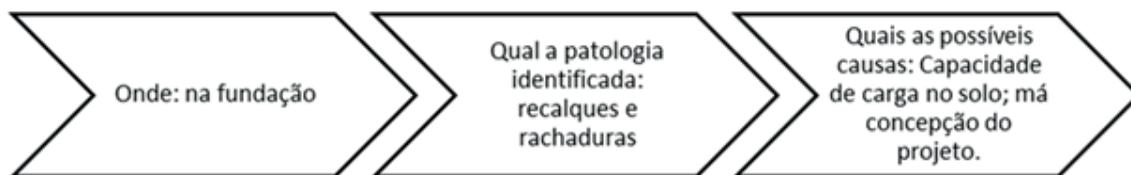
Segundo Claudino e Oliveira (2021), a palavra Patologia é originalmente grega (páthos, doença, e logos, estudo). Dessa maneira, tal como na ciência médica, as patologias na construção podem ser entendidas como o ramo da engenharia que estuda os sintomas, as formas de manifestação, as origens e as causas dos defeitos que ocorrem nas edificações (Sena *et al.*, 2021).

Contudo, o estudo patológico na construção desempenha um papel crítico na avaliação e resolução de problemas relacionados ao desempenho insatisfatório de elementos de edificações. Neste contexto, a NBR 15575 (Abnt, 2013) estabelece padrões mínimos de desempenho em edificações habitacionais. Esse tipo de regulamentação é fundamental para garantir que as edificações atendam aos padrões mínimos de qualidade, segurança e desempenho. Ele requer uma abordagem abrangente, incluindo a aplicação de normas técnicas, métodos científicos sempre que possível e o uso de conhecimento prático para resolver problemas complexos. A prevenção continua sendo a melhor abordagem, mas quando problemas surgem, é crucial abordá-los com seriedade e profissionalismo.

Os problemas patológicos na construção podem ter diversas causas, e estes podem variar em gravidade, desde questões simples até contratempos complexos que requerem análises detalhadas e ferramentas avançadas para correção. Alguns problemas se manifestam com maior frequência, como fissuras nas peças estruturais (pilares, vigas e lajes) e trincas de revestimento, podem ser problemas de natureza simples ou complexa. É fundamental abordar de forma abrangente a questão da padronização de vícios na construção para garantir a segurança das estruturas e a qualidade das construções. O uso de ferramentas avançadas de análise e a colaboração com especialistas desempenham um papel importante nesse processo.

Neste sentido, de acordo com a figura abaixo, pode-se estabelecer um exemplo de fluxograma de identificação de patologias na fundação de uma edificação.

Figura 2 – Exemplo de fluxograma para identificação de patologias



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

De acordo com o fluxograma da Figura 2, pode-se afirmar que um elemento de fundação poderá estar sujeito tanto a recalques absolutos, que são os deslocamentos verticais descendentes, quanto a recalques diferenciais, que representam a diferença entre recalques absolutos de quaisquer elementos de fundação (Weimer *et al.*, 2021).

O recalque pode comprometer o acesso à edificação, além de causar várias manifestações patológicas, como, por exemplo, emperramento de janelas e portas, desgaste no uso de elevadores, danificação das instalações elétricas, hidrossanitárias, entre outros. Já em relação à estrutura da edificação, podem surgir manifestações que comprometem a estabilidade da estrutura como um todo, tais como trincas inaceitáveis em vigas, lajes e pilares (Barbosa, 2021).

É evidente que o crescimento na construção civil em nosso país pode levar a prazos mais curtos para a conclusão das obras devido às demandas do mercado. No entanto, a falta de investimento em conhecimento e a escassez de mão de obra qualificada são capazes de resultar em problemas graves na qualidade das construções, que podem ser caracterizados como «vícios patológicos».

Assim, há uma grande ocorrência de problemas estruturais em edificações devido aos vícios patológicos, originando-se principalmente a partir de sua fundação, comprometendo toda a estrutura, segurança e eficiência (Pereira Junior *et al.*, 2020). Sendo o projeto de fundações uma das etapas fundamentais e mais importantes na elaboração e desenvolvimento de obras de todos os portes, correspondendo um custo médio de 3 a 6% do custo total e podendo alcançar 15% dependendo das condições de solo e do que deverá suportar (Milititsky *et al.*, 2015), é de conhecimento que sejam executadas de forma adequada, sendo elas responsáveis por resistir todas as cargas resultantes de ações decorrentes do uso estrutural e de cargas provenientes de seu próprio peso, transmitindo-as ao solo.

Por conseguinte, a literatura explica que diversos tipos de problemas patológicos em diferentes estruturas e construções podem surgir devido a falhas e erros em uma ou mais fases de sua execução. Essas falhas podem ocorrer desde o início do projeto até o acabamento da obra. No Quadro 3 são apresentados os principais tipos de patologias, suas características e processo executivo.

Quadro 3 – Patologias na construção civil

Patologias	Características e Processo executivo
Projeto inadequado	Surgem problemas quando o projeto da construção não é bem elaborado. Isso pode levar a erros de dimensionamento, escolha inadequada de materiais e detalhamento insuficiente.
Execução deficiente	A qualidade da construção depende da competência dos profissionais envolvidos na execução. Erros na colocação de materiais, falta de supervisão adequada e desrespeito às normas de construção podem resultar em problemas patológicos.
Materiais de baixa qualidade	A escolha de materiais inadequados ou de baixa qualidade pode ser uma fonte significativa de problemas. Materiais de construção que não atendem aos padrões de qualidade podem causar falhas prematuras.

Patologias	Características e Processo executivo
Má manutenção	Após a conclusão da construção, a falta de manutenção adequada pode levar ao surgimento de patologias. Isso inclui a falta de limpeza, pintura, reparos e substituição de componentes desgastados.
Condições ambientais	As condições ambientais, como exposição a condições desfavoráveis, umidade excessiva, terrenos instáveis ou sísmicos, podem contribuir para problemas patológicos.
Falhas de projeto estrutural	Erros no dimensionamento e na análise estrutural podem resultar em sobrecargas nas estruturas, causando trincas, deformações e até mesmo colapsos.
Falhas na impermeabilização	A falta de uma impermeabilização adequada em áreas sujeitas a umidade, como banheiros e áreas externas, pode levar a infiltrações e danos estruturais.
Problemas de drenagem	Um sistema de drenagem inadequado pode resultar em acúmulo de água ao redor da construção, causando danos à fundação e à estrutura.
Falhas elétricas e hidráulicas	Problemas nas instalações elétricas e hidráulicas, como curtos-circuitos, vazamentos e entupimentos, podem causar danos às estruturas e às instalações.
Desgaste natural	Com o tempo, todas as construções estão sujeitas ao desgaste natural. Isso pode incluir o envelhecimento de materiais e a degradação devido à exposição ao ambiente.

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Em vista disso, é fundamental que as construções sejam projetadas, executadas e mantidas com cuidado e atenção aos detalhes para minimizar a ocorrência de problemas patológicos ao longo de sua vida útil. Neste contexto, pode-se afirmar que a precaução e a manutenção adequada desempenham um papel fundamental na preservação das estruturas e na minimização dos custos associados à correção de problemas.

Para realizar a correção de patologias da construção civil e fundações, é necessário um processo de diagnóstico e reparo. Isso pode envolver a realização de inspeções detalhadas, testes de solo, avaliações estruturais e a implementação de medidas corretivas, como reforço das fundações, drenagem apropriada e impermeabilização. Além disso, a prevenção desempenha um papel fundamental na redução de patologias em fundações. A escolha do tipo de fundação adequado para o tipo de solo, o projeto correto, a manutenção adequada e a gestão de águas pluviais são medidas preventivas que podem ajudar a evitar problemas futuros nas fundações. No tópico a seguir serão discutidos o entendimento das potenciais falhas e problemas que podem afetar as fundações de edifícios e estruturas, bem como a identificação e correção de tais problemas.

4.1 PATOLOGIA MAIS COMUNS NAS FUNDAÇÕES

Entre as mais diversas patologias, as principais que ocorrem nas fundações tendem-se ser as fissuras, trincas, rachaduras, assentamentos e rotações (Alonso, 2020). Essas patologias provenientes das fundações geram grandes incertezas e riscos associados à construção e vida útil de toda a edificação, sendo as fundações responsáveis por todo desempenho estrutural, qualquer problema que leve a seu mau desempenho tem grande importância de ser evitado. Para isso ocorra é necessário determinar as principais causas e seguir todas as recomendações de execução com o intuito de reduzir significativamente a causa originária do problema (Milititsky *et al.*, 2015). Segue Quadro identificando algumas patologias e suas definições:

Quadro 4 – Patologias nas fundações

Patologias	Definições
Fissuras	São aberturas lineares ou pequenas rachaduras que podem se formar nas fundações. Elas podem resultar de movimentos diferenciais no solo, sobrecargas nas fundações ou outros fatores que afetam a estabilidade da estrutura.
Trincas	Semelhantes às fissuras, mas geralmente são mais largas e profundas. Elas podem ocorrer devido a deficiências na execução das fundações, falta de compactação adequada do solo ou assentamentos diferenciados.
Rachaduras	São aberturas mais largas e sérias nas fundações. Elas podem ser causadas por movimentos do solo, expansão de materiais, sobrecargas ou falhas estruturais. Rachaduras graves podem comprometer a integridade da estrutura.
Assentamentos	Os assentamentos ocorrem quando parte da fundação afunda ou desce de forma desigual. Isso pode acontecer devido a compactação insuficiente do solo, presença de camadas de solo compressível ou inadequações no projeto das fundações.
Rotações	referem-se à inclinação ou deslocamento angular da fundação. Isso pode ocorrer devido a instabilidade do solo, deficiências na execução ou projeto inadequado.

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Neste contexto, é necessário o planejamento e estudo das causas de patologias nas fundações, pois de acordo com Joppert Junior (2007) existem reparos que não devem ser realizados apenas superficialmente que visam apenas o lado estético da estrutura, e sim prevenir um grande colapso devido ao processo de deterioração oculta da estrutura. A maior causa desses problemas é a carência de investigação, ineficiência ou má interpretação da necessária análise de todos os aspectos geológicos da área que será executada, conduzindo a resultados incorretos, consequentemente causadores de patologias.

Por falta de recursos financeiros em obras de pequeno e médio porte geralmente a investigação do subsolo é equivocadamente dispensada, o que leva a soluções inadequadas na escolha e dimensionamento de uma fundação. É de conhecimento do engenheiro civil a importância de uma investigação criteriosa do subsolo que receberá as cargas provenientes da superestrutura, independentemente de seu tamanho e o que suportará (Milititsky *et al.*, 2015).

O estudo do subsolo é primordial para o projeto de uma edificação, sendo possível através de um estudo cauteloso a identificação do melhor tipo de fundação para cada caso, visando a segurança de toda a edificação. Alguns problemas são ocasionados pela ausência deste estudo, como mostra o Quadro a seguir:

Quadro 5 – Problemas por falta de sondagem

Tipo de fundação	Problemas decorrentes
Superficiais	<ul style="list-style-type: none"> • Tensões excessivas, incompatíveis com as características do solo, tendo como consequência assentamentos inaceitáveis e/ou ruptura; • Fundações em solos/aterros heterogêneos, provocando assentamentos diferenciais; • Solos compressíveis sem análises de possíveis assentamentos, resultando em deformações; • Fundações apoiadas em materiais com desempenhos diferentes, sem junta, originando assentamentos diferenciais; • Fundações apoiadas em camadas duras sobrepostas em solos moles levando a ruptura ou grandes deslocamentos.
Profundas	<ul style="list-style-type: none"> • Estacas inadequadas, geometria e tipo inadequada, comprimento e/ou diâmetro inferiores e mal dimensionadas ao necessário; • Atritos negativos não previstos, reduzindo a carga admissível adoptada para a estaca.

Fonte: Adaptado pelos autores de Milititsky, Consoli e Schnaid (2015).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho busca questionar os critérios técnicos recomendados pela literatura para a melhor escolha do tipo de fundação em cada edificação, avaliando aspectos econômicos e de mercado, além de garantir a segurança, funcionalidade e durabilidade do projeto. A partir da discussão sobre patologias ocasionadas pela determinação do tipo de fundação usada, é observada como acontece a transmissão das cargas para a estrutura e associá-las a designação de uso de acordo com as normas da ABNT.

Durante a fundamentação teórica verificou-se a classificação dos elementos de fundações como rasas e profundas. No tocante às fundações rasas, observou-se que estas devem ser apoiadas em profundidade mínima de 1,5 m a partir da superfície do

terreno, exceto quando apoiada em material com características de rocha (Albuquerque; Garcia, 2022). Já as fundações profundas são aquelas de acordo com a norma, a profundidade de assentamento deve ser maior que o dobro da menor dimensão em planta do elemento de fundação (Abnt, 2019).

Logo, verificou-se que a escolha da fundação deve ser baseada em uma avaliação completa do solo, do ambiente local e dos requisitos específicos do projeto. É nesse aspecto que engenheiros geotécnicos desempenham um papel crucial na determinação do tipo de fundação mais adequado para uma determinada situação. Dessa maneira, a escolha equivocada da fundação pode levar a várias patologias estruturais, que são problemas ou defeitos na estrutura do edifício. Essas patologias podem variar em gravidade, indo desde questões estéticas até problemas que ameaçam a segurança das pessoas e a integridade da estrutura.

A análise patológica desempenha um papel crucial na identificação e solução de questões ligadas ao desempenho falho de elementos da construção. Dentro desse contexto, a NBR 15575 (Abnt, 2013) estabelece diretrizes mínimas para o desempenho em edificações residenciais. Esse regulamento desempenha um papel vital na garantia de que as construções estejam em conformidade com os padrões mínimos estabelecidos em termos de qualidade, segurança e eficiência. Isso requer uma abordagem geral, envolvendo a aplicação de normas técnicas e, sempre que possível, métodos científicos, combinados com a aplicação de conhecimento prático para resolver desafios complexos. A prevenção continua a ser a abordagem preferencial, no entanto, quando problemas surgem, é imperativo tratá-los com seriedade e profissionalismo.

Para a correção de patologias é fundamental seguir um processo de diagnóstico e reparo. Esse procedimento pode incluir inspeções minuciosas, testes de solo, avaliações estruturais e a implementação de ações corretivas, como o reforço das fundações, a melhoria da drenagem e a aplicação de medidas de impermeabilização. Além disso, a prevenção desempenha um papel crucial na mitigação de patologias em fundações. A escolha adequada do tipo de fundação de acordo com o solo, a elaboração de projetos apropriados, a manutenção regular e a gestão eficaz das águas pluviais são medidas preventivas que podem contribuir para evitar problemas futuros nas fundações.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6484 - Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT** - método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122 - Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1 Edificações habitacionais – desempenho parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

- ALBUQUERQUE, P. J. R. de; GARCIA, J. R. **Engenharia de fundações**. Rio de Janeiro: LTC, 2022.
- ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2019.
- BARBOSA, E. P. **Fundações rasas e profundas**. São Paulo: Saraiva, 2021.
- BARROS, M. **Apostila de fundações**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Construção Civil. 2003. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5075536/mod_resource/content/1/TT-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf. Acesso em: 15 maio 2023.
- CLAUDINO, I. C.; OLIVEIRA, F. S. de S. **Patologias em fundações: identificações e prevenções**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade Unisul, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/20870>. Acesso em: 3 set. 2023.
- EMILIANO, S. A. **Estudo comparativo entre diferentes soluções de fundações para um empreendimento residencial na parte baixa da cidade de Maceió-AL**. 2021, 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021. Disponível em: repositorio.ufal.br/handle/123456789/10031. Acesso em: 3 set. 2023.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.
- GUIMARÃES, D. **Fundações**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.
- JOPPERT JUNIOR, Ivan. **Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. Cubatão: Oficina de Textos, 2007.
- MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. 2. ed. Cubatão: Oficina de Textos, 2015.
- OLIVEIRA, A. M. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 54 f. Monografia (Especialização em Gestão de avaliações e perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9A3GCW>. Acesso em: 24 set. 2023.
- PEREIRA, Caio. **Sondagem SPT: O que é e como é feito esse ensaio**. Atualizado em 6 out. 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/sondagem-spt/>. Acesso em: 10 set. 2023.

PEREIRA JÚNIOR, M. C.; NEVES, R. G.; FAGUNDES, F. Patologia em fundações: Identificação e prevenção de problemas. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, Ano 05, ed. 11, v. 6, p. 26-43, nov. de 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/patologia-em-fundacoes>.

Acesso em 24 set. 2023.

RODRIGUES, Amanda Pinheiro; TANAKA, Andressa Mitie Babichi; CALDEIRA, Michelle Genova; FROÍIS, Marcos Rodrigues. Fundações Rasas. **ETIC - Encontro de Iniciação Científica**, ISSN 21-76-8498, v. 17, n. 17, 2021. Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/9030>. Acesso em: 10 set. 2023.

SENA, C. S.; SANTOS, D. D. dos; PEDROSA, P. H. de; VENTURI, D. I. S. G.; SODER, M. N. F. M.; PEREIRA, R. R.; ANDRADE, S. L. P. **Gestão de obras e patologia das estruturas**. Porto Alegre: SAGAH, 2021.

SOUZA, D. S. **Notas de aula da disciplina Fundações e Obras de Terra**. Aracaju: 2023.

WEIMER, B. F.; THOMAS, M.; DRESCH, F. **Patologia das estruturas**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

Data do recebimento: 11 de Outubro de 2023

Data da avaliação: 3 de Dezembro 2023

Data de aceite: 21 de Fevereiro de 2024

1 Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Tiradentes, e-mail: laura.ribeiro@souunit.com.br

2 Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Tiradentes, e-mail: renato.ferreira@souunit.com.br

3 Doutor em Ciências da Propriedade Intelectual pelo PPGPI-UFS (2024), Engenharia Civil, Professor da Universidade Tiradentes atuando nos Cursos das áreas de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (Administração, Ciências Contábeis e Tecnológicas), e em Ciências Exatas (Engenharia Civil); e-mail: souza_ds@outlook.com.br.