



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO GILDEZIO SOUSA ALBUQUERQUE

**DANOS EM EDIFÍCIOS DECORRENTES DE FALHAS EM FUNDAÇÕES: UMA
REVISÃO INTEGRATIVA**

CRATEÚS – CEARÁ
2025

FRANCISCO GILDEZIO SOUSA ALBUQUERQUE

DANOS EM EDIFÍCIOS DECORRENTES DE FALHAS EM FUNDAÇÕES: UMA
REVISÃO INTEGRATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Ceará, campus
Crateús, como requisito para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Fernandes da Silva

CRATEÚS – CEARÁ

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A31d Albuquerque, Francisco Gildezio Sousa.
Danos em edifícios decorrentes de falhas em fundações: uma revisão integrativa / Francisco Gildezio Sousa Albuquerque. – 2026.
56 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2026.
Orientação: Prof. Dr. Thiago Fernandes da Silva.
1. Falhas em fundações. 2. Danos em edificações. 3. Recalque diferencial. 4. Patologias estruturais. 5. Revisão integrativa. I. Título.

CDD 620

FRANCISCO GILDEZIO SOUSA ALBUQUERQUE

DANOS EM EDIFÍCIOS DECORRENTES DE FALHAS EM FUNDAÇÕES: UMA
REVISÃO INTEGRATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Ceará, campus
Crateús, como requisito para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 29/01/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thiago Fernandes da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Profª. Dra Heloína Nogueira da Costa
Universidade Federal do Ceará – UFC

Me. Victor Emmanuel Avelino Gomes Bahia
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida e por toda a força, coragem e dedicação para enfrentar os desafios ao longo desta caminhada estudantil.

À minha família, por todo apoio, inspiração e força. A vocês, que sempre batalharam e estiveram ao meu lado em cada etapa, incentivando, dando forças, partilhando sonhos, desafios e conquistas, deixo minha eterna gratidão.

Aos meus pais, José Maria e Maria Amaro, meus grandes exemplos de amor, perseverança, honestidade, exemplo e dedicação. Agradeço por cada sacrifício, pelo cuidado e cada ensinamento repassado. Vocês me ensinaram a lutar, a acreditar nos meus sonhos, confiar no meu potencial e a nunca desistir.

Aos meus irmãos, Cirlânio e Girlane, pelo incentivo constante, inspiração, pelas palavras de apoio e por sempre terem me motivado a seguir em frente. Sem vocês, essa caminhada não teria sido possível. Esta conquista não pertence só a mim: ela é nossa, fruto de esperança, resultado de união, fé e amor familiar.

A minha companheira Jaianny, por todo amor, dedicação, paciência e presença ao longo desta caminhada. Obrigado por me incentivar e acreditar em mim mesmo quando eu duvidava. Gratidão por dividir sonhos, ideias e planos, e por me ajudar com tanta dedicação e carinho.

Aos meus professores, que iluminaram meu caminho com conhecimento, apoio e confiança. Sou grato pelos ensinamentos, incentivos e por acreditarem em meu potencial. Agradeço em especial ao meu orientador Dr. Thiago Fernandes da Silva; minha profunda gratidão por todos os conhecimentos repassados. Sua experiência e competência foram fundamentais para realização deste sonho.

Aos membros da banca, Dr. Heloína Nogueira da Costa e Dr. Victor Emmanuel Avelino Gomes Bahia, minha sincera gratidão pelas importantes contribuições e sugestões, que ajudaram de forma significativa a tornar este trabalho mais completo e consistente.

Agradeço, com imenso carinho, a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta etapa da minha vida. Cada gesto de apoio, incentivo e força foi de fundamental importância para que eu chegasse até aqui, e, assim, divido essa conquista com todos vocês.

RESUMO

As fundações são componentes fundamentais no comportamento global dos edifícios, pois são responsáveis por transferir, de maneira adequada, os carregamentos até o solo. Falhas nessa etapa ocasionar perda de funcionalidade, durabilidade e segurança das estruturas acarretando diversos danos. Nesse contexto, este estudo tem o objetivo de analisar os danos em edifícios decorrentes de falhas em fundações, por meio de uma revisão integrativa da literatura. A metodologia empregada fundamentou-se em um protocolo sistemático, que incluiu a elaboração da questão de pesquisa baseada no acrônimo PICo, (Problema: falhas nas fundações; Interesse: danos em edifícios; Contexto: literatura científica), critérios de inclusão e exclusão, busca em bases de dados nacionais e internacionais e análise crítica dos estudos selecionados. Após o processo seleção, 16 artigos científicos publicados entre 2020 e 2025 integraram a amostra final. Os resultados apresentaram que os danos em edifícios estão intimamente ligados a investigações geotécnicas inadequadas, falhas de execução, erros de dimensionamento e condições geotécnicas desfavoráveis, ressaltando que o recalque diferencial foi o principal agente responsável nos danos em edifícios na literatura analisada. Os danos identificados abrangem manifestações de caráter estético, funcional e até comprometimentos estruturais de elevada gravidade, incluindo fissuras profundas, deformações permanentes, torções, grandes inclinações e risco de colapso parcial e total. Desse modo, conclui-se que a redução da ocorrência desses danos depende da adoção de uma abordagem técnica integrada, envolvendo investigações geotécnicas rigorosas, projetos de fundação bem elaborados, consideração da interação solo-estrutura e melhor controle da execução, garantindo, desse modo, maiores níveis de segurança, desempenho e vida útil as edificações.

Palavras-chave: Falhas em fundações; Danos em edificações; Recalque diferencial; Patologias estruturais; Revisão integrativa.

ABSTRACT

Foundations are fundamental components in the overall behavior of buildings, as they are responsible for properly transferring structural loads to the soil. Failures at this stage may lead to loss of functionality, durability, and structural safety, resulting in various types of damage. In this context, this Undergraduate Thesis aims to analyze building damages resulting from foundation failures through an integrative review of the scientific literature. The adopted methodology was based on a systematic protocol, which included the formulation of the research question using the PICO framework, definition of inclusion and exclusion criteria, searches in national and international databases, and critical analysis of the selected studies. After the selection process, 16 scientific articles published between 2020 and 2025 composed the final sample. The results indicated that building damages are closely associated with inadequate geotechnical investigations, construction failures, design errors, and unfavorable geotechnical conditions, highlighting differential settlement as the main mechanism responsible for the damages reported in the analyzed literature. The identified damages range from aesthetic and functional manifestations to severe structural impairments, including deep cracks, permanent deformations, torsion, significant tilting, and risk of partial or total collapse. Thus, it is concluded that reducing the occurrence of such damages depends on the adoption of an integrated technical approach, involving rigorous geotechnical investigations, well-developed foundation design, consideration of soil–structure interaction, and improved execution control, thereby ensuring higher levels of safety, performance, and service life of buildings.

Keywords: Foundation failures; Building damage; Differential settlement; Structural pathologies; Integrative review.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de sapatas.....	13
Figura 2 – Ilustração das etapas da revisão integrativa	20
Figura 3 – Fluxograma ilustrativo do processo de triagem e seleção dos estudos, construído a partir da recomendação PRISMA.....	24
Figura 4 – Análise de similitude acerca dos principais achados dos estudos incluídos na amostra da revisão integrativa.....	36
Figura 5 – Frequência das principais falhas em fundações identificadas nos estudos analisados.....	40

OLISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estrutura da pergunta de pesquisa segundo o acrônimo PICo.....	20
Quadro 2 – Bases de dados e estratégias de busca utilizadas para composição da revisão integrativa.....	21
Quadro 3 – Síntese dos artigos científicos conforme o título, autores, ano de publicação, objetivo, principais achados e conclusões.	26
Quadro 4 – Síntese dos principais tipos de falhas em fundações obtidos nos artigos.....	37
Quadro 5 – Síntese dos danos em edifícios decorrentes de falhas nas fundações identificados na revisão.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAFe	Comunidade Acadêmica Federada
DMT	Dilatometria Marchetti
NBR	Norma Brasileira
PICo	População, Interesse, Contexto
RI	Revisão Integrativa
SciELO	Scientific Electronic Library Online
SPT	Standard Penetration Test (Sondagem a Percussão)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (drones)

LISTA DE SÍMBOLOS

- σ Tensão normal no solo ou em elementos estruturais (kPa ou MPa)
- τ Tensão de cisalhamento (kPa)
- φ Ângulo de atrito interno do solo (graus)
- c Coesão do solo (kPa)
- γ Peso específico do solo (kN/m³)
- Δ Recalque ou deslocamento vertical (mm ou cm)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	REVISÃO DA LITERATURA	12
3.1	Fundações na engenharia civil	12
3.2	Principais causas de falhas em fundações	15
3.3	Danos observados em edificações decorrentes dessas falhas	17
4	MÉTODO	19
4.1	Referencial metodológico	19
4.2	Questão de pesquisa	20
4.3	Critérios de inclusão e exclusão.....	21
4.4	Fontes de extração dos dados	21
4.5	Triagem e seleção dos estudos	22
4.6	Coleta de dados	22
4.7	Síntese dos dados	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	Processo de triagem e seleção dos estudos da revisão integrativa.....	24
5.2	Síntese dos principais achados nos artigos científicos	25
5.3	Análise crítica dos estudos incluídos na amostra da revisão integrativa.....	37
5.3.1	<i>Classe 1. principais falhas em fundações de edifícios</i>	37
5.3.2	<i>Classe 2. principais danos em edifícios</i>	40
5.3.3	<i>Classe 3. recalque diferencial</i>	43
5.4	Relação entre tipo de fundação, condições do solo e severidade dos danos	44
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

As fundações são elementos importantes que fazem parte da estrutura de uma obra, cuja função é transmitir ao terreno as cargas da construção, de forma que sejam atendidas as condições de segurança e desempenho da edificação (ABNT, 2019). No entanto, falhas nessa etapa podem comprometer significativamente a integridade estrutural da edificação (Pereira Junior *et al.*, 2020).

As falhas em fundações decorrem de um processo complexo, que envolve desde a prospecção do solo, concepção do projeto e execução, tipo de estrutura, qualidade dos materiais e até eventos pós-construção. A negligência nessa etapa compromete a vida útil das construções e eleva a incidência de danos e até mesmo o colapso total da edificação (Pereira Junior *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2024).

Diante da relevância das fundações no desempenho estrutural, torna-se crucial investigar os principais danos que afetam as edificações devido a falhas nas fundações, identificando suas causas mais comuns e as consequências estruturais observadas. Destaca-se que a maioria dos danos estruturais identificados em edificações tem origem em falhas no projeto e execução das fundações (Silva *et al.*, 2024).

Desse modo, danos estruturais em edificações, como fissuras em paredes, trincas, descontinuidades estruturais, danos estéticos, funcionais e estruturais estão diretamente relacionados à qualidade das fundações (Santos; Castro; Souza, 2024; Silva *et al.*, 2024). Por isso, todas as obras de construção civil necessitam de uma fundação firme e estável para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura (Albuquerque; Garcia, 2022).

Souza e Marco (2024) destacam que práticas adequadas evitam falhas estruturais e prejuízos financeiros futuros. Assim, o estudo deste tema revela-se essencial para prevenir danos técnicos, econômicos e sociais provocados por falhas em fundações. Estudos atuais evidenciam que esses danos em edifícios resultam de falhas na sondagem e no projeto geotécnico, recalques diferenciais e erros de dimensionamento (Araújo, 2025; Almeida; Costa, 2023; Silva *et al.*, 2022).

Silva *et al.* (2022) analisaram os recalques diferenciais em fundações rasas, destacando como esses deslocamentos geram fissuras, comprometem a segurança e a estabilidade da estrutura. O estudo de Almeida e Costa (2023) investigou fundações profundas com dimensionamento inadequado, associando falhas no projeto e execução a deformações excessivas e comprometimento do desempenho estrutural. Por sua vez, Araújo (2025) ressaltou que deficiências na investigação do solo, compactação inadequada e oscilações no lençol

freático podem ocasionar manifestações patológicas como fissuras, colapsos parciais e prejuízos funcionais ao edifício.

Dessa forma, tendo em vista a importância das fundações para o desempenho global das edificações, assim como os efeitos significativos que suas falhas podem ocasionar, evidencia-se a importância desse estudo sobre danos em edifícios ocasionados por falhas em fundações. A partir da análise da literatura atual, permite-se a identificação dos fatores determinantes que contribuem para essas falhas e compreender como cada etapa do processo construtivo, desde a análise do solo até a execução, bem como sua influência no surgimento de patologias no edifício.

Ao considerar esse contexto, este estudo visa investigar e fazer uma análise técnica e científica da literatura atual acerca dos danos mais comuns em edifícios provocados por falhas nas fundações. Por meio dessa revisão integrativa, busca-se contribuir para a atualização da literatura, investigar como os trabalhos atuais abordam os impactos dessas falhas, as principais falhas e os danos mais recorrentes. Desse modo, serão apontados os principais danos, além de buscar compreender suas causas e principais fatores que contribuem para seu surgimento.

Portanto, esse estudo justifica-se pela necessidade de aprofundar a compreensão das causas e impactos das falhas em fundações, contribuindo para o avanço das técnicas, processos e práticas construtivas, visando a redução de danos em edificações, maior segurança, durabilidade e funcionalidade aos edifícios.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Analisar os danos em edifícios decorrentes de falhas nas fundações.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar os tipos mais comuns de falhas nas fundações;
- Delinear as principais patologias em decorrência das falhas nas fundações.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Para melhor compreensão do tema, esta revisão de literatura está dividida em três subtópicos. O primeiro apresenta os fundamentos das fundações na engenharia civil, destacando seus tipos, funções e os critérios técnicos que orientam sua correta execução. Em seguida, o segundo tópico aborda as principais causas de falhas em fundações, considerando desde a investigação do solo até erros de projeto e execução. Por fim, o terceiro tópico trata dos danos observados em edificações decorrentes dessas falhas, discutindo suas manifestações, impactos e consequências para a segurança e durabilidade das construções.

3.1 Fundações na engenharia civil

As fundações são elementos fundamentais para garantir a segurança e a estabilidade de qualquer edifício. Seu principal objetivo é transmitir adequadamente os carregamentos da edificação para o solo, garantindo que a construção permaneça estável, segura e funcional ao longo de sua vida útil (Souza *et al.*, 2021).

O dimensionamento correto das fundações é crucial para garantir a estabilidade e a segurança das edificações. Logo, deficiências no projeto, interpretação equivocada das características do solo ou falhas na execução podem ocasionar danos estruturais relevantes e afetar a durabilidade e a integridade do edifício (Melhado *et al.*, 2002).

A escolha adequada do tipo de fundação está diretamente associada às características do solo, condições topográficas, magnitude das cargas, nível do lençol freático, tipo de edificação, aspectos econômicos, condições construtivas e de logística, dentre outros. Para definir adequadamente o tipo mais adequado de fundação, é necessário conhecer previamente os esforços que atuarão sobre o edifício, bem como as características dos solos e dos elementos estruturais que compõem a fundação (Melhado *et al.*, 2002).

A etapa de investigação geotécnica é fundamental, a fim de prover uma análise detalhada das condições locais, como a natureza do solo, as cargas previstas na estrutura e os fatores ambientais presentes. O método mais amplamente adotado no Brasil para avaliar a capacidade de carga, a consistência e o perfil estratigráfico do solo é a Sondagem a Percussão, também denominada sondagem de simples reconhecimento com SPT (*Standard Penetration Test*) (Rodriguez *et al.*, 2023).

Esse método está regulamentado pela norma ABNT NBR 6484 (2020), que estabelece diretrizes para sua execução. Outros tipos de ensaios podem ser executados dependendo do porte da obra ou se as informações obtidas não forem satisfatórias, por exemplo, poços

exploratórios, ensaio de penetração contínua, ensaio de palheta (Melhado *et al.*, 2002).

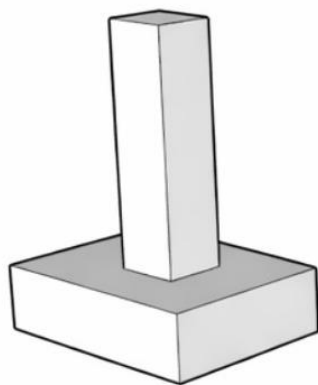
As fundações devem apresentar resistência adequada, com capacidade de resistir às tensões ocasionadas pelos esforços solicitantes. Ademais, o solo deve possuir resistência e rigidez apropriada, de modo a evitar rupturas e não apresentar deformações diferenciais ou exageradas (Silva, 2022).

Conforme a classificação tradicional, as fundações podem ser agrupadas em dois grandes grupos: fundações rasas e fundações profundas. Conforme a ABNT NBR 6122 (2019), as fundações rasas são aquelas cuja base de apoio fica localizada a uma profundidade relativamente pequena, geralmente inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Dentre os tipos mais comuns destacam-se as sapatas isoladas, sapatas associadas, sapatas corridas, blocos de fundação e radier.

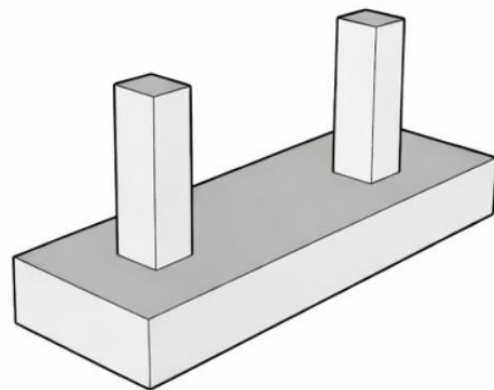
Ainda conforme a NBR 6122 (2019), as sapatas são elementos de fundação rasa projetada para transmitir ao solo as cargas de pilares, paredes para o solo e/ou outros elementos, garantindo que as tensões no solo estejam nos limites admissíveis. Podem ser classificadas como: isoladas, associadas ou corridas, conforme a disposição dos pilares e das características da estrutura. Há também a sapata com viga alavanca, utilizada quando há dois pilares próximos que precisam ser interligados para equilibrar esforços e evitar deslocamentos diferenciais. A figura 1 apresenta os tipos de sapatas.

Figura 1. Tipos de sapatas

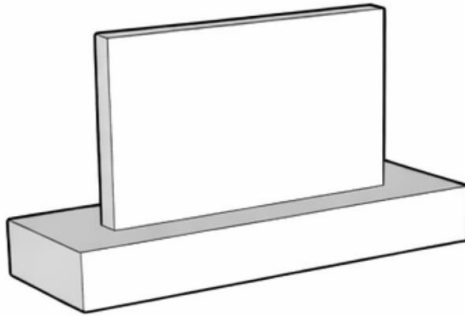
a) Sapata isolada.



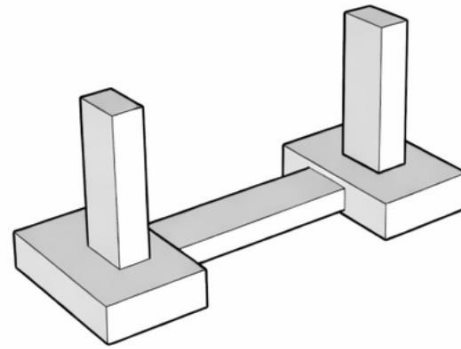
b) Sapata associada.



c) Sapata corrida.



d) Sapata com viga de equilíbrio.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O radier é um tipo de fundação rasa ou direta que realiza a distribuição dos carregamentos da edificação de maneira uniforme no solo. A escolha desse método apresenta vantagens quanto à agilidade na execução, reduzindo a mão de obra, uma vez que é construída de forma contínua e reduzindo assim os custos com a utilização de fôrmas de madeira (Gomes, 2021).

O bloco de fundação constitui um tipo de fundação rasa de concreto, dimensionado para que as tensões de tração geradas sejam resistidas pelo próprio concreto, sem necessidade de armadura. Sua geometria pode apresentar faces verticais planas, inclinadas ou escalonadas, sendo mais comum ser executada em formato retangular ou quadrada (ABNT, 2019).

As fundações profundas, também chamadas de fundações indiretas, caracterizam-se por alcançar camadas mais profundas do solo e exigem, para sua execução, o uso de maquinário específico. Esse tipo de fundação ultrapassa três metros de profundidade e tem a função de transferir as cargas da estrutura ao solo por meio da resistência de sua base (resistência de ponta), da sua superfície lateral (resistência de fuste) ou pela combinação de ambas (Alonso, 2020).

A estaca é classificada como um tipo de fundação profunda cuja execução é realizada por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja trabalho manual em profundidade. Esse tipo de fundação pode ser executado em madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in loco, argamassa, calda de cimento ou qualquer combinação dos anteriores (ABNT, 2019).

O tubulão consiste em uma fundação profunda executado com escavação manual, com ou sem revestimento, no qual é permitida a descida de operários para a execução da base alargada ou limpeza do fuste (ABNT, 2019).

Em síntese, as fundações representam componentes fundamentais para a estabilidade e

segurança das edificações, sendo sua escolha e dimensionamento diretamente influenciados pelas propriedades do solo, do projeto e das solicitações estruturais. A realização de uma investigação geotécnica criteriosa, ligada ao rigor técnico no projeto e na execução, são etapas fundamentais para prevenir falhas que comprometam o desempenho do edifício. Desse modo, compreender e aplicar de maneira adequada os critérios técnicos contribuem para garantir a durabilidade, funcionalidade e confiabilidade da obra ao longo de sua vida útil.

3.2 Principais causas de falhas em fundações

A investigação geotécnica inadequada ou ausente é considerada uma das principais razões para falhas em fundações no Brasil. O estudo realizado por Magalhães *et al.* (2022), envolveu 17 obras de pequeno porte na região de Campinas (SP), verificou-se que a execução de sondagens (SPT) e ensaios laboratoriais, juntamente com a supervisão técnica, diminui consideravelmente as falhas e melhora a qualidade das fundações. A pesquisa destaca que a realização adequada da investigação prévia do solo, mesmo em edificações de pequeno porte, é de fundamental importância para prevenir recalques diferenciais, fissuras e intervenções corretivas, garantindo desse modo a segurança da estrutura e evitando custos adicionais.

Outro estudo importante é o trabalho de Maciel *et al.* (2024), que analisou ensaios geotécnicos convencionais, como a Sondagem a Percussão (*Standard Penetration Test*) e o ensaio triaxial de compressão, com métodos geofísicos, incluindo ensaios sísmicos, Dilatometria Marchetti (DMT) e ensaio de palheta (Vane test), realizados em obras nos campos experimentais de São Carlos (SP) e Asa Sul (DF). Os resultados mostraram que a combinação de métodos aumenta a precisão da caracterização do solo, possibilitando a identificação de camadas com baixa capacidade de suporte ou elevada porosidade que, se não identificadas, poderiam ocasionar concentrações excessivas de tensões e recalques inesperados. O estudo supracitado destaca que, na ausência de uma investigação detalhada, os projetos acabam se baseando em dados parciais e informações incompletas, ocasionando fundações subdimensionadas ou superdimensionadas, com probabilidade de falhas estruturais.

O dimensionamento inadequado das fundações, especialmente pela falta de consideração das cargas reais atuantes, pode ocasionar falhas graves, como fissuras, recalques excessivos e até colapsos estruturais. Um estudo de Ortega, Marco e Florian (2024) investigou diversas fundações superficiais e profundas, destacando que o erro de subdimensionamento ou superdimensionamento podem causar recalques diferenciais, deformações e falhas na funcionalidade da edificação. Segundo os autores, deficiências na interpretação e análise

geotécnica e estimativas de tensões atuantes favorecem o surgimento de patologias que poderiam ser evitadas com um projeto bem elaborado. Eles destacam que apesar das normas vigentes como NBR 6122 (2019), o uso de métodos simplificados e negligência na análise de recalques aumentam o risco de falhas.

O estudo de Silva Santos *et al.* (2024) sobre patologias por recalque concluiu que dimensionamentos baseados apenas em coeficientes genéricos de segurança, desconsiderando a real interação real solo-estrutura na qual as deformações de um afetam diretamente a resposta do outro, é uma prática comum que pode ocasionar em intervenções corretivas dispendiosas ou até mesmo colapsos parciais.

Dentre as causas mais comuns de falhas em fundações estão aquelas ligadas à qualidade dos materiais, cronogramas e capacitação técnica da equipe, estão dentre as causas comuns de falhas em fundações. Conforme Silva *et al.* (2023), o uso de materiais que não atendem as especificações técnicas, associado à falta de fiscalização efetiva, e à pressa para finalizar etapas, compromete a integridade e estabilidade da fundação e pode ocasionar em recalques, fissuras e até colapsos parciais.

Somado a isso, a falta de qualificação adequada dos profissionais aumenta o risco de falhas na compactação do solo, erros no lançamento do concreto e falhas em detalhes construtivos, aspectos que, para Souza e Pereira (2022) exigem maior atenção para garantir a segurança e vida útil da edificação.

As ações externas, como deslocamentos do solo, alterações no nível do lençol freático e recalques diferenciais, configuram-se como fatores que frequentemente podem ocasionar falhas relevantes em fundações. Pesquisas recentes apontam que a alteração do lençol freático pode provocar redução de capacidade resistente do solo, resultando em recalques inesperados e comprometendo a estabilidade estrutural (Oliveira *et al.*, 2023).

Além disso, a existência de solos expansivos e colapsáveis intensifica esses efeitos, levando ao surgimento de fissuras, deslocamentos e até o comprometimento da segurança global da edificação (Silva; Ramos, 2022). Desse modo, o acompanhamento e monitoramento adequado das condições geotécnicas e a correta análise das condições ambientais são de grande importância para garantir a durabilidade e estabilidade das fundações.

Em síntese, observa-se que as falhas em fundações decorrem de vários fatores interligados, como investigações geotécnicas insuficientes, erros de dimensionamento, falhas na execução e a influência de condições externas, como variações no lençol freático e características do solo. Esses elementos evidenciam a importância de uma abordagem técnica integrada e cuidadosa em todas as etapas do projeto e da obra, envolvendo desde a análise

detalhada do terreno até o monitoramento contínuo após a construção, de modo a garantir a segurança, a funcionalidade e a longevidade das edificações.

3.3 Danos observados em edificações decorrentes dessas falhas

As falhas nas fundações frequentemente se manifestam por meio de patologias como fissuras, trincas, recalques e deslocamentos, que comprometem tanto a integridade estrutural quanto a estética da edificação. Silva *et al.* (2024) destacam que fissuras inclinadas, com abertura variável, são sinais típicos de recalque diferencial, causados pela movimentação desigual do solo sob a fundação, podendo progredir para trincas mais severas que ameaçam a estabilidade do edifício. Além disso, trincas horizontais e verticais indicam esforços anormais na estrutura, decorrentes da deformação do terreno e da fundação, evidenciando falhas na etapa de projeto ou execução.

Outros tipos de manifestações patológicas incluem deslocamentos horizontais e verticais dos elementos estruturais, causando desalinhamentos e afetando o funcionamento da edificação. Bortoli *et al.* (2024), em estudo realizado na região sul do Brasil, evidenciaram que recalques diferenciais geram não só fissuras, mas também o comprometimento da funcionalidade, como fechamento inadequado de portas e janelas, além do surgimento de desníveis e inclinações que impactam diretamente a segurança do prédio. Essas patologias devem ser diagnosticadas precocemente para evitar a evolução dos danos.

As falhas nas fundações representam riscos relevantes para a estabilidade e segurança da estrutura, podendo ocasionar a perda da capacidade resistente dos elementos e até o colapso parcial da edificação. Conforme Lima e Carvalho (2023), fissuras em pilares, vigas e lajes causadas por recalques diferenciais geram concentrações de tensões que comprometem a integridade estrutural, exigindo intervenções corretivas complexas e onerosas para garantir a estabilidade do edifício. Além disso, deformações excessivas dos elementos estruturais podem acelerar a deterioração do concreto e das armaduras, reduzindo a vida útil da construção (Martins *et al.*, 2024).

No que se refere aos danos não estruturais, estes impactam diretamente na funcionalidade, habitabilidade e conforto dos usuários, embora não comprometam diretamente a segurança da edificação. Fernandes e Souza (2022) destacam que trincas e fissuras em paredes, descolamento de revestimentos, problemas em esquadrias e desalinhamento de portas e janelas são manifestações frequentes relacionadas às movimentações do solo e recalques, causando prejuízos estéticos e funcionais que afetam a utilização do imóvel. Esses danos podem acarretar

ainda aumento nos custos de manutenção e redução do valor comercial do imóvel, além de causar transtornos aos moradores e proprietários.

O estudo de Bortoli *et al.* (2024) analisou um edifício residencial localizado na cidade de Curitiba. Este edifício apresentou recalque diferencial, identificando fissuras diagonais em pilares e paredes, além de deslocamentos que comprometeram a estabilidade da estrutura. O trabalho destacou a relevância de uma investigação geotécnica minuciosa e do acompanhamento contínuo para evitar agravamento das manifestações patológicas. Já o estudo de Silva *et al.* (2024) reuniu dados de diversos edifícios com patologias por recalque e apontou que fissuras com abertura superior a 1 mm representam risco crescente de colapso parcial, enfatizando a importância de intervenções precoces.

Dessa maneira, percebe-se que as manifestações patológicas decorrentes de falhas nas fundações, sejam elas de caráter estrutural ou não estrutural, impactam diretamente a segurança, funcionalidade e valor de mercado das edificações. As pesquisas apresentadas reforçam a importância de uma investigação geotécnica detalhada, de um projeto estrutural adequado e do monitoramento constante ao longo de toda a vida útil da edificação. Essas medidas são essenciais para detectar de forma antecipada essas manifestações, reduzir riscos e garantir maior durabilidade e confiabilidade das edificações.

4 MÉTODO

Trata-se de uma Revisão Integrativa (RI), método que permite reunir e sintetizar resultados de pesquisas anteriores, qualitativas e/ou quantitativas, sobre um tema específico. Essa abordagem contribui para uma compreensão abrangente do estado atual do conhecimento, identificando lacunas, subsidiando a prática clínica baseada em evidências e apontando direções para investigações futuras (Cronin; George, 2024).

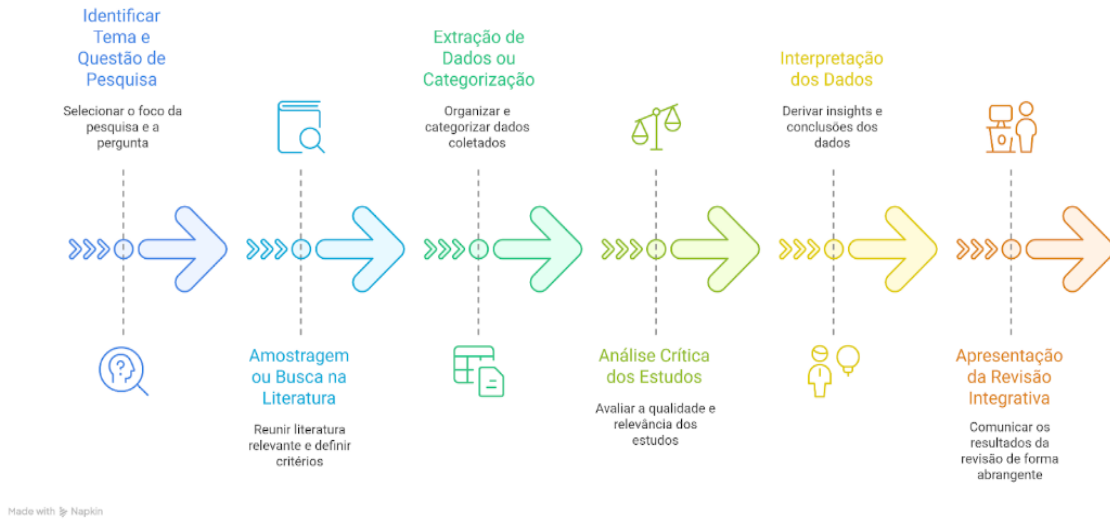
A revisão integrativa é uma estratégia valiosa para reunir e sintetizar conhecimentos científicos, permitindo que profissionais de diversas áreas acessem informações atualizadas que apoiaram a tomada de decisões e favoreceram uma atuação mais crítica e embasada na prática profissional (Mendes; Silveira; Galvão, 2008).

4.1 Referencial metodológico

A realização de uma RI exige o seguimento de um método estruturado e bem definido, a fim de garantir a consistência, credibilidade e a reprodutibilidade dos resultados. Logo, a adoção de um protocolo rigoroso permitiu que os dados obtidos fossem analisados de forma crítica e sistemática, contribuindo para a produção de evidências confiáveis e úteis à prática profissional (Mendes; Silveira; Galvão, 2008).

Nesse sentido, a condução da RI foi guiada por seis etapas principais: 1) Identificação do tema e seleção da hipótese ou questão de pesquisa; 2) Amostragem ou busca na literatura e definição dos critérios de elegibilidade; 3) Extração de dados ou categorização; 4) Análise crítica dos estudos incluídos; 5) Interpretação dos dados e 6) Apresentação da revisão integrativa (Dantas *et al.*, 2022). A figura 2 apresenta a ilustração das etapas da revisão integrativa.

Figura 2. Ilustração das etapas da revisão integrativa.



Fonte: Elaborado pelo autor, com auxílio do software NapKin (2025)

4.2 Questão de pesquisa

Para nortear a condução do estudo construiu-se uma questão de pesquisa, com base no acrônimo PICo (Stern; Jordan; Mcarthur, 2014). Nesse acrônimo, o “P” reflete problema (falhas nas fundações); “I” refere-se ao fenômeno de interesse (danos em edifícios) e “Co” refere-se ao contexto (literatura) (Quadro 1). Dessa forma, a questão de pesquisa traçada sob o acrônimo PICo é: “Quais as evidências científicas acerca dos danos em edifícios decorrentes de falhas nas fundações?”. O quadro 1 apresenta a estrutura da pergunta de pesquisa conforme o acrônimo PICo.

Quadro 1. Estrutura da pergunta de pesquisa segundo o acrônimo PICo.

Elemento	Descrição	Aplicação no estudo
P	Problema ou população	Falhas nas fundações
I	Fenômeno de interesse	Danos em edifícios
Co	Contexto	Literatura científica

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3 Critérios de inclusão e exclusão

Para garantir a relevância e a qualidade dos dados incluídos na presente revisão integrativa, foram definidos critérios específicos de inclusão e exclusão. Foram considerados elegíveis os estudos originais que abordavam a temática de interesse, publicados entre 2020 e 2025. Além disso, foram incluídos artigos publicados nos idiomas português, inglês e espanhol, a fim de ampliar o alcance da busca e incluir evidências produzidas em diferentes contextos geográficos e culturais.

A pesquisa adotou restrição temporal, contemplando apenas publicações dos últimos cinco anos, uma análise mais recente da produção científica disponível sobre o tema. Excluíram-se os estudos repetidos, anais de eventos e artigos de revisão.

4.4 Fontes de extração dos dados

Para identificar e selecionar os estudos foram utilizadas as seguintes bases de dados nacionais e internacionais: *Scientific Electronic Library Online* (SciElo), Web of Science e Science Direct. Para efetuar as buscas propriamente ditas, utilizaram-se palavras-chave, que foram estabelecidas pelo pesquisador mediante a leituras prévias sobre o tema e análise dos termos constituintes da questão de pesquisa. Assim, as estratégias de buscas definitivas foram planejadas e aplicadas em julho de 2025, com auxílio dos operadores booleanos “AND” e “OR”, conforme ilustra o quadro 2.

Quadro 2. Bases de dados e estratégias de busca utilizadas para composição da revisão integrativa.

Fontes de informações eletrônicas	Estratégia de busca	Número de documentos científicos recuperados
SciElo	("Falhas em fundações" OR "Patologias em fundações" OR "Problemas em fundações" OR "Recalques diferenciais") AND ("Danos em edificações" OR "Fissuras em paredes" OR "Trincas	0

	estruturais" OR "Problemas estruturais" OR "Movimentação da estrutura")	
Web of Science	("Foundation failures" OR "Foundation pathologies" OR "Foundation problems" OR "Differential settlements") (All Fields) AND ("Building damage" OR "Wall cracks" OR "Structural cracks" OR "Structural problems" OR "Structural movement") (All Fields)	15
Science Direct	TITLE-ABS-KEY ("Foundation failures" OR "Foundation pathologies" OR "Foundation problems" OR "Differential settlements") AND TITLE-ABS-KEY ("Building damage" OR "Wall cracks" OR "Structural cracks" OR "Structural problems" OR "Structural movement")	210

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.5 Triagem e seleção dos estudos

A avaliação inicial e seleção dos documentos científicos encontrados nas bases de dados foram realizadas pelo autor da pesquisa, com auxílio do software Rayyan, uma ferramenta que facilita a triagem e seleção de artigos científicos (Ouzanni *et al.*, 2016).

Os documentos científicos encontrados nas bases de dados foram exportados para a interface do Rayyan, em formato de arquivo *Research Information Systems* (RIS). Posteriormente, realizou-se a solicitação de análise de duplicatas, visto que este software permite a identificação automática de estudos duplicados e posterior exclusão, com manutenção de apenas uma versão de cada artigo científico. Após a exclusão de duplicatas realizou-se a análise da temática e tipo de estudo, por meio da leitura dos títulos e resumos. Em seguida, avaliou-se a elegibilidade dos artigos por meio da leitura na íntegra.

4.6 Coleta de dados

Mediante os critérios de elegibilidade previamente estabelecidos foram analisados os

documentos científicos acerca da temática. A extração dos dados dos estudos primários foi executada com um instrumento próprio, contendo as seguintes variáveis: título, autores e ano, objetivo, tipo de documento, país, principais resultados e conclusões.

4.7 Síntese dos dados

Os principais achados dos estudos que compuserem a amostra final da presente RI foram submetidos a uma análise criteriosa. Essa etapa envolveu a leitura minuciosa e a extração sistemática das informações mais relevantes de cada estudo, considerando seus objetivos, métodos, resultados e conclusões. Após essa análise, os dados extraídos foram organizados e sintetizados de forma clara e objetiva, permitindo uma melhor compreensão dos conteúdos encontrados.

Para favorecer a visualização e facilitar a interpretação dos resultados, os achados foram dispostos em tabelas e quadros, com informações categorizadas conforme os critérios definidos previamente. Essa estratégia visou tornar a apresentação dos dados mais acessível ao leitor e contribuir para a comparação entre os estudos, destacando evidências significativas e tendências relevantes no campo investigado.

Além disso, os principais achados dos artigos incluídos na revisão foram organizados em um documento no LibreOffice® e posteriormente processados no software IRaMuTeQ®, versão 0.7 Alfa 2.3.3.1. O IRaMuTeQ é um programa gratuito, baseado na linguagem R, que permite a realização de análises estatísticas textuais.

Para a presente revisão, utilizou-se especificamente a análise de similitude, técnica fundamentada na teoria dos grafos, que identifica as coocorrências entre termos e evidencia a estrutura das relações lexicais presentes no corpus. Essa abordagem permite visualizar núcleos de sentido e suas interconexões, destacando palavras com maior força de ligação e formação de redes semânticas que orientam a interpretação temática.

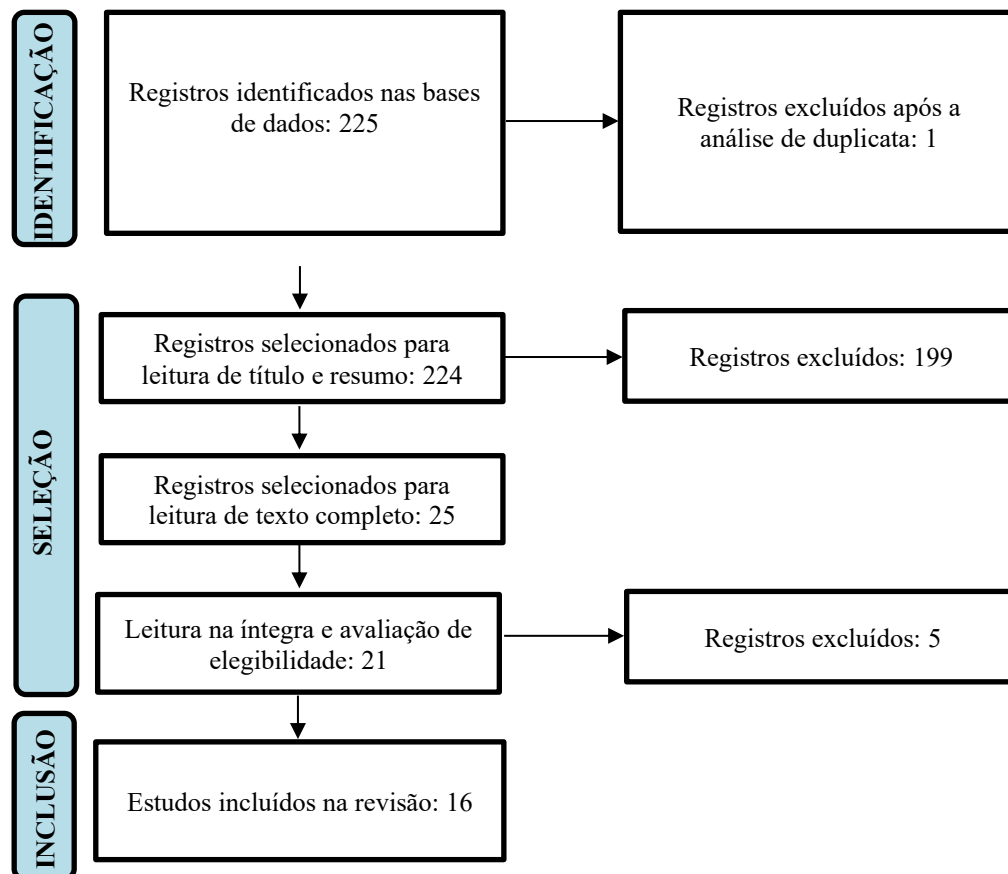
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Processo de triagem e seleção dos estudos da revisão integrativa

A busca nas bases de dados resultou em 225 artigos científicos, advindos da Web of Science (n=15) e Science Direct (n=210). Houve a exclusão de um artigo científico após análise de duplicatas. Após a leitura dos títulos e resumos foram excluídos 199 artigos que não respondiam aos critérios de elegibilidade.

Selecionaram-se para leitura na íntegra 25 artigos. Durante a busca pela versão completa dos artigos, foi possível recuperar 21 artigos em sua versão completa pelo Portal de Periódicos da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Depois da leitura completa, cinco artigos foram excluídos por serem apenas resumos de eventos publicados como anais em revista científica e um artigo científico que não respondeu à questão de pesquisa. Assim, 16 artigos foram considerados elegíveis para compor a amostra da revisão integrativa (Figura 3).

Figura 3. Fluxograma ilustrativo do processo de triagem e seleção dos estudos, construído a partir da recomendação PRISMA.



5.2 Síntese dos principais achados nos artigos científicos

O Quadro 3 apresenta a síntese dos 16 estudos científicos incluídos na revisão, organizados conforme o título, autores, ano de publicação, objetivos, principais achados e conclusões. Observa-se que os estudos foram publicados entre 2020 e 2025, evidenciando a atualidade da produção científica relacionada aos danos estruturais em edificações associados a falhas de fundação e à interação solo-estrutura.

De modo geral, os objetivos dos estudos concentram-se na análise do comportamento das edificações frente a recalques diferenciais, deformações progressivas do solo, variações do teor de umidade, escavações subterrâneas, tunelamentos, liquefação do solo e efeitos de torção estrutural. Os trabalhos selecionados nesta etapa da revisão integrativa caracterizam-se pelo emprego de diferentes metodologias utilizadas, que vão desde simulações numéricas tridimensionais e modelagens estruturais avançadas até métodos de monitoramento de deformações. Com essas abordagens foi possível analisar os efeitos das falhas nas fundações e da interação solo-estrutura e comportamento das edificações em decorrência dessas falhas.

A análise dos 16 estudos selecionados revelou que os danos em edifícios decorrentes de falhas nas fundações não representam fenômenos isolados ou aleatórios, mas resultam diretamente de condições geotécnicas desfavoráveis, variações hidrogeológicas, erros de projeto, falhas de execução, e intervenções humanas realizadas nas proximidades. Os resultados evidenciam que os danos observados vão desde manifestações superficiais até situações mais críticas de comprometimento estrutural.

Quadro 3. Síntese dos artigos científicos conforme o título, autores, ano de publicação, objetivo, principais achados e conclusões.

Título	Autores e ano	Objetivo	Principais achados	Conclusões
Structural deformation monitoring using UAV photogrammetry to assess slender historic buildings	García-Nieto <i>et al.</i> , 2025	Propor e validar uma nova metodologia de avaliação estrutural de edificações históricas esbeltas (como torres), baseada no monitoramento de deformações por meio de fotogrametria com drones (UAVs).	O estudo evidenciou que recalques diferenciais e deformações progressivas em edificações estão diretamente relacionados a falhas nas fundações e na interação solo-estrutura, ocasionando colapsos, torções e excentricidades ao longo do tempo.	Conclui-se que os danos estruturais identificados, incluindo recalques diferenciais, torções e excentricidades, constituem efeitos de falhas nas fundações e da interação inadequada entre o solo e a estrutura.
A novel clay shrink-swell buildings damage model: From unstructured insurance data to the creation of buildings database, and the proposition of damage severity scale	Mzungu <i>et al.</i> , 2025	Analisar a vulnerabilidade de edifícios construídos sobre solos argilosos submetidos aos efeitos de expansão e contração e compreender como esse fenômeno provoca danos em edifícios.	O estudo demonstra que danos em edifícios estão diretamente ligados ao comportamento inadequado das fundações frente aos movimentos de contração e expansão de solos argilosos, ocasionando recalques diferenciais, fissuras e deformações estruturais. Verificou-se que o tipo e a profundidade das fundações estão intimamente ligados a severidade dos danos, sendo que as fundações rasas, heterogêneas e com variação de profundidade como sapatas isoladas apresentam maior vulnerabilidade, enquanto fundações profundas como estacas apresentam	Conclui-se que danos nas edificações estão diretamente ligados ao comportamento do solo e a interação solos-estrutura, principalmente em solos argilosos submetidos a variações de umidade. Fenômenos como recalques diferenciais, fundações mal dimensionadas ou muito rasas e rigidez heterogênea, contribuem para o surgimento de fissuras, deformações estruturais e diversos outros danos podendo ser leves ou severos. Conclui-se ainda que edificações mais antigas com estudos geotécnicos inadequados ou ausentes, apresentam maior suscetibilidade a danos.

			maior desempenho estrutural.	
Deformation behavior and damage characteristics of surface buildings induced by undercrossing of shallow large section loess tunnels	Chen <i>et al.</i> , 2025	Investigar e compreender o comportamento de deformação e as características de danos em edifícios de superfície causados pela construção de túneis rasos de grande seção em solos de loess.	A pesquisa indicou que os recalques diferenciais e as deformações progressivas em edificações estão diretamente ligadas às falhas nas fundações e às variações no comportamento do solo, sobretudo em terrenos colapsáveis e de baixa resistência, como os de loess. Verificou-se que a perda de volume do solo e a deficiência na capacidade de suporte das fundações ocasionaram deslocamentos diferenciais, levando a trincas diagonais, deformações por flexão e, em casos mais severos, colapsos parciais das estruturas.	Conclui-se que os danos estruturais como recalques diferenciais, fissuras por flexão, deslocamentos e colapsos parciais estão associados a falhas nas fundações e na interação inadequada solo-estrutura. O solo de loess, devido à baixa rigidez e alta colapsibilidade, mostrou-se decisivo para os elevados assentamentos registrados, que alcançaram 567 mm, e para o aparecimento de trincas com aberturas superiores a 170 mm nas edificações superficiais.
A grid-based methodology for the assessment of time-dependent building damage at large scale deformation maps	Pierre Wikby <i>et al.</i> , 2024	Identificar, avaliar e prever deformações do solo e do túnel em áreas urbanas utilizando um modelo de gêmeo digital, combinando sensores, modelagem numérica e inteligência artificial para aprimorar o monitoramento e a gestão da estabilidade geotécnica.	O estudo demonstrou que os recalques diferenciais, as distorções angulares e as inclinações estruturais representam os principais danos em edifícios afetadas por falhas nas fundações ou por movimentações do solo provocados por escavações subterrâneas.	Conclui-se que a maioria dos danos identificados em edificações decorre de falhas associadas ao comportamento do solo e ao dimensionamento inadequado das fundações. Aspectos como variações no nível d'água, recalques diferenciais, falta de estudos geotécnicos aprofundados e o uso de técnicas construtivas inadequadas configuram-se como principais responsáveis por danos em estruturas.

<p>Geotechnical and structural assessment on estimated bearing capacity of strip footing resting on silty sand incorporating moisture content effect</p>	<p>Nujid <i>et al.</i>, 2024</p>	<p>Avaliar a capacidade de suporte final de uma sapata de faixa na superfície do solo de uma camada de solo de areia siltosa.</p>	<p>O estudo mostrou que os danos estruturais analisados no edifício estão vinculados ao recalque diferencial decorrente da redução da capacidade de suporte da fundação em solo de areia siltosa, sobretudo quando ocorre variações do teor de umidade. Constatou-se que o aumento da saturação do solo reduz significativamente sua resistência ao cisalhamento e sua capacidade de carga, provocando movimentações do terreno, perda de estabilidade e aparecimento de trincas severas, como fissuras verticais, horizontais e diagonais.</p>	<p>Conclui-se que os danos identificados são decorrentes principalmente de falhas de fundação relacionadas às variações de umidade do solo, que diminuem sua resistência e capacidade de suporte. As fissuras mais expressivas estão associadas ao recalque diferencial gerado pela menor rigidez do solo siltoso em condições de saturação. A análise numérica confirmou que o acréscimo da umidade amplia os deslocamentos evidenciando que fatores hidrológicos e características geotécnicas desempenham papéis fundamentais para o surgimento de danos.</p>
<p>Empirical fragility and ROC curves for masonry buildings subjected to settlements</p>	<p>Prosperi <i>et al.</i>, 2023</p>	<p>Fornecer análises empíricas para avaliar e prever danos por subsidência em edifícios de alvenaria.</p>	<p>O estudo demonstrou que os danos em edificações de alvenaria decorrem principalmente de recalques diferenciais, sendo a rotação e a distorção angular os parâmetros mais influentes na formação de fissuras e deformações. Edificações com fundações rasas mostraram maior suscetibilidade a danos funcionais e estruturais, enquanto aquelas sobre</p>	<p>Conclui-se que os danos identificados nas edificações decorrem principalmente dos recalques diferenciais associados à subsidência, sendo a rotação e a distorção angular os parâmetros mais relevantes para o surgimento de fissuras e deformações na alvenaria. As análises mostraram que edificações com fundações rasas são mais suscetíveis a danos, enquanto aquelas sobre estacas tendem a apresentar menor severidade. Verificou-se ainda que distorções</p>

			<p>estacas apresentaram menor severidade. Observou-se que uma distorção angular próxima de 1/500 já pode gerar fissuras perceptíveis. Além disso, os perfis de assentamento apresentaram padrões recorrentes de inclinação e curvatura, evidenciando que o comportamento global da estrutura diante da subsidência é determinante para o surgimento das patologias.</p>	<p>angulares próximas de 1/500 já produzem manifestações patológicas visíveis. Por fim, os perfis de assentamento revelaram padrões consistentes de inclinação e curvatura, confirmando que o comportamento global da estrutura frente aos recalques é o principal fator determinante para a ocorrência das patologias.</p>
<p>Analysis of building failure associated with water seepage into gypsiferous soils in an arid area located in the northwestern town of Ouled Djellal (Algeria)</p>	<p>Farouk Rebiai <i>et al.</i>, 2023</p>	<p>Investigar as causas principais de falhas em edificações associadas à infiltração de água em solos.</p>	<p>O estudo apresentou que as falhas nos edifícios analisados estão diretamente ligadas à infiltração de água no solo, ocasionando a redução da capacidade de carga sob as fundações. Observou-se que esse fenômeno resulta em recalques diferenciais relevantes, instabilidade estrutural e aparecimento de patologias como fissuras diagonais, verticais e horizontais em pilares, vigas e alvenarias. Verificou-se ainda que a dissolução progressiva do solo gera heterogeneidade na rigidez do terreno, amplificando ainda mais os deslocamentos diferenciais.</p>	<p>Conclui-se que os danos nos edifícios estão diretamente relacionados aos movimentos diferenciais das fundações, decorrentes da infiltração de água, que ocasiona a dissolução do solo e a consequente diminuição da capacidade de suporte do terreno. Esse fenômeno ocasiona diversos danos, como recalques diferenciais, inclinações e fissuras estruturais, podendo resultar em patologias moderadas ou até mesmo severas. Além disso, destaca-se que o adequado dimensionamento das fundações, o controle de infiltrações e o monitoramento dos edifícios implantados nesse tipo de solo são fundamentais para a prevenção e redução desses danos.</p>
		<p>Investigar a influência da</p>	<p>O estudo apresentou que as variações no</p>	<p>Conclui-se que os danos observados no edifício</p>

<p>Investigation Moisture Content Effect on Bearing Capacity Failure of Strip Footing Rested on Silty Sand Soil Based on Crack Characteristics Assessment Using Non-Destructive Test</p>	<p>Robit <i>et al.</i>, 2023</p>	<p>variação do teor de umidade na capacidade de carga de sapatas corridas em solos arenosos siltosos, utilizando dados obtidos por meio de ensaios não destrutivos.</p>	<p>teor de umidade do solo provocam a redução da capacidade de carga, aumentando os deslocamentos nas fundações e resultando em recalques diferenciais, fissuras severas e deformações progressivas na estrutura, evidenciando que as condições geotécnicas estão intimamente relacionadas às falhas de fundações e aos danos em edifícios.</p>	<p>em estudo estão diretamente relacionados à variação do teor de umidade do solo, a qual reduz a capacidade de carga, aumenta os deslocamentos nas fundações e desencadeia recalques diferenciais. Esse comportamento pode resultar no aparecimento de fissuras, em deformações progressivas e no comprometimento do desempenho estrutural, podendo, em situações mais críticas, conduzir inclusive ao colapso total do edifício.</p>
<p>Fragility curves for different classes of existing RC buildings under ground differential settlements</p>	<p>Miano <i>et al.</i>, 2022</p>	<p>Analisar como os recalques diferenciais do solo podem afetar o desempenho estrutural de edifícios de concreto armado, por meio da elaboração e análise de curvas de fragilidade, a fim de estimar a probabilidade de danos estruturais em função desses deslocamentos.</p>	<p>O estudo demonstrou que os recalques diferenciais do solo podem ampliar de forma significativa a suscetibilidade a danos estruturais em edifícios de concreto armado. Fatores como o número de pavimentos, o comprimento dos vãos e a direção dos recalques estão intimamente relacionados aos mecanismos de falha e à probabilidade de danos. As curvas de fragilidade desenvolvidas no estudo indicam que esses deslocamentos do solo podem resultar em fissuras relevantes, falhas</p>	<p>Conclui-se que os recalques diferenciais do solo representam um fator determinante para a ocorrência de danos em edifícios de concreto armado, podendo resultar em diferentes níveis de gravidade conforme a intensidade dos deslocamentos. O estudo apresentou que características como o comprimento dos vãos, o número de pavimentos e a direção dos recalques estão diretamente relacionadas aos mecanismos de falha. As curvas de fragilidade mostraram-se eficientes na estimativa dos danos e da probabilidade de falha, reforçando a importância de uma análise detalhada dos recalques</p>

			em juntas viga-pilar e crises de cisalhamento em pilares, evidenciando a importância de avaliar os recalques diferenciais na segurança e no desempenho estrutural dos edifícios.	diferenciais para a segurança e o desempenho dos edifícios.
Effect of Torsion on the Structural Response to Ground Movements	Son, 2022	Examinar os efeitos da torção na resposta estrutural aos movimentos do solo com base em estudos de caso de campo e testes numéricos 3D.	O estudo evidenciou que edificações submetidas a movimentos assimétricos do solo apresentam danos mais severos quando ocorre torção, e não apenas recalque no plano. Estruturas enviesadas em relação à escavação sofreram tensões adicionais, resultando em fissuras diagonais e aberturas maiores. As simulações mostraram que perfis de recalque aplicados de forma desigual intensificam a distorção angular, gerando danos de nível severo. Também se observou que estruturas com restrição de rotação sofrem mais patologias do que aquelas com liberdade para girar.	Conclui-se que a torção gerada por movimentos assimétricos do solo aumenta de forma significativa os danos estruturais em edificações, produzindo fissuras maiores e distorções mais intensas do que aquelas causadas apenas por recalques no plano. As análises de campo e as simulações 3D demonstraram que estruturas enviesadas e com restrições de rotação são mais vulneráveis, desenvolvendo danos moderados a severos mesmo com pequenos deslocamentos verticais. Assim, o estudo confirma que a avaliação de edificações sujeitas a movimentações do terreno deve considerar os efeitos tridimensionais e a torção como fatores determinantes para o surgimento e agravamento de patologias.
Efficient three-dimensional soil liquefaction	Zheng Guan <i>et al.</i> , 2022	O objetivo do estudo é aplicar um método 3D para avaliar o potencial de liquefação do solo e o recalque induzido por	O estudo apresentou que o potencial de liquefação do solo pode resultar em recalques diferenciais significativos e, consequentemente, em danos estruturais	Conclui-se que o potencial de liquefação do solo pode ocasionar recalques diferenciais e danos nos edifícios. O estudo apresentou evidências de que análises em 2D tendem a subestimar os

<p>potential and reconsolidation settlement assessment from limited CPTs considering spatial variability</p>		<p>liquefação.</p>	<p>aos edifícios. Verificou-se que análises simplificadas em 2D tendem a subestimar os riscos, enquanto o modelo tridimensional mostrou-se mais eficiente para avaliar o comportamento do solo e estimar os deslocamentos associados. Assim, a correta caracterização geotécnica, considerando a heterogeneidade do subsolo, é imprescindível para a prevenção de falhas nas fundações e para a mitigação de patologias estruturais em edifícios.</p>	<p>riscos, enquanto o modelo 3D consegue representar melhor a heterogeneidade do solo, garantindo uma caracterização geotécnica mais adequada e uma análise mais completa, sendo essencial para a prevenção de falhas em fundações.</p>
<p>3D Behaviour of Buildings due to Tunnel Induced Ground Movement</p>	<p>Namazi <i>et al.</i>, 2021</p>	<p>Analisar os danos estruturais em edifícios causados pelo afundamento do solo decorrente da escavação de túneis, investigando os efeitos de torção global e local por meio de análises tridimensionais utilizando o método dos Elementos Finitos.</p>	<p>O estudo evidenciou que o afundamento do solo ocasionado por escavações de túneis nas proximidades pode gerar danos aos edifícios, resultando em distorções tridimensionais. Verificou-se que a torção global é a mais crítica para a estrutura, podendo ocasionar danos significativos aos edifícios. Além disso, o estudo apresenta um gráfico de projeto que contribui para melhorar a precisão na previsão de danos, com resultados relevantes e compatíveis com observações e análises reais.</p>	<p>Conclui-se que o afundamento do solo ocasionado por escavações de túneis pode acarretar problemas estruturais relevantes nos edifícios, como torções e distorções significativas. O estudo demonstrou que uma avaliação adequada da interação solo–estrutura é fundamental para prever e acompanhar o comportamento dos edifícios, contribuindo para a mitigação de possíveis falhas e danos estruturais. Dessa forma, reforça-se a importância de análises mais precisas e do emprego de métodos e ferramentas de previsão de danos como forma de proteção a edificações sujeitas a deformações do solo.</p>

<p>Case Study—An Extreme Example of Soil–Structure Interaction and the Damage Caused by Works on Foundation Strengthening</p>	<p>Santra <i>et al.</i>, 2021</p>	<p>Descrever as obras de reforço das fundações das torres da Catedral de Santa Teresa de Ávila, em Subotica, e os danos causados por essas obras.</p>	<p>O estudo apontou que fundações superficiais assentadas sobre solos argilosos e de baixa resistência ocasionam recalques progressivos devido à fluência, mesmo sem acréscimo de carga. A excentricidade das cargas nas torres favoreceu a inclinação e intensificou as tensões de contato, ampliando a fissuração. Identificou-se um ciclo de instabilidade: maior inclinação aumentava a excentricidade, que por sua vez agravava os deslocamentos diferenciais.</p>	<p>O estudo indica que os danos na Catedral decorrem da baixa capacidade da fundação, assentada em solo argiloso para suportar cargas excêntricas, o que desencadeou recalques diferenciais e inclinação progressiva das torres. A fluência do solo ampliou pequenos deslocamentos, gerando um ciclo de instabilidade e agravamento das fissuras. Intervenções de reforços mal executadas agravaram o quadro, reforçando que as falhas de fundação são o principal agente de deterioração.</p>
<p>Performance of Shallow Building Foundations under Infrequent Rainfall Patterns at Al-Madinah, Saudi Arabia</p>	<p>Farooq <i>et al.</i>, 2021</p>	<p>Analisar o comportamento de fundações rasas de edifícios assentados em solos sob diferentes condições de umidade, decorrentes de chuvas e variações do lençol freático, verificando como a saturação do solo influencia os recalques e a estabilidade estrutural, por meio de análises numéricas utilizando o método dos Elementos Finitos.</p>	<p>O estudo indicou que a variação de umidade no solo exerce grande influência no desempenho de fundações rasas, reduzindo significativamente sua capacidade de carga e aumentando os recalques à medida que ocorre a saturação do terreno. Com a ocorrência de chuvas e a elevação do lençol freático, os deslocamentos no solo aumentam consideravelmente, podendo comprometer de forma significativa a estabilidade e a integridade dos edifícios. As simulações realizadas por</p>	<p>Conclui-se que a variação no teor de umidade do solo configura-se como um fator crucial para o comportamento de fundações rasas, podendo ocasionar perda significativa da capacidade de carga. As condições de saturação do solo podem afetar, de forma expressiva, a estabilidade e a integridade dos edifícios, resultando desde pequenos até grandes danos estruturais. Deste modo, reforça-se a importância do monitoramento das condições de umidade do solo como medida fundamental para prevenir falhas e reduzir a ocorrência de danos em estruturas.</p>

			meio do método dos Elementos Finitos mostraram que a falta de controle da umidade pode resultar em recalques diferenciais relevantes, fissuras e grandes deformações, ressaltando a importância do monitoramento da saturação do solo e da adequada avaliação das fundações, como forma de prevenir danos estruturais.	
Assessment of building damage due to excavation-induced displacements: The GIBV method	Piciullo <i>et al.</i> , 2021	Avaliar danos potenciais a edifícios causados por uma escavação.	O estudo apresentou que edifícios próximos a escavações profundas podem manifestar danos significativos devido a recalques de curto e longo prazo ocasionados tanto pela deformação imediata do solo quanto pela redução da pressão da água nos poros. Os danos identificados por conta de escavações nas proximidades podem provocar fissuras, inclinações, deformações diferenciais e travamento de portas e janelas por conta de falhas em fundações por conta de recalques.	Conclui-se que falhas de fundação intensificadas por deformações verticais do solo constituem um fator crítico para o surgimento de danos estruturais em edificações em proximidade a escavações subterrâneas. Os resultados apresentaram que recalques diferenciais de até ± 50 mm geram distorções angulares, sobretudo quando combinados com variações tridimensionais do campo de tensões.
Estimation of building damage in a 3D distorting structure to tunnel	Son, 2020	Analisar o comportamento tridimensional de edifícios submetidos a movimentos do solo induzidos por escavações de	O estudo ressaltou que as deformações estruturais são decorrentes das movimentações do solo, especialmente em áreas onde há escavações e obras	Conclui-se que as movimentações do solo provocadas por escavações e obras subterrâneas próximas constituem um fator de grande influência no surgimento de deformações

<p>and underground excavation-induced ground movements</p>		<p>túneis, por meio de modelagem numérica com o Método dos Elementos Finitos, avaliando os efeitos da torção local e global sobre a estrutura.</p>	<p>subterrâneas, as quais exercem influência significativa e estão intimamente relacionadas aos danos em edifícios. Evidencia-se, assim, a relevância de considerar a interação solo–estrutura, uma vez que essas deformações podem ocasionar fissuras, torções, deslocamentos diferenciais e perda de estabilidade das estruturas.</p>	<p>estruturais em edifícios, podendo ocasionar danos que comprometem seu desempenho e até mesmo sua estabilidade. A consideração da interação solo–estrutura é essencial para prever o comportamento das edificações, possibilitando identificar riscos, reduzir danos e evitar falhas estruturais decorrentes dessas deformações.</p>
--	--	--	---	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5.3 Análise crítica dos estudos incluídos na amostra da revisão integrativa

A partir da análise de similitude, foram evidenciadas três classes temáticas que representam os principais tópicos tratados nos estudos selecionados. Essas classes agrupam os termos mais recorrentes, possibilitando analisar de forma objetiva como a literatura aborda os fatores associados aos danos em estruturas decorrentes de falhas nas fundações.

A classe 1 apresenta as principais falhas em fundações de edifícios, enquanto a classe 2 exibe os principais danos em edifícios que foram ocasionados por falhas em fundações. Por fim, a classe 3 reporta o principal responsável pela maioria dos danos em edifícios segundo a literatura analisada: o recalque diferencial.

5.3.1 Classe 1. Principais falhas em fundações de edifícios

Essa primeira classe agrupa as principais falhas em fundações de edifícios, bem como seus fatores originários. Observa-se que a árvore de similitude destacou palavras como: solo, fundação, falha, deformação, resistência, colapso. Para melhor compreensão, o Quadro 4 apresenta exemplos dos principais tipos de falhas em fundações identificadas nos estudos analisados.

Quadro 4. Síntese dos principais tipos de falhas em fundações obtidos nos artigos.

Categoria de falha	Falhas Principais
Falhas relacionadas à investigação geotécnica	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência/insuficiência de sondagens (SPT/DMT/CPT) • Caracterização inadequada do solo • Não consideração da heterogeneidade do solo e condições de umidade
Falhas associadas ao comportamento do solo	<ul style="list-style-type: none"> • Recalques diferenciais • Solos expansivos e colapsáveis • Liquefação do solo • Dissolução de solos • Variação de umidade • Oscilação do lençol freático
Falhas de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Subdimensionamento de fundações • Estimativa incorreta de recalques admissíveis • Desconsideração da interação solo–estrutura
Falhas decorrentes de interação com obras vizinhas	<ul style="list-style-type: none"> • Escavações de túneis • Interferência de bulbo de tensão • Movimentos tridimensionais do terreno

Falhas de execução	<ul style="list-style-type: none"> • Erros construtivos • Compactação inadequada • Materiais que não atendem as especificações técnicas
--------------------	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme apresentado no Quadro 4, as falhas vinculadas à etapa de investigação geotécnica se apresentam como uma das principais causas de danos em edifícios. Identificou-se que a literatura converge que a ausência ou insuficiência de sondagens afeta diretamente a análise do perfil estratigráfico e características do terreno, o que pode resultar na escolha incorreta do tipo de fundações, bem como suas dimensões.

Diversos estudos analisados indicam que a investigação geotécnica inadequada se mostra como a principal origem das falhas em fundações apresentadas na literatura (Rebiai *et al.*, 2023; Miano *et al.*, 2022; Zheng Guan *et al.*, 2022; Robit *et al.*, 2023; Son, 2020; Mzungu *et al.*, 2025). Embora sejam realizados ensaios, a caracterização e interpretação do solo muitas vezes é realizada de modo simplificada, não levando em conta parâmetros relevantes e a heterogeneidade do maciço e as variações de umidade ao longo do tempo. Todos esses fatores ocasionam a redução da capacidade de suporte do solo, contribuindo para o surgimento de recalques diferenciais e patologias nos edifícios (Robit *et al.*, 2023; Son, 2020; Mzungu *et al.*, 2025).

As falhas associadas ao comportamento do solo estão intimamente relacionadas às suas características, propriedades e às variações ambientais, podendo comprometer a funcionalidade e desempenho das fundações. Em locais onde os solos são expansivos e colapsáveis, a variação de umidade ocasiona grandes variações de volume, enquanto fenômenos como liquefação e dissolução de solos solúveis contribuem também para a redução drástica da capacidade de resistência do solo. Somado a isso, variações do lençol freático e alteração de umidade são fatores que mudam significativamente as tensões efetivas do solo, causando, conseqüentemente, instabilidades, deslocamentos e o surgimento de patologias nos edifícios (Robit *et al.*, 2023; Son, 2020; Zheng Guan *et al.*, 2022; Rebiai *et al.*, 2023; Miano *et al.*, 2022; Mzungu *et al.*, 2025).

Já as falhas de dimensionamento destacam-se como uma das principais causas de problemas em fundações, uma vez que o dimensionamento inadequado pode resultar na ultrapassagem da capacidade de carga do solo, bem como no não atendimento aos estados limites últimos e de serviço, comprometendo a segurança. Além disso, a análise e estimativas inadequadas dos recalques admissíveis também se configura como fator no comprometimento

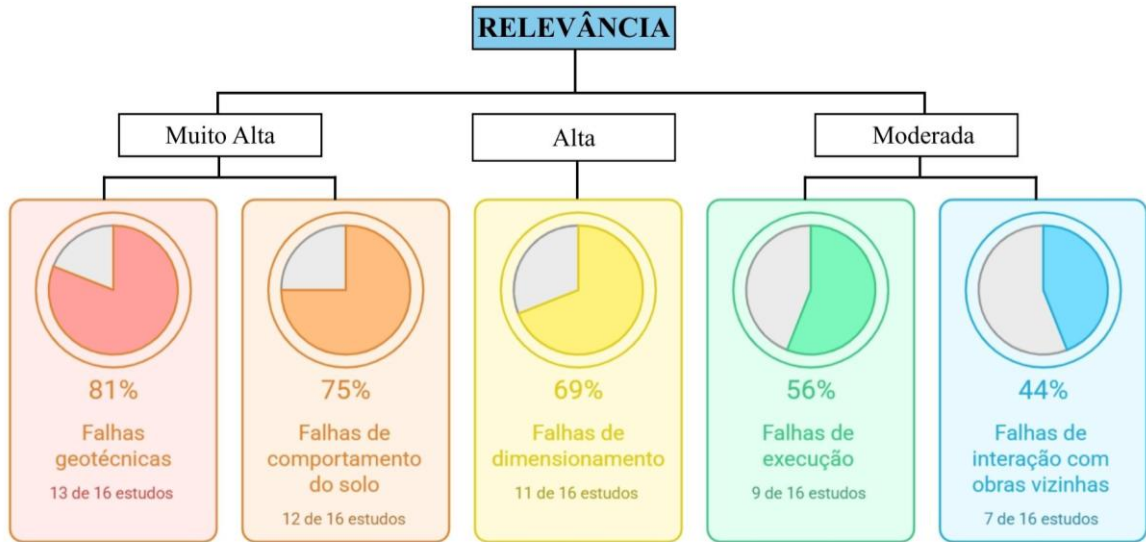
do desempenho estrutural. Ademais, a desconsideração da interação solo-estrutura também é um fator que pode comprometer a representação fiel da estrutura, pois a redistribuição de esforços entre estrutura e solo pode alterar as reações de apoio, modificar rigidezes locais e globais, e ocasionar maior probabilidade de recalques e distorções (Miano *et al.*, 2022; Zheng Guan *et al.*, 2022; Son, 2020; Mzungu *et al.*, 2025; Prospero *et al.*, 2023).

As falhas associadas da interação com edifícios vizinhos também estão intimamente ligadas a danos em edifícios. As alterações no estado de tensões, bem como características do solo causadas por intervenções próximas, grandes escavações, vibrações, abertura de valas e galerias, compactação dinâmica, infiltrações de água, execução de contenções mal dimensionadas, cravação de estacas, rebaixamento do lençol freático e interferências de bulbo de tensões podem provocar movimentações tridimensionais do terreno e causar danos (Son, 2020; Miano *et al.*, 2022; Zheng Guan *et al.*, 2022; Rebiai *et al.*, 2023; Prospero *et al.*, 2023; Mzungu *et al.*, 2025).

As falhas de execução também constituem um dos principais fatores que afetam o desempenho das fundações, uma vez que estão diretamente ligadas à qualidade do que é construído. Falhas como concretagens inadequadas, segregação do concreto devido ao lançamento e à má vibração, cura insuficiente, falhas na armação, cobrimento inadequado e espaçamentos incorretos podem alterar o comportamento estrutural, ocasionar corrosão das armaduras, impedir o alcance do fck previsto e, conseqüentemente, reduzir a capacidade resistente dos elementos (Son, 2020; Miano *et al.*, 2022; Prospero *et al.*, 2023; Rebiai *et al.*, 2023; Mzungu *et al.*, 2025).

Com objetivo de complementar a análise qualitativa apresentada, realizou-se um resumo com a frequência relativa com que cada categoria de falha foi mencionada na literatura analisada. Destaca-se que um mesmo artigo pode abranger simultaneamente mais de uma categoria de falha, de modo que as frequências apresentadas não são mutuamente excludentes, mas representam a recorrência dos fatores identificados na literatura. A Figura 5 apresenta a frequência das principais falhas em fundações identificadas nos estudos analisados, sendo os resultados classificados em intervalos percentuais: frequência muito alta (acima de 70%), alta (entre 60% e 70%), moderada (entre 40% e 60%) e baixa (inferior a 40%).

Figura 5. Frequência das principais falhas em fundações identificadas nos estudos analisados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5.3.2 Classe 2. Principais danos em edifícios

A classe 2 agrupa os principais danos em edifícios que foram ocasionados por falhas de fundações. A árvore de similitude destacou palavras como: dano, estrutural, distorção, inadequado. O Quadro 6 apresenta uma síntese dos danos em edifícios, decorrentes de falhas nas fundações, identificados na revisão.

Quadro 5. Síntese dos danos em edifícios decorrentes de falhas nas fundações identificados na revisão.

Categoria	Manifestações típicas	Causa relacionada	Efeitos observados	Estudos que relataram
Danos estéticos	Fissuras finas; trincas superficiais; microfissuras; fissuras em reboco; trincas em fachadas; descolamento de pintura; fissuras em paredes internas e tetos; deslocamento de revestimentos; início de abertura de juntas.	Movimentações leves do solo; início de recalque diferencial; variação de umidade do solo; processos iniciais de dissolução de solos; pequenas deformações do terreno; efeitos iniciais de deformação do maciço.	Comprometem aparência; indicam alerta para evolução de danos; podem avançar para danos funcionais e estruturais se não resolvidos.	Prosperi <i>et al.</i> , 2023; Son, 2020; Miano <i>et al.</i> , 2022; Rebiai <i>et al.</i> , 2023; Mzungu <i>et al.</i> , 2025; Zheng Guan <i>et al.</i> , 2022.
Danos funcionais	Travamento de portas e janelas; Deslocamento de revestimento cerâmico, esquadrias desalinhadas; janelas com folgas e deformações; pisos com desníveis; portas que não fecham; janelas com folgas e deformações; pisos com desníveis; perda de prumo; deformação de pavimentos; infiltrações associadas à deformação estrutural; problemas de abertura e fechamento de esquadrias.	Recalque diferencial moderado; distorção angular relevante; interação solo–estrutura deficiente; deslocamentos tridimensionais do terreno; dissolução parcial do solo; liquefação local; movimentação induzida por escavações e túneis; movimentos verticais predominantes; variação de lençol freático; solos expansivos e colapsáveis.	Prejudicam o uso normal do ambiente; reduzem conforto e funcionalidade; geram insegurança ao usuário; comprometem habitabilidade; indicam fase intermediária de evolução dos danos.	Piciullo <i>et al.</i> , 2021; Rebiai <i>et al.</i> , 2023; Son, 2020; Miano <i>et al.</i> , 2022; Pierre Wikby <i>et al.</i> , 2024; Namazi <i>et al.</i> , 2021; Farooq <i>et al.</i> , 2021.
Danos estruturais	Fissuras diagonais profundas; fissuras estruturais com abertura expressiva; grandes distorções angulares, fissuras inclinadas; fissuras > 5 mm e até > 15 mm; esmagamento de elementos estruturais; fissuras em pilares, vigas e lajes;	Recalque diferencial severo; falhas críticas de fundação; subdimensionamento; execução inadequada; dissolução de solos subsidência acentuada; liquefação; excentricidade; interação solo–estrutura inadequada; obras vizinhas (escavações e túneis); movimentos	Comprometem estabilidade e segurança estrutural; reduzem capacidade resistente; ocasionam risco de colapso parcial ou total; precisam de intervenções urgentes; representam uma	Chen <i>et al.</i> , 2025; García-Nieto <i>et al.</i> , 2025; Santra <i>et al.</i> , 2021; Son, 2020; Rebiai <i>et al.</i> , 2023; Mzungu <i>et al.</i> , 2025; Pierre Wikby <i>et al.</i> , 2024;

	deslocamentos verticais e horizontais significativos; ruptura localizada; deformações estruturais expressivas; torção global da edificação; inclinação acentuada; colapso parcial; perda de estabilidade global; danos graves em alvenaria estrutural e não estrutural; risco de colapso total.	tridimensionais intensos; perda da capacidade de suporte do terreno; ausência de controle geotécnico.	condição crítica dos danos; evidenciam falha sistêmica da fundação.	Robit <i>et al.</i> , 2023.
--	---	---	---	-----------------------------

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise de maneira integrada dos estudos possibilitou a classificação dos danos em edifícios em três grandes categorias: estéticos, funcionais e estruturais. A literatura converge ao apontar que falhas na fundação se configuram como elemento desencadeador de um processo patológico progressivo, em que pequenas deformações iniciais evoluem para situações críticas, causando grandes riscos e danos quando não identificadas e corrigidas adequadamente.

Os estudos indicam que os danos de caráter estético são os primeiros a se manifestar, evidenciando-se por meio de microfissuras, fissuras, trincas superficiais em revestimentos, destacamento de reboco, descolamento de pintura, e início de abertura de juntas. Essas manifestações apresentam relação direta a pequenas movimentações do solo, variações no teor de umidade e fases iniciais de recalques diferenciais (Mzungu *et al.*, 2025; Robit *et al.*, 2023; Farooq, 2021; Moorak *et al.*, 2020).

Embora que, ainda em uma fase inicial, esses danos afetem, predominantemente, apenas a aparência, todos os estudos analisados convergem em afirmar que eles representam sinais claros de alerta. Esses danos indicam alterações no comportamento do solo e da fundação, podendo evoluir para situações de maior gravidade e comprometimento estrutural se não houver intervenção e ações corretivas.

Já os danos funcionais configuram-se como uma fase intermediária, porém, determinante, na evolução dos danos decorrentes de falhas nas fundações. Nesse estágio, embora a edificação ainda apresente sua estabilidade global, e não apresentar de imediato indícios de colapso estrutural, observa-se uma perda progressiva de desempenho para as quais foi projetada. Desse modo, os danos deixam de ser apenas problemas estéticos e passam a interferir diretamente na utilização dos ambientes, comprometendo tanto o funcionamento adequado, como condições de habitabilidade e segurança dos usuários.

Entre os danos funcionais mais recorrentes incluem travamento de portas e janelas, desalinhamento de esquadrias, deslocamento de revestimentos, pisos com desníveis, inclinação perceptível, ruptura de tubulações, infiltrações, separação entre elementos construtivos e fissuras atravessando paredes. Esses danos ocasionam além da redução do conforto e habitabilidade para os usuários, em alguns casos, a necessidade de afastamento parcial dos usuários diante do risco de agravamento do quadro, o qual pode evoluir para danos de natureza estrutural, com potencial comprometimento da estrutura e possibilidade de colapso. (Piciullo *et al.*, 2021; Rebiai *et al.*, 2023; Son, 2020; Miano *et al.*, 2022; Pierre Wikby *et al.*, 2024; Namazi *et al.*, 2021; Farooq *et al.*, 2021).

Em situações de maior gravidade, as pesquisas analisadas indicaram a ocorrência de danos de natureza estrutural de elevado grau de comprometimento, nos quais as manifestações presentes não se restringem apenas a perda de desempenho, mas passam a comprometer diretamente a integridade e estabilidade global da edificação (Piciullo *et al.*, 2021; Namazi *et al.*, 2021; Miano *et al.*, 2022; Guan *et al.*, 2022; Rebiai; Guettala, 2023).

Observam-se fissuras estruturais com aberturas expressivas, deslocamentos relevantes, deformações permanentes, torção do sistema estrutural, rachaduras, rupturas localizadas, danos e colapsos parciais em elementos estruturas (pilares, vigas, lajes). Essas condições representam a incapacidade da estrutura de resistir adequadamente os esforços e manter o comportamento originalmente previsto em projeto, podendo, em casos extremos, evoluir para o colapso total da edificação.

Em síntese, por meio da análise crítica dos estudos verificou-se que os danos de caráter estético foram os mais frequentes, manifestando-se, predominantemente, como sinais iniciais relacionado a pequenas deformações e variações do solo. As manifestações de caráter funcional apresentaram incidência intermediária, estando vinculadas a evolução dos recalques diferenciais e ao incremento das distorções nos sistemas estruturais.

Por sua vez, os danos estruturais foram identificados com menor frequência, restringindo-se a casos mais críticos, associados a recalques diferenciais mais graves e a falhas expressivas no desempenho da fundação. De modo geral, os resultados apresentam que os danos evoluem de forma progressiva de manifestações estéticas para funcionais e, em casos mais severos, para comprometimentos estruturais.

5.3.3 Classe 3. Recalque diferencial

Por meio da análise dos artigos e da árvore de similitude (Figura 3), constatou-se que, entre os mecanismos patológicos investigados, o recalque diferencial apresentou elevada incidência na literatura, sendo identificado em 15 dos 16 estudos analisados, o que corresponde a 94% da amostra. Esse mecanismo foi apontado como o principal responsável pela maioria dos danos em edifícios, o que justificou a criação de uma classe específica para sua análise. Conforme Chen *et al.* (2025), os recalques diferenciais e as deformações progressivas em edifícios estão intimamente associadas às falhas nas fundações e às variações no comportamento do solo, principalmente em terrenos colapsáveis e de baixa resistência.

Sua relevância está diretamente associada ao fato de que o recalque não ocorre de maneira uniforme, ocasionando deslocamentos distintos ao longo da estrutura e resultando em

um comportamento estrutural diferente do previsto em projeto.

As consequências desse fenômeno vão além de simples fissurações, podendo se manifestar por meio de grandes deformações, torção estrutural, inclinações acentuadas, perda de alinhamento geométrico, inclinações acentuadas, deslocamentos horizontais, fissuras inclinadas, e verticais relevantes, distorções angulares, e redistribuição de esforços. Dentre os efeitos mais significativos, pode-se destacar as distorções angulares, que resultam de diferenças de recalques, gerando esforços adicionais na estrutura, causando danos funcionais e perdas de desempenho, podendo evoluir e comprometer a estabilidade e segurança do edifício.

De modo geral, apresentaram que o recalque diferencial é o principal mecanismo na origem dos danos em edifícios, atuando diretamente como fator desencadeador de uma série de manifestações patológicas como fissurações iniciais até danos estruturais de maior gravidade. A elevada frequência na literatura ressalta a importância de análises geotécnicas criteriosas e da consideração adequada desse fenômeno nas etapas ao longo das fases de projeto, execução e monitoramento das fundações.

5.4 Relação entre tipo de fundação, condições do solo e severidade dos danos

Os resultados apresentam que a severidade dos danos em edifícios está diretamente ligada ao tipo de fundação adotado, das condições geotécnicas e interação solo-estrutura considerado em projeto. Esse mecanismo foi identificado em diferentes contextos geotécnicos, como executadas sobre solos expansíveis ou colapsáveis, locais sujeitos a variações de umidade, fatores que podem favorecer e potencializar a ocorrência de recalques.

Os resultados também apresentam que a gravidade dos danos possui relação direta com o tipo de fundação adotado e com as características do solo de apoio. As fundações rasas, principalmente sapatas isoladas que apresentam com rigidez heterogênea ou profundidades variáveis, manifestam uma tendência de ampliar os efeitos dos recalques diferenciais, contribuindo diretamente para o surgimento de danos como fissuras, deformações, distorções angulares. Já os edifícios que se apoiam em fundações profundas, como estacas, possuem um comportamento estrutural mais estável e menor ocorrência e gravidade dos danos.

Além disso, constatou-se que a variabilidade das propriedades do solo e alterações das condições hidrogeológicas desempenham uma grande influência na evolução dos danos. Os resultados obtidos em solos argilosos permitem concluir que estes sofrem processos de expansão e retração, bem como em solos arenosos siltosos sensíveis à saturação indicam que alterações no teor de umidade e nível do lençol freático ocasionam percas significativas da

capacidade de suporte do terreno. Esses processos, ao longo do tempo, favorecem o surgimento e aumento dos recalques diferenciais e intensificam a evolução e progressão das manifestações patológicas ao longo do tempo. Observou-se ainda que esses danos tendem a se apresentar inicialmente de forma não estrutural, podendo evoluir para grandes danos estruturais ao longo do tempo, quando não resolvidos.

6 CONCLUSÃO

A revisão da literatura realizada neste estudo evidenciou que os danos observados em edifícios estão fortemente associados a falhas nas fundações, sendo estas decorrentes da interação de fatores técnicos, geotécnicos e construtivos. A análise dos estudos permitiu identificar padrões recorrentes de falhas e de manifestações patológicas, reforçando a importância do adequado desempenho das fundações para a segurança, a estabilidade e a vida útil das edificações. Com base na literatura analisada, as principais conclusões deste estudo são:

- As falhas em fundações mais frequentemente identificadas nos estudos analisados estão associadas a deficiências na investigação geotécnica, incluindo a ausência ou insuficiência de sondagens, caracterização inadequada do solo e desconsideração da heterogeneidade dos materiais. Tais falhas configuram-se como uma das principais origem dos problemas em fundações;
- Além das falhas relacionadas à investigação geotécnica, observam-se recorrentes inconsistências de projeto, decorrentes do uso de modelos simplificados e da desconsideração da interação solo-estrutura, bem como falhas de execução associadas a práticas construtivas inadequadas e à falta de controle técnico durante a implantação das fundações;
- As patologias decorrentes das falhas em fundações compreendem manifestações de natureza estrutural e não estrutural. Entre os danos estruturais, destacam-se fissuras em elementos estruturais, deformações excessivas, deslocamentos, instabilidades e torções, comprometendo o desempenho global das edificações. Os danos de natureza não estrutural, como destacamento de revestimentos, fissuração em elementos de vedação e desalinhamento de esquadrias, afetam diretamente a habitabilidade, a durabilidade e o valor econômico dos edifícios, além de implicarem custos elevados de manutenção e reparo;
- Dentre os mecanismos de danos abordados na literatura, o recalque diferencial destacou-se como o mais recorrente, sendo identificado como o principal responsável pelas manifestações patológicas observadas em edificações com falhas em fundações;
- De forma geral, conclui-se que os danos em edifícios decorrentes de falhas nas fundações não resultam de causas isoladas, mas da interação de múltiplos fatores técnicos e geotécnicos ao longo da vida útil das estruturas. Assim, a mitigação desses danos depende da adoção de investigações geotécnicas adequadas, projetos de fundações bem elaborados e controle rigoroso da execução, reforçando a importância

de práticas construtivas criteriosas para garantir a segurança, o desempenho e a durabilidade das edificações.

Dessa forma, a redução dos danos em edifícios depende da adoção de uma abordagem integrada que contemple investigações geotécnicas adequadas, projetos de fundação bem elaborados e controle rigoroso na execução. O presente estudo contribui com uma melhor compreensão do entendimento acerca das falhas em fundações e de suas consequências, ressaltando a importância de projetos e práticas construtivas mais criteriosas como meio de garantir maior segurança, desempenho e vida útil dos edifícios.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F.; OLIVEIRA, M.A. **Estudo comparativo de fundações em edifício alto: estacas hélice contínua versus estacas escavadas com fluido estabilizante em Goiânia**. 2023. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Trindade, Trindade, 2023. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/4267/1/tcc_Mariana%20oliveira_flavia%20albuquerque%20%282%29.pdf. Acesso em: 27 jun. 2025.
- ALBUQUERQUE, P. J. R; GARCIA, J. R. **Fundações**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.
- ALONSO, U.R. **Previsão e controle das fundações: uma introdução ao controle**. 3ª. ed. Ed. Edgard Blucher: São Paulo, 2020.
- ARAÚJO, M. **Patologia das fundações: causas, diagnóstico e métodos de recuperação**. 2025. Instituto Nova Engenharia. Disponível em: <https://institutonovaeng.com.br/2025/02/25/patologia-das-fundacoes-causas-diagnostico-e-metodos-de-recuperacao/>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NORMA BRASILEIRA (ABNT NBR) 6122. **Projeto e execução de fundações**. 3ª ed. ABNT. 108 p. 2019. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/666440271/NBR-6122-2019>. Acesso em: 19 out. 2025.
- BELLO, M.I.M.C.V.; SILVA JÚNIOR, R.P; PATRÍCIO, J.D. Análise da influência da sequência construtiva no desempenho de fundação por radiers estaqueados. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 11, n. 1, p. 586-599, 9 abr. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2025v11n1id36983>. Acesso em: 4 jan. 2026.
- CHEN, J. *et al.* Deformation behavior and damage characteristics of surface buildings induced by undercrossing of shallow large-section loess tunnels. **Engineering Failure Analysis**, v.62, n. 108422, p. 1-19, maio 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108422>. Acesso em: 28 out. 2025.
- CRONIN, M.A.; GEORGE, E. The Why and How of the Integrative Review. **Organizational Research Methods**, p. 109442812093550, 6 jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1094428120935507>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- DANTAS, H. L.L. *et al.* Como elaborar uma revisão integrativa: sistematização do método científico. **Revista Recien - Revista Científica de Enfermagem**, v. 12, n. 37, p. 334-345, 13 mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.24276/rrecien2022.12.37.334-345>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- FAROOQ, Q.U.; NAQASH, M.T. Performance of Shallow Building Foundations under Infrequent Rainfall Patterns at Al-Madinah, Saudi Arabia. **The Open Civil Engineering Journal**, v. 15, n. 1, p. 91-103, 22 abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.2174/1874149502115010091>. Acesso em: 15 nov. 2025.
- GARCÍA-NIETO, M.C. *et al.* Structural deformation monitoring using UAV photogrammetry to assess slender historic buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 100, p. 111766, abr. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.111766>. Acesso em: 28 out. 2025.

GUAN, Z.; WANG, Y.; STUEDLEIN, A.W. Efficient three-dimensional soil liquefaction potential and reconsolidation settlement assessment from limited CPTs considering spatial variability. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 163, p. 107518, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107518>. Acesso em: 02 nov. 2025.

LANES, R.M.; GRECO, M.; ALMEIDA, V.S. Viscoelastic Soil–Structure Interaction Procedure for Building on Footing Foundations Considering Consolidation Settlements. **Buildings**, v. 13, n. 3, p. 813, 20 mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings13030813>. Acesso em: 4 jan. 2026.

LEAL, M. E. S.; CHINI, P. A. **A importância do uso da sondagem em projetos de fundações**. 2020. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2020. Disponível em: https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/11785/TCC_Maria%20Eduarda%20S.%20Leal_e%20Priscila%20Chini.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 14 jun. 2025.

LEITE, M. A. V. *et al.* Análise das patologias estruturais em fundações: causas, diagnósticos e soluções. 2024. **Revista Foco**, v. 17, n. 12, e7190, 2024. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/7190>. Acesso em: 14 jun. 2025.

MACIEL, J. T. S. *et al.* **Ensaaios geofísicos e geotécnicos: abordagem integrada na caracterização do solo**. 2024. Disponível em: <https://www.archus.com/dynamiccad/site/2024/06/18/ensaaios-geofisicos-e-geotecnicos-abordagem-integrada-na-caracterizacao-do-solo/>. Acesso em: 14 jun. 2025.

MAGALHÃES, J.L.; SEGRE, T.S.P.; URBAN, R.C. Importância de ensaios geotécnicos em obras de pequeno porte: uma abordagem estatística multivariada. **Integração Engenharia**, v.2, n.5, p. 1-6, 2022. Disponível em: <https://www.archus.com/dynamiccad/site/2021/09/14/a-importancia-de-ensaaios-geotecnico-em-obras-de-pequeno-portal/>. Acesso em: 22 out. 2025.

MARQUES RODRIGUES, R.; QUARESMA, J.E. Patologia - recalque diferencial em fundação. **Revista Científica Semana Acadêmica**, v. 1, n. 202, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.35265/2236-6717-202-9047>. Acesso em: 8 jul. 2025.

MELHADO, S.B. *et al.* **Fundações**. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2002. Disponível em: https://banzoengenharia-com-br.webnode.com/_files/200000043-183c71936c/Tipos%20de%20Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf. Acesso em: 19 out. 2025.

MENDES, K.D.S.; SILVEIRA, R.C.C.P.; GALVÃO, C.M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto & Contexto - Enfermagem**, v. 17, n. 4, p. 758-764, dez. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0104-07072008000400018>. Acesso em: 15 jul. 2025.

MIANO, A.; MELE, A.; PROTA, A. Fragility curves for different classes of existing RC buildings under ground differential settlements. **Engineering Structures**, v. 257, p. 114077, abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114077>. Acesso em: 30 nov. 2025.

MZUNGU, N.P. *et al.* A novel clay shrink-swell buildings damage model: From unstructured insurance data to the creation of buildings database, and the proposition of damage severity scale. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, p. 105636, jun. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2025.105636>. Acesso em: 02 dez. 2025.

- NAMAZI, E.; MOHAMAD, H.; HAJIHASSANI, M. 3D Behaviour of Buildings due to Tunnel Induced Ground Movement. **Transportation Geotechnics**, v. 31, p. 100661, nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100661>. Acesso em: 30 nov. 2025.
- NUJID, M.M.D.; THOLIBON, D.A.; MUKHLISIN, M. Geotechnical and structural assessment on estimated bearing capacity of strip footing resting on silty sand incorporating moisture content effect. **Case Studies in Construction Materials**, v.20, n. e03106, p. 1-17, mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03106>. Acesso em: 28 out. 2025.
- NUMATA, F.; NEIVA, T. B. Fissuras em alvenaria estrutural causadas por recalques de fundação. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, n. 7, v. 8, p. 90-99, 2021.
- ORTEGA, M. R.; MARCO, G. de; FLORIAN, F. Análise das patologias estruturais em fundações: causas, diagnósticos e soluções. **Revista Foco**, v. 17, n. 12, p. 1-31, 2024. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/7190>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- ORTEGA, W. V.; PEDREIRO, M. R. de M. Tipos de estruturas para fundações de pequeno e médio porte: revisão de literatura. 2023. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 9, p. 3696–3719, 2023. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/11478>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- OUZZANI, M. *et al.* Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 5, n. 1, p. 1-10, dez. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- PEREIRA JÚNIOR, L. A. *et al.* Patologias em Fundações: Causas, Manifestações e Recomendações. **Revista Engenharia Civil Contemporânea**, v. 14, n. 3, p. 45-59, 2020.
- PICIULLO, L. *et al.* Assessment of building damage due to excavation-induced displacements: The GIBV method. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 108, p. 103673, fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103673>. Acesso em: 28 out. 2025.
- PROSPERI, A. *et al.* Empirical fragility and ROC curves for masonry buildings subjected to settlements. **Journal of Building Engineering**, v. 68, n. 106094, p. 1-17, jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106094>. Acesso em: 28 out. 2025.
- REBIAI, F.; GUETTALA, A. Analysis of building failure associated with water seepage into gypsiferous soils in an arid area located in the northwestern town of Ouled Djellal (Algeria). **Engineering Failure Analysis**, v. 154, p. 107730, dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107730>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- ROBIT, N.N.I. *et al.* Investigation Moisture Content Effect on Bearing Capacity Failure of Strip Footing Rested on Silty Sand Soil Based on Crack Characteristics Assessment Using Non-Destructive Test. **Procedia Structural Integrity**, v. 47, p. 597-601, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.07.064>. Acesso em: 03 nov. 2025.
- RODRIGUES, R.N.L.; SILVA FERREIRA, R., SILVA SOUZA, D. Fundações: critérios

avaliativos e patologias causadas pela escolha equivocada do elemento. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v.8, n.2, p. 42–59, 2024. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/11948>. Acesso em: 22 out. 2025.

RODRIGUEZ, Y. C. C. *et al.* **Avaliação do efeito da eficiência das sondagens à percussão na previsão de capacidade de carga e recalque de estacas pré-moldadas**. 2023. 20 f. Revista Tecnologia (Fortaleza), Fortaleza, v. 44, n.2, p. 1–20, 2023. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/13546>. Acesso em: 16 jun. 2025.

SANTOS, D. C. S.; CASTRO, M. R. C.; SOUZA, W. C. Identificação e recuperação de patologias causadas por recalque da fundação: revisão bibliográfica. **Revista DELOS**, Curitiba, v. 17, n. 62, p.1-18, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/3130>. Acesso em: 16 jun. 2025.

SANTRÁČ, P. *et al.* Case Study - An Extreme Example of Soil–Structure Interaction and the Damage Caused by Works on Foundation Strengthening. **Applied Sciences**, v. 11, n. 11, p. 5201, 3 jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app11115201>. Acesso em: 28 out. 2025.

SILVA FILHO, F. C. *et al.* Evaluation of settlement of shallow foundations laid on unsaturated soils. MATEC Web of Conferences, vol. 337, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/67333?utm_source=chatgpt.com10.1051/mateconf/202133703005. Acesso em: 4 jan. 2026.

SILVA, F. *et al.* Prediction of foundation stiffness and damping ratio under horizontal translation and rocking motion. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 166, p. 107735, mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107735>. Acesso em: 4 jan. 2026.

SON, M. Effect of Torsion on the Structural Response to Ground Movements. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 26, n. 10, p. 4214-4221, ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12205-022-1378-5>. Acesso em: 28 out. 2025.

SON, M.; CORDING, E.J. Estimation of building damage in a 3D distorting structure to tunnel and underground excavation-induced ground movements. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 97, p. 103222, mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103222>. Acesso em: 02 dez. 2025.

SOUZA, E.G.; MARCO, G.; FLORIAN, F. Consequências de falhas no cálculo de dimensionamento estrutural: investigação das patologias e danos associados. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 5, n. 1, p. e516086, 9 dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.47820/recima21.v5i1.6086>. Acesso em: 30 out. 2025.

SOUZA, M.M. Principais patologias estruturais e atuais metodologias de controle na construção civil. **Inter-American Journal of Development and Research**, v. 2, n. 1, p. 57-73, 16 abr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.32916/iadrij.v2i1.69>. Acesso em: 27 jun. 2025.

STERN, C.; JORDAN, Z.; MCARTHUR, A. Developing the Review Question and Inclusion Criteria. **AJN, American Journal of Nursing**, v. 114, n. 4, p. 53-56, abr. 2014. Disponível

em: <https://doi.org/10.1097/01.naj.0000445689.67800.86>. Acesso em: 15 jul. 2025.

WIKBY, P. *et al.* A grid-based methodology for the assessment of time-dependent building damage at large scale. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 149, p. 105788, jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.105788>. Acesso em: 28 out. 2025.