



CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITAITUBA – LTDA
FACULDADE DE ITAITUBA – FAI
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

STEFFANNY LUELEN SOUSA DE SOUSA
VIVIANE DE MELO SOUSA

**IMPACTOS DO RECALQUE DIFERENCIAL EM EDIFICAÇÕES: Uma
revisão sistemática da literatura**

Itaituba – PA
2025

STEFFANNY LUELEN SOUSA DE SOUSA
VIVIANE DE MELO SOUSA

**IMPACTOS DO RECALQUE DIFERENCIAL EM EDIFICAÇÕES: Uma
revisão sistemática da literatura**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Itaituba para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Andryo Henrique Freitas da Silva

Itaituba – PA

2025

DE SOUSA, Steffanny Luelen Sousa

SOUSA, Viviane De Melo

IMPACTOS DO RECALQUE DIFERENCIAL EM EDIFICAÇÕES: Uma revisão sistemática da literatura. Steffanny Luelen Sousa de Sousa e Viviane de Melo Sousa.

Itaituba-PA: FAI 2025.

78 fls. il:

Orientador: Prof. Andryo Henrique Freitas da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Itaituba, 2025.

1. Recalque Diferencial. 2. Edificações. 3. Solos. 4. Fundações. I. SILVA, Andryo Henrique Freitas da. II. Faculdade de Itaituba. Itaituba, BR - PA, 2025.

STEFFANNY LUELEN SOUSA DE SOUSA

VIVIANE DE MELO SOUSA

**IMPACTOS DO RECALQUE DIFERENCIAL EM EDIFICAÇÕES: Uma
revisão sistemática da literatura**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Itaituba para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Andryo Henrique Freitas da Silva

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Andryo Henrique Freitas

Prof. _____, _____

Avaliador (a): Wesley Aguiar Pinto, Nota: 9,5

Prof. _____, _____

Avaliador (a): Elines Dos Santos Batista, Nota: 10

Prof. _____, _____

Resultado: Aprovado, Média: 9,8

Itaituba/PA, 13 de agosto de 2025.

Dedicamos esta conquista, em primeiro lugar, a Deus, que nos sustentou e guiou em cada passo dessa jornada acadêmica. Também à nossa família, pelo amor incondicional, apoio incansável e palavras de incentivo nos momentos mais desafiadores. Sem a fé e o suporte de vocês, esta realização não seria possível. Essa vitória é nossa!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a **Deus** por nos conceder força, sabedoria e perseverança para concluir esta etapa tão significativa de nossas vidas.

Este trabalho de conclusão de curso contou com a colaboração de muitas pessoas, às quais expressamos nossa gratidão.

Aos nossos **familiares**, pelo apoio incondicional, pelo incentivo constante e por todo o suporte durante esse período de dedicação intensa. O suporte emocional foi essencial para superarmos os desafios dessa jornada.

Aos nossos **professores**, que nos transmitiram conhecimento, nos orientaram e nos inspiraram ao longo do curso, contribuindo diretamente para nossa formação acadêmica e profissional.

Ao nosso orientador, **Andryo Henrique Freitas da Silva**, por sua paciência, dedicação e pelas contribuições essenciais para a realização deste trabalho. Sua orientação foi fundamental para que alcançássemos este resultado.

Aos **colegas** de curso, por compartilharem desafios, experiências e aprendizados, tornando essa caminhada mais enriquecedora e significativa.

Por fim, expressamos nossa gratidão mútua pela parceria, comprometimento e colaboração ao longo deste projeto. Foi uma trajetória de muito aprendizado e crescimento, e cada um que fez parte dela tem um lugar especial nessa conquista.

Nosso sincero agradecimento a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que chegássemos até aqui.

Um dos maiores riscos que se pode correr no campo da engenharia de construções é iniciar uma obra sem um conhecimento tão preciso quanto possível do terreno de fundação.

“Homero Pinto Caputo”

RESUMO

O recalque diferencial em edificações diz respeito ao assentamento irregular da estrutura, resultante de variações nas propriedades do solo, falhas no projeto ou execução inadequada. Esse fenômeno pode provocar danos significativos, como rachaduras nas paredes, deslocamento das fundações e comprometimento da estabilidade da construção. Uma revisão sistemática da literatura é essencial para identificar as causas do recalque diferencial, como variações no solo e falhas no projeto ou execução, além de explorar soluções eficazes. Diante da expansão urbana e dos desafios geotécnicos, compreender e mitigar esse fenômeno é crucial para garantir a segurança e a durabilidade das construções. O objetivo geral dessa monografia foi identificar as principais consequências do recalque diferencial em edificações. Utilizou-se a metodologia de revisão sistemática da literatura, adotando uma abordagem qualitativa. Foram selecionados estudos primários sobre o tema no google acadêmico, exclusivamente pela variedade de temas relacionados com o objetivo da pesquisa. Os principais resultados destacaram que o recalque diferencial em fundações é um desafio na engenharia civil, causado por variações no solo, distribuição de cargas e condições hídricas. Solos heterogêneos e cargas desiguais agravam o problema, especialmente em fundações rasas e profundas. Para mitigá-lo, é essencial um planejamento geotécnico cuidadoso, escolha adequada da fundação, reforço do solo e monitoramento contínuo da estrutura. Conclui-se que o recalque diferencial em edificações é um problema crítico que exige planejamento cuidadoso e monitoramento contínuo para evitar danos estruturais, como fissuras e desalinhamentos. A análise das características geotécnicas do solo e da interação solo-estrutura é essencial para otimizar projetos e garantir estabilidade. Soluções como reforço de fundações, uso de materiais adaptativos e técnicas avançadas de monitoramento são fundamentais para mitigar riscos. Esta monografia contribui para o aprofundamento acadêmico e profissional sobre o tema, abordando causas, consequências e estratégias eficazes de mitigação.

Palavras-chave: Recalque Diferencial. Edificações. Solos. Fundações. Planejamento.

ABSTRACT

Differential settlement in buildings refers to the irregular settlement of the structure, resulting from variations in soil properties, design flaws or inadequate execution. This phenomenon can cause significant damage, such as cracks in walls, displacement of foundations and compromised stability of the building. A systematic review of the literature is essential to identify the causes of differential settlement, such as variations in the soil and design or execution flaws, in addition to exploring effective solutions. In view of urban expansion and geotechnical challenges, understanding and mitigating this phenomenon is crucial to ensure the safety and durability of buildings. The general objective of this monograph was to identify the main consequences of differential settlement in buildings. The systematic literature review methodology was used, adopting a qualitative approach. Primary studies on the subject were selected from Google Scholar, exclusively due to the variety of topics related to the research objective. The main results highlighted that differential settlement in foundations is a challenge in civil engineering, caused by variations in soil, load distribution and water conditions. Heterogeneous soils and uneven loads aggravate the problem, especially in shallow and deep foundations. To mitigate it, careful geotechnical planning, appropriate selection of foundations, soil reinforcement and continuous monitoring of the structure are essential. It is concluded that differential settlement in buildings is a critical problem that requires careful planning and continuous monitoring to avoid structural damage, such as cracks and misalignments. The analysis of the geotechnical characteristics of the soil and the soil-structure interaction is essential to optimize projects and ensure stability. Solutions such as foundation reinforcement, use of adaptive materials and advanced monitoring techniques are essential to mitigate risks. This monograph contributes to the academic and professional deepening of the subject, addressing causes, consequences and effective mitigation strategies.

Keywords: Differential settlement. Buildings. Soils. Foundations. Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Tipos de Fundações Rasas ou Superficiais.....	20
Figura 2-	Características das Sapatas.....	21
Figura 3-	Fundação Profunda.....	25
Figura 4-	Tipos de Fundações Profundas.....	25
Figura 5-	Tubulão para Fundação.....	26
Figura 6-	Fissuras em parede geradas pelo recalque diferencial.....	31
Figura 7-	Estaca Hélice contínua.....	39
Figura 8-	Injeção de Calda de Cimento.....	40
Figura 9-	Tubulão a Céu Aberto.....	41
Figura 10-	Fluxograma de Inclusão dos estudos.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-	Trincas, fissuras e rachaduras, definição, causas e consequências.....	32
Quadro 2-	Crítérios de Inclusão e Exclusão.....	49
Quadro 3-	Produção Científica Brasileira sobre o referido tema.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	RELAÇÃO DO SOLO COM A ESTRUTURA.....	13
2.1.1	Interação solo-estrutura.....	15
2.1.2	Laudo de Sondagem.....	17
2.2	VIDA ÚTIL DE UMA ESTRUTURA.....	18
2.3	FUNDAÇÕES.....	19
2.3.1	Fundações Superficiais.....	19
2.3.2	Fundações Profundas.....	24
2.4	RECALQUE DIFERENCIAL.....	28
2.4.1	Impactos estruturais do recalque diferencial.....	31
2.4.2	Métodos de análise e monitoramento do recalque diferencial....	34
2.5	SOLUÇÕES PARA EVITAR PATOLOGIAS DE RECALQUES.....	37
2.5.1	Reforço de Fundações.....	39
2.5.2	Alargamento de Base.....	41
2.5.3	Congelamento de Solo.....	42
2.6	MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL.....	44
2.6.1	Fatores de Influência.....	46
3	METODOLOGIA.....	48
3.1	TIPO DE ESTUDO.....	48
3.2	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO.....	48
3.3	COLETA DE DADOS E ANÁLISE.....	49
3.4	RISCOS E BENEFÍCIOS.....	50
3.5	ASPECTOS ÉTICOS.....	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1	SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	52
5	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

O recalque diferencial em edificações refere-se ao assentamento desigual de uma estrutura, que pode ocorrer devido a variações nas características do solo, erros de projeto ou execução inconveniente. Essas aparências podem causar danos graves, como fissuras nas paredes, desvio nas fundações e comprometimento da estabilidade da edificação.

Além dos danos físicos, o recalque pode acarretar custos elevados para reparos e manutenções corretivas. A necessidade de intervenções para estabilizar a edificação pode resultar em interrupções nas atividades dos usuários e na desvalorização do imóvel. Em um contexto mais amplo, esses problemas podem impactar a confiança de construtores e projetistas, resultando em uma perda de remuneração no mercado.

A importância da engenharia civil no contexto do recalque diferencial é fundamental, pois ele desempenha um papel crucial na prevenção e mitigação dessa frequência. Desde a fase de projeto, o engenheiro deve realizar uma análise detalhada das características do solo, considerando fatores como a capacidade de carga e as condições ambientais.

Nessa perspectiva, o objetivo geral dessa monografia foi identificar as principais consequências do recalque diferencial em edificações, em consonância com os seguintes objetivos específicos: Compreender principais causas do recalque diferencial em fundações superficiais e profundas, analisar como a interação solo-estrutura influencia no desempenho das construções e averiguar quais medidas para mitigar os impactos do recalque diferencial nas estruturas.

O estudo das consequências do recalque diferencial em fundações é crucial para garantir a segurança e a durabilidade das edificações, especialmente diante do crescimento urbano e da construção em terrenos desafiadores. Compreender as causas e os efeitos desse fenômeno é essencial para prevenir danos estruturais que podem resultar em elevados custos de reparação e desvalorização das propriedades.

Além das implicações econômicas, há um impacto direto na qualidade de vida e na sustentabilidade urbana. A revisão da literatura sobre o tema se justifica por identificar lacunas no conhecimento e desenvolver estratégias eficazes para mitigar riscos, promovendo construções mais seguras e eficientes.

Uma revisão sistemática da literatura sobre esse assunto é essencial para identificar as causas subjacentes, como variações nas condições do solo, erros de projeto ou execução, e para explorar soluções eficazes de mitigação. Com o crescimento urbano e a necessidade de construir terrenos cada vez mais desafiadores, compreender os impactos do recalque diferencial e desenvolver estratégias para manejá-los é crucial para garantir a durabilidade e a segurança das infraestruturas.

Nessa ótica, elaborou-se a seguinte questão norteadora: Quais são os mecanismos de ocorrência do recalque diferencial em edificações e como esses mecanismos influenciam a integridade estrutural e a durabilidade das construções?

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma revisão sistemática da literatura, adotando uma abordagem qualitativa. Foram selecionados estudos primários sobre o tema no google acadêmico. O foco esteve nas palavras-chave da pesquisa: recalque diferencial; fundações; engenharia geotécnica; estabilidade estrutural; deformações e análise de solo.

A monografia foi construída com base nas contribuições de diversos autores que foram fundamentais para sua elaboração. Silva *et al.* (2020) forneceram uma base teórica sólida, enquanto Lopes e Mendes (2020) fizeram uma análise crítica essencial. Medeiros, Oliveira e Lago (2011) trouxeram insights valiosos sobre metodologias, e Rasi *et al.* (2021) introduziram novas perspectivas que enriqueceram a discussão. Carboni (2021) e Silva (2024) complementaram a obra com pesquisas recentes e Oliveira *et al.* (2024) forneceram dados atualizados e cruciais.

O estudo foi organizado em cinco repositórios. A introdução, que apresenta o problema de pesquisa, os objetivos e a justificativa. A segunda seção trata da fundamentação teórica, que sustenta a base teórica do estudo. A terceira parte descreve a, detalhando os instrumentos usados pelos pesquisadores para alcançar os resultados. Na seção de resultados e discussão, são comparadas e comprovadas as principais ideias dos estudos escolhidos. A conclusão destaca-se ao resumir os resultados e finalizar com a resposta aos objetivos e às questões norteadoras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RELAÇÃO DO SOLO COM A ESTRUTURA

Segundo Mazurana *et al.* (2011), o solo desempenha um papel crucial na sustentação de estruturas, atuando como base sobre quais edifícios, pontes e outras construções são erguidas. A capacidade do solo de suportar carga é determinada por suas propriedades físicas e químicas, como textura, composição mineral e teor de umidade. A análise de cuidados com essas características é essencial para garantir a estabilidade e segurança das obras. Um estudo geotécnico detalhado ajuda a identificar as condições do solo e a planejar o tipo de fundação necessária.

Nessa ótica, a fundação de uma estrutura é tão resistente quanto o solo sobre o que está assentado. Essa afirmação destaca a importância de um estudo geotécnico detalhado antes de iniciar qualquer projeto de construção. A escolha do tipo de fundação, seja rasa ou profunda, depende diretamente das condições do solo, como sua capacidade de carga e resistência ao corte. Sem esta análise, há um risco significativo de falhas estruturais.

Segundo Lopes *et al.* (2011), o solo bem compactado pode prevenir o assentamento diferencial, uma das principais causas de falhas estruturais. Este ponto enfatiza a importância de práticas de engenharia adequadas, como a compactação do solo, que aumenta sua densidade e, portanto, sua capacidade de carga. A compactação adequada minimiza os vazios no solo, evitando movimentos indesejados que possam comprometer a integridade da estrutura.

A interação solo-estrutura é influenciada pela pressão que as construções exercem sobre ele. Solos argilosos, por exemplo, podem se expandir ou contrair com as mudanças na umidade, afetando a estabilidade das fundações. Assim, é crucial entender o comportamento do solo em diferentes condições climáticas. Em locais onde há variação significativa de umidade, é necessário projetar fundações que possam acomodar esses movimentos para evitar rachaduras e outros danos (MENDONÇA, 2012).

Assim, os solos coesivos apresentam desafios únicos devido à sua capacidade de retenção de água. Isso implica que construções em solos argilosos desativem atenção especial ao sistema de drenagem para evitar uma saturação excessiva, que

pode comprometer a estabilidade. A drenagem adequada é fundamental para controlar o teor de umidade no solo, evitando problemas como o levantamento do solo e a erosão.

Conforme Pérez (2017), a interação dinâmica entre solo e estrutura deve ser considerada em áreas sujeitas aos sismos. A resiliência de uma estrutura durante um terremoto está diretamente ligada à capacidade de apenas dissipar energia sísmica. Solos soltos ou mal compactados podem amplificar os efeitos de um terremoto. Portanto, em áreas sísmicas, é vital análises sísmicas realizadas e utilizar técnicas de construção que melhorem a resistência sísmica.

Os métodos de melhoria do solo, como a injeção de cimento ou a vibro compactação, são utilizados para aumentar a capacidade de carga e a estabilidade do solo. Essas técnicas são restritas em áreas onde o solo natural não possui características específicas para suportar estruturas pesadas. A melhoria do solo pode transformar terrenos subótimos em locais viáveis para construção, reduzindo riscos e aumentando a segurança (SILVA; FRANÇA; AYALA, 2015).

Os testes de descoberta no solo ajudaram a determinar a resistência e a capacidade do solo. Esses testes são essenciais na fase de planejamento para garantir que as fundações projetadas sejam adequadas às condições do solo no local. Eles fornecem dados críticos que informam decisões sobre o tipo de fundação e as técnicas de construção a serem usadas. A drenagem subterrânea pode levar à erosão do solo, comprometendo a integridade da estrutura (LIMA, 2014).

Portanto, o planejamento de sistemas de drenagem eficientes é fundamental para manter a estabilidade do solo e proteger as fundações de edificações. A erosão pode causar deslocamento do solo, levando ao colapso parcial ou total das estruturas.

A compactação e a estabilização do solo são técnicas fundamentais usadas na construção civil para melhorar suas propriedades mecânicas. A compactação aumenta a densidade do solo, enquanto a estabilização pode envolver a adição de materiais que melhoram sua resistência. Esses processos são essenciais para preparar ou apenas para suportar novas construções, especialmente em áreas com solos naturalmente fracos (LOPES *et al.*, 2011).

Os solos expansivos requerem soluções de engenharia especializadas para evitar danos estruturais. Estruturas construídas sobre esses solos devem ser projetadas para acomodar movimentos sazonais causados por alterações no teor de

umidade. Técnicas como fundações flexíveis ou o uso de barreiras de umidade podem ser empregadas para mitigar o impacto desses movimentos. Portanto, a manipulação do solo devido às práticas inconvenientes de uso da terra pode afetar diversas capacidades de suportar estruturas.

Portanto, a conservação e o manejo sustentável do solo são essenciais para garantir que ele permaneça um recurso viável para a construção civil. Práticas agrícolas e de urbanização sustentáveis ajudam a preservar a integridade do solo, beneficiando tanto o meio ambiente quanto o desenvolvimento urbano.

2.1.1 Interação solo-estrutura

Conforme Almeida, Mendonça e Brandão (2014), a interação solo-estrutura é um campo fundamental na engenharia civil e geotécnica, que estuda como as estruturas, como edifícios e pontes, interagem com o solo em que estão assentadas. Essa interação é crucial para garantir a segurança, a estabilidade e a durabilidade das construções. O solo, por sua natureza, apresenta características variáveis, como compressibilidade, resistência e comportamento sob carga, que influenciam diretamente o desempenho das estruturas.

Sendo assim, um dos principais aspectos a considerar na interação solo-estrutura é a transmissão de cargas. Quando uma estrutura é construída, as cargas aplicadas, como o peso da edificação e as forças externas, são significativas para o solo. A capacidade do solo em suportar essas cargas é determinada por suas propriedades mecânicas.

Além da carga vertical, as estruturas também estão expostas às forças laterais, como ventos e terremotos. A resposta do solo a essas forças é complexa e depende de fatores como a rigidez e a plasticidade do solo. A interação entre a estrutura e o solo deve ser comprovada para entender como essas forças se distribuem e quais são os efeitos sobre ambos. Técnicas como análise de elementos finitos são frequentemente utilizadas para modelar essas interações (RIGONI, 2018).

Os assentamentos do solo são uma característica comum que pode afetar a integridade das estruturas. Existem dois tipos principais de assentamento: o imediato, que ocorre rapidamente após a aplicação de carregamento, e o consolidacional, que se processa ao longo do tempo. A análise da previsão de assentamentos é uma parte

crítica no projeto de fundações, pois pode ajudar a prevenir danos a longo prazo nas estruturas (SIVELLI, 2018).

Nessa ótica, a escolha do tipo de fundação é uma decisão importante na engenharia de interação solo-estrutura. Fundações rasas e profundas são as duas categorias principais, cada uma com suas vantagens e desvantagens. As fundações rasas são mais econômicas e rápidas de construir, mas podem não ser adequadas em solos com baixa capacidade de suporte. Já as fundações profundas, embora mais caras, são utilizadas em solos onde é necessário atingir camadas mais resistentes.

Segundo Mendonça (2012), outro fator a ser considerado é a influência das condições ambientais, como a variação do nível do lençol freático. A presença de água pode alterar as propriedades do solo, afetando sua resistência e compressibilidade. Durante a construção, é vital monitorar essas condições para garantir que uma interação solo-estrutura permaneça ao longo do tempo adequado. Medidas de drenagem e controle de umidade podem ser permitidas para mitigar esses efeitos.

A dinâmica do solo também desempenha um papel importante na interação solo-estrutura, especialmente em áreas propensas a sismos. O comportamento sonoro do solo pode amplificar as forças que atuam na estrutura, causando danos significativos. Portanto, as análises sísmicas são essenciais no projeto de estruturas em regiões com risco sísmico, garantindo que as interações sejam atendidas e atendidas adequadamente (GUERRA; SALES, 2011).

A instrumentação e o monitoramento são ferramentas úteis na avaliação da interação solo-estrutura. Técnicas como medição de deformações, pressão de poros e acelerações podem fornecer dados em tempo real sobre o comportamento da estrutura e do solo. Esses dados são cruciais para a manutenção da segurança e integridade das construções, permitindo ajustes e instruções quando necessário (MOTA, 2009).

Sendo assim, a dinâmica do solo é crucial para a compreensão dos processos ecológicos e geológicos que sustentam a vida na Terra. Ela envolve interações entre fatores físicos, químicos e biológicos, que influenciam a fertilidade, a erosão e a capacidade de retenção de água do solo. A instrumentação e o monitoramento são fundamentais para avaliar essas dinâmicas, permitindo a coleta de dados precisos sobre a qualidade do solo, a umidade e a composição mineral.

A modelagem numérica é uma abordagem cada vez mais utilizada para estudar a interação solo-estrutura. Com o avanço da tecnologia computacional, é possível simular cenários complexos e prever o comportamento de sistemas estruturais em diferentes condições de carga e ambiente. Essas simulações ajudam os engenheiros a tomar decisões informadas e a melhorar o projeto de fundações e estruturas (ROSA, 2016).

Por conseguinte, a interação solo-estrutura é um tema interdisciplinar que envolve conhecimentos de geologia, mecânica dos solos, engenharia estrutural e até mesmo aspectos ambientais. A colaboração entre essas disciplinas é essencial para o sucesso de projetos de engenharia, garantindo que as estruturas sejam seguras, eficientes e sustentáveis em seu ambiente. A compreensão aprofundada dessa interação é fundamental para enfrentar os desafios da engenharia moderna.

2.1.2 Laudo de sondagem

Segundo Silva *et al.* (2020), o laudo de sondagem é um documento técnico essencial na construção civil, fornecendo informações detalhadas sobre as condições do solo de um terreno. Ele é fundamental para o planejamento e a execução de projetos de engenharia, garantindo a segurança e a estabilidade das estruturas. A sondagem do solo envolve a profundidade e a coleta de amostras em diferentes profundidades.

Sendo assim, esses dados são analisados para determinar características como a capacidade de carga, a composição, a densidade e o nível do lençol freático. O laudo resultante orienta as decisões sobre o tipo de fundação mais adequado para a construção.

A precisão do laudo de sondagem é crucial para evitar surpresas durante a construção. Com um laudo detalhado, os engenheiros podem antecipar desafios e adaptar o projeto para mitigar riscos, economizando tempo e recursos. Os erros na interpretação dos dados de sondagem podem levar a falhas estruturais graves (SILVA, 2023).

Sendo assim, esse aspecto destaca a importância de contar com profissionais especializados para realizar a sondagem e interpretar os resultados, garantindo que o projeto atenda às condições reais do solo.

Conforme Lopes e Mendes (2020), o laudo de sondagem também ajuda a identificar áreas problemáticas, como solos expansivos ou camadas instáveis. Essas informações são necessárias para desenvolver estratégias de construção que minimizem o impacto desses desafios, como fortalecer fundações ou melhorar o solo. Além disso, o solo pode influenciar o custo total do projeto. Ao fornecer uma visão clara das condições do solo, ele permite uma estimativa mais precisa dos materiais e técnicas específicas, evitando custos adicionais inesperados.

Nessa vertente, o laudo de sondagem serve como uma base sólida para o planejamento de projetos sustentáveis. Com dados precisos, é possível projetar estruturas que respeitem o meio ambiente, minimizando a intervenção no terreno e promovendo práticas de construção sustentável. Portanto, a atualização e a revisão periódica dos laudos de sondagem são essenciais, especialmente em projetos de longo prazo. As mudanças ambientais ou não uso do solo podem alterar as condições iniciais, exigindo reavaliações para garantir a segurança contínua das estruturas.

2.2 VIDA ÚTIL DE UMA ESTRUTURA

A vida útil de uma estrutura refere-se ao período durante o qual ela permanece funcional e segura, atendendo ao propósito para a qual foi projetada. Este período é influenciado por diversos fatores, incluindo materiais, design, condições ambientais e manutenção. Os materiais utilizados na construção desempenham um papel crucial na determinação da vida útil. Materiais de alta qualidade, como concreto reforçado e aço, geralmente oferecem maior durabilidade. A escolha adequada dos materiais deve considerar não apenas a resistência, mas também a resistência à corrosão e ao desgaste (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

Medeiros, Oliveira e Lago (2011), o projeto estrutural impacta diretamente a longevidade de uma edificação. Um projeto bem feito leva em conta fatores como carga, pressão e forças ambientais, garantindo que uma estrutura possa suportar condições adversárias sem comprometer sua integridade. A manutenção regular é essencial para prolongar a vida útil de uma estrutura. Inspeções periódicas e reparos preventivos ajudam a identificar e corrigir problemas antes que se tornem críticos, evitando custos elevados e prolongando a durabilidade.

As condições ambientais, como umidade, temperatura e exposição a agentes químicos, também afetam a vida útil. Estruturas em áreas costeiras, por exemplo, são mais sujeitas à corrosão devido ao sal no ar, exigindo materiais e tratamentos especiais. Outro fator importante é a carga operacional. Estruturas sujeitas a cargas pesadas ou variáveis, como pontes e edifícios industriais, exigem um planejamento cuidadoso (GUIMARÃES, 2000).

A tecnologia moderna oferece ferramentas para monitorar a saúde estrutural. Os sensores e sistemas de monitoramento podem detectar mudanças na integridade da estrutura em tempo real, permitindo intervenções rápidas e eficazes. As normas e regulamentações de construção estabelecem critérios para a vida útil, mas é responsabilidade dos engenheiros e arquitetos garantir que essas diretrizes sejam seguidas e, sempre que possível, superadas (MOLIN *et al.*, 2016).

A adaptação das estruturas ao longo do tempo pode prolongar sua vida útil, visto que, a renovação e modernização, como reforço de fundações ou substituição de componentes desgastados, são estratégias eficazes para manter a funcionalidade e a segurança.

O fator humano também desempenha um papel importante. O uso adequado da estrutura, conforme planejado, e a conscientização dos usuários sobre práticas que evitam danos são fundamentais para manter sua integridade. Além disso, considerações econômicas influenciam as decisões sobre a vida útil. Investir em qualidade e durabilidade pode resultar em economias significativas a longo prazo, evitando reparos caros e prolongando o tempo entre reformas (JUNIOR *et al.*, 2019).

Portanto, a sustentabilidade é um aspecto crescente na discussão sobre vida útil. Posto isso, projetar estruturas com foco em eficiência energética e uso de materiais recicláveis não beneficia apenas o meio ambiente, mas também pode melhorar a longevidade e reduzir custos operacionais.

2.3 FUNDAÇÕES

2.3.1 Fundações Superficiais

Conforme Carboni (2021), as fundações superficiais são elementos estruturais utilizados para transferir cargas de uma edificação para o solo, visto que, são

aplicadas quando as camadas superficiais do solo têm capacidade suficiente para suportar as cargas. Este tipo de fundação é geralmente mais econômico e fácil de executar em comparação com fundações profundas, sendo ideal para construções leves e solos adequadas.

Sendo assim, as fundações superficiais são elementos estruturais cruciais para a estabilidade e segurança das edificações. Eles são distribuídos como cargas da estrutura para o solo de forma uniforme, minimizando riscos de assentamentos diferenciais que podem comprometer a integridade do edifício. A correta execução e dimensionamento das fundações superficiais garantem que uma estrutura suporte especificamente as cargas previstas, prevenindo problemas estruturais futuros e garantindo a longevidade da construção.

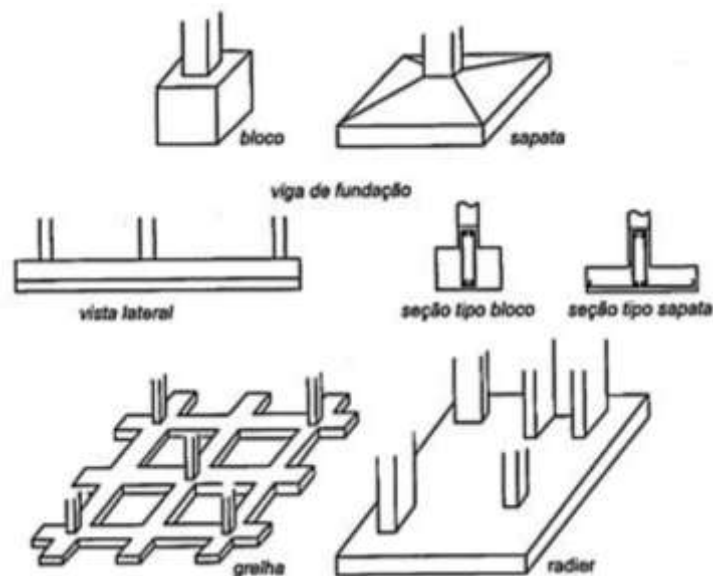


Figura 1- Tipos de Fundações Rasas ou Superficiais. Fonte: Pereira (2017)

Guedes e Burgos (2014), existem diversos tipos de fundações superficiais, como sapatas, radiais e blocos de fundação. As sapatas são elementos isolados que transmitem cargas pontuais, enquanto o radier é uma laje de concreto que distribui uniformemente as cargas. Já os blocos de fundação são utilizados para receber cargas de pilares, apresentando-se como uma solução robusta.

A escolha do tipo de fundação superficial depende de fatores como a carga da estrutura, características do solo e condições climáticas. Ensaio de sondagem são essenciais para determinar a capacidade de carga do solo e influenciar diretamente

na escolha do sistema de fundação. Um projeto adequado considera todos esses aspectos para garantir a segurança e a durabilidade da construção (BATISTA *et al.*, 2024).

Sob essa ótica, as fundações superficiais são essenciais para a estabilidade de pequenas e médias construções, transferindo cargas para camadas de solo mais próximas da superfície. Elas são geralmente mais econômicas e rápidas de construção em comparação com fundações profundas, tornando-se uma escolha popular em solos com boa capacidade de suporte. Entre os tipos mais comuns estão as sapatas, que distribuem cargas pontuais; os raios, que suportam cargas distribuídas uniformemente; e as vigas baldrame, usadas para cargas lineares.



Figura 2- Características das Sapatas. Fonte: Votorantim (2023)

As sapatas podem ser específicas em isoladas, contínuas e associadas. Assim, sapatas isoladas são indicadas para cargas específicas de pilares individuais. As contínuas, por outro lado, suportam uma série de pilares alinhados, distribuindo as cargas ao longo de uma linha. Sapatas associadas são usadas quando as cargas de itens básicos precisam ser conjuntamente ao solo (BATISTA *et al.*, 2024).

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022), diferentemente do bloco, a sapata é um componente de concreto armado projetado para que as tensões de tração sejam suportadas por uma armadura disposta especificamente para esse propósito. Além

disso, essa norma classifica as sapatas em três categorias, considerando sua rigidez, posição e tipo de solicitação.

Conforme a NBR 6120 (2019), o radier pode ser visto como uma sapata associada, constituindo uma única laje que abrange todos os pilares. Sua utilização é recomendada quando a área total das sapatas representa mais de 70% da área do terreno. De acordo com Botelho (2014), o radier também é adequado em solos com baixa capacidade de suporte, servindo como uma alternativa para diminuir a tensão exercida pelos pilares sobre o solo. Assim, o radier é uma estrutura flexível, podendo ser projetada com os pilares apoiados diretamente na laje maciça.

O radier é uma solução eficiente para solos com baixa resistência superficial. Ele atua como uma grande laje que cobre toda a área da construção, distribuindo as cargas de maneira uniforme. Essa técnica é vantajosa em situações onde o cálculo diferencial pode ser um problema, como em solos argilosos ou expansivos. A execução de fundações superficiais requer atenção aos processos de escavação e concretagem (SILVA, 2024)

Sendo assim, a base da fundação deve ser especializada, garantindo que o solo esteja nivelado e livre de materiais orgânicos. Durante a concretagem, é crucial controlar a cura do concreto para evitar fissuras e garantir a resistência desejada, pois este processo bem realizado evita impasses que podem degradar a obra.

Cerrutti (2023) destaca que o dimensionamento das fundações superficiais é uma etapa crítica do projeto estrutural. Os engenheiros calculam a área necessária para distribuir as cargas sem exceder a capacidade de suporte do solo. Este projeto considera fatores como pressão admissível do solo, carga de trabalho e fatores de segurança, garantindo que a estrutura permaneça estável ao longo do tempo. A manutenção das fundações superficiais é importante para garantir a longevidade da construção.

As inspeções regulares podem identificar problemas como recalques ou fissuras, que devem ser corrigidos imediatamente. As intervenções podem incluir reforço do solo ou reparos na estrutura de concreto, prevenindo danos maiores à edificação.

Sendo assim, a escolha do tipo adequado depende de fatores como a carga do edifício, as características do solo e as condições climáticas. O uso correto dessas fundações garante a segurança estrutural, minimizando riscos de recalque e danos.

Investir na análise correta do solo e no tipo de fundação é crucial para a durabilidade e segurança das construções.

Segundo Lopes (2020), as vantagens das fundações superficiais incluem custo limitado e rapidez na execução. Elas são menos complexas do que as fundações profundas, exigindo menor volume de escavação e concretagem. Além disso, são ideais para obras em terrenos onde o lençol freático seja profundo, evitando a necessidade de bombeamento de água.

Entretanto, as fundações superficiais apresentam limitações, como a dependência das condições do solo. Solos com baixa capacidade de suporte ou sujeitos a inundações não podem ser adequados para este tipo de fundação. Nesses casos, soluções alternativas ou reforços não só podem ser necessários para viabilizar o projeto (LOPES, 2020).

Na ótica de Oliveira *et al.* (2024), a sustentabilidade nas fundações superficiais pode ser alcançada com o uso de materiais recicláveis e técnicas que minimizem o impacto ambiental. A escolha de concretos de baixo carbono e a reutilização de materiais são práticas que trazem para a redução da pegada ecológica da construção, alinhando-se às demandas atuais por edificações mais verdes. O estudo geotécnico é fundamental para o sucesso das fundações superficiais.

Este estudo avalia as propriedades mecânicas do solo, como densidade, coesão e ângulo de atrito, permitindo uma análise precisa da capacidade de suporte. A integração dos dados geotécnicos no projeto garante que as fundações sejam dimensionadas corretamente, evitando problemas estruturais futuros.

A escolha do tipo adequado depende de fatores como a carga do edifício, as características do solo e as condições climáticas. O uso correto dessas fundações garante a segurança estrutural, minimizando riscos de recalque e danos. Investir na análise correta do solo e no tipo de fundação é crucial para a durabilidade e segurança das construções.

A interação solo-estrutura é outro aspecto crucial nas fundações superficiais. A capacidade do solo de acomodação de cargas sem deformações excessivas depende de fatores como compactação e umidade. O projeto deve prever possíveis variações nas condições do solo ao longo do tempo, garantindo que a estrutura mantenha sua integridade sob diferentes situações (OLIVEIRA *et al.*, 2024).

Os métodos de construção para fundações superficiais podem variar conforme o tipo de solo e projeto. Por exemplo, em solos arenosos, técnicas de compactação são frequentemente utilizadas para aumentar a densidade e a capacidade de suporte. Em solos argilosos, pode ser necessário implementar sistemas de drenagem para evitar a saturação e perda de resistência (MEDEIROS *et al.*, 2023).

As fundações superficiais são essenciais para a estabilidade de pequenas e médias construções, transferindo cargas para camadas de solo mais próximas da superfície. Elas são geralmente mais econômicas e rápidas de construção em comparação com fundações profundas, tornando-se uma escolha popular em solos com boa capacidade de suporte.

Em consonância, Lopes (2020) o uso de tecnologias avançadas, como modelagem 3D e simulações computacionais, tem aprimorado o projeto e execução de fundações superficiais. Essas ferramentas permitem a eficiência mais precisa de comportamento estrutural e otimizam o uso de materiais, resultando em projetos mais eficientes e econômicos. A inovação tecnológica continua a expandir as possibilidades no campo da engenharia civil.

Posto isso, fundações superficiais são uma escolha popular em projetos iniciais e comerciais devido à sua eficiência e custo-benefício. No entanto, o sucesso desses projetos depende de uma análise detalhada e execução cuidadosa. Os engenheiros e construtores devem estar atentos às especificidades de cada projeto, garantindo que as fundações atendam às exigências de segurança, funcionalidade e sustentabilidade.

Por conseguinte, as fundações superficiais são uma solução eficaz e econômica para transferência de cargas de edificações ao solo. A escolha adequada do tipo de fundação, aliada a um projeto bem feito, garante a segurança e a funcionalidade da estrutura. O conhecimento dos conceitos básicos é essencial para engenheiros e arquitetos que buscam otimizar projetos e atender às exigências técnicas e ambientais.

2.3.2 Fundações Profundas

As fundações profundas desempenham um papel crucial na engenharia civil, pois são responsáveis por transferir as cargas de uma estrutura para camadas mais

profundas do solo. Isso é particularmente importante em situações em que as camadas superficiais são incapazes de suportar o peso da construção. Edifícios altos, pontes e outras obras de grande porte frequentemente notáveis de fundações profundas para garantir a estabilidade e segurança estrutural (MOTA, 2009).

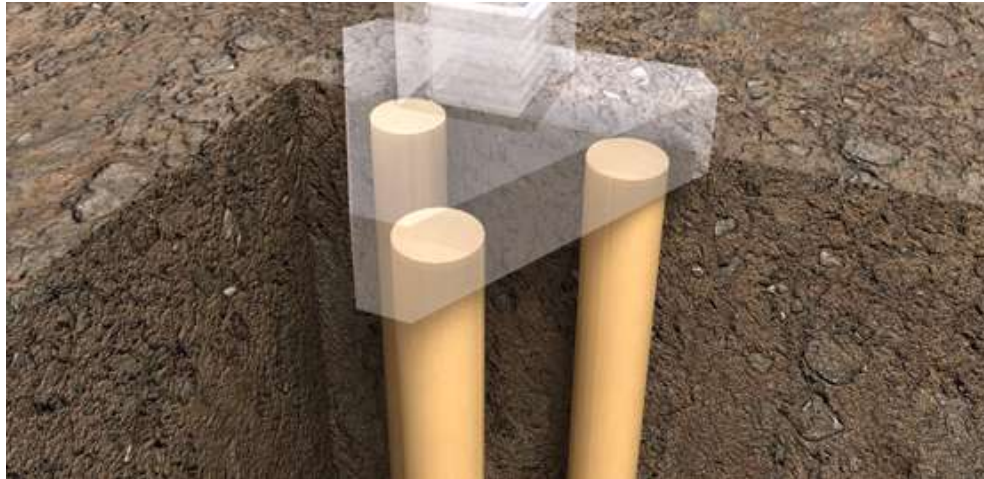


Figura 3- Fundação profunda. Fonte: Pereira (2016)

Existem vários tipos de fundações profundas, sendo tão comuns quanto estacas, tubulões e caixões. As estacas são elementos longos e estreitos que são inseridos no solo, podendo ser cravadas ou perfuradas. Elas são fabricadas em materiais como concreto, aço ou madeira, e a escolha do tipo ideal depende das características do solo e das cargas que a estrutura precisará suportar. As estacas podem ser cravadas com percussão ou vibração, e perfuradas por meio da remoção do solo (IWAMOTO, 2000).

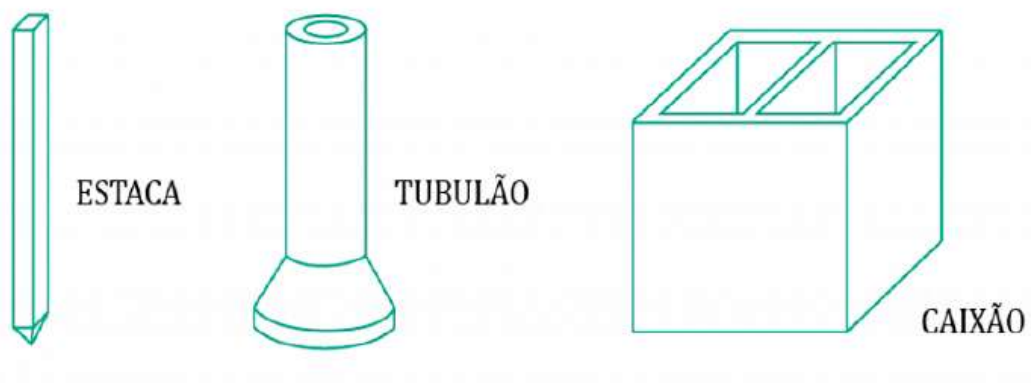


Figura 4- Tipos de Fundações Profundas. Fonte: Valadão (2019)

Sendo assim, as fundações profundas desempenham um papel crucial na engenharia civil, especialmente em estruturas que desativam suporte em solos instáveis ou quando as cargas são significativas. Elas transferem as cargas das edificações para camadas mais profundas e resistentes do solo, garantindo a estabilidade e segurança das construções. Existem vários tipos de fundações profundas, como estacas, tubulões e caixões, cada um adequado para diferentes condições geotécnicas e requisitos de projeto.

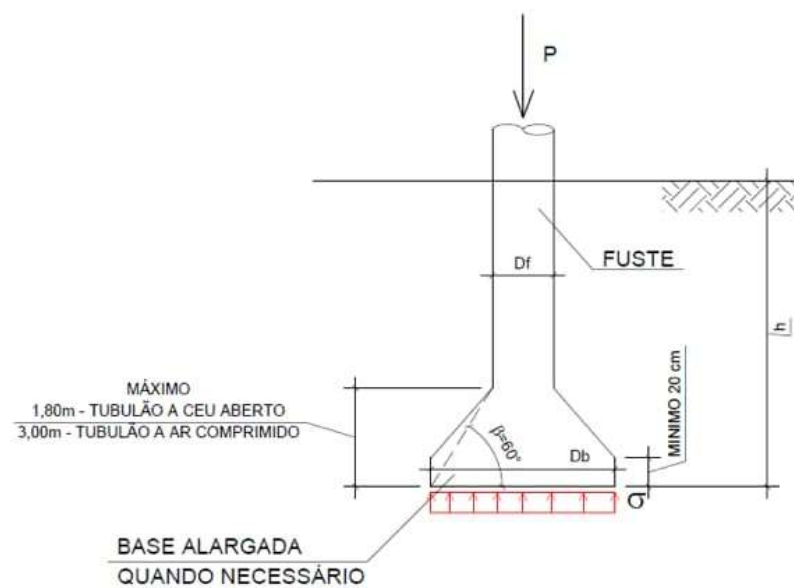


Figura 5- Tubulão para fundação. Fonte: Cabral (2017)

Os tubulões são fundações cilíndricas que podem ser escavadas manualmente ou com máquinas, sendo utilizados em solos coesos e quando é necessário atingir grandes profundidades. A construção de tubulões requer atenção especial à segurança, pois há risco de desmoronamento durante uma escavação. São trabalhadores em situações onde a carga é significativa e o solo apresenta boas condições de suporte (FERNANDES *et al.*, 2017).

Os caixões, por sua vez, são grandes estruturas de concreto, geralmente pré-moldadas, que são utilizadas em obras marítimas ou em locais com solo muito assustador. Eles são ajustados até a profundidade necessária com concreto. Este método é comum na construção de portos e pontes, onde a estabilidade sob condições aquáticas é crucial (CRUZ; CAYNOTH; SALVADOR, 2019).

Nessa vertente, a escolha do tipo de fundação profunda depende de diversos fatores, como a carga da estrutura, o tipo de solo, a presença de lençóis freáticos e os custos envolvidos. Um estudo geotécnico detalhado é fundamental para determinar a solução mais adequada.

As fundações profundas também podem ser específicas conforme o método de instalação. As estacas cravadas são inseridas no solo por meio de percussão ou vibração, enquanto as estacas perfuradas são instaladas após a remoção do solo. Cada método tem suas vantagens e a escolha depende das condições do solo e das exigências do projeto (ANDRZEJEWSKI, 2015).

Um dos desafios críticos nas fundações profundas é o controle de qualidade durante a execução. Ensaio de carga, como testes de carga estáticos e dinâmicos, são essenciais para garantir que as fundações estejam ajudando conforme o projetado. Além disso, tecnologias de monitoramento, como sensores de tensão e deformação, ajudam a verificar a integridade estrutural e a capacidade de carregamento das fundações (ALMEIDA, 2022).

A sustentabilidade é uma preocupação crescente na escolha de técnicas de fundação profunda. Reduzir o impacto ambiental da construção e utilizar materiais recicláveis ou menos poluentes são considerações importantes. A tecnologia de fundações também está evoluindo para incluir métodos mais ecológicos, que minimizem a perturbação do solo e a emissão de poluentes. Os avanços tecnológicos, como o uso de simuladores computacionais e modelagem 3D, possibilitaram um planejamento mais preciso e eficiente das fundações profundas (FREITAS; PEREIRA, 2014).

A interação entre a fundação e o solo é um aspecto crítico que deve ser avaliado. Fenômenos como a liquefação do solo, cálculos diferenciais e variações sazonais podem impactar o desempenho das fundações ao longo do tempo. Portanto, um entendimento detalhado das propriedades do solo e das condições ambientais é essencial para o sucesso do projeto. Nas áreas urbanas, as fundações profundas facilitam a construção de edifícios altos, otimizando o aproveitamento do espaço disponível e contribuindo para a verticalização das cidades (ROMANINI; CRISPIM, 2019).

O controle de qualidade durante a execução das fundações é essencial para garantir a integridade estrutural e a segurança das construções. Ele envolve uma

verificação de materiais, técnicas de instalação e conformidade conforme especificações do projeto. Nessa ótica, a sustentabilidade surge como um fator vital, incentivando o uso de materiais ecoeficientes e práticas que minimizem o impacto ambiental, como a redução de resíduos e a reciclagem de materiais. A interação entre a fundação e o solo é crítica, pois influencia diretamente o comportamento da estrutura.

Portanto, a inovação contínua na engenharia de fundações profundas, incluindo o desenvolvimento de novos materiais e métodos de instalação, continua a expandir as possibilidades de construção. Isso permite enfrentar desafios em ambientes cada vez mais complexos, garantindo que as estruturas possam ser construídas com segurança e eficiência em uma variedade de condições geotécnicas.

2.4 RECALQUE DIFERENCIAL

Segundo Rasi *et al.* (2021), o recalque diferencial é uma característica de grande importância na engenharia civil e geotécnica, caracterizada pelas variações de assentamento em diferentes partes de uma estrutura. Essas variações ocorrem quando o solo sob uma construção é compacta de maneira desigual, levando a distorções que podem comprometer a integridade da edificação. Os mecanismos por trás do recalque diferencial são a implementação de estratégias para mitigá-lo é essencial para garantir a estabilidade e segurança de edifícios, pontes e outras infraestruturas.

Um dos principais fatores que destacam para o recalque diferencial é a heterogeneidade do solo, pois os solos com diferentes composições, como argila, areia e silte, apresentam capacidades de carga específicas e reagem de maneira diferente sob pressão. Em áreas onde o tipo de solo varia significativamente, o risco de assentamentos irregulares aumenta. Estudos geotécnicos detalhados são realizados para mapear essas variações e auxiliar no planejamento de fundações específicas que podem acomodar essas diferenças (RIBEIRO, 2019).

Carvalho (2010) afirma que além da composição do solo, a carga aplicada pela estrutura desempenha um papel crucial no recalque diferencial. Estruturas com cargas desiguais, como aquelas que possuem diferentes alturas ou distribuições de peso, podem induzir assentamentos irregulares. Para minimizar esses riscos, é essencial

um projeto estrutural cuidadoso que inclua a distribuição uniforme das cargas. O uso de fundações profundas também é uma estratégia eficaz, pois permite transferir as cargas para camadas de solo mais benéficas.

Nessa vertente, os autores deixam evidente que o recalque diferencial ocorre quando há variações de assentamento em diferentes partes de uma estrutura, influenciado pela heterogeneidade do solo. A composição do solo, que pode variar significativamente em termos de densidade, umidade e tipo de material, afeta diretamente como e onde o solo se acomoda sob carga. Quando a carga aplicada pela estrutura não é uniformemente distribuída ou o solo possui camadas de resistência variável, surgem diferenças nos assentamentos.

O impacto do recalque diferencial pode ser severo e variado, visto que, pode causar rachaduras nas paredes, distorções nas estruturas de suporte e até falhas completas em casos extremos. Em infraestruturas críticas, como pontes e viadutos, essas deformações podem comprometer a segurança pública, exigindo intervenções imediatas. Por isso, a previsão e o monitoramento contínuo do recalque são fundamentais para a manutenção da segurança e funcionalidade das construções (FARIA, 2018).

Existem várias técnicas para mitigar o recalque diferencial, visto que, o uso de fundações profundas, como estacas ou caixões, é uma solução comum, pois essas estruturas transferem as cargas para camadas de solo mais consistentes. Alternativamente, técnicas de melhoria do solo, como a injeção de calda cimentícia ou a compactação dinâmica, podem aumentar a capacidade de carga do solo superficial, diminuindo significativamente o risco de recalque (NBR, 6122).

Nessa ótica, o impacto do recálculo diferencial nas estruturas manifesta-se de forma variada, assim, para prevenir esses efeitos, diversas técnicas são empregadas, como o uso de fundações profundas, que transferem a carga para camadas de solo mais benéficas. A melhoria do solo, por meio de compactação ou injeção de materiais estabilizadores, também se mostra eficaz. Além disso, o projeto adequado de drenagem pode ajudar a controlar a umidade do solo, reduzindo o risco de recalques desiguais.

Conforme Alonso (1991), o monitoramento contínuo do recalque é uma prática recomendada em projetos de engenharia civil, haja vista que, os instrumentos como niveladores automáticos, sensores de tensão e sistemas de medição geodésica são

usados para detectar movimentos sutis nas estruturas. Esses dados são essenciais para que os engenheiros possam tomar decisões informadas sobre manutenção e reparos, garantindo a longevidade e segurança das construções.

As mudanças climáticas também têm um papel importante no recalque diferencial. Alterações nos padrões de temperatura podem afetar a umidade e a compactação do solo, exacerbando o recalque. Os engenheiros devem considerar esses fatores em seus projetos, implementando soluções flexíveis que possam se adaptar a condições ambientais mutáveis, como sistemas de transporte adequados e materiais resilientes (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015).

Além dos desafios técnicos, o recalque diferencial apresenta implicações econômicas significativas, assim, os reparos e reforços estruturais podem ser dispensáveis, especialmente se os problemas não forem previstos durante a fase do projeto. Portanto, antecipar e mitigar o recalque diferencial de maneira proativa pode resultar em economias substanciais a longo prazo, evitando custos elevados de manutenção e reparos emergenciais (KNAUF, 2019).

Dessa forma, o monitoramento do recalque é uma prática necessária para a manutenção e segurança das estruturas civis. As mudanças climáticas desempenham um papel crucial no recalque diferencial, aumentando a variabilidade das condições ambientais que afetam o solo e, conseqüentemente, as fundações das edificações.

Assim, este monitoramento permite a detecção precoce de problemas, possibilitando intervenções corretivas antes que os danos ocorram. Além dos desafios técnicos associados à medição e análise dos dados de recalque, as questões econômicas são igualmente importantes, pois o recalque diferencial pode resultar em custos elevados de reparos e manutenção.

Segundo Souza (2003), a educação e a pesquisa contínua são fundamentais para avançar no entendimento do recalque diferencial. Novas tecnologias, como modelagem computacional avançada e ensaios de campo inovador, estão ampliando as capacidades dos engenheiros para prever e gerenciar esse específico. A colaboração entre universidades, empresas e governos é vital para fomentar essas inovações e implementar práticas mais detalhadas na construção civil.

Portanto, o recalque diferencial é um aspecto crítico da engenharia moderna que exige atenção cuidadosa desde o planejamento até a execução. Através de uma compreensão aprofundada dos solos, técnicas de construção e monitoramento

contínuo, é possível minimizar seus efeitos adversos, garantindo a segurança e durabilidade das estruturas. Esse compromisso com a excelência técnica e a inovação contínua é o que garante o sucesso no enfrentamento dos desafios do recalque diferencial no cenário atual da engenharia.

2.4.1 Impactos estruturais do recalque diferencial

Segundo Quaresma (2020), o recalque diferencial é uma característica crítica na engenharia civil que pode causar uma série de impactos adversos em estruturas. Quando partes diferentes de uma edificação se assentam de maneira desigual, surgem patologias internas que podem comprometer tanto a segurança quanto a funcionalidade da construção. Essas lesões podem resultar em fissuras, rachaduras e, em casos extremos, falhas estruturais.



Figura 6- Fissuras em parede geradas pelo recalque diferencial. Fonte: Asope (2012)

Conforme Gonçalves (2015), as rachaduras nas paredes e pisos são frequentemente as primeiras ocorrências de recalque diferencial. Neste cenário, podem variar de fissuras finas a rachaduras mais profundas, dependendo da extensão do assentamento. Além de afetarem a estética, essas fissuras indicam problemas estruturais que, se não tratados, podem se agravar, levando a reparos mais complexos e onerosos. Posto isso, portas e janelas são elementos particularmente sensíveis ao recalque diferencial.

Sendo assim, quando são feitos assentamentos desiguais, esses componentes podem ficar desalinhados, dificultando seu funcionamento. Isso não apenas compromete a usabilidade, mas também podem afetar a segurança, criando dificuldades em situações de emergência.

Quadro 1- Trincas, fissuras e rachaduras, definição, causas e consequências.

Patologia	Definição	Causas	Consequências
Fissuras	Aberturas finas e superficiais em elementos estruturais ou de vedação, geralmente menores que 1 mm de espessura.	Retração térmica, movimentação de fundação, recalques diferenciais, vibrações ou impactos mecânicos.	Podem indicar movimentações estruturais e, se não tratadas, evoluem para trincas e rachaduras.
Trincas	Aberturas um pouco maiores que as fissuras, geralmente entre 1 mm e 3 mm de espessura, podendo comprometer a impermeabilidade da estrutura.	Variações térmicas, esforços estruturais, sobrecargas, má qualidade dos materiais ou processos inadequados de execução.	Possibilidade de infiltração de água, degradação do concreto e redução da vida útil da edificação.
Rachaduras	Aberturas significativas, acima de 3 mm, podendo ser profundas e atingir a estrutura da edificação.	Fadiga estrutural, recalques acentuados, falhas no projeto ou na execução, impacto direto, sobrecargas excessivas.	Comprometimento estrutural grave, podendo levar ao colapso parcial ou total da edificação se não for tratada adequadamente.

Fonte: Adaptado de Almeida, Carvalho (2021)

A danificação de estruturas é outro impacto crítico do recalque diferencial. Em casos severos, edifícios ou torres podem começar a inclinar, ameaçando sua estabilidade. Exemplos históricos, como a Torre de Pisa, ilustram como essas características podem afetar uma construção ao longo do tempo, exigindo disposições constantes para garantir sua estabilidade (SANTOS, 2014).

As fundações são especialmente úteis ao recalque diferencial. Quando o solo subjacente se assenta de maneira desigual, as fundações podem se mover ou

deformar, comprometendo a integridade da estrutura. Isso é particularmente problemático em solos heterogêneos ou em locais com variações sérias nas condições do solo, onde a previsão precisa do comportamento do solo é mais desafiadora (QUARESMA, 2020).

Neste cenário, as infraestruturas como pontes e viadutos também enfrentam riscos significativos. O recalque diferencial pode causar desníveis nos tabuleiros, afetando a segurança e o conforto dos usuários. Além disso, esse aspecto pode aumentar a carga em determinados pontos da estrutura, acelerando o desgaste e a necessidade de manutenção, ou que pode ser tanto financeiramente quanto operacionalmente oneroso.

Os custos associados ao reparo dos danos causados pelo recalque diferencial são substanciais, assim, Intervenções para corrigir problemas estruturais podem incluir reforço das fundações, realinhamento de elementos estruturais e, em casos extremos e demolições. Esses custos são mitigados com um planejamento adequado e monitoramento contínuo, mas ainda podem representar uma carga financeira significativa para proprietários e gestores de infraestrutura (BORDALO; MAIA; SOARES, 2006).

Segundo Freire *et al.* (2022), além dos danos físicos, o recalque diferencial pode impactar significativamente o valor de mercado de uma propriedade, pois estruturas com problemas visíveis de recalque são menos acessíveis para compradores e investidores, levando à depreciação do imóvel. Isso pode resultar em dificuldades na venda ou no aluguel, além de afetar a percepção pública da qualidade da construção.

A segurança dos ocupantes é uma preocupação primordial quando se trata de recalque diferencial, haja vista que, estruturas comprometidas podem se tornar inseguras para habitação ou uso, criando riscos significativos para a saúde e segurança das pessoas. Isso é especialmente crítico em edifícios residenciais e comerciais, onde grandes volumes de pessoas são apresentados diariamente, aumentando o potencial de consequências catastróficas em caso de falha estrutural (ALEXANDRE, 2008).

Nessa vertente, o recalque diferencial também pode impactar sistemas de infraestrutura dentro das edificações, como encanamentos e fiações, assim, deslocamentos estruturais podem romper ou danificar esses sistemas, resultando em

vazamentos, curtos-circuitos e outros problemas que afetam a funcionalidade e segurança da edificação. Esses problemas secundários podem aumentar os custos de manutenção e reparo, além de causar interrupções temporárias

A prevenção e mitigação dos impactos do recalque diferencial começa com um estudo geotécnico detalhado e cuidadoso. Identificar as características do solo e as potenciais áreas de risco permite que os engenheiros projetem fundações capazes de acomodar ou evitar assentamentos desiguais, garantindo a estabilidade da estrutura. Os métodos como o uso de fundações profundas ou técnicas de aprimoramento do solo são frequentemente usados para lidar com essas questões (FREIRE *et al.*, 2022).

Portanto, o recalque diferencial é um desafio significativo na engenharia civil, com mudanças que variam de danos estéticos a problemas estruturais graves. Através do planejamento cuidadoso, monitoramento contínuo e instruções adequadas, é possível mitigar esses impactos garantindo a integridade e segurança das construções. A atenção constante a esses fatores é essencial para proteger tanto os investimentos financeiros quanto a segurança das pessoas que utilizam essas edificações.

2.4.2 Métodos de análise e monitoramento do recalque diferencial

Os métodos de análise e monitoramento do recalque diferencial em fundações são essenciais para garantir a estabilidade e a integridade das estruturas ao longo do tempo. O recalque diferencial ocorre quando diferentes partes de uma fundação se assentam de forma desigual devido a variações no solo ou na carga aplicada. Esse aspecto pode levar a problemas estruturais significativos, como rachaduras, inclinações e, em casos extremos, falhas estruturais. Para mitigar esses riscos, é crucial implementar técnicas de monitoramento e análise (ALONSO, 1991).

Esse acompanhamento detalhado é extremamente essencial para prevenir os principais problemas associados ao recalque diferencial. Essa questão pode levar a sérios danos estruturais se não for especificamente monitorada e gerenciada. Portanto, é crucial implementar medidas preventivas abrangentes e eficazes. O objetivo dessas ações é analisar minuciosamente as condições do solo e entender as cargas aplicadas aos edifícios, a fim de identificar possíveis variações que possam ocorrer.

Segundo Taguchi (2010), o primeiro passo no monitoramento do recalque diferencial é a realização de estudos geotécnicos detalhados. Esses estudos são fundamentais para avaliar as condições do solo no local da construção. Eles incluem a realização de testes de profundidade, sondagens profundas e coleta de amostras de solo para determinar suas propriedades físicas e mecânicas. Esses dados ajudam a prever como a fundação pode se comportar ao longo do tempo e nas instruções planejadas adequadas.

Os instrumentos geotécnicos, como medidores de nível, inclinômetros e piezômetros, são amplamente utilizados para monitorar o recalque. Esses dispositivos permitem a medição precisa do movimento, da concentração e da pressão de água nos solos, fornecendo dados em tempo real sobre a integridade da fundação. A instalação correta desses instrumentos é crucial para obter precisão precisa e confiável. É importante que esses instrumentos sejam calibrados regularmente por profissionais (NUNES; ALVARENGA, 2018).

O uso de tecnologias avançadas, como a fotogrametria e o scanner a laser, também tem se tornado cada vez mais comum nesse tipo de análise. Essas técnicas permitem a criação de modelos tridimensionais detalhados de uma estrutura, facilitando a detecção de deslocamentos sutis e a análise de deformações ao longo do tempo. As imagens geradas podem ser comparadas ao longo de diferentes períodos para identificar alterações e ações corretivas planejadas (ALVES, 2009).

Além disso, os sistemas de monitoramento baseados em Internet das Coisas (IoT) estão revolucionando a forma como o recalque diferencial é monitorado. Sensores conectados à internet podem transmitir dados continuamente para plataformas de análise, permitindo que os engenheiros respondam rapidamente a qualquer sinal de movimento anômalo. Esses sistemas são programados para enviar alertas automáticos quando valores críticos são atingidos, permitindo uma resposta rápida e eficaz (TAGUCHI, 2010).

O uso de tecnologias avançadas é crucial na gestão dos recalques, pois podem causar sérios danos estruturais se não forem projetados especificamente para serem controlados. As tecnologias como sensores de precisão, sistemas de monitoramento em tempo real e modelagem digital permitem uma análise detalhada das movimentações do solo e da estrutura. Esses sistemas podem detectar variações

sutis no comportamento da base, possibilitando intervenções rápidas e eficazes. O uso de drones e imagens de satélite proporciona uma ampla visão das áreas afetadas.

A análise de dados obtidos a partir desses métodos de monitoramento é crucial para a tomada de decisões informadas. Técnicas estatísticas e modelos computacionais são utilizados para interpretar os dados e prever o comportamento futuro da fundação. Isso permite a implementação de medidas preventivas antes que danos significativos ocorram. Softwares especializados simulam diferentes cenários e ajudam a prever os efeitos das intervenções propostas (THOMAZ, 2020).

Conforme Meyer (2010), as inspeções visuais regulares também são uma parte importante do processo de monitoramento. Engenheiros realizam inspeções para identificar sinais visíveis de recalque, como rachaduras em paredes, pisos desnivelados e portas ou janelas que não fecham corretamente. Essas inspeções são complementares ao monitoramento tecnológico e ajudam a formar um quadro completo de saúde estrutural. Fotografias e registros detalhados são suspensos para documentar quaisquer mudanças ao longo do tempo.

Quando o recalque diferencial é detectado, podem ser necessárias instruções de engenharia para corrigir o problema. Isso pode incluir o reforço da fundação, a estabilização do solo ou até mesmo a reconfiguração da estrutura. A escolha da solução depende da gravidade do recalque e das características específicas do solo e da estrutura. Técnicas como a injeção de calda de cimento, o uso de microestacas ou a implementação de sistemas de drenagem podem ser consideradas (CUNHA *et al.*, 2015).

O controle de qualidade durante a construção é uma medida preventiva eficaz contra o recalque diferencial. Garantir que as práticas de construção sigam padrões rigorosos ajudam a minimizar o risco de problemas futuros. Isso inclui o uso de materiais adequados, a aplicação de técnicas de construção detalhadas e a supervisão de profissionais treinados em todas as etapas do projeto (CALISTO; KOSWOSKI, 2015).

A educação e o treinamento contínuo dos profissionais envolvidos no projeto e na construção de fundações são igualmente importantes. Manter-se atualizado com as últimas técnicas de monitoramento e análise garante que os engenheiros estejam preparados para lidar com desafios complexos. Workshops, cursos de atualização e

conferências são oportunidades valiosas para o compartilhamento de conhecimentos e experiências (VIDAL, 2012).

Por isso, a colaboração entre engenheiros geotécnicos, civis e estruturais é essencial para um monitoramento eficaz. Cada especialista traz uma perspectiva única, contribuindo para uma abordagem holística na identificação e solução de problemas de recalque.

As diretrizes fornecem um quadro de referência para o monitoramento do recalque diferencial. Seguir essas normas ajuda a garantir que as práticas de monitoramento sejam consistentes e eficazes em diferentes contextos, promovendo a segurança e a durabilidade das estruturas. O uso de simulações computacionais pode complementar os métodos tradicionais de monitoramento. Modelos de elementos finitos, por exemplo, permitem uma análise detalhada de como a estrutura e a única interação, fornecendo insights importantes (CALISTO; KOSWOSKI, 2015).

Por conseguinte, a comunicação eficaz entre todas as partes envolvidas no projeto, desde engenheiros até proprietários de construções, é fundamental. Informar claramente sobre os riscos e as medidas adotadas para mitigá-los ajuda a garantir o sucesso do projeto e a segurança dos ocupantes da estrutura. A transparência e a colaboração contínua são essenciais para o gerenciamento eficaz do recálculo diferencial, promovendo a confiança entre todos os stakeholders.

2.5 SOLUÇÕES PARA EVITAR PATOLOGIAS DE RECALQUES

Evitar patologias de recalques em estruturas é essencial para garantir a segurança e a durabilidade das construções. Uma das soluções mais eficazes é realizar uma investigação geotécnica detalhada antes do início da obra. Essa análise permite entender as características do solo e identificar possíveis problemas que possam causar recalques. A partir dessa investigação, é possível projetar fundos adequados que minimizem o risco de assentamentos diferenciais (MILITITSKY; CONSOLI; SCHINAID, 2015).

Os recalques em estruturas podem causar diversas patologias, comprometendo a integridade e a segurança dos edifícios. Entre os problemas mais comuns estão fissuras nas paredes, portas e janelas desalinhadas, além de deformações em vigas e pilares. Essas falhas geralmente ocorrem devido a variações

no solo ou a cargas mal distribuídas. Para mitigar esses riscos, é fundamental projetar fundações adequadas, levando em conta as características geotécnicas do terreno e as especificidades da construção

Segundo Maia (2007), outra solução é o uso de fundações profundas, como estacas ou tubulões, em solos que apresentam baixa capacidade de carga. Essas fundações transferem as cargas da estrutura para camadas mais derivadas do solo, aumentando significativamente a possibilidade de recalques. A escolha entre fundações rasas e profundas deve ser feita com base nas condições específicas do solo e no tipo de edificação.

O monitoramento contínuo da estrutura e do solo também é uma prática recomendada para evitar patologias de recalques. Sensores e instrumentos de medição podem detectar movimentos ou deformações em estágios iniciais, permitindo intervenções rápidas e eficazes. Essa abordagem proativa é fundamental para evitar danos maiores e custos elevados de reparo. Posto isso, o controle de água no solo é crucial (SILVA, 2017).

Sendo assim, a presença de água pode alterar as propriedades do solo, causando recalques. Os Sistemas de condução eficientes devem ser projetados e desenvolvidos para evitar o acúmulo de água, especialmente em regiões com alta incidência de chuvas, visto que, isso ajuda a manter a estabilidade do solo e das fundações.

Segundo Velloso e Lopes (2011), as inspeções periódicas podem identificar problemas emergentes, permitindo ações corretivas antes que se tornem graves. Um programa de manutenção bem planejada ajuda a preservar a integridade estrutural ao longo do tempo. O uso de tecnologias avançadas, como modelagem computacional e simulações, pode prever o comportamento da estrutura e do solo sob diferentes condições. Essas ferramentas ajudam a identificar possíveis problemas e a melhorar o projeto para evitar recalques, soluções personalizadas e eficazes.

Por fim, a conscientização sobre a importância de evitar recalques deve ser promovida entre todos os envolvidos no processo de construção. Desde os investidores até os operadores, todos devem compreender os riscos e as melhores práticas para garantir que as construções sejam seguras e protegidas. A colaboração entre diferentes disciplinas e a comunicação eficaz são fundamentais para o sucesso de qualquer projeto.

2.5.1 Reforço de fundações

O reforço de fundações é uma técnica essencial para garantir a estabilidade e segurança de edificações que apresentam problemas estruturais ou que estão sujeitas a novas cargas. Esse processo se torna necessário quando as fundações originais não foram projetadas para suportar alterações no uso da estrutura, como ampliações ou mudanças de ocupação que aumentam significativamente o peso sobre o solo. O reforço adequado pode prolongar a vida útil da edificação e prevenir danos futuros (SANTOS; DANZIGER; DIAS, 2019).

Segundo Vitório e Barros (2012), uma das soluções comuns para o reforço de fundações é a utilização de estacas adicionais. As estacas são perfuradas ao redor da fundação existente para transferir a carga para camadas mais profundas e provenientes do solo. Essa técnica é especialmente útil em solos que sofreram erosão ou compactação atmosférica. A escolha do tipo de estaca, como hélice contínua ou estaca metálica, depende das condições do solo e da carga adicional esperada.



Figura 7- Estaca Hélice contínua- Fonte: Montaferro (2011)

Outra técnica de reforço é a introdução de microestacas, que são elementos de pequeno diâmetro instalados sob pressão. Elas são ideais para locais de difícil acesso ou em situações onde o impacto sobre uma estrutura existente deve ser minimizado. As microestacas podem ser instaladas com equipamentos leves, o que reduz o risco

de danos durante o processo de reforço e permite intervenções em áreas urbanas densas (VASCONCELLOS; MOTA, 2019).

A injeção de calda de cimento ou outros materiais estabilizadores também é uma técnica eficaz para o reforço de fundações. Esse método consiste em injetar material sob pressão no solo ao redor da fundação, aumentando sua capacidade de suporte e impedindo a permeabilidade. Essa técnica é particularmente útil para melhorar a coesão em solos arenosos ou para estabilizar solos argilosos expansivos (BRAGA, 2010).



Figura 8- Injeção de calda de Cimento. Fonte: Solotrat (2021)

Em alguns casos, pode ser necessário utilizar processos de sustentação, que envolvem escavação e substituição de partes das fundações existentes por materiais mais robustos. Esse método é adequado para construções antigas, onde as fundações podem estar deterioradas ou inconvenientes para as cargas atuais. O suporte é um processo complexo que requer cuidadosa execução para evitar o comprometimento da estrutura durante o reforço (NBR 7187, 2003).

O reforço de fundações também pode incluir o uso de sapatas armadas ou vigas de reforço que redistribuem as cargas e protegem maior estabilidade. Essas soluções são aplicáveis em situações em que as fundações originais eram rasas ou convencionais. A instalação deve ser planejada para garantir que as cargas sejam distribuídas de forma uniforme, evitando recalques diferenciais que possam causar

danos estruturais. Além das técnicas de reforço físico, o monitoramento contínuo da estrutura durante e após o processo é crucial (KROTH, 2017).

Sendo assim, o uso de instrumentos de medição e sensores ajuda a garantir que o reforço funcione conforme o esperado e que não ocorram movimentações indesejadas. Essa vigilância contínua permite ajustes rápidos e eficazes se forem detectados problemas, garantindo a segurança da estrutura

Por fim, o planejamento cuidadoso e a avaliação por engenheiros com experiência são fundamentais para o sucesso do reforço de fundações. Cada edificação e situação apresenta desafios únicos, e uma abordagem personalizada é necessária para garantir que as soluções empregadas sejam as mais adequadas. O reforço de fundações requer uma compreensão profunda das condições do solo, da estrutura existente e dos objetivos de longo prazo para a edificação.

2.5.2 Alargamento de base

O alargamento de base é uma técnica utilizada para aumentar a capacidade de carga de fundações existentes, essencial em situações onde a estrutura precisa suportar cargas adicionais ou quando problemas de recalque são identificados. Esse método consiste em ampliar a área de contato da fundação com o solo, distribuindo melhor as cargas e diminuindo a pressão sobre o terreno subjacente (GOMES *et al.*, 2024).

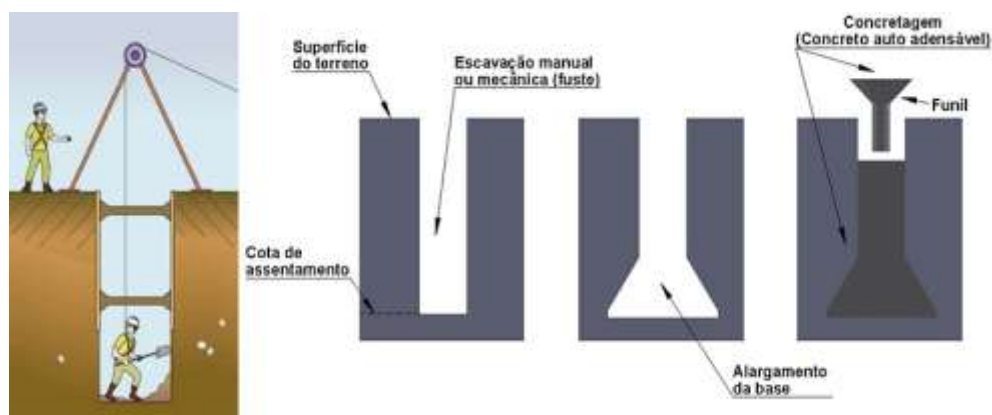


Figura 9- Tubulão a Céu Aberto. Fonte: Basestrauss (2013)

Uma das principais vantagens do alargamento de base é a sua aplicabilidade em estruturas já existentes, permitindo melhorias sem a necessidade de proteção

completa. Isso é particularmente útil em edifícios históricos ou em áreas urbanas densas, onde intervenções mais invasivas seriam inviáveis ou indesejáveis. O processo pode ser realizado com impacto mínimo na operação diária de edificação (NBR 6122, 2010).

O método de aumento pode variar dependendo das condições do solo e do tipo de fundação original. Em muitos casos, são utilizadas sapatas adicionais ou extensões de concreto armado que são inspiradas na base existente. Esse procedimento requer um planejamento cuidadoso para garantir que as novas estruturas integradas sejam comprometidas com a estabilidade da fundação original.

Para garantir a eficácia do alargamento de base, é crucial uma análise geotécnica detalhada. Essa análise avalia as características do solo, identificando sua capacidade de suporte e possíveis variações que podem afetar o desempenho da nova base. Com essas informações, engenheiros podem projetar soluções personalizadas que atendam às necessidades específicas da edificação. Durante o processo de alargamento, é importante monitorar a estrutura para detectar qualquer movimento ou alteração indesejada.

A coordenação entre engenheiros, arquitetos e construtores é essencial para o sucesso do alargamento de base. Cada membro da equipe deve compreender os objetivos do projeto e as limitações do local. Essa colaboração garante que o processo seja demorado de forma eficiente e que todos os aspectos estruturais e estéticos sejam observados. Além de aumentar a capacidade de carga, o aumento de base pode melhorar a resistência da estrutura a fatores ambientais, como a erosão do solo e as variações de umidade (NBR 15575, 2013).

Por conseguinte, o investimento em aumento de base pode agregar valor à propriedade, tornando-a mais atraente para compradores ou investidores. Uma fundação reforçada demonstra um compromisso com a segurança e a durabilidade, aspectos que são altamente valorizados no mercado imobiliário. Portanto, essa técnica não só resolve problemas estruturais, mas também contribui para a valorização do imóvel.

2.5.3 Congelamento de solo

O congelamento de solo é uma técnica geotécnica utilizada para estabilizar temporariamente o solo durante escavações e construções subterrâneas. Essa

técnica envolve a circulação de um fluido refrigerante em tubos instalados no solo, transformando a água presente no gelo e criando uma barreira sólida e impermeável. É especialmente útil em projetos onde o solo é saturado e o controle de água é crítico (ALMEIDA, 2012).

Uma das principais aplicações do congelamento de solo é em projetos de túneis e escavações profundas, onde a presença de água pode representar um grande desafio. Ao congelar o solo, é possível criar uma estrutura de suporte temporário que impeça a penetração e infiltrações, permitindo que as obras sejam realizadas com segurança. O congelamento de solo oferece a vantagem de ser uma solução não invasiva e reversível (SOARES, 2002).

Ao contrário de outras técnicas de estabilização, não há necessidade de introduzir materiais permanentes no solo, ou que preservem suas características originais após o descongelamento. Isso pode ser um fator decisivo em áreas onde a preservação ambiental é uma preocupação.

A técnica pode ser aplicada em uma variedade de solos, desde argilas até areias, e é eficaz em condições onde outras soluções de estabilização são inconvenientes. No entanto, é mais comumente utilizado em solos saturados, onde o congelamento transforma a água em gelo, aumentando a coesão e a resistência do solo (BOTELHO, 2014).

É evidente que o controle preciso da temperatura é essencial para o sucesso do congelamento do solo. Os sistemas de refrigeração avançados permitem monitorar e ajustar as condições térmicas em tempo real, garantindo que o solo congele de maneira uniforme e mantenha sua integridade estrutural durante todo o período necessário.

Apesar das vantagens, o congelamento de solo pode ser uma solução cara e energeticamente intensiva. O custo do equipamento de refrigeração e o consumo de energia devem ser cuidadosamente considerados na fase de planejamento. No entanto, em situações onde a segurança e a eficácia são prioritárias, os benefícios podem ser prescritos o investimento (GORSKI, 2010).

Posto isso, a técnica também requer uma compreensão detalhada das condições geológicas e hidrológicas do local. Uma análise geotécnica completa é necessária para determinar a previsão do congelamento e planejar a disposição dos

tubos de resfriamento, garantindo que toda a área de interesse seja congelada de maneira eficaz.

Por fim, o congelamento de solo é uma técnica poderosa que oferece soluções seguras e eficazes para desafios complexos de engenharia. Quando bem planejado e executado, pode transformar solos instáveis em barreiras sólidas, permitindo a realização de obras em condições que de outra forma seriam impossíveis. Isso se torna uma ferramenta valiosa em projetos de infraestrutura ao redor do mundo.

2.6 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

Os recalques diferenciais representam um dos desafios mais complexos na engenharia civil, afetando diretamente a segurança e a funcionalidade das edificações. Esses recalques ocorrem quando diferentes partes de uma estrutura se assentam em taxas variáveis devido a condições desiguais de solo ou carga excessiva. Para mitigar esses efeitos, diversas técnicas de recuperação estrutural foram executadas ao longo dos anos, cada uma com suas características e aplicações específicas (SANTOS, 2024).

Um dos métodos mais tradicionais é o uso de estações de perfuração. Este método consiste na inserção de estacas profundas no solo, que transferem a carga da estrutura para camadas mais firmes e resultados. As estacas podem ser feitas de concreto, aço ou madeira, dependendo das condições do solo e da carga da estrutura. A escolha do material e do tipo de estaca é crucial para o sucesso do processo (GONÇALVES; HUET; LURDES, 2018).

Segundo a Oliveira (2014), outra técnica eficaz é a injeção de resinas expansivas. Este método envolve a injeção de resinas especiais no solo abaixo da estrutura afetada, que ao expandir, eleva e nivela a edificação. Essa técnica é especialmente útil em situações onde é necessário um rápido retorno à ocupação, pois o procedimento pode ser realizado com o mínimo de interrupção das atividades no local.

A escolha entre estações de perfuração e injeção de resinas expansivas depende de fatores como a profundidade do recalque e o tipo de solo. As estacas são mais invasivas, mas oferecem estabilidade a longo prazo, enquanto as resinas são rápidas e menos invasivas, mas podem ser menos consolidadas em certos solos.

Conforme Lopes (2011), a estabilização do solo por meio de colunas de brita é outra abordagem eficaz. Este método consiste na inserção de colunas de brita compactada no solo, melhorando sua capacidade de suporte e drenagem. É ideal para solos moles ou arenosos, onde a drenagem rápida pode prevenir recalques futuros. As microestacas também têm sido extremamente empregadas, especialmente em ambientes urbanos onde o espaço é limitado. Estas são pequenas escadas de aço ou concreto que podem ser instaladas com o mínimo de perturbação à estrutura existente, oferecendo uma solução robusta para recalques diferenciais.

Sendo assim, enquanto as colunas de brita são mais adequadas para solos que parecem de melhor drenagem, as microestacas são ideais para áreas urbanas com restrições de espaço. Ambas as técnicas exigem uma análise geotécnica detalhada para garantir sua eficácia.

O uso de sapatas rígidas é outra solução comum. Estas estruturas de concreto são projetadas para distribuir uniformemente as cargas da edificação sobre o solo, aumentando assim a estabilidade da fundação. Elas são particularmente eficazes em solos com baixa capacidade de carga, onde uma distribuição uniforme de carga pode evitar recalques adicionais. Uma técnica de sobreescavação também é utilizada para tratar recalques diferenciais. Este método envolve a remoção do solo abaixo da fundação e suas substituições por material mais resistente (ARAÚJO *et al.*, 2016).

As sapatas rígidas e a sobreescavação são métodos que exigem precisão e conhecimento técnico. Embora as sapatas ofereçam uma solução mais direta, a sobreescavação pode ser mais arriscada, mas também mais eficaz em certos cenários de solo.

A aplicação de mantas geossintéticas é outra alternativa moderna disponível. Essas mantas são colocadas entre a estrutura e o solo, ajudando a distribuir as cargas de maneira mais uniforme e proporcionando a pressão sobre áreas específicas do solo. Além das mantas, o reforço estrutural com fibras de carbono tem sido cada vez mais utilizado. As fibras de carbono são leves, mas extremamente fortes e resistentes, podendo ser aplicadas diretamente em áreas afetadas para aumentar a resistência estrutural da edificação (COSTA *et al.*, 2015).

As mantas geossintéticas e as fibras de carbono representam soluções inovadoras que oferecem resistência sem adicionar peso significativo à estrutura. Sua aplicação deve ser cuidadosamente planejada para maximizar os benefícios. Em

conclusão, a recuperação estrutural para recalques diferenciais envolve uma gama diversificada de técnicas, cada uma adaptada a diferentes condições de solo e requisitos estruturais. A escolha do método mais adequado deve ser baseada em uma análise detalhada das condições específicas de cada projeto.

2.6.1 Fatores de Influência

A influência apenas no desempenho das construções é um aspecto crítico que pode determinar a durabilidade, a segurança e a funcionalidade de uma edificação. O solo não é apenas um suporte físico; suas propriedades e comportamento sob carga diretamente relacionadas a uma estrutura que se comporta ao longo do tempo. A análise de cuidados com essas interações é essencial para garantir que as edificações atendam aos requisitos de desempenho e segurança (IWAMOTO, 2000).

Segundo Colares (2006), um dos principais fatores que influenciam o desempenho das construções é a capacidade de carga do solo. Solos com baixa resistência podem resultar em assentamentos excessivos, o que pode comprometer a integridade estrutural. Se a capacidade de carga não for adequada para suportar as cargas aplicadas, a estrutura pode apresentar deformações, fissuras e, em casos extremos, colapsos. Portanto, a caracterização geotécnica do solo é fundamental na fase de projeto.

Além da capacidade de carga, a compressibilidade do solo também desempenha um papel significativo. Solos altamente compressíveis podem levar a assentamentos diferenciais, onde diferentes partes da estrutura se deformam a taxas diferentes. Isso pode causar problemas estéticos e funcionais, como portas e janelas que não abrem corretamente, além de danos estruturais mais sérios. Para evitar essas situações, é fundamental realizar uma análise detalhada da compressibilidade do solo.

A presença de água no solo é outro fator crucial que influencia o desempenho das construções. A variação do nível do lençol freático pode alterar as propriedades do solo, impactando sua resistência e estabilidade. Solos saturados podem perder capacidade de carga e se tornarem mais suscetíveis à liquefação em casos de tremores de terra. Medidas de drenagem e controle da umidade são, portanto, essenciais para manter a estabilidade das fundações e a integridade da estrutura (SOUZA, 2019).

A interação dinâmica entre o solo e a estrutura também é um aspecto importante, especialmente em regiões propostas aos sismos. Durante um terremoto, as forças dinâmicas podem amplificar os efeitos nas estruturas, causando danos significativos. A análise sísmica, que considera a resposta do solo à vibração, é fundamental para o projeto de edificações em áreas sísmicas, garantindo que as estruturas possam resistir a essas forças (SILVA, 2015).

Nessa ótica, a escolha do tipo de fundação é uma decisão crítica que impacta diretamente o desempenho da construção. Fundamentos rasos podem ser mais econômicos e adequados para solos resultados, enquanto fundações profundas são permitidas em solos menos detalhados ou em estruturas de maior porte. Uma análise adequada para determinar o tipo de fundação ideal é essencial para garantir a segurança e a eficiência das edificações.

A distância do solo também pode afetar o desempenho das construções ao longo do tempo. Fatores como erosão, contaminação e manipulação física podem alterar as características do solo, comprometendo sua capacidade de suportar estruturas. Monitorar e manter a qualidade do solo ao redor das edificações é necessário para garantir a longevidade e a segurança das construções (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2014).

Segundo Sousa (2019), a instrumentação e o monitoramento do desempenho das construções em relação ao solo são práticas cada vez mais comuns. Equipamentos que medem deformações, pressão e vibrações oferecem dados valiosos para a avaliação contínua da interação solo-estrutura. Esses dados permitem intervenções proativas, garantindo que quaisquer problemas sejam identificados e corrigidos antes que se tornem críticos.

Por fim, a influência do solo no desempenho das construções é um tema complexo que envolve a colaboração entre engenheiros, arquitetos e geotécnicos. Uma abordagem interdisciplinar é fundamental para enfrentar os desafios do projeto e da construção, garantindo que as edificações sejam seguras, funcionais e funcionais ao longo de sua vida útil. A compreensão aprofundada dessa interação é crucial para o sucesso de qualquer empreendimento de construção.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma revisão sistemática da literatura, adotando uma abordagem qualitativa. Foram selecionados estudos primários sobre o tema no google acadêmico, exclusivamente pela variedade de temas relacionados com o objetivo da pesquisa. O foco esteve nas palavras-chave da pesquisa: recalque diferencial; fundações; engenharia geotécnica; estabilidade estrutural; deformações e análise de solo.

A pesquisa bibliográfica fundamenta-se em estudos científicos realizados por outros pesquisadores. Nesse método, a base de construção são trabalhos relacionados ao tema e ao assunto em questão, como dissertações, artigos, testes, livros e outras obras de caráter científico que abordem o tema proposto (GIL, 2010).

A revisão da literatura é caracterizada por sua abordagem metodológica abrangente, permitindo aos autores incluir tanto trabalhos experimentais quanto não experimentais. Isso amplia a compreensão do tema, abrangendo todas as áreas possíveis de análise. Assim, é possível incorporar uma variedade de artigos que combinem dados teóricos e empíricos, analisando questões-chave sob diferentes perspectivas teóricas. Dessa forma, obtém-se uma visão panorâmica da diversidade de temas e sua relevância (WHITTEMORE; KNAFL, 2005).

Uma pesquisa qualitativa permite que os pesquisadores analisem pistas, conectando amostras e observações observadas às percepções e sensações de aspectos específicos que despertam. No entanto, os pesquisadores focam em utilizar uma subjetividade de variáveis que indicam qualificações negativas ou positivas dos participantes para atingir seus objetivos (GIL, 2010).

3.2 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Os critérios de inclusão e exclusão são essenciais em qualquer tipo de trabalho, pois ajudam a direcionar melhor a pesquisa em andamento. Eles determinam quem pode ou não participar do estudo ou se um determinado trabalho é relevante para ser utilizado (GIL, 1999).

Quadro 2- Critérios de Inclusão e Exclusão

Critérios	Descrição
Critérios de Inclusão	-Estudos publicados no Brasil entre 2010 e 2024. -Disponíveis para download. -Escritos em língua portuguesa. -Devem abordar o tema alvo da pesquisa. -Precisam responder aos objetivos propostos nos tópicos investigados.
Critérios de Exclusão	-Estudos publicados fora do período estabelecido (antes de 2010 ou após 2024). -Não disponíveis para download. -Escritos em outro idioma que não seja português. -Não se adequam aos objetivos da pesquisa -Estudos publicados em língua estrangeira

Fonte: Elaborado pelas autoras (2024)

3.3 COLETA DE DADOS E ANÁLISE

Numa revisão bibliográfica, a análise dos estudos selecionados é fundamental para alcançar resultados de qualidade. O conteúdo deve ser avaliado constantemente para garantir que seja relevante e contribua positivamente para a pesquisa. Quanto melhor a qualidade dos trabalhos escolhidos, maior será a qualidade do resultado final (DEMO, 2004).

A coleta de dados e análise desta monografia foi realizada de forma criteriosa e intensiva ao longo de um período delimitado entre setembro e dezembro de 2024. Durante esse intervalo, foram selecionados e analisados diversos trabalhos acadêmicos que atendessem aos critérios previamente estabelecidos para compor a pesquisa. O processo iniciou-se com a busca e filtragem de materiais relevantes, seguida pela triagem inicial, na qual foram avaliados o título, os objetivos e os principais resultados de cada estudo.

Assim, apenas aqueles que apresentavam coerência com a temática central e que poderiam contribuir de forma significativa para a discussão e os resultados foram incluídos na análise final. Além disso, os trabalhos passaram por uma leitura crítica e aprofundada, garantindo que suas metodologias e conclusões fossem válidas e embasadas cientificamente. Esse processo permitiu uma seleção rigorosa de conteúdos, assegurando que a fundamentação teórica e empírica da pesquisa estivesse alinhada com os objetivos propostos.

3.4 RISCOS E BENEFÍCIOS

É importante destacar que toda pesquisa envolve riscos e benefícios. Quando seres humanos são incluídos como principais amostras, os pesquisadores devem se comprometer com a supervisão ética em todo o processo científico. No entanto, uma pesquisa bibliográfica apresenta menos riscos e é mais fácil de realizar, pois requer apenas a anotação das informações extraídas de outras obras, dando o devido crédito aos autores para evitar plágio (ARAÚJO, 2003).

No contexto de um trabalho científico sobre os impactos do recalque diferencial em edificações, os riscos são um ponto central de investigação. O recalque diferencial pode comprometer a estabilidade estrutural, resultando em fissuras, deformações e, em casos extremos, colapso parcial ou total da edificação. Esses problemas não representam apenas um perigo para a segurança dos ocupantes, mas também acarretam custos elevados de reparo e manutenção.

A pesquisa científica, portanto, se concentra em identificar os fatores que são importantes para esses riscos, como características do solo, técnicas de construção convincentes e cargas desiguais, a fim de desenvolver estratégias de mitigação eficazes.

Os benefícios da condução de uma revisão sistemática sobre este tema são substanciais. O trabalho científico pode oferecer insights valiosos para engenheiros e arquitetos, promovendo práticas de construção mais seguras e eficientes. Ao compreender os mecanismos e consequências do recalque diferencial, assim, os pesquisadores podem recomendar soluções inovadoras e materiais mais adequados que previnam ou minimizem esses impactos. A pesquisa contribui para o desenvolvimento de normas e diretrizes que garantam a durabilidade e segurança das edificações.

3.5 ASPECTOS ÉTICOS

A pesquisa científica, especialmente em revisões da literatura, envolve aspectos importantes que garantem a integridade do processo. A honestidade e a transparência são fundamentais; os pesquisadores devem ter clareza sobre suas fontes, critérios de seleção e potenciais conflitos de interesse. Além disso, é essencial

que os autores evitem o plágio, atribuindo corretamente as ideias e descobertas de outros, respeitando o trabalho alheio e contribuindo para um ambiente acadêmico ético.

Outro aspecto importante é o respeito pela diversidade de perspectivas e a inclusão de estudos relevantes, evitando viés na seleção da literatura. Os pesquisadores devem considerar a representatividade dos dados e garantir que suas conclusões sejam fundamentadas em uma análise abrangente e equilibrada. Isso não apenas fortalece a atualização da pesquisa, mas também promove um diálogo científico mais rico e construtivo, fundamental para o avanço do conhecimento.

Na condução desta monografia, houve um esforço para respeitar a ética da pesquisa científica, valorizando os trabalhos utilizados e respeitando os direitos autorais. O plágio foi evitado ao optar por citações indiretas, com referências incluídas no corpo do texto e na lista de referências. Assim, os aspectos éticos foram atendidos para estruturar cada ponto temático de acordo com as regras vigentes da elaboração de uma monografia, além de seguir as orientações do manual da instituição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Para a construção adequada dos resultados e discussão foram feitas buscas por materiais bibliográficos em bases de dados online. Através dessa busca, foram encontradas 30 obras (artigos científicos). A partir da leitura do resumo e aplicação dos critérios de exclusão foi feita a realização de uma triagem, onde foram excluídas 17 obras que não condiziam com o tema a ser tratado nessa pesquisa. Restando 13 artigos que atenderam os critérios de inclusão e foram selecionados para a embasar o tópico de resultados e discussão dessa monografia (Figura 10).

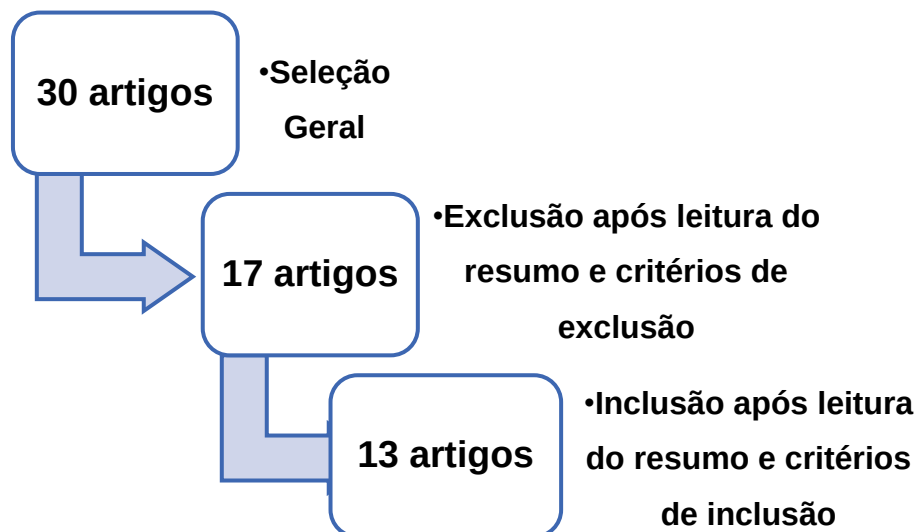


Figura 10 - Fluxograma de inclusão dos estudos. Elaborado pelas autoras (2024).

Os 13 artigos selecionados (A01 a A13) foram escolhidos conforme os objetivos propostos e utilizados principalmente para descrever os resultados deste estudo e estabelecer correlações com outros autores, fundamentando a discussão. Essas referências são apresentadas no Quadro 3. Neste cenário, houve a disposição dos seguintes subtítulos: Principais causas do recalque diferencial em diferentes tipos de fundações, como a interação solo-estrutura influencia no desempenho das construções e soluções para redução dos referidos impactos.

Quadro 3- Produção Científica Brasileira sobre o referido tema

Nº	BASE DE DADOS	TEMA	METODOLOGIA	QR CODE
A01	Google acadêmico	Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque de diferencial de fundações	Revisão da literatura	
A02	Scielo	Análise das manifestações patológicas devido ao recalque diferencial das fundações	Caráter teórico e investigativo	
A03	Google acadêmico	Patologias nas estruturas de concreto armado e alvenaria de vedação devido ao recalque diferencial nas fundações	Estudo de revisão bibliográfica	
A04	Scielo	Análise das patologias estruturais em fundações: causas, diagnósticos e soluções	Estudo de revisão bibliográfica	
A05	Scopus	Estudo aprofundado de casos reais de recalque diferencial em fundações	Estudo de revisão bibliográfica	
A06	Google acadêmico	Análise dos efeitos da aplicação do modelo interação solo-estrutura em edifício com fundações superficiais tipo sapata	Estudo de caso	
A07	Google acadêmico	Análise da interação solo-estrutura em edifícios com fundações superficiais a partir do método dos elementos finitos	Estudo de caso	

A08	Scielo	Análise do Efeito do Vento e da Interação Solo-Estrutura para uma Edificação de 20 Pavimentos Utilizando Concreto de Alto Desempenho	Estudo de caso	
A09	Google acadêmico	Avaliação do efeito da interação solo-estrutura na redistribuição de esforços em pórticos planos	Estudo de caso	
A10	Scielo	Utilização da técnica de permeation grouting para solução de recalques diferenciais em edificações	Estudo de caso e revisão bibliográfica	
A11	Google acadêmico	Patologia em estruturas de concreto armado: um estudo de caso para sanar um problema em uma indústria alimentícia	Estudo de caso e revisão bibliográfica	
A12	Scopus	Patologia de estruturas sujeitas a recalque em solos colapsíveis	Revisão bibliográfica	
A13	Google acadêmico	Reforço de fundação com estudo de caso utilizando o método estaca mega análise em uma obra no município de Araraquara– SP. Recima21	Revisão bibliográfica	

Fonte: Elaborado pelas autoras (2024)

4.1.1 Principais causas do recalque diferencial em diferentes tipos de fundações

Conforme o A01, as fissuras, trincas e rachaduras nas edificações são frequentemente causadas por recalque diferencial de fundações, que ocorre quando

diferentes partes de uma estrutura se assentam de maneira desigual no solo. Essa observação pode ser provocada por várias razões, como variação nas características do solo, compactação específica, mudanças no lençol freático, ou mesmo erros no dimensionamento e execução das fundações.

Solos argilosos, por exemplo, podem se expandir ou contrair alterações de umidade, enquanto solos arenosos podem se compactar sob carga. Quando uma fundação não é projetada para lidar com essas variações, a estrutura sofre esforços não uniformes, resultando em fissuras que podem comprometer a integridade e a segurança do edifício. A identificação precoce e a correção dessas falhas são essenciais para evitar danos mais graves (A01).

No que tange ao A02, as manifestações patológicas decorrentes do recalque diferencial das fundações, revela que tais falhas estruturais são frequentemente sinais de problemas mais profundos relacionados ao solo e à construção. Ao investigar fissuras, trincas e deformações, é possível concluir que a falta de uniformidade no assentamento das fundações resulta em recortes desiguais que afetam a integridade do edifício.

Os estudos indicam que as medidas de prevenção e correção exigem uma abordagem integrada, que considera a qualidade do solo, o projeto adequado das fundações e a execução precisa das obras. Assim, a compreensão detalhada dessas manifestações permite implementar soluções que aumentem a durabilidade e a segurança das estruturas, evitando danos futuros e custos elevados de reparo (A02).

Segundo Corsini (2010), as fissuras, manifestação patológica mais frequente em estruturas, são resultado da tensão do material e pode ter origem de situações ocorridas internamente ou externamente à estrutura. As ações externas podem ser movimentações térmicas, hidroscópicas, sobrecarga, deformações de elementos ou recalques diferenciais. Já nas ações internas, podem resultar da retração do cimento ou alteração química dos materiais. E ainda podem existir fissuras em estruturas por motivos de fenômenos naturais ou por procedimentos em obras vizinhas.

Sendo assim, conforme os autores supracitados as fissuras, trincas e rachaduras nas edificações são problemas comuns que podem comprometer a segurança e a estética das construções. Essas deformações podem ser causadas por diversos fatores, como assentamento desigual do solo, variações térmicas, umidade excessiva ou até erros de projeto e execução. Além de afetar a integridade estrutural,

essas falhas podem permitir a infiltração de água, causando danos adicionais, como corrosão de armaduras e interferências de materiais.

Segundo o A03, as patologias nas estruturas de concreto armado e alvenaria de instalação, causadas pelo recalque diferencial nas fundações, destacam a vulnerabilidade dessas construções a assentamentos irregulares. A análise dos danos revela que fissuras e deslocamentos são comuns, comprometendo tanto a estética quanto a integridade estrutural. Conclui-se que essas patologias resultam principalmente de uma interação interativa entre o tipo de solo, o dimensionamento das fundações e a execução das obras.

Para mitigar esses problemas, é essencial adotar métodos construtivos que considerem as características geotécnicas locais e garantam uma execução precisa. A implementação de práticas de monitoramento contínuo também se mostra eficaz na prevenção de danos progressivos, garantindo a longevidade e a segurança das edificações.

O A04 destaca um estudo sobre patologia estrutural em fundações, visto que, destaca que a integridade e durabilidade de uma edificação depende de uma abordagem sistemática que inclua investigação geotécnica e um projeto estrutural adequado ao solo. Negligenciar essas etapas pode resultar em patologias graves, comprometendo a estrutura e gerando altos custos de reparo ou perda de construção.

Assim, problemas como recalques diferenciais, erosões e falhas na escolha do tipo de fundação são comuns, ressaltando a importância do correto dimensionamento estrutural e da investigação geotécnica aprofundada. O recalque diferencial, por exemplo, é frequente em solos heterogêneos, provocando fissuras e comprometendo a estabilidade (A04).

Vieira (2017) evidencia que uma das principais causas de anomalias são encontradas na má execução dos processos construtivos. As falhas nos momentos de concretagem geraram dessimetrias de algumas vigas e lajes, trazendo para elas esforços não previstos e sobrecarga na estrutura.

Nessa vertente, a vulnerabilidade das construções em assentamentos irregulares é um problema significativo, pois essas áreas frequentemente carecem de planejamento urbano adequado e de infraestrutura básica. A ausência de um correto dimensionamento estrutural pode levar a riscos sérios de colapso, especialmente em terrenos instáveis ou sujeitos a deslizamentos. Além disso, a falta de uma investigação

geotécnica aprofundada agrava a situação, já que o desconhecimento das características do solo pode resultar em fundações inadequadas das edificações.

Conforme o A05, evidencia um estudo aprofundado de casos reais de recalque diferencial em fundações, no qual revela a complexidade e a importância de uma análise detalhada e personalizada para cada situação. Os resultados demonstram que os recalques são frequentemente causados por uma combinação de fatores, como variações no tipo de solo, cargas desiguais e condições ambientais. A pesquisa mostra que intervenções preventivas e corretivas, como o reforço das fundações e a melhoria do solo, são essenciais para mitigar os efeitos negativos.

Além disso, a implementação de tecnologias de monitoramento contínuo pode ajudar a antecipar problemas futuros, garantindo a segurança e a estabilidade das estruturas. Conclui-se que um diagnóstico preciso e soluções adaptadas são fundamentais para o sucesso no manejo de recalques diferenciais (A05).

Nessa vertente, foi possível evidenciar que o recalque diferencial em fundações é um desafio significativo na engenharia civil, resultante de uma combinação de fatores como as características do solo, a distribuição de cargas e as condições hídricas. Os Solos heterogêneos, especialmente aqueles com variações de umidade, como argilas expansivas, são particularmente problemáticos. Além disso, cargas desiguais, frequentemente decorrentes de projetos estruturais complexos ou posteriores, podem agravar o problema.

Portanto, as fundações rasas são mais vulneráveis a influências superficiais, enquanto as fundações profundas podem ser afetadas por variações em camadas mais profundas do solo. Portanto, compreender e mitigar essas causas através de um planejamento geotécnico cuidadoso e estratégias de projeto adequadas é essencial para garantir a estabilidade estrutural e a longevidade das edificações.

4.1.2 Como a interação solo-estrutura influencia no desempenho das construções

Os resultados do A06 indicaram uma redistribuição das cargas nos elementos estruturais, onde os pilares centrais experimentaram uma diminuição da carga, enquanto os pilares nas extremidades apresentaram um aumento. Também foi

apresentado um deslocamento horizontal maior nos casos em que foi aplicado o interação solo-estrutura (ISE) no prédio de nove andares.

Essa deslocação foi aproximadamente 10% superior em comparação com a modelagem utilizando apoios fixos. Além disso, houve um incremento nos momentos fletores nas vigas, conforme a comparação anterior. As considerações enfatizaram as variações nos valores dos parâmetros analisados entre a aplicação de apoios fixos e o ISE, destacando a importância de considerar a estrutura como um sistema mais abrangente, evitando simplificações excessivas que são comuns na prática cotidiana (A06).

Segundo o A07, os resultados demonstraram a redistribuição dos esforços solicitados nos modelos com ISE em comparação aos modelos com apoios engastados, evidenciando uma migração de carga dos pilares centrais para os periféricos. As variações foram observadas em edifícios mais altos e em modelos com solo de menor resistência, sendo que as alterações foram mais significativas nos primeiros andares de ambas as construções.

Em relação aos deslocamentos, registrou-se um aumento nos deslocamentos horizontais, enquanto ocorreu um aumento nos recalques diferenciais e distorcionais nas estruturas com apoios flexíveis. Assim, conclui-se que a desconconsideração da deformabilidade e a influência do solo na estrutura comprometem o realismo dos resultados, ressaltando a importância de incorporar uma interação solo-estrutura para uma análise estrutural mais precisa e confiável (A07).

Na ótica de nascimento *et al.* (2023), a ISE é fundamental na análise de edificações, pois considera a influência mútua entre a estrutura e o solo. Em um prédio, o ISE afeta a redistribuição de esforços, as posições e a estabilidade global. Essa abordagem permite identificar como as características da única interação com os elementos estruturais, possibilitando um dimensionamento mais preciso. Ignorar o ISE pode resultar em subestimativas nos esforços atuantes e, consequentemente, em falhas estruturais. Assim, incorporar um ISE no projeto é crucial para garantir a segurança e a durabilidade das construções, especialmente em áreas com solos variados ou condições geotécnicas desafiadoras.

No que tange ao A08, os resultados da interação solo-estrutura permitiram observar, de maneira quantitativa e gráfica, uma distribuição de esforços significativamente maior em comparação à ausência do ISE no projeto.

Especificamente, houve um aumento de 5,23% no somatório dos esforços atuantes nos elementos estruturais quando o Sistema de Interação Solo – Estrutura (SISEs) foi ativado. Através da interação de cargas de vento e da interação solo-estrutura, foi possível identificar esforços que normalmente não são considerados no dimensionamento padrão realizado pelos projetistas. As análises convencionais, que utilizam apoios indeslocáveis, não refletem a realidade. Assim, o ISE fornece uma compreensão mais precisa e realista da funcionalidade de uma edificação.

O A09 analisou a influência da interação solo-estrutura (ISE) na configuração dos esforços internos de pórticos. Constatou-se que o ISE promoveu uma redistribuição de esforços, com variações significativas nos momentos de flechas aplicadas na fundação, enquanto os esforços normais (reações de apoio) incluíram mudanças menos relevantes. Observe-se que essas variações foram mais expressivas em relação ao primeiro tramo dos pilares, que conecta a sapata à superestrutura. Assim, o ISE demonstrado é crucial para uma análise estrutural mais realista e precisa.

Portanto, a utilização de apoios com vínculos elásticos na aplicação do ISE resultou em uma reorganização dos esforços internos nos pórticos específicos, embora sem diferenças significativas entre os tipos de solo. O estudo paramétrico, que atualmente uma flexibilização de 30% na fraqueza da ligação viga-pilar, demonstrou que essa abordagem gerou uma redistribuição de esforços mais acentuada do que a simples adoção do ISE, impactando também as mudanças horizontais da estrutura e, conseqüentemente, sua estabilidade global (A09).

Os resultados obtidos revelaram que a ISE desempenha um papel vital no desempenho das construções, afetando diretamente a redistribuição de esforços internos e a estabilidade das edificações. A análise revelou que as estruturas que contribuem para o ISE apresentam uma melhor adequação aos esforços reais, resultando em posições horizontais mais controladas e recalques diferenciais restritos. Em edifícios com solos menos resistentes, a influência do ISE é ainda mais pronunciada, com variações significativas nos momentos fletores e nas respostas de apoio. A modelagem que incorpora o ISE também mostrou um aumento na eficiência do dimensionamento das fundações, evitando sobrecargas e possíveis falhas estruturais. Esses resultados ressaltam a necessidade de integrar o ISE nas práticas

de projeto, garantindo construções mais seguras e seguras em diferentes condições geotécnicas.

4.1.3 Soluções para redução de impactos do recalque diferencial em edificações

Conforme o A10, a maioria das causas de recalque está ligada a problemas no solo, que podem ser previstas com um estudo adequado, compactação ou outras medidas antes da construção. Assim, evitam-se desconfortos para os usuários, retrabalhos ou gastos futuros com reparos. Este trabalho buscou demonstrar o uso do *Permeation Grouting* para solucionar as patologias apresentadas, mostrando no estudo de caso que a técnica é facilmente aplicável em situações do dia a dia, com execução rápida e simples.

Assim, utiliza-se equipamentos de fácil compreensão que apresentam resultados confiáveis e evidentes. O estudo de caso apresentado confirma as afirmações sobre o uso da técnica para resolver recalques diferenciais, visto que o caso na EAMCE realizado em 2017 não apresentou, até agora, problemas relacionados ao reparo feito com a injeção (A10).

O estudo de Frias *et al.* (2020) propõe uma abordagem que utiliza a modelagem de superfícies para representar e simular detalhadamente os movimentos e recalques do solo. Isso é feito por meio de benchmarking, uma ferramenta de gestão estratégica muito utilizada em diversas áreas, incluindo a engenharia, para comparar processos, técnicas e resultados com aquelas de empresas ou projetos reconhecidos pelas melhores práticas. No contexto do controle de recalques, o benchmarking serve para identificar soluções eficazes em outras obras ou por outras empresas em novos projetos.

Segundo o A11, durante sua vida útil, as edificações podem sofrer efeitos de manifestações patológicas que afetam a estética, funcionalidade e estrutura. Edificações em alvenaria estrutural são particularmente vulneráveis a essas manifestações devido ao uso de materiais frágeis, o que pode ocorrer tanto na fase de construção quanto na de ocupação. As patologias diminuem a durabilidade e a vida útil das edificações, permitindo infiltrações, aumento de micro-organismos e redução do valor do imóvel, por isso a importância da sua identificação com antecedência.

Na sequência, foram abordadas também técnicas de recuperação superficial e estrutural das patologias, além de medidas como o desvio de redes pluviais próximas e a impermeabilização do solo da edificação, ações que ajudam a prolongar a vida e a segurança da construção (A11).

Além de identificar as causas e manifestações das patologias, o estudo de Pereira Júnior, Neves e Fagundes (2020) sugere estratégias de prevenção para evitar o agravamento de problemas nas fundações. Isso inclui a seleção adequada do tipo de fundação, considerando as condições geotécnicas do local, a elaboração de projetos detalhados que levam em conta as características do solo e as cargas aplicadas, e a execução cuidadosa das fundações, utilizando materiais de alta qualidade e técnicas específicas.

Considerando as medidas preventivas, um controle adequado enfatiza que o monitoramento, por si só, é uma maneira eficaz de prevenir possíveis tragédias e grandes colapsos estruturais. Além disso, serve como uma ferramenta complementar na busca por soluções (BORTOLI *et al.*, 2019).

No que tange ao A12, afirma-se que solos colapsáveis tendem a causar recalques em edificações. Quando expostos a fatores como a água, esses solos podem mudar de forma, compactando-se, ou que levam o edifício a apresentar problemas como fissuras, rachaduras e recalques. Tais problemas fazem com que o edifício perca o prumo e até mesmo possa ser condenado ou desmorone, comprometendo a segurança e o conforto dos usuários e afetando sua durabilidade.

Para mitigar esses problemas, manutenções preventivas e intervenções podem reduzir os efeitos em solos colapsáveis, reforçando a estrutura da edificação. A elaboração de um projeto é essencial, pois permite analisar o tipo de solo, por meio de ensaios, e definir métodos construtivos que minimizem os impactos de solos inadequados para construções (A12)

Correia (2014) aborda em seu estudo as principais técnicas de reforço, também discutidas nos trabalhos de Ortega e Pedreiro (2023). Entre as mais utilizadas estão: injeções de cimento, estacas raiz, estacas mega (também chamadas de estacas prensadas), estacas convencionais, reparo ou reforço de materiais, enrijecimento estrutural, aumento da área de suporte, hélice contínua, estaca ômega, sapatas, tubulões, estas adicionais e melhorias nas condições do solo.

Por fim, no A13, destacou-se as principais causas de recalques em fundações e as patologias decorrentes da movimentação do solo. Através da análise de um estudo de caso, foi compartilhada uma experiência profissional com a intenção de expandir o conhecimento sobre patologias do solo e contribuir com o técnico. Concluiu-se que a melhor forma de prevenir recalques em fundações é realizar estudos geotécnicos e análises de solo, sempre com a supervisão de um profissional capacitado.

Assim, esse especialista pode sugerir investigações adicionais e um número de sondagens maior do que o inicialmente previsto no projeto. Esse processo deve seguir orientações técnicas para que os esforços da estrutura sejam especialmente apoiados pelo solo conforme projetado.

Por conseguinte, conforme destacado pelos autores acima, para reduzir os impactos do recalque diferencial em edificações, é essencial adotar uma abordagem integrada que abrange desde o projeto até a construção. Primeiramente, uma investigação geotécnica específica permite a identificação das características do solo, orientando a escolha do tipo de fundação mais adequado.

A utilização de fundações profundas, como estacas, pode ser eficaz em solos heterogêneos ou instáveis. Além disso, o reforço do solo com técnicas de compactação. Por fim, o monitoramento contínuo da edificação após a construção permite a identificação precoce de problemas, possibilitando intervenções rápidas e eficazes.

5 CONCLUSÃO

Com ênfase na problemática levantada, concluiu-se que o recalque diferencial em edificações é uma preocupação crítica que demanda atenção cuidadosa durante o planejamento e execução de projetos de construção. Identificou-se que uma investigação detalhada das características geotécnicas do solo, aliada a um projeto de fundação bem elaborado, é essencial para mitigar os riscos associados. Além disso, o monitoramento contínuo das condições do solo e das estruturas é vital para garantir a integridade e a durabilidade das construções.

No que tange ao objetivo geral, evidenciou-se que o recalque diferencial em edificações resulta em consequências graves, como fissuras nas paredes, portas e janelas desalinhadas, além de possíveis danos estruturais graves, que comprometem a segurança e funcionalidade do prédio. Essas deformações não afetam apenas a estética, mas também podem levar a custos elevados de reparo e manutenção. Em casos extremos, uma supervisão estrutural pode ser tão comprometida que coloca em risco a vida dos ocupantes e as previsões econômicas da construção.

Sobre os objetivos específicos, destaca-se que o recalque diferencial em diferentes tipos de fundações é frequentemente causado por condições heterogêneas de solo, compactação envolvente e variações na distribuição de cargas. A análise da interação solo-estrutura é fundamental para entender como esses elementos se influenciam mutuamente e interagem o desempenho das construções. Essa compreensão permite otimizar projetos, garantindo a estabilidade e a durabilidade das edificações, além de minimizar riscos associados a falhas estruturais.

Para mitigar os impactos nas estruturas, é essencial adotar soluções como o reforço das fundações, o uso de materiais flexíveis ou adaptativos, e a implementação de técnicas avançadas de análise e monitoramento estrutural. Essas estratégias ajudam a garantir a estabilidade e a durabilidade das edificações, minimizando os riscos associados ao recalque diferencial.

Portanto, essa monografia destaca-se como uma contribuição valiosa para acadêmicos e profissionais de engenharia que desejam aprofundar seu entendimento sobre essa temática. Ao sintetizar as principais causas e consequências do recalque diferencial, além de explorar soluções eficazes para mitigação, o trabalho oferece uma base sólida de conhecimento que pode ser aplicada tanto em contextos acadêmicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2022.

ALMEIDA, G. M.; CARVALHO, C. G. **Patologias em edificações: causas, impactos e soluções**. São Paulo: Editora Construção Civil, 2021.

ASOPE, E. **Fissura: como resolver essa patologia em paredes**. 2012. Disponível em: <https://www.asope.com.br/single-post/fissura-como-resolver-essa-patologia-em-paredes>. Acesso: 11 de marc. de 2025.

ALMEIDA, A. P. R. P.; MENDONÇA, D. V. C.; BRANDÃO, E. V. **Interação solo-estrutura e análise de redistribuição de cargas em pilares devido a recalques**. 2014. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

ARAÚJO, M. et al. **Estudo de fundações do tipo sapatas de concreto armado rígidas e flexíveis considerando à compressão simples, flexão normal composta e flexão oblíqua composta**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2016.

ARAÚJO, L. Z. S. Aspectos éticos da pesquisa científica. **Pesquisa odontológica brasileira**, v. 17, p. 57-63, 2003.

ALONSO, U. R. **Previsão e Controle das Fundações**. S.P.: Edgard Blucher, 1991.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 – Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT NBR 7187. **Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Protendido**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122 – Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ALVES, J. R. **Levantamento das manifestações patológicas em fundações e estruturas nas edificações, com até dez anos de idade, executadas no estado de Goiás**, 2009.

ALEXANDRE, I. F. **Manifestações Patológicas em Empreendimentos Habitacionais de Baixa Renda Executados em Alvenaria Estrutural: Uma análise da Relação de Causa e Efeito**. 2008. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

ALMEIDA S. J. R. **Congelamento de solos-estudo dos efeitos da salinidade. Dissertação de Mestrado**. Universidade de Aveiro (Portugal). 2012.

ALMEIDA, A. K. L. et al. **Análise de Efeito de Grupo em Edifícios com Fundação Profunda na Região Metropolitana de Recife/PE**. 2022.

ANDRZEJEWSKI, I. A. **Estudo e Dimensionamento de Fundação Profunda por Estacas tipo Raiz**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.

AMANN, K. A. P.; MASSAD, F. **Estacas Raiz: Avaliação Crítica e Proposta de Melhoria dos Métodos semiempíricos de estimativa da Carga de Ruptura**. IV Seminário de Engenharia de Fundações Especiais-SEFE IV, p. 279-273, 2000.

BOTELHO, M. H. C. **Princípios da mecânica dos solos e fundações para a construção civil**. São Paulo: Editora Blucher, 2014.

BURKE, G. K. *Sistemas de jet grouting: vantagens e desvantagens*. Em: *GeoSupport 2004: Drilled Shafts, Micropiling, Deep Mixing, Remedial Methods, and. Specialty Foundation Systems*. 2004. p. 875-886.

BRAGA, N. M.T. **Patologias nas construções: trincas e fissuras em edifícios**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

BASESTRAUSS, **Engenharia e Estaqueamento**. 2013. Disponível em: <http://www.basestrauss.com.br/tubulao.html>. Acesso em: 27de Fev. 2025.

BATISTA, H. V. C. L. et al. **Considerações sobre aspectos gerais de projetos de fundações rasas e profundas**. 2024.

BORDALO, R.; MAIA, P. C. A.; SOARES, M. P. **Monitoração de Recalques de Edifícios Durante a Construção Através de Fotografias Digitais**. Laboratório de

Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos do Goytacazes. 2006.

BOTELHO, M. H. C. **Princípios da mecânica dos solos e fundações para a Construção Civil**. Editora Blucher, 2014.

CARBONI, L. A. **Comparação entre métodos de previsão de capacidade de carga para cálculo de fundações profundas**. 2021.

CRUZ, R. B. C.; CAYNOTH, B. J.; SALVADOR, F. A. A. **Aplicação do Método AHP na Tomada de Decisão na Seleção de Sistemas de Fundação Profunda de Edifícios**. 2019

COUTO, J. P., COUTO, A. M., **Importância da revisão dos projetos na redução dos custos de manutenção das construções**. 3º Congresso Nacional da Construção, Coimbra, Portugal, 2007.

CUNHA, H. L. R. D. *et al.* **Controle de recalque durante a execução de edifícios no Distrito Federal**. 2015.

CALISTO, A.; R. KOSWOSKI. D. **Efeito do recalque diferencial de fundações em estruturas de concreto armado e alvenaria de vedação**. Estudo de caso: Trabalho de Conclusão de Curso–Departamento Acadêmico de Construção Civil–Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

CORDEIRO, J. T. D. L.; BARBOSA, V. M.; BOAS, D. C. C. V. Levantamento das manifestações patológicas da construção civil: um estudo em residência domiciliar na Cidade de São Luís, Maranhão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, p. e184101220487-e184101220487, 2021.

CABRAL, A. **Tubulão para fundação**. Tekhton, 2017. Disponível em: <https://tekhton.com.br/tubulao-procedimento-executivo>. Acesso 30 Jan de 2025.

COSTA, A. H. *et al.* **Versatilidade dos Geossintéticos aplicada a engenharia**. 2015.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, p. 140, 2014.

COLARES, G. M. **Programa para análise da interação solo-estrutura no projeto de edifícios. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil)**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CARDOSO, B. S. B.; MARCO, G.; QUARESMA, J. E. Reforço de fundação com estudo de caso utilizando o método estaca mega análise em uma obra no município de Araraquara–SP. **Recima21-Revista Científica Multidisciplinar**-ISSN 2675-6218, v. 3, n. 1, p. e3102072-e3102072, 2022.

CORSINI, R. Trinca ou fissura. **São Paulo: Técnica**, v. 160, 2010.

CARVALHO, D.M.D.C. **Patologia das fundações: fundações em depósito de vertente na cidade de Machico**. Teste de Mestrado. Funchal: Universidade da Madeira. 2010.

CRUZ, M. F.; GONZÁLEZ, D. G.; RODRÍGUEZ, J. A. La torre de PISA tambalea el Sistema Educativo Español. **Revista Portuguesa de Pedagogia**, p. 275-304, 2009.

CERRUTTI, B. **Análise de sapatas isoladas: estudo comparativo entre diferentes métodos de cálculo**. Universidade de Caxias do Sul área do conhecimento de ciências exatas e engenharias engenharia civil, 2023.

DEMO, P. **Pesquisa e Construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2004.

FOPPA, D. **Análise de variáveis-chave no controle da resistência mecânica de solos artificialmente cimentados**. 2005.

FARIA, R. B. **Estudo de um pilar intermediário, devido ao recalque diferencial**. Universidade estadual de goiás campus de ciências exatas e tecnológicas curso de engenharia civil, Anápolis-GO, 2018.

FERNANDES, L. C. D. M. *et al.* **Comportamento geotécnico de tubulões: estudo de caso da reconstrução de um frigorífico**. 2017.

FREITAS S. L. H.; PEREIRA, G. L. Redimensionamento de fundação profunda após análise da carga admissível obtida em ensaio de carregamento dinâmico (PDA). **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p. Páginas 01-19, 2014.

FREIRE, A. A. *et al.* Terraplanagem x patologia em edificações e impactos estruturais em vedação em obras vizinhas: aspectos teóricos e características técnicas aplicadas. **RECIEC-Revista Científica de Engenharia Civil**, v. 5, n. 01, p. 214-230, 2022.

GUEDES, F. R.; BURGOS, R. G. **Análise estrutural de laje de fundação tipo radier em concreto armado**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. 2014.

GUERRA, M.V.P.; SALES, M.M. **Interação fundação-estrutura em edifícios sobre sapatas**. In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência**, 63º. 2011, Goiânia. Anais eletrônicos. 2011.

GOMES, L. B. *et al.* Fundações profundas aplicação de tubulões para garantir a estabilidade das estruturas. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 3, p. 1668-1677, 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2010.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GARCIA, J. R. **Estudo do comportamento carga vs recalque de estacas raiz carregadas à compressão**. 2006. Tese de Doutorado. 2006.

GUIMARÃES, A. T. C. **Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2000.

GONÇALVES, A. A. HUET, B.; LURDES, R. M. Estudo mineralógico de elementos de adorno de cor verde provenientes de estações arqueológicas portuguesas. **Portugalia: Revista de Arqueologia do Departamento de Ciências e Técnicas do Património da FLUP**, v. 2, 2018.

GORSKI, C. M. F. M. **Estabilização de Solos Argilosos com Ligante Hidráulico LIPIDUR DS**. 2010. **Dissertação de Mestrado**. Universidade da Beira Interior (Portugal). 2010.

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Monografia. UFRJ. Rio de Janeiro. 2015.

IWAMOTO, R. K. **Alguns aspectos dos efeitos da interação solo-estrutura em edifícios de múltiplos andares com fundações profunda. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil).** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

JUNQUEIRA, S. **Estacas mega.** 1995.

KROTH, E. B. **Análise do Desempenho de Reforço de Fundações: Estudo de Caso de um edifício comercial na cidade de Lajeado/RS.** 2017.

JUNIOR, F. K. S. *et al.* Estudo de Caso: Previsão da Vida Útil de uma Estrutura de Concreto Armado em Ambiente Marinho por Meio de Análise de Monte Carlo. **RETEC-Revista de Tecnologias**, v. 12, n. 1, 2019.

KNAUF, M. H. R. **Patologias nas estruturas de concreto armado e alvenaria de vedação devido ao recalque diferencial nas fundações**, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – UNIDERP, Campo grande, 2019.

KNAUF, M. H. R. **Patologias nas estruturas de concreto armado e alvenaria de vedação devido ao recalque diferencial nas fundações.** 2019. 34. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – UNIDERP, Campo grande, 2019.

LOPES, M. B. **Tratamento de Fundação para Barragens de Concreto.** Editora Appris, 2020.

LOPES, R. S. *et al.* **Relação entre solo e a estrutura da população de *Eschweilera coriacea* (DC.) SA Mori (matamatá branco) em um ambiente de terra firme, Amapá, Brasil.** 2011.

LOPES, P. J. G. **Colunas de Brita no Melhoramento de Solos Moles.** 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro (Portugal). 2011.

LIMA, F. X. R. F. **Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações.** 2014.

LOPES, L. L.; MENDES, L. F. **Análise de solo por meio de sondagem spt: estudo de caso de uma residência de dois pavimentos em ambiente urbano,** 2020.

MEDEIROS, L. S. *et al.* **Influência da interação solo-estrutura no comportamento do conjunto torre-fundação de aerogeradores de eixo horizontal.** 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2023.

MOURA, A. S. Avaliação da frequência de vibração das fundações superficiais dos aerogeradores das usinas eólicas da Prainha e da Taíba. **Revista Tecnologia**, v. 30, n. 1, p. 77-88, 2009.

MILITITSKY, J. CONSOLI, N. C. SCHNAID, F. **Patologia das fundações.** 2ª Ed. Revista ampliada, 2015.

MANTOVANI, I.; MANTOVANI, F.; ALBUQUERQUE, P. J. R. **Monitoramento da Cravação de Estacas Tipo Mega**, 2022.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações.** 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MAIA, J. A. F. M. **Inspeções e Diagnóstico. Tecnologias para a manutenção e reabilitação de estruturas.** Oeiras, ISQ-Instituto de Soldadura e Qualidade, 2007.

MODONI, G.; CROCE, P.; MONGIOVÌ, L. **Modelagem teórica do jet grouting.** Geotecnia, v. 56, não. 5, pág. 335-347, 2006.

MEYER, G. S. *et al.* **Análise da Estimativa de Recalques pelo Método de Cintra e Aoki modificado com Validação por Meio do Monitoramento de Recalques em Estacas Tipo Hélice Contínua.** 2010.

MOURA, A. S.; MACHADO, P. P.; COELHO, T. B. **Avaliação da aplicabilidade de estaca raiz como fundação de edifícios em Fortaleza–CE.** 2005.

MARQUES, Y. M. A. **Utilização da técnica de permeation grouting para solução de recalques diferenciais em edificações.** Liga de Ensino do Rio Grande do Norte Centro Universitário do Rio Grande do Norte Curso de Engenharia Civil, 2020.

MOLIN, D. C. C. D. *et al.* Contribuição à previsão da vida útil de estruturas de concreto. **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: materiais e sustentabilidade**, 2016.

MEDEIROS, M. H. F.; OLIVEIRA, A. J. J.; LAGO, H. P. R. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. **Concreto: ciência e tecnologia**, 2011.

MARQUES, Y. M. A. **Utilização da técnica de permeation grouting para solução de recalques diferenciais em edificações**. 2020.

MENDONÇA, F. D. R. S. **Avaliação do efeito da interação solo estrutura sobre o comportamento estrutural de edificações em aço e mistas (aço concreto)**. 2012.

MAZURANA, M. *et al.* Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. Vol. 35, n. 4 (jul./ago. 2011), p. 1197-1206, 2011.

MOTA, M.M.C. **Interação solo-estrutura em edifícios com fundação profunda: método numérico e resultados observados no campo**. 2009. 187f. Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas) –Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2009.

MENDONÇA, F.R.S. **Avaliação do efeito da interação solo-estrutura sobre o comportamento estrutural de edificações em aço e mistas (aço –concreto)**. 2012. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

MARQUES, G. D. S.; MELO, F. P. Patologia em estruturas de concreto armado: **um estudo de caso para sanar um problema em uma indústria alimentícia**. 2020.

MONTAFERRO, **Ferragem Armada**. 2011.Disponível em: <https://www.montaferro.com.br>. Acesso em: 25 de Fev 2025

MOTA, M. M. C. Interação solo-estrutura em edifícios com fundação profunda: método numérico e resultados observados no campo. **São Carlos: Tese (Doutorado)-Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**, 2009.

NASCIMENTO, D. C.; SCHUCH, M. W.; PEIL, R. Marins Nogueira. Enraizamento de microestacas de mirtileiro provenientes de microjardim clonal semi-hidropônico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 1251-1256, 2011.

NASCIMENTO, C. D. B. et al. **Interação solo-estrutura aplicada na análise de estabilidade global de um edifício**. 2023.

NJOCK, P. G. A. *et al.* Uma revisão da prática e desenvolvimento de jet grouting. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, p. 1-31, 2018.

NUNES, J. D. S.; ALVARENGA, M. C. S. **Avaliação da qualidade de mão de obra, projetos e fiscalização em obras de construção civil.** CONSTRUINDO, v. 10, n. 1, p. 28-49, 2018.

OLIVEIRA, J. J. **Recuperação de estruturas de concreto com injeção de resina de poliuretano.** 2014.

OLIVEIRA, A. M. *et al.* **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque de diferencial de fundações.** 2012.

OLIVEIRA, C. V. K. *et al.* **A utilização do PET reciclado e extrusado como substituto de armadura de distribuição em lajes,** 2024.

ORTEGA, M. R.; MARCO, G.; FLORIAN, F. Análise das patologias estruturais em fundações: causas, diagnósticos e soluções. **Revista foco**, v. 17, n. 12, p. e7190-e7190, 2024.

OLIVEIRA, T. S.; CARDOSO, A. C. S. Deformação lenta das estruturas de concreto armado e suas manifestações patológicas. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. páginas 160-171, 2018.

PEREIRA, R.; LUCENA, P. H.; CARMO, A. K. F. **Estudo de Caso: Reforço de Obra de Arte Especial com o Uso de Estaca Mega.** 2021.

PEREIRA, J. P. V. V. **Reforço De fundações Com Micro-Estacas: ligação aço-Calda-betão.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra (Portugal). 2012.

PEREIRA, C. Fundações Profundas. **Escola Engenharia**, 2016. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/fundacoes-profundas/>. Acesso em: 10 de dezembro de 2024.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista técnico-científica**, n. 1, 2013.

PÉREZ, P. L. A. **Resposta dinâmica de edificações adjacentes acopladas: considerações sobre a interação solo–estrutura.** 2017.

POLEZ, G. M.; MARCO, G. Patologia de estruturas sujeitas a recalque em solos colapsíveis. **Recima21-Revista Científica Multidisciplinar**-ISSN 2675-6218, v. 3, n. 1, p. e3102074-e3102074, 2022.

QUARESMA, J. E. **Patologia–recalque diferencial em fundação.** Fortaleza-CE. Edição 202. V.8. ANO 2020.

ROMANINI, A.; PORTO, T. B.; CRISPIM, F. A. Análise da probabilidade de falha de uma fundação profunda na região centro-oeste do Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 31913-31949, 2019.

RIBEIRO, V. R. **Estudo aprofundado de casos reais de recalque diferencial em fundações.** Universidade estadual do maranhão centro de ciências tecnológicas departamento de expressão gráfica e transportes, São Luís – MA, 2019.

RIBEIRO, M. **Tipos de fundação: quais os principais e como escolher o ideal.** 2019. Disponível em: <https://maiscontroleerp.com.br/tipos-de-fundacao/>. Acesso: 10 de Dez 2024.

RASI, J. R. *et al.* **Efeitos estruturais do recalque diferencial da fundação em tanques verticais de armazenamento.** **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 70198-70214, 2021.

REZENDE, D. S.; HAUCK, R. M. **Tubulões: abertura de base pelo método mecanizado.** 2019.

RIBEIRO, V. R. **Estudo aprofundado de casos reais de recalque diferencial em fundações.** Universidade Estadual do Maranhão Centro de Ciências tecnológicas departamento de expressão gráfica e transportes, 2019.

ROSA, L. M. P. **Interação solo-estrutura: Análise contemplando a consideração da fluência do concreto.** 2016. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

RIGONI, M. R. **Análise dos efeitos da interação solo-estrutura em edificações de concreto armado com fundações profunda, Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Engenharia de Estruturas,** Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2018.

SOUSA, G. S. B. **Análise dos efeitos da interação solo-estrutura em edificação de médio porte localizada no Distrito Federal**, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Civil, Universidade de Brasília - Uniceub, Brasília, 2019.

SILVA, T. R. D. **Análise técnica e econômica utilizando estacas hélice contínua de diferentes diâmetros em um projeto de fundações de um edifício multifamiliar localizado no município de Natal/RN**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2024.

SIVELLI, M. G. (2018). **Interação solo-estrutura no projeto estrutural de edifício de múltiplos andares**, Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2018.

SILVA, H. N. **Análise estrutural de uma edificação de médio porte considerando um modelo simplificado de interação solo-estrutura**, Monografia de especialização em Estrutura de Concreto e Fundações, Universidade Cidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

SOUZA, H. V. B. **Estimativas de recalques em estacas considerando a interação solo-estrutura**, Trabalho de conclusão de curso, da Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2019.

SOLOTRAT. **Engenharia Geotécnica**. São Paulo (2021). Disponível em: <https://www.solotrat.com.br/injecao-de-calda-de-cimento.php>. Acesso em: 25 de Fev 2025.

SILVA, A. C. R.; CARVALHO, E. M. L.; DANZIGER, B. R. Estudo das fundações de um caso de obra em estaca raiz envolvendo a interação solo x estrutura. **Engevista**, v. 14, n. 1, 2012.

SILVA, M. D. J. Q. **Sistemas construtivos de reabilitação e reforço de fundações**. 2014.

SANTOS R. T.; DANZIGER, F. A. B.; DIAS, P. H. V. **Estudo de caso de uma obra de reforço de fundações**. 9º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia 3ª Feira da Indústria de Fundações e Geotecnia SEFE 9 –, São Paulo, Brasil ABEF, 2019.

SILVA, C. A. G. **Soluções geotécnicas adotadas para o reforço de aterros sobre solos moles: revisão da literatura**. BS thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

SILVA A. C. R.; CARVALHO, E. M. L.; DANZIGER, B. R. Estudo das fundações de um caso de obra em estaca raiz envolvendo a interação solo x estrutura. **Engevista**, v. 14, n. 1, 2012.

SANTOS, D. S. *et al.* **Análise de confiabilidade geotécnica de um edifício comercial construído em fundações profundas**. 2019.

SANTANA, G. A. **Levantamento de manifestações patológicas em reservatórios de concreto armado no município de Alegrete/RS**. 2017.

SILVA, F. D.; DIEIMES, P.; OLIVEIRA, J. D. S. **Análise das manifestações patológicas devido ao recalque diferencial das fundações**. Faculdade Evangélica de Goianésia Curso de Engenharia civil, 2018.

SANTOS, R. A. **Patologias em fundações profundas, método de recuperação–Aplicações práticas**. 2024.

SILVA, J. H. C. **Análise comparativa de fundações sob influência de diferentes tipos de solo e a importância da sondagem—um estudo de caso**. 2023.

SILVA, S. E.; FRANÇA, W. P. F.; AYALA, R. J. L. **Estado da arte da interação solo-estrutura e sua influência nos recalques do solo**. 2015.

SILVA, C. J. R. *et al.* Estudo de caso: análise de viabilidade técnica e econômica do tipo de fundação a ser utilizado considerando o laudo de sondagem de um determinado solo. **Anais da Jornada Acadêmica das Engenharias**, v. 1, n. 1, p. 78-78, 2020.

SILVA, J. C. M. **Análise e Otimização de Fundações Profundas de Torres e Postes de Grande Altura com Baixas Cargas Verticais e Elevados Momentos Fletores. Fundações por Microestacas**. 2016.

SOUZA, E. G. **Colapso de edifício por ruptura das estacas: estudo das causas e da recuperação**. Tese de Mestrado. São Carlos: Universidade de São Paulo. 2003. p. 107.

SANTOS, G. V. D. **Patologias devido ao recalque diferencial em fundações**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do UniCEUB, Brasília, 2014.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. Dissertação de Mestrado, Curso de Engenharia Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. Oficina de Textos, 2020.

TEIXEIRA, A. T. et al. **Análise de reforço de fundação com estaca mega metálica**. 2020.

VELLOSO, D. D. A.; LOPES, F. D. R. **Fundações: Critério de projetos – Investigação de subsolo – Fundações superficiais**. Rio de Janeiro, v. 1: Oficina de Textos, 2011.

VASCONCELLOS, V. G.; MOTA, C. Reforço de Fundações Diretas em Pontes de Concreto Armado. **Boletim do Gerenciamento**, v. 9, n. 9, p. 55-65, 2019.

VITÓRIO, J. A. P.; BARROS, R. M. M. C. Reforço de fundações de pontes e viadutos– Três casos reais. In: **V Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro**. 2012.

VELUDO, J.; JÚLIO, E.; PINTO, P. A Influência de Diferentes Parâmetros no Comportamento da Ligação entre Fundações Existentes de Betão Armado e Micro-estacas de Reforço. **Encontro Nacional de Betão Estrutural**, 2008.

VIEIRA, A. G. D. A. **Análise das manifestações patológicas de uma edificação em fase de execução no Distrito Federal**. Centro Universitário de Brasília Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas Engenharia Civil, 2017.

VALADÃO, L. **Tipos de fundação**. 2019 Disponível em: <https://obraexpertise.com.br/tipos-de-fundacoes/>. Acesso: 10 de dezembro de 2024.

VOTORANTIM, C. **Tipos de sapatas.** 2023. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/sapatas-conheca-os-tipos-utilizados-no-brasil/>. Acesso: 08 de Dez 2024.

XAVIER, A. *et al.* **Desempenho do enraizamento de microestacas e miniestacas de clones híbridos de Eucalyptus grandis.** 2001.

WANG, ZF *et al.* **Prática de jet grouting: uma visão geral.** *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, v. 44, n. 4, p. 88-96, 2013.

WHITTEMORE, R.; KNAF, K. The integrative review: update methodology. *J Adv Nurs*. v. 52, n.5, p. 546-53, 2005.