

# **INJEÇÃO DE CALDA DE CIMENTO PARA REFORÇO DO TERRENO DE FUNDAÇÃO DE UM PRÉDIO TIPO CAIXÃO.**

## **CEMENT GROUT INJECTION FOR FOUNDATION REINFORCEMENT OF A BOX-TYPE BUILDING.**

**Victor Tawann Ferreira da Silva**

vtfs@discente.ifpe.edu.br

**Prof. João Manoel de Freitas Mota**

joaomota@recife.ifpe.edu.br

---

### **RESUMO**

Este estudo de caso analisa a aplicação da injeção de calda de cimento como técnica para reforçar o solo de fundação de um edifício tipo caixa em Vitória de Santo Antão, Pernambuco. O objetivo principal foi avaliar a eficácia do método na correção de patologias, como fissuras e recalques diferenciais, originadas de falhas na compactação do solo e defeitos construtivos que comprometiam a estabilidade estrutural do edifício. A metodologia adotada incluiu revisão bibliográfica, análise de relatórios técnicos e projetos, e inspeções visuais em campo para diagnóstico das anomalias. O processo de execução da recuperação consistiu na injeção de calda de cimento sob pressão controlada para preenchimento de vazios e melhoria da capacidade de suporte do solo. Os resultados, verificados por meio do monitoramento da estrutura após a intervenção, demonstraram a estabilização dos recalques e a mitigação das patologias, confirmando que a técnica melhorou significativamente as características geotécnicas do solo. Conclui-se que a injeção de calda de cimento provou ser uma solução eficaz e viável para garantir a segurança e a estabilidade da fundação, servindo como referência prática para projetos de reabilitação estrutural em contextos semelhantes.

Palavras-chave: Recalque Diferencial; Reforço de Fundação; Patologias Estruturais.

### **ABSTRACT**

This case study analyzes the application of cement grout injection as a technique for reinforcing the foundation soil of a box-type building in Vitória de Santo Antão, Pernambuco. The main objective was to evaluate the effectiveness of the method in correcting pathologies, such as cracks and differential settlements, which originated from failures in soil compaction and construction defects that compromised the structural stability of the building. The methodology adopted included a literature review, analysis of technical reports and project plans, and visual inspections in the field to diagnose the anomalies. The execution process of the recovery consisted of injecting cement grout under controlled pressure to fill voids and improve the bearing capacity of the soil. The results, verified through monitoring of the structure after the intervention, demonstrated the stabilization of settlements and the mitigation of

pathologies, confirming that the technique significantly improved the geotechnical characteristics of the soil. It is concluded that cement grout injection proved to be an effective and viable solution for ensuring the safety and stability of the foundation, serving as a practical reference for structural rehabilitation projects in similar contexts.

Keywords: Differential Settlement; Foundation Reinforcement; Structural Pathologies.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A estabilidade e a segurança das edificações dependem diretamente da qualidade do solo de fundação e da interação entre o maciço e a estrutura. Na Região Metropolitana do Recife e cidades vizinhas como Vitória de Santo Antão, destaca-se a tipologia construtiva de alvenaria resistente, popularmente conhecida como "prédios tipo caixão". Essas estruturas, compostas geralmente por térreo e três pavimentos tipo, apresentam um histórico crítico de manifestações patológicas decorrentes de falhas de projeto ou execução, tornando sua degradação precoce um alerta constante para a engenharia local.

Os principais problemas encontrados nessas edificações residenciais estão frequentemente ligados a patologias de fundação. A análise dessas anomalias revela que o recalque diferencial é o fenômeno mais recorrente, sendo influenciado por fatores geotécnicos como a baixa capacidade de suporte do solo e a má compactação do terreno de base. Quando a fundação não consegue resistir às deformações do solo, ocorrem tensões excessivas na superestrutura, resultando em quadros fissuratórios generalizados que comprometem a estabilidade estrutural.

A manifestação dessas patologias é agravada por problemas e vícios construtivos, como o uso inadequado de materiais, falhas no processo de terraplenagem e a distribuição inadequada das cargas da edificação. Em muitos casos, como no objeto de estudo deste trabalho, o uso de lajes radier de baixa rigidez construídas sobre aterros heterogêneos e mal compactados impede que a fundação vença os vãos ou resista às deformações, forçando a estrutura a acompanhar os recalques do solo.

Como alternativa para a recuperação dessas fundações, o incremento da técnica de injeção de nata de cimento tem se mostrado uma solução robusta e consolidada. Estudos de caso diversos, incluindo aplicações em solos moles de baixa coesão e em edifícios com incremento de carga, demonstram que essa metodologia melhora significativamente as características mecânicas do solo e aumenta sua capacidade de suporte sem a necessidade de intervenções estruturais invasivas. A injeção sob pressão controlada preenche vazios e compacta camadas instáveis, garantindo a estabilização necessária para a segurança da obra.

O presente trabalho justifica-se pela urgência de avaliar soluções eficientes e economicamente viáveis para a correção de patologias em edifícios do tipo caixão localizados em Vitória de Santo Antão, onde falhas executivas colocaram em risco a

segurança dos moradores. Além da relevância técnica, a pesquisa contribui para a difusão de boas práticas na engenharia de fundações e serve como referência para profissionais que enfrentam desafios geotécnicos semelhantes.

O objetivo deste trabalho foi analisar a aplicação da injeção de nata de cimento como técnica de reforço do solo para a correção de recalques diferenciais no referido edifício, investigando sua eficácia na estabilização da fundação e na mitigação dos danos causados por vícios construtivos e falhas de compactação.

A visão abrangente sobre as patologias causadas por recalque de fundações destaca os fatores geotécnicos como principais responsáveis por tais deformações. A má compactação do solo e a ausência de um adequado controle na execução das fundações são apresentadas como as causas mais comuns dos recalques diferenciais. Além disso, a pesquisa discute técnicas de diagnóstico e recuperação, destacando a importância de uma análise detalhada do comportamento do solo e da fundação. Como afirmam os autores, "um estudo detalhado da patologia de recalques é crucial para evitar danos significativos à estrutura e garantir a segurança das edificações" (Santos et al., 2021, p. 103). A revisão bibliográfica abrange tanto aspectos teóricos quanto práticos para a resolução do problema de recalque.

Fatores como a má compactação, problemas estruturais advindos de vícios construtivos também desempenham um papel crucial na manifestação do recalque diferencial. Os vícios de construção, como o uso inadequado de materiais e técnicas errôneas de fundação, aumentam significativamente a vulnerabilidade da edificação a recalques (Silva et al., 2020, p. 110). Além disso, a realização de análises geotécnicas detalhadas e o uso de técnicas modernas de reforço do solo se apresentam neste contexto como soluções corretivas e preventivas.

É fundamental compreender a tipologia construtiva predominante na área de estudo para entender a gravidade das patologias encontradas. Na Região Metropolitana do Recife e cidades vizinhas como Paulista e Vitória de Santo Antão, os edifícios de alvenaria resistente, popularmente conhecidos como "prédios caixão", são onipresentes. Segundo Figueiredo et al. (2020, p. 2), essas unidades residenciais possuem um projeto padrão, "sendo compostos por um pavimento térreo mais três pavimentos tipo", e frequentemente apresentam manifestações patológicas decorrentes de falhas de projeto ou execução.

A técnica de injeção de nata de cimento tem se destacado como uma solução eficiente para o reforço de solos em diferentes condições geotécnicas. Essa metodologia consiste na injeção de uma mistura fluida de cimento e água diretamente no solo, com o objetivo de preencher vazios, compactar camadas instáveis e aumentar a resistência mecânica do terreno. Estudos recentes demonstram a eficácia dessa abordagem em uma ampla variedade. A recuperação de patologias causadas por recalques é complexa e exige a combinação de técnicas de reforço, sendo a injeção de calda de cimento uma das soluções mais eficazes (Santos et al., 2021, p. 100).

As vantagens da injeção de nata de cimento para o reforço do solo de fundação, como a melhoria da resistência do solo e a redução da deformação, essencial para

estabilizar estruturas comprometidas por recalques diferenciais. A injeção de nata de cimento proporciona ganhos significativos na capacidade de carga do solo, permitindo que a edificação seja estabilizada sem a necessidade de grandes obras de reforço estrutural (Costa et al., 2021, p. 98).

O estudo da técnica de injeção de calda de cimento pode ser aproveitado em casos de solos problemáticos que necessitam de reforço de fundações. Vale destacar a eficácia dessa técnica em solos moles, com baixa coesão, que apresentavam grandes desafios para a fundação do edifício. A injeção de consolidação, ao melhorar as propriedades do solo, permite a estabilização da edificação, minimizando os riscos de recalques futuros (Almeida et al., 2022, p. 122). Esta alegação visa discutir os impactos dessa solução, considerando sua viabilidade em áreas com terrenos de baixa capacidade de suporte.

A investigação da aplicação da técnica de injeção de nata de cimento em fundações sujeitas a um incremento de carga, como ocorre quando há a necessidade de reforço da estrutura para suportar novas cargas. Demonstra como a técnica pode ser utilizada de forma eficaz em edifícios com problemas de recalque. A utilização da injeção de nata de cimento, combinada com outras técnicas geotécnicas, mostrou-se uma solução robusta para melhorar a capacidade de suporte do solo e evitar recalques adicionais (Pereira et al., 2023, p. 77).

A interação entre o solo e a estrutura pode influenciar os recalques diferenciais e distorções angulares, destacando a importância dessa análise para o sucesso da técnica de injeção de nata de cimento. Conclui-se que "entender a interação solo-estrutura é essencial para aperfeiçoar as intervenções de reforço, como a injeção de nata de cimento, que contribui significativamente para a estabilização da fundação" (Lima et al., 2023, p. 134). A interação entre o solo e a estrutura desempenha um papel crucial nas fundações e, conseqüentemente, na estabilidade das edificações. Essa interação ocorre devido à transferência de cargas da estrutura para o solo e ao comportamento do solo em resposta a essas solicitações

A estabilização de solos e o reforço de fundações são desafios recorrentes na engenharia geotécnica, e diferentes técnicas de injeção têm sido extremamente empregadas para solucionar esses problemas. Entre elas, destacam-se a injeção de consolidação e a injeção de nata de cimento. Ambas possuem o objetivo de melhorar as propriedades do solo, mas extensas em metodologia, aplicação e resultados, apresentando vantagens específicas de acordo com as condições geotécnicas e estruturais. "A injeção de consolidação é uma solução eficaz para a estabilização de fundações, proporcionando uma análise detalhada do solo antes de qualquer intervenção" (Almeida et al., 2022, p. 130).

## **2 METODOLOGIA**

O presente capítulo detalha os procedimentos técnicos e as etapas operacionais adotadas para a realização deste estudo de caso. A metodologia fundamentou-se em uma abordagem quali-quantitativa, iniciando-se por uma pesquisa bibliográfica abrangente em livros, artigos científicos, dissertações e teses publicadas

entre os anos de 2020 e 2025. Esta etapa teórica focou nos fenômenos de recalque diferencial, suas causas predominantes e nas soluções geotécnicas contemporâneas, permitindo a construção do referencial necessário para a análise das anomalias encontradas em campo.

## 2.1 Área de Estudo

O objeto de estudo centra-se em uma edificação residencial multifamiliar de grande porte, localizada no município de Vitória de Santo Antão, Pernambuco. O conjunto, denominado Residencial Jardins de Vitória, é composto por 28 blocos projetados na tipologia construtiva conhecida como "prédio tipo caixa" (alvenaria estrutural sobre fundação em laje radier). A análise concentrou-se nos Blocos 21 e 22, que apresentaram falhas estruturais significativas resultantes de vícios construtivos e deficiências na preparação do terreno.

## 2.2 Visitas Técnicas e Relatório Fotográfico

Foram realizadas inspeções visuais sistemáticas nas fachadas e áreas internas das unidades afetadas. Durante estas visitas, procedeu-se ao mapeamento das manifestações patológicas, as quais foram registradas fotograficamente para correlacionar a orientação e abertura das fissuras (diagonais e horizontais) com os pontos críticos de recalque diferencial identificados na fundação.

## 2.3 Ensaios e Análises Técnicas

Para o diagnóstico preciso do "cerne" do problema, realizaram-se os seguintes ensaios especializados:

- **Sondagem a Percussão (SPT):** Foram executados furos de sondagem (SP-01 a SP-03) para determinar o perfil estratigráfico e a capacidade de suporte do subsolo.
- **Extração de Testemunhos de Concreto:** Realizou-se a extração de cilindros da laje radier para ensaios de compressão axial, verificando-se uma resistência média de 27,71 MPa, o que confirmou a boa qualidade do material da fundação.
- **Ensaio de Prismas de Alvenaria:** Amostras da superestrutura foram ensaiadas para aferir a resistência da alvenaria estrutural, resultando em uma média de 2,41 MPa, valor considerado baixo diante das tensões solicitantes.
- **Modelagem Numérica:** Utilizou-se o método dos elementos finitos para confrontar as tensões atuantes com a capacidade resistente da alvenaria, identificando tensões críticas de até 0,80 MPa no pavimento térreo.

## 2.4 Método Escolhido para a Recuperação

Diante da heterogeneidade do subsolo e da má compactação do aterro de base, o método escolhido para estabilização foi a injeção de nata de cimento sob pressão controlada. Esta técnica permite o preenchimento de vazios e a consolidação do solo, aumentando a rigidez e a capacidade de carga do maciço sem a necessidade de escavações invasivas ou reforços estruturais onerosos.

## 2.5 Preparação da Nata de Cimento

O processo iniciou-se com a fabricação da nata em misturador industrial de alta rotação. A mistura seguiu um traço rigoroso composto por: Cimento, Água, Bentonita e Aditivo plastificante.

Esta dosagem garantiu a homogeneidade e as propriedades reológicas necessárias para que o material fluísse sob pressão controlada para o interior das cavidades do solo.

## 2.6 Verificação da Eficácia da Injeção

Para validar o sucesso da intervenção, foi implementado um sistema de monitoramento contínuo dos recalques por um período de 198 dias após a conclusão dos serviços. A metodologia consistiu em nivelamentos geométricos de precisão, utilizando nível automático com micrômetro (precisão de 0,7 mm), para medir 326 pinos de aço instalados ao redor dos blocos. Os dados foram analisados pelo Método dos Mínimos Quadrados, classificando a velocidade do recalque em classes, onde os resultados obtidos confirmaram a estabilização da estrutura (predominância de Classe A – recalque indetectável).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Inspeção visual

A inspeção visual apresenta o levantamento direto das anomalias estruturais identificadas na edificação em estudo. Por meio deste procedimento, detectaram-se precocemente defeitos como fissuras e desalinhamentos, cujas evidências permitem analisar a propagação patológica e fundamentar as medidas necessárias para prevenir falhas críticas e otimizar os custos de recuperação estrutural.

Nas figuras 1 e 2 são apresentadas deformações diferenciais importantes (recalques) gerando fissuras diagonais.

*Figura 01 – Fissuras provenientes de recalque diferencial.*



*Fonte: O autor, 2022.*

*Figura 02 – Fissuras provenientes de recalque diferencial.*



*Fonte: O autor, 2022.*

As fissuras diagonais observadas nas Figuras 1 e 2 são evidências clássicas de recalque diferencial em alvenaria estrutural. A inclinação das fissuras aponta para a região onde o solo apresentou maior deformidade, confirmando que a laje radier, por possuir baixa rigidez, não foi capaz de redistribuir as cargas e acabou acompanhando o assentamento do terreno mal compactado.

Da figura 3 até a 5 é possível verificar fissuras diversas decorrente das deformações excessivas.

*Figura 03 – Fissuras horizontais identificadas em um prédio caixão, apontando um possível esmagamento da estrutura devido a fragilidade da estrutura.*



*Fonte: O autor, 2022.*

*Figura 04 – Fissuras identificadas em vistorias antes das obras de reforço e recuperação.*



Fonte: O autor, 2021

Figura 05 – Fissuras horizontais identificadas na fachada de um prédio caixão da Etapa III pertencente ao Residencial Jardins de Vitória.



Fonte: O autor, 2021

As fissuras horizontais identificadas da Figura 3 até a 5 sugerem um estágio avançado de comprometimento estrutural. Este padrão é indicativo de tensões de compressão excessivas ou esmagamento localizado da alvenaria, ocorrendo devido à redistribuição desequilibrada de cargas provocada pela perda de suporte uniforme do solo. A fragilidade da estrutura tipo caixão diante desses esforços é evidente, justificando a necessidade imediata de reforço através da injeção de nata.

### 3.2 Caracterização da Fundação e da Estrutura

A fundação dos edifícios tipo caixão do residencial foi executada em laje radier armada. Conforme os laudos técnicos, essa laje possui uma espessura que varia entre 14cm e 18cm, com armadura em malha dupla reforçada (aparentemente Q785, malha 10x10cm e fio de 10.0mm) e um FCK de concreto estimado em 25 MPa.

A laje foi construída diretamente sobre camadas de aterro que receberam "baixa, ou nenhuma (mínima), energia de compactação". Este aterro era composto por materiais heterogêneos e, em alguns locais, de "péssima qualidade". A laje radier, por ser um elemento de "baixa rigidez", não possuía capacidade para vencer os vãos ou resistir às deformações do solo. Em vez disso, ela "apenas acompanhou os recalques dos aterros". Foi essa deformação da placa de fundação que gerou as tensões excessivas na superestrutura de alvenaria, causando o quadro fissuratório generalizado. Para avaliar a integridade dos materiais, foram extraídos e ensaiados testemunhos da laje radier e prismas da alvenaria estrutural. Os testemunhos da laje de fundação apresentaram concreto de boa qualidade, com resistência média à compressão de 27,71 MPa, indicando que a laje em si não era a causa do problema, mas sim acompanhou a deformação do solo mal compactado. Os ensaios em prismas de alvenaria indicaram uma resistência média de 2,41 MPa.

Na tabela 01 são apresentados os resultados de resistência dos testemunhos coletados nos blocos 21 e 22. Enquanto nas figuras 6 e 7 os registros fotográficos dos testemunhos.

Tabela 01 - Resultados da resistência à compressão em testemunhos de concreto

Localização	Elemento	Diam. Test. (mm)	Altura Test. (mm)	Carga Ruptura (kN)	Resist. Comp. (MPa)	Fatores de correção NBR 7680-1				Rest. Corrigida (MPa)	
						K1	K2	K3	K4		
BL 21 1ª amostra	Laje	96,0	147,2	223,34	30,87	-0,038	0,06	0	-0,04	30,85	
BL 21 2ª amostra	Laje	96,1	18,9	191,10	26,36	0	0,06	0	-0,04	26,38	
BL 21 3ª amostra	Laje	96,2	156,9	226,77	31,22	-0,03	0,06	0	-0,04	31,21	
BL 22 1ª amostra	Laje	96,4	144,5	173,95	23,85	-0,04	0,06	0	-0,04	23,83	
BL 22 2ª amostra	Laje	96,2	178,3	166,40	22,91	-0,01	0,06	0	-0,04	22,92	
BL 22 3ª amostra	Laje	96,0	156,3	224,71	31,06	-0,03	0,06	0	-0,04	31,05	
										Média	27,71
										Desvio	3,82

Fonte: ITEP - Relatório De Ensaio N° 176.852, 2020.

Figura 6 – Testemunhos do bloco 21.



Fonte: ITEP - Relatório De Ensaio N° 176.852, 2020.

Figura 7 – Testemunhos do bloco 22.



Fonte: ITEP - Relatório De Ensaio N° 176.852, 2020.

Na tabela 02 mostra os resultados dos ensaios à compressão de prismas da alvenaria estrutural dos blocos 21 e 22.

Tabela 02 - Ensaio à Compressão de prismas da superestrutura dos edifícios.

CP	Tipo de CP	Dimensões (mm)			Massa (kg)	Densidade (kg/dm <sup>3</sup> )	Carga (kN)	Resistência (Mpa)
		C	L	H				
BL-21-1	Alvenaria de blocos de estruturais concreto revestidos	550	170	480	70,2	1,56	213,37	2,23
BL-21-2	Alvenaria de blocos de estruturais concreto revestidos	530	165	480	68,1	1,62	233,31	2,61
BL-21-3	Alvenaria de blocos de estruturais concreto revestidos	560	170	500	54,2	1,61	224,43	2,99
BL-22-1	Alvenaria de blocos de estruturais concreto revestidos	510	170	470	65,3	1,54	192,47	2,22
BL-22-2	Alvenaria de blocos de estruturais concreto revestidos	540	170	480	80,0	1,63	192,90	2,10
BL-22-3	Alvenaria de blocos de estruturais concreto revestidos	590	170	470	67,3	1,43	233,39	2,33

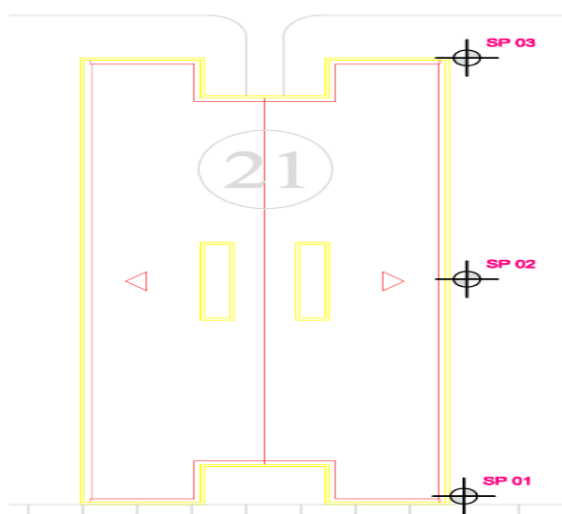
Fonte: ITEP - Relatório De Ensaio N° 177.209, 2020.

### 3.3 Sondagem a Percussão (SPT)

Os ensaios de sondagem revelaram uma heterogeneidade no subsolo. Em uma das extremidades do bloco, foi identificada uma camada de "argila siltosa pouco arenosa, de média plasticidade e muito mole", que não foi encontrada na extremidade oposta. Essa diferenciação nas características e espessura das camadas de solo foi apontada como a principal origem do recalque diferencial.

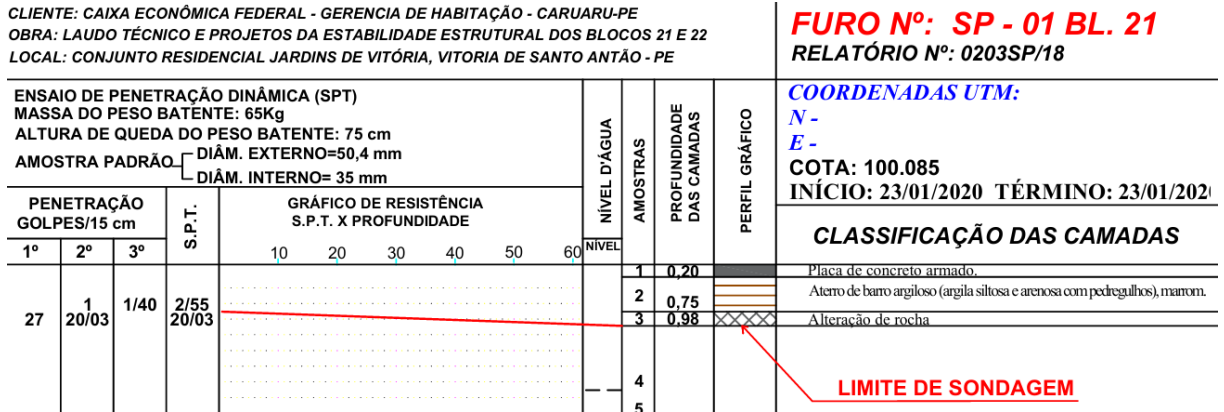
Na figura 8 mostra os pontos locados para sondagem no bloco 21. Já nas figuras 9, 10 e 11 os relatórios de ensaio dos furos.

Figura 8 – Locação dos furos de sondagem do Residencial Jardins de Vitória.



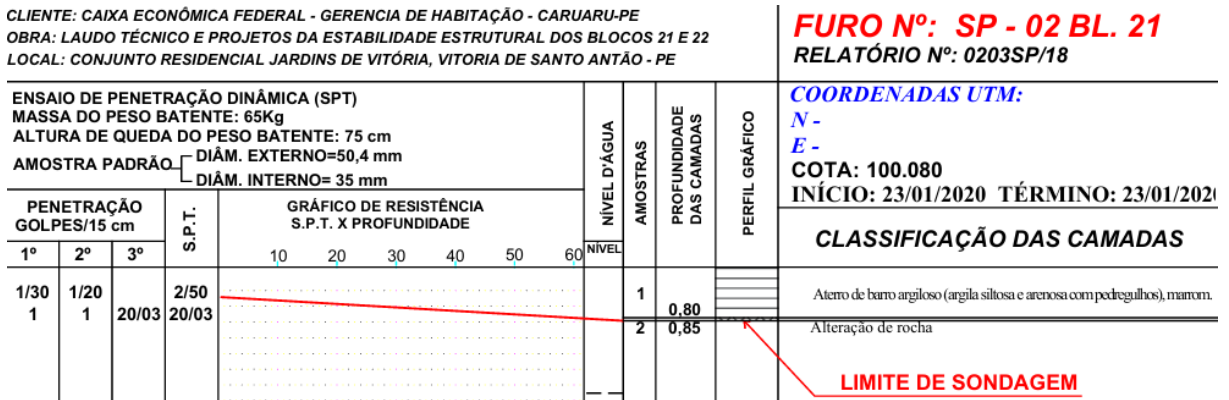
Fonte: ACE Consultoria, Relatório N° 0203SP/2020

Figura 9 – Relatório de ensaio do furo nº 01 do bloco 21 do Residencial Jardins de Vitória.



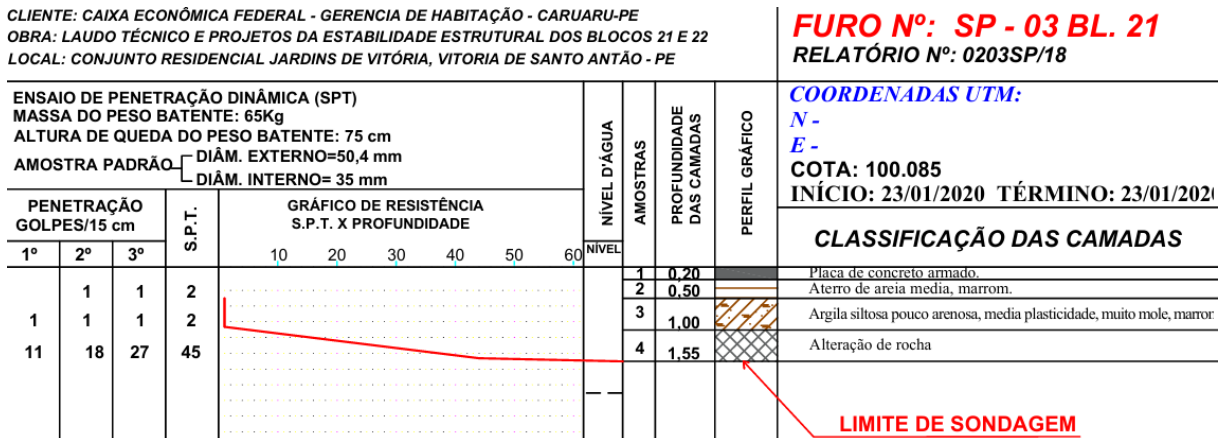
Fonte: ACE Consultoria, Relatório N° 0203SP/2020

Figura 10 – Relatório de ensaio do furo nº 02 do bloco 21 do Residencial Jardins de Vitória.



Fonte: ACE Consultoria, Relatório N° 0203SP/2020

Figura 11 – Relatório de ensaio do furo nº 03 do bloco 21 do Residencial Jardins de Vitória.



Fonte: ACE Consultoria, Relatório N° 0203SP/2020

### 3.4 Análise de Segurança Estrutural

Foi realizada uma modelagem numérica da estrutura pelo método dos elementos finitos para avaliar as tensões atuantes nas paredes. A análise confrontou as tensões solicitantes (atuantes) com a tensão resistente de cálculo da alvenaria, obtida a partir dos ensaios. O resultado demonstrou que, devido ao recalque, as tensões em algumas paredes do pavimento térreo ultrapassaram a capacidade resistente do material. A tensão resistente de cálculo foi de 0,69, enquanto as tensões solicitantes máximas em alguns pontos críticos atingiram 0,80 MPa. Esse resultado comprovou tecnicamente a necessidade de um reforço estrutural nas paredes do térreo, além da intervenção no solo de fundação.

Na tabela 03 é possível analisar as máximas tensões atuantes nas paredes no prédio.

Tabela 03 - Máximas tensões atuantes nas paredes por pavimento.

Parede	Região da parede	Tensões normais verticais máximas em MPa			
		Térreo	1ºPav	2ºpav	3ºpav
P1- Fachada	Esquerda	0,56	0,42	0,26	0,18
	Central	0,56	0,42	0,26	0,18
	Direita	0,80	0,65	0,49	0,18
P2- Limite Quartos	Esquerda	0,80	0,65	0,42	0,18
	Central	0,80	0,65	0,42	0,18
	Direita	0,80	0,65	0,42	1,18
P4- Limite Cozinha	Esquerda	0,65	0,65	0,65	0,65
	Central	0,80	0,80	0,65	0,65
	Direita	0,80	0,65	0,65	0,19
P8- Limite Corredor	Esquerda	0,80	0,65	0,57	0,49
	Central	0,80	0,27	0,27	0,49
	Direita	0,80	0,65	0,57	0,27

Fonte: ACE Consultoria, Relatório Técnico Nº 023B/2020.

Com base nos dados encontrados, foi realizada uma análise quantitativa e qualitativa dos resultados obtidos após a aplicação da técnica de reforço. A capacidade de suporte do solo, as deslocamentos medidos na estrutura e a estabilidade da fundação após a intervenção foram os principais parâmetros avaliados. Os resultados foram confrontados com os dados da literatura e com estudos semelhantes encontrados na revisão bibliográfica, possibilitando a análise dos resultados

### 3.5 Execução da recuperação estrutural

#### 3.5.1 Preparação e Homogeneização da Nata de Cimento

O processo inicia-se com a fabricação da nata de cimento em um misturador industrial. A dosagem dos materiais (cimento, água, aditivos) segue rigorosamente as especificações do projeto para garantir uma mistura homogênea e com as propriedades desejadas para a injeção.

Na figura 12 é possível analisar o misturador usado para a fabricação da nata de cimento.

*Figura 12 – Misturador industrial de alta rotação em funcionamento no Residencial Jardins de Vitória.*



*Fonte: O autor, 2023.*

#### 3.5.2 Sistema de Bombeamento e Condução

Após a preparação, a nata é transferida para um sistema de bombeamento acoplado a um compressor. Este conjunto é responsável por impulsionar a mistura sob alta pressão através de mangueiras, transportando-a do local de preparo até os pontos de aplicação na fundação.

Na figura 13 mostra o sistema responsável por unir o mangote que sai do misturador e o compressor de alta pressão, levando toda a mistura para os locais de aplicação, e garantindo uma pressão controlado.

*Figura 13 – Bombeamento da nata de cimento através de máquinas e mangotes.*



*Fonte: O autor, 2023.*

### **3.5.3 Injeção Controlada e Monitoramento**

Na extremidade da mangueira, um bico injetor chamado obturador é conectado ao tubo previamente instalado na laje. Este equipamento possui um manômetro que permite ao operador monitorar e controlar a pressão da injeção em tempo real, garantindo que os valores correspondam aos definidos em cada etapa do projeto (seja para a cortina de proteção ou para o reforço do terreno).

Na figura 14 mostra o obturador com um manômetro acoplado, controlando a injeção de nata de cimento nos locais previstos em projeto.

*Figura 14 – Obturador acoplado em tubulação fixada na laje radier, em processo de aplicação de injeção com a pressão controlada através do manômetro.*



*Fonte: O autor, 2023.*

### 3.5.4 Critérios de Finalização e Vedação

A injeção em um ponto é encerrada quando a pressão atinge o nível especificado ou quando a nata começa a vazar em pontos vizinhos, sinalizando que a região está saturada. Imediatamente após a finalização, os tubos são selados para evitar o refluxo do material, concluindo o tratamento naquele local específico antes de prosseguir para o próximo.

Na figura 15 é possível analisar a conclusão da injeção com a vedação completa da tubulação.

*Figura 15 – Tubulação, onde a injeção de nata de cimento é aplicada, totalmente vedada.*



*Fonte: O autor, 2023.*

### 3.6 Análise dos Resultados Pós-intervenção

Para comprovar a eficácia da intervenção, foi realizado um monitoramento contínuo dos recalques por um período de 198 dias após a conclusão dos serviços de reforço. A metodologia consistiu em nivelamentos geométricos de precisão, utilizando um nível automático com micrômetro e precisão instrumental de 0,7 mm, para medir as cotas de 326 pinos de aço instalados ao redor dos 28 blocos do conjunto, tendo como referência marcos estáveis (benchmarks) cravados em profundidade.

A análise dos dados foi realizada pelo Método dos Mínimos Quadrados, utilizando o desvio padrão das medições de cada pino ao longo do tempo como o principal indicador de movimentação. Foi estabelecido um sistema de classificação para avaliar a velocidade do recalque, considerando a precisão instrumental ( $T = 0,7$  mm) como parâmetro:

Classes A indetectável  $a \leq 1T$

Classes B muitíssimo lento  $1T \leq b \leq 2T$

Classes C muito lento  $2T \leq c \leq 3T$

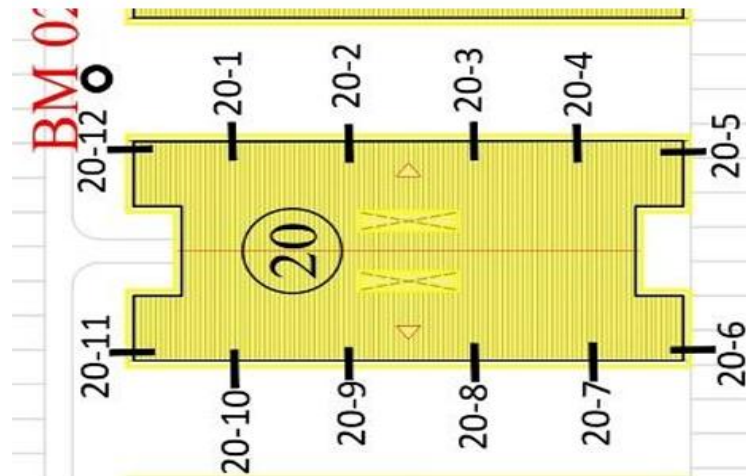
Classes D lento  $3T \leq d \leq 4T$

Classes E em observação  $4T \leq e \leq 5T$

Classes F reavaliar  $f \geq 5T$

Na figura 15 mostra os locais onde foram instalados os pinus para monitoramento, no bloco 20.

Figura 15 – Distribuição dos pinus para monitoramento do recalque.



Fonte: Empreender Consultoria, Relatório Técnico, 2025.

Tabela 04: Resultados do Monitoramento de Recalques do Bloco 21.

Tabela 04 – Resultados do monitoramento do bloco 21.

BLOCO-PONTO	DESVIO PADRÃO	desvio - erro instrum.	VELOC. DE RECALQ	CLASSE
21-1	0,964	0,264	1,33	A
21-2	1,151	0,451	2,28	A
21-3	1,861	1,161	5,87	B
21-4	1,056	0,356	1,80	A
21-5	0,746	0,046	0,23	A
21-6	1,060	0,360	1,82	A
21-7	1,328	0,628	3,17	A
21-8	1,471	0,771	3,90	B
21-9	1,571	0,871	4,40	B
21-10	1,851	1,151	5,82	B
21-11	1,538	0,838	4,23	B
21-12	1,529	0,829	4,18	B

Fonte: Empreender Consultoria, Relatório Técnico, 2025.

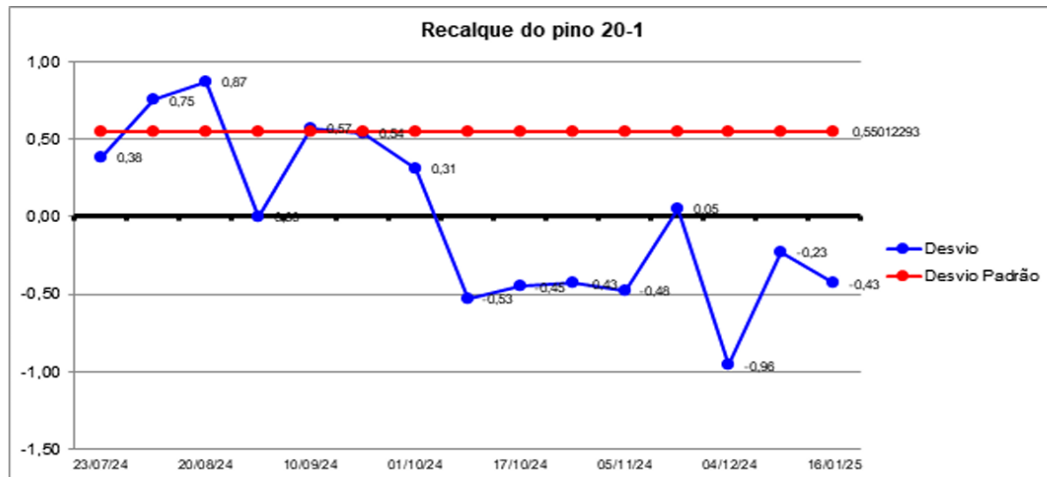
Quanto ao gráfico da figura 16:

- A linha 0,00 é a média das observações;

- Os desvios das observações em relação à média, estão representados em azul, cada ponto é uma observação, série medida por nivelamento;
- E a linha do Desvio Padrão, na cor vermelha é a medida das dispersões, portanto o quanto cada pino tem de provável recalque.

Na figura 16 mostra um gráfico com o resultado das leituras dos recalques no pino 20-1.

Figura 16 – Resultados do monitoramento pino 20-1.



Fonte: Empreender Consultoria, Relatório Técnico, 2025.

A análise do gráfico de monitoramento dos pinos de recalque revela a eficácia imediata da intervenção por injeção de nata de cimento. Observa-se que, após o período de cura e consolidação do material injetado, as leituras dos pinos (com destaque para o pino 20-1) apresentaram uma tendência de estabilização horizontal, indicando a interrupção dos movimentos verticais da estrutura.

O comportamento dos pinos demonstra que a velocidade de recalque foi reduzida a níveis estatisticamente irrelevantes, enquadrando-se majoritariamente na Classe A (recalque indetectável). Essa estabilização confirma que o preenchimento dos vazios do solo e o adensamento do aterro foram suficientes para restaurar o equilíbrio da interação solo-estrutura, mitigando o risco de evolução das fissuras anteriormente mapeadas.

## 4 CONCLUSÕES

A intervenção por meio da injeção de nata de cimento, executada em etapas e com rigoroso controle de pressão, demonstrou ser uma solução de engenharia acertada para o problema. O método permitiu o preenchimento dos vazios do solo e o aprimoramento de suas características geotécnicas, resultando em um maciço com maior capacidade de suporte. A análise dos resultados após a recuperação confirmou o sucesso da técnica, com a efetiva estabilização da fundação, a mitigação dos recalques e, conseqüentemente, a restauração da segurança e integridade estrutural da edificação.

A injeção de nata de cimento provou ser uma metodologia eficaz para a correção de patologias em fundações causadas por deficiências do terreno. Este estudo de caso contribui significativamente para a área de engenharia de fundações ao documentar um processo de recuperação bem-sucedido, servindo como uma valiosa referência técnica para profissionais e pesquisadores que enfrentam desafios geotécnicos semelhantes. Adicionalmente, o trabalho reforça a importância fundamental de um controle de qualidade rigoroso durante as fases de terraplenagem e execução das fundações como medida preventiva para garantir a durabilidade e o bom desempenho das estruturas.

A análise dos impactos desta intervenção revela benefícios que transcendem a estabilização estrutural imediata. Do ponto de vista técnico, a injeção de nata de cimento permitiu o preenchimento eficaz dos vazios do solo e o aumento da sua capacidade de carga, garantindo a integridade da edificação sem a necessidade de reforços estruturais de grande porte na alvenaria. Sob a ótica econômica, a metodologia mostrou-se uma alternativa viável e eficiente, apresentando menores custos e prazos reduzidos quando comparada a técnicas de reforço mais invasivas e onerosas.

Por fim, cabe destacar o benefício ambiental da solução adotada. Ao evitar processos de demolição e reconstrução, a técnica de injeção consolida-se como uma prática de recuperação sustentável, preservando recursos naturais e minimizando a geração de resíduos sólidos na construção civil. Portanto, a aplicação deste método no edifício tipo caixa em Vitória de Santo Antão reafirma a viabilidade de soluções geotécnicas precisas na mitigação de vícios construtivos graves.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. et al. **Injeção de calda de cimento e consolidação do solo**: estudos de caso e aplicações práticas. São Paulo: Editora Técnica, 2022.

COSTA, L. et al. **Reforço do solo de fundação**: técnicas e aplicações em edificações. Recife: Instituto de Engenharia Civil, 2021.

FIGUEIREDO, A. M. L.; SANTOS, A. M.; LIMA, M. J. S.; FAUSTINO, R.; MOTA, J. M. F. **Patologias em estruturas de concreto armado de conjunto habitacional da RMR**. In: II CONGRESSO DAS ENGENHARIAS (COENG). Cabo de Santo Agostinho: COENG, 2017.

FIGUEIREDO, A.; SILVA, A. J. C.; LIMA, M. J. S.; PINTO, J. W.; SANTOS, A. M.; MOTA, J. M. F. **Manifestações patológicas de parte do edifício no conjunto habitacional em Paulista-PE**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (CBPAT). Fortaleza: ALCONPAT, 2020.

LIMA, M. et al. **Interação solo-estrutura**: aspectos críticos para a estabilização de fundações. Brasília: Publicações Acadêmicas, 2023.

MOTA, J. M. F.; PONTES, R. B.; CANDEIAS NETO, J. A.; OLIVEIRA, M. F.; ALMEIDA, H. T.; CARNEIRO, A. M. P. **Análise das patologias em estruturas de concreto na zona litorânea da cidade do Recife-PE.** In: X CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PATOLOGIA (CONPAT). Valparaíso: ALCONPAT, 2009.

OLIVEIRA, R. et al. **Diagnóstico e recuperação de patologias em fundações.** Rio de Janeiro: Editora Científica, 2022.

PEREIRA, S. et al. **Técnicas de reforço de fundações: inovações e estudos de caso.** Fortaleza: Engenharia Moderna, 2023.

SANTOS, A. et al. **Recalque diferencial e soluções de reforço em fundações.** Vitória: Editora Geotécnica, 2021.

SILVA, P. et al. **Vícios construtivos e impactos no desempenho de edificações.** Belo Horizonte: Editora Universitária, 2020.