



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ÍTALO BRENDSON TORRES DE OLIVEIRA

**REFORÇO DO SOLO DE FUNDAÇÃO ATRAVÉS DA TÉCNICA DA INJEÇÃO DA
NATA DE CIMENTO: Estudo de caso em prédio residencial em Vitória de Santo
Antão - PE**

Caruaru
2023

ÍTALO BRENDSON TORRES DE OLIVEIRA

**REFORÇO DO SOLO DE FUNDAÇÃO ATRAVÉS DA TÉCNICA DA INJEÇÃO DA
NATA DE CIMENTO: Estudo de caso em prédio residencial em Vitória de Santo
Antão - PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia

Orientador(a): Pós – D.Sc. Saul Barbosa Guedes

Caruaru

2023

Reforço do solo de fundação através da técnica da injeção da nata de cimento: Estudo de caso no prédio residencial em Vitória de Santo Antão - PE

Reinfor cement of the foundation soil using the cement laitance injection technique: Case study in a residential building in Vitória de Santo Antão – PE

Ítalo Brendson Torres de Oliveira¹

RESUMO

O presente trabalho abordou o estudo de problemas estruturais desenvolvidos em um edifício residencial construído por meio da técnica da alvenaria estrutural, tendo como fundação o tipo superficial em radier. Após o processo de análises das causas que lavaram ao aparecimento dos problemas, chegou-se à conclusão de que a origem dos mesmos foi ocasionada devido a erros na execução da infraestrutura (fundação) e superestrutura (blocos de concreto). Pode-se compreender que, a falta de uma fiscalização no controle tecnológico da execução da infraestrutura, e também na qualidade estrutural dos materiais da alvenaria utilizados durante a construção do empreendimento, foram os fatores decisivos para a manifestação dos problemas estruturais, resultando, portanto, em altos custos para aplicar as técnicas adotadas como alternativas de solução, assim como transtornos para os moradores. Com o objetivo de sanar os problemas, a empresa responsável adotou duas técnicas de solução, foram elas: o melhoramento do solo de fundação e o reforço estrutural da alvenaria da edificação. A técnicas adotadas como solução serão adotadas como modelo padrão, e servirá como ponto de partida para o desenvolvimento de soluções em outros empreendimentos com situação semelhantes, uma vez que se trata de edificações pertencentes ao mesmo conjunto habitacional.

Palavras-chave: patologias construtivas; reforço estrutural; melhoramento do solo; nata de cimento.

ABSTRACT

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: italo.brendson@ufpe.br

The present work addressed the study of structural problems developed in a residential building built using the structural masonry technique, having as foundation the superficial type in raft slab. After the process of analysis of the causes that led to the appearance of the problems, it was concluded that their origin was caused due to errors in the execution of the infrastructure (foundation) and superstructure (concrete blocks). It can be understood that the lack of inspection in the technological control of the execution of the infrastructure, and also in the structural quality of the masonry materials used during the construction of the enterprise, were the decisive factors for the manifestation of the structural problems, resulting, therefore, in high costs to apply the techniques adopted as alternative solutions, as well as inconvenience for residents. With the objective of solving the problems that appeared, the responsible company adopted two solution techniques, they were: the improvement of the foundation soil and the structural reinforcement of the masonry of the building. The techniques adopted as solutions will be adopted as a standard model, and will serve as a starting point for the development of solutions in other projects with similar situation, since they are buildings belonging to the same housing complex.

Keywords: constructive pathologies; structural reinforcement; soil improvement; jet grouting.

DATA DE APROVAÇÃO: 04 de outubro de 2023.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil está cada vez mais comum a ocorrência de problemas estruturais em edifícios destinados à habitação. Tendo em vista que esses problemas se tornam mais corriqueiros principalmente em obras públicas, já que para cumprir com o cronograma algumas empresas fazem o serviço sem o devido controle de qualidade. A obra em estudo exemplifica bem o quanto a falta de controle de qualidade na compactação do solo abaixo da fundação, e da baixa resistência dos blocos da alvenaria estrutural provocou sérias patologias na edificação.

Essas obras por parte da organização pública passam apenas por vistorias visuais de execução do serviço, não sendo feita avaliação na qualidade do serviço executado, já que teoricamente não seria necessária essa avaliação, uma vez que a empresa contratada para construir o empreendimento se responsabiliza por meio de contrato por qualquer manifestação patológica que venha a aparecer antes que a garantia da obra se vença.

Quando surgem problemas estruturais na edificação causados por mau dimensionamento da fundação ou erros de execução da mesma, isso gera um custo muito elevado para o reforço desses elementos, além de outros transtornos para os residentes. Já que as fundações das construções são responsáveis pela interação entre o solo e a estrutura, e também, são nestas que o carregamento de toda a superestrutura é concentrado e transmitido para o solo. E qualquer que seja a alteração na infraestrutura, impacta diretamente a funcionalidade da construção.

Deve-se salientar que, o serviço de solução na fundação de uma edificação, geralmente não é realizado por qualquer empresa de construção civil, mas sim, uma empresa com bastante tempo no mercado, e que utiliza equipamentos sofisticados e específicos, além de um corpo técnico bastante experiente, o que torna o serviço de solução, bastante oneroso.

O bom desempenho de uma fundação sofre a influência de diversos fatores, como ausência, insuficiência, falha ou interpretação inadequada da investigação geotécnica do subsolo, mau comportamento da interação solo-estrutura, falhas de execução, uso diferente do dimensionado para estrutura, excesso de carga na edificação e vibrações. Na ocorrência de uma dessas situações, ou uma combinação delas, a estrutura de uma fundação pode perder significativamente ou toda a sua característica principal, que é transmitir as cargas da construção para o solo de maneira segura. Assim, quando surgem problemas nesses elementos é necessário um grande investimento em técnicas para reforçar, e até mesmo melhorar o solo sob fundação.

De acordo com Cunha, Lima e Souza (1996), problemas relacionados ao solo natural que serve de fundação para obras de engenharia podem ocorrer tanto durante, quanto após a execução da obra. Caso surjam durante a execução, medidas preventivas devem ser prontamente adotadas para evitar que o problema se agrave. No entanto, se ocorrer um acidente após a conclusão da obra, a recuperação do solo sem afetar a parte da estrutura ainda intacta pode exigir técnicas corretivas especiais que devem ser aplicadas de forma pontual.

Após desenvolver estudos objetivado determinar a origem dos problemas do aparecimento de trincas nas alvenarias de vedação da edificação, a empresa responsável pela solução do problema, chegou à conclusão de que, o problema foi ocasionado devido a erros no processo de execução do aterro sobre o qual ficaria a fundação superficial do tipo radier. Também foi realizado teste de comportamento mecânico estrutural nos blocos da alvenaria estrutural e constatou-se que os mesmos registraram valores de resistência reduzidos em relação ao valor de referência normatizada.

Como solução do problema, chegou-se à conclusão de que a técnica de injeção de nata cimento, juntamente com o reforço da alvenaria estrutural, eram as soluções mais

convenientemente, técnica e financeiramente adequadas para a ocasião em questão.

Segundo Rodrigues (2018) a técnica do *jet grouting* envolve a injeção da nata de cimento no solo em alta pressão, resultando em uma mistura de solo-cimento com propriedades físicas e mecânicas superiores às do solo no estado natural. Essa técnica é altamente versátil, podendo ser aplicada em uma ampla variedade de solos e em diferentes condições de aplicação.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivos geral

Este trabalho tem como objetivo principal entender e descrever as causas e consequências do problema desenvolvido nas fundações da edificação, além de compreender e apresentar detalhadamente o método de solução adotado.

1.2.2 Objetivo específico

- Entender a origem do aparecimento de trincas na alvenaria de vedação;
- Examinar as consequências dos danos sofridos pela estrutura (alvenaria estrutural);
- Entender o modelo de solução adotada para resolver o problema da edificação;
- Analisar os critérios desenvolvidos na solução adotada;
- Promover um trabalho que sirva como base para estudos de problemas semelhantes.

2 METODOLOGIA

2.1 Localização da área de estudo

O estudo foi realizado no Residencial Jardins de Vitória, localizado em Vitória de Santo Antão, como mostra a Figura 1 no apêndice A. O município, que está situado na Zona da Mata do estado de Pernambuco, a aproximadamente cinquenta (50) quilômetros de Recife, possui uma população de cerca de cento e quarenta mil (140.000) habitantes.

2.2 Caracterização da edificação

No ramo da construção civil está cada vez mais comum desenvolver técnicas e métodos construtivos que proporcionem uma maior rapidez na execução e maior custo benefício das obras.

Em obras destinadas a habitação, esses requisitos são ainda mais importantes, já que a execução dessas obras é fundamental para que as pessoas possam ter a sua moradia, para desfrutar da mesma com maior rapidez.

Um sistema construtivo interessante que proporciona rapidez no seu processo de execução, é o sistema de alvenaria estrutural em bloco de concreto. Esses blocos além de fazerem a vedação da edificação, são responsáveis por suportar os esforços solicitantes de toda a estrutura.

No Bairro de Santana município de Vitória de Santo Antão – PE foi construído o conjunto residencial Jardins de Vitória, classificado como uma edificação padrão popular. O empreendimento em questão foi feito em quatro (04) etapas I, II, III e IV, totalizando vinte e oito (28) blocos, como pode ser observado na Figura 1 no Anexo A.

Cada bloco possui quatro (04) pavimentos, sendo um (01) térreo e os demais pavimentos superiores. Portanto, cada bloco possui três (03) andares. Cada andar possui um total de oito (08) apartamentos tipo, totalizando, dessa maneira, trinta e duas (32) unidades habitacionais (apartamentos) por bloco. Nas Figuras 2 e 3 do apêndice A, ilustram-se, respectivamente, detalhes da vista frontal e lateral do bloco.

Cada apartamento possui a seguinte disposição de ambientes: dois (02) quartos sociais, um (01) banheiro social, uma (01) sala para dois (02) ambientes, uma (01) cozinha americana, um espaço para circulação e uma (01) área de serviço (ver detalhes na Figura 4 do Apêndice A).

2.3 Início dos problemas na edificação

O empreendimento em análise tinha como prazo de execução doze (12) meses, com conclusão prevista para a data 28/12/2010. Em 10/05/2013, com mais de dois (02) anos de atraso e com aproximadamente 94,20% de obra concluída, a empresa responsável pela a execução do empreendimento realizou o distrato do contrato. Dessa forma, foi necessário realizar um novo contrato com outra empresa para dar retomada e concluir a obra.

A nova empresa responsável pela conclusão do restante do empreendimento finalizou oficialmente a obra em 26/12/2016, vale salientar que, as etapas estruturais das edificações já tinham sido realizadas pela empresa que realizou o distrato.

A partir dessa data, os apartamentos passaram a ser ocupados pelas famílias contempladas pelo programa de habitação. Entretanto, com apenas três (03) anos após a entrega do conjunto

habitacional, os moradores de alguns blocos começaram a observar o aparecimento de fissuras na parte interna e externa dos apartamentos. Para maiores detalhes ver as Figuras 2, 3, 4 e 5 do Anexo A.

O surgimento desse tipo de manifestação patológica deixou os habitantes dos apartamentos preocupados, e os colocaram em dúvida se a edificação proporcionava risco de desabamento. Assim, a primeira medida adotada pelos moradores consistiu em acionar a defesa civil do município de Vitória de Santo Antão/PE.

Diante dessa solicitação, a defesa civil requisitou o apoio a Casa Militar de Pernambuco, o qual desenvolveu uma vistoria visual nos apartamentos dos blocos, avaliando a estrutura da edificação, como Risco Médio - R2, emitindo à NOTA TÉCNICA CEPDC/SEDEC Nº 089/2019. Esse documento apresentou algumas recomendações diante do problema em questão, onde a principal recomendação foi o monitoramento da evolução das patologias nas edificações que apresentavam essas fissuras dentro do residencial.

Durante o processo de monitoramento, foi recomendado pela Defesa Civil do município que, havendo novas manifestações patológicas durante o período de monitoramento da edificação, com presença de novas fissuras e rachaduras nesses blocos, foi aconselhado a interdição dessas edificações.

Em 01/11/2019, o primeiro bloco a ser interditado pela Defesa Civil do Município de Vitória de Santo Antão/PE foi o Bloco-21, com o decorrer do tempo e a medida que foram sendo realizadas novas vistorias, os mesmos problemas foram notados no Bloco-22, que eventualmente foi interditado no dia 27/12/2019. Diante disso, a quantidade de blocos monitorados aumentou, e passou-se a se realizar vistorias a cada quinze (15) dias para acompanhamento da evolução das fissuras.

Em um curto espaço de tempo, começaram a surgir os mesmos problemas sequencialmente em outros blocos. Com base nas vistorias, a Defesa Civil municipal interditou os blocos: 5, 7, 8, 9, 10, 11 e 27, além dos blocos 21 e 22 que foram os primeiros a serem interditados, totalizando, portanto, um total de nove (09) blocos desabitados. Além destes blocos, outros também estavam apresentando problemas estruturais, porém, menos graves, o que não implicaram em perda da habitabilidade. No final de 2020, mais seis (06) blocos foram interditados pela defesa civil, foram eles: 4, 6, 12, 18, 19 e 20, o que totaliza 15 blocos interditados, mais da metade do residencial que tem no total 28 blocos.

2.4 Evoluções das manifestações patológicas da edificação

A construção de edifícios de alvenaria resistente (alvenaria estrutural) é bastante comum na construção civil, mas é importante estar ciente das possíveis manifestações patológicas que podem surgir nesse tipo de construção. Trincas e fissuras, umidade, eflorescências e deterioração do material são alguns exemplos de problemas que podem surgir ao longo do tempo.

O edifício em estudo apresentou fissuras e trincas, que são manifestações patológicas comuns de uma edificação produzida com esse método construtivo, mas a intensidade e a gravidade desse fenômeno passaram a comprometer a segurança e estabilidade da estrutura. Nos tópicos a seguir, serão apresentadas as consequências, no que se refere as partes estética e estrutural dos blocos, em função do aumento na magnitude das fissuras.

2.4.1 Fissuras horizontais

Nas Figuras 5 e 6 do Apêndice A observa-se a evolução das fissuras horizontais na parte externa da edificação com o passar do tempo. Na data 13/12/2019 a fissura tinha 5,0 mm e em 05/03/2020 passou a ter 8,0 mm. Houve, portanto, um aumento de 3,0 mm em aproximadamente cem (100) dias.

Na Figura 7 do Apêndice A, ilustra-se uma fissura que tinha abertura de 1,8mm em 24/03/2021. Nas Figuras 8 e 9 do Apêndice A, ilustram-se o aparecimento de fissuras horizontais na base da alvenaria estrutural, imediatamente acima da fundação em radier. Além das fissuras na parte externa, também surgiram fissuras horizontais no interior do prédio, essas fissuras internas são o reflexo das fissuras externas que se propagaram através da espessura dos blocos de concreto.

Em 12/11/2019 a fissura tinha uma abertura de 2,0 mm e, em pouco mais de um (01) mês passou a ter 4,0 mm de abertura (ver Figuras 10 e 11 do Apêndice A). Outra fissura, também na parte interna da edificação, tinha uma abertura de aproximadamente 1,0 mm, tanto na posição horizontal quanto na vertical. O aparecimento da fissura ocorreu em 12/11/2019. Em 26/12/2019 a mesma tinha apresentado uma abertura de cerca de 4,0 mm (ver Figuras 12 e 13 do Apêndice A).

2.4.2 Fissuras inclinadas

Nas Figuras 14 e 15 do Apêndice A, pode-se observar a evolução das fissuras inclinadas na parte interna da edificação. Em 12/11/2019 a fissura tinha 2,5 mm e, com o passar do tempo,

em 26/12/2019 passou a ter 4,0 mm de abertura. Nas Figuras 16 e 17 do Apêndice A, pode-se visualizar a evolução da fissura inclinada, que em 12/11/2019 tinha a espessura de 2,5mm e, no dia 26/12/2019 passou a ter 3,0 mm.

Nas Figuras 18, 19 e 20 do Apêndice A ilustram-se o aparecimento de mais fissuras na alvenaria estrutural dos blocos, assim como o deslocamento de parte do reboco interno de um bloco provocado pelo aparecimento da referida patologia.

2.4.3 Afundamento da laje de fundação

O afundamento da laje de fundação pode ocorrer em duas situações, na primeira o elemento estrutural, laje radier, não foi dimensionado corretamente para o carregamento da superestrutura, e acaba colapsando promovendo assim o afundamento da mesma. A outra situação é quando o solo abaixo do elemento estrutural não tem resistência suficiente para suportar as tensões aplicadas sobre ele, oriundas da fundação. As Figuras 21 e 22 do Apêndice A mostram o afundamento da laje radier da edificação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Classificação das fissuras

Toda edificação passa pelo processo de estabilização, que é quando os elementos que são responsáveis por manter a construção erguida se ajustam as condições de carregamento, interação solo-estrutura, fenômenos de fluência entre outros fatores. Então o surgimento de indícios que a estrutura está passando por essa etapa pode ser visto de forma nítida em alguns casos. Contudo, é importante ficar atento à intensidade dessas manifestações. Diante disso, com base nas dimensões das fissuras apresentadas anteriormente, foi utilizada a Tabela 1 para classificar a gravidade dos danos causados à estrutura.

Tabela 1 - Relação Entre Abertura de Fissuras e Danos em Edifícios

Abertura da Fissura (mm)	Intensidade dos Danos			Efeitos na Estrutura e Uso do Edifício
	Residencial	Comercial ou Público	Industrial	
< 0,1	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Nenhum
0,1 a 0,3	Muito Leve	Muito Leve	Insignificante	Apenas Estética. Deterioração Acelerada do Aspecto Externo
0,3 a 1,0	Leve	Leve	Muito Leve	
1,0 a 2,0	Leve a Moderada	Leve a Moderada	Muito Leve	
2,0 a 5,0	Moderada	Moderada	Leve	Utilização do Edifício Será Afetada e, no limite Superior, a Estabilidade pode, Também, estar em Risco.
5,0 a 15,0	Moderada a Severa	Moderada a Severa	Moderada	
15,0 a 25,0	Severa a Muito Severa	Severa a Muito Severa	Moderada a Severa	
> 25,0	Muito Severa a Perigosa	Severa a Perigosa	Severa a Perigosa	Cresce o Risco de a Estrutura Tornar-se Perigosa

Fonte: THORNBURN & HUTCHINSON (1985) citado por VELLOSO & LOPES (2004)

Para edificação em estudo, que é do tipo residencial, de acordo com a Tabela 1, as fissuras presentes na construção são classificadas como moderada a severa. Assim, aumenta o risco da edificação tornar-se perigosa quanto a sua integridade estrutural.

Desta forma, ficou nítido que esses danos não podem ser considerados como algo normal. Como, geralmente, acontece de aparecer fissuras na alvenaria de vedação devido ao processo de acomodação da fundação, pós término da obra.

Além disso, a maneira de como as fissuras surgiram na edificação, deram indícios de danos provocados, provavelmente, por recalque diferencial. Por tanto, foi necessário confirmar a causa dessas patologias, através da análise estrutural da superestrutura e infraestrutura dos blocos. Também foi necessário realizar a prospecção geotécnica do solo do aterro construído sob a fundação e, por meio dessa análise determinar a real causa e a melhor solução para o problema.

3.2 Análises da segurança estrutural

Para realizar a análise de segurança estrutural do edifício em estudo, foi utilizada a ABNT NBR-15961/2011: Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto, verificando os principais requisitos solicitados por ela. Além disso, foi necessário aplicar os conceitos da ABNT NBR-8681/2003: Ações e Segurança de Estruturas Procedimento, para que se pudesse diagnosticar e determinar a melhor solução para o problema.

3.2.1 Tensões solicitantes

Para a determinação das tensões solicitantes que atuavam na edificação foi feita a modelagem numérica da estrutura. A modelagem utilizada é fundamentada nos métodos dos elementos finitos com elementos em membrana, essa é uma técnica numérica utilizada para analisar o comportamento de estruturas e sistemas complexos, dividindo-os em elementos menores para facilitar o cálculo.

Os elementos em membrana é um aperfeiçoamento do método dos elementos finitos para realizar uma abordagem específica, modelar e analisar estruturas que se comportam predominantemente como elementos de membrana, ou seja, estruturas que são principalmente sujeitas a tensões axiais de tração e compressão, como é o caso das tensões que atuam no edifício em questão.

Na modelagem do problema foram inseridos os parâmetros físicos e mecânicos dos elementos que constituem a estrutura do edifício. Esses parâmetros foram obtidos por meio da análise das amostras retiradas das paredes da superestrutura. Além disso, foram acrescentadas as informações referentes às lajes dos pavimentos, considerando a espessura e densidade padrão de laje pré-moldada. Outra condição adotada no método, que vale ressaltar, foi à consideração da fundação estática. Na Tabela 2 pode ser visto os valores das máximas tensões verticais obtidos por meio da modelagem numérica adotada.

Tabela 2 – Tensões axiais atuantes nas paredes por pavimento

Parede	Região da parede	Tensões normais verticais máximas em MPa			
		Térreo	1° Pav	2° Pav	3° Pav
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	0,18
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: Relatório técnico 023A (2020)

Os resultados da Tabela 2 podem ser visivelmente entendidos por meio das Figuras 6 a 9 do Anexo A, que mostram, por meio de um mapa de cores, o quanto às tensões axiais solicitantes pela estrutura variam de acordo com o pavimento e a posição das paredes no edifício.

3.2.2 Tensões resistentes

Para determinação da resistência característica a compressão dos blocos de concreto, utilizados na construção do prédio, foram analisados seis (06) corpos de prova, em formato de prisma, extraídos da superestrutura. Essa análise foi feita utilizando o Anexo – A, Ensaio para Determinação da Resistência à Compressão de Prismas da ABNT NBR-15812-2/2010, os resultados podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 – Ensaio a compressão de prismas da superestrutura do edifício

Corpo de prova	Tipo de Corpo de prova	Dimensões (mm)			Massa (Kg)	Densidade (kg/dm³)	Carga (kN)	Resistência (Mpa)
		Comp.	Largura	Altura				
	Alvenaria de blocos							
BL – 21 – 1	de estruturais concreto revestidos	550	170	480	70,2	1,56	213,37	2,23
	Alvenaria de blocos							
BL – 21 – 2	de estruturais concreto revestidos	530	165	480	68,1	1,62	233,31	2,61
	Alvenaria de blocos							
BL – 21 – 3	de estruturais concreto revestidos	560	170	500	54,2	1,61	224,43	2,99
	Alvenaria de blocos							
BL – 22 – 1	de estruturais concreto revestidos	510	170	470	65,3	1,54	192,47	2,22
	Alvenaria de blocos							
BL – 22 – 2	de estruturais concreto revestidos	540	170	480	80,0	1,63	192,90	2,10
	Alvenaria de blocos							
BL – 22 – 3	de estruturais concreto revestidos	590	170	470	67,3	1,43	233,39	2,33

Fonte: Relatório de Ensaio N° 177.209 (2020)

Após os dados obtidos dos ensaios de compressão, foram utilizadas as formulações do item 8.2 Resistência Característica da ABNT NBR-15812-2/2010. Como o número de corpos-de-

prova da amostra foi maior que seis e menor que 20 ($6 < \text{Quantidade de CPs} < 20$), foi estimada a resistência característica pela formulação a seguir.

Sendo:

n é o número de corpos-de-prova da amostra;

$$i = \frac{n}{2}, \text{ se } n \text{ for par;}$$

$$i = \frac{n-1}{2}, \text{ se } n \text{ for impar;}$$

Onde:

$f_{pk, est}$ é a resistência característica estimada da amostra, expressa em megapascals (MPa);

$f_{p(1)}, f_{p(2)}, \dots, f_{p(i)}$ são os valores de resistência a compressão individual dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;

f_{em} é a resistência média de todos os resultados da amostra;

$$f_{pk, est} = 2 \times \left[\frac{2,10 + 2,22}{3-1} \right] - 2,23 = 2,09 MPa$$

A ABNT NBR-15812-2/2010 menciona que o valor de $f_{pk, est}$ não deve ser inferior a $\phi \cdot f_{p(1)}$, nem superior a $0,85 \cdot f_{em}$, para que a aplicação da equação seja válida, esse coeficiente ϕ pode ser obtido pela Tabela 4.

Tabela 4 – Valores De ϕ Em Função Da Quantidade De Elementos De Alvenaria.

Nº de elementos	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16 e 17	18 e 19
ϕ	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

Fonte: ABNT NBR-15812-2/2010 (2010)

O ensaio foi realizado em prismas, e assim, tornou-se possível estimar a resistência característica dos blocos. Contudo, o que realmente interessa é a resistência do elemento estrutural parede, que são compostos pelos blocos. Essa resistência foi calculada utilizando a Equação 2.

$$\frac{f_k}{f_{pk, est}} = 0,7 \quad (2)$$

Onde:

f_k é a resistência característica da parede (MPa);

$$f_k = 0,7 \times 2,09 = 1,46 \text{ MPa}$$

Para realizar a verificação no Estado Limite Último, foi preciso utilizar um fator de ponderação, esse valor pode ser adotado como $\gamma_m = 2$ de acordo com a Tabela 2 da ABNT NBR 15812-1/2010, correspondente a elementos em alvenaria. Assim, o valor de resistência do elemento foi obtido pela Equação 3.

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (3)$$

$$f_d = \frac{1,46}{2} = 0,73 \text{ MPa}$$

Para a verificação da influência da esbeltez, foi considerada a espessura do revestimento aderido, essa consideração pode ser feita, pois o revestimento ficou aderido ao prisma até próximo à ruptura.

Dessa forma, para calcular a tensão resistente levando em consideração a esbeltez do elemento com altura de 260 cm e espessura de 17 cm, adotou-se a equação a seguir.

$$\sigma_r = f_d \times \left[1 - \left(\frac{\lambda}{40} \right)^3 \right] \quad (4)$$

Sendo:

$$\lambda = \frac{h}{t}, \text{ onde } h \text{ é a altura da parede e } t \text{ a espessura;}$$

σ_r , é a tensão resistente;

$$\sigma_r = 0,73 \times \left[1 - \left(\frac{\left(\frac{260}{17} \right)}{40} \right)^3 \right] = 0,69 \text{ MPa}$$

Esse valor da tensão resistente, foi o considerado para fazer a análise da segurança estrutural da edificação. Ao comparar esse valor de tensão resistente, com as tensões máximas solicitantes das paredes longitudinais dispostas na Tabela 2, foi verificado que a tensão resistente de 0,69 MPa é inferior a tensão máxima solicitante de 0,80 MPa, obtida por meio da simulação numérica, nas paredes do pavimento térreo. Desta forma, foi possível constatar que as paredes

Por meio dos dados obtidos do ensaio de resistência à compressão, foi possível determinar a resistência média do concreto utilizado na fabricação do radier.

O concreto apresentou resistência média de 27,71 MPa, ou seja, está um pouco acima da resistência requerida de projeto que foi de 25,0 MPa, portanto, condição satisfatória em termos de resistência.

Em relação à armadura utilizada, também atendeu as especificações do projeto, já que o projeto especificou armadura dupla com telas Q-246 e Q-61, e aparentemente a tela utilizada na malha foi a Q-785 que é uma tela com maior área de aço e melhor qualidade, portanto, temos outra condição estrutural satisfatória. Além disso, as propriedades geométricas da placa de concreto se aproximaram das recomendadas, a espessura variou de 14 cm a 19 cm, e a recomendada foi de 16 cm, sobre essa placa foi acrescentada uma camada de contra piso de 3cm a 8cm, com a finalidade de corrigir as variações de espessura ao longo do elemento de fundação.

3.2.4 Análise do Solo abaixo da fundação

Um dos ensaios mais comuns e simples, que proporcionam a identificação e avaliação da resistência à penetração solo é o Standard Penetration Test (SPT). Com o intuito de verificar as condições do solo abaixo da laje de fundação foram realizados 03 (três) furos de sondagem geotécnica de simples reconhecimento por meio do uso do SPT. A metodologia utilizada para realização do mesmo foi a contida na norma ABNT NBR-6484/2001 (Execução de Sondagem de Simples Reconhecimento de Solos para Construção de Edifícios) da ABNT, a disposição dos furos ao longo da placa pode ser visualizada na Figura 12 do Anexo A.

Avaliou-se a resistência à penetração das diversas camadas atravessadas por meio da utilização de um amostrador padrão do tipo SPT. Esse ensaio consiste em cravar no fundo de um furo de sondagem um amostrador normalizado, por meio dos golpes ou pancadas de um martelo de 63,5 kgf de peso que cai de uma altura de 76 cm. O amostrador é um tubo de aço bipartido (com diâmetros exterior e interior de, respectivamente, 51 mm e 35 mm). À extremidade inferior do corpo do amostrador acopla-se um anel cortante que é biselado na boquilha para facilitar a penetração do terreno. Na extremidade oposta é rosca uma peça, dotada de uma válvula de esfera antirretorno e de orifícios laterais para retirar ar e água durante a cravação, que faz a ligação ao trem de hastes.

A cravação (o ensaio) é realizado em duas fases sucessivas, com penetração do amostrador de 15 cm na fase 01 e (sequencialmente) de 15 cm mais 15 cm na segunda fase 02,

contabilizando o respectivo número de golpes do martelo. O número referente à fase 01 é tomado como meramente informativo, já que com a mesma se pretende, essencialmente, atravessar o terreno mais perturbado imediatamente abaixo do fundo do furo. O número total de golpes do martelo na fase 02 (isto é, a soma, nas duas subfases de 15 cm), N, é considerado o resultado do ensaio.

Ao analisar os resultados do ensaio de resistência à penetração do solo, dos três furos, observou-se a baixa resistência do solo nas camadas de aterro. O resumo dos resultados do ensaio pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 – Resumos dos ensaios de N_{SPT} realizados no bloco 21.

Furo	Camadas	N_{SPT} da camada	Profundidade da camada (m)
SP-01 BLOCO 21	1 ^a	-	0,20
	2 ^a	2/55	0,75
	3 ^a	20/03	0,98
SP-02 BLOCO 21	1 ^a	2/50	0,80
	2 ^a	20/03	0,85
	3 ^a	-	-
SP-03 BLOCO 21	1 ^a	2	0,50
	2 ^a	2	1,00
	3 ^a	45	1,55

Fonte: ACE consultoria e projetos (2020)

Já para classificar as amostras obtidas nas camadas estudadas, foi utilizada a ABNT NBR – 7250/2001 (Identificação e Descrição de Amostras de Solos Obtidas em Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos) da ABNT. Os materiais extraídos foram classificados como argila siltosa e arenosa com pedregulhos, argila siltosa pouco arenosa, muito mole com coloração marrom e areia média com coloração marrom.

Após uma análise aprofundada dos elementos estruturais do edifício e a consideração dos resultados obtidos, foi possível determinar que as patologias evidenciadas nas paredes da edificação derivam predominantemente de dois fatores que são eles: a aplicação de baixa ou até mesmo nula energia de compactação nas camadas de aterro subjacentes à placa de fundação junto com a disparidade nos materiais utilizados nesse aterro, alguns dos quais de qualidade insatisfatória e da baixa resistência dos blocos utilizados para construir a superestrutura da edificação. Dessa forma, observou-se que o elemento estrutural das fundações (placa radier), não exerceu um papel decisivo para o surgimento das manifestações patológicas,

acompanhando apenas os recalques ocorridos nos aterros, que são os principais responsáveis pelos danos observados na estrutura.

Nesse contexto, visando à correção e a estabilização da movimentação do edifício, foram implementadas duas ações integradas. Com o propósito de estabilizar o solo, foram empregadas injeções de nata de cimento nas camadas de aterro localizadas abaixo da fundação. Essas injeções têm como finalidade preencher eventuais vazios presentes nessas camadas do aterro. Além disso, para fortalecer a resistência das paredes do térreo e aumentar a rigidez do conjunto fundação-superestrutura, realizou-se um reforço estrutural desses elementos. Esse reforço envolveu a instalação de telas de aço entrelaçadas e revestidas nas paredes principais do pavimento térreo.

3.3 Solução adotada

3.3.1 Técnica de injeção de nata de cimento

Conforme mencionado por Pereira (2016), sempre que a fundação não cumprir com os requisitos mínimos de segurança, será necessário aplicar um reforço estrutural. Isso ocorre principalmente em situações como aumento de carga devido a modificações no projeto ou a presença de riscos, como recalques ou erosões, que impactam a funcionalidade da estrutura.

No caso da obra em estudo não foi feito o reforço da fundação e sim o melhoramento do solo abaixo da fundação, já que após os estudos geotécnicos foi constatado que o motivo da estrutura ter sofrido recalques diferenciais está ligada a grande presença de vazios, oriundos da baixa energia de compactação aplicada nas camadas de solo abaixo da fundação.

Para adoção da técnica de melhoramento, injeção de nata de cimento, aplicada para solução do problema, foi levado em consideração as principais propriedades do solo no local.

Segundo Pereira (2016) a injeção de nata de cimento é uma técnica recomendada para a estabilização de solos pouco coesivos e com baixa resistência. É amplamente empregada para corrigir recalques no solo, já que preenche os vazios existentes, melhorando suas propriedades. Mas não basta que se atendam apenas esses dois (02) critérios, além deles é preciso que o solo tenha um grau de permeabilidade considerado, para que a nata de cimento penetre o material e preencha os vazios.

Até o ano de 2023 não existe no Brasil norma específica para técnica de Jet Grouting, desta forma, para aplicação dessa técnica se faz necessário tomar como referências as normas

estrangeiras. Na Europa existe a norma EN 12716 (2001) - *Execution of special geotechnical works - Jet Grouting*, que de acordo com Rodrigues (2018) a norma europeia define as especificações para a realização desta técnica. No entanto, enfatiza mais o processo de execução e controle de qualidade, apresentando apenas algumas recomendações gerais para o dimensionamento.

Ainda de acordo com Rodrigues (2018) a Japanese Jet Grouting Association (JJGA 2005) desenvolveu documentos normativos nacionais. Na qual são definidos os princípios e diretrizes para dimensionar a técnica de jet grouting, apresentando parâmetros de execução que consideram os valores de N_{SPT} , para os variados sistemas de injeção e tipos de solos.

3.3.2 Detalhes de projeto e execução da técnica de injeção da nata de cimento

3.3.2.1 Detalhe do projeto de injeção de nata de cimento

Para melhoramento do solo abaixo da fundação, foi injetado nata de cimento sob pressão no solo. A execução da injeção foi dividida em 03 (três) etapas, a etapa 01 com pressão variando de 100 kPA a 200 kPA essas injeções foram as responsáveis por criar uma cortina de proteção das tubulações das áreas molhadas, a etapa 02 são as injeções responsáveis por reforçar o terreno de fundação e a pressão nessa etapa varia de 300 kPA a 500 kPA e por fim a etapa 03 que são as injeções complementares que só serão executadas se durante a aplicação das injeções da etapa 02 não houver extravasamento das injeções vizinhas e contíguas, sendo um indicador do não completo preenchimento dos vazios da região. A Figura 13 e 14 do Anexo A mostram a disposição dos furos de acordo com as etapas, além disso, cada etapa é representada por uma cor diferente como mostra a legenda da Figura 14 do Anexo A.

A composição da nata de cimento utilizada na injeção foi (100 kg de cimento: 100 l de água: 2 kg de betonita: 0,5 l de plastificante plasztiment VZ ou similar), o plastificante exerce a função retardadora na argamassa, permitindo controlar a hidratação do cimento, já a betonita desempenha a função de promover um ganho de resistência a mistura. Cada bloco recebeu uma média de aproximadamente 357 injeções, esse número variou para mais ou para menos de acordo com a quantidade de injeções complementares executadas na etapa 03.

Para realizar a injeção é necessário perfurar a laje de fundação com furos de diâmetro 63,5 mm, essa perfuração deve-se realizada com brocas rotativas. A locação das injeções pode ser modificada em função do surgimento de obstáculos, desde que obedeça ao distanciamento

mínimo de 75cm entre os pontos de injeção de acordo com a técnica adotada.

Além disso, segundo a técnica adotada esse furo deve atingir uma profundidade de no mínimo 60 cm, nesses furos serão instalados tubos de PVC com comprimento de 60 cm e diâmetro de 38,1 mm, que devem ser rosqueados, perfurados e chumbados na laje de fundação, a argamassa utilizada para o chumbamento desses tubos possui um traço de 3:1(areia e cimento), os detalhes da injeção podem ser vistos na Figura 15 e 16 do Anexo A.

3.3.2.2 Remoção dos aparelhos sanitários

A remoção dos aparelhos sanitários se tornou necessária para que fosse possível perfurar os furos destinados à colocação dos tubos utilizados para injetar a nata de cimento no solo abaixo da fundação.

3.3.2.3 Remoção do revestimento do piso

Quando se iniciou as injeções nos blocos não se removia o revestimento do piso. Mas após concluir as injeções percebeu-se que o piso perdeu a aderência com o radier, ficando solto. Em alguns casos a laje de fundação apresentou algumas microfissuras que ao injetar a nata de cimento em alta pressão a mistura percolou pelas microfissuras e aflorou na superfície da placa radier. A remoção do revestimento de piso pode ser vista na Figura 23 do Apêndice A.

3.3.2.4 Perfuração dos pontos de injeção

Para perfuração dos furos de injeção, foi realizada a marcação deles de acordo com o recomendado pelo projeto e em seguida foi realizada a perfuração dos furos com o auxílio de broca rotativa até a profundidade de 60 cm. As Figuras 24 e 25 do Apêndice A mostram a realização dessa etapa.

3.3.2.5 Fixação dos tubos de injeção

Na fixação dos tubos de injeção houve uma pequena modificação do projeto para execução, na maneira de chumbar os tubos na laje de fundação. Inicialmente o projeto recomendava fixar os tubos com argamassa traço de 3:1 (areia e cimento). Mas foi adotada a resina epóxi para

fazer essa fixação, sendo o mesmo material aplicado para fixar as barras de ancoragem na alvenaria estrutural. Essa resina foi adotada devido a agilidade que a obra requer, já que a argamassa necessita de um tempo de cura mais elevado do que a resina. A fixação dos tubos de injeção pode ser vista na Figura 26 do Apêndice A.

3.3.2.6 Injeção da nata de cimento

A preparação da nata de cimento foi realizada de forma mecanizada por meio de um misturador. Nesse misturador foi adicionado os materiais, mencionados no item 5.4.1, e feita a mistura, como pode ser visualizado na Figura 27 do Apêndice A.

Após preparada a nata de cimento, a mistura é bombeada com auxílio do compressor, que é responsável por mandar a nata de cimento com pressão para os pontos de injeção, a Figura 28 do Apêndice A mostra o compressor utilizado para injeção sob pressão da nata de cimento.

Para realizar a junção das mangueiras do equipamento de injeção com os tubos de injeção, foi preciso instalar um equipamento denominado de obturador. Esse equipamento conta com um manômetro para que seja possível o operador da injeção verificar a pressão que a nata está sendo injetada, e assim poder ser possível passar instruções para o operador da usina de nata de cimento para que ele aumente ou diminua a pressão da mistura. Na Figura 29 do Apêndice A pode ser visto a montagem do e funcionamento do obturador.

Finalizada a injeção, os tubos de injeção são tampados, e a próxima etapa a ser executada é a recomposição dos revestimentos que foram removidos para realização do serviço. A Figura 30 do Apêndice A mostra os tubos de injeção lacrados após a injeção.

3.3.3 Técnica de reforço estrutural das paredes com argamassa armada

Quando se tem elementos estruturais executados diferentemente do que foi dimensionado e ou não atende as normas técnicas estabelecidas, é necessário realizar o reforço estrutural desses elementos. O edifício em estudo apresentou resistência à compressão dos elementos estruturais das paredes do térreo abaixo do recomendado, como pode ser visualizado na análise dos resultados feita anteriormente.

Dessa forma, para o aumento da resistência a compressão das principais paredes do térreo foi implementado a execução do reforço com tela de aço intertravadas e revestidas com argamassa.

De acordo com Mota (2015), de modo geral, os revestimentos argamassados, quando

aplicados com traços e espessuras significativas, contribuem para o suporte e a rigidez das alvenarias resistentes. No entanto, não é possível assegurar plenamente a eficácia em termos de ductilidade e durabilidade. Os benefícios das argamassas para as paredes em serviço podem ser alcançados contanto que haja uma aderência adequada entre a argamassa e os blocos. Dessa forma, a influência da argamassa pode ser considerada na avaliação da estabilidade de uma edificação de alvenaria resistente existente.

Apenas o emprego de revestimento em argamassa não altera a forma de ruptura das alvenarias (DOS SANTOS; LYRA; SOBRINHO, 2018), mas resulta em um aumento no comportamento compressivo e rigidez das mesmas. O autor menciona ainda, que esse acréscimo é proporcional à espessura aplicada e ao maior teor de cimento utilizado na composição da argamassa.

Ainda segundo o autor, a utilização de telas junto ao revestimento em argamassa com seu devido travamento, promovem um aumento significativo na capacidade resistente das paredes. Além desse incremento na resistência, a introdução da tela contribui ainda para alterações consideráveis nos padrões de ruptura desses elementos.

3.3.4 Detalhes do projeto e execução do reforço das paredes

3.3.4.1 Detalhes do projeto do reforço das paredes

Para o reforço das paredes do pavimento térreo, deve ser aplicado argamassa mista com 3,0 cm de espessura e traço de 1:1:6 (cimento, cal e água) de acordo com o projeto. Essa argamassa é armada com malha soldada em todos os pontos de cruzamento e nervurada, tipo pop com aço 6.3 mm CA 60, com espaçamento de 15x15 cm. Além disso, a malha tem que ser travada entre a parede a cada 30 cm com barras de 6.3 mm CA 60. A Figura 17 do Anexo A mostra na cor rosa as paredes que necessitaram de reforço, já a Figura 18 do Anexo A mostra os detalhes do travamento da malha nas paredes.

Esse travamento também deve ocorrer entre a malha e o piso. Nesse caso as barras de travamento têm comprimento de 30 cm, sendo que 10 cm desse comprimento tem que obrigatoriamente ser engastado na laje de fundação. Esse detalhe pode ser visualizado na Figura 19 do Anexo A.

3.3.4.2 Remoção das Esquadrias

Para realizar o reforço foi preciso primeiramente remover as janelas e portas da edificação. Essa necessidade surgiu quando os revestimentos das paredes também tiveram que ser removidos, na Figura 31 do Apêndice A pode ser vista as esquadrias removidas.

3.3.4.3 Remoção de revestimento das paredes

Inicialmente, o projeto de reforço das paredes indicava que é preciso apenas apicoar o revestimento e pintura. Além disso, nos casos que houvesse cerâmica nas paredes, era para removê-las cuidadosamente para que fosse possível reaproveitá-las e apicoar o revestimento, assim, tornando possível garantir que a argamassa do reforço teria aderência com o revestimento presente na alvenaria. Contudo, devido à baixa qualidade do revestimento original das paredes optou-se por remover todo o revestimento e deixar a parede apenas com os blocos de concreto descobertos, pode-se visualizar as paredes sem nenhum revestimento na Figura 31 do Apêndice A.

3.3.4.4 Ancoragem da malha na Fundação

Com o revestimento todo removido, furou-se a parede com furos de 10 mm a cada 30 cm, tanto na horizontal quanto na vertical. Após a realização dos furos, passou-se a barra de ancoragem da malha com 6.3 mm pela parede, posicionou-se a malha e dobrou-se a barra de ancoragem fazendo uma espécie de “L”.

Para ancoragem da malha na fundação foi feito um furo de 10 mm até uma profundidade de 10 cm da laje de fundação, para fixar a barras de ancoragem na fundação, foi colocada resina epóxi fluída preenchendo os vazios entre as barras e o concreto, vale ressaltar que antes de colocar a resina foi injetado ar comprimido nos furos com o intuito de remover os vestígios de poeira, garantindo assim uma melhor fixação das barras de ancoragem, a Figura 32 do Apêndice A mostra a malha fixada na alvenaria, e a Figura 33 do Apêndice A mostra as barras fixadas na laje radier.

3.3.4.5 Aplicação da argamassa com auxílio de equipamento de projeção

A argamassa foi aplicada com o auxílio de equipamento de projeção, promovendo maior agilidade e rapidez na sua aplicação. Além disso, essa técnica garante uma maior homogeneidade no material aplicado, outro ponto positivo é o tempo de cura da argamassa que

praticamente já se inicia quando a argamassa é projetada na alvenaria, se fosse feita a aplicação dessa argamassa de forma manual a cura da mistura já ia se iniciar muito antes da aplicação. A Figura 34 do Apêndice A mostra a argamassa sendo projetada na alvenaria, já a Figura 35 do Apêndice A mostra o resultado da aplicação da argamassa.

4 CONCLUSÕES

Diante da necessidade de compreender a origem das manifestações patológicas apresentadas pela edificação, oriundas de recalque diferencial, causado pela falta de compactação do solo e baixa resistência das paredes feitas com blocos estruturais. O presente trabalho buscou analisar e descrever como foi realizado o estudo para determinação das soluções de injeção de nata de cimento no solo abaixo da fundação e do reforço estrutural das paredes com argamassa armada em um prédio residencial na cidade de Vitória de Santo Antão, Pernambuco, Brasil.

Com base nos valores das tensões solicitantes e tensões resistentes da edificação, foram comparando esses valores verificando se as paredes de blocos estruturais resistiam ao esforço solicitado pela edificação.

Conclui-se que, as tensões resistentes não atendem as tensões solicitantes nas paredes do pavimento térreo da edificação. Por tanto foi adotada a técnica de reforço de paredes com argamassa armada para aumentar a resistência dessas paredes.

Além disso, como a técnica de reforço de paredes com argamassa armada estrutural não é normatizada para comprovar a eficácia da técnica para o problema em estudo se faz necessário retirar amostras em formato de prismas das paredes depois do reforço e submetê-las a ensaios de compressão, e aplicar os resultados obtidos nas mesmas formulações utilizadas para os prismas antes do reforço. Desta forma, obtendo o valor de tensão resistente da parede após o reforço e compará-lo novamente com as tensões solicitantes, se o valor da tensão resistente das paredes reforçadas for maior que o da tensão solicitante a técnica foi eficiente, caso contrario é necessário um novo reforço.

Contudo pode-se concluir que a principal causa das manifestações patológicas na edificação é oriunda do recalque diferencial que a estrutura sofreu. Esse recalque aconteceu devido à baixa resistência do solo abaixo da fundação, e isso pode ser comprovado através dos resultados dos ensaios de N_{SPT} .

O Brasil ainda não dispõe de norma técnica para o dimensionamento da técnica de melhoramento de solo por meio da injeção de nata de cimento. Então o melhoramento feito no

solo da edificação em estudo foi feito prevendo mais injeções que o necessário e à medida que foram sendo realizadas as injeções foi descartando os pontos de injeção. Dessa forma, com o intuito de verificar o ganho de resistência do solo é preciso realizar ensaios de N_{SPT} . Com os dados de o ensaio avaliar se o ganho de resistência do solo após a injeção é satisfatório para suportar o carregamento transmitido da fundação para o solo.

Outra forma de comprovar a eficácia da técnica de injeção de nata cimento seria o monitoramento planialtimétrico de alta precisão. Promovendo o monitoramento da edificação, os dados coletados por meio do monitoramento mostraram se a estrutura ainda está recalando mesmo depois das técnicas.

REFERÊNCIAS

ACE CONSULTORIA E PROJETOS. **Laudo e projeto de reforço estrutural do bloco 21 do conjunto residencial jardins da vitória-vitória de santo Antônio-PE**. Relatório técnico 023A/2020. Recife, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15961**: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15812-1**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Parte 1: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15812-2**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Parte 2: Projetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7680-1**: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484**: Execução de Sondagem de Simples Reconhecimento de Solos. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

DA CUNHA, A. J. P.; LIMA, N. A.; SOUZA, V. C. M. **Acidentes Estruturais Na Construção Civil**. Volume 1. São Paulo: PINI, 1986.

DOS SANTOS, A.; LYRA M.; SOBRINHO, PIRES, C. W. de A. **Reforço Estrutural Em Prédio Caixão Situado Na Região Metropolitana De Recife**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 3, n. 2, 2018.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO. **ITEP**: Relatório de Ensaio N° 176.852. Recife, 2020.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO. **ITEP**: Relatório de Ensaio N° 177.209. Recife, 2020.

MOTA, J. M. F. **Reforço de Alvenaria Resistente com Argamassa Armada com Adição de Metaculim**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

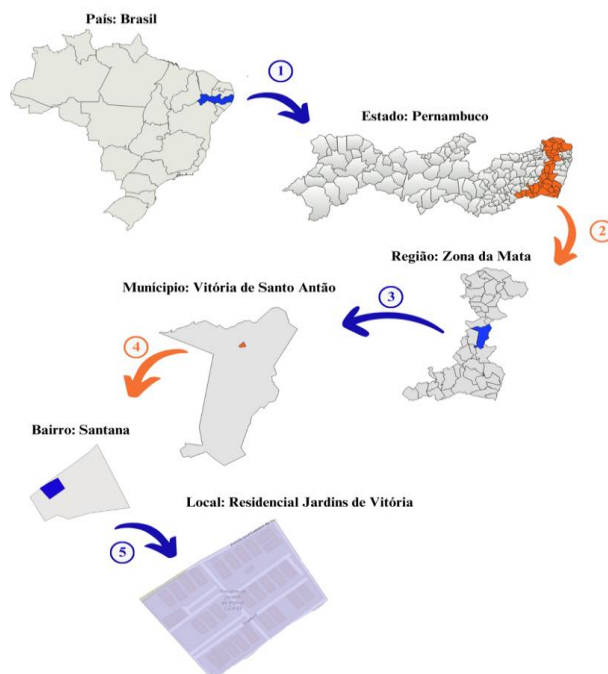
PEREIRA, R. M. **Patologia das Fundações: Estudos de Caso**. 22f. Instituto de Pós Graduação – IPOG. João Pessoa-PB, 2017.

RODRIGUES, A. R. D. **Técnicas De Injeção. Jet Grouting, Aplicações E Regras De Dimensionamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2018.

SECRETARIA EXECUTIVA DE DEFESA CIVIL. **SEDEC**: Nota Técnica N° 089. Recife, 2019.

APÊNDICE A – FIGURAS DE AUTORIA PRÓPRIA

Figura 1 – Localização do Residencial Jardins de Vitória



Fonte: O autor (2023)

Figura 2 – Vista frontal do bloco



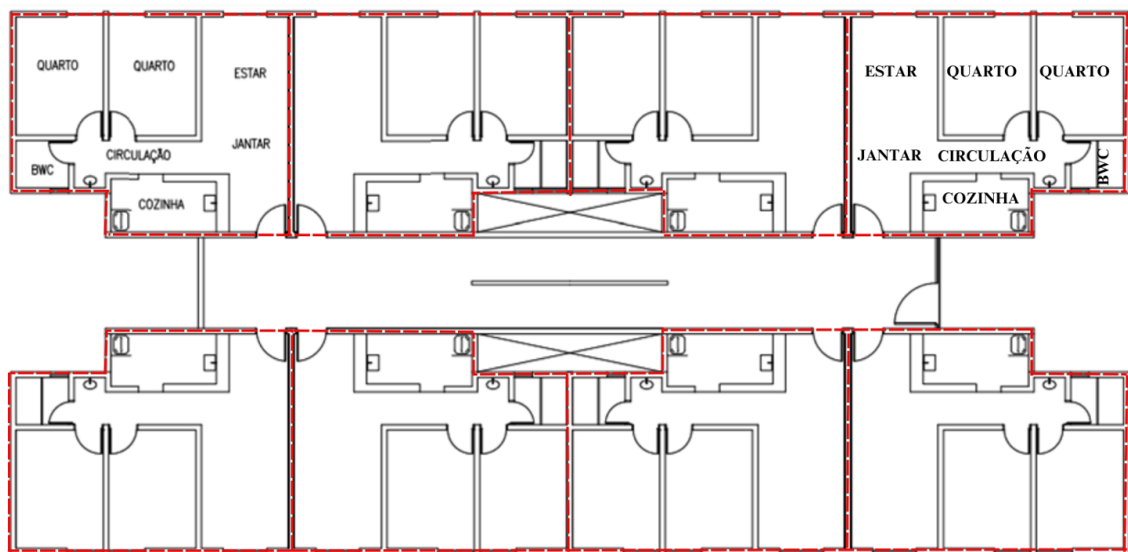
Fonte: O autor (2023)

Figura 3 – Vista lateral do bloco



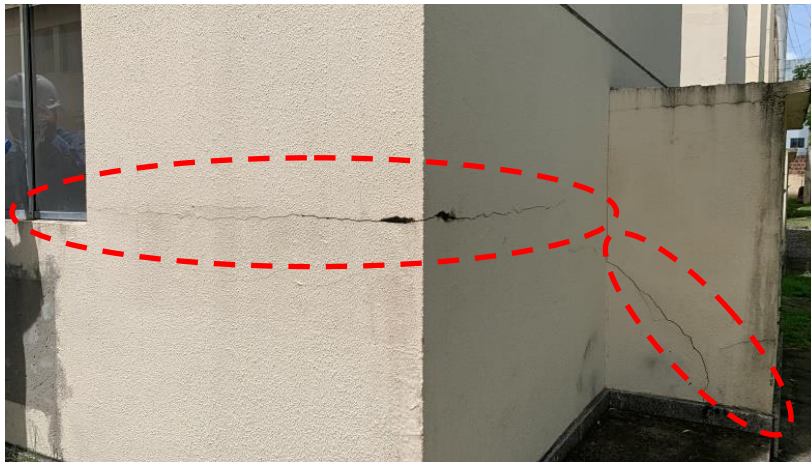
Fonte: O autor (2023)

Figura 4 – Planta baixa do pavimento Tipo



Fonte: O autor (2023)

Figura 5 – Fissura horizontal externa com início na esquadria até o centro de medição de energia



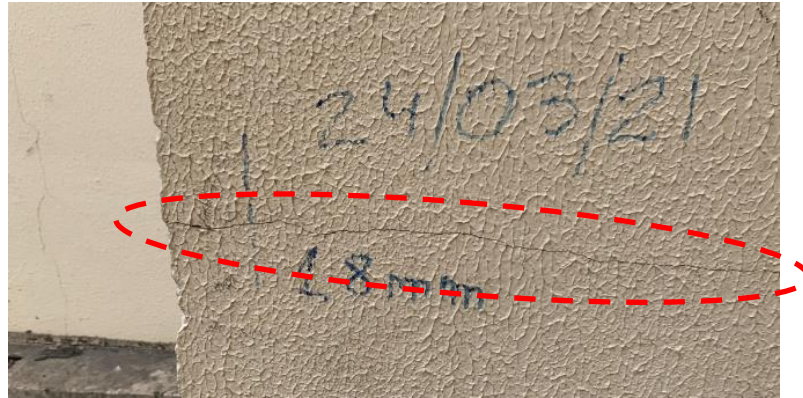
Fonte: O autor (2023)

Figura 6 – Vista ampliada da fissura horizontal externa bloco 21.



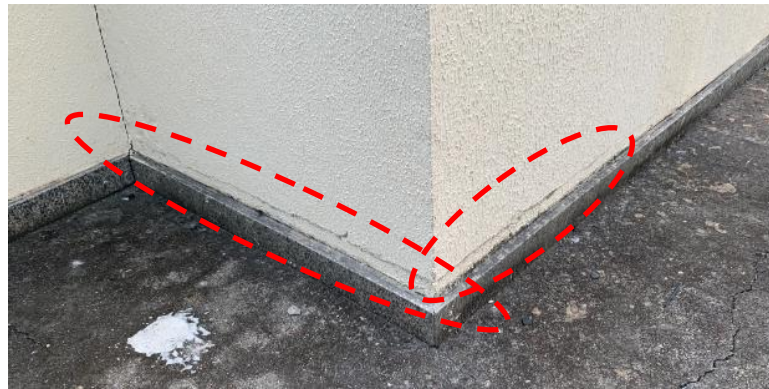
Fonte: O autor (2023)

Figura 7 – Fissura horizontal externa bloco 21.



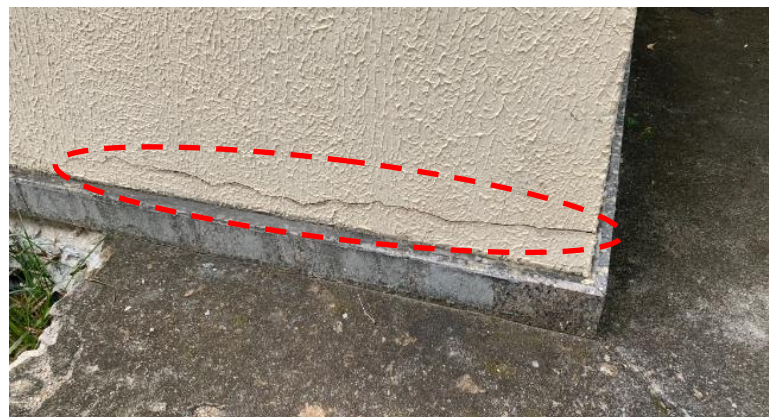
Fonte: O autor (2023)

Figura 8 – Fissura horizontal externa na parte inferior da parede bloco 21



Fonte: O autor (2023)

Figura 9 – Fissura horizontal externa na parte inferior da parede bloco 21



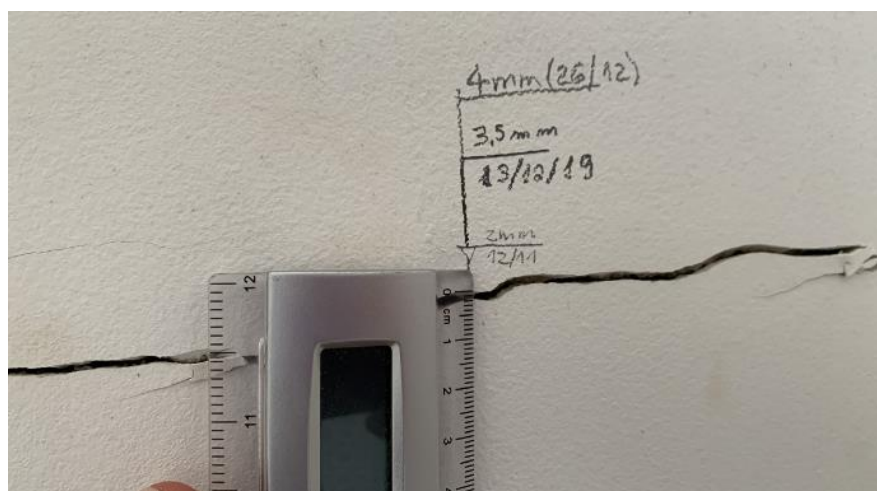
Fonte: O autor (2023)

Figura 10 – Fissura horizontal externa na parte inferior da parede bloco 21



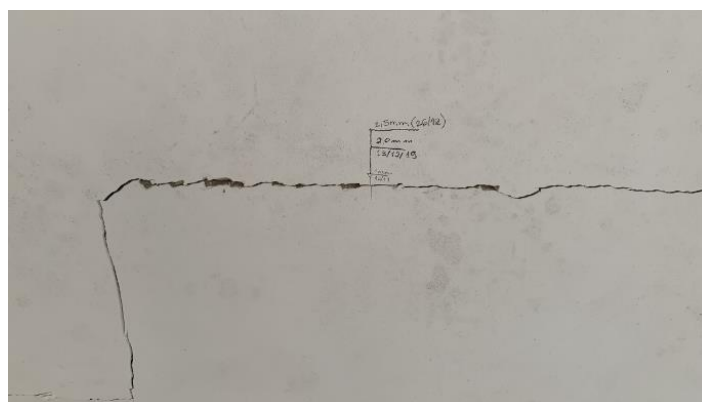
Fonte: O autor (2023)

Figura 11 – Vista ampliada da fissura horizontal interna bloco 21



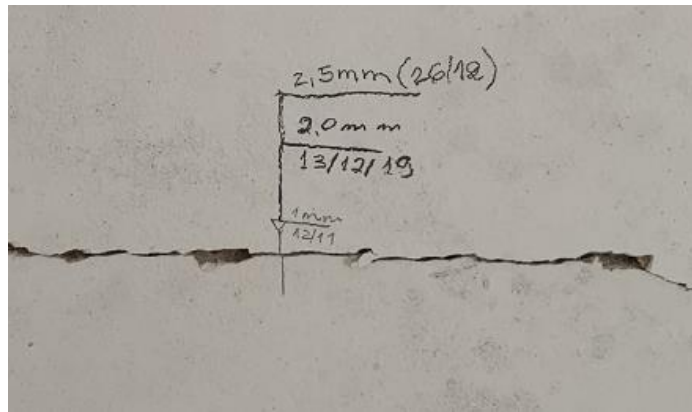
Fonte: O autor (2023)

Figura 12 – Fissura horizontal interna bloco 21



Fonte: O autor (2023)

Figura 13 – Vista ampliada da fissura horizontal interna bloco 21



Fonte: O autor (2023)

Figura 14 – Fissura inclinada interna bloco 21



Fonte: O autor (2023)

Figura 15 – Vista ampliada da fissura inclinada interna bloco 21



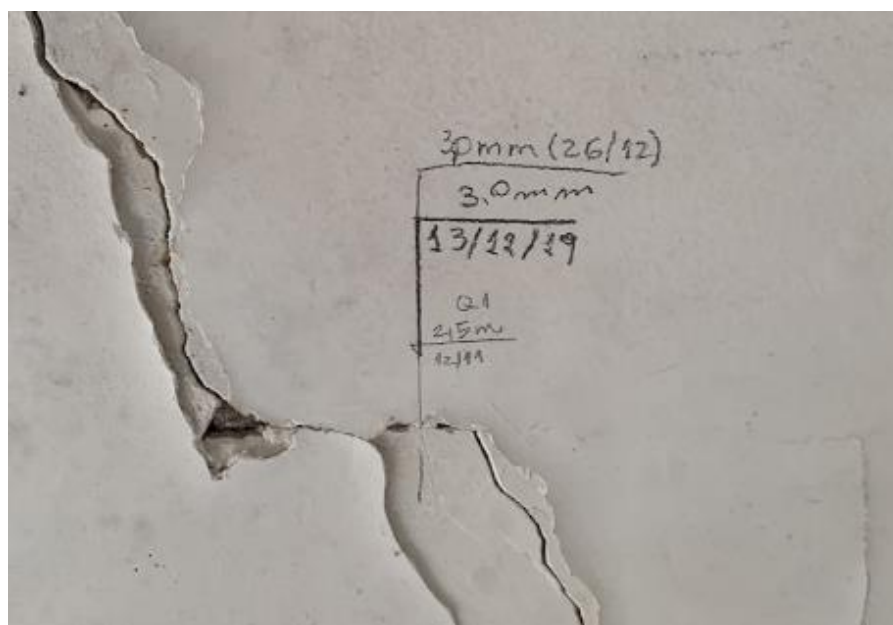
Fonte: O autor (2023)

Figura 16 – Fissura inclinada interna bloco 21



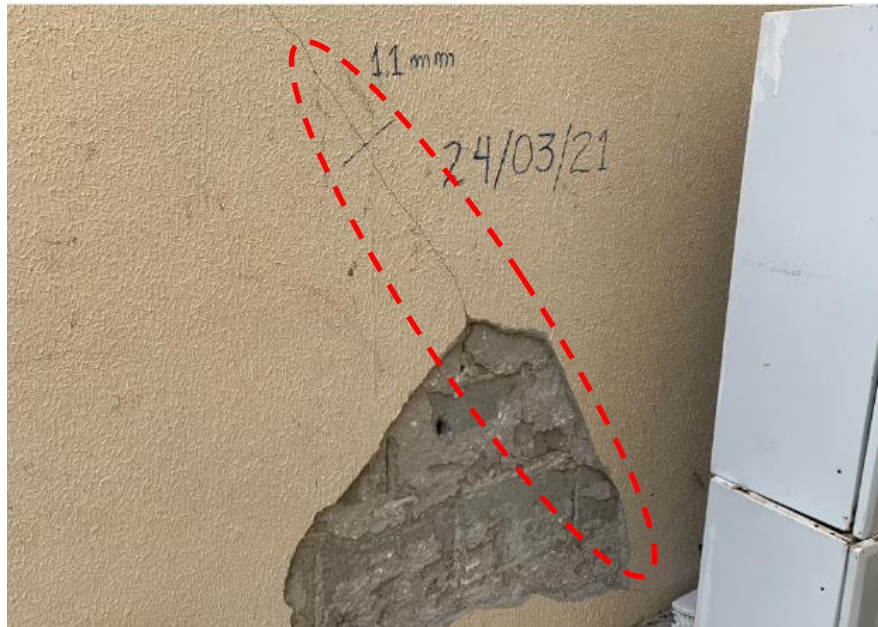
Fonte: O autor (2023)

Figura 17 – Vista ampliada da fissura inclinada interna bloco 21



Fonte: O autor (2023)

Figura 18 – Fissura inclinada e deslocamento de parte do reboco interno da alvenaria estrutural do pavimento térreo do bloco 21



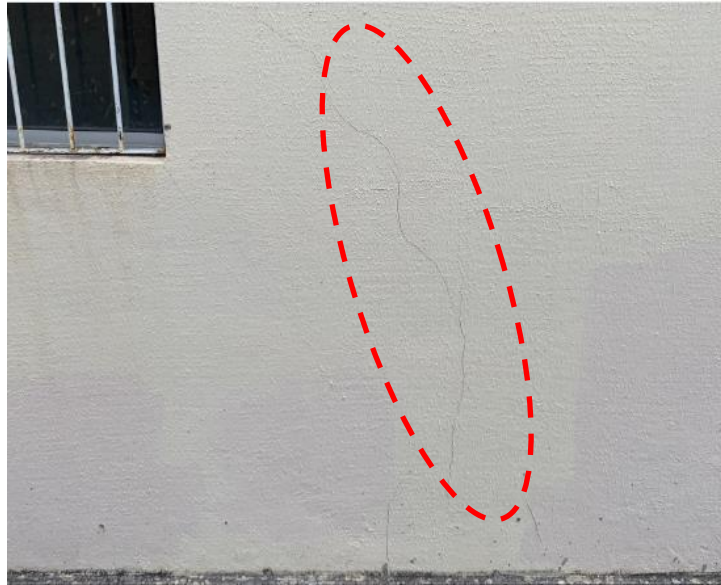
Fonte: O autor (2023)

Figura 19 – Aparecimento de fissura externa na parede externa do Bloco 21



Fonte: O autor (2023)

Figura 20 – Fissura na parede externa do Bloco 21



Fonte: O autor (2023)

Figura 21 – Afundamento de laje radier bloco 21



Fonte: O autor (2023)

Figura 22 – Vista ampliada do afundamento da laje de fundação bloco 21



Fonte: O autor (2023)

Figura 23 – Remoção de Revestimento de Piso.



Fonte: O autor (2023)

Figura 24 – Locação dos Furos de Injeção.



Fonte: O autor (2023)

Figura 25 – Perfuração dos Furos de Injeção.



Fonte: O autor (2023)

Figura 26 – Fixação dos Tubos de Injeção.



Fonte: O autor (2023)

Figura 27 – Preparo da Nata de Cimento Para Injeção com Auxílio de Misturador.



Fonte: O autor (2023)

Figura 28 – Compressor utilizado para injeção da nata de cimento.



Fonte: O autor (2023)

Figura 29 – Montagem do Obturador.



Fonte: O autor (2023)

Figura 30 – Lacração dos Tubos de Injeção.



Fonte: O autor (2023)

Figura 31 – Remoção dos revestimentos das paredes.



Fonte: O autor (2023)

Figura 32– Barras de ancoragem fixadas na alvenaria.



Fonte: O autor (2023)

Figura 33 – Barras de ancoragem fixadas na laje radier.



Fonte: O autor (2023)

Figura 34 – Argamassa Sendo Projetada na alvenaria.



Fonte: O autor (2023)

Figura 35 – Finalização do revestimento de argamassa nas paredes.



Fonte: O autor (2023)

ANEXO A – FIGURAS DE AUTORIA EXTERNA

Figura 1 – Vista aérea do empreendimento



Fonte: Google Earth (2023)

Figura 2 – Fissura com 45° Graus Partindo da Quina Inferior da Janela até o Radier da Edificação.



Fonte: NOTA TÉCNICA CEPDC/SEDEC N° 089/2019

Figura 3 – Fissura com 45° na Parede da Unidade 101, no Mesmo Local da Fissura Externa Apresentada na Figura 2.



Fonte: NOTA TÉCNICA CEPDC/SEDEC N° 089/2019

Figura 4 – Fissura Horizontal na Fachada da Edificação Prolongando-se até a Caixa dos Medidores



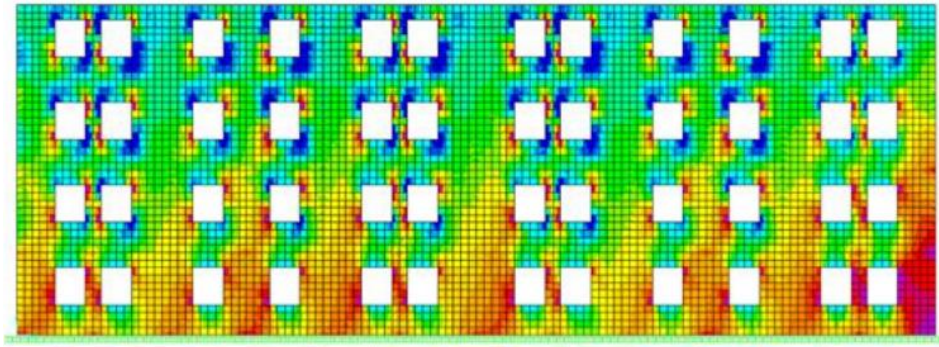
Fonte: NOTA TÉCNICA CEPDC/SEDEC N° 089/2019

Figura 5 – Fissura Horizontal Interna na Unidade 101, no Mesmo Local da Fissura Horizontal Externa Apresentada na Figura 4



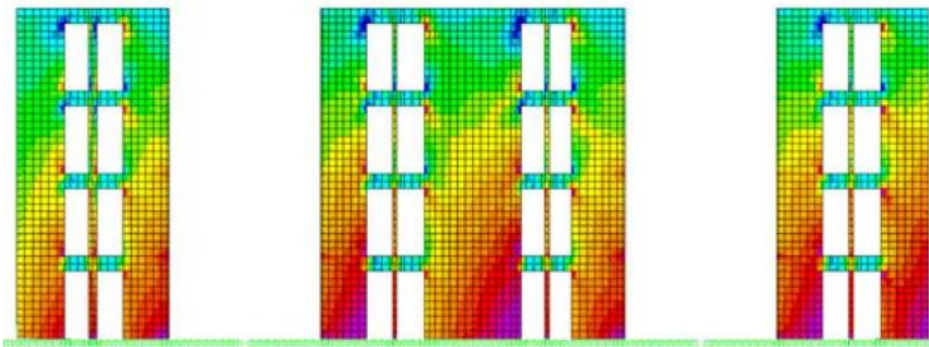
Fonte: NOTA TÉCNICA CEPDC/SEDEC N° 089/2019

Figura 6 – Tensões axiais atuantes nas paredes da fachada



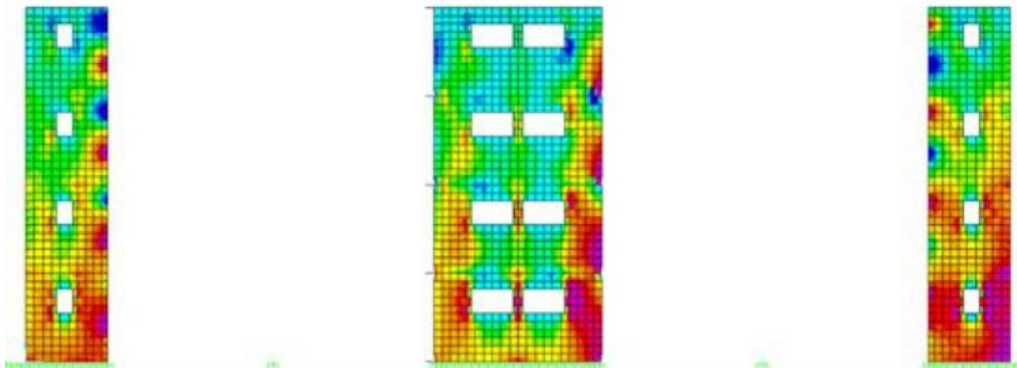
Fonte: Relatório Técnico 023A (2020)

Figura 7 – Tensões axiais atuantes nas paredes que delimitam os quartos



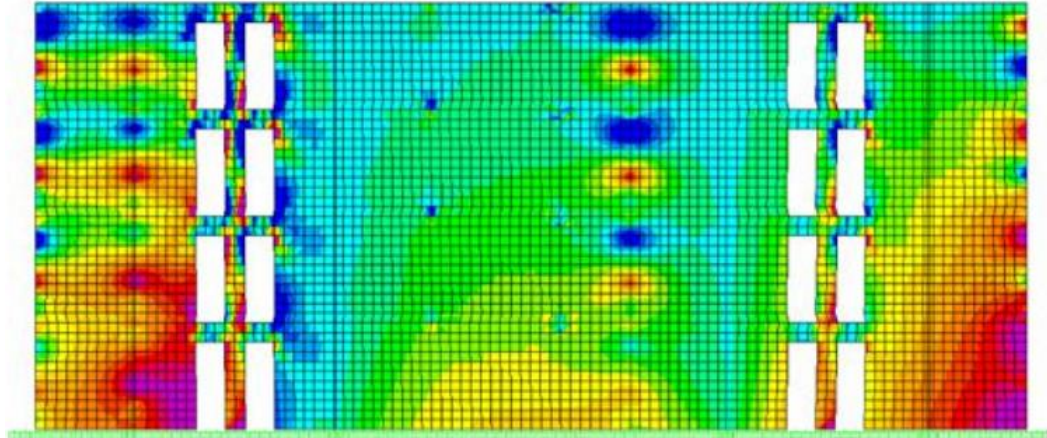
Fonte: Relatório Técnico 023A (2020)

Figura 8 – Tensões axiais atuantes nas paredes da cozinha



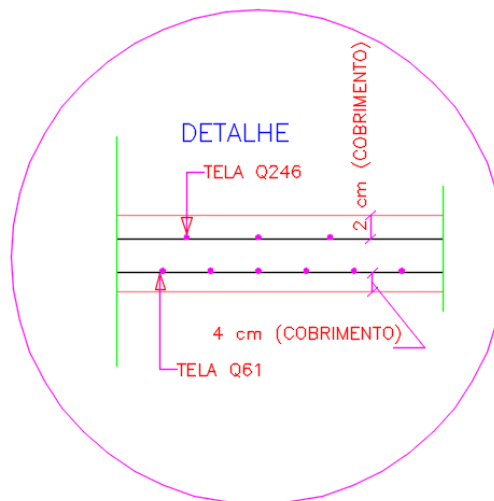
Fonte: Relatório Técnico 023A (2020)

Figura 9 – Tensões axiais atuantes nas paredes do corredor entre os apartamentos.



Fonte: Relatório Técnico 023A (2020)

Figura 10 – Detalhe Da Armação Da Laje De Piso



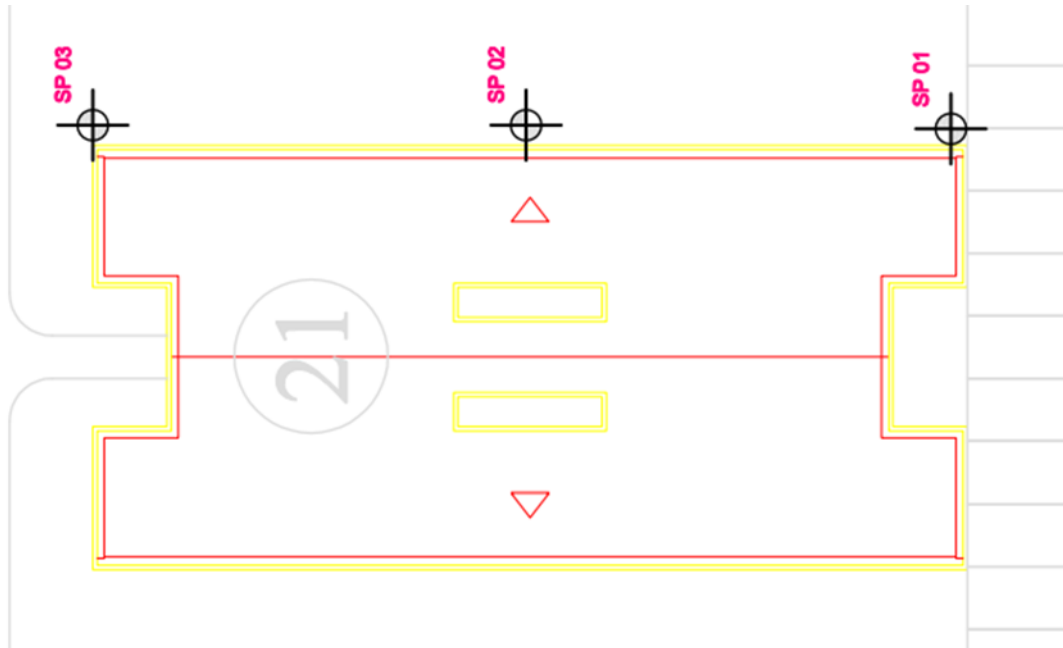
Fonte: Engedata (2010)

Figura 11 – Testemunhos Retirados da Laje de Fundação.



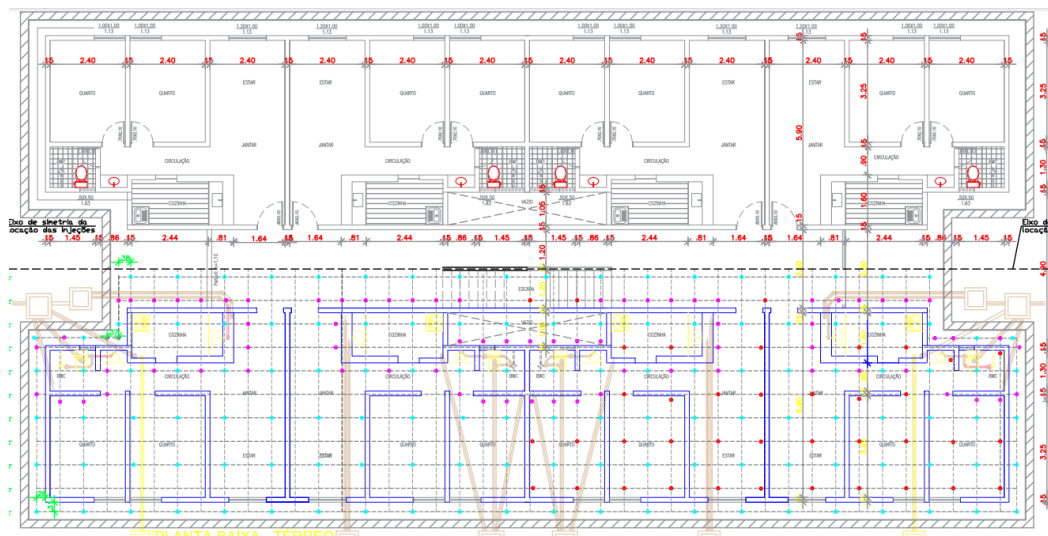
Fonte: Relatório ITEP N° 176.852 (2020)

Figura 12 – Locação dos furos de sondagem para análise do problema



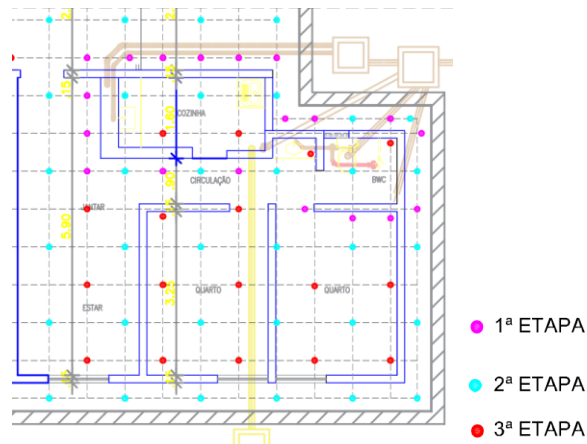
Fonte: ACE consultoria e projetos (2020)

Figura 13 – Disposição dos Furos de Acordo com as Etapas de Injeção.



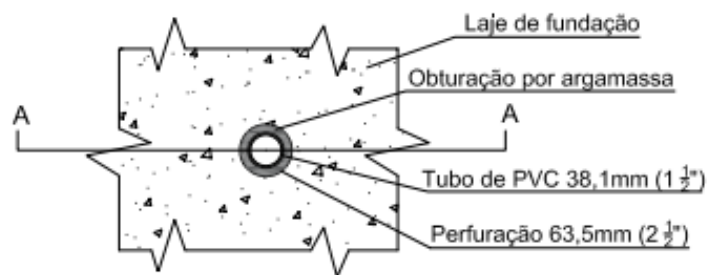
Fonte: ACE consultoria e projetos (2020).

Figura 14 – Vista Ampliada das Etapas de Injeção.



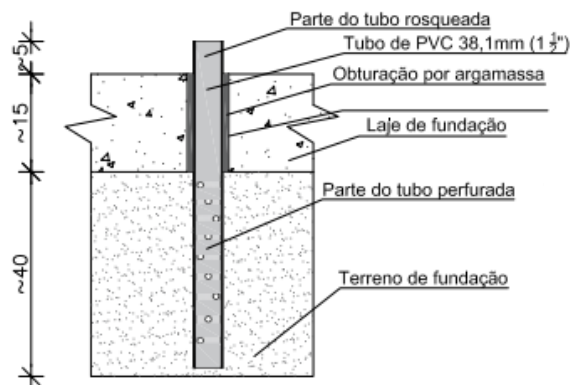
Fonte: ACE consultoria e projetos (2020).

Figura 15 – Vista superior do detalhe da de Injeção.



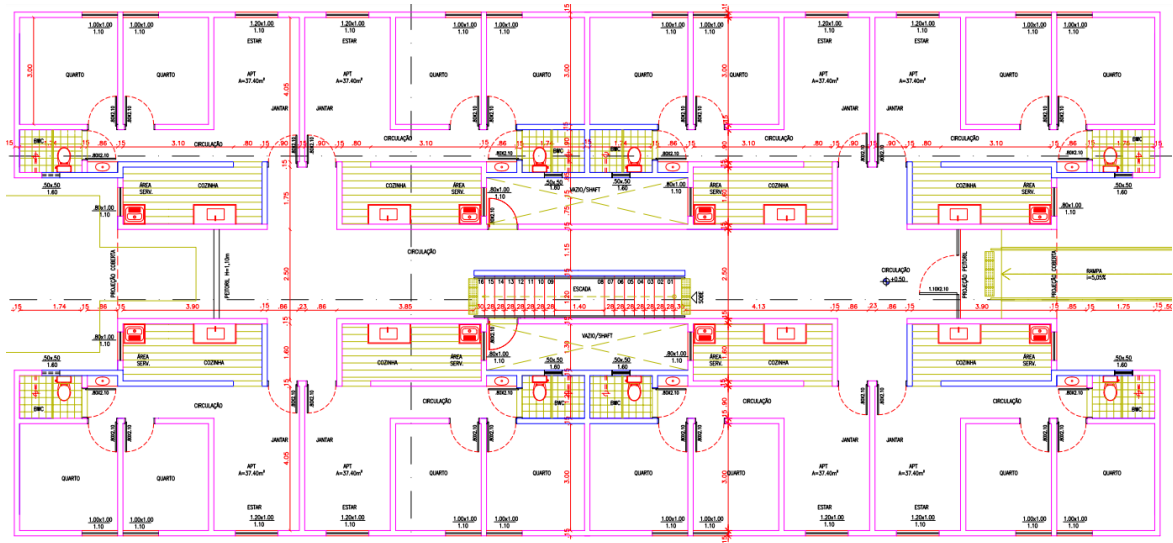
Fonte: ACE consultoria e projetos (2020).

Figura 16 – Vista vertical da injeção.



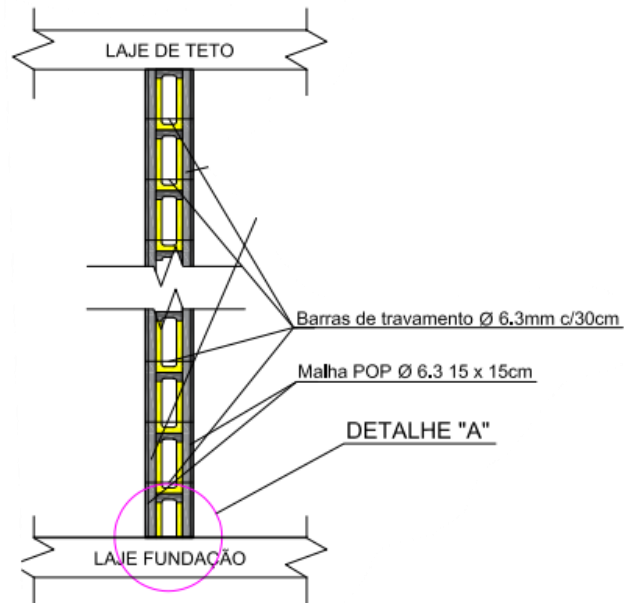
Fonte: ACE consultoria e projetos (2020).

Figura 17 – Paredes que precisam de reforço.



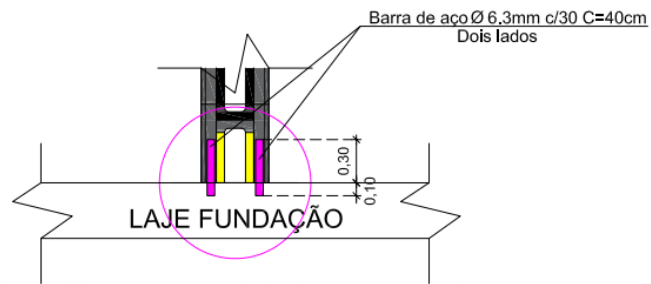
Fonte: ACE consultoria e projetos (2020)

Figura 18 – Detalhamento do reforço.



Fonte: ACE consultoria e projetos (2020)

Figura 19 – Detalhamento do reforço.



Fonte: ACE consultoria e projetos (2020)

ÍTALO BRENDSON TORRES DE OLIVEIRA

**REFORÇO DO SOLO DE FUNDAÇÃO ATRAVÉS DA TÉCNICA DA INJEÇÃO DA
NATA DE CIMENTO:** Estudo de caso em prédio residencial em Vitória de Santo
Antão - PE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Área de concentração: Geotecnia

Aprovado em: 04 de Outubro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Profª Pós – D.Sc. Saul Barbosa Guedes (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco – Campus: Caruaru

Profª D.Sc. José Moura Soares (Avaliador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco – Campus: Caruaru

Engenheiro Civil Adriano Augusto Santos Gerosino da Silva (Avaliador Externo)
Caixa Econômica Federal