

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

VITOR LÚCIO MENDES REZENDE

**AVALIAÇÃO PATOLÓGICA EM RECALQUES
SOLO-FUNDAÇÃO: UMA ANÁLISE DE
OCORRÊNCIAS NA CIDADE DE UBERLÂNDIA**

UBERLÂNDIA

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

VITOR LÚCIO MENDES REZENDE

**AVALIAÇÃO PATOLÓGICA EM RECALQUES SOLO-
FUNDAÇÃO: UMA ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS NA
CIDADE DE UBERLÂNDIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
de Uberlândia, como requisito obrigatório para
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres

UBERLÂNDIA

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

VITOR LÚCIO MENDES REZENDE

**AVALIAÇÃO PATOLÓGICA EM RECALQUES SOLO-
FUNDAÇÃO: UMA ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS NA
CIDADE DE UBERLÂNDIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Uberlândia, como requisito obrigatório
para obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Uberlândia, 08 de julho de 2019.

Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres, UFU/MG

Prof. Dr. Ismarley Lage Horta Morais, UFU/MG

Prof^ª. Dr^ª. Raquel Naiara Fernandes Silva, UFU/MG

Dedico este trabalho

A Deus, instituidor da vida, que me dá forças para persistir;
Aos meus pais, Marden e Regina; pelo amor incondicional e pela orientação concedida;
À minha namorada; pelo apoio para alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Marden Lúcio e Regina Celi, a minha irmã Laís Celi, pelo apoio e incentivo constante, sempre acreditando nos meus sonhos.

Agradeço a minha namorada Jéssica Pereira, pela paciência, principalmente nos piores momentos, dando força e me incentivando a alcançar meus objetivos.

Agradeço aos professores pelas instruções e ensinamentos sobre Engenharia Civil, que me motivam até hoje na busca pelo aprendizado e crescimento profissional. Sou grato, especialmente, ao professor Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres, que além das orientações, se mostrou um profissional preocupado com a formação do aluno e evolução da instituição de ensino.

Agradeço a colaboração dos servidores dos blocos 4C e 2Z da Universidade Federal de Uberlândia que sempre me receberam cordialmente, pela disposição para me auxiliar e pelo comprometimento com a instituição.

RESUMO

AVALIAÇÃO PATOLÓGICA EM RECALQUES SOLO-FUNDAÇÃO: UMA ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS NA CIDADE DE UBERLÂNDIA

AUTOR: Vitor Lucio Mendes Rezende

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres

As manifestações patológicas não são recentes na área de construção civil, pelo contrário sempre estiveram presentes desde o surgimento das primeiras edificações. Entretanto, o termo Patologia das Construções é relativamente novo, e compreende os estudos sobre as anomalias presentes em obras de engenharia civil e a busca de soluções para tais. Sobre esse aspecto a cidade de Uberlândia tem um agravante que é a ocorrência de solos colapsíveis. Problemas patológicos dessa natureza assumem custos altos para solucionar e recuperar as construções afetadas, e podem gerar perda de credibilidade para os profissionais responsáveis. Por essa razão, tornou-se relevante o levantamento de manifestações patológicas num conjunto de quase duas dezenas de edificações da Universidade Federal de Uberlândia, visto que, os mesmos possuem grande fluxo de pessoas e estão em uma região sujeita ao comportamento desta tipologia de solo. Depois de inspeções parciais foi priorizado o estudo de 2 blocos que apresentavam grande incidência de fissuras. Feito isso, realizou-se análises das configurações típicas, ensaios, mapeamentos e gráfico de dispersão que indicam possível ocorrência de recalques ligados ao comportamento especial do substrato. O trabalho foi conclusivo de que a concepção de projetos mais criteriosos fornecendo detalhamentos e especificações apropriadas as condições que a obra está inserida são fatores indispensáveis para impedir complicações futuras.

Palavras-chaves: Manifestações Patológicas, Patologia das Construções, Comportamento solo-fundação, Solos Colapsíveis, Projeto.

ABSTRACT

PATHOLOGICAL EVALUATION IN SOIL-FOUNDATION CONSOLIDATION: AN ANALYSIS OF OCCURRENCES IN THE UBERLÂNDIA CITY

AUTHOR: Vitor Lucio Mendes Rezende
ADVISOR: Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres

Pathological manifestations are not recent in civil construction, indeed they have always been present since the appearance of the first buildings. However, the term Construction Pathology is relatively new and includes studies on the anomalies present in civil engineering works and the search for solutions to them. In this aspect, the city of Uberlândia has an aggravating factor that is the occurrence of collapsible soils. Pathological problems of this nature assume high costs to solve and recover the affected buildings, and can generate loss of credibility for the responsible professionals. For this reason, it became relevant to survey pathological manifestations in a set of almost two dozen buildings of the Federal University of Uberlândia, since they have a high flow of people and are in a region subject to the behavior of this type of soil. After partial inspections, it was prioritized the study of two blocks that presented great incidence of fissures. Then, mapping, analyzes of typical configurations and dispersion graphs were performed, indicating the possible occurrence of settlements linked to the special behavior of the substrate. The work was conclusive that the design of more judicious projects, providing details and specifications appropriate to the conditions in which the work is inserted, are indispensable factors to prevent future complications.

Keywords: Pathological Manifestations, Construction Pathology, Soil-foundation behavior, Collapsible soils, Project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Situações registradas de patologias de todas as naturezas na França	17
Figura 2. Fluxograma para diagnóstico de manifestações patológicas	18
Figura 3. Lei de evolução de Custos	19
Figura 4. Representação de Fundações Rasas	20
Figura 5. Representação de Fundações Profundas	21
Figura 6. Origem dos problemas em fundações no Rio Grande do Sul	21
Figura 7. Mapeamento dos solos colapsíveis no Brasil	24
Figura 8. Resultado característico do ensaio de colapso	25
Figura 9. Configuração da câmara de ensaio edométrico	26
Figura 10. Problema com a adoção de projeto com perfil de solo inadequado	27
Figura 11. Sapatas apoiadas em reaterro mal executado	29
Figura 12. Representação da inclusão de mezanino	30
Figura 13. Descarga de água de reservatório em solo poroso colapsíveis	31
Figura 14. Efeito causado pelos vibradores por compactação dinâmica	31
Figura 15. Representação dos principais tipos de movimento das fundações	32
Figura 16. Representação dos principais tipos de movimento das fundações	35
Figura 17. Fissuras geradas por recalques na extremidade	35
Figura 18. Prováveis diagramas de esforços e danos causados por recalque de fundações de pilares nas extremidades	37
Figura 19. Fissuras geradas por recalque de fundações de pilares internos	37
Figura 20. Prováveis diagramas de esforços e danos causados por recalque de fundações de pilares internos	38
Figura 21. Fissuras ocasionadas por recalques localizados	38
Figura 22. Fissuras nas paredes paralelas ao comprimento da laje	39

Figura 23. Fissuras nas paredes paralelas à largura da laje	39
Figura 24. Fissura provocada pela retração da laje de cobertura	40
Figura 25. Fissura provocada pela retração de lajes intermediárias	40
Figura 26. Localização do Campus na zona urbana da cidade	41
Figura 27. Fluxograma desenvolvido para o diagnóstico	44
Figura 28. Medição e acompanhamento da evolução das fissuras	45
Figura 29. Localização dos blocos no Campus Umuarama	47
Figura 30. Fissura vertical na alvenaria da fachada no Bloco 4C	48
Figura 31. Fachada externa do bloco 4 C	49
Figura 32. Bloco 4C ainda com canteiro da fachada externa	50
Figura 33. Laboratório de ensino e pesquisa do bloco 4 C	51
Figura 34. Fissuras associadas a retração da laje no bloco 4C	52
Figura 35. Paredes com fissuras horizontais e imagem do fundo do Bloco 2Z	53
Figura 36. Fissuras transversais próximo as esquadrias Bloco 2Z	55
Figura 37. Fissuras transversais no nível acima ao mezanino no Bloco 2Z	55
Figura 38. Fissuras associadas a movimentação térmica no Almojarifado	57
Figura 39. Fissuras na interface da escada com outros elementos	57
Figura 40. Representação e mapeamento das fissuras nos blocos 2Z e 4C	58
Figura 41. Gráfico de dispersão das fissuras a partir do pilar central da Fachada 1	61
Figura 42. Evolução temporal da temperatura interna e externa em telhas de aço galvanizado	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Potencial de Colapso e grau de patologia	26
Tabela 2. Classificação dos danos em edifícios	33
Tabela 3. Caracterização dos solos da Unidade 5	42
Tabela 4. Levantamento das fissuras no Bloco 2Z	60
Tabela 5. Levantamento parcial fissuras no bloco 4C	61

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CSTC – *Centre Scientifique et Technique de la Construction*

LA' – Laterítico arenoso

MCT – Miniatura, Compactado, Tropical

NBR – Norma Brasileira

PC – Potencial de Colapso

SPT – *Standard Penetration Test* ou Ensaio de Sondagem à Percussão

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos específicos	15
1.2. JUSTIFICATIVA	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES	16
2.2. PATOLOGIA DAS FUNDAÇÕES	19
2.2.1. Investigação do subsolo	22
2.2.2. Solos Colapsíveis	22
2.2.3. Falhas de Análise e Projeto	26
2.2.4 Erros de execução	28
2.2.5. Incidentes e eventos posteriores a conclusão da fundação	29
2.3. RECALQUES	32
2.4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	33
2.4.1. Configurações típicas de fissuras causadas por recalques diferenciais	34
2.4.2. Configurações típicas de fissuras associadas a causas diversas	38
2.4.2.1. <i>Fissuras causadas por movimentações térmicas</i>	38
2.4.2.2. <i>Fissuras causadas por retração de produtos à base de cimento</i>	39
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
4. METODOLOGIA	43
4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL E PESQUISA EXPLORATÓRIA	43
4.2. INSPEÇÃO DETALHADA E PESQUISA DESCRITIVA	44
4.3. ANÁLISE, ENSAIOS E MEDIÇÕES	45
4.4. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS	46
5. ESTUDO DE CASO	46

5.1. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS IMÓVEIS	46
5.2. VISITAS AO LOCAL E LEVANTAMENTO DE DADOS	47
5.3. CONFIGURAÇÕES TÍPICAS DAS FISSURAS OBSERVADAS	47
5.3.1. Fissuras verticais na região da base da alvenaria	48
5.3.2. Fissuras horizontais junto a interface superior da alvenaria	50
5.3.3. Fissuras transversais	53
5.3.4. Fissuras provocadas pela dilatação térmica	55
5.3.5. Fissuras na interface da escada com outros elementos da edificação	56
6. LEVANTAMENTO E MAPEAMENTO DE FISSURAS	57
7. ANÁLISE DOS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES	62
8. CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXO A- Planilhas de Levantamento de fissuras	70
ANEXO B – Plantas baixas com mapeamento de fissuras	72

1. INTRODUÇÃO

A construção civil experimentou nas últimas décadas um desenvolvimento considerável, estimulado pelo crescimento da economia global, o aumento da população urbana, a expansão da produção científica e do advento de técnicas mais modernas para manipulação de materiais com objetivo de atingir propriedades e comportamentos específicos. No entanto, isso não resultou, na mesma proporção, em construções com níveis de qualidade ou de vida útil maiores. Mesmo que anomalias em edificações estivessem presentes por toda evolução da construção civil, esperava-se que diminuíssem, proporcionalmente, suas ocorrências, em virtude do maior escopo de recursos incorporados no planejamento e na concepção dos projetos, no controle e na execução das obras.

De acordo com Thomaz (1989), as conjunturas socioeconômicas nos países em desenvolvimento, principalmente no Brasil, ocasionaram execuções de obras em menor tempo, entretanto, não houve adequações no padrão de controle de materiais e operações. Somado a outros fatores, como a maior complexidade das estruturas modernas com adoção de elementos mais esbeltos, foram desencadeando uma queda na qualidade das edificações.

Segundo Milititsky et al. (2015), mais frequentes tem se tornado o aparecimento de patologias nas construções; quer nas edificações nacionais quer edificações internacionais. Geralmente, os problemas apresentados só se tornam de conhecimento público em casos de manifestações patológicas de grandes proporções como a Torre de Pisa na Itália, dos desaprumos nas edificações no município de Santos, no estado de São Paulo e noutras regiões litorâneas do Brasil. No entanto, a ocorrência de anomalias é, substancialmente, maior em obras de pequeno e médio porte devido a um planejamento precário, estudos (geotécnicos, arquitetônicos e estruturais) insuficientes e menor controle sobre processo produtivo.

É nesse ponto que a área de Patologia das Construções se insere, buscando identificar esses erros seja ele na concepção do projeto, na prática realizada, na adoção de materiais ou na investigação das condições do meio externo na região de implementação da obra. Dessa forma, os estudos dessas anomalias têm se tornado uma importante ferramenta no sentido de evitar a recorrência de problemas, promovendo o uso de técnicas construtivas mais adequadas e utilização de materiais de melhor comportamento para as condições da obra. Além disso, estabelece parâmetros de investigação, propõe soluções para extinguir as manifestações patológicas e, assim, prolongar a vida útil da edificação.

As manifestações patológicas podem representar encargos consideráveis sobre o custo global das obras. Por esse motivo é preciso mudar a percepção de engenheiros e empresários sobre a alocação de recursos no planejamento, no controle da obra e na investigação do local de implementação. Os custos de uma medida de prevenção tomada nas etapas de concepção de projetos ou durante a execução ainda são menores, comparados, caso a construção venha apresentar problemas após a finalização da obra. Segundo estudo¹ citado por Thomaz (1989) cerca de 46% dos problemas patológicos tinham origem em falhas de projetos. Para Gnipper e Mikaldo Jr. (2007) essa porcentagem pode chegar a 49% de acordo com estudos mais recentes analisados pelos autores.

Entre os casos patológicos, os problemas decorrentes das características do solo são uma das causas mais recorrentes. Segundo estatísticas francesas, fornecidas por Logeais (1982), dos 2 mil casos estudados no país, aproximadamente 80% são consequência do comportamento solo-fundação. Em um estudo feito por Silva (1993) no Estado do Rio Grande do Sul, para identificar as causas de anomalias em obras de pequeno porte, foi observado que 34,5% dos registros estavam associados a uma investigação do subsolo insuficiente, com erros ou até mesmo pela ausência dessa etapa.

Um dos problemas mais significativos de manifestações patológicas associados ao binômio solo-fundação são a ocorrência de recalques de proporções maiores do que o previsto. Esse fenômeno é caracterizado pelo rebaixamento de uma edificação ou parte dela devido ao adensamento (redução dos índices de vazios) do solo sob sua fundação. É importante compreender que todos os tipos de solo sofrem adensamento quando submetidos a uma tensão, sejam eles em maior ou menor nível, cabe aos engenheiros e profissionais habilitados prever sua ocorrência e prevenir a estrutura em relação aos esforços que podem ser gerados.

Na região de Uberlândia, Minas Gerais, as patologias associadas ao solo-fundação são agravadas devido a colapsibilidade do seu substrato. Vários levantamentos como o de Ferreira et al. (1981) e Andrade (2005) confirmam a ocorrência de solos colapsíveis na região. Esse comportamento é temerário para as edificações já que podem ocorrer recalques de grande dimensão sem, necessariamente, ter ocorrido um aumento do carregamento. Nesse tipo de solo o aumento do grau de saturação ou do índice de umidade é suficiente para causar uma diminuição de volume (redução do índice de vazios) e provocar deslocamento da fundação.

¹ Estudo realizado pelo *Centre Scientifique et Technique de la Construction- CSTC*, que analisou 1800 casos de problemas patológicos ocorridos na Bélgica, entre as décadas de 70 e 80.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral investigar os problemas associados ao mau comportamento das fundações dos Blocos 4C (Agronomia Biociências) e 2Z (Almoxarifado) da Universidade Federal de Uberlândia bem como abordar diferentes anomalias patológicas observadas.

1.1.2. Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Investigar as manifestações patológicas presentes nos blocos 4C (Agronomia Biociências) e 2Z-Almoxarifado da Universidade Federal de Uberlândia no Campus Umuarama;
- Desenvolver hipóteses de causas para os problemas observados;
- Estudar os mecanismos que causaram a formação de anomalias nas construções especificadas;
- Compreender a importância do estudo da concepção de projeto, do planejamento das etapas e do controle da obra com objetivo de maximizar a vida útil de edificações, principalmente às pertencentes à esfera pública;
- Mapear e aferir as dimensões das fissuras;
- Determinar medidas de correção e/ou estabilização das manifestações patológicas para recuperar os edifícios avaliados.

1.2. JUSTIFICATIVA

As manifestações patológicas causadas por recalques diferenciais quando não previstos são responsáveis por danos expressivos sobre a estrutura e podem ter um impacto direto no uso do edifício, inviabilizando em alguns casos, até a permanência de pessoas no local. Em obras públicas situações de instabilidade estrutural podem ocasionar um enorme prejuízo financeiro uma vez que as licitações e os recursos financeiros possuem um tempo maior para aprovação, o que colabora para a intensificação das manifestações patológicas.

Considerando que a falta de investigação do subsolo e ações após a conclusão da obra não dimensionadas são práticas que se repetem com frequência em obras de pequeno a médio porte, as patologias relacionadas ao conjunto solo-fundação são de fato uma preocupação importante.

O presente trabalho vem ratificar a relevância do estudo das manifestações patológicas, dado que esses problemas só poderão ser tratados após o conhecimento das possíveis causas, a estabilização dos mecanismos deflagradores e o estabelecimento da segurança estrutural do local.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

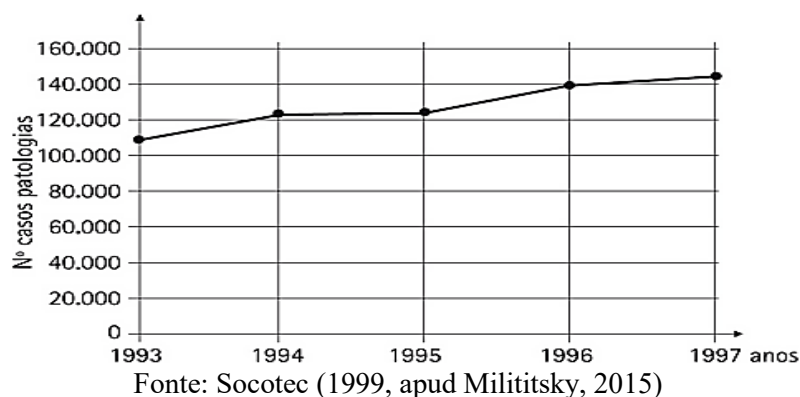
2.1. Patologia das Construções

O conceito de patologia é associado, frequentemente, as ciências biológicas, referindo aos estudos dos sintomas que indiquem desvios da normalidade orgânica dos seres vivos e, assim, possam ser caracterizados como uma enfermidade ou doença. Entretanto, esse conceito pode ser vinculado às ciências exatas. Na Engenharia Civil, por exemplo, a patologia também é um estudo sistemático de anomalias, defeitos e sintomas, no entanto, o objeto de pesquisa são as edificações.

O nome dado a essa área na Engenharia Civil é relativamente recente, entretanto, a investigação das manifestações patológicas e a busca por soluções existem concomitantemente com o advento das construções. É importante ressaltar que nas últimas décadas a indústria de construção civil se desenvolveu rápido, possibilitando o uso de materiais mais leves, mais esbeltos e com um menor custo. Por outro lado, se observou um aumento do aparecimento de patologias causadas por maiores deformações da estrutura.

Mesmo com a evolução de técnicas construtivas, ferramentas de cálculo e concepção de materiais mais resistentes, as anomalias em obras são cada vez mais frequentes. Em um estudo de Socotec (1999), foi constatado que na década de 90 houve um crescimento de casos registrados de patologias de qualquer natureza em construções na França, como mostra a Figura 1.

Figura 1- Situações registradas de patologias de todas as naturezas na França.



Em relação as manifestações patológicas, Thomaz (1989) associa-se seu aparecimento nas edificações com fatores como as movimentações provocadas por variações térmicas, a atuação de sobrecarga não prevista, deformabilidade inadequada da estrutura, recalques das fundações, retração de componentes produzidos com ligantes hidráulicos e modificação química dos materiais devido a agentes externos.

De acordo com Almeida (1999) as anomalias podem ser subdividas em relação a sua origem, e estão detalhadas a seguir:

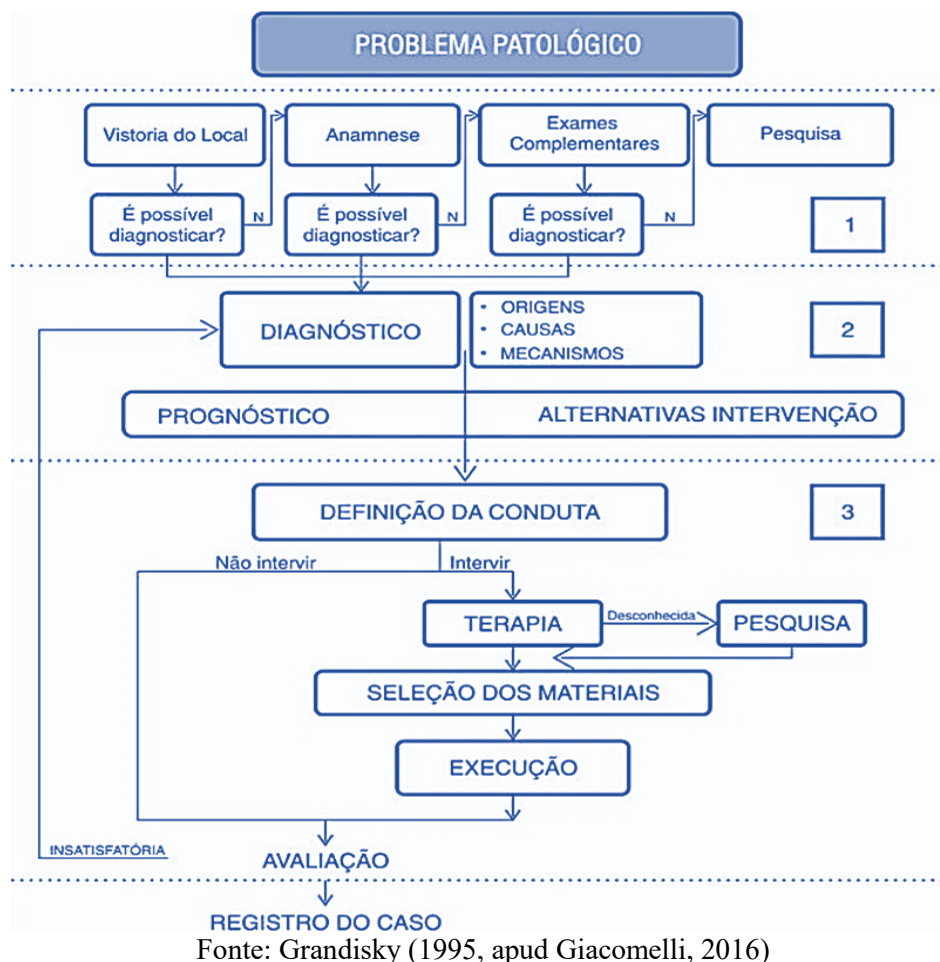
- Anomalias Congênitas: Geradas ainda na fase de concepção, em virtude, da negligência no cumprimento das normas técnicas, falta de diálogo entre os projetistas e omissões de profissionais. Essas ações fazem com que elementos tenham taxa de armadura imprópria, acúmulo de tensões excessivas, e conseqüentemente, possibilita que se desenvolvam fissuras, ninhos de concretagem, rachaduras ou que a estrutura entre em estado de ruína. Acredita-se que aproximadamente 40% das manifestações patológicas tenham origem na fase de concepção da edificação;
- Anomalia Executiva: São produzidas na fase de execução, e geralmente, tem origem no emprego de mão de obra sem qualificação, técnicas de execução impróprias e/ou uso de materiais inadequados. Esses erros podem levar a edificação, por exemplo, a apresentarem problemas como ninhos de concretagem, menor resistência, deformações inapropriadas, corrosão das armaduras e dentre outros;
- Anomalia Acidental: As causas dessa anomalia estão ligadas a solicitações não prevista, como ventos e vibrações com intensidade acima do limite previsto em normas, situação de incêndio e recalques excepcionais. Do ponto de vista teórico, nesse tipo de situação, mesmo quando são seguidas as recomendações normativas,

as edificações não estão preparadas para suportar tais tensões. Se trata de esforços de natureza atípica;

- Anomalia Adquirida: Geralmente, são desenvolvidas por fatores relacionados a extensão de sua vida útil. São resultado do contato contínuo com meio externo, que desencadeiam fenômenos térmicos (retração e dilatação), ataques por agentes agressivos, dentre outros. Podem ser associados também à falta de manutenção.

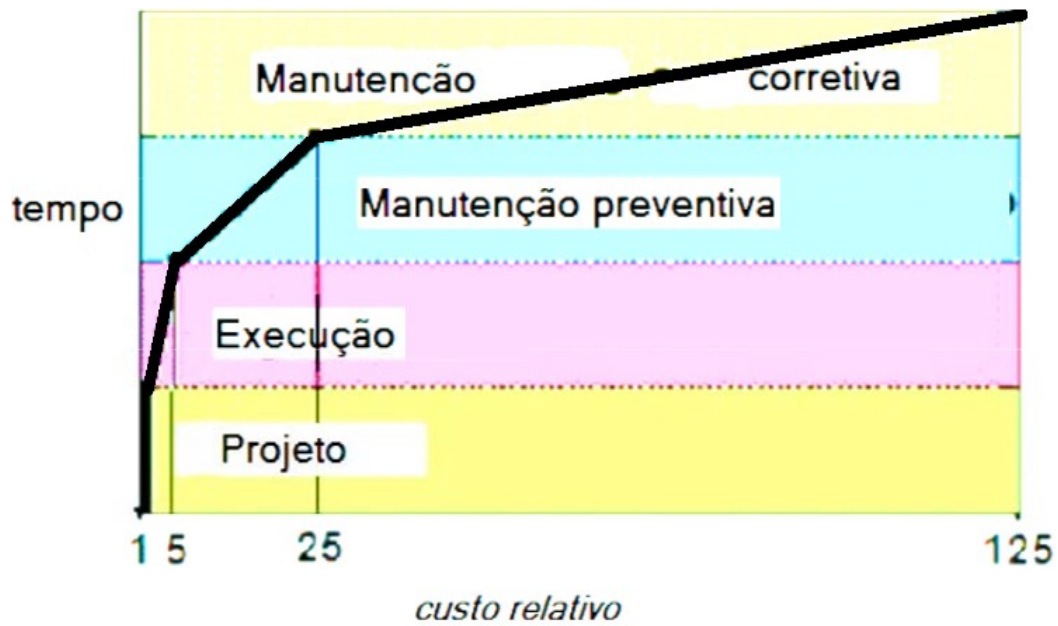
Antes de chegar as causas das anomalias é preciso realizar uma investigação criteriosa para identificá-las e propor as melhores soluções para extinguir o problema. As fases desse processo compreendem a observação do local, o levantamento das manifestações, análise de hipóteses de causa, a justificação teórica, a identificação da solução mais viável, a execução das reparações e o registro do caso. Esse processo fica melhor exemplificado no fluxograma da Figura 2, elaborado por Grandiski (1995) em seu trabalho “Perícias Judiciais” que detalha um roteiro de diagnóstico separando em três etapas fundamentais.

Figura 2- Fluxograma para diagnóstico de manifestações patológicas.



É importante ressaltar, que os custos para solucionar as anomalias podem atingir valores altos em relação ao montante inicial orçado para o empreendimento. Isso se agrava, principalmente, quando as construções já estão finalizadas e são notados o aparecimento de manifestações patológicas. Os custos relacionados as medidas tomadas em cada etapa da construção civil são dispostas na Figura 3 em porcentagem relativa.

Figura 3- Lei de evolução de Custos.



Nota-se pela Figura 3, que na fase de projetos o custo de uma tomada de decisão é representado pelo custo relativo 1, e ele aumenta à medida que as fases de construção vão se sucedendo no intervalo de tempo. Sendo assim, na conclusão de Sitter (1984), as ações tomadas na etapa de manutenção corretiva correspondem a um custo 125 vezes maior do que se a decisão fosse tomada ainda na fase de projetos. Esse valor pode onerar as obras a ponto de torná-las inviáveis ou no mínimo causar transtornos indesejáveis, sejam eles de caráter financeiro ou da própria imagem que a empresa tenha conquistado no mercado.

2.2. Patologia das Fundações

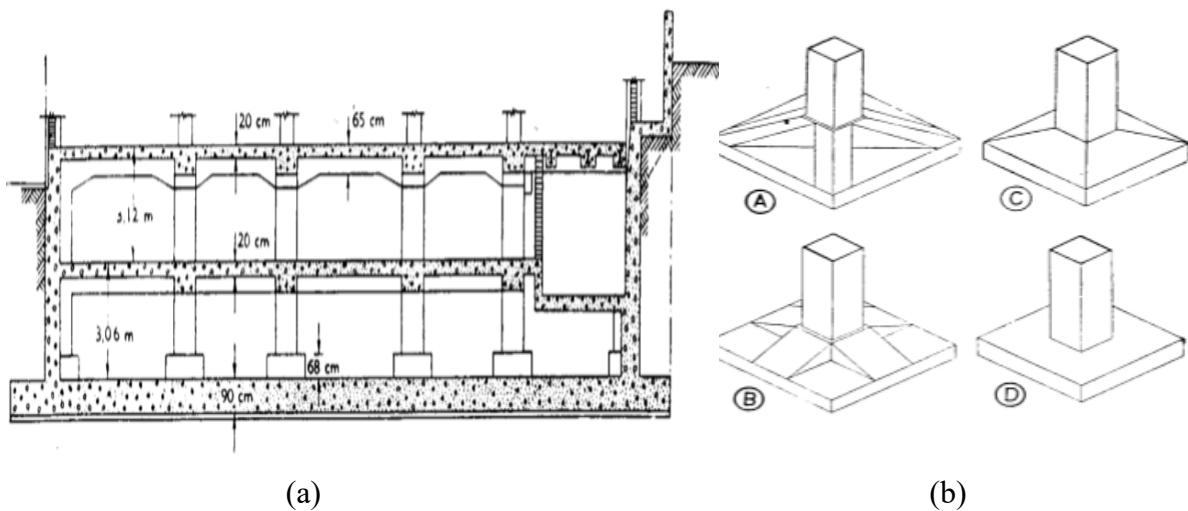
Segundo Milititsky et al. (2015), os elementos de fundações são usados, devido a necessidade de transmissão dos esforços da estrutura ao solo. Representam, em média, cerca de 3% a 6% do custo total da obra, entretanto, podem atingir valores percentuais maiores em casos especiais. Pode-se dizer ainda que a fundação é um elemento de transição entre a edificação e o solo, e a

escolha do tipo de fundação depende necessariamente do comportamento do solo quando submetido ao carregamento, da profundidade da camada resistente e da tensão a ser transmitida em cada caso.

De acordo com a NBR 6122:2010, as fundações de uma edificação podem ser divididas em dois grupos:

- Fundações superficiais, diretas ou rasas: São elementos estruturais que transmitem as cargas, majoritariamente, por pressões distribuídas sob a base da fundação ao terreno em que está apoiada, e a profundidade de assentamento é menor que duas vezes a menor dimensão do elemento. São exemplos desse tipo de fundação: os blocos, os radiers [Figura 4(a)], as sapatas [Figura 4(b)], as vigas de fundação e dentre outros.

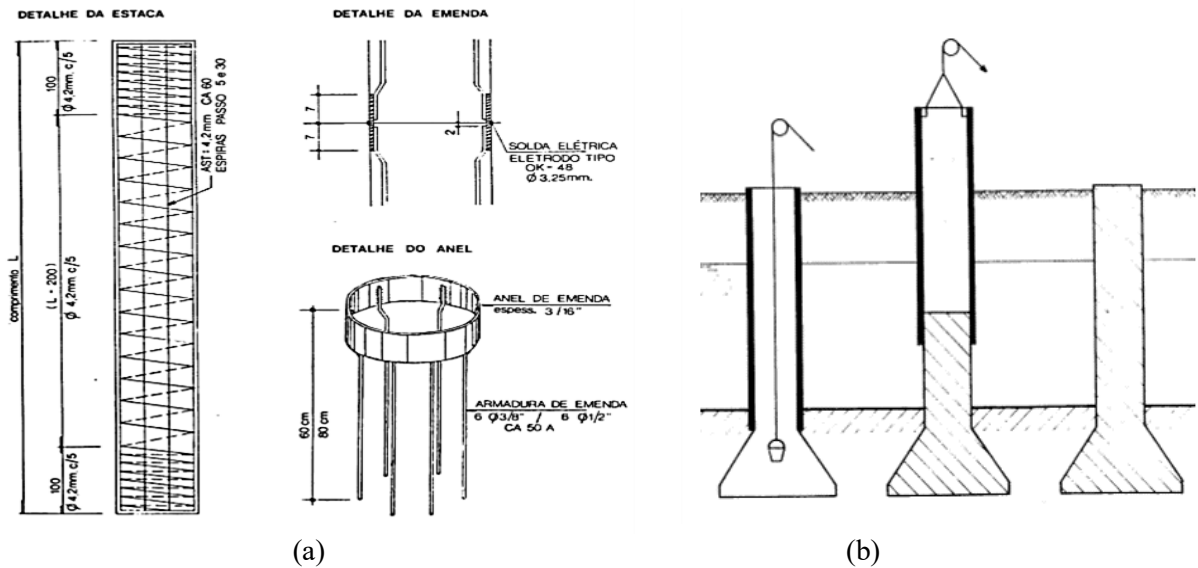
Figura 4- Representação de Fundações Rasas.



Fonte: Brito (1987)

- Fundações Profundas: São elementos estruturais que transmitem as cargas ao terreno, pelo contato da base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou em alguns casos pela combinação dos dois. A profundidade de assentamento é duas vezes maior que sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3m, exceto com justificativa. São exemplos desse tipo de fundação: as estacas [Figura 5(a)], os tubulões [Figura 5(b)], os caixões e dentre outros.

Figura 5- Representação de Fundações Profundas.



Fonte: Brito (1987)

De acordo com Milititsky et al. (2015), as patologias das fundações são um problema recorrente no Brasil e se devem, em grande parte, a proliferação de empresas de investigação do subsolo e de execução de fundação sem a devida qualificação, ao crescimento de profissionais sem experiência responsáveis pelo projeto e fiscalização, além do aumento da complexidade de projeto devido ao caráter esbelto/frágil das estruturas modernas.

No Brasil não existe um mecanismo sistemático de registro das ocorrências patológicas, e infelizmente, apenas as situações catastróficas chegam ao conhecimento público. Entretanto, existem estudos regionais importantes, como o de Silva (1993) reunindo as principais causas de patologias de fundações (Figura 6), pode-se perceber que a investigação do subsolo era a principal motivadora das anomalias no Rio Grande do Sul.

Figura 6- Origem dos problemas em fundações no Rio Grande do Sul.



Fonte: Silva (1993)

2.2.1. Investigação do subsolo

A investigação do subsolo produz informações essenciais como dados hidrogeológicos, estudo da resistência de carga, além da caracterização geotécnica e pedológica da região. Vale ressaltar que essa etapa tem custo e grau de detalhamento condizente com a complexidade do projeto e seu custo global.

De acordo com Silva (1993), essa fase preliminar da construção é a causa mais frequente de problemas de fundações. É resultado das incertezas quanto às condições do subsolo, em consequência da inexistência de investigação, da presença de uma investigação insuficiente ou em alguns casos da má interpretação dos dados produzidos.

A ausência de uma investigação é mais comum em obras de pequeno a médio porte, mesmo sendo uma prática inaceitável em qualquer caso. Essa falta de conhecimento sobre o real comportamento do solo pode gerar tensões de contato excessivas, recalques inadmissíveis e até redução da carga admissível nominal adotada para estaca devido a ocorrência de atrito negativo não previsto.

As normas técnicas ABNT NBR 6122:2010 e ABNT NBR 8036:1983 devem ser seguidas tanto na investigação como na execução dos elementos de fundações. Com isso, é necessário seguir corretamente o tipo de programa de investigação mais adequado para o local, o número mínimo de sondagens e a profundidade de exploração.

É importante mencionar que no Brasil o programa preliminar é baseado no Ensaio de Sondagem à Percussão (SPT). No entanto um programa complementar pode ser necessário, em virtude das condições do solo e do projeto da edificação. Por exemplo, em solos de comportamento especial (colapsíveis, em adensamento ou expansivos) devem ser realizados outros ensaios de campo e também de laboratório para melhor caracterização.

2.2.2. Solos colapsíveis

Segundo Lollo (2008), o fenômeno de colapso, que é atribuído aos solos colapsíveis, consiste na perda de resistência do solo não saturado, geralmente, causada pela perda dos vínculos de coesão entre as partículas sólidas ou da destruição dos efeitos capilares. Dessa forma, quando esses solos sofrem um aumento do teor de umidade acontece uma redução volumétrica, ocasionada pela diminuição dos índices de vazios, mas sem a necessidade de um aumento da aplicação de cargas.

Segundo Cintra (1998, p.10) o solo colapsível:

“... apresenta uma estrutura instável, porém com uma rigidez temporária mantida pela pressão de sucção e/ou cimentação. Esse estado resistente é instável diante do aumento do teor de umidade, pois quando este ultrapassa um limite crítico sobrevém o colapso, desde que a carga atuante também esteja acima de um certo limite. Portanto, os solos susceptíveis ao colapso apresentam uma grande sensibilidade à ação da água; o aumento do teor de umidade é o mecanismo detonador ou efeito gatilho do colapso.”
(Cintra, 1998, p.10)

Para Barden et. al. (1973 apud Milititsky, 2015) solos colapsíveis apresentam uma estrutura metaestável sujeita a ocorrência do fenômeno de colapso, em virtude de um rearranjo radical das partículas, causado pelo aumento do grau de saturação do solo. Além disso, os autores listam as três principais condições para o desenvolvimento desse fenômeno:

- Estrutura do solo parcialmente saturada;
- Tensões existentes para desenvolver o colapso;
- Rompimento dos agentes cimentantes no solo, como a argila e óxidos de ferros.

Em consonância, Gutierrez et al. (2004) afirma que a colapsibilidade do substrato nas regiões de clima tropicais se caracteriza por apresentarem estruturas porosas e de baixo grau de saturação. No Brasil a ocorrência de solos colapsíveis (Figura 7) está localizada, principalmente, nas regiões do Centro-sul, Nordeste e grande parte do Sudeste, onde existe o maior número de estudos científicos como o de Ferreira et al. (1981). Na maior parte são solos porosos tropicais, especialmente oriundos de rochas graníticas e outras rochas ácidas, depósitos aluviais, coluviais e residuais muito lixiviados.

Em grande parte do Sudeste, segundo Lobo (2003), existe uma cobertura de regiões com sedimentos cenozoicos e solos residuais de arenito, sua evolução se deu em meio a alternância de períodos de grande quantidade de chuvas e períodos de estiagem, característicos de climas tropicais. Essa mudança de índices pluviométricos e de umidade ocasiona lixiviação dos finos das camadas superficiais, originando uma estrutura porosa e permeável; e, conseqüentemente, um solo arenoso com coesão temporária.

Figura 7 – Mapeamento dos solos colapsíveis no Brasil.

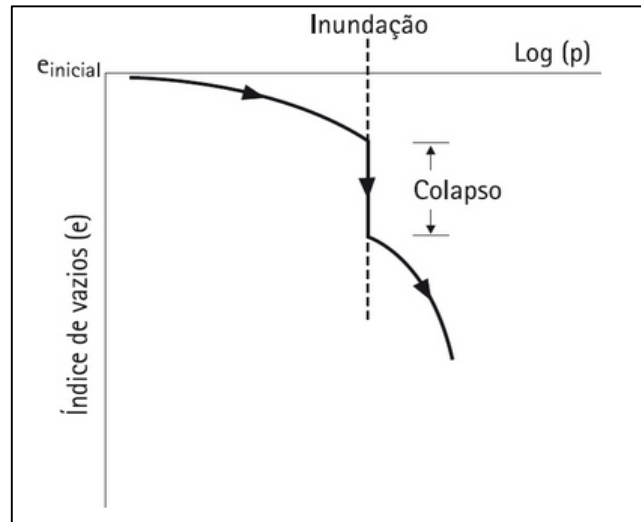


Fonte: Milititsky et al. (2015)

Dessa maneira, pode-se notar que as regiões tropicais oferecem condições propícias para a formação desse tipo de solo. Nas chuvas de verão (época de maior pluviosidade) irão ocorrer a lixiviação dos finos dos horizontes superficiais e no período de estiagem os agentes cimentantes endurecem formando uma estrutura porosa.

Para caracterização do fenômeno do colapso é preciso realizar ensaios de adensamento para observar o comportamento do solo. Um dos estudos mais conhecidos sobre o assunto é o de Vargas (1973), no qual, foi ensaiado amostras adensadas na umidade natural sob vários níveis de carregamento. E no segundo momento, quando os recalques estabilizaram as amostras foram inundadas. Nessa fase ocorriam recalques adicionais, devido somente a saturação do solo. Entretanto, foi constatado, posteriormente, que a magnitude diminuiu com aumento da atuação de pressões externas (Figura 8).

Figura 8- Resultado característico do ensaio de colapso.

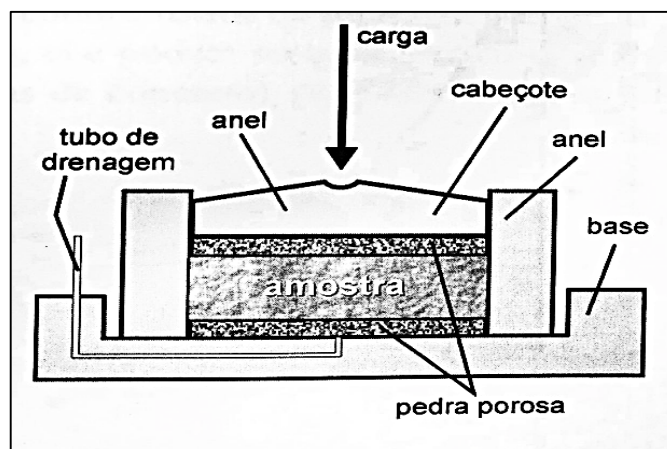


Fonte: Jennings et al. (1975)

De acordo com Vargas (1973) e mediante aos ensaios edométricos realizados, a partir de uma certa pressão (p) as ligações fracas da estrutura são destruídas, e a saturação perde o efeito na dissolução do cimento ou os meniscos capilares que ligam os solos porosos. Nos testes em um certo nível de carregamento não foi mais observado o fenômeno de colapso.

Os ensaios edométricos (de adensamento) são os mais utilizados na intenção de aferir a variação de volume nos solos na ocorrência do fenômeno de colapso. Nesse ensaio uma amostra é confinada em anel rígido (Figura 9); além disso, acima e abaixo da amostra estão duas pedras porosas, que permitem a saída de água e induzem uma variação volumétrica unidirecional.

Figura 9- Configuração da câmara de ensaio edométrico.



Fonte: Pinto (2006)

Pode ser observado na Figura 9 que o diâmetro da amostra no anel é constante, sendo assim, pode-se representar as variações de altura em função da pressão aplicada; e, além disso, obter os índices de vazios de cada fase do carregamento a partir do índice de vazio inicial da amostra e da redução de altura. Os resultados desse ensaio também podem ser utilizados para quantificar o potencial de colapso, definido pela equação 1 a seguir:

$$\text{Eq.} \quad PC = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (1)$$

Nesse caso, PC seria potencial de colapso, Δe a alteração de índice de vazios com a saturação e e_0 o índice de vazio antes da saturação da amostra. Segundo Jennings e Knight (1975) pode ser associado ao potencial de colapso a gravidade da patologia, como retratado na Tabela 1.

Tabela 1- Potencial de Colapso e grau de patologia.

PC em %	Severidade do Problema
0 – 1	Nenhum problema
1 – 5	Problema Moderado
5 – 10	Problemático
10 – 20	Muito Problemático
>> que 20	Excepcionalmente problemático

Fonte: Jennings et al. (1975)

É comum em obras com esse tipo de solo, sem uma precaução adequada para conter a saturação do solo, que ocorra patologias mais severas. É o caso, por exemplo, de vazamentos de canalizações de reservatórios, de piscinas ou ainda de coberturas extensas que descarregam a água da chuva diretamente no solo. Essas situações levam a um aumento do teor de umidade, e consequentemente, o solo perde sua coesão ocorrendo o recalque da fundação.

2.2.3. Falhas de Análise e Projeto

A concepção de projeto de fundações ocorre por meio dos dados das solicitações da estrutura e dos valores que representem as propriedades e comportamento do subsolo, após a realização de ensaios de campo e de laboratório. Nota-se que o solo não possui uma homogeneidade capaz de expressar propriedades e comportamentos exatos, até em função de ser usado quase como é encontrado naturalmente, isso justifica a adoção de coeficientes de segurança mais altos. No

entanto, isso não extingue a possibilidade de erro já que em muitos casos, como mencionado anteriormente, a investigação do subsolo é insuficiente e isso prejudica uma interpretação mais realista do problema.

Vale salientar também a possibilidade de falhas na determinação dos esforços que a estrutura pode transmitir ao elemento de fundação. Segundo Milititsky et al. (2015) a desconsideração de momentos fletores e cargas horizontais podem acarretar o colapso da fundação, além disso deve-se observar solicitações devido ao comportamento do solo, como os empuxos e o atrito negativo.

No que se refere aos problemas que tem origem na etapa de análise e projeto em decorrência do comportamento do solo pode-se listar dois de maior relevância para o presente trabalho:

- Admissão de projeto com perfil de solo que não representa a realidade, sem informações que o caracterize, por exemplo, a extensão das camadas menos resistentes ou mais compreensíveis mesmo não ocorrendo em toda a região da edificação, como pode ser observado na figura 10. No caso da ilustração foi adotado uma solução desconsiderando a presença de um bolsão de argila orgânica (mais compreensível) em uma área do subsolo sujeita as ações da edificação.
- Admissão de projetos de fundações incongruentes com o comportamento do solo em casos especiais como fundações profundas ou diretas em solos colapsíveis sem os devidos cuidados necessários

Figura 10- Problema com a adoção de projeto com perfil de solo inadequado.



Fonte: Milititsky et al. (2015)

Os casos específicos de solos colapsíveis em regiões superficiais se faz necessário a adoção de fundações estacadas, mesmo que as condições de carregamento indicassem uso de fundação direta a mais apropriada, como em outras situações corriqueiras.

Ainda existem situações em que as fundações são projetadas sobre o aterro ou solo criado, casos sensivelmente problemáticos. Em obras de médio e pequeno porte as características particulares a esse tipo de solo podem ser desconsideradas caso os profissionais não sejam especialistas em geotecnia. Os efeitos das manifestações patológicas nesse tipo situação estão associados, em maior grau, aos movimentos ou recalques excessivos do elemento de fundação. Dentre as causas podemos destacar:

- Redução dos índices de vazios excessiva do aterro causado por seu peso próprio e ações originadas pela transmissão das solicitações da superestrutura para infraestrutura. Esse tipo de situação é comum em aterros executados com materiais inapropriados como resíduo orgânico (raízes, plantas e outros) e restos de construções, sem compactação caso seja usado solo argiloso ou sem vibração caso seja usado solo arenoso, aterros com compactação deficiente típicos em obras com lançamento de camadas muito espessas e uso de equipamentos de capacidade imprópria de transmissão de energia ao solo;
- Redução dos índices de vazios excessiva do solo natural onde o aterro está apoiado causado pelo aumento de solicitações devido ao peso próprio do aterro ou por transmissão de esforços originados da superestrutura pelo elemento de fundação.

2.2.4. Erros de execução

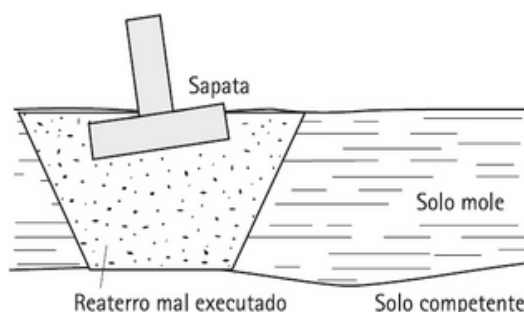
A execução inadequada do projeto de fundações está entre as causas de problemas patológicos de maior recorrência. Após a realização de uma investigação do subsolo completa e a concepção de projeto, é preciso garantir a execução do que foi planejado, seguindo as especificações de projeto e obedecendo as normas vigentes como a ABNT NBR 6122/2010 – Projeto e Execução de Fundações. Deve-se assegurar ainda que as técnicas construtivas sejam desempenhadas por profissionais experiente e equipamento apropriado.

Segundo Milititsky et al. (2015) as fundações superficiais são executadas, em muitos casos, sem projeto feito por pessoas competentes ou sem acompanhamento por um profissional experiente, justificada pela facilidade construtiva e a larga utilização em construções de pequeno porte. Em alguns casos os projetos são baseados em obras vizinhas ou dados empíricos de publicações onde são indicados valores comuns de tensão admissível. Essas práticas levam ao aparecimento e a recorrência de inúmeros problemas patológicos nas construções nacionais.

Os problemas de execução de fundação envolvendo os aspectos do solo estão ligados, geralmente, a técnicas construtivas em desconformidade com a prática recomendada e desconhecimento do comportamento do solo onde fundação estará apoiada. Nesse espectro Milititsky et al. (2015) lista alguns problemas de fundações superficiais causados pelo processo construtivo envolvendo o solo, dentre os quais podemos destacar:

- Elementos de fundações executados na mesma cota e assentes em solo de diferente comportamento causando recalques diferenciais, muito comum em obras onde ocorre corte e aterro ou quando a camada resistente se encontra em cotas diferentes;
- Elementos de fundação assentes em escavações e reaterros sem um cuidado de compactação ou mal executados podendo ocorrer recalques após finalização da obra;
- Construção de elementos de fundações em situações que foi necessário a substituição do solo, por exemplo na ocorrência de solos moles superficiais, para a execução de reaterro, porém usa-se material não apropriado ou compactação ineficiente, causando instabilidade a fundação como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11- Sapatas apoiadas em reaterro mal executado.



Fonte: Milititsky et al. (2015)

2.2.5. Incidentes e eventos posteriores a conclusão da fundação

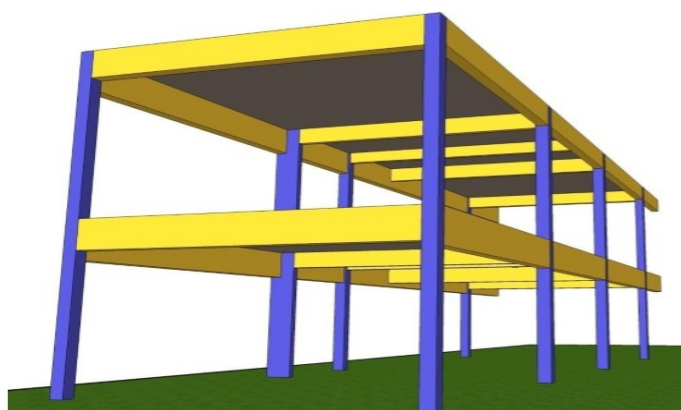
As manifestações patológicas, como vistas nas seções anteriores deste trabalho, tinham origem em etapas que antecediam a construção da fundação (investigação do subsolo, análise e projeto) ou na própria etapa de execução, entretanto, pode ocorrer eventualidades como alterações no uso da edificação, aumento do grau de saturação no solo como rompimento de canalizações ou condução acentuada de água para o solo e outras situações adversas que não teriam como ser prevista pelo projetista.

No caso de alteração no uso da edificação; isso é muito comum em construções industriais, *shopping centers* e supermercados. Esses tipos de espaços são suscetíveis a mudança do *layout* original, é comum, por exemplo, mudanças na estocagem de materiais e instalação de elementos especiais (como a construção de mezaninos e escadas), resultando em um aumento de esforço transmitido as fundações.

No entanto, as construções que mais sofrem com danos devido ao recalque das fundações são as edificações de pequeno a médio porte que sofrem ampliação. Em grande parte, isso se deve baixas pressões introduzidas sobre as fundações anteriormente, e com aumento das tensões devido obras de ampliações desenvolvem movimentos não previstos e acima do limite admissível.

De acordo com Milititsky et al. (2015), a instalação de mezaninos (Figura 12) não presumidos em projetos é bastante comum em ampliações e reforma de prédios comerciais ou industriais. Nesses casos podem estar acompanhados pela instalação de outros elementos como escadas e novos carregamentos. Essa situação leva a uma nova distribuição ou concentração de tensões transmitidas aos elementos da fundação que podem resultar no aumento de recalques e, posteriormente, manifestações patológicas como fissuração de paredes de vedação e componentes estruturais.

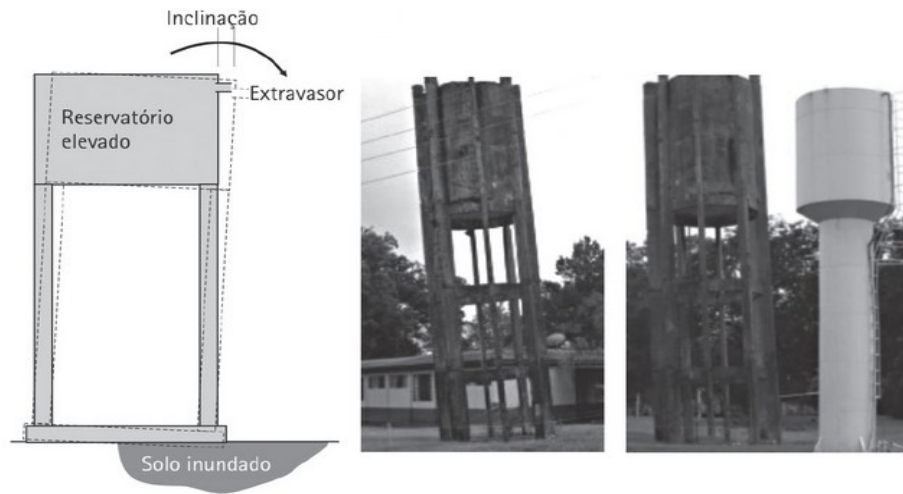
Figura 12- Representação da inclusão de mezanino.



Fonte: Melo (2013)

Eventos externos à edificação também podem interferir no comportamento esperado do solo e causar problemas patológicos, alguns deles como rompimento de canalizações enterradas, extravasamento de água sem condução eficiente (Figura 13) e outras situações que possam levar descarga de água são extremamente prejudiciais em solos colapsíveis. O aumento da umidade relativa nessas situações provoca instabilidade da massa de solo e movimentações expressivas das fundações.

Figura 13- Descarga de água de reservatório em solo poroso colapsáveis.

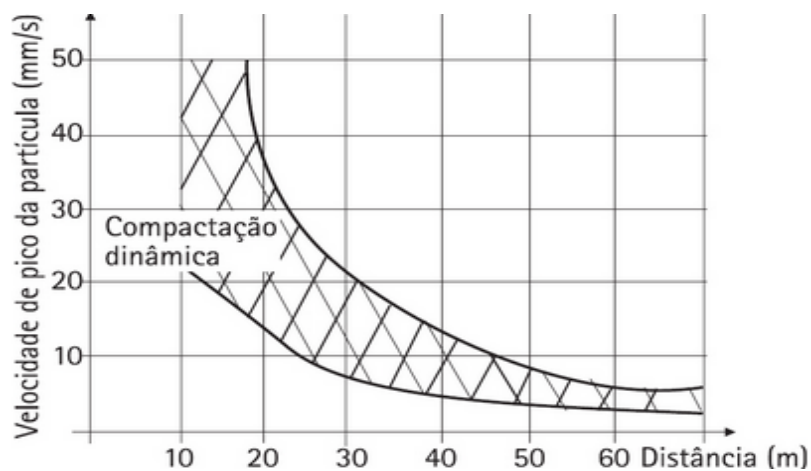


Fonte: Milititsky et al. (2015)

Outra situação que pode causar recalques nas fundações são compactação vibratória e dinâmica em locais adjacentes a edificação. Segundo Bachmann (1997) equipamentos usados nesse processo quando realizados perto de construções podem provocar efeitos no comportamento do solo devido a propagação das ondas vibracionais na massa de solo.).

No caso de compactadores dinâmicos, Slocombre (1993) evidencia que danos estruturais podem ser causados, também devido a propagação vibracional desses equipamentos sobre o substrato e relaciona com o pico de velocidade de partícula do solo da região. Segundo ele velocidades a partir de 50 mm/s provocam danos estruturais e velocidades até 10 mm/s causam transtornos arquitetônicos. Na Figura 14 podemos ver a ação das ondas vibracionais relacionadas com a distância do local onde acontece o uso de compactadores dinâmicos. O limite superior e o limite inferior representam a curva para solos granulares e solos coesivos, respectivamente.

Figura 14- Efeito causado pelos vibradores por compactação dinâmica.



Fonte: Slocombre (1993)

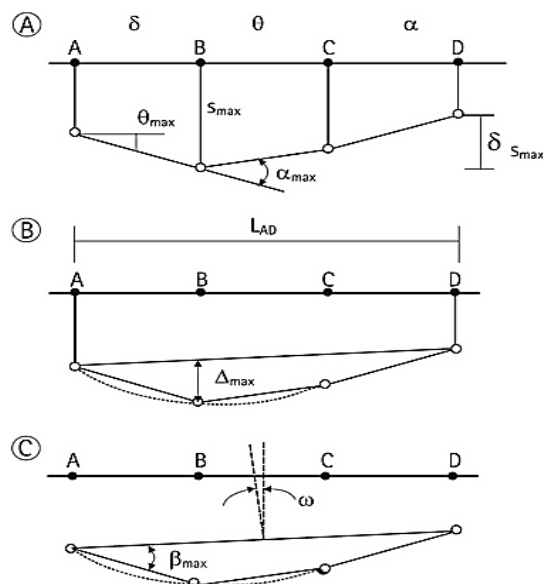
2.3. RECALQUES

Na Engenharia Civil e Geotécnica uma das áreas de maior interesse de estudo é o conhecimento do comportamento do solo devido à um carregamento vertical, devido a sua relação direta com a durabilidade de uma edificação. É de conhecimento geral que uma pressão vertical atuando sobre o solo produz uma deformação, em consequência da redução do índice de vazios pela expulsão da água no interior dos vazios e o aumento da tensão efetiva do solo.

De acordo com Pinto (2006), a aplicação de uma carga sobre o terreno, seja devido a uma fundação direta ou a construção de um aterro é, inicialmente, suportada com o aumento da pressão neutra (sobrepessão) do solo, e sem uma variação da tensão efetiva entre as partículas do solo. Como água está em carga superior à que promoveria seu equilíbrio com o meio externo, acontece a percolação da água e, conseqüentemente, a deformação do solo. A tensão aplicada, então, passa a ser suportada gradativamente pelo contato entre as partículas do solo (tensão efetiva) e não mais pela pressão neutra.

A deformação do solo pode gerar movimentos (recalques) das fundações e gerar danos a estrutura; desde desconfortos estéticos a danos estruturais severos. Quando se fala em movimentos das fundações devemos conhecer algumas definições associados a esse comportamento das fundações. Na figura 15 podemos visualizar melhor as definições de recalques (s), recalques diferenciais (δ_s), rotação (θ), deformação angular (α), deflexões relativas (Δ), inclinação (ω) e distorção angular (β) definidas por Burland e Wroth (1975).

Figura 15- Representação dos principais tipos de movimento das fundações.



Fonte: Burland et al. (1975 apud Milititsky, 2015)

2.4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

No Brasil, diferentemente de outros países, não existe uma compilação estatística de dados associando as origens e a ocorrência relativa das manifestações patológicas. É difícil estimar as causas mais frequentes de anomalias ou realizar um estudo mais abrangente, com propósito de desenvolver práticas de execução e de projeto que possam reduzir a reprodução de erros já cometidos.

No entanto, nas últimas décadas, a produção de levantamentos regionais, pesquisas científicas e uma literatura reunindo experiências adquiridas contribuiu para a acumulação de conhecimento sobre os mecanismos de desenvolvimento e as configurações típicas das manifestações patológicas. Esses estudos são bastante relevantes para auxiliar os profissionais a tomar medidas de recuperação, assim como de prevenção, na construção civil.

As manifestações patológicas são os sintomas que a edificação apresenta, em decorrência, de algum problema ou anomalia não prevista. Podem ocorrer, por exemplo, aparecimento de manchas, eflorescências, infiltrações, deslocamentos excessivos dos elementos estruturais que podem comprometer o uso adequado da construção, destacamento de elementos da edificação e fissurações (Tabela 2).

Tabela 2- Classificação dos de danos em edifícios.

ABERTURA DE FISSURA (mm)	GRAU DE DANO			EFEITO NA ESTRUTURA E USO DA EDIFICAÇÃO
	RESIDENCIAL	COMERCIAL OU PÚBLICO	INDUSTRIAL	
< 0,1	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Nenhum
0,1 a 0,3	Muito leve	Muito leve	Insignificante	Nenhum
0,3 a 1	Leve	Leve	Muito leve	Estético apenas
1 a 2	Leve a moderado	Leve a moderado	Muito leve	Estético; acelera efeitos da ação climática externa
2 a 5	Moderado	Moderado	Leve	O uso da edificação
5 a 15	Moderado a severo	Moderado a severo	Moderado	será afetado; valores no limite superior
15 a 25	Severo a muito severo	Severo a muito severo	Severo a muito severo	podem pôr em risco a estabilidade
>25	Muito severo a perigoso	Severo a perigoso	Severo a perigoso	Cresce o risco da estrutura tornar-se perigosa

Fonte: Thornburn et al. (1985)

Dentre os diversos problemas patológicos que podem se manifestar na edificação, as fissuras são particularmente relevantes. Thomaz (1989) destaca três aspectos fundamentais que fazem as fissuras uma manifestação de grande importância, eles são: aviso de uma eventual situação

de perigo estrutural, comprometimento do estado de uso da construção (durabilidade, estanqueidade à água, isolamento térmico-acústico e dentre outros) e o constrangimento psicológico que a fissuração gera sobre seus usuários.

2.4.1. Configurações típicas de fissuras causadas por recalques diferenciais

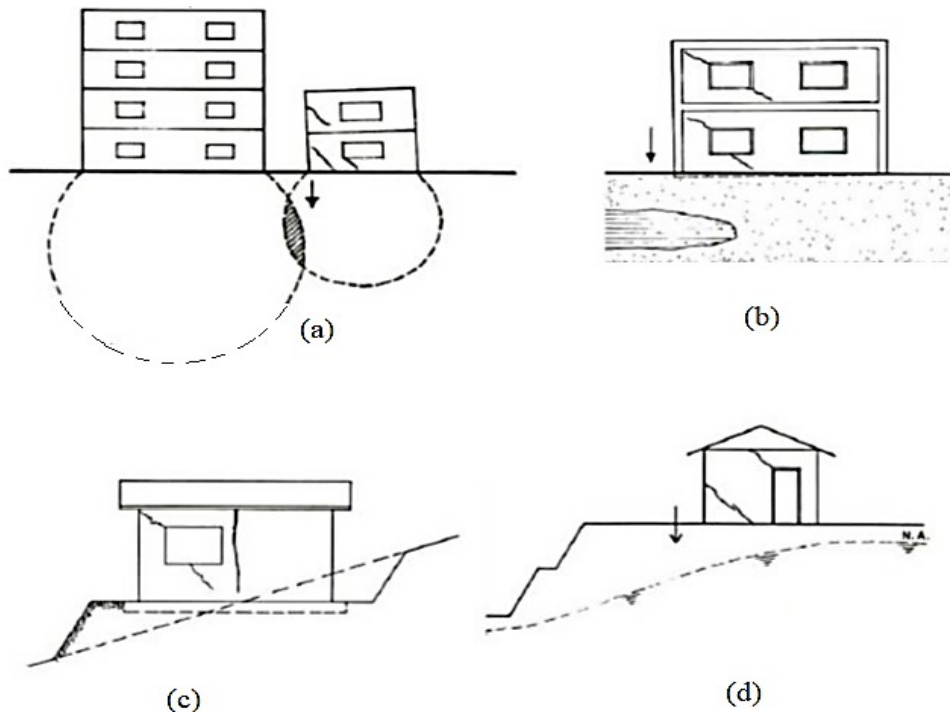
Milititsky et al. (2015) afirma que as fissuras nos elementos estruturais são as manifestações reconhecíveis da existência de deslocamento das fundações. Esse sintoma evidencia que a resistência dos componentes da edificação ou da interligação entre eles foi superada pelas tensões causadas pelo recalque das fundações. Deve-se ressaltar que elementos específicos de vinculação adotados e os efeitos combinados de outras anomalias podem fazer com que a identificação dos movimentos baseada apenas nas fissuras apresentadas sejam complexas em casos reais.

Para Souza Neto (2006) o efeito mais comum dos recalques diferenciais sobre as edificações é o desenvolvimento de fissuras diagonais, que podem se estender ao piso e ao teto. De acordo com Thomaz (1989), esse tipo de evento, geralmente, determina falhas inclinadas similares com aquelas causadas por deflexão de componentes estruturais. No entanto, o movimento das fundações tende a ocasionar fissuras de maior abertura, pode existir a presença de esmagamentos localizados e, nos casos de movimentos acentuados, é possível observar oscilação na abertura da fissura. Dessa forma, percebe-se importância de realizar acompanhamento ou controle de recalques, no intuito de identificar o real comportamento da fundação.

O *Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC* (1983 apud Thomaz, 1989) correlaciona alguns fatores que levam as fundações a apresentarem recalques diferenciais com as configurações típicas de suas manifestações. Essas informações foram produzidas através de observações de casos reais de edifícios uniformemente carregados.

Os casos registrados nesse estudo, citado por Thomaz (1989), são: Recalque diferencial causado pela construção de edifícios próximos a construção já existentes, interferindo nos bulbos de tensões (Figura 16– a); Recalque diferencial provocado pela falta de homogeneidade do solo, no qual a fundação está apoiada (Figura 16– b); Fundações de edificações localizadas sobre seção de corte e aterro (Figura 16– c); recalque diferencial causado por rebaixamento do lençol freático devido à um corte na lateral do terreno (Figura 16– d).

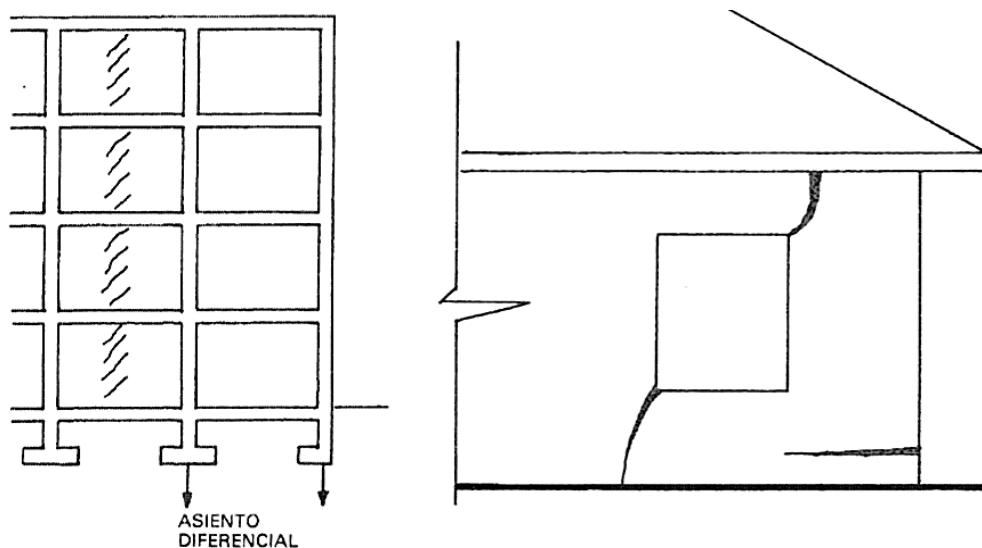
Figura 16- Configuração típica de fissuras causadas por recalques.



Fonte: Thomaz (1989)

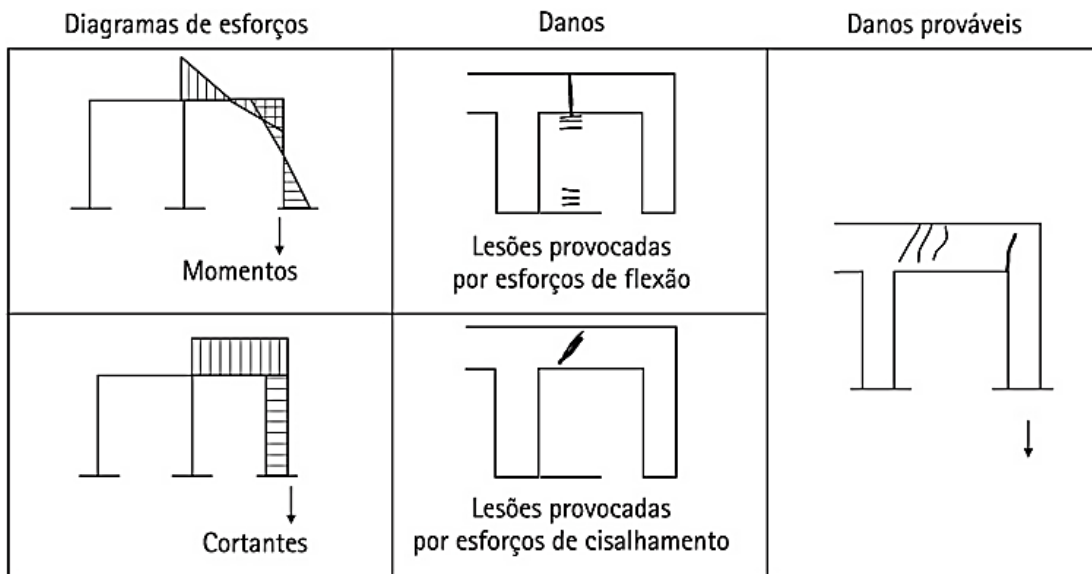
Nas paredes de vedação em obras com estrutura reticulada que apresentaram recalques diferenciais, geralmente, são geradas fissuras por tração diagonal. No caso de movimento de fundações das extremidades da edificação as fissuras se inclinam em direção aos pilares externos ou de canto (Figura 17), o diagrama de esforço para momento e cortante desse tipo de situação pode ser visto na Figura 18.

Figura 17- Fissuras geradas por recalques na extremidade.



Fonte: Ortiz (1983)

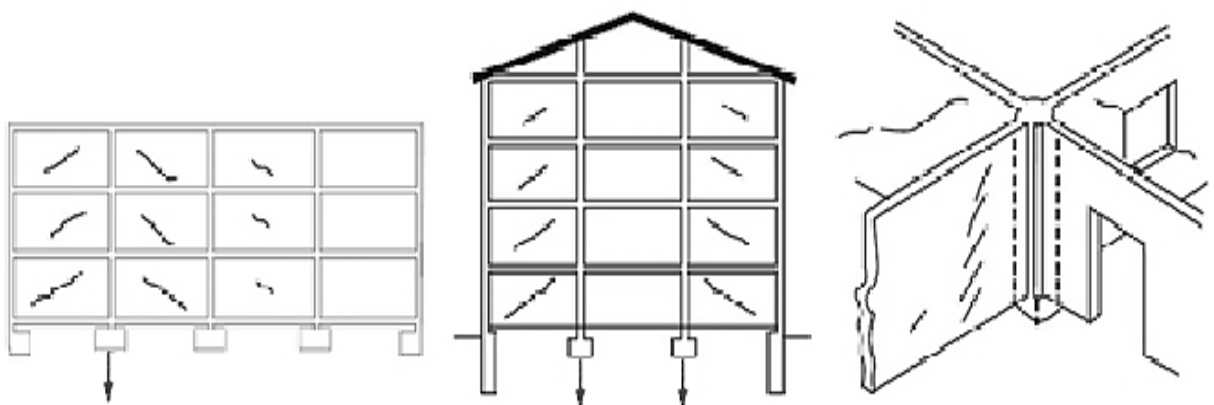
Figura 18- Prováveis diagramas de esforços e danos causados por recalque de fundações de pilares nas extremidades.



Fonte: Mañá (1978 apud Milititsky, 2015)

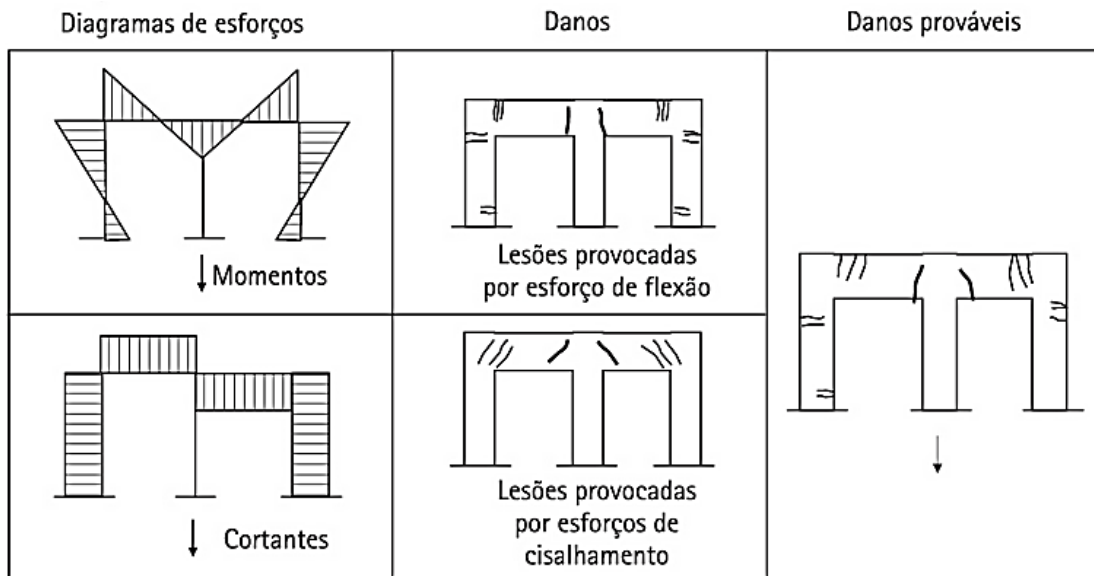
Por sua vez recalques em fundações que recebem os pilares internos as fissuras tendem a se inclinar a esses elementos (Figura 19). Na Figura 20 é possível visualizar os diagramas de esforços e a configuração das fissuras provocadas pelo movimento da fundação onde o pilar interno se encontra associado. Como pode ser visto nas Figura 18 e 20, as falhas causadas nos elementos são por tração diagonal, em consequência, da ação da força cortante, esforços de momento e do comportamento frágil desses componentes.

Figura 19- Fissuras geradas por recalque de fundações de pilares internos.



Fonte: Ortiz (1983)

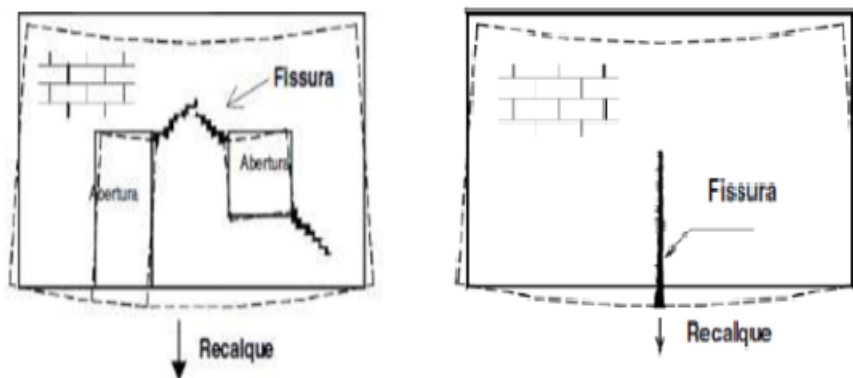
Figura 20- Prováveis diagramas de esforços e danos causados por recalque de fundações de pilares internos.



Fonte: Mañá (1978 apud Milititsky, 2015)

Thomaz (1989) também aponta que as variações na umidade relativa do solo, principalmente no caso de argilas e substratos de comportamento especiais, geram oscilações volumétricas e no seu módulo de deformação, conseqüentemente, pode ocorrer recalques localizados (Figura 21). Nesse caso, a mudança no teor de umidade do solo pode ser a presença de vegetação próxima ao local da edificação, rompimento de canalizações, recebimento de grande quantidade água da chuva devido à falta de canalização específica e dentre outros.

Figura 21- Fissuras ocasionadas por recalques localizados.



Fonte: Grimm (1988)

2.4.2. Configurações típicas de fissuras associadas a causas diversas

2.4.2.1. Fissuras causadas por movimentações térmicas

Todos os materiais e componentes da construção em maior ou menor grau estão suscetíveis a variações dimensionais provocadas pela oscilação de temperatura que podem sofrer pelo meio externo (radiação solar e outras fontes de calor dependendo do uso da edificação). Essas alterações dimensionais, ou seja, os movimentos de dilatação ou de contração podem ocasionar o aparecimento de tensões nos elementos, em virtude, da restrição das vinculações e dos tipos de materiais adotados na estrutura.

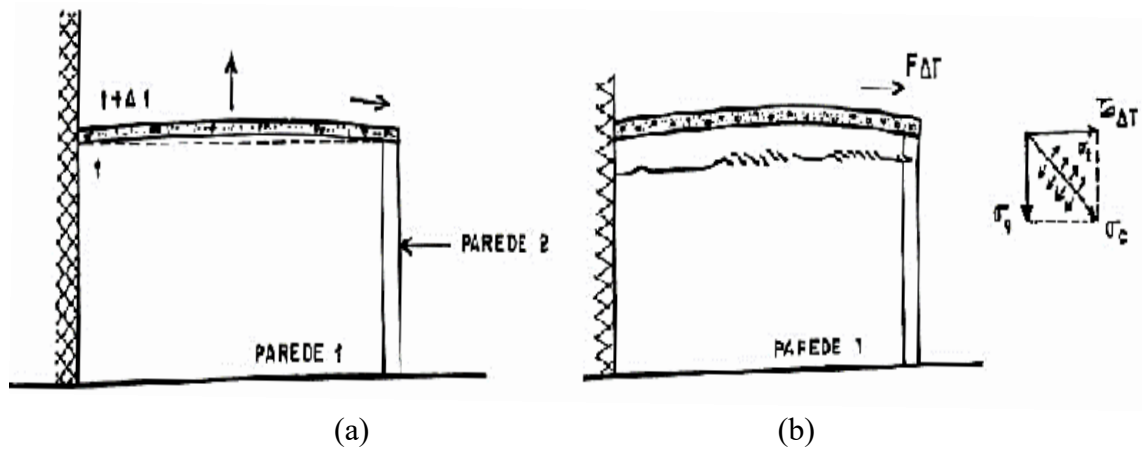
Os materiais possuem propriedades ou comportamentos diferentes, e a junção de componentes com distintos coeficientes de dilatação expostos às mesmas condições de temperatura podem provocar aparecimento de trincas. Além disso, elementos expostos a diferentes oscilações de temperatura (laje de cobertura e paredes externas) ou com gradiente de temperatura (faces internas de uma laje de cobertura em relação a face exposta), também estão sujeitos ao desenvolvimento de trincas e fissuras.

As coberturas planas não sombreadas são os elementos que estão mais suscetíveis as oscilações térmicas devido a maior incidência de radiação solar. Entretanto, segundo Thomaz (1989), mesmo em lajes sombreadas podem estar expostas variações térmicas, porque parte da energia calorífica absorvida pelas telhas são reirradiadas para as lajes, também ocorrem transmissão de calor pelos movimentos de convecção e de condução entre os elementos. Nesse caso, o tipo de material das telhas, a altura do colchão de ar que separa esses dois elementos e a intensidade da radiação solar vai determinar a maior ou menor troca de calor.

Devido ao fato das lajes de coberturas, geralmente, se encontrarem vinculadas as paredes de sustentação, as fissuras geradas pelas tensões de origem térmica podem ser observadas tanto nas lajes como nas paredes. É importante mencionar que essas tensões nas lajes são nulas no centro e aumentam em direção as bordas desse elemento.

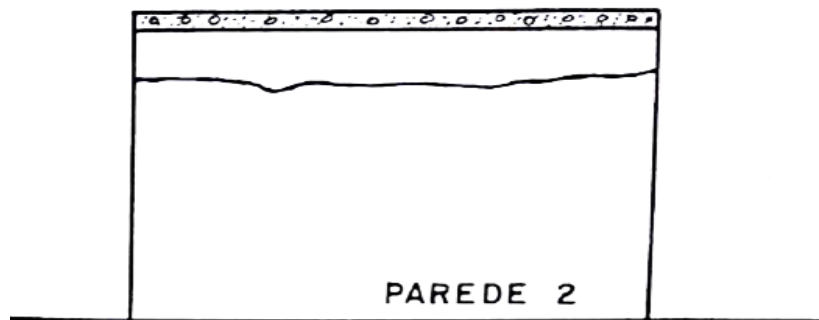
De acordo com Thomaz (1989), a dilatação plana das lajes e o abaulamento [Figura 22(a)] induzido pelo gradiente de temperatura geram tensões de tração e de cisalhamento nas paredes das edificações. As configurações típicas das fissuras nas paredes paralelas ao comprimento da laje e as paredes paralelas à largura da laje podem ser vistas nas Figuras 22(b) e 23, respectivamente.

Figura 22- Fissuras nas paredes paralelas ao comprimento da laje.



Fonte: Thomaz (1989)

Figura 23- Fissuras nas paredes paralelas à largura da laje.



Fonte: Thomaz (1989)

2.4.2.2. Fissuras causadas por retração de produtos à base de cimento

O processo de hidratação do concreto resume-se na transformação de anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis. Thomaz (1989) cita que para a reação química completa entre a água e os compostos anidros é preciso de uma proporção de 22 a 32% de água em relação à massa de cimento, e mais 15 a 25% para a formação de um gel recobrindo todos os grãos dos compostos anidros. O conhecimento desse processo é fundamental para entender sua influência sobre o fenômeno de retração do compósito.

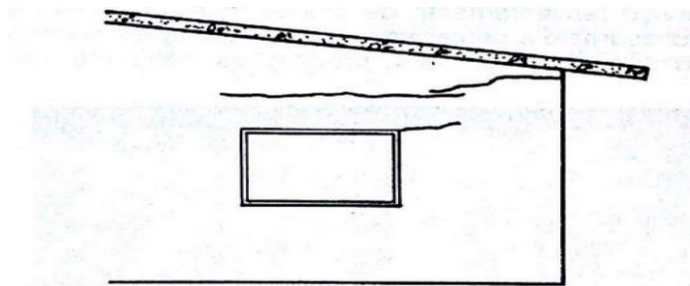
O evento de redução de volume pode ocorrer por três vias: retração química (redução de volume devido à forte força de coesão interior na reação química da água com o cimento), retração de secagem (evaporação da água em excesso usada para preparação do concreto ou da argamassa)

e retração por carbonatação (redução de volume ocasionada pela reação da cal hidratada, que é liberada da hidratação do cimento, com o gás carbônico atmosférico).

O fenômeno da retração do concreto ou da argamassa é diretamente proporcional à quantidade de água, quantidade de cimento e a relação água/cimento do composto, além disso é indiretamente proporcional a granulometria do cimento, granulometria dos agregados e umidade relativa do ar na região. É importante mencionar que a existência de cloretos ($CaCl_2$) e de álcalis (NaOH, KOH) no cimento podem aumentar a retração do concreto ou da argamassa.

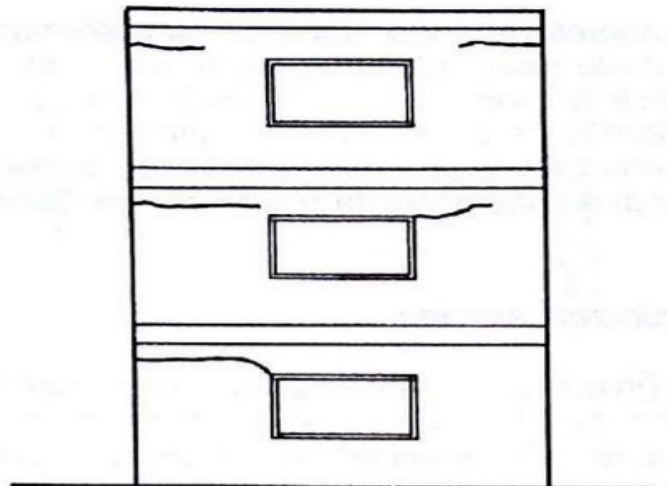
Segundo Thomaz (1989), a retração de lajes de concreto armado pode ocasionar a compressão, fissura ou destacamento do piso cerâmico, devido à deflexão de regiões armadas e não armadas da laje. Entretanto, o efeito mais nocivo da retração das lajes tanto de cobertura (Figura 24) quanto intermediárias (Figura 25) é o aparecimento de fissuras horizontais e na parte superior de paredes solidárias a ela.

Figura 24- Fissura provocada pela retração da laje de cobertura.



Fonte: Thomaz (1989)

Figura 25- Fissura provocada pela retração de lajes intermediárias.



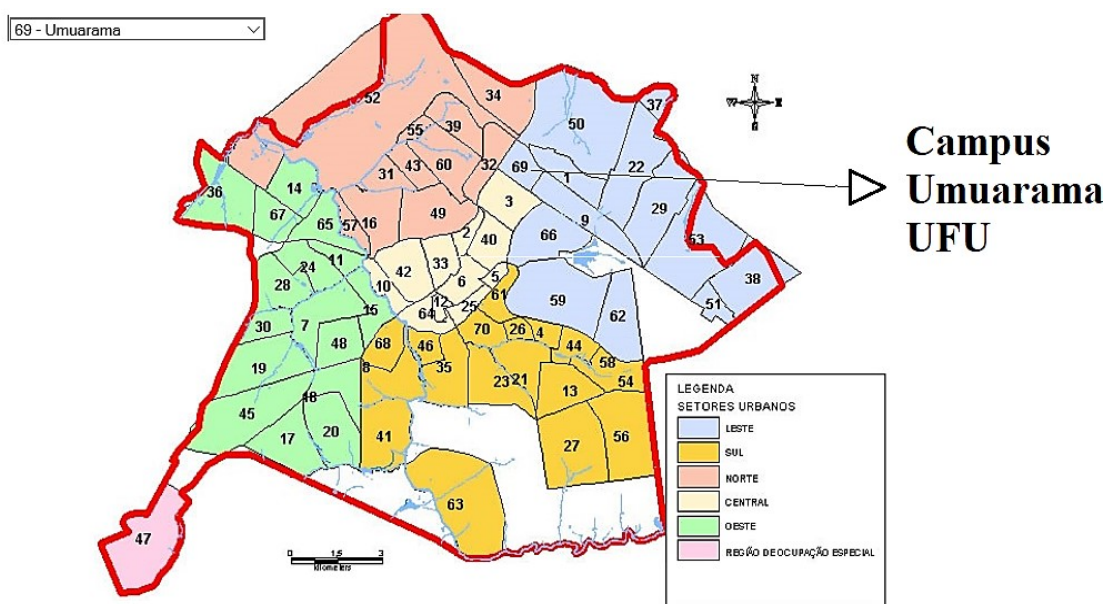
Fonte: Thomaz (1989)

3. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

A área de estudo está inserida no município de Uberlândia, trata-se de dois blocos da Universidade Federal de Uberlândia, localizados no Campus Umuarama: Bloco 2Z (Almoxarifado) e o Bloco 4C (Agronomia Biociências). Essas instalações estão dentro do perímetro urbano da cidade no bairro Umuarama representado na Figura 26 pelo número 69, fazendo parte assim do setor leste.

O clima predominante do município é chamado de Tropical de Altitude, sofrendo interferência das massas de ar continental (Equatorial e Tropical) e Atlântica (Polar e Tropical). É importante perceber que esse tipo de clima é marcado por estações secas frente estações de grande umidade, o que favoreceu a formação dos solos lateríticos e ajuda entender a ocorrência de solos colapsíveis na região.

Figura 26- Localização do Campus na zona urbana da cidade.



Fonte: Prefeitura de Uberlândia (2019)

Os meses de abril a setembro são marcados por baixos índices pluviométricos e uma umidade relativa do ar abaixo de 30%, como indica Andrade (2005). Em contrapartida, nos meses de outubro a março os índices pluviométricos tem um grande aumento. Dessa forma, a alternância dessas estações influenciou a formação de solos com estruturas porosas e de baixo grau de saturação, com coesão temporária.

Nas chuvas de verão (época de maior pluviosidade) irão ocorrer a lixiviação dos finos dos horizontes superficiais e no período de estiagem os agentes cimentantes endurecem formando uma estrutura porosa. Dessa forma, quando esses solos sofrem um aumento do teor de umidade, existe uma redução volumétrica, ocasionada pela diminuição dos índices de vazios, mas sem a necessidade de um aumento da aplicação de cargas.

Em 2005, Ricardo de Andrade, realizou, em seu trabalho de mestrado, um estudo com a intenção de produzir um mapeamento geotécnico da área de extensão urbana de Uberlândia. A pesquisa possibilitou levantamento de várias características do solo do município. Foi possível identificar 9 unidades geotécnicas de materiais inconsolidados. Todas essas unidades da área estudada tinham solos caracterizados como colapsíveis.

A partir de Andrade (2005) podemos tomar como base a unidade 5 que se encontra no setor leste da cidade, e em regiões adjacentes a área de estudo desse trabalho. Como pode ser visto na Tabela 3, os solos dessa região possuem um comportamento laterítico LA' (argilas arenosas lateríticas), apresentam índices de porosidade alto variando entre 60-63%, índices de vazios no limite de liquidez variando de 1,2 a 1,4 e um grau de saturação variando entre 40-50%.

Tabela 3- Caracterização dos solos da Unidade 5.

Classificação textual	Classificação MCT	Massa específica			w (%)	S_r (%)	n (%)	e	e LL
		γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)					
Argila arenosa e Areia argilosa	LA'	1,3-1,33	1,0-1,09	2,7-2,90	22- 31	40- 50	60- 63	1,5-1,7	1,2-1,4

Fonte: Andrade (2005)

As características e os índices físicos apresentados correspondem com as indicações de autores como de Ferreira et al. (1981) que identificou inúmeros solos colapsíveis encontrados no Brasil. Nesse levantamento foi constatado que a ocorrência deste tipo de solo estava associada ao baixo grau de saturação (< 60%) e a alta porosidade ($n > 40\%$). Andrade (2005), como mencionado anteriormente, reportou comportamento colapsível em todas unidades geotécnicas da cidade e baseou-se na realização de uma avaliação de colapsibilidade correlacionando os índices de vazios obtidos pelas amostras indeformadas com os índices de vazios estabelecidos no limite da liquidez (maior grau de saturação).

Considerando que em alguns pontos da unidade 5 o índice de vazios no limite de liquidez atingiu 1,375, enquanto que o índice de vazios natural era de 1,724, pode-se usar a Equação 1 relacionando com as classificações da Tabela 1- “Potencial de Colapso e grau de patologia” de Jennings e Knight (1975). Com isso conclui-se que o solo da região adjacente a área de estudo em termos de potencial de colapso ($PC_{\%} \cong 14,695\%$) pode apresentar anomalias patológicas de severidade problemática.

Com os dados de Andrade (2005):

$$PC_{\%} = \frac{(1,724-1,375)}{(1+1,375)} \times 100 \cong 14,695\% \quad (2)$$

4. METODOLOGIA

A metodologia aplicada ao presente trabalho (Figura 27) está em linha com as práticas periciais consolidadas pela literatura técnica. As etapas da avaliação patológica desse estudo de caso podem ser divididas em:

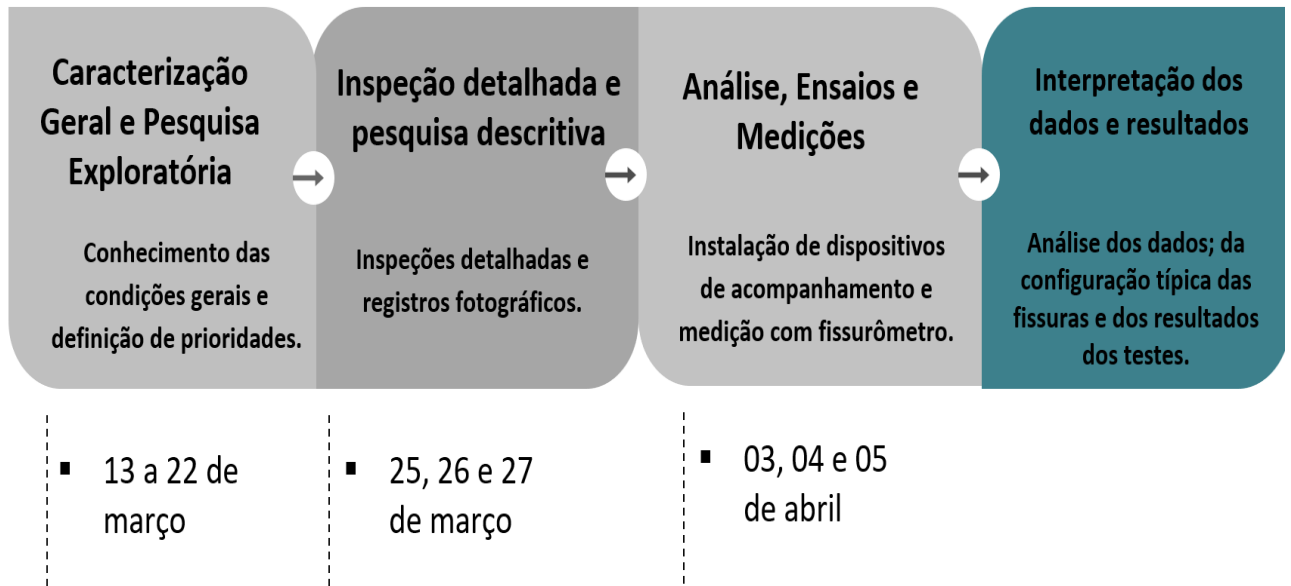
- Caracterização geral e pesquisa exploratória;
- Inspeção detalhada e pesquisa descritiva;
- Análise, ensaios e medições;
- Interpretação dos dados e resultados.

4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL E PESQUISA EXPLORATÓRIA

Com o conhecimento das condições gerais da localização do terreno e levantamento bibliográfico como forma de orientar o estudo, como visto nas seções anteriores, iniciou-se a inspeção visual preliminar da edificação. Nesse momento era preciso definir os pontos que deveriam ser acompanhados com maior prioridade de acordo com a severidade dos problemas.

Após a etapa de inspeção visual, foi feita uma reflexão sobre as características da obra, as configurações típicas das fissuras apresentadas, os depoimentos dos utentes da edificação sobre possíveis episódios que poderiam ocasionar aquelas manifestações e como se deu a evolução delas. Nessa etapa devemos interpretar os sinais que mostrem uma correlação com possíveis causas do problema, em consonância com o levantamento bibliográfico, e assim, traçar um plano de trabalho para uma investigação mais detalhada.

Figura 27- Fluxograma desenvolvido para o diagnóstico.



Fonte: Autor (2019)

4.2. INSPEÇÃO DETALHADA E PESQUISA DESCRITIVA

Posteriormente à obtenção dos dados, informações iniciais sobre a obra e a análise deles com as manifestações patológicas, foi definida uma linha de investigação para complementar as hipóteses de causas. Nessa etapa era preciso fazer um registro completo com fotografias das configurações típicas das manifestações patológicas e informações adicionais para auxiliar a confecção do diagnóstico. A solicitação do projeto também foi importante para mapear as fissuras na próxima fase do estudo e entender como foi feita a concepção da construção.

Essa etapa era decisiva para compreender os possíveis mecanismos de deflagração dos problemas nas construções, e assim, procurar meios ou instrumentos para detectar melhor sua causa e a evolução das anomalias. Nesse momento o escopo levantado no estudo possibilitava uma análise mais concreta, direcional e profunda para elaboração de um diagnóstico.

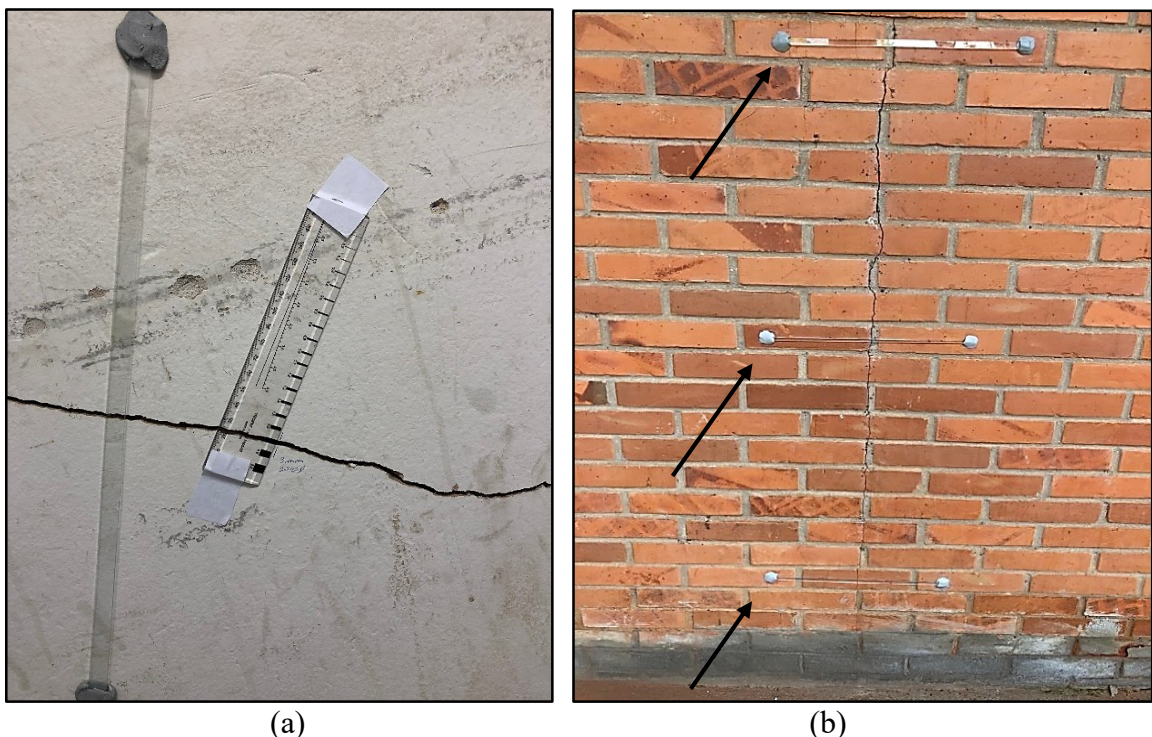
4.3. ANÁLISE, ENSAIOS E MEDIÇÕES

No caso dos blocos 4 C e 2Z do Campus Umuarama era preciso instalar dispositivos simples e de fácil medição para acompanhar o desenvolvimento das fissuras e tabelar suas dimensões medidas, com uso do fissurômetro [Figura 28 (a)], que em valores atuais podem ser encontrados por R\$ 10,00 a R\$ 14,00.

O acompanhamento da evolução das fissuras, rachaduras e trincas complementa as hipóteses iniciais, que se baseiam nas configurações típicas das mesmas, que apontavam para problemas com os recalques dos elementos de fundações. O movimento desses componentes é progressivo e geram fissuras que evoluem com o tempo, diferente por exemplo de problemas patológicos ligados a sobrecarga que são, substancialmente, mais abruptos. Esse comportamento está associado ao fenômeno do adensamento do solo.

Para essa linha de investigação foi usado tiras de vidro de 10 mm de largura, comprimento de 40 cm e espessura de 3 mm, eram dispostas sobre as fissuras em no mínimo 2 a 3 tiras espaçadas igualmente e fixadas com massa epóxi, como mostrado na Figura 28 b. As peças deveriam ficar perpendicular a tangente do ponto escolhido e seu centro deveria coincidir com a fissura para prever a evolução das manifestações. A intenção era detectar os deslocamento e movimentos diferenciais que os elementos da edificação iriam apresentar, fazendo com que as tiras se rompessem e deslocassem.

Figura 28- Medição e acompanhamento da evolução das fissuras.



Legenda: (a) representação do uso do fissurômetro e (b) disposição das tiras de vidro sobre a fissura.
Fonte: Autor (2019)

4.4. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS

Em sequência, com os resultados dos testes, as análises das configurações típicas da fissura, os dados coletados pelo depoimento dos utentes e do projeto arquitetônico era possível determinar um diagnóstico sobre o problema patológico e as causas mais prováveis. A revisão bibliográfica do tema era um meio de comparação eficiente, já que se tratava de uma literatura técnica baseada na experiência adquirida dos autores em casos reais.

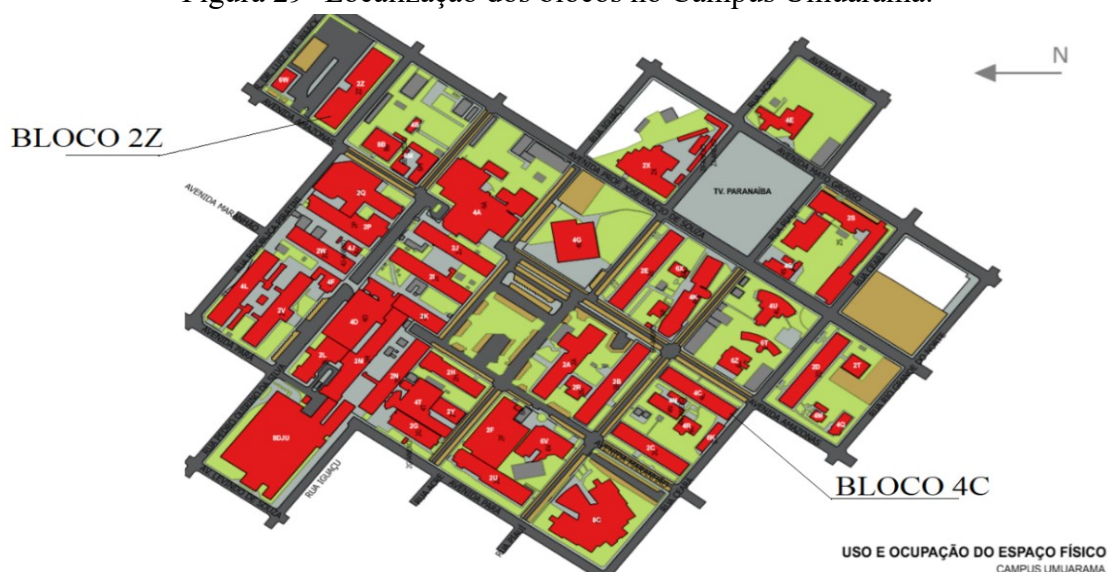
Por fim, foram traçadas as intervenções necessárias e as possíveis consequências de sua não adoção sobre a segurança estrutural. Por se tratar de construções com grande fluxo de pessoas e por ter grande relevância para a sociedade civil, essas informações são importantes até para esclarecimento mais concreto da situação.

5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi feito por meio de visitas e inspeções periódicas nos blocos 4C (Agronomia Biociências) e 2Z (Almoxarifado) da Universidade Federal de Uberlândia (Figura 29), com intenção inicial de contemplar manifestações patológicas causadas pelo recalque (movimento) das fundações. Para isso foi realizado registros visuais dos problemas observados, depoimento dos servidores locais, acompanhamento da evolução das fissuras.

5.1. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS IMÓVEIS

Figura 29- Localização dos blocos no Campus Umuarama.



Fonte: UFU (2014)

- Descrição: Edificações de domínio público, uso associado a laboratórios e salas de professores no Bloco 4C e Almoxarifado no Bloco 2Z (Figura 29);
- Localização: Setor Leste do município de Uberlândia;
- Área construída: Bloco 2Z- 2303,77 m² e Bloco 4C-1628,80 m²;
- Número de pavimentos: 2.

5.2. VISITAS AO LOCAL E LEVANTAMENTO DE DADOS

As inspeções nos blocos mencionados foram realizadas em 3 etapas:

- 1ª Etapa: Nos dias 25, 26 e 27 de março foram feitas visitas para identificar as principais manifestações patológicas e fazer o registro visual por meio de fotografia digital.
- 2ª Etapa: Nos dias 3, 4 e 5 de abril foram feitas medições com intuito de aferir as aberturas das fissuras, trincas e rachaduras com uso do fissurômetro. Além disso, foram instaladas peças de vidro (37 no total) que tinham a função de indicar se as fissuras estavam estáveis.
- 3ª Etapa: Após as duas primeiras etapas, foram feitas inspeções semanais com objetivo de identificar o estado das peças de vidro instaladas, e que poderiam indicar instabilidade da estrutura. Nessas visitas também foi possível colher algumas informações com os servidores locais.

Os funcionários e servidores públicos dessas construções afirmam que as fissuras eram comuns desde a época em que entraram para instituição (alguns tinham até 25 anos de trabalho na UFU), no entanto, com o tempo essas falhas aumentaram de dimensão e apareceram novas fissuras. No Bloco 2Z, os servidores notaram que com uma obra de compactação para pavimentação asfáltica e construção de um pátio em um bloco adjacente fez com que toda alvenaria vibrasse, e que podia ser percebido colocando a mão sobre a parede. Durante e após esse episódio foi notado que as fissuras aumentaram. No bloco 4C, funcionários notaram que sempre após períodos de chuvas prolongado as manifestações patológicas se intensificavam, porém, de modo geral, elas evoluíam com tempo independente de períodos de chuvas mais agudos.

5.3. CONFIGURAÇÕES TÍPICAS DAS FISSURAS OBSERVADAS

Para melhor elucidação da investigação realizada será dividido em tópicos as configurações típicas observadas e suas hipóteses de causa conforme mostrado a seguir:

- Fissuras verticais na região da base da alvenaria;
- Fissuras horizontais junto a interface superior da alvenaria;
- Fissuras transversais;
- Fissuras provocadas pela dilatação térmica;
- Fissuras na interface da escada com outros elementos da edificação.

5.3.1. Fissuras verticais na região da base da alvenaria

No bloco 4C notou-se que a alvenaria de tijolo maciço da fachada externa apresentava fissuras verticais (Figura 30) que tinham origem sempre na base e atingiam, geralmente, até a altura intermediária da parede e sempre próxima de locais onde equipamentos de refrigeração encaminhavam água para um canteiro adjacente. Durante as inspeções e em posse do projeto arquitetônico, foi observado que não existia um estudo sobre a quantidade enorme de ar condicionados, torneiras e sistemas de refrigeração que foram instalados posteriormente para atenderem as necessidades dos laboratórios no controle de temperatura. Inclusive não houve uma preocupação com a condução adequada da água que saía dos drenos desses equipamentos.

Nesse bloco existia um canteiro em contato com toda a base da alvenaria da fachada que recebia diretamente a água que saía pelos drenos dos equipamentos de refrigeração. Como resultado o solo presente nesse espaço se saturava em pontos localizados, devido ao fluxo contínuo e concentrado. Como visto na seção 3, o substrato dessa região tem comportamento colapsível, constituído por argila arenosa ou areia argilosa, com porosidade superficial considerável que está ligada a lixiviação dos materiais de granulometria fina do solo e a alternância dos períodos de chuva.

Figura 30- Fissura vertical na alvenaria da fachada no Bloco 4C.



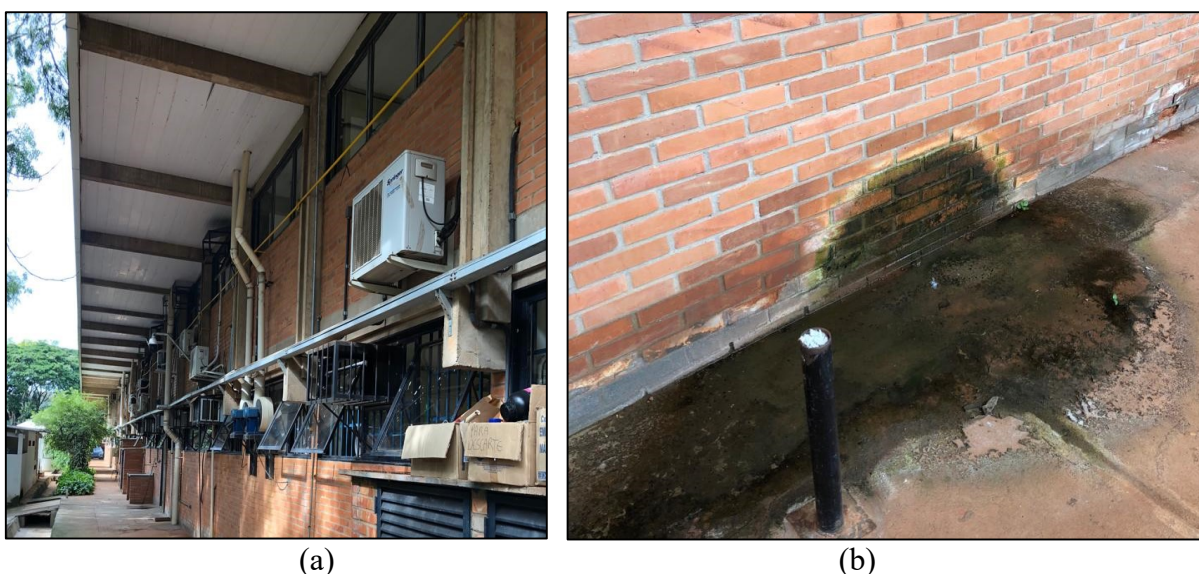
Fonte: Autor (2019)

Legenda: A Figura 30 foi produzida após a intervenção para retirada do jardim presente na fachada externa.

Além disso, no laboratório 4C-110 foi encontrado a mesma configuração de fissura em uma parede, na qual já haviam relatos que apresentava o mesmo problema, e foi, então, construída em nova alvenaria e realizado novo encunhamento. Entretanto, houve o reaparecimento da fissura praticamente no mesmo local, o que indica a falta de reparação e investigação do estado das vigas baldrame.

Dessa forma, condições externas desencadeavam uma redução de volume considerável do solo próximo as vigas baldrame tanto pela lixiviação dos finos, intensificada pela declividade do terreno no perímetro externo da área construída, como pelo comportamento colapsível com o aumento do grau de saturação. Isso causava deformações localizadas nas vigas de fundações, com a perda do apoio com o substrato para a transmissão dos esforços originados, principalmente, pela ação do peso próprio da alvenaria de tijolo maciço. Na Figura 31(a) podemos perceber a quantidade de equipamentos usados para refrigeração e na Figura 31(b) o volume de água despejada por esses aparelhos.

Figura 31- Fachada externa do bloco 4 C.



Legenda: (a) fachada externa do bloco 4C e (b) registro do volume de água originada pelo ar condicionado.
Fonte: Autor (2019)

Durante o ano passado houve uma intervenção e retiraram o canteiro adjacente a alvenaria da fachada da edificação (Figura 32). No entanto, ao que tudo indica não houve tratamento do solo remanescente, que possui comportamento colapsível, e impermeabilização das vigas de fundações. Isso pode explicar também a intensa fissuração e deformação do concreto usado para ocupar o espaço deixado pelo jardim ali existente.

Figura 32- Bloco 4C ainda com canteiro da fachada externa.



Fonte: Google Maps (2017)

5.3.2. Fissuras horizontais junto a interface superior da alvenaria

Nos blocos 4C e 2Z foram encontradas fissuras horizontais próxima a interface superior da alvenaria, provavelmente, causadas pela movimentação uniforme de elementos da fundação. Em cada um dos casos houve interferência de fatores diferentes que podem ter ajudado a deflagrar ou agravar o evento. As aberturas dessas falhas tinham dimensão considerável, no bloco 2Z algumas atingiam cerca de 15mm, representando perigo a estabilidade estrutural da edificação.

No Bloco 4C a declividade na área ao redor do terreno intensifica a lixiviação dos finos, o caráter colapsível do solo é agravado ainda pela condução de água de drenos, torneiras e outros equipamentos diretamente sobre o canteiro, até então existente. O chão do piso do laboratório dessa edificação apresentava deformações, concavidades e algumas trincas o que corrobora com a hipótese de colapsibilidade do substrato e recalque dos elementos de fundação [Figura 33(a)]. No caso dessa edificação um encunhamento mal executado pode ter feito a anomalia ficar mais aparente [Figura 33(b)].

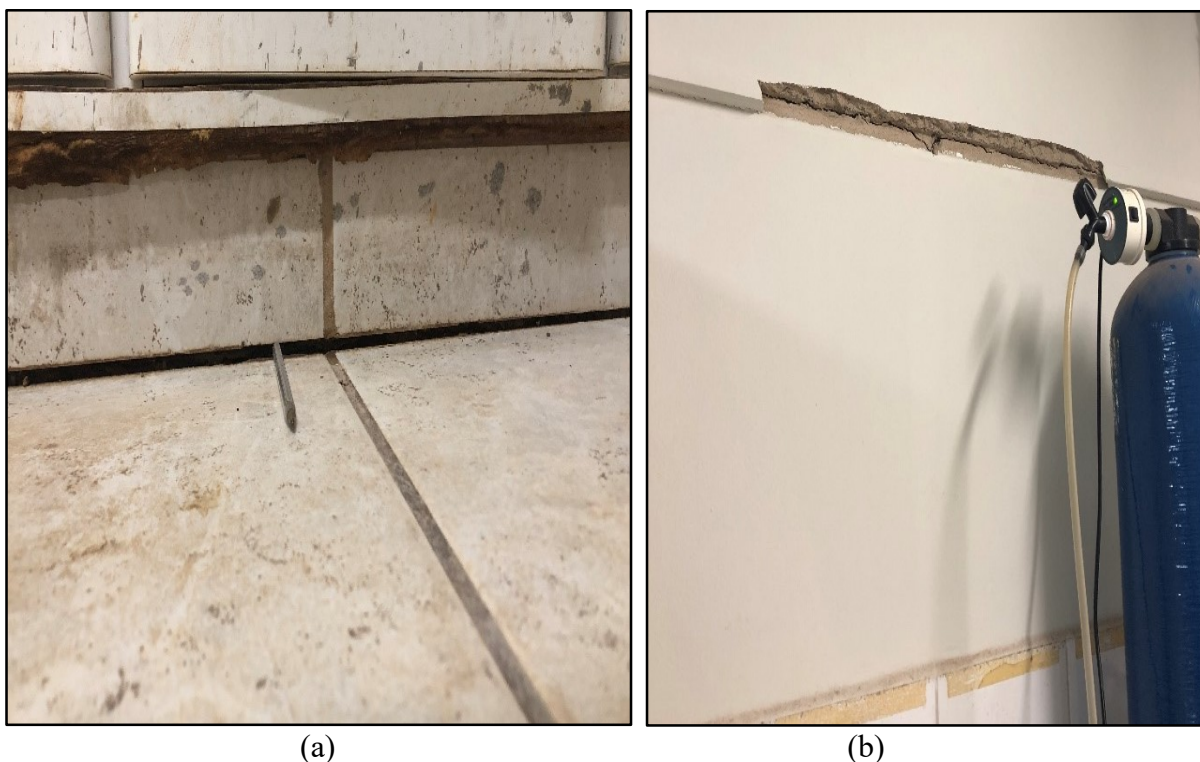
Nesse mesmo bloco foi observado ainda anomalias ligadas a retração da laje. Como se trata de um bloco com uma área de grande extensão a ocorrência desse tipo de problema patológico é mais suscetível. As fissuras observadas estavam dispostas horizontalmente e com irradiações difusas (Figura 34), estava localizada no laboratório, próximo ao vão da porta, e pode ter sido agravado pela ausência de encunhamento adequado do topo dessa esquadria com a viga para

absorver os esforços provocados pela retração da laje. A configuração dessas manifestações ilustra um movimento de arraste da parede em direção ao centro da edificação.

No Bloco 2Z as anomalias se mostraram até mais preocupantes, todo local visitado apresentou grande movimento das fissurações e algumas apresentavam aberturas de 15 a 17mm, considerando a Tabela 2, são falhas que podem representar risco à estabilidade estrutural. No corredor de circulação interno próximo a Fachada 1 apresentou uma falha bem visível e gera insegurança aos utentes da edificação [Figura 35(a)], já que as instalações como os banheiros e vestiários, que são usados diariamente, ficam em frente ao local mencionado.

Esse tipo de fissuração é causado por esforços elevados de tração e pode estar ligada à atividade de rebaixamento da viga de fundação, o que também explica o destacamento do topo de diversas paredes com o retículo estrutural [Figura 35(b)]. A área dessa construção, provavelmente, foi erguida sob um aterro ou ao lado de um solo que sofreu intervenção mecânica de corte, com intuito de abrigar um acesso em nível inferior no qual os caminhões conseguissem descarregar as mercadorias para armazenagem.

Figura 33- Laboratório de ensino e pesquisa do bloco 4C.



Legenda: (a) concavidade formada no piso do laboratório e (b) fissura horizontal observada no laboratório.
Fonte: Autor (2019)

Figura 34- Fissuras associadas a retração da laje no bloco 4C.

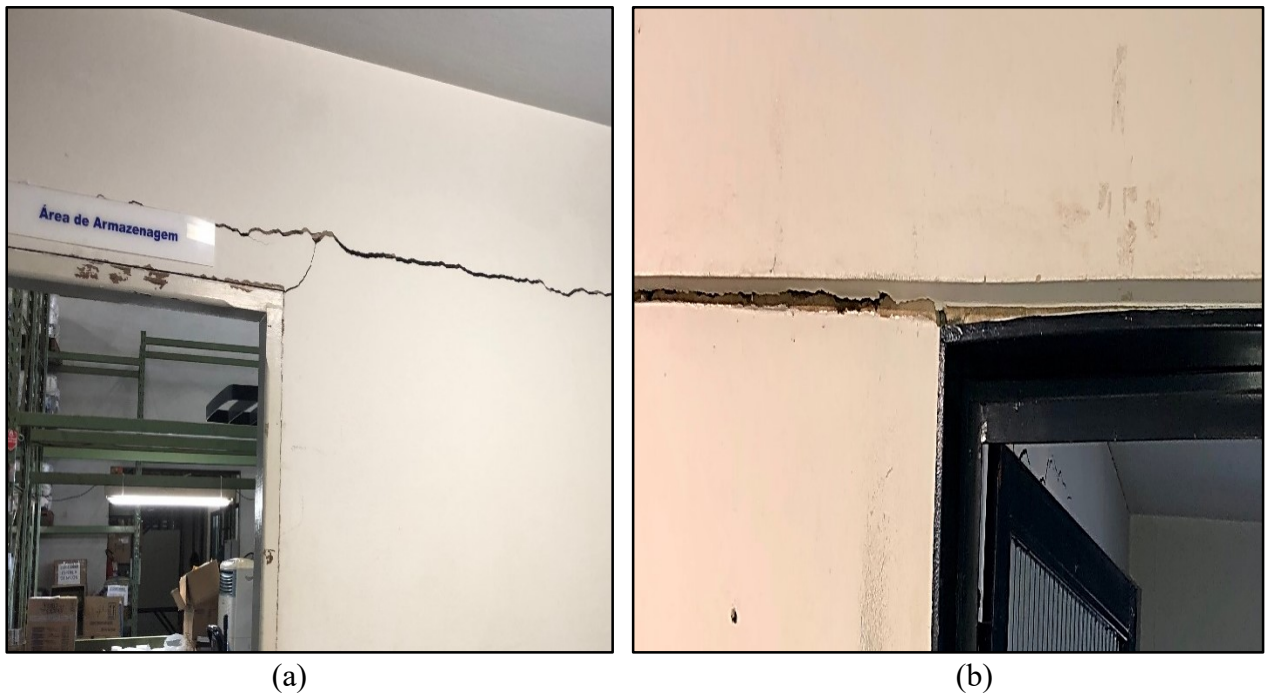


Fonte: Autor (2019)

O fato de ser erguido sobre um substrato que sofreu modificação mecânica dessa natureza faz levantar algumas hipóteses em torno de como foi feito o processo de compactação, se houve utilização de solo adequado devido ao comportamento colapsível do solo da região e se não houve uso de materiais impróprios como resto de construção ou a existência excessiva de matéria orgânica na construção nesse nível mais elevado do terreno. Além disso, a declividade lateral do terreno acelera a lixiviação dos finos [Figura 35(c)], evento semelhante ao que acontece no bloco 4C. Todos esses fatores mencionados podem levar a intensificação de recalques sofrido pela edificação após a conclusão da obra.

Entretanto, um fato relevante foi levantando em conversa com as pessoas que trabalham no local, refere-se a uma obra para pavimentação do acesso de ambulâncias e caminhões de pequeno porte em um bloco próximo. Pelo relato houve uso de compactadores vibratórios de transmissão de energia elevada, já que os funcionários sentiam vibração em toda edificação e podiam sentir o efeito ao colocar a mão em contato com a alvenaria. A região que ficava mais próxima da Fachada 1, e conseqüentemente mais perto da área na qual houve a compactação, foi onde apresentou maiores eventos de fissuração. Dessa forma, acredita-se que a propagação das ondas vibracionais provocadas por esses compactadores pode ter acelerado o fenômeno de adensamento do solo e agravado a situação das trincas, rachaduras e fissuras já existentes.

Figura 35- Paredes com fissuras horizontais e imagem do fundo do Bloco 2Z.



(c)

Legenda: (a) fissura horizontal acima da esquadria da porta no corredor; (b) fissura acima da esquadria da porta na “Sala de Apoio” e (c) redução volumétrica da massa de solo em frente a Fachada 1.

Fonte: Autor (2019)

5.3.3. Fissuras transversais

Nos blocos 4C e, principalmente, no bloco 2Z foram observadas fissuras inclinadas com aberturas consideráveis, típicas de manifestações causadas por recalques diferenciais, havia ainda a presença de esmagamentos localizado (em forma de escamação), demonstrando que as tensões resistentes ao cisalhamento do elemento foram superadas. Além disso, com a instalação de peças de vidros de pequena espessura foi possível observar que o fenômeno de adensamento

não estabilizou, uma vez que houve evolução das fissuras com força suficiente para romper esses dispositivos e noutros casos foi possível notar que essas tiras estavam tracionadas ou então comprimidas, demonstrando que as manifestações de movimentações não cessaram.

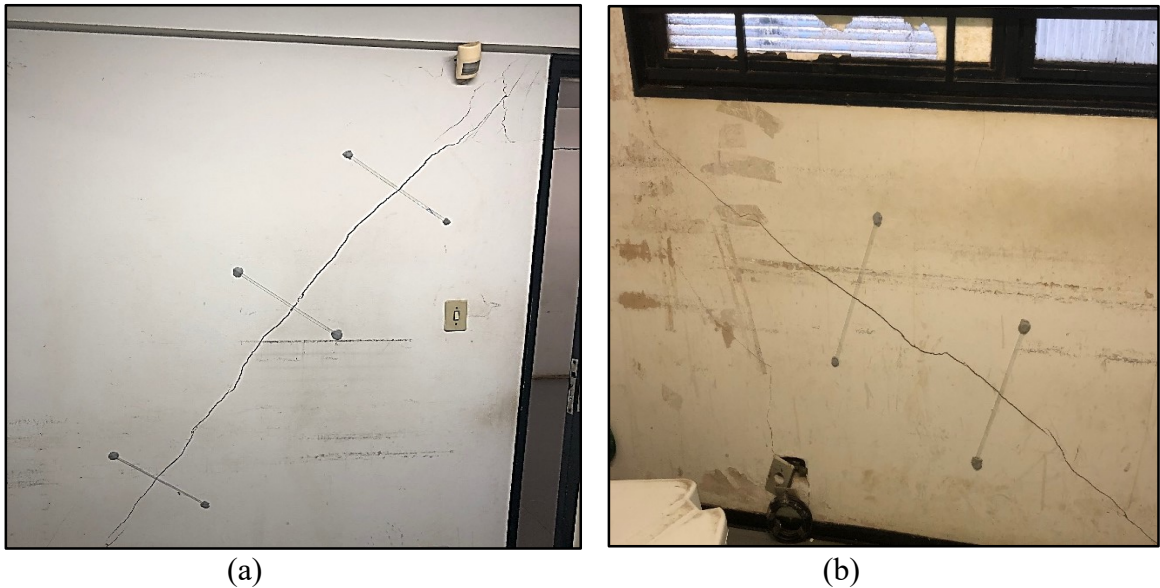
Como mencionado em seções anteriores, os recalques e os movimentos diferenciais se instituíram por fatores comuns como a colapsibilidade do solo da região e fatores diversos. Entre os eventos distintos, podemos citar no bloco 4C os equipamentos que despejavam água no canteiro adjacente a alvenaria e no caso do bloco 2Z a construção sobre um aterro e próximo de um local que sofreu compactação vibratória posteriormente.

No Almojarifado foi reportado a ocorrência de fissuração por tração diagonal em grau de evolução mais elevado. No térreo as manifestações ocorriam abaixo da esquadria da janela [Figura 36 (a)] ou ao lado da esquadria da porta [Figura 36 (b)] e no nível acima do mezanino foi notado, em duas paredes, que as fissuras se inclinavam em direção ao pilar de extremidade adjacente a elas [Figura 37 (a)] com a presença de esmagamento localizado, além disso foi encontrado uma fissura inclinada em uma parede perpendicular a fachada 2 em que com menos de 1 semana rompeu as peças de vidro [Figura 37 (b)].

Observando pelo lado externo a fachada 1, na qual estava inserido o pilar de extremidade mencionado acima, era possível notar que era a lateral do terreno com declividade mais acentuada, por onde a água tendia escoar e próxima, também, ao local onde houve a compactação reportada pelos servidores. O solo do perímetro externo estava visualmente lixiviado, como pode ser visto na Figura 35 (c). Por esses motivos a indicação mais provável para a causa dessas manifestações seja a ação de recalque diferencial da fundação onde pilar de extremidade central da fachada 1 está vinculado de outros elementos da fundação como as vigas baldrames.

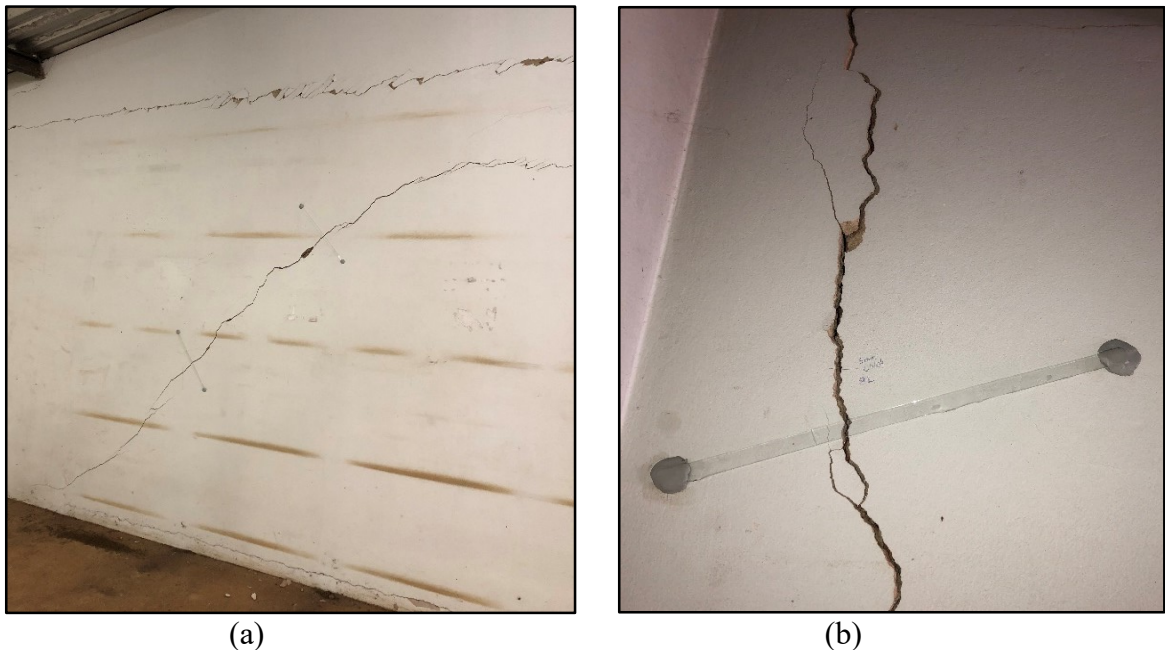
Como mencionado anteriormente, foi verificado que as fissuras de maior dimensão (principalmente as horizontais) estavam, em geral, mais perto do pilar central de extremidade da Fachada 01, foi observando ainda uma possível relação entre o aumento dimensional das fissuras com a proximidade a esse pilar. No capítulo 6 foi produzido os mapeamentos, as planilhas de levantamento e o gráfico de dispersão para representar melhor como se dava essa distribuição.

Figura 36- Fissuras transversais próximo as esquadrias Bloco 2Z.



Legenda: (a) fissura transversal observada na parede 8 e (b) fissura transversal observada na parede 7.
Fonte: Autor (2019)

Figura 37- Fissuras transversais no nível acima ao mezanino no Bloco 2Z.



Legenda: (a) fissura transversal na parede 12 e (b) fissura transversal que rompeu a peça de vidro na parede 10.
Fonte: Autor (2019)

5.3.4. Fissuras causadas pela dilatação térmica

O Bloco 2Z está localizado em uma área com poucos prédios acima de 3 pavimentos ao seu redor e é menos arborizado que outras edificações adjacentes, levando em conta ainda o clima da região de Uberlândia de temperaturas elevadas e umidade relativa do ar baixa, pode-se dizer

que essa construção recebe uma incidência elevada de radiação solar. O fato de ter usado telhas de aço sem tratamento térmico e pilares de aço sem uso de uma interface com a alvenaria composto de materiais que conseguiriam absorver os esforços da movimentação térmica estimulou o desenvolvimento de manifestações patológicas por toda alvenaria.

Durante as inspeções foi notado o aparecimento de fissuras de destacamento da alvenaria com o retículo estrutural (Figura 38). Em consequência do comportamento de dilatação térmica distinto entre alvenaria e o concreto armado, além da existência de um considerável gradiente de temperatura entre a parte superior do mezanino mais próxima do telhamento metálico, recebendo ainda radiação solar diretamente pelas frestas laterais, e a parte inferior do mezanino junto as vigas/pilares que receberam pintura branca e onde a incidência de radiação solar é substancialmente menor.

Figura 38- Fissuras associadas a movimentação térmica no Almojarifado.



Fonte: Autor (2019)

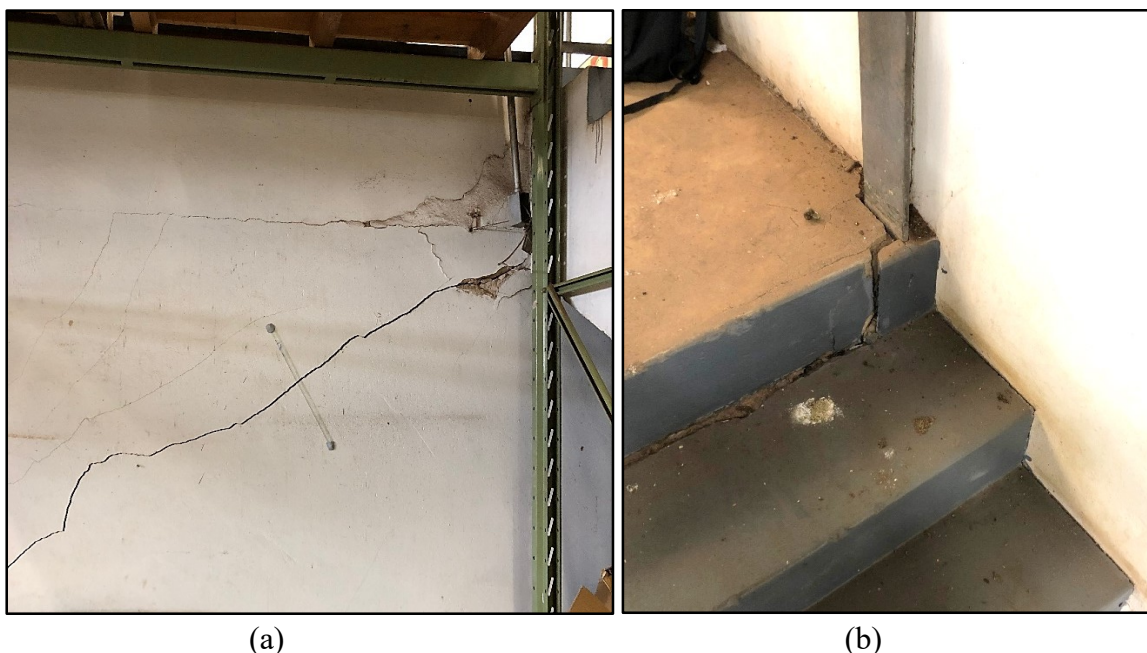
5.3.5. Fissuras na interface da escada com outros elementos da edificação

Em entrevista com os servidores do local foi verificado que houve uma possível adaptação do projeto inicial quanto uma escada de acesso a parte superior do mezanino. Foi construído uma escada de concreto armado em vez de uma escada em material metálico, o que elevou as tensões e a sobrecarga sobre a estrutura do mezanino.

Foi constatado fissuras inclinadas na alvenaria abaixo da escada [Figura 39(a)] que pode ser consequência do aumento de esforços e houve destacamento na interface de apoio da escada

com o mezanino e com a parede paralela [Figura 39(b)]. O uso de pilares metálicos, nesse caso, pode ter intensificado o deslocamento da escada com a parede paralela a ela, devido a movimentação térmica diferencial entre os elementos (aço e o concreto armado).

Figura 39- Fissuras na interface da escada com outros elementos.



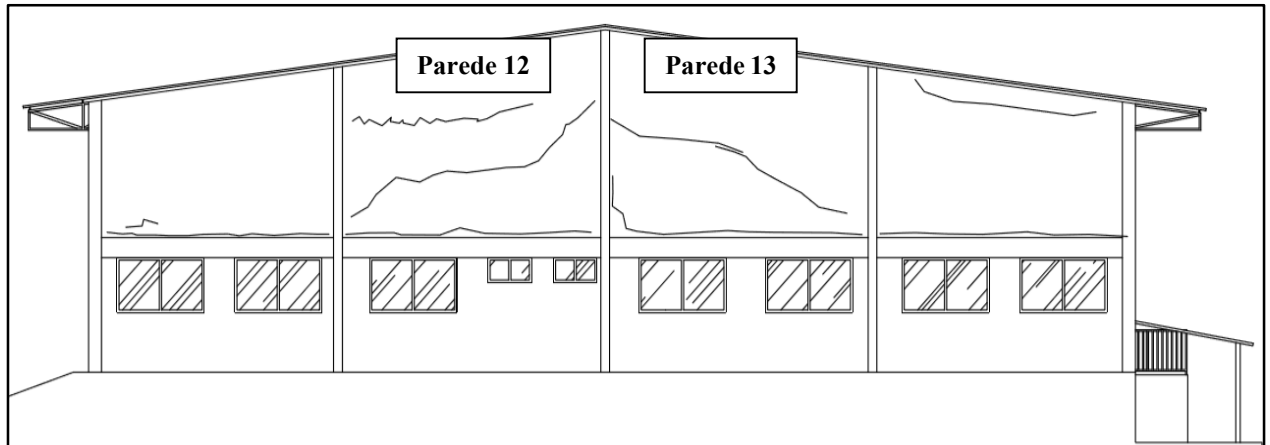
Legenda: (a) fissura ocasionada por sobrecarga na parede 9 e (b) destacamento na interface da escada.
Fonte: Autor (2019)

6. LEVANTAMENTO E MAPEAMENTO DAS FISSURAS

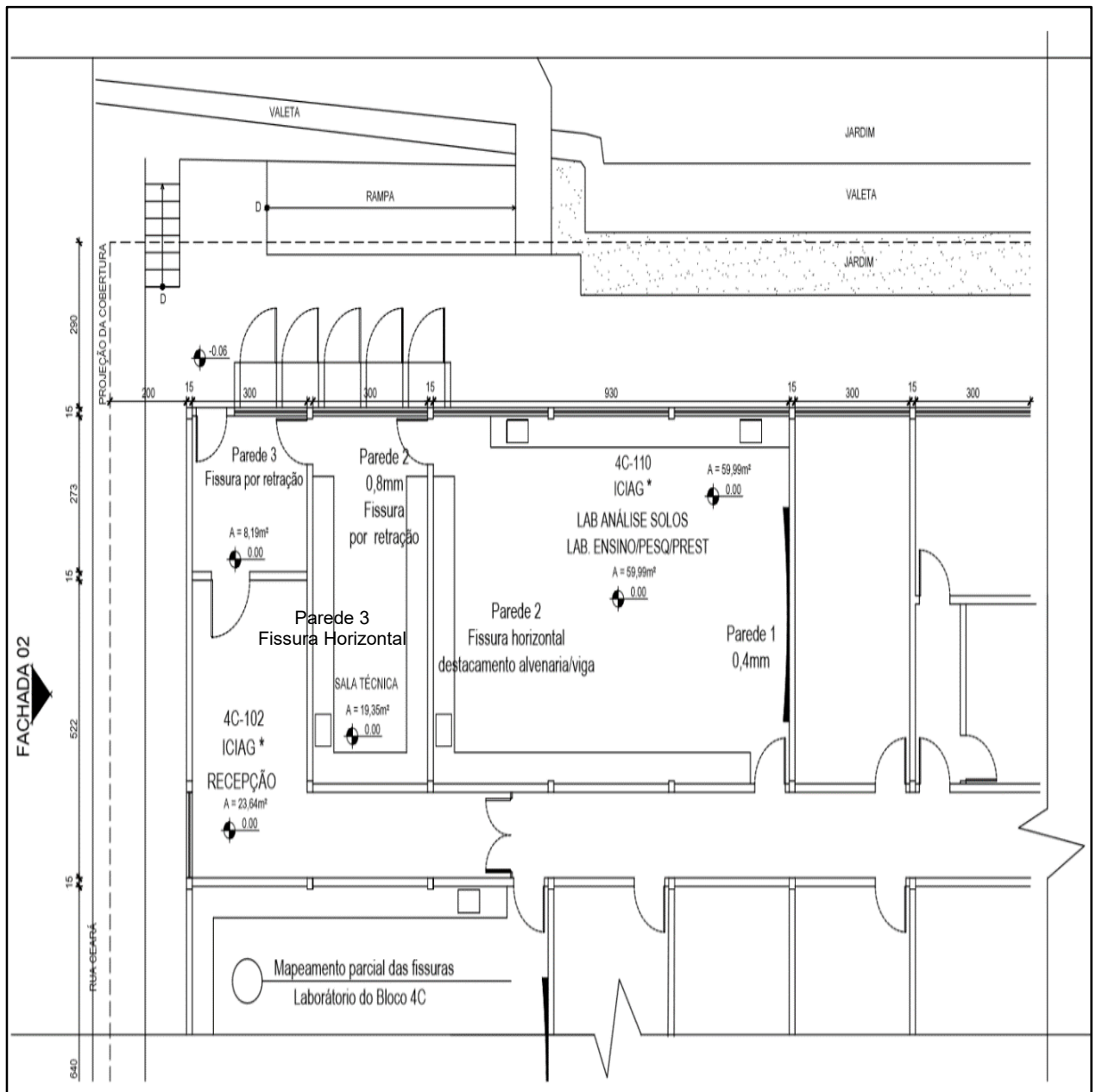
Na Figura 40(a) foi representado a configuração das anomalias patológica da fachada 1 que se inclinavam ao pilar central no nível superior do mezanino no Almoarifado. A Figura 40(b) e a Tabela 4 mostra a distribuição dos problemas patológicos no Bloco 4C, enquanto que a Figura 40(c) e a Tabela 5 mostra a dispersão no Bloco 2Z, devido a extensão dessas edificações foi preciso recortar as plantas baixas para melhor visualização.

E com intuito de verificar a distribuição das fissuras no Bloco 2Z (Almoarifado) foi produzido um gráfico de dispersão (Figura 41) e uma média móvel de 2 períodos. Esse indicador é um recurso simples, mas que auxilia na identificação de tendência em um conjunto de dados. Nesse caso o eixo vertical se refere as medidas aferidas pelo fissurômetro e no eixo horizontal as distâncias relativas das fissuras ao pilar central (dispostas proporcionalmente). Pode-se perceber, então, que as fissuras tendiam a apresentar maiores dimensões na região central da fachada 1.

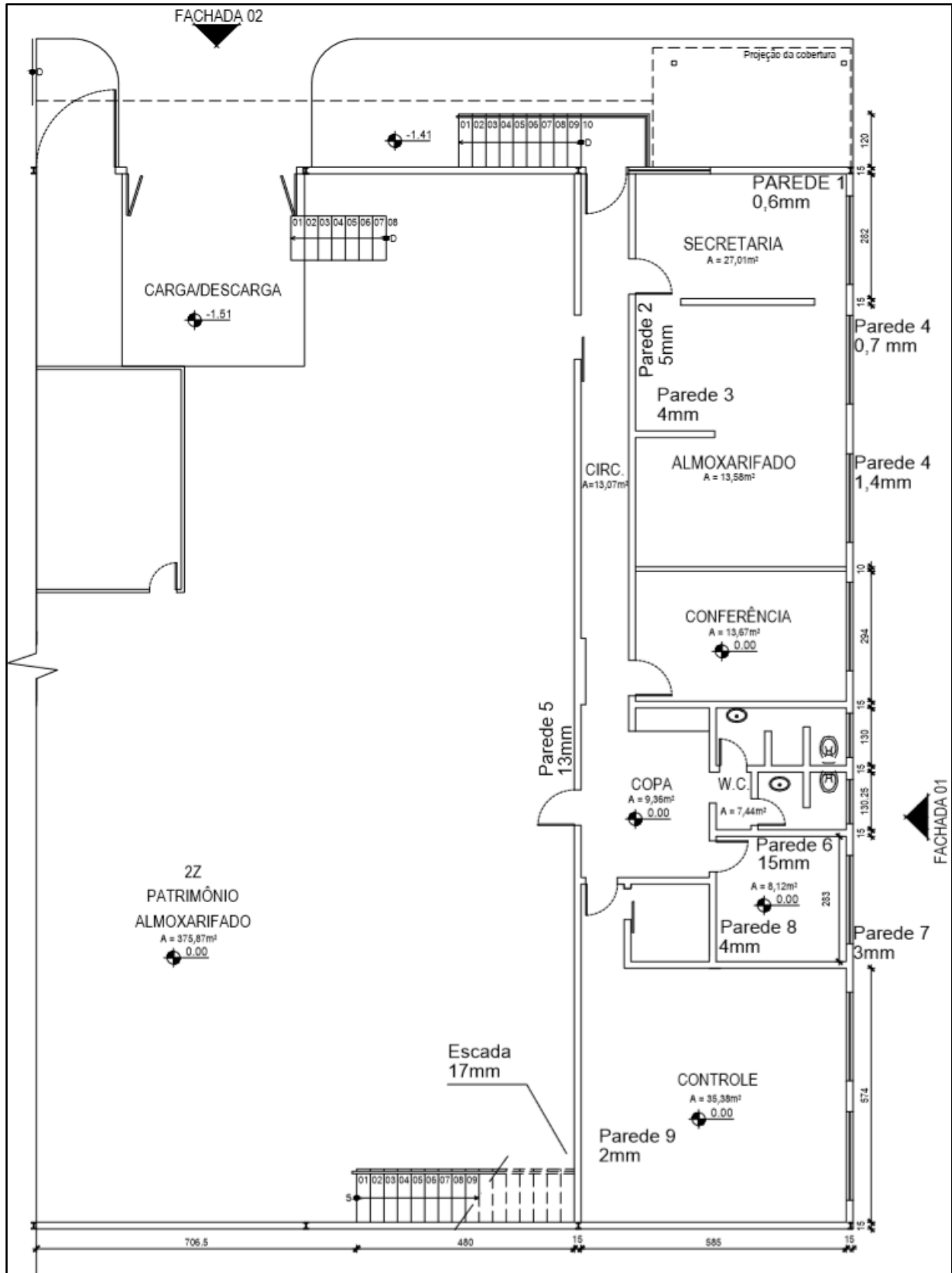
Figura 40- Representação e mapeamento das fissuras nos blocos 2Z e 4C.



(a)



(b)



(c)

Legenda: (a) representação das fissuras nas paredes 12 e 13; (b) mapeamento das fissuras no bloco 4C e (c) mapeamento das fissuras no bloco 2Z.

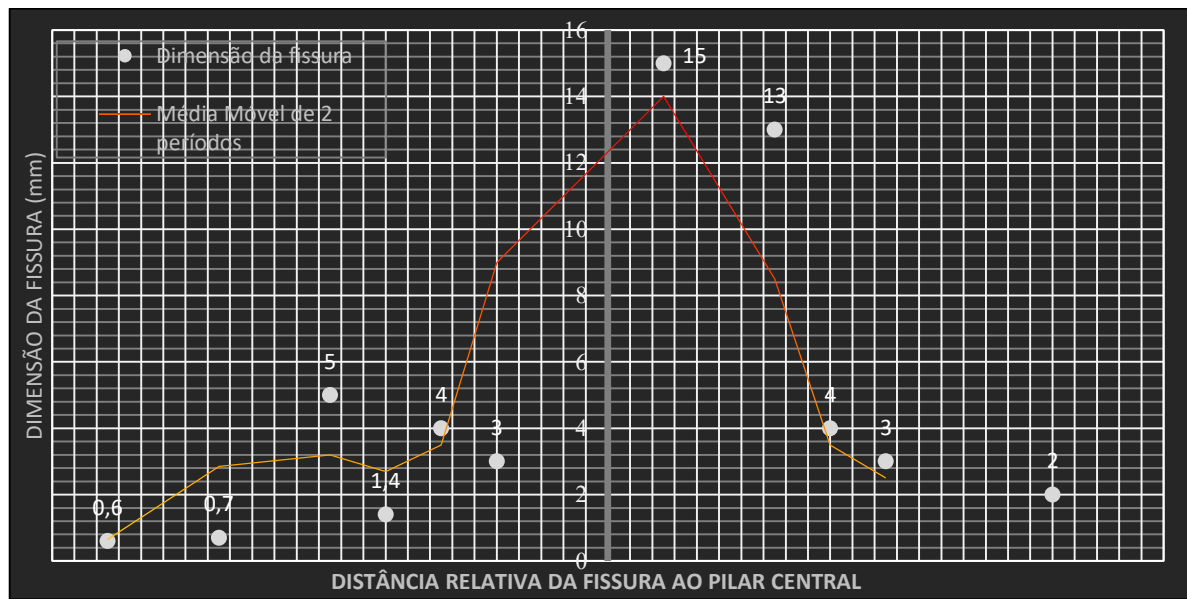
Fonte: Autor (2019)

Tabela 4- Levantamento das fissuras no Bloco 2Z.

Parede Pavimento	Medida (mm)	Tira de vidro/ estado	Configuração
1 (térreo)	0,6	Não	Fissura vertical
2 (térreo)	5	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada
3 (térreo)	4	Sim/ Não rompeu	Fissura horizontal com movimentação diferencial entre as partes
4 (térreo)	1,4	Não	Fissura inclinada inicia na extremidade da esquadria da janela
5 (térreo)	13	Sim/ Não rompeu	Fissura horizontal acima da esquadria da porta
6 (térreo)	15	Sim/ Não rompeu	Fissura horizontal
7 (térreo)	3	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada abaixo da esquadria da janela
8 (térreo)	4	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada com esmagamentos localizados
9 (térreo)	3	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada
10 (2º Pavimento)	5	Sim/ Rompeu	Fissura horizontal que se inclina em direção a fachada 2
11 (2º Pavimento)	4	Sim/ Não rompeu	Fissura horizontal acima da esquadria da porta
12 (2º Pavimento)	4	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada com esmagamentos localizados
13 (2º Pavimento)	3	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada com esmagamentos localizados
13 (2º Pavimento)	3	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada
Escada	17	Não	Fissura na interface da escada com o mezanino

Fonte: Autor (2019)

Figura 41- Gráfico de dispersão das fissuras a partir do pilar central da Fachada 1.



Fonte: Autor (2019)

Tabela 5- Levantamento parcial das fissuras no bloco 4C.

Parede	Medida (mm)	Tira de vidro/ estado	Configuração
1	0,6	Não	Fissura vertical localizada na região inferior da alvenaria na porção intermediária
2	-	Não	Fissura horizontal (destacamento viga com a alvenaria)
2	0,8	Não	Fissura associada a retração da laje
3	0,7	Não	Fissura associada retração da laje
3	-	Não	Fissura horizontal de destacamento da parte superior da alvenaria
Fachadas externas	0,7-2	Sim/ Não rompeu	Fissuras verticais na parte inferior da alvenaria sempre próximas a locais que conduzem água ao solo

Fonte: Autor (2019)

7. ANÁLISES DOS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES

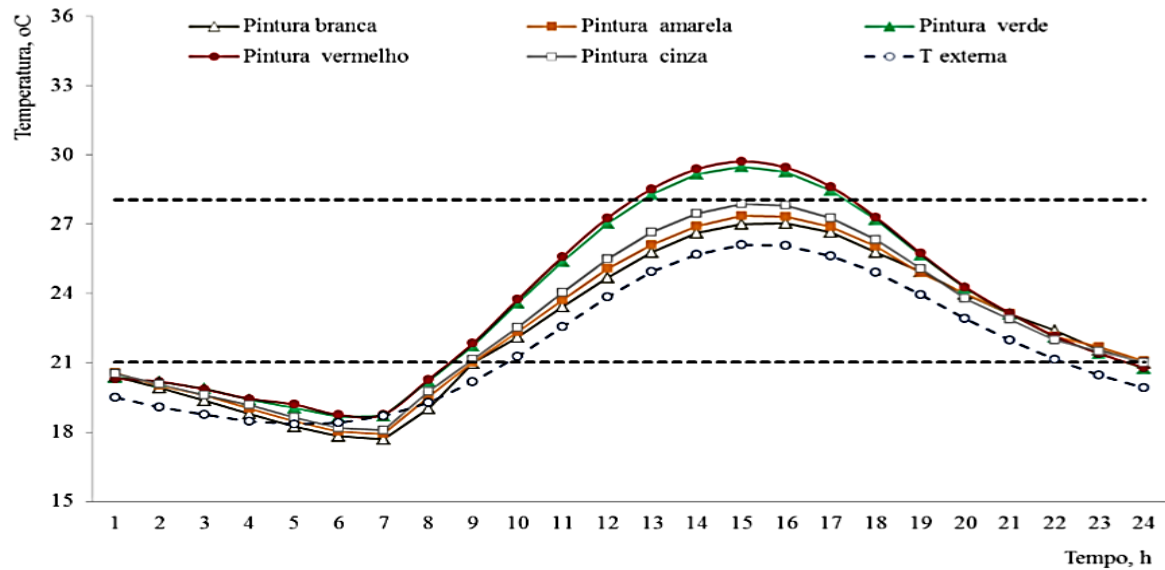
Diante do exposto, a ocorrência de recalques diferenciais e de outros movimentos das fundações são a hipótese de causa de maior correlação com os problemas patológicos considerados mais preocupantes. Entretanto, problemas relacionados com a dilatação térmica, principalmente, nos locais com estrutura mista, também devem passar por intervenções. De acordo com a NBR 15220:2005 o município de Uberlândia está localizado na zona bioclimática número 4, que apresenta temperaturas elevadas no verão, umidade relativa do ar baixa e variação térmica relevante durante o dia.

No caso do Almojarifado, a construção do galpão com vedação em tijolos maciços, o uso de telhas de aço galvanizado sem tratamento térmico, com o telhado em 2 águas e a instalação de um mezanino sem revestimento na parte superior (forro) colaborou para a manifestações patológicas associadas a dilatação térmica diferencial. A ocorrência de fissuras devido aos diferentes comportamentos térmicos dos materiais (alvenaria, pilares metálicos, terça metálica e concreto armado) eram comuns, principalmente, por não existir uma interface para absorver parte das deformações e extinguir a transmissão de esforços excessivos aos elementos com menor resistência, como a alvenaria.

Dessa forma, o mais indicado seria uma intervenção nas telhas de aço galvanizada para receber tratamento térmico com pintura externa das telhas com tonalidades mais claras, como a tinta branca. Segundo Dias (2011), telhas com cores mais claras, que possuem menor coeficiente de absorção, são as mais adequadas para a maioria das zonas bioclimáticas brasileiras, e especialmente naquelas com temperaturas elevadas, como pode ser visto na Figura 42 para zona bioclimática 4 (a mesma de Uberlândia). Além disso, a colocação de um forro em material isolante (tipo forro pacote em compósito com EPS) é uma recomendação ao sistema de cobertura.

Em relação à interface entre os elementos de materiais com distintos comportamentos térmicos, como por exemplo os pilares metálicos com a alvenaria de tijolo maciço, seria interessante utilizar um material para absorver os esforços da movimentação térmica, que são mais expressivos nos pilares metálicos, como a espuma expansiva à base de poliuretano. Esse composto possui boa resistência mecânica, facilidade de execução e possui propriedades de isolamento térmico e acústico.

Figura 42- Evolução temporal da temperatura interna e externa em telhas de aço galvanizado.



Fonte: Dias (2011)

Quanto às manifestações patológicas ligadas ao recalque das fundações, é importante lembrar que no bloco 2Z (Almoxarifado) elas não se estabilizaram, com isso aumenta a probabilidade de que o processo de adensamento ainda se encontre em evolução. Nas inspeções, após algumas semanas da fixação das tiras de vidro, foi verificado que algumas peças dos vidros romperam devido ao esforço gerado pela evolução da abertura, outras estavam tracionadas e, nos pontos de esmagamentos localizados, estavam flambando devido a compressão axial transmitida pela estrutura às extremidades da peça ligadas com massa épxi.

No nível superior do Almoxarifado foi notado que as fissuras nas paredes 12 e 13 se inclinavam em sentido ao pilar central e existia uma fissura horizontal causada por esmagamento (típico de manifestações relacionadas ao recalque de fundações), isso pode ser melhor observado na Figura 40(a). Com isso, foi feito um levantamento das medidas com fissurômetro para produzir um gráfico de dispersão com uso de um indicador de tendência. Dessa forma, foi constatado que existia uma relação entre o aumento da dimensão das falhas com a proximidade do pilar central da Fachada 1, sinalizando que pode ter ocorrido um recalque diferencial da fundação que recebe esse pilar.

Em vista desses resultados, devem-se aprofundar a investigação no solo no qual a obra está assente e no comportamento global dessa estrutura. Nesse caso, é recomendado o controle de recalques por meio de medição com equipamento topográfico ligado a um marco de referência, isso possibilitará quantificar e localizar melhor o local da ocorrência de recalques. Além disso,

pode ser necessário, posteriormente, uma linha de investigação para determinar o estado das fundações, já que não houve qualquer tipo de estudo ou inspeção para aferir o estado da infraestrutura.

Pelos motivos indicados acima, não se deve adotar uma medida isolada para reparação das trincas e rachaduras na alvenaria; ou seja, realizar preenchimento com graute, uso de telas de reforço ou substituir a alvenaria, uma vez que o mecanismo de deflagração não cessou. A intervenção localizada só resolveria o problema no curto prazo de tempo, e como ocorreu no laboratório 4C - sala 110 a manifestação reapareceria seja no mesmo local ou em áreas de menor resistência onde não houve reforço.

O fato do solo da região possuir comportamento colapsível, da edificação ser erguida sobre aterro (levantando dúvidas sobre como foi feito o processo de compactação, visto as propriedades do solo local), de ter ocorrido compactação com equipamento vibratório em edificação próxima, da declividade do terreno (que intensifica lixiviação do solo) e da possível alteração do projeto inicial (escolha de uma escada em concreto armado) contribuem para a hipótese de um possível movimento das fundações. E é por isso que a investigação mais detalhada do subsolo deve ser adotada para analisar a melhor alternativa para extinguir os mecanismos de causas, até porque não foram encontrados os projetos estruturais, inclusive o de fundações.

De toda forma, a escada em concreto armado de acesso ao nível superior do mezanino (Figura 39) devem ser retiradas e substituídas por uma que gera menor esforços sobre a estrutura. É preciso manter a cautela e evitar o uso do nível inferior e superior desse mezanino, como foi recomendado pelo Corpo de Bombeiros segundo informação dos funcionários do bloco. Pelo fato de as manifestações patológicas ainda estarem em evolução, apresentarem uma ocorrência muito intensa por todo o local e, em alguns pontos, atingirem aberturas acima de 10 mm, a edificação apresenta risco estrutural e todas as formas para diminuir os esforços sobre a estrutura devem ser executadas.

No Bloco 4C os mecanismos de deflagração estão associados aos equipamentos que despejavam água sobre o canteiro adjacente à alvenaria externa, ao comportamento do solo da região e à declividade lateral da edificação (Fachada 1 e a Fachada oposta a ela) que acentuava a lixiviação dos finos. Uma das medidas que seria recomendada, a extração do canteiro por um material impermeável na região próxima a fachada, já foi executada. Entretanto, não houve reparação na envoltória das vigas baldrame e nem inspeção para verificar o estado em que se

encontravam. Além disso, seria interessante encaminhar a água drenada dos dispositivos de refrigeração até uma tubulação pluvial ou até as próprias valetas de drenagem, já que o concreto usado para o preenchimento do jardim já está com várias fendas.

O ideal, nesse caso, seria a inspeção com uma escavação parcial do terreno para identificar o estado das vigas de fundações e do solo envolvente. Caso esses elementos estejam deformados excessivamente ou tenham perdido apoio com o solo, será necessário aumentar a seção da viga ou aprofundar a cota de apoio. Nesse caso é feita uma escavação do terreno em pontos definidos sob as vigas baldrame existentes (poços de reforço) até uma cota que atinja resistência ou o comportamento esperado para assim preencher o espaço com concreto ou injeção de material resistente (como por exemplo cimento sobre uma base química)

Podemos perceber que medidas isoladas podem não atingir o efeito esperado quando pegamos como exemplo a ação usada no laboratório 4C - sala 110 onde houve a destituição total de uma parede de divisa com a sala 4C - sala 112, que segundo relatos apresentava uma fissura vertical com abertura considerável com origem na parte inferior junto à viga baldrame. No entanto, após essa substituição, a nova parede construída apresentou fissuração de 0,4 mm no mesmo local, evidenciando que não houve reparação das vigas de fundação e o evento não cessou. Provavelmente, o elemento onde a alvenaria está apoiada apresenta deformação na porção intermediária causada pela diminuição de vazios do solo no qual está assente. No piso próximo é possível observar concavidades proeminentes [Figura 33 (a)] e trincas, consequências típicas do adensamento elevado do solo onde o contrapiso está apoiado.

8. CONCLUSÃO

Toda construção está sujeita a apresentar manifestações patológicas, alguns fatores externos que não podem ser previstos (por exemplo a mudança no uso do edifício, construção de uma obra adjacente, escavações e eventos adversos como ventos muito acima do limite em norma) pelos projetistas tendem intensificar o aparecimento de anomalias nas edificações. No entanto, excluindo essas situações especiais, uma boa investigação e projeto podem garantir a vida útil esperada à edificação. Tal fato só ocorrerá se essas etapas forem executadas por profissionais competentes, que atendam todas as normas vigentes e que tenham experiência adequada para confeccionar um projeto de qualidade.

Cabe ressaltar, então, a importância das fases que antecedem a execução, já que podem garantir a integridade da construção e evitar gastos na ordem de 125 vezes maiores se a medida para

tratar um problema for tomada somente após a conclusão da obra (manutenção e recuperação) e não nas fases de concepção e projeto. Esse dado é melhor detalhado no estudo de Sitter (1984) na “Lei de evolução de custo”.

Durante as inspeções foi possível notar que alguns itens poderiam ter sido evitados ainda na etapa de projeto como por exemplo, o uso de uma estrutura mista sem um material adequado na interface dos elementos com comportamentos distintos (pilar metálico e alvenaria) para minimizar a transmissão dos esforços. Além disso, poderia ter evitado o uso de jardins adjacentes as vigas baldrame nas fachadas externas sem um isolamento adequado e a condução da água despejada pelos drenos dos equipamentos de refrigeração sobre o canteiro.

Pelos capítulos anteriores foi possível perceber a grande ênfase dada ao estudo das fissuras, rachaduras e trincas, isso se deve ao fato de que esses sintomas podem diminuir consideravelmente a vida útil dos edifícios, fazer com que percam estanqueidade com ambiente externo, permitir a infiltração e causar grande desconforto psicológico aos funcionários que trabalham no local e aos utentes da edificação. Além disso, com a observação da configuração típica pode-se presumir a origem do problema. Neste trabalho, por exemplo, foi possível perceber que os problemas causados pelo recalque da fundação, geralmente, desencadeiam fissuras por tração diagonal, com pontos de esmagamentos localizado (forças de cisalhamento diferenciais) e aberturas consideráveis.

Com base na bibliografia apresentada foi possível analisar as configurações típicas das fissuras, as características da obra, os depoimentos dos servidores locais e o mapeamento das manifestações, e assim definir uma relação com os mecanismos de causa mais prováveis. Por conseguinte, com o estabelecimento das hipóteses de origem, levando em conta algumas dificuldades devido à falta de informações sobre o projeto estrutural e a investigação do subsolo, foi traçado as intervenções necessárias.

Em síntese o trabalho demonstrou a relevância de uma averiguação mais detalhada sobre o comportamento especial de alguns solos, como os colapsíveis. Milititsky et al. (2015) recomenda a previsão de recalque baseados em ensaios de laboratórios e de campo. O uso de provas de cargas vai auxiliar a quantificação da carga de colapso natural e em evento de inundação. Na ocorrência de solos colapsíveis na superfície deve-se evitar fundações rasas e orienta-se para uso de soluções estaqueadas, mesmo que as características de carregamento denotem ser mais apropriado o uso de fundações superficiais. No entanto, o uso de sapatas contínuas (tipo grelha) podem ter bom desempenho reduzindo possíveis esforços de colapso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. F. **Patologia, terapia e profilaxia nas edificações de concreto – parte 1. Qualidade na Construção**, São Paulo, ano II, n. 14, p. 33-38, men. 1999.

ANDRADE, R. F. **Mapeamento Geotécnico preliminar em escala de semi-detalle (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG**. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005. Cap. 7.

AOKI, N.; ALONSO, U.R. **Instabilidade dinâmica na cravação de estacas em solos moles da Baixada Santista**. In: SIMPÓSIO DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS DAS BAIXADAS LITORÂNEAS BRASILEIRAS. CE-RJ: ABMS/IPR, 1988. pp. 501-510.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. 3 eds. 91 p. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 8036: programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. 2 eds, 3 p. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 15520-3: Desempenho térmico de edificações**. 3 eds. 30 p. Rio de Janeiro, 2005.

BACHMANN, H. **Vibration problems in structures: practical guidelines**. Berlin: Birkhauser Verlag, 1997.

BARDEN, L; MCGOWN, A.; COLLINS, K. **The collapse mechanics on partly saturated soil**. Journal of Eng. Geology, Amsterdam, v. 7, pp. 49-60, June 1973.

BRITO, J. L. W. **Fundações do Edifício**, São Paulo, EPUSP, 1987.

BURLAND, J. B.; WROTH, C. P. **Settlement of buildings and associated damage**. In: CONFERENCE ON SETTLEMENT OF STRUCTURES, Cambridge. Proceedings, Review Paper, Session V. London: Pentech Press, 1975. pp. 611-654.

CINTRA, J. C. A. **Fundações em solos colapsíveis**. São Carlos: Rima Editora, 1998. 106p.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Projeto de fundações em solos colapsíveis**. São Carlos: EESC-USP, 2009. 99 p.

DIAS, A. S. **Avaliação do Desempenho Térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Cap. 6.

GIACOMELLI, D. V. **Principais Patologias encontradas nos prédios da UFSM executados pelo programa Reuni - Campus Sede**. 2016. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Cap. 5.

GNIPPER, S. F.; MIKALDO JR. Jorge. **Patologias frequentes em sistemas prediais hidráulicosanitários e de gás combustível decorrentes de falhas no processo de produção do projeto**. Curitiba, 2007. Disponível em: <www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-29.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2019.

GOOGLE MAPS (Brasil). Google (Comp.). **Street view Laboratório de Imunoparasitologia da Universidade Federal de Uberlândia**. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

GRANDISKI, P. **Perícias Judiciais**. São Paulo: CREA-SP/IBAPE-SP, 1995. 1 v. 111 p.

GRIMM, C. T. **Masonry Cracks: Cause, Prevention and Repair**. Masonry International, BMB, v. 10, n.3, p.66-67, 1988.

GUTIERREZ, N. H. M.; VILAR, O. M.; NÓBREGA, M. T. **Condicionantes estruturais do colapso de um solo argiloso tropical oriundo de basalto no Norte do Paraná**. In: 5º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, 2004, São Carlos. São Carlos: ABMS - USP (São Carlos), 2004. 1 v. p. 439-444.

JENNINGS, J. E.; KNIGHT, K. **A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure**. In: REGIONAL CONFERENCE FOR AFRICA ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 6, Durban, Rotterdam: A. A. Balkema, 1975. Proceedings... v.1, pp. 99-105.

LOBO, A. S.; FERREIRA, C. V.; RENOFIO, A.; AGNELLI, N. **Patologias em edifícios apoiados em solo colapsível**. In: CONGRESSO NACIONAL DE PATOLOGIA EM ESTRUTURAS, UVA, Sobral, CE., mar 2003. Anais em PDF. 11p.

LOGEAIS, L. **La Pathologie des Foundations**. Paris: Edition du Moniteur, 1982.

LOLLO, JOSÉ AUGUSTO DE (São Paulo). Universidade Estadual Paulista. **Solos colapsíveis : identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2008. 262 p. (1)

MAÑÁ, F. **Patologia de las cimentaciones**. Blume, 1978. 117 p.

MELO, P. R. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. 2013. 113 f. Qualificação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 207 p.

ORTIZ, J. M. R. **Curso de rehabilitacion la cimentacion**. Madrid: Colégio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1984. p.117

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**, São Paulo: Oficina de textos, 247p., 2006.

SILVA, D. A. **Levantamento de problemas em fundações correntes no Estado do Rio Grande do Sul**. Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS, 1993. Dissertação de Mestrado, 126 p.

SITTER, WR. **Costs for service life optimization. The “Law of fives”**. In: CEBRILEM. Durability of concrete structures. Proceedings of the international workshop held in Copenhagen, p. 18-20, Copenhagen, 1984. (Workshop Report by Steen Rostam).

SLOCOMBE, B. C. **Dynamic compaction. Ground improvement**. Edited by M.P. Moseley, A. P. Blackie. London, England, 1993. chapter 2, pp. 20-39.

SOCOTEC. Les désordres dans le bâtiment: Moniteur Référence Technique. Paris: Éditions le moniteur, 1999. p. 321.

SOUZA NETO, J. B. **Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundação (colapso)**. 2004. 432 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Cap. 8.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1. ed. São Paulo: IPT/EPUSP/PINI, 1989. 194 p.

THORNBURN, S.; HUTCHINSON, J. F. **Underpinning**. London: Surrey University Press, 1985.

UBERLÂNDIA. Prefeitura de Uberlândia. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. **Mapa de zoneamento e ocupação do solo**. 2006. Disponível em: <<http://www.uberlandia.mg.gov.br/?pagina=Conteudo&id=134>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

VARGAS, M. **Structurally unstable soils in southern Brazil**. In: 8o INT. CONF. ON SOIL MECH. AND FOUND. ENGINEERING, Moscow, 1973.

VIDAL, Érico Cristiano. **Avaliação de Patologias em conjuntos habitacionais de Bauru, com enfoque em anomalias de fundações e de coberturas**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Cap. 8.

ANEXO A- Planilhas de levantamento de fissuras

Planilha 1- Levantamento feito no Bloco 2Z (Almoxarifado) no pavimento térreo

Parede	Medida (mm)	Tira de vidro/ estado	Configuração
Fachada 2	-	Não	Destacamento na interface pilar metálico com outros elementos
1	0,6	Não	Fissura vertical localizada na região próxima a interface entre parede 1 e 2
2	5	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada
3	4	Sim/ Não rompeu	Fissura horizontal com movimentação diferencial entre as partes
4	0,7	Não	Fissura inclinada abaixo da esquadria da janela
4	1,4	Não	Fissura inclinada inicia na extremidade da esquadria da janela
5	13	Sim/ Não rompeu	Fissura horizontal acima da esquadria da porta
6	15	Sim/ Não rompeu	Fissura horizontal
6	-	Não	Destacamento inferior da alvenaria
7	3	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada abaixo da esquadria da janela
8	4	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada com esmagamentos localizados
Laje ("Sala de APOIO")	-	Não	Fissuras na direção paralela a menor dimensão da laje
Banheiros	-	Não	Destacamento superior da alvenaria
9	3	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada
9	3	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada na alvenaria sob a escada de concreto armado

Planilha 2- Levantamento feito no Bloco 2Z (Almoxarifado) no nível superior

Parede	Medida (mm)	Tira de vidro/ estado	Configuração
10	5	Sim/ Rompeu	Fissura inclinada (inclina-se em direção a fachada 2)
11	4	Sim/ Não rompeu	Fissura horizontal acima da esquadria da porta
12	4	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada com esmagamentos localizados
12	-	Não	Fissura horizontal provocada por esmagamento (aparência de “escamações”)
12	-	Não	Fissura inicia no apoio da terça metálica com a alvenaria (movimentação térmica diferencial)
13	3	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada com esmagamentos localizados
13	3	Sim/ Não rompeu	Fissura inclinada
Escada	17	Não	Fissura na interface da escada com o mezanino

ANEXO B- Plantas baixas com mapeamento de fissuras