

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ADEILTON THALLES NEVES MARQUES

ELABORAÇÃO DE PROJETO ESTRUTURAL DE RESIDÊNCIA PARA ANÁLISE
PERICIAL DE FISSURAS

Jataí
2026



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia - Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho apresentado em evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome completo do autor: **Adeilton Thalles Neves Marques**

Matrícula: 20201020260130

Título do trabalho: **ELABORAÇÃO DE PROJETO ESTRUTURAL DE RESIDÊNCIA PARA ANÁLISE PERICIAL DE FISSURAS**

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

() O documento está sujeito a registro de patente.

() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.

() Outra justificativa: _____.

Declaração de distribuição não-exclusiva

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para

conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

_____, Jataí _____, ____/____/2026.

Local

Data

(Assinado Eletronicamente)

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Documento assinado eletronicamente por:

- **Adeilton Thalles Neves Marques, 20201020260130 - Discente**, em 18/06/2026 19:34:13.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/06/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 782936

Código de Autenticação: 81c6b4a949



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek, nº 775, Residencial Flamboyant, 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9580 (ramal: 9580)

ADEILTON THALLES NEVES MARQUES

**ELABORAÇÃO DE PROJETO ESTRUTURAL DE RESIDÊNCIA PARA ANÁLISE
PERICIAL DE FISSURAS**

Trabalho apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fabricio Ribeiro Bueno

Coorientador: Prof. Gabriel Henrique Silva Costa

Jataí
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Marques, Adeilton Thalles Neves.

Elaboração de projeto estrutural de residência para análise pericial de fissuras [manuscrito] / Adeilton Thalles Neves Marques. - Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, 2026.

lxii; 62 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Fabricio Ribeiro Bueno.

Coorientador: Prof. Gabriel Henrique Silva Costa.

Inclui referências e apêndices.

1. Patologia estrutural. 2. Fissuras. 3. Modelagem computacional. 4. Concreto armado. 5. Perícia de engenharia. I. Bueno, Fabrício Ribeiro. II. Costa, Gabriel Henrique Silva. III. IFG, Câmpus Jataí. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.

Bibliotecária – Rosy Cristina Oliveira Barbosa Sabino – CRB 1/2380 – Campus Jataí. Cód. F041/2026-1



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

ADEILTON THALLES NEVES MARQUES

ELABORAÇÃO DE PROJETO ESTRUTURAL DE RESIDÊNCIA PARA ANÁLISE PERICIAL DE FISSURAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Monografia defendida e aprovada, em 19 de maio de 2026, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabricio Ribeiro Bueno
Presidente da banca/ Orientador.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Esp. Gabriel Henrique Silva Costa
Coorientador.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Eulher Chaves Carvalho
Membro Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Eng. Esp. Matheus Carvalho Pires
Membro Externo
Veritas Perícias e Projetos

Documento assinado eletronicamente por:

- **Matheus Carvalho Pires, Matheus Carvalho Pires - 214205 - Engenheiro civil - Dinamico Construtora (19453998000108)**, em 18/06/2026 19:32:40.
- **Eulher Chaves Carvalho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 18/06/2026 18:42:11.
- **Gabriel Henrique Silva Costa, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO**, em 18/06/2026 18:17:55.
- **Fabricio Ribeiro Bueno, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 18/06/2026 16:26:06.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/06/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 782935
Código de Autenticação: ba9cb12735



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek, nº 775, Residencial Flamboyant, 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9580 (ramal: 9580)

ADEILTON THALLES NEVES MARQUES

**ELABORAÇÃO DE PROJETO ESTRUTURAL DE RESIDÊNCIA PARA ANÁLISE
PERICIAL DE FISSURAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Monografia defendida e aprovada, em 19 de maio de 2026, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabricio Ribeiro Bueno
Presidente da banca/ Orientador (a)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Eulher Chaves Carvalho
Membro Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Eng. Esp. Matheus Carvalho Pires
Membro Externo
Veritas Perícias e Projetos

Jataí
2026

AGRADECIMENTOS

Expresso minha profunda gratidão às professoras Doutora Marina Augusta Malagoli de Almeida e Doutora Mônica Maria Emerenciano Bueno, pela dedicação e excelente orientação deste trabalho até o momento de suas respectivas licenças-maternidade. Estendo meus mais sinceros agradecimentos aos professores Doutor Fabricio Ribeiro Bueno e Gabriel Henrique Silva Costa, que assumiram a orientação com extrema maestria, sendo fundamentais para a continuação e conclusão deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora de TCC I, Professor Fabricio Ribeiro Bueno e Professora Caroline Duarte Alves Gentil, agradeço pelas valiosas contribuições, críticas construtivas e orientações, que foram fundamentais para as correções, aprimoramento e consolidação desta pesquisa.

À minha mãe, meu maior exemplo de força e caráter, dedico minha mais profunda gratidão. Sem seu apoio, incentivo e os sacrifícios diários para a minha criação, eu não seria a pessoa que me tornei hoje e não concluiria mais esta importante etapa da minha vida.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao Engenheiro Civil Kleber Lafetá Meira, pelos conhecimentos práticos que adquiri durante meu período de estágio na empresa Trena Construtora, na obra da Ponte sobre o Rio Claro (Anel Viário). Sou grato pela generosidade em compartilhar tempo, experiências e saberes, que foram inspiradores e decisivos para o meu amadurecimento e formação profissional.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí, pela estrutura oferecida durante toda a minha graduação, e a todo o corpo docente, que compartilhou seus conhecimentos e contribuiu diretamente para a minha jornada acadêmica. Estendo meus agradecimentos a todos os profissionais e colegas de turma que, direta ou indiretamente, enriqueceram meu aprendizado ao longo destes anos.

Gostaria também de estender meus agradecimentos ao Thiago Silva Oliveira, à Sanebraz Engenharia e a todos os colegas de equipe. O ambiente de trabalho acolhedor, a vivência prática diária como Assistente de Engenharia Civil e o apoio profissional que tenho recebido têm sido essenciais para a minha formação e me deram a base e a tranquilidade necessárias para finalizar esta etapa acadêmica.

Agradeço imensamente à Universidade de Rio Verde (UniRV), em especial ao professor Fausto Lobo, pela câmera termográfica Fluke. O equipamento foi fundamental para a viabilização das investigações realizadas *in loco*, permitindo a identificação dos elementos

estruturais embutidos na alvenaria e enriquecendo significativamente a qualidade e a precisão desta pesquisa.

EPÍGRAFE

*Estruturas consistem em materiais falhos,
montados por pessoas falhas, para suportar
cargas incertas em ambientes imprevisíveis. E,
ainda assim, esperamos que não falhem.*

J.E. Gordon

RESUMO

Esta pesquisa investigou as patologias estruturais de uma residência unifamiliar térrea, correlacionando o quadro generalizado de fissuração com falhas de concepção e dimensionamento. A metodologia consistiu em levantamentos *in loco*, uso de termografia para identificação do esqueleto estrutural e modelagem computacional no *software* Tecnologia, Qualidade e Sistemas (TQS). Foram analisados dois cenários: o modelo executado (*as built*) e um projeto corrigido conforme a NBR 6118. Os resultados comprovaram que a adoção sistemática de vigas e pilares com apenas 9 cm de largura, ditada pelo uso de blocos cerâmicos como fôrma lateral, anulou a rigidez à torção e à flexão da edificação. O esgotamento elástico do pórtico transferiu tensões excessivas para a alvenaria, originando as trincas e infiltrações. Conclui-se que o dimensionamento normativo é indispensável para garantir a estabilidade, a segurança e a racionalização de materiais.

Palavras-chave: Patologia estrutural. Fissuras. Modelagem computacional. Concreto armado. Perícia de engenharia.

ABSTRACT

This research investigates the structural pathologies of a single-story residential building, correlating widespread cracking with design and sizing failures. The methodology consisted of on-site surveys, the use of thermography to identify the structural framework, and computational modeling using TQS *software*. Two scenarios were analyzed: the executed model (*as built*) and a corrected design according to the NBR 6118 standard. The results proved that the systematic adoption of beams and columns with a width of only 9 cm, dictated by the use of ceramic blocks as lateral formwork, nullified the torsional and flexural stiffness of the building. The elastic failure of the frame transferred excessive stresses to the masonry, causing cracks and infiltrations. It is concluded that normative is essential to ensure stability, safety, and the rationalization of materials.

Keywords: Structural pathology. Cracks. Computational modeling. Reinforced concrete. Engineering forensics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Padrões típicos de fissuração em alvenaria.....	21
Figura 2 - Torção de compatibilidade entre laje e viga de borda	23
Figura 3 - Configuração da residência.....	28
Figura 4 - Planta baixa arquitetônica.....	29
Figura 5 - Scanner Detector.....	30
Figura 6 - Prancheta.....	30
Figura 7 - Viga.....	31
Figura 8 - Pilar.....	32
Figura 9 - Laje	32
Figura 10 - Fissuras na Suíte	33
Figura 11 - Fissuras na sala	33
Figura 12 - Fissura no barrilete	34
Figura 13 - Pórtico espacial.....	35
Figura 14 - 9cm Executado.....	37
Figura 15 - Medidas.....	38
Figura 16 - Dimensões do bloco cerâmico utilizado como fôrma lateral.....	39
Figura 17 - Relatório de erros graves emitido pelo processamento do Projeto Real.....	41
Figura 18 - Colapso por flexão composta normal nas vigas do barrilete (Projeto Real).....	43
Figura 19 - Relatório do processamento global do Projeto Corrigido.....	45
Figura 20 - Referência entre projetos	51
Figura 21 - Pavimento térreo no TQS	52
Figura 22 - Modelo integrado	53
Figura 23 - Laje treliçada em EPS.....	55
Figura 24 - Laje real	55
Figura 25 - Laje corrigida.....	56
Figura 26 - Cargas de alvenaria.....	56
Figura 27 - Cargas telhado.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre executado e exigido	40
Tabela 2 - Alvenaria real	57
Tabela 3 - Alvenaria corrigida.....	57
Tabela 4 - Telhado.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CAA - Classe de Agressividade Ambiental.

CG - Centro de Gravidade.

DWG - Drawing (Formato de arquivo de desenho computacional).

ELS - Estados Limites de Serviço.

ELS-W - Estado Limite de Serviço de Abertura de Fissuras.

ELU - Estados Limites Últimos.

EPS - Poliestireno Expandido.

IFG - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

NBR - Norma Brasileira.

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso.

TQS - Tecnologia, Qualidade e Sistemas.

UniRV - Universidade de Rio Verde.

LISTA DE SÍMBOLOS

° - Grau (unidade de ângulo)

cm - Centímetro

f_{ck} - Resistência característica do concreto à compressão

H/L - Relação entre altura e comprimento (esbeltez de viga)

kgf/m² - Quilograma-força por metro quadrado (taxa de aço por área)

kgf/m³ - Quilograma-força por metro cúbico (taxa volumétrica de aço)

kN/m² - Quilonewton por metro quadrado (unidade de pressão/carga)

m - Metro

m² - Metro quadrado

m³ - Metro cúbico

mm - Milímetro

MPa - Megapascal (unidade de tensão/resistência)

tf/m - Tonelada-força por metro linear (unidade de carga linear)

tf/m² - Tonelada-força por metro quadrado (unidade de carga superficial)

U_x, U_y, U_z - Graus de liberdade de translação nos eixos globais X, Y e Z

w_k - Abertura característica das fissuras

θ_x, θ_y, θ_z - Graus de liberdade de rotação em torno dos eixos globais X, Y e Z

λ - Índice de esbeltez direcional (flambagem)

v - Força normal adimensional

σ - Tensão normal ou longitudinal de compressão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
2. REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 FISSURAS DECORRENTES DE MOVIMENTAÇÕES ESTRUTURAIS.....	19
2.1.1 Classificação e Nomenclatura	19
2.1.2 Causas da Fissuração.....	20
2.1.3 Padrões de Fissuração e Diagnóstico Preliminar	21
2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO PRELIMINAR DO OBJETO DE ESTUDO	22
2.3 A NORMA NBR 6118 E O PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	23
2.3.1 Segurança, Desempenho e Durabilidade.....	23
2.3.2 Estado Limite de Serviço de Abertura de Fissuras (ELS-W).....	24
2.4 ANÁLISE ESTRUTURAL COM O SISTEMA TQS.....	25
2.5 A PERÍCIA DE ENGENHARIA APLICADA A PATOLOGIAS ESTRUTURAIS ...	25
3. METODOLOGIA.....	27
3.1 DETERMINAÇÃO DA ESTRUTURA EXISTENTE (<i>AS BUILT</i>)	27
3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL POR MEIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL ...	34
3.3 CORRELAÇÃO DE DADOS, DIAGNÓSTICOS E PROPOSIÇÃO DE PROJETO ...	35
4. RESULTADOS	37
4.1 ANÁLISE DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL EXECUTADA (<i>AS BUILT</i>).....	37
4.2 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL NO TQS (PROJETO REAL) 40	
4.2.1 Análise de tensões e instabilidade nos Pilares:	41
4.2.2 Esgotamento elástico e torção nas Vigas:	42
4.3 DIAGNÓSTICO E CORRELAÇÃO DE PATOLOGIAS	42

4.4 PROPOSIÇÃO DE CORREÇÃO E ADEQUAÇÃO NORMATIVA (PROJETO CORRIGIDO).....	44
4.4.1 Adequação geométrica e controle de fissuração:	44
4.4.2 Racionalização do consumo de materiais:	45
5. CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE A - MODELAGEM ESTRUTURAL	50
A.1. PREPARAÇÃO DA ARQUITETURA E LANÇAMENTO INICIAL.....	50
A.2. LANÇAMENTO E CONECTIVIDADE DOS ELEMENTOS.....	52
A.3. PARÂMETROS E PROPRIEDADES	53
A.3.1 Resistência Característica do Concreto	54
A.3.2 Especificações de Cobrimento e Durabilidade.....	54
A.4 DISTRIBUIÇÃO DOS CARREGAMENTOS.....	54
A.4.1 Propriedades das Lajes Treliçadas com EPS.....	54
A.4.2 Cargas Lineares de Vedação (Alvenarias)	56
A.4.3 Carregamentos de Cobertura e Telhado	57
A.5 MODELAGEM: PROJETO REAL (<i>AS BUILT</i>).....	58
A.5.1 Configuração Esforços nos Pilares (<i>As Built</i>)	58
A.5.2 Configuração Seccional e Esforços nas Vigas (<i>As Built</i>).....	59
A.6 MODELAGEM: PROJETO CORRIGIDO (NORMATIVO).....	60
A.6.1 Otimização Seccional e Esforços nos Pilares (Corrigido).....	60
A.6.2 Otimização Seccional e Esforços nas Vigas (Corrigido)	60

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, apesar de sua fundamental relevância para o desenvolvimento socioeconômico, enfrenta o desafio recorrente das manifestações patológicas, que comprometem a segurança, a funcionalidade e a vida útil das edificações (Souza; Ripper, 1998). Dentre as diversas anomalias construtivas, as fissuras destacam-se como uma das ocorrências mais frequentes e preocupantes, manifestando-se como um sintoma visível de tensões internas que atuam sobre os materiais e componentes da estrutura (Marcelli, 2007). A sua presença pode interferir não apenas na estética, mas também na durabilidade e, em casos mais graves, na integridade estrutural da obra.

O objeto de estudo desta pesquisa é uma residência unifamiliar térrea que exemplifica este cenário. A edificação em questão já foi alvo de uma análise pericial preliminar, documentada no trabalho de conclusão de curso de Rua (2025), que se concentrou na elaboração de um laudo técnico a partir de métodos diagnósticos como a inspeção visual e a termografia. Essa investigação inicial foi fundamental para a identificação e a caracterização das patologias existentes, como fissuras e infiltrações, fornecendo um mapeamento inicial do quadro de deterioração.

Contudo, apesar da valiosa contribuição na descrição dos problemas, a análise anterior não se aprofundou nas possíveis causas estruturais que podem ter dado origem a tais anomalias. A investigação permaneceu no campo descritivo, sem estabelecer uma correlação quantitativa entre as fissuras observadas e o comportamento mecânico da estrutura. É precisamente nesta lacuna que o presente trabalho se insere, ao propor uma investigação que transcende o diagnóstico visual e emprega uma abordagem de engenharia robusta para desvendar a etiologia dos problemas. A contribuição desta pesquisa consiste em desenvolver o projeto estrutural da edificação na sua condição executada (*as built*) para, através de modelagem computacional, realizar uma análise de desempenho e verificar se a estrutura atende aos requisitos mínimos de segurança e serviço preconizados pelas normas técnicas brasileiras, especialmente a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2023), que trata do projeto de estruturas de concreto.

1.1 JUSTIFICATIVA

A principal contribuição desta pesquisa é sua abordagem metodológica, que serve como uma ponte entre duas áreas essenciais: a perícia diagnóstica e a engenharia de estruturas. Essa integração justifica-se por ser uma ferramenta poderosa para investigar patologias relevantes e, o mais importante, para fundamentar a proposição de soluções eficazes baseadas em suas causas reais.

Primeiramente, a importância do estudo de fissuras é multifacetada. Conforme destaca Thomaz (2020, p. 9), as trincas são relevantes devido a três aspectos cruciais: funcionam como um "aviso de um eventual estado perigoso para a estrutura", comprometem o desempenho da obra em serviço (afetando a estanqueidade à água, a durabilidade e o isolamento acústico) e exercem um "constrangimento psicológico" sobre os usuários da edificação, gerando uma sensação de insegurança. Portanto, investigar suas causas é uma medida essencial para garantir a segurança e a habitabilidade.

Em segundo lugar, a eficácia de qualquer intervenção corretiva está diretamente atrelada à precisão do diagnóstico de sua causa original. A perícia na área da engenharia requer um conhecimento aprofundado para não apenas identificar o problema, mas, fundamentalmente, para estabelecer o nexo causal, ou seja, o motivo pelo qual o problema está ocorrendo, conforme diretrizes da norma de perícias de engenharia na construção civil, a ABNT NBR 13752 (ABNT, 2024). Uma simples reparação superficial de uma fissura, sem a compreensão de sua origem seja um recalque de fundação, uma sobrecarga não prevista ou uma falha de dimensionamento, tende a ser ineficaz e paliativa, com alta probabilidade de reincidência. Este trabalho justifica-se, portanto, pela busca de um diagnóstico que vá além da superfície, investigando as tensões e deformações que atuam na estrutura.

Por fim, a contribuição desta pesquisa reside na sua abordagem metodológica, que propõe aprofundar um estudo de caso real com uma análise de engenharia quantitativa. Ao desenvolver um modelo computacional da estrutura e submetê-lo a uma análise, busca-se correlacionar numericamente as patologias observadas com possíveis falhas de dimensionamento ou concepção. Este processo não apenas oferece um diagnóstico preciso das causas, mas também fortalece a conexão entre a perícia diagnóstica e a engenharia de estruturas, gerando conhecimento aplicável na solução de problemas construtivos e na prevenção de futuras anomalias.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é correlacionar as patologias observadas *in loco* em uma residência térrea com possíveis falhas de concepção estrutural, através de modelagem computacional.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para a consecução do objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o levantamento *As-Built* fiel da estrutura atualmente executada.
- Executar o lançamento do projeto de formas (modelagem no software TQS) para identificar as falhas de dimensionamento.
- Propor um projeto estrutural corretivo que esteja em estrita conformidade com as diretrizes da norma NBR 6118:2023.
- Estabelecer o nexos causal entre os erros de projeto identificados e o quadro de fissuração/anomalias documentado *in loco*.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica que sustenta o desenvolvimento do trabalho, abordando os conceitos essenciais sobre patologias em estruturas de concreto, breve contextualização sobre as diretrizes normativas para projeto, as ferramentas de análise computacional e os procedimentos de perícia em engenharia. A articulação desses quatro eixos de conhecimento forma a base conceitual sobre a qual a metodologia desta pesquisa foi construída.

2.1 FISSURAS DECORRENTES DE MOVIMENTAÇÕES ESTRUTURAIS

As manifestações patológicas em edificações são anomalias que surgem ao longo de sua vida útil, decorrentes de falhas nas fases de projeto, execução ou uso, ou ainda pela degradação natural dos materiais (Helene, 1992). As fissuras representam a manifestação patológica mais comum e, frequentemente, a mais visível, originando-se quando as tensões atuantes em um material superam sua capacidade de resistência, especialmente à tração (Thomaz, 2020).

2.1.1 Classificação e Nomenclatura

Para uma análise técnica precisa, é fundamental a correta classificação das aberturas que surgem nos componentes construtivos. Embora os termos "fissura", "trinca" e "rachadura" sejam frequentemente usados como sinônimos na linguagem coloquial, a normalização técnica estabelece uma distinção baseada na dimensão da abertura. A norma de seleção e projeto de impermeabilização, ABNT NBR 9575 (ABNT, 2003), define a seguinte classificação:

- **Microfissuras:** Aberturas inferiores a 0,05 mm.
- **Fissuras:** Aberturas com até 0,5 mm.
- **Trincas:** Aberturas maiores que 0,5 mm e menores que 1,0 mm.

O termo "rachadura" é popularmente utilizado para se referir a trincas de maiores dimensões, com aberturas que permitem a passagem de luz ou ventilação, indicando um estado mais avançado de deterioração (Marcelli, 2007).

Além da dimensão, as fissuras podem ser classificadas quanto à sua atividade. Fissuras passivas são aquelas que, uma vez formadas, não apresentam variação significativa em sua abertura ao longo do tempo. Em contrapartida, fissuras ativas são dinâmicas, e sua abertura

varia em função de mudanças nas condições de carregamento, temperatura ou umidade (Thomaz, 2020). O monitoramento dessa atividade é crucial para o diagnóstico e para a escolha do método de reparo adequado.

2.1.2 Causas da Fissuração

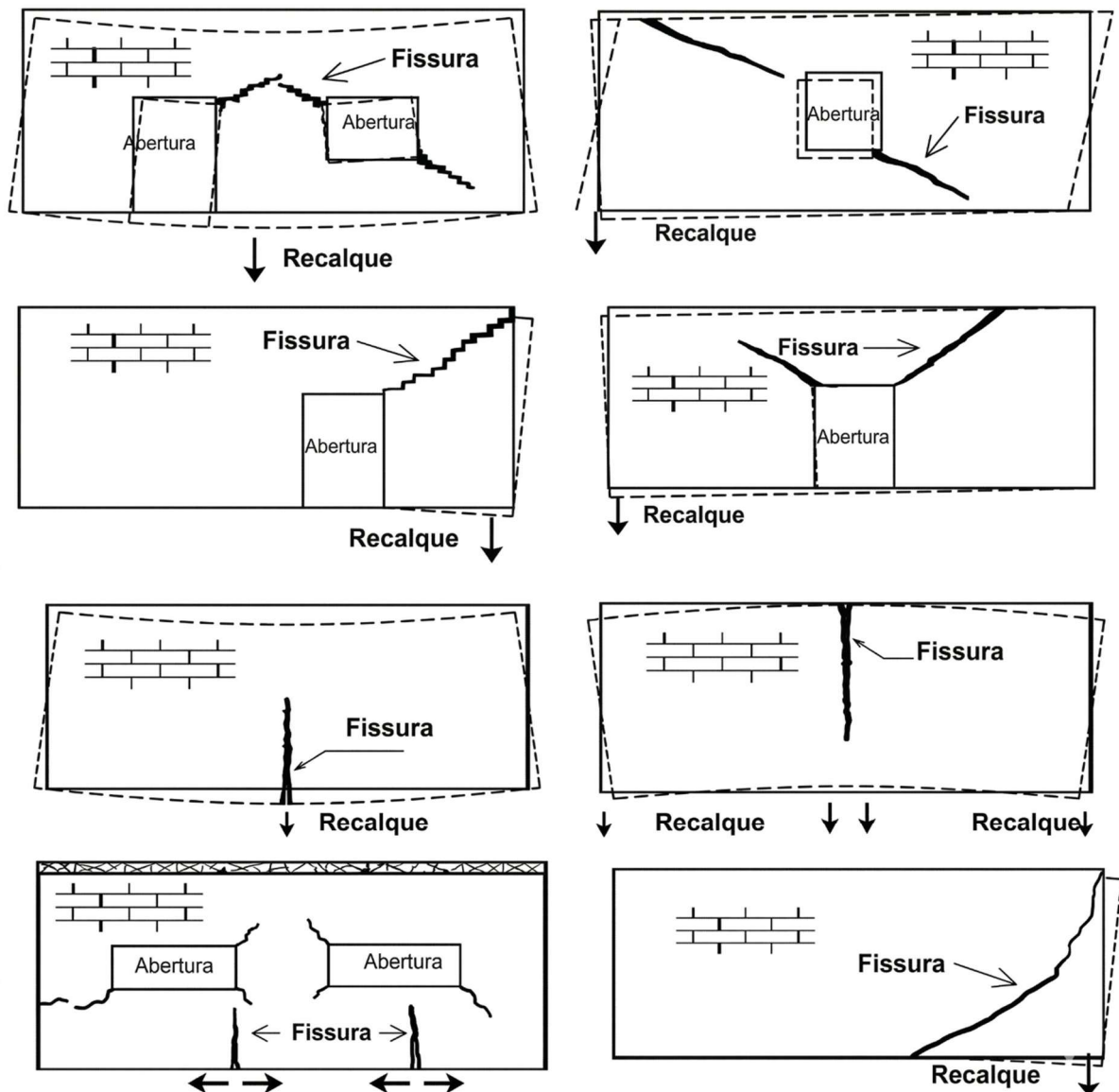
A origem das fissuras é diversa e pode estar associada a múltiplos fatores, que atuam de forma isolada ou combinada. As causas mais comuns podem ser agrupadas nas seguintes categorias, conforme Thomaz (2020) e Marcelli (2007):

- **Movimentações Higrotérmicas:** Os materiais de construção expandem-se com o aumento da temperatura e da umidade e contraem-se com a sua diminuição. Quando essa movimentação é restringida, surgem tensões internas que podem levar à fissuração. Esse fenômeno é uma das principais causas de fissuras ativas, especialmente em elementos expostos, como lajes de cobertura e fachadas.
- **Retração de Materiais Cimentícios:** Durante o processo de cura (secagem) do concreto e das argamassas, a perda de água causa uma redução de volume conhecida como retração. Se essa retração for impedida por vínculos internos (armaduras) ou externos (outros elementos construtivos), podem surgir fissuras, tipicamente de padrão aleatório e superficial.
- **Sobrecargas e Esforços Estruturais:** Fissuras podem ser o resultado direto da atuação de cargas que geram tensões de tração, compressão ou cisalhamento superiores à capacidade resistente do material. Erros no dimensionamento estrutural, aumento inesperado das cargas de utilização ou execução inadequada são causas frequentes desta tipologia de fissura.
- **Recalques de Fundação:** O recalque diferencial, que ocorre quando diferentes partes da fundação de uma edificação se assentam de forma não uniforme no solo, é uma das causas mais graves de fissuração. Esse movimento impõe deformações à superestrutura, gerando tensões que se manifestam tipicamente como fissuras inclinadas, que partem de pontos de concentração de tensão, como os cantos de portas e janelas.

2.1.3 Padrões de Fissuração e Diagnóstico Preliminar

A geometria e a orientação das fissuras fornecem pistas valiosas sobre suas possíveis causas, funcionando como uma ferramenta de diagnóstico preliminar. A análise desses padrões permite formular hipóteses sobre os mecanismos de deterioração atuantes (Thomaz, 2020). A Figura 1 ilustra os padrões geométricos mais comuns e suas causas prováveis, que servem como base para o diagnóstico preliminar.

Figura 1 - Padrões típicos de fissuração em alvenaria



Fonte: Revista ft revistaft.com.br/fissuras-em-alvenaria-estrutural/ (2025)

- **Fissuras Verticais:** Frequentemente associadas a tensões de tração horizontal. Podem ocorrer devido à falta de uma junta de movimentação adequada entre materiais com

diferentes comportamentos, como a alvenaria e um pilar de concreto, ou por insuficiência de resistência da própria alvenaria. Na maioria dos casos, representam um alívio de tensão e tendem a ser passivas.

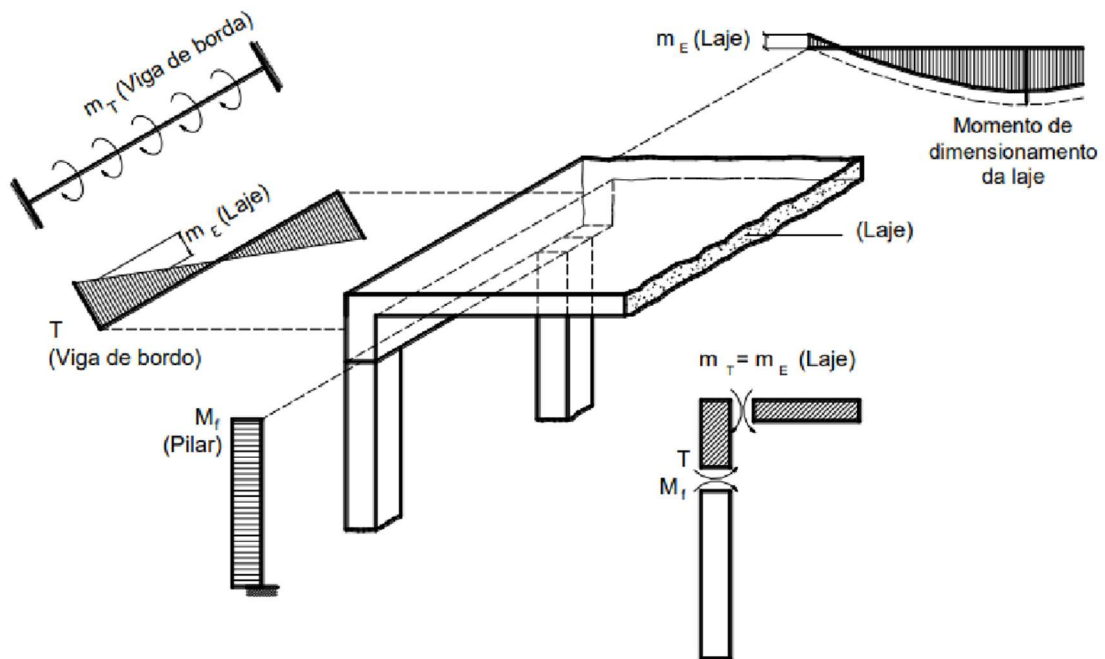
- **Fissuras Horizontais:** Comumente surgem na interface entre a alvenaria e elementos estruturais, como vigas e pilares. Próximas ao teto, podem indicar a falta de amarração entre a parede e a viga superior ou o esmagamento da argamassa de assentamento. Próximas ao piso, podem ser um sinal de recalque da viga baldrame ou de problemas de umidade ascendente por falha na impermeabilização.
- **Fissuras Inclinadas (Diagonais):** Geralmente se manifestam a aproximadamente 45° e são um forte indicativo de tensões de cisalhamento. Quando surgem a partir dos cantos de vãos (portas e janelas), podem ser causadas por vergas e contra-vergas mal dimensionadas ou pela concentração de tensões. Em outras regiões da parede, especialmente próximas a pilares, são um sintoma clássico e preocupante de recalque diferencial da fundação.

2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO PRELIMINAR DO OBJETO DE ESTUDO

Embora a fundamentação teórica apresentada no item anterior trate das patologias de forma generalista, é imprescindível contextualizar o cenário específico da residência objeto deste trabalho. A edificação já foi submetida a uma análise pericial qualitativa realizada por Rua (2025), cujos apontamentos direcionam o foco da presente modelagem.

Em seu estudo, especificamente na análise sobre torção e fissuração (item 2.2.1.3), Rua (2025) identifica que o padrão de fissuras observado *in loco* é característico de solicitações de torção nos elementos estruturais, conforme ilustrado na Figura 2. Essa constatação é de suma importância para o diagnóstico causal, pois permite isolar a natureza do problema na superestrutura.

Figura 2 - Torção de compatibilidade entre laje e viga de borda



Fonte: LEONHARDT e MÖNNIG, 1982.

Ao associar as manifestações patológicas a esforços de torção e à rigidez da estrutura, o diagnóstico preliminar de Rua (2025) fornece subsídios técnicos que permitem descartar a hipótese de que as fissuras sejam decorrentes de instabilidades ou recalques do subsolo. Dessa forma, a investigação neste trabalho concentra-se na verificação da concepção estrutural e no dimensionamento dos elementos de concreto armado, partindo da premissa de que a origem da falha não reside na interação solo-estrutura, mas sim na resposta da estrutura aos carregamentos e em sua geometria.

2.3 A NORMA NBR 6118 E O PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

O dimensionamento de obras em concreto armado no Brasil é regido pela ABNT NBR 6118 (ABNT, 2023), que trata do projeto de estruturas de concreto. Esta norma estabelece os requisitos e procedimentos para garantir que as estruturas sejam projetadas de maneira segura, durável e funcional. A versão mais recente, de 2023, consolida décadas de evolução técnica e alinha as práticas nacionais às tendências internacionais.

2.3.1 Segurança, Desempenho e Durabilidade

A NBR 6118:2023 estrutura o projeto em torno de um tripé de requisitos fundamentais de qualidade, que devem ser atendidos ao longo de toda a vida útil da estrutura:

- **Segurança Estrutural:** Refere-se à capacidade da estrutura de resistir a todas as ações previstas sem atingir o colapso. A verificação da segurança é realizada por meio dos Estados Limites Últimos (ELU), que representam situações de ruína ou perda de estabilidade.
- **Desempenho em Serviço:** Garante que a estrutura se comporte adequadamente sob condições normais de utilização, sem causar desconforto aos usuários ou danos a elementos não estruturais. A verificação do desempenho é feita através dos Estados Limites de Serviço (ELS), que controlam fenômenos como deformações excessivas, vibrações e a própria fissuração.
- **Durabilidade:** Consiste na capacidade da estrutura de resistir às influências ambientais previstas ao longo do tempo. A norma aborda a durabilidade estabelecendo critérios como o cobrimento mínimo das armaduras e a qualidade do concreto em função da Classe de Agressividade Ambiental (CAA) a que a estrutura estará exposta.

2.3.2 Estado Limite de Serviço de Abertura de Fissuras (ELS-W)

A fissuração do concreto sob tensões de tração é um fenômeno inevitável em estruturas de concreto armado. A ABNT NBR 6118 (ABNT, 2023) não busca impedir a fissuração, mas sim controlá-la, limitando a abertura das fissuras a valores que não comprometam a durabilidade e a aparência da estrutura. Isso é feito através da verificação do Estado Limite de Serviço de Abertura de Fissuras (ELS-W).

As razões para essa limitação são, principalmente, a proteção das armaduras contra a corrosão e a aceitabilidade sensorial dos usuários. Fissuras excessivamente abertas podem facilitar a penetração de agentes agressivos, como íons cloreto e dióxido de carbono, acelerando o processo de corrosão do aço e reduzindo a vida útil da estrutura.

A norma estabelece valores limites para a abertura característica das fissuras (w_k) em função da classe de agressividade ambiental. Para concreto armado em classes de agressividade II e III (ambientes urbanos e marinhos, respectivamente), por exemplo, o limite de abertura de fissura é de 0,3 mm. A verificação deste estado limite pode ser feita através de cálculo direto da abertura da fissura ou, de forma simplificada, pelo controle do diâmetro e do espaçamento máximo das armaduras na região tracionada.

2.4 ANÁLISE ESTRUTURAL COM O SISTEMA TQS

A complexidade dos cálculos envolvidos no projeto de estruturas modernas tornou o uso de *softwares* de análise estrutural uma prática indispensável. Essas ferramentas permitem a criação de modelos matemáticos que simulam o comportamento da edificação sob a ação de diversos carregamentos, oferecendo aos engenheiros uma visão detalhada da distribuição de esforços e deformações.

O *software* TQS (Tecnologia, Qualidade e Sistemas) é um dos sistemas computacionais mais utilizados no Brasil para o desenvolvimento de projetos estruturais de concreto armado, protendido e alvenaria estrutural. Trata-se de um conjunto de sistemas integrados que automatizam as etapas de concepção, análise, dimensionamento, detalhamento e geração de desenhos, sempre em conformidade com as normas técnicas brasileiras, incluindo a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2023).

2.5 A PERÍCIA DE ENGENHARIA APLICADA A PATOLOGIAS ESTRUTURAIS

A perícia de engenharia é a atividade técnica que busca apurar as causas de um determinado evento ou o estado de um bem, produzindo um laudo técnico fundamentado, conforme a ABNT NBR 13752 (ABNT, 2024). Aplicada a patologias estruturais, a perícia tem como objetivo diagnosticar as origens de anomalias como fissuras, deformações e corrosão, avaliando os riscos associados e recomendando as medidas corretivas adequadas (Souza; Ripper, 1998).

O processo pericial geralmente segue uma metodologia sistemática, que envolve as seguintes etapas:

- **Vistoria e Levantamento de Dados:** Consiste na inspeção minuciosa da edificação para identificar e caracterizar as manifestações patológicas. Esta etapa inclui o registro fotográfico detalhado, medições das anomalias (como a abertura e o comprimento das fissuras), levantamento dimensional dos elementos estruturais e a coleta de informações sobre o histórico da construção e de seu uso.
- **Análise e Diagnóstico:** Com base nos dados coletados, o perito analisa as evidências e as confronta com o conhecimento técnico e normativo para formular hipóteses sobre as causas das patologias. Esta é a fase investigativa, onde se busca estabelecer o nexo de causalidade entre os defeitos observados e suas origens.

- **Elaboração do Laudo Técnico:** É o documento formal que apresenta os resultados da perícia. O laudo deve conter a descrição detalhada do objeto periciado, a metodologia empregada, a apresentação e análise dos fatos constatados, as conclusões diagnósticas e, quando aplicável, as recomendações técnicas para a solução dos problemas.

A integração da modelagem computacional, como a proposta neste trabalho, enriquece a fase de análise e diagnóstico da perícia, permitindo que as hipóteses sobre as causas estruturais sejam testadas numericamente, conferindo maior robustez e confiabilidade às conclusões do laudo.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracterizou-se como um estudo de caso, aprofundando-se na análise estrutural de uma residência térrea unifamiliar que apresentava um quadro patológico de fissuração. A metodologia foi executada em etapas sequenciais para garantir a organização, a sistematicidade e a rastreabilidade do processo investigativo, combinando procedimentos de perícia de engenharia com análise computacional. O fluxo de trabalho seguiu uma lógica científica de observação, modelagem, análise e diagnóstico, conforme detalhado nos tópicos a seguir.

3.1 DETERMINAÇÃO DA ESTRUTURA EXISTENTE (*AS BUILT*)

A primeira etapa do trabalho foi dedicada à coleta de informações para a caracterização precisa da edificação em seu estado atual. O objetivo consistiu em produzir um desenho técnico *as built* que representasse fielmente a geometria e as condições da estrutura como foi executada, servindo de base para a etapa subsequente de modelagem computacional. Esta fase foi conduzida através de uma abordagem de métodos mistos:

- **Análise Documental e Registros Históricos:** Foi realizada uma análise de toda a documentação técnica disponível, incluindo o projeto arquitetônico original e eventuais registros fotográficos da fase de execução da obra. Este material forneceu o ponto de partida para o levantamento em campo e auxiliou na identificação de desvios entre o projetado e o executado.

O acesso as imagens antigas presentes na Figura 3 permitiu a visualização do esqueleto estrutural e do posicionamento das alvenarias de vedação antes da aplicação dos revestimentos, o que auxiliou significativamente no mapeamento prévio da locação de pilares e vigas.

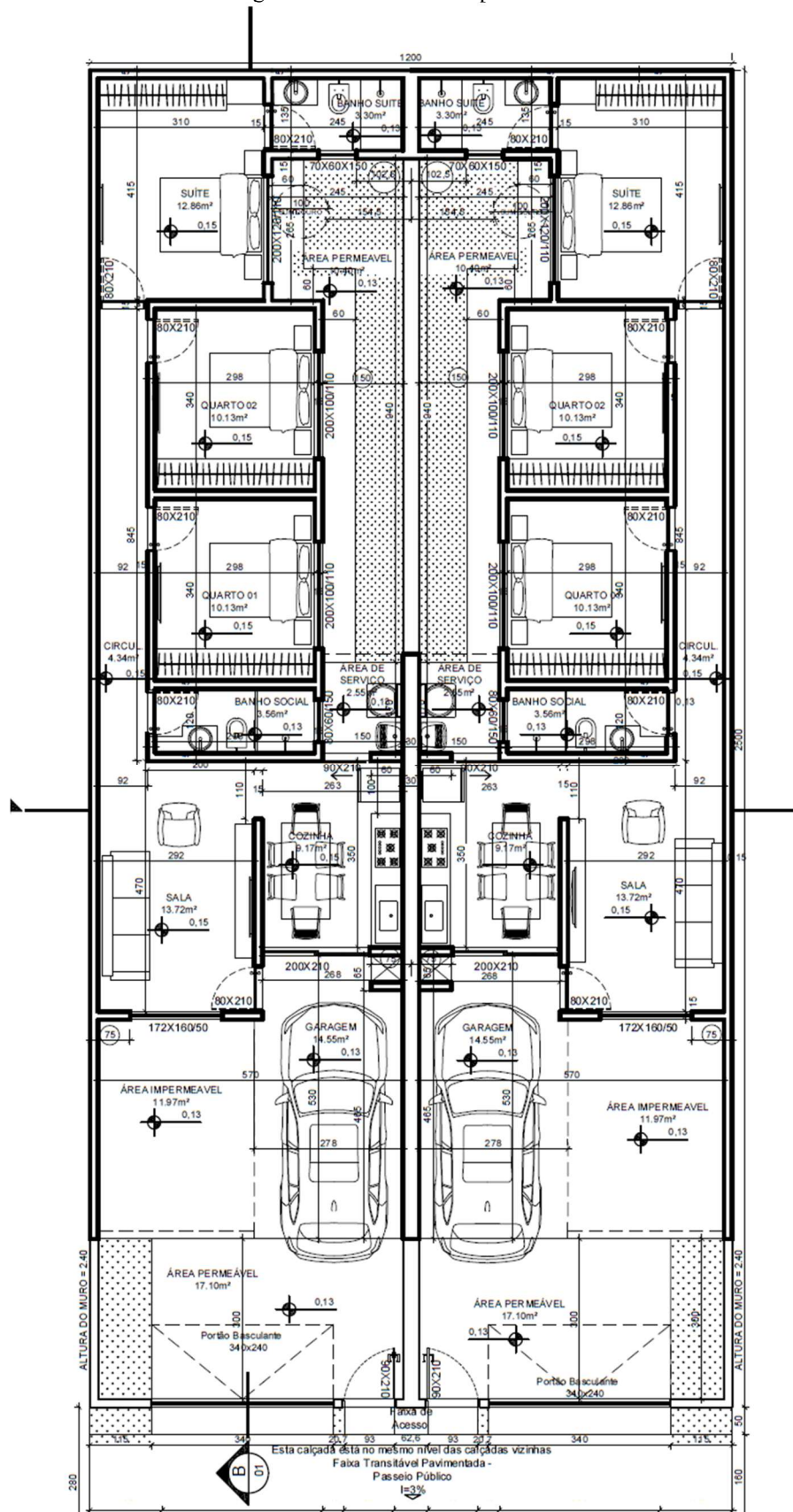
Figura 3 - Configuração da residência



Fonte: Autoria própria (2026)

A Figura 4 apresenta a planta baixa arquitetônica da edificação, que serviu como base para o levantamento dimensional *in loco* e para a posterior elaboração da planta de formas *as built*.

Figura 4 - Planta baixa arquitetônica



Fonte: Autoria própria (2026)

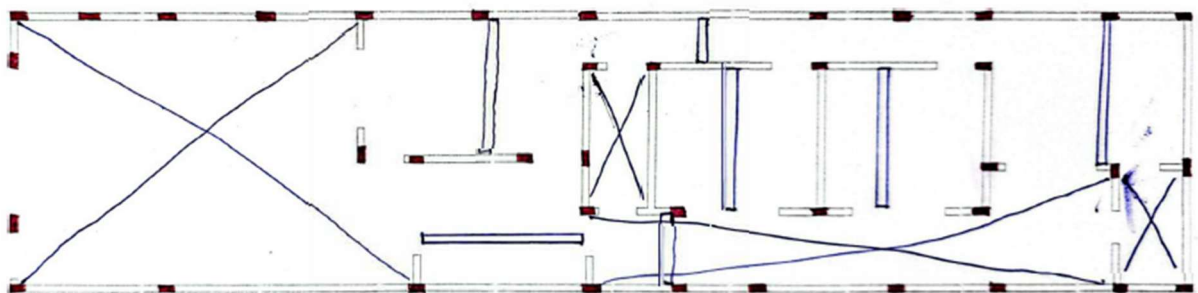
- **Levantamento Dimensional *In Loco*:** Utilizando instrumentos de medição, como trena a laser, fitas métricas e o Scanner Detector fornecido pela Sanebraz Engenharia, foi feito o levantamento rigoroso das dimensões de todos os elementos estruturais acessíveis, incluindo seções transversais e posicionamento. A utilização do equipamento em campo é ilustrada na Figura 5. Para garantir a precisão dos dados, os posicionamentos vistos em campo foram passados imediatamente para croquis físicos em prancheta, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 5 - Scanner Detector



Fonte: Autoria própria (2026)

Figura 6 - Prancheta

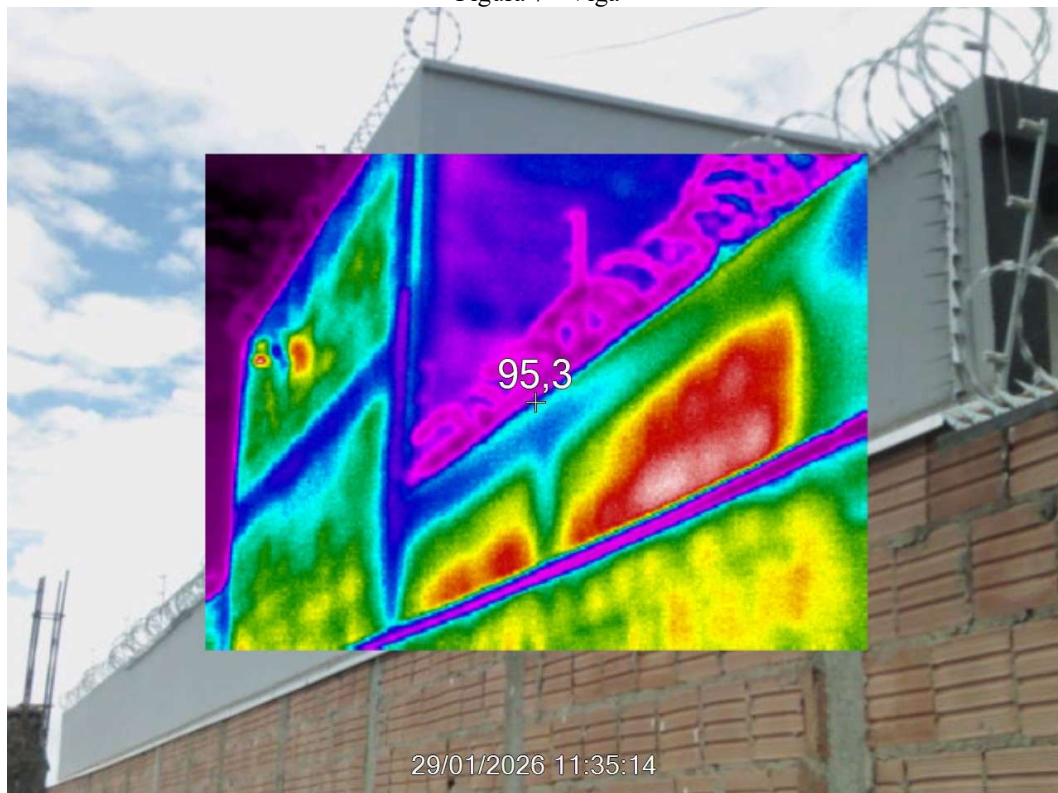


Fonte: Autoria própria (2026)

- **Investigação não destrutiva (Termografia):** Para a confirmação geométrica e a identificação exata dos elementos estruturais embutidos sob o reboco, que não puderam ser aferidos apenas visualmente ou pelas fotos históricas, empregou-se uma câmera termográfica da marca Fluke modelo Ti400 (disponibilizada em parceria com a UniRV). Foram capturadas diversas imagens térmicas que, através do gradiente de temperatura

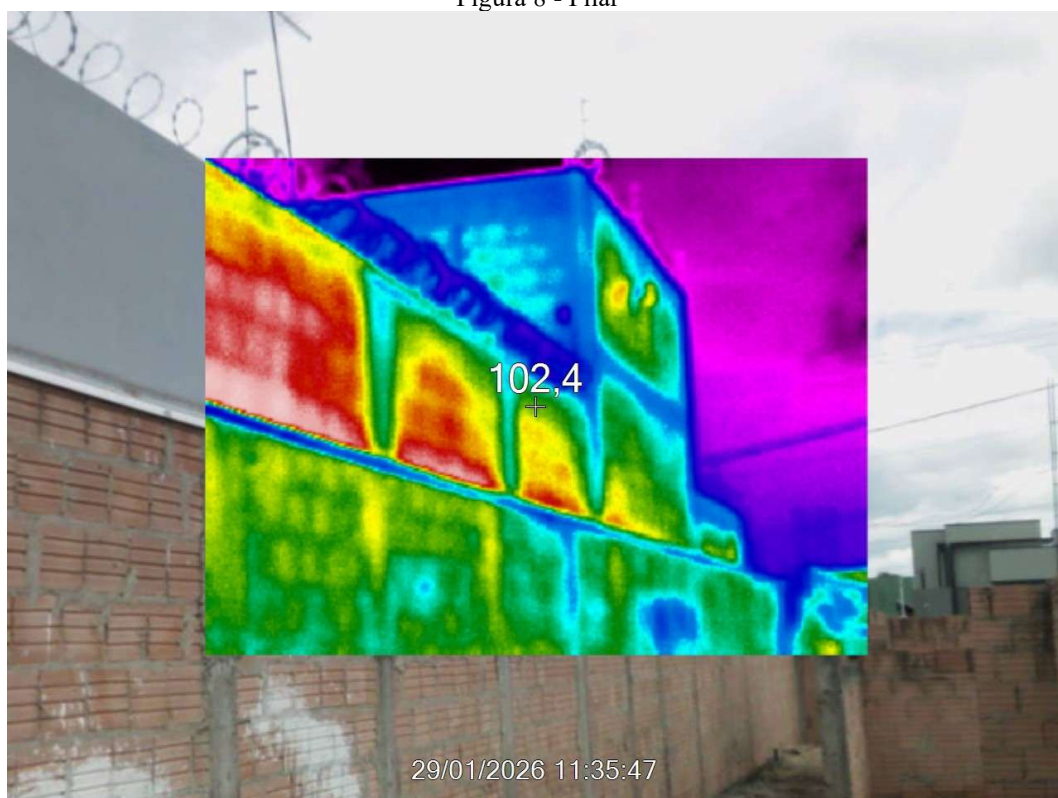
na superfície das paredes, revelaram o contraste entre materiais distintos, atestando a posição real de vigas (Figura 7), pilares (Figura 8) e lajes (Figura 9).

Figura 7 - Viga



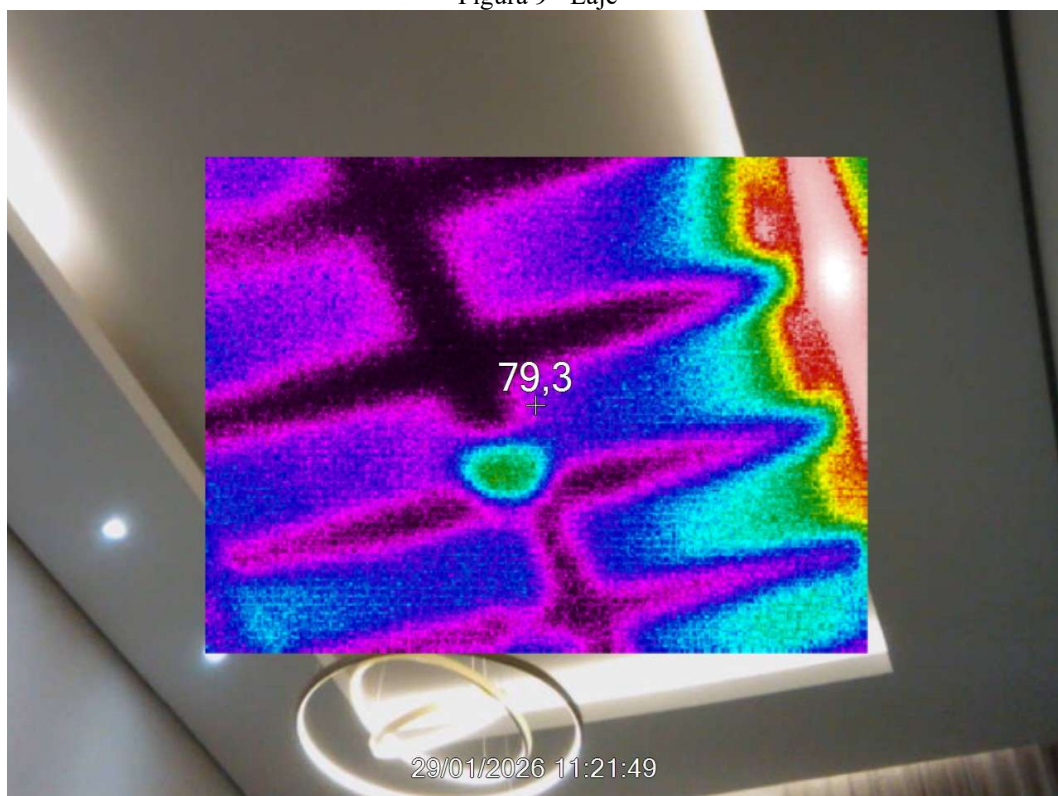
Fonte: Autoria própria (2026)

Figura 8 - Pilar



Fonte: Autoria própria (2026)

Figura 9 - Laje



Fonte: Autoria própria (2026)

- **Registro fotográfico das patologias:** Paralelo ao levantamento dimensional, realizou-se o registro fotográfico das manifestações patológicas estruturais visíveis, com foco principal no quadro de fissuração. Um fator agravante observado foi o severo comprometimento da estanqueidade da edificação, visto que as fissuras são traspassantes e permitem a infiltração e percolação da água, resultando em vazamentos ativos e manchas de umidade no interior dos ambientes durante os períodos de chuva. As anomalias, juntamente com os indícios de infiltração, foram fotografadas para documentar sua existência (conforme Figura 10, Figura 11 e Figura 12), compondo o diagnóstico visual prático com as áreas de maior tensão no modelo computacional.

Figura 10 - Fissuras na Suíte



Fonte: Autoria própria (2026)

Figura 11 - Fissuras na sala



Fonte: Autoria própria (2026)

Figura 12 - Fissura no barrilete



Fonte: Autoria própria (2026)

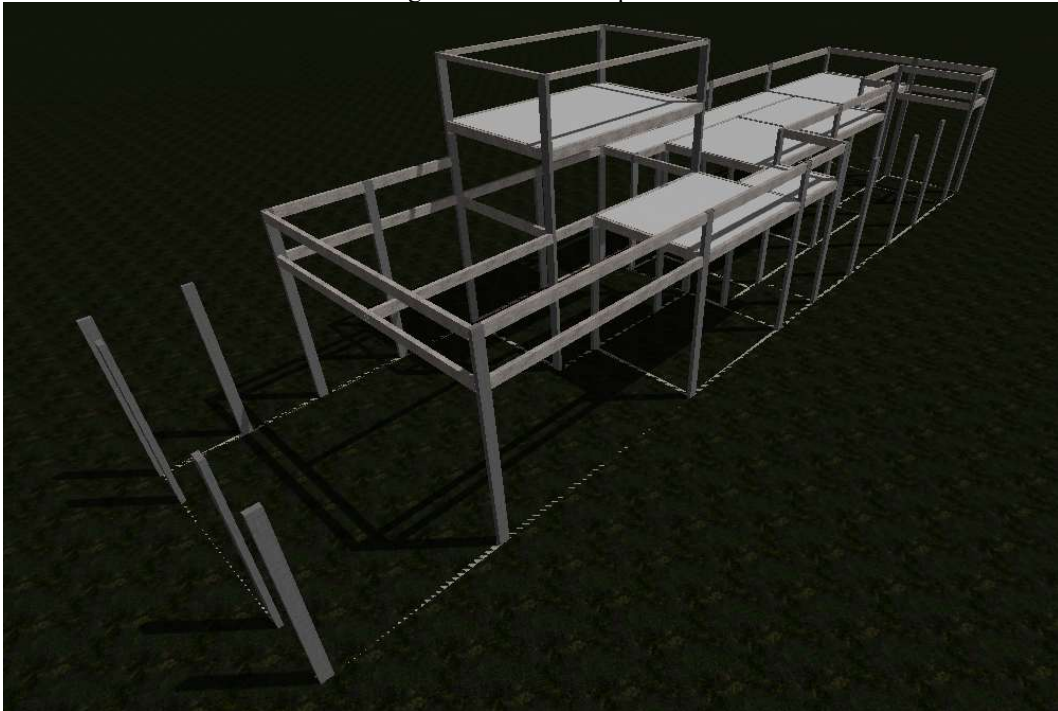
O produto consolidado de todas estas etapas investigativas foi a elaboração da planta de formas correspondente à estrutura real executada, que serviu como a entrada geométrica inalterável para a simulação no *software* TQS.

3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL POR MEIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

A segunda etapa consistiu na criação de modelos numéricos tridimensionais da edificação e na simulação de seus comportamentos estruturais, utilizando o *software* TQS. Este processo permitiu a quantificação dos esforços e deformações internas, que são as causas diretas do surgimento de fissuras, além de viabilizar a comparação analítica entre a estrutura executada e um dimensionamento normativo.

- **Modelagem da Estrutura:** Com base na planta de formas *as built* gerada no passo anterior, foi desenvolvido o primeiro modelo tridimensional da estrutura no ambiente do TQS, retratando fielmente a obra real. Em contrapartida, elaborou-se um segundo cenário ("Projeto Corrigido") com seções redimensionadas para atender aos critérios de segurança. Todos os elementos estruturais (pilares, vigas e lajes treliçadas com EPS) foram lançados respeitando rigorosamente suas dimensões, conectividade dos eixos e posicionamentos espaciais, resultando na representação do pórtico espacial de barras apresentada na Figura 13.

Figura 13 - Pórtico espacial



Fonte: Autoria própria (2026)

- **Definição de Parâmetros e Carregamentos:** Foram definidos os parâmetros dos materiais, como a resistência característica do concreto (f_{ck}) e as especificações de cobrimento nominal. Os carregamentos foram aplicados aos modelos rigorosamente de acordo com as prescrições das normas ABNT NBR 6120 (ABNT, 2019) e ABNT NBR 6118 (ABNT, 2023). Isso abrangeu as cargas permanentes (peso próprio dos elementos e alvenarias de vedação) e as cargas variáveis (sobrecargas de utilização e telhado), cujos memoriais detalhados de cálculo encontram-se descritos no Apêndice A.
- **Processamento e Análise Estrutural:** Os modelos desenvolvidos foram submetidos à análise integrada de pórtico espacial (Modelo IV) do TQS. O resultado desta etapa forneceu os dados técnicos detalhados do comportamento da estrutura sob carga, expondo os pontos de esgotamento elástico, excesso de tensões torçores e deformações fora de limite no projeto executado, fatores que embasaram o diagnóstico causal definitivo das patologias.

3.3 CORRELAÇÃO DE DADOS, DIAGNÓSTICOS E PROPOSIÇÃO DE PROJETO

A terceira e última etapa metodológica consistiu na síntese e interpretação dos dados obtidos nas fases anteriores, culminando no diagnóstico causal definitivo das patologias.

- **Análise Comparativa e Correlação:** Os resultados quantitativos da análise computacional foram comparados e sobrepostos ao mapeamento das fissuras reais, observado *in loco* na primeira etapa. Buscou-se uma correlação direta entre as regiões de esgotamento elástico e maior deformação no modelo computacional (TQS) e a localização exata das fissuras traspassantes e infiltrações na edificação real, uma vez que, conforme fundamenta Thomaz (2020), o padrão geométrico das trincas é o reflexo físico direto das trajetórias de tensões e falhas mecânicas atuantes no material.
- **Elaboração do Diagnóstico Causal:** Com base na correlação estabelecida, foi elaborado um diagnóstico técnico fundamentado, apontando as causas estruturais para o quadro de fissuração. O diagnóstico comprovou que as patologias foram decorrentes de severas falhas de dimensionamento, especificamente o uso de seções transversais insuficientes (vigas e pilares com 9 cm de base) para os esforços atuantes, o que gerou grave instabilidade torcional e flexional no pórtico.
- **Proposição de um Novo Projeto Estrutural:** A partir do diagnóstico, foi elaborado e processado um novo projeto estrutural ("Projeto Corrigido") para a residência, dimensionado corretamente segundo as diretrizes da normativa vigente (NBR 6118:2023). Este novo projeto não foi apenas uma proposta teórica de solução técnica para o caso estudado, mas serviu como um parâmetro comparativo definitivo para quantificar numericamente as insuficiências da estrutura executada e provar a eficácia do redimensionamento geométrico.

4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos por meio da integração entre os levantamentos de campo e a modelagem computacional, permitindo a análise do comportamento mecânico da estrutura da residência unifamiliar em estudo. A partir da caracterização do estado atual (*as built*) e do processamento estrutural no *software* TQS, estabeleceu-se a correlação entre as tensões internas excedentes e as manifestações patológicas observadas, culminando na proposição de um modelo estrutural adequado às normativas vigentes.

4.1 ANÁLISE DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL EXECUTADA (*AS BUILT*)

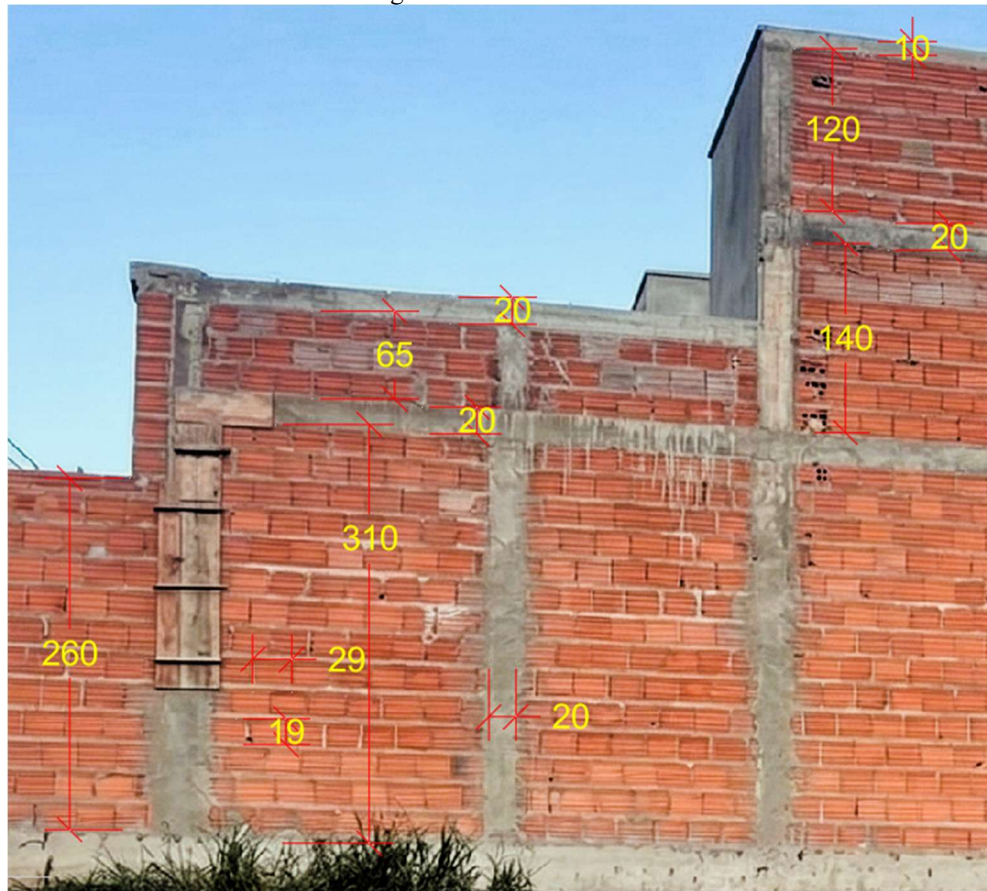
A caracterização geométrica da edificação revelou uma concepção estrutural pautada por seções transversais extremamente delgadas e em desconformidade com os critérios mínimos de segurança e durabilidade. Por meio do levantamento dimensional com trena, imagens do período construtivo (Figura 14 e Figura 15) e do auxílio da termografia, constatou-se que a totalidade do esqueleto estrutural foi executada com uma espessura de base restrita a apenas 9 cm.

Figura 14 - 9cm Executado



Fonte: Autoria própria (2026)

Figura 15 - Medidas

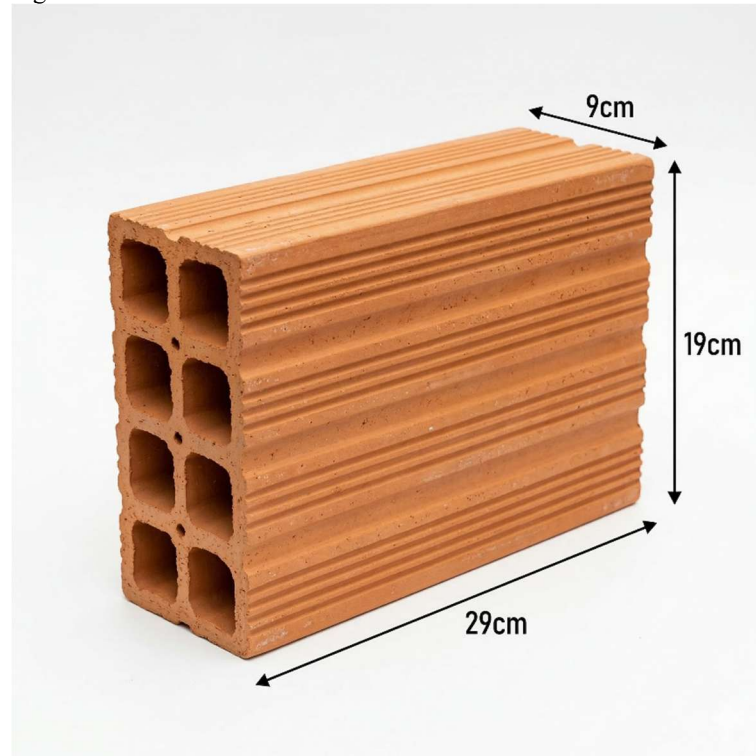


Fonte: Autoria própria (2026)

Essa dimensão restrita não é aleatória, ela corresponde exatamente à largura do bloco cerâmico de vedação (9 x 19 x 29 cm) utilizado na construção da residência, conforme ilustra a Figura 16. A investigação *in loco* evidenciou que a alvenaria foi erguida previamente e os próprios tijolos serviram como fôrma lateral para a concretagem dos pilares e vigas. Embora essa prática inadequada seja frequentemente adotada em obras informais com o intuito de manter os elementos estruturais embutidos e nivelados à parede, evitando ressaltos estéticos, ela compromete severamente a integridade do pórtico.

O uso indevido de blocos cerâmicos servindo de fôrma lateral na concretagem resulta na transferência prematura de cargas e compromete o comportamento estrutural do pórtico (Wolmer, 2023; Santos, 2022).

Figura 16 - Dimensões do bloco cerâmico utilizado como fôrma lateral



Fonte: Autoria própria (2026)

A adoção sistemática de pilares com seção de 9 x 20 cm e vigas com dimensões de 9 x 10 cm e 9 x 20 cm constitui uma violação severa aos requisitos da ABNT NBR 6118 (ABNT, 2023). Segundo a norma, a seção mínima para elementos estruturais lineares deve garantir não apenas a resistência aos esforços solicitantes, mas também o cobrimento adequado das armaduras para proteção contra a corrosão.

No caso em tela, o uso da base de 9 cm reduz o momento de inércia em relação ao eixo de menor rigidez, tornando os elementos extremamente suscetíveis à flambagem e instabilidades elásticas, mesmo sob carregamentos gravitacionais moderados vindos da laje e do telhado. Para evidenciar a gravidade das inconformidades geométricas detectadas, a Tabela 1 apresenta um comparativo entre as dimensões aferidas na estrutura existente e os limites mínimos de segurança estabelecidos pela norma brasileira.

Tabela 1 - Comparativo entre executado e exigido

Elemento Estrutural	Dimensão Executada (Base)	Mínimo Exigido (NBR 6118)	Status Normativo
Pilares	9 cm	14 cm	Não conforme
Vigas	9 cm	12 cm a 15 cm	Não conforme
Cobrimento Nominal	6cm (Prejudicado)	3 cm	3cm para armação (Inviável)

Fonte: Autoria própria (2026)

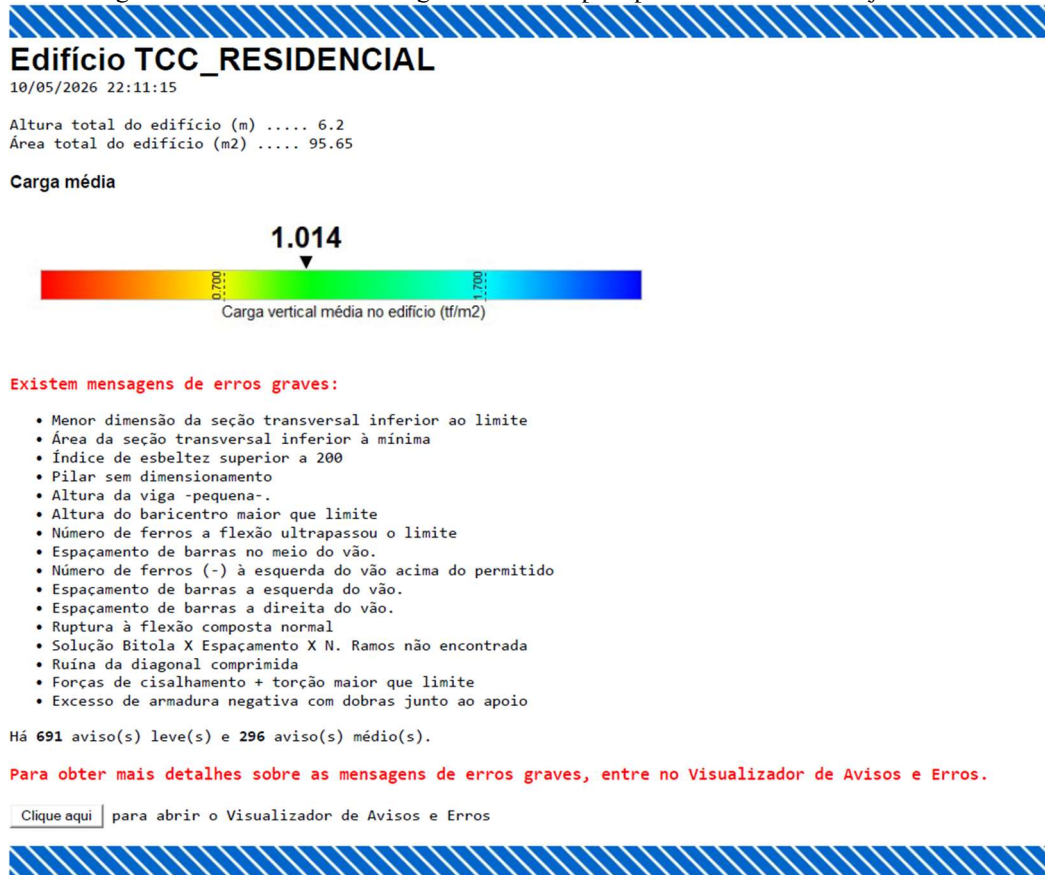
Além da fragilidade geométrica apontada, o mapeamento *in loco* confirmou que essa concepção deficitária resultou em um comprometimento direto da funcionalidade do bem. A falta de rigidez do pórtico facilitou a abertura de fissuras traspassantes que, conforme será discutido adiante, servem como canais para infiltração e percolação de águas pluviais, acelerando a degradação dos materiais e gerando desconforto aos usuários.

4.2 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL NO TQS (PROJETO REAL)

O processamento do modelo correspondente à estrutura executada no sistema TQS revelou a total inviabilidade mecânica do pórtico espacial. Assim que os carregamentos gravitacionais permanentes e acidentais foram aplicados sobre a geometria restrita da edificação, o algoritmo do *software* acusou a saturação matemática das seções, emitindo um extenso relatório de colapso que contabilizou dezenas de mensagens de erros graves de dimensionamento.

A Figura 17 reproduz o extrato original do processamento global do *as built*, evidenciando as falhas críticas que impediram o equilíbrio elástico da estrutura.

Figura 17 - Relatório de erros graves emitido pelo processamento do Projeto Real



Fonte: Autoria própria (2026)

A lista de inconsistências gerada pelo sistema não representa apenas alertas computacionais, mas sim a tradução numérica de que as tensões internas superaram, por ampla margem, a capacidade de resistência do concreto e do aço. O detalhamento dessas falhas mecânicas é destrinchado a seguir, dividindo-se o comportamento entre os elementos verticais e horizontais do pórtico.

4.2.1 Análise de tensões e instabilidade nos Pilares:

A limitação universal da seção transversal dos pilares em 9 x 20 cm resultou na quebra brutal do momento de inércia da edificação. O processamento das tensões de cálculo sob carga vertical indicou que o índice de esbeltez direcional λ dos suportes rompeu a barreira máxima permitida, gerando o erro de "Índice de esbeltez superior a 200".

Fisicamente, isso significa que os pilares se comportavam como elementos excessivamente flexíveis, sujeitos a efeitos severos de segunda ordem e com risco iminente de flambagem lateral. Na tentativa algorítmica de balancear a falta de massa de concreto com armadura, o *software* buscou alojar uma quantidade irreal e inexecutável de aço dentro das

fôrmas de 9 cm, o que gerou os alertas de "Área da seção transversal inferior à mínima" e "Pilar sem dimensionamento". Constatou-se, portanto, a impossibilidade geométrica e física de equilibrar esses elementos através da flexo-compressão.

4.2.2 Esgotamento elástico e torção nas Vigas:

A trama de vigas do projeto real acompanhou o colapso dos pilares. Modeladas com seções de 9 x 10 cm e 9 x 20 cm, as peças demonstraram profunda incapacidade de resistir aos esforços conjugados de flexão e cisalhamento, fato comprovado pela ocorrência endêmica dos avisos de "Ruptura à flexão composta normal" e "Ruína da diagonal comprimida".

A restrição da espessura base a 9 cm reduziu bastante a matriz de inércia à torção das vigas de bordo. Como a laje transmite rotações para seus apoios, a falta de largura das vigas impossibilitou a absorção desses esforços, desencadeando o erro crítico de "Forças de cisalhamento + torção maior que limite". Essa deficiência atesta que o concreto da região da alma das vigas esmagaria antes mesmo do escoamento da armadura transversal (estribos), configurando uma ruptura frágil.

Sem rigidez à flexão (devido à baixa altura) e sem rigidez à torção (devido à base estreita), as vigas entraram em estado de falência elástica, cenário que obriga a estrutura a dissipar essas tensões excedentes através da fissuração sistêmica dos elementos de vedação e do próprio pórtico.

4.3 DIAGNÓSTICO E CORRELAÇÃO DE PATOLOGIAS

A sobreposição dos relatórios de erros gerados pelo processamento computacional com o mapeamento patológico realizado *in loco* permitiu estabelecer, de forma incontestável, o nexo causal das anomalias presentes na edificação. O quadro de fissuração generalizada mapeado na residência não decorre de instabilidades de fundação ou acomodação de solo, mas representa a materialização física do colapso elástico evidenciado pelo *software* TQS.

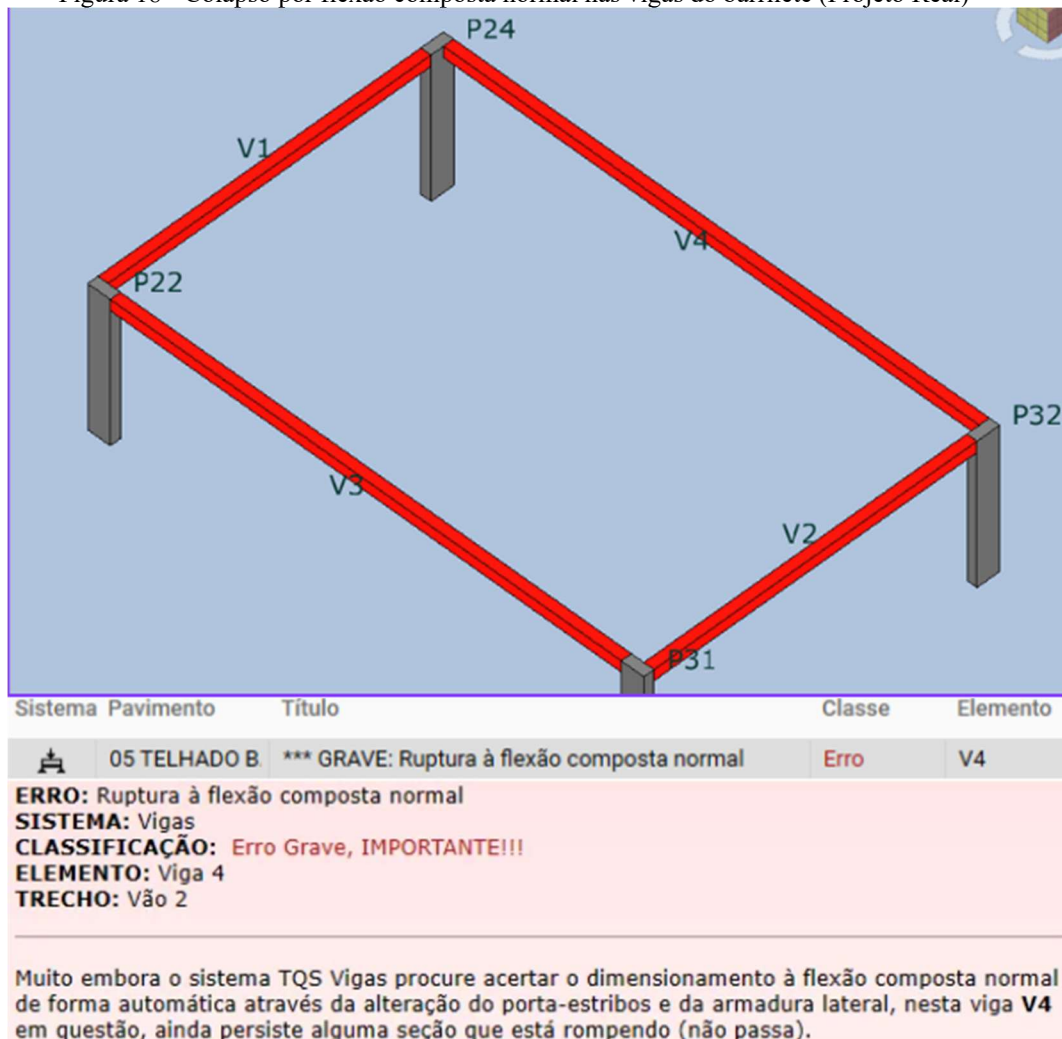
Conforme demonstrado na análise do pórtico, a restrição da largura das vigas a 9 cm afogou a matriz de inércia à torção dos apoios de borda. Quando as lajes treliçadas transferiram suas rotações para essas vigas, a falta de massa de concreto impediu a absorção do momento. Na prática, como a viga não possuía rigidez torcional suficiente, ela sofreu um giro excessivo em torno do seu próprio eixo longitudinal.

Esse giro forçado tracionou as alvenarias de vedação adjacentes, gerando as extensas fissuras horizontais e inclinadas documentadas no teto e nas paredes da sala e da suíte principal

(retornar às Figura 10 e Figura 11). As trincas que partem dos cantos superiores das esquadrias a 45°, por exemplo, evidenciam a dissipação das pesadas tensões de cisalhamento dessa torção de compatibilidade, perfeitamente alinhadas aos alertas de "Forças de cisalhamento e torção maior que limite" acusados pelo modelo matemático.

Situação igualmente crítica foi correlacionada na região da cobertura e do barrilete. A Figura 18 ilustra o modelo tridimensional dessa exata prumada no TQS, onde as vigas de contorno (destaque para a V4) colapsam computacionalmente sob o erro grave de "Ruptura à flexão composta normal". Submetidos às cargas estáticas permanentes dos reservatórios e da estrutura do telhado, e limitados à base de 9 cm, esses elementos não possuíam inércia para suportar as tensões de compressão e tração simultâneas.

Figura 18 - Colapso por flexão composta normal nas vigas do barrilete (Projeto Real)



Fonte: Autoria própria (2026)

Esse esgotamento elástico das vigas de coroamento, somado ao erro computacional de "Índice de esbeltez superior a 200" nos pilares de apoio dessa zona, refletiu-se em campo de forma idêntica à previsão. A fissura vertical e os sinais de afastamento na alvenaria externa do barrilete (retornar à Figura 12) são o sintoma físico e direto dessa excessiva deformação por flexão e da flambagem lateral incipiente do pórtico, que, ao ceder, transferiu toda a carga da cobertura para a parede de tijolos de vedação.

Por fim, o diagnóstico comprova que as patologias comprometeram severamente o Estado Limite de Serviço da estrutura. A fissuração dinâmica provocada pelas torções rasgou as paredes de tijolo cerâmico de lado a lado. Por serem traspassantes, essas aberturas romperam a estanqueidade da edificação, justificando as intensas infiltrações, percolações de águas pluviais e o surgimento de manchas de umidade flagradas nos registros fotográficos do interior da casa.

Em suma, a residência fissurou sistematicamente porque a estrutura, subdimensionada e embutida em uma fôrma de 9 cm, precisou se deformar além de seus limites elásticos para encontrar um novo estado de equilíbrio geométrico, transferindo todo o estresse mecânico não suportado para a alvenaria.

4.4 PROPOSIÇÃO DE CORREÇÃO E ADEQUAÇÃO NORMATIVA (PROJETO CORRIGIDO)

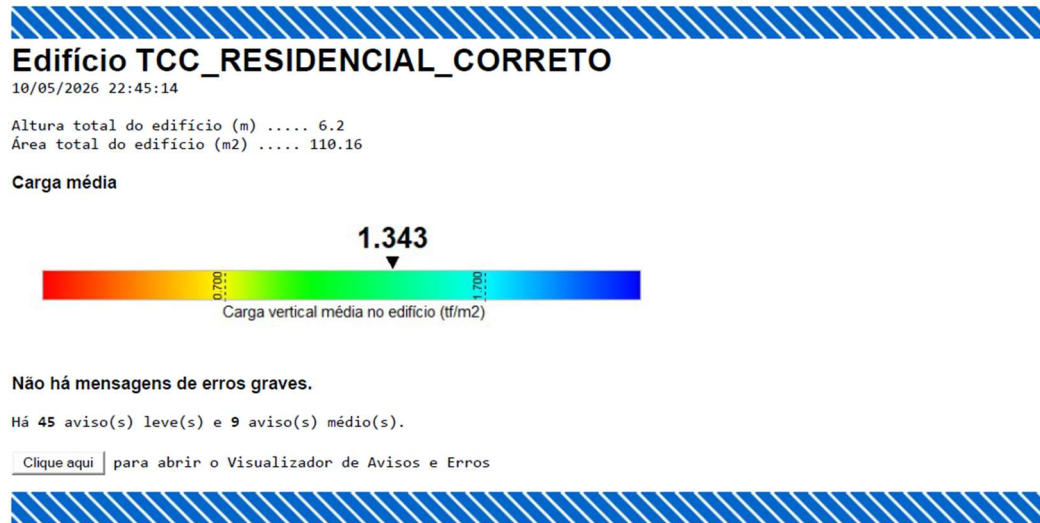
A etapa final deste estudo consistiu em provar, matematicamente, que a obediência aos critérios geométricos e normativos anula as instabilidades responsáveis pelo quadro patológico da residência. Para isso, o modelo foi redimensionado no TQS ("Projeto Corrigido"), restaurando as inércias através do ajuste das seções transversais.

4.4.1 Adequação geométrica e controle de fissuração:

O redimensionamento focou em devolver massa ao concreto para combater as tensões de cisalhamento e torção. A base das vigas foi padronizada para 14 cm, e os pilares assumiram seções mínimas viáveis de 20 x 25 cm e 20 x 30 cm. Esse incremento geométrico simples, porém, exigido por norma, sanou completamente o estrangulamento da inércia torcional dos apoios de borda.

Como comprovação documental da eficácia dessa intervenção, o novo processamento global do pórtico atestou a estabilidade do modelo, eliminando os erros graves, agora apresentando que "Não há mensagens de erros graves." (Figura 19).

Figura 19 - Relatório do processamento global do Projeto Corrigido



Fonte: Autoria própria (2026)

Os únicos alertas registrados pelo sistema limitaram-se a 45 avisos leves, referentes a otimizações paramétricas de detalhamento, e 9 avisos médios, associados especificamente aos índices de esbeltez de elementos isolados nos muros de contorno. Tais ressalvas são inerentes à modelagem de elementos esbeltos de vedação não estrutural e não exercem qualquer influência ou comprometimento sobre a matriz de rigidez e a estabilidade global do pórtico principal do edifício.

4.4.2 Racionalização do consumo de materiais:

A adequação normativa não apenas salvou a estrutura do colapso mecânico, como também restabeleceu a viabilidade executiva e financeira do projeto. O processamento do pórtico comprovou que a premissa de compensar a falta de concreto (fôrmas de 9 cm) com o aumento indiscriminado de armadura mostra ser uma premissa insustentável.

No modelo *as built*, a escassez de rigidez geométrica obrigava o algoritmo a buscar taxas de aço irreais e inexecutáveis, culminando em consumos exorbitantes, como os 167,3 kgf/m³ identificados no pórtico de pilares. Ao instituir a geometria correta no novo modelo, o volume total de concreto estrutural da edificação subiu para 23,81 m³.

Esse acréscimo forneceu a inércia exata que a estrutura demandava para não torcer sob as cargas das lajes e do telhado. Como consequência, as peças passaram a trabalhar dentro de suas envoltórias elásticas ideais, o que despencou a densidade global de armadura para eficientes 83,99 kgf/m³. A correção provou que uma estrutura em conformidade com a ABNT

NBR 6118 (ABNT, 2023) não é apenas imune aos colapsos que geraram as patologias relatadas, mas também apresenta um comportamento racional e otimizado no consumo de materiais.

5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa atingiu seu objetivo geral ao estabelecer a correlação direta entre as manifestações patológicas observadas *in loco* e as falhas de concepção e dimensionamento estrutural da residência unifamiliar estudada. A metodologia empregada, que uniu a inspeção pericial termográfica à modelagem computacional no sistema TQS, demonstrou ser uma ferramenta diagnóstica de alta precisão e confiabilidade.

A investigação concluiu, que o quadro generalizado de fissuração e a consequente quebra de estanqueidade da edificação não tiveram origem em recalques de fundação, mas sim no esgotamento elástico da superestrutura. A causa raiz das patologias foi a adoção sistemática de seções transversais com apenas 9 cm de base para pilares e vigas, uma decisão executiva pautada no uso do bloco cerâmico de vedação como fôrma lateral.

O processamento do modelo *as built* comprovou que essa restrição geométrica violou severamente as prescrições da NBR 6118, afogando a matriz de inércia da estrutura. Sem rigidez à flexão e à torção, o pórtico espacial tornou-se incapaz de absorver as rotações de compatibilidade das lajes e os esforços gravitacionais, transferindo todo o estresse mecânico não suportado para as alvenarias, o que culminou no rasgamento das paredes e nos esmagamentos locais. O mapeamento físico validou as previsões matemáticas, com as fissuras reais ocorrendo nas exatas coordenadas onde o algoritmo acusou ruptura e colapso por flexão composta normal e forças de cisalhamento.

Em contrapartida, o desenvolvimento do "Projeto Corrigido" atestou que a obediência aos critérios mínimos normativos é a única via para a estabilidade. O alargamento das bases das vigas para 14 cm e o uso de seções adequadas para os pilares (20 x 25 cm e 20 x 30 cm) devolveram a massa necessária ao concreto, sanando todas as deficiências de giro transversal e esbeltez.

Por fim, este trabalho de conclusão de curso transcende a análise de um caso isolado e firma-se como um alerta técnico contra a informalidade na construção civil. Fica evidenciado que a prática de estrangular elementos estruturais em 9 cm para evitar ressaltos estéticos na alvenaria condena a edificação à instabilidade, à patologia crônica e à inviabilidade financeira, reforçando a premissa de que a segurança e o desempenho de uma obra dependem, invariavelmente, do rigoroso cumprimento da engenharia normativa.

REFERÊNCIAS

- ALEME ENGENHARIA. **Otimização de Armaduras e Consumo de Aço**. YouTube, 22 nov. 2023. Disponível em: https://youtu.be/kmmFjY_L6Tk?si=9Fbjfy0EALDiQnt3. Acesso em: 21 abr. 2026.
- ANTOS, Allembert. **O uso indevido de alvenaria como fôrma para concretar pilares e vigas de concreto armado**. Allembert Engenharia, 30 ago. 2022. Disponível em: <https://www.allembertengenharia.com.br/post/o-uso-indevido-de-alvenaria-como-forma-para-concretar-pilares>. Acesso em: 14 jun. 2026.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13752: *Perícias de engenharia na construção civil*. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto* — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: *Ações para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575: *Impermeabilização - Seleção e projeto*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- FILIPI FRANÇA | ENGENHARIA CIVIL. **Erros Graves de Dimensionamento e Ruptura**. YouTube, 05 set. 2023. Disponível em: <https://youtu.be/ZgR9zb1nsho?si=qaacItBKfwp--Dvj>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- FILIPI FRANÇA | ENGENHARIA CIVIL. **Resumo Estrutural**. YouTube, 30 jan. 2024. Disponível em: <https://youtu.be/estweqZejGk?si=y2STAYSffEdCTRWg>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- HELENE, Paulo R. L. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.
- LEONHARDT, Fritz; MÖNNIG, Edgar. *Construções de Concreto – Vol. 2: Dimensionamento de Elementos de Concreto Armado*. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.
- MARCELLI, Maurício. *Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras*. São Paulo: Pini, 2007.
- RUA, Lázara Thaís Ferreira. *Elaboração de laudo pericial: análise de patologias em edificação residencial unifamiliar localizada em Jataí – GO*. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Jataí, 2025.
- SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, Ercio. Fissuras em Alvenaria Estrutural. Revista FT, 27 mar. 2020. Disponível em: <https://revistaft.com.br/fissuras-em-alvenaria-estrutural/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

THOMAZ, Ercio. *Trincas em edifícios*: causas, prevenção e recuperação. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

VIGA DE ENGENHEIRO. **Configurações de Vento no TQS**. YouTube, 15 fev. 2023. Disponível em: <https://youtu.be/hHI712ONfHs?si=S8GLx7l1bkR4pqCa>. Acesso em: 20 abr. 2026.

WOLMER, Wanzley R. S. **Identificação de incoerências normativas em uma residência autoconstruída no município de Pombal – PB**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2023.

APÊNDICE A - MODELAGEM ESTRUTURAL

Este apêndice apresenta o detalhamento dos procedimentos e critérios técnicos adotados para a elaboração do modelo estrutural analítico da residência objeto deste estudo. O objetivo deste registro é conferir transparência à metodologia de cálculo e permitir a reprodutibilidade das análises de esforços e deformações que fundamentam o estudo das manifestações patológicas discutidas no corpo deste trabalho.

A modelagem foi desenvolvida no sistema TQS (versão 25.14), utilizando o método do pórtico espacial para a simulação do comportamento global da estrutura. Para garantir que o modelo digital reflita com fidelidade o comportamento físico da edificação real, foram seguidas rigorosamente as prescrições da NBR 6118:2023 (Projeto de estruturas de concreto) e da NBR 6120:2019 (Ações para o cálculo de estruturas de edificações).

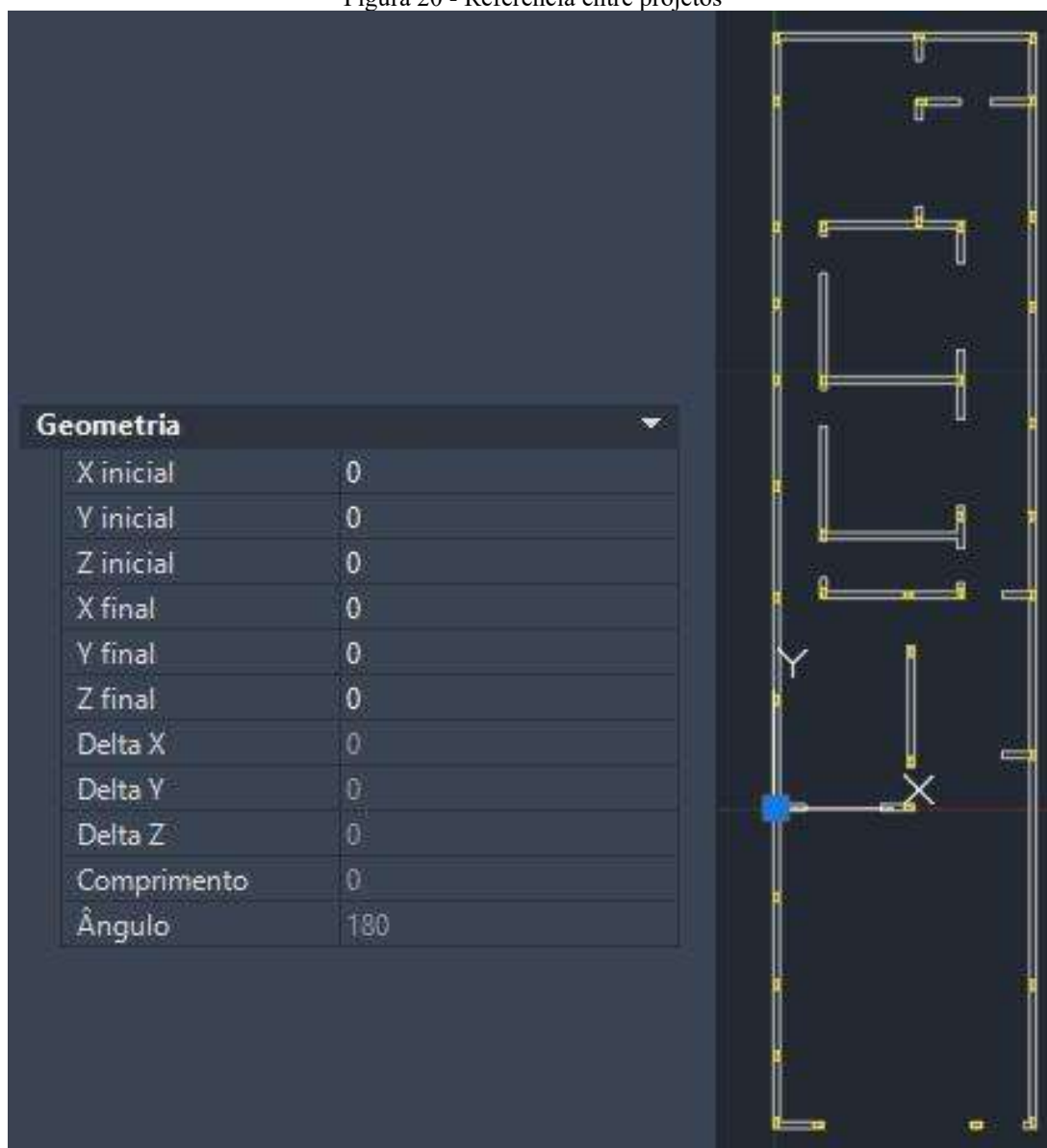
Os tópicos a seguir descrevem as etapas de compatibilização geométrica entre arquitetura e estrutura, a definição das propriedades das lajes treliçadas e o memorial detalhado dos carregamentos permanentes e acidentais aplicados. Para assegurar essa transparência, informa-se que todos os arquivos originais, incluindo as plantas arquitetônicas em formato DWG e os modelos computacionais processados no TQS, encontram-se arquivados e podem ser disponibilizados pelo autor mediante solicitação.

A.1. PREPARAÇÃO DA ARQUITETURA E LANÇAMENTO INICIAL

A etapa inicial da modelagem estrutural consistiu na compatibilização das plantas baixas de arquitetura, fornecidas em formato DWG, para que servissem como base ao lançamento no *software* TQS. Este procedimento é crítico para que atuassem como referência externa (gabarito espacial) durante o lançamento no *software*.

Para evitar desalinhamentos entre os pavimentos Fundação, Laje, Telhado, Laje Barrilete e Telhado Barrilete, foi adotada a metodologia do "Pilar Mestre". Selecionou-se um ponto de referência comum a todos os níveis, neste projeto foi escolhida a quina inferior esquerda do pilar P31 por se repetir em todos os 5 projetos. No AutoCAD, todos os elementos de cada pavimento foram movidos de modo que este ponto de referência coincidisse exatamente com a coordenada de origem absoluta (0,0,0) assim como mostra a Figura 20.

Figura 20 - Referência entre projetos



Fonte: Autoria própria (2026)

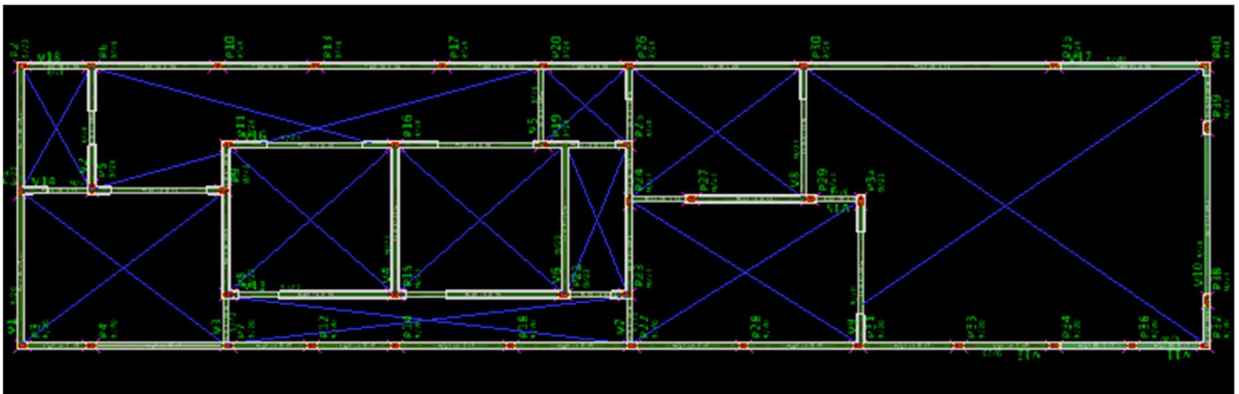
Após a organização dos arquivos na origem, as plantas foram importadas para o Modelador Estrutural do TQS através do comando “Referência Externa”. Na configuração de importação, utilizou-se o fator de escala 100 para converter as unidades de desenho e a opção de manter as cores originais da arquitetura para facilitar a distinção visual durante o lançamento dos elementos de concreto. Este alinhamento prévio garantiu que, ao realizar a cópia da planta da Fundação para o nível da Laje, os pilares e vigas mantivessem a continuidade geométrica necessária para o processamento do pórtico espacial.

A.2. LANÇAMENTO E CONECTIVIDADE DOS ELEMENTOS

O lançamento dos elementos estruturais de concreto armado foi executado tendo como base o arquivo DWG exportado do AutoCAD. Com a arquitetura travada na origem (0,0,0), a estrutura foi modelada de acordo com o arquitetônico como se fossem “hachuras” preenchendo todas as vigas e pilares desenhados anteriormente no AutoCAD, sendo estritamente regida pela conectividade entre os eixos que compõem o esqueleto projeto.

Operacionalmente, o lançamento das vigas foi executado forçando a precisão geométrica por meio de ferramentas como o *Snaps*, atalhos de teclado para Interseção (F2), Extremidade (E), Linha Ortogonal (F10) e Ponto Médio (M). O eixo analítico da viga foi ancorado no centro exato do primeiro pilar e arrastado até o centro do último pilar daquele alinhamento, assegurando a continuidade do nó estrutural tendo como um dos resultados a estrutura da Figura 21.

Figura 21 - Pavimento térreo no TQS



Fonte: Autoria própria (2026)

Para garantir a correta transferência de cargas das vigas para os apoios, estabeleceu-se como critério rigoroso de modelagem a conexão do eixo central das vigas exatamente no centro de gravidade (CG) dos pilares correspondentes. A inserção de vigas apoiadas apenas na face geométrica do pilar poderia gerar nós desconectados no modelo de pórtico espacial, resultando em elementos estruturalmente sem apoio. Modelagens com essa imprecisão comprometem a matriz de rigidez da estrutura, mascaram os diagramas de momentos fletores e geram falsas redistribuições de esforços, fatores que, na prática, levam ao subdimensionamento de armaduras e são causas primárias do surgimento de trincas e manifestações patológicas investigadas neste estudo.

A.3. PARÂMETROS E PROPRIEDADES

O TQS requer configurações e definições de materiais, dos limites de cobertura que afetam inércias da estrutura, carregamentos, ações e vetores. A parametrização do cálculo para ambos os projetos (Real e Corrigido) baseou-se no "Modelo integrado de pórtico espacial IV" fornecido pelo sistema TQS (Figura 22). O Modelo IV estrutura-se na representação tridimensional completa, onde vigas e pilares são convertidos em barras elásticas interconectadas. Cada nó do pórtico é dotado de seis graus de liberdade globais: translação nos eixos X, Y, Z e rotação em torno dos mesmos eixos ($U_x, U_y, U_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$).

Figura 22 - Modelo integrado

Gerais | Modelo | Pavimentos | Materiais | Cobrimentos | Cargas | Critérios | Gerenciamento

Modelo estrutural do edifício:

IV ☒ Modelo de vigas e pilares, flexibilizado conforme critérios.

VI ☐ Modelo de vigas, pilares e lajes, flexibilizado conforme critérios.

Outros

Modelos independentes

☒ A estrutura se comporta como um corpo único, sem juntas ou torres separadas

☐ Comportamento de corpos separados por espaços ou juntas, sob ação de vento

Vigas de transição / tirantes

Processo P-Delta

Análise dinâmica modal e de vento

Interação Solo-Estruturas

Pré-moldados

Efeito incremental

O edifício será modelado por um pórtico espacial mais os modelos dos pavimentos (vigas contínuas ou grelhas). O pórtico será composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com o efeito de diafragma rígido das lajes devidamente incorporado. Os efeitos oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares serão calculados com o pórtico espacial. Nas lajes, somente os efeitos gerados pelas ações verticais serão calculados, de acordo com o modelo selecionado para os pavimentos. Nos pavimentos simulados por grelha de lajes, os esforços resultantes das barras de lajes sobre as vigas serão transferidas como cargas para o pórtico espacial, ou seja, há uma certa integração entre ambos os modelos (pórtico espacial e grelhas). Para os demais tipos de modelos de pavimento, as cargas das lajes serão transferidas para o pórtico por meio de quinhões de carga. Tratamento especial para vigas de transição e que suportam tirantes pode ser ativado no botão abaixo. A flexibilização das ligações viga-pilar, a separação de modelos específicos p/avaliações ELU e ELS, bem como seus respectivos coeficientes de não-linearidade física, são controlados por critérios gerais do Pórtico-TQS.

Fonte: Autoria própria (2026)

A.3.1 Resistência Característica do Concreto

No processamento do Projeto Real, o concreto de todas as instâncias (Lajes, Vigas, Pilares) foi unificado sob a resistência de 25 MPa. Contrastando com esta fragilidade, o Projeto Corrigido foi utilizado as seguintes resistências características:

- **Lajes:** 45 MPa.
- **Vigas:** 45 MPa.
- **Pilares:** 30 MPa.

A.3.2 Especificações de Cobrimento e Durabilidade

O distanciamento entre as faces externas do concreto e a armadura longitudinal ou transversal dita a longevidade da peça estrutural ante a Classe de Agressividade Ambiental (CAA). Esses cobrimentos afetam diretamente a altura útil das seções, reduzindo o braço de alavanca interno suportado. Em ambas as modelagens (Real e Corrigida), para efeitos de comparativo igualitário, as métricas de durabilidade foram fixadas identicamente, isolando a causa das ruínas nas dimensões geométricas brutas e armaduras:

- **Lajes:** 2,5 cm de recobrimento inferior e 2,5 cm superior.
- **Vigas:** 3,0 cm em todas as faces.
- **Pilares:** 3,0cm em todas as faces.

Para as peças do Projeto Real, com espessuras 9 cm, esse cobrimento escancara a total impossibilidade de segurança.

A.4 DISTRIBUIÇÃO DOS CARREGAMENTOS

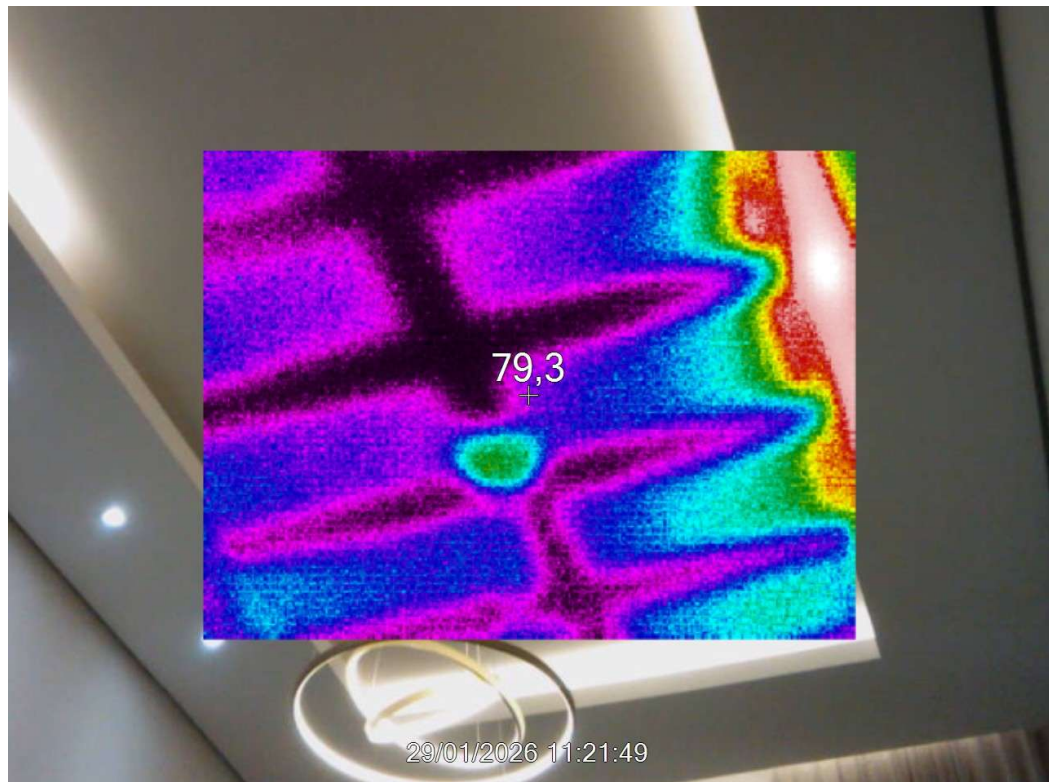
As cargas aplicadas a estrutura seguiram as tabelas normativas e especificações da NBR 6120.2018 Ações para o cálculo de estruturas de Edificações.

A.4.1 Propriedades das Lajes Treliçadas com EPS

A identificação do sistema construtivo das lajes da residência foi realizada por meio de inspeção *in loco*, utilizando a câmera térmica. A análise termográfica permitiu identificar, através do gradiente de temperatura assim como na Figura 23, o contraste entre as nervuras de

concreto (vigotas) e os elementos de enchimento, confirmando o uso de lajes treliçadas com blocos de Poliestireno Expandido (EPS). Esta etapa de diagnóstico foi fundamental para garantir que os parâmetros de rigidez e peso próprio inseridos no *software* fossem condizentes com a realidade construída.

Figura 23 - Laje treliçada em EPS



Fonte:

Fonte: Autoria própria (2026)

Geometricamente, a seção da laje foi programada contendo os seguintes parâmetros para laje Real (Figura 24) e laje Corrigida (Figura 25).

Figura 24 - Laje real

Vigota (sapata) Base B 13 cm Altura A 3 cm Mini-Painel ☒ Não ☐ Sim		Enchimento Fabricante Editar EPS Bidirecional Concreto Cerâmica EPS LEV Unidirecional Bloco H07/33/120 H08/33/120 H10/33/120 H10/40/120 Peso específico 0.018 tf/m ³		
Nervura transversal A cada 1 blocos Largura 0 Tamanho cm		Capa hf 4 cm Largura bl 9 cm	Altura H 12 cm Tamanho tl 33 cm	

Fonte: Autoria própria (2026)

Figura 25 - Laje corrigida

Fonte: Autoria própria (2026)

O lançamento das linhas de inércia destas vigotas ocorreu paralelamente ao sentido do menor vão. Tal arranjo minimiza a flexão máxima positiva transferindo com maior eficiência as reações para as vigas.

A.4.2 Cargas Lineares de Vedação (Alvenarias)

Os paramentos verticais de fechamento representam a fração mais densa das cargas permanentes incidentes sobre as vigas. As alvenarias foram padronizadas utilizando tijolo cerâmico (9 x 19 x 29 cm) somado à aplicação de reboco de 2 cm por face externa e interna.

Com base nos cadernos de carga da NBR 6120:2019 (Figura 26), o peso por metro quadrado de área vertical (tf/m^2) adotado foi de **0,15 tf/m^2** para o tijolo de 9 cm e **0,18 tf/m^2** para o tijolo de 14 cm.

Figura 26 - Cargas de alvenaria

Alvenaria	Espessura nominal do elemento cm	Peso Espessura de revestimento por face kN/m^2		
		0 cm	1 cm	2 cm
Blocos de concreto vazados	6,5	1,0	1,3	1,7
	9	1,2	1,5	1,9
	11,5	1,4	1,7	2,1
	14	1,5	1,8	2,2
	19	2,0	2,3	2,7
Blocos cerâmicos vazados	6,5	0,7	1,0	1,4
	9	0,8	1,1	1,5
	11,5	0,9	1,2	1,6
	14	1,1	1,4	1,8
	19	1,3	1,6	2,0

Fonte: NBR.6120 (2019)

Estas ações se transformaram em forças uniformemente distribuídas em linha (tf/m) multiplicando-se pelo pé-direito do pavimento, originando o carregamento sobre os eixos das vigas conforme a Tabela 2 para a Alvenaria Real e a Tabela 3 para Alvenaria Corrigida.

Tabela 2 - Alvenaria real

Local da alvenaria	Altura (m)	tf/m ²	tf/m
Fachada	2,60	0,15	0,39
Piso - Laje	3,10	0,15	0,465
Laje - Telhado	0,65	0,15	0,0975
Laje - Laje B	1,40	0,15	0,21
Laje B – Telhado B	1,20	0,15	0,18

Fonte: Autoria própria (2026)

Tabela 3 - Alvenaria corrigida

Local da alvenaria	Altura (m)	tf/m ²	tf/m
Fachada	2,60	0,18	0,468
Piso - Laje	3,10	0,18	0,558
Laje - Telhado	0,65	0,18	0,117
Laje - Laje B	1,40	0,18	0,252
Laje B - Telhado B	1,20	0,18	0,216

Fonte: Autoria própria (2026)

A.4.3 Carregamentos de Cobertura e Telhado

As coberturas, foram processadas isoladamente como cargas superficiais permanentes e variáveis aplicadas aos suportes adjacentes (terças e vigas secundárias). O sistema construtivo real são telhas de fibrocimento onduladas finas apoiadas em estrutura leve de madeira, computando uma carga estática permanente de telhado de **0,04 tf/m²**, assim como consta na Figura 27 e devido a uma possível manutenção, a norma exige uma carga variável acidental operacional de manutenção, fixada em **0,01 tf/m²**, resultando na Tabela 4 para distribuição das cargas do telhado linearmente nas vigas que recebem o telhado.

Figura 27 - Cargas telhado

Composição	Peso na superfície horizontal kN/m ²
Com telhas cerâmicas em geral (exceto tipo germânica e colonial) e estrutura de madeira com inclinação $\leq 40\%$	0,7
Com telhas de fibrocimento onduladas (com espessura até 5 mm) e estrutura de madeira	0,4
Com telhas de alumínio (com espessura até 0,8 mm) e estrutura metálica de aço	0,3
Com telhas de alumínio (com espessura até 0,8 mm) e estrutura metálica de alumínio	0,2
Com telhas de fibrocimento tipo canaleta (com espessura 8 mm) e estrutura de madeira	0,35
NOTA: Peso por metro quadrado de telhado, na superfície horizontal, incluindo a estrutura de suporte (tesouras, terças, caibros e ripas).	

Fonte: NBR.6120 (2019)

Tabela 4 - Telhado

Local Telhado	Área (m ²)	tf/m ²	Perímetro (m)	tf/m	Variável Manut. (tf/m ²)
Casa	90,90	0,04	88,10	0,0413	0,01
Barrilete	14,18	0,04	15,48	0,0366	0,01

Fonte: Autoria própria (2026)

A.5 MODELAGEM: PROJETO REAL (*AS BUILT*)

A transcrição integral das inconformidades do "Projeto Real" resultou em um banco de dados analítico caracterizado pela inadequação generalizada de esbeltezes, excentricidades intoleráveis e ruptura de inércias seccionais. Todos os pilares e vigas detalhados apresentam as seções efetivas processadas no *software*.

A.5.1 Configuração Esforços nos Pilares (*As Built*)

O TQS foi programado para processar a malha com 40 elementos de pilar (P1 a P40). A característica marcante e fundamentalmente falha da modelagem *as built* é a limitação universal da seção transversal em delgados **9 x 20 cm**. Essa espessura viola severamente o limite mínimo normativo, anulando o momento de inércia ao redor do eixo de menor rigidez e

inflando exponencialmente as tensões secundárias. A modelagem expôs uma taxa geométrica de armadura inexecutável, cujo consumo médio registrou a impressionante marca de **167,3 kgf/m³** de aço por volume de concreto.

O processamento das tensões de cálculo sob carga vertical (combinação crítica ELU TQS Pilar), os índices de esbeltez direcional (λ) e as forças normais adimensionais (ν) expuseram patamares onde o algoritmo sinaliza saturação matemática ("Não ok"), indicando a impossibilidade física de balanceamento na seção sob as leis de equilíbrio da flexo-compressão reta ou oblíqua. A tabela abaixo descreve o espectro completo das instâncias modeladas:

A.5.2 Configuração Seccional e Esforços nas Vigas (*As Built*)

A trama de vigas do projeto Real acompanhou o subdimensionamento dos pilares. A modelagem considerou vigas de perfis extremamente esbeltos em espessura e altura. O levantamento computacional agrupou as vigas de acordo com setores do carregamento. As seções informadas e processadas foram divididas entre **9 x 10 cm** e **9 x 20 cm**.

A relação Altura/Comprimento (H/L) operou em patamares baixíssimos, atestando falta de rigidez à flexão, enquanto a taxa geométrica da armadura transversal frequentemente acusou "Não ok", refletindo o estado inerte da seção contra forças cortantes. A ocorrência endêmica de Flexão Composta Normal corrobora a incapacidade da viga de trabalhar à pura flexão em decorrência da interação de eixos.

A avaliação das vigas (compostas por seções de 9x10 cm e 9x20 cm) revelou três problemas críticos decorrentes de sua geometria:

- **Falência Elástica e Torcional:** A base restrita a 9 cm afoga a matriz de inércia à torção, tornando a estrutura incapaz de suportar os esforços solicitantes e gerando severa instabilidade elástica.
- **Colapso Computacional:** Diversos elementos ao longo dos pavimentos excederam seus limites de resistência ("Não ok"), demonstrando a impossibilidade física de manter o pórtico estável.
- **Taxas de Aço Inexequíveis:** Como reflexo do esgotamento algébrico dos diagramas, o modelo exigiu concentrações absurdas e irreais de armadura em uma tentativa matemática falha de compensar a falta de rigidez do concreto.

A.6 MODELAGEM: PROJETO CORRIGIDO (NORMATIVO)

Para contornar o colapso verificado nas simulações *as built*, a concepção do "Projeto Corrigido" seguiu as especificações da NBR 6118. O TQS foi alimentado com novas matrizes de seções transversais, restaurando as inércias plásticas perante o Estado Limite Último, minimizando os avisos de colapso combinatório para zero e promovendo taxas de consumo de material racionalizadas e exequíveis.

A.6.1 Otimização Seccional e Esforços nos Pilares (Corrigido)

A calibração do banco de pilares reestruturou 40 instâncias (P1 a P40) visando afastar o risco de flambagem (controle da esbeltez λ) e equalizando as tensões longitudinais de compressão (σ). O dimensionamento optou por estabelecer a seção transversal modular mínima viável de 20 x 25 cm para a maioria absoluta dos apoios, englobando os pilares P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P10, P11, P12, P14, P15, P16, P18, P19, P20, P21, P24, P25, P26 e P30.

Para as zonas de descarga mais agressivas de reações da treliça ou apoios de viga contínua multipavimento, a seção migrou para os eixos com 20 x 30 cm, abrangendo os pilares P9, P13, P17, P22, P23, P27, P29, P31, P32, P33, P34, P35, P36, P37, P38, P39 e P40. O pilar P28 exigiu uma conformação isolada especial de reforço lateral, resultando na seção de 20 x 50 cm. Essa manobra reduziu incisivamente a taxa global ponderada de armadura para equilibrados 92,7 kgf/m³. Os resultados computacionais processados para cada pilar, com seus lances e índices adequados, atestam o pleno êxito do projeto normativo:

A.6.2 Otimização Seccional e Esforços nas Vigas (Corrigido)

A alteração nas dimensões das vigas foi igualmente drástica na parametrização corretiva. O TQS operou a distribuição da malha sob perfis dotados de bases expandidas para 14 cm, viabilizando o alojamento de estribos contínuos e armaduras densas com a cobertura legal de 3 cm exigida pelo arranjo ambiental pré-determinado, impedindo a ruína constatada no cenário anterior e permitindo a dissipação correta dos fluxos dos momentos no modelo de pórtico espacial IV. O modelo segmentou a malha de inércia nos seguintes escopos estruturais:

A avaliação do pórtico com as novas seções geométricas (14x20 cm e 14x30 cm) confirmou o sucesso do dimensionamento normativo, destacando três melhorias fundamentais no comportamento da estrutura:

- **Estabilidade Torcional e Flexional:** O alargamento da base para 14 cm devolveu à estrutura a rigidez necessária para suportar ações indiretas de alvenaria e anular completamente a falha mecânica por giro transversal (torção).
- **Controle de Fissuração e Cisalhamento:** A correta distribuição geométrica conteve as tensões transversais, limitando o estresse cisalhante e prevenindo o aparecimento de novas patologias de bordo.
- **Racionalidade de Materiais:** Ao colocar a estrutura para trabalhar dentro das envoltórias elásticas corretas, o modelo substituiu o consumo de aço astronômico e emergencial por taxas de armação estáveis, otimizadas e reais para a execução da obra.

A transposição precisa destas grandezas físicas, reações gravimétricas e propriedades químicas para os modelos vetoriais no *software* permitiu consolidar este apêndice técnico que isola, estritamente do ponto de vista do algoritmo de modelagem, as falhas patentes do modelo executado em contraposição ao modelo dimensionado seguindo integralmente as rotinas espaciais tridimensionais aprovadas no estado da arte da engenharia normativa.