

Tema: Estruturas de Aço e Mistas de Aço e Concreto

**Os Efeitos da Amplitude Térmica do Ambiente em Estruturas de Aço para Edificações:  
Um Estudo de Caso**

Danielle Malvaris Ribeiro<sup>1</sup>  
Glauco José de Oliveira Rodrigues<sup>2</sup>

**Resumo**

A variação de temperatura pode ser considerada um carregamento capaz de provocar esforços em estruturas hiperestáticas, tais quais a de uma edificação, quando concebida como um pórtico tridimensional. Acompanhando estas solicitações, surgem os deslocamentos nodais que, em se tratando de aço, material de alta condutibilidade térmica, acenam como fator de alta relevância e que não deve em hipótese nenhuma ser desprezado nos projetos de estruturas em aço. O presente trabalho tem por objetivo, apresentar um estudo de caso real de uma edificação de alto padrão com estrutura em aço construída na cidade do Rio de Janeiro, que apresentou patologias visíveis, imediatas e recorrentes em seus componentes não estruturais (alvenarias e revestimentos), cuja retro análise estrutural, considerando o efeito da variação de temperatura devida a amplitude térmica sazonal estimada, as justificou e viabilizou a propositura de soluções mitigatórias. A estrutura da edificação foi remodelada e o efeito variação de temperatura do ambiente considerado nas combinações de carregamento. Para tanto foi utilizada a ferramenta computacional Cype 3D (conforme os critérios da NBR 8800:2008), e constatou-se que os deslocamentos nodais (em especial os causadores das patologias) eram perfeitamente compatíveis com os medidos *in loco*, através das aberturas de trincas nos componentes não estruturais da edificação. Foram propostas duas soluções objetivando-se a redução dos deslocamentos nodais devidos ao efeito de alongamento/encurtamento de algumas vigas da edificação em função dos efeitos da variação de temperatura, decorrentes da amplitude térmica sazonal na Cidade do Rio de Janeiro.

**Palavras-chave:** Variação de temperatura; Edificações em aço; Estruturas metálicas, Análise estrutural.

## **The Effects of Environmental Thermal Amplitude on Steel Structures for Buildings: A Case Study**

### **Abstract**

The temperature variation can be considered a load capable of causing efforts in hyperstatic structures, such as a building, when conceived as a three-dimensional frame. Accompanying these requests, nodal displacements appear which, in the case of steel, a material of high thermal conductivity, rise as a highly relevant factor and which should under no circumstances be neglected in the design of steel structures. The objective of this work is to present a real case study of a high standard building with a steel structure built in the city of Rio de Janeiro, which presented visible, immediate and recurrent pathologies in its non-structural components (masonry and coatings), whose structural retro analysis, considering the effect of the temperature variation due to the estimated seasonal thermal amplitude, justified them and enabled the proposition of mitigation solutions. The structure of the building was remodeled and the environmental temperature variation effect considered in the load combinations. For this purpose, the computational tool Cype 3D was used (according to the criteria of NBR 8800:2008), and it was found that the nodal displacements (especially those that cause the pathologies) were perfectly compatible with those measured, through the crack openings in the non-structural components of the building. Two solutions were proposed with the aim of reducing nodal displacements due to the elongation/shortening effect of some beams in the building due to the effects of temperature variation, resulting from the seasonal thermal amplitude in the City of Rio de Janeiro.

**Keywords:** Temperature variation; Steel buildings; Metal structures, Structural analysis.

<sup>1</sup> Engenheira Civil/UERJ, M.Sc., Professora Assistente, Curso de Graduação em Engenharia Civil, UVA e UNESA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Civil/UERJ, D.Sc., Professor Adjunto, Departamento de Estruturas e Fundações / UERJ e Curso de Graduação em Engenharia Civil e Ambiental / PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O aço apresenta-se cada vez mais como uma solução consolidada para construções industrializadas, otimizando prazo, custo e difundindo uma racionalização do sistema, proporcionando assim maior sustentabilidade no processo de construção. Contudo, devem ser consideradas suas propriedades físicas e mecânicas para um melhor entendimento de seu comportamento aplicados a soluções estruturais em projetos de casas, edifícios, galpões, dentre outros.

Um ponto de atenção é a interface de sistemas de vedação utilizados com a estrutura metálica. Devido às diferentes propriedades, cada material apresenta um comportamento diferenciado. Um elevado gradiente de temperatura, dependendo dos diferentes coeficientes de dilatação térmica, provoca deslocamentos devidos a dilatação e retração diferentes, de acordo com o material utilizado. Dessa forma, é essencial um estudo entre essas interfaces e soluções adequadas para que os materiais trabalhem em consonância, evitando futuras patologias.

O presente artigo refere-se a um caso real de inspeção técnica em uma residência de alto padrão em condomínio situado no município do Rio de Janeiro, solicitada devido às patologias ocorridas nas alvenarias do segundo pavimento da edificação. Foram observadas rachaduras verticais na parte interna das paredes do segundo pavimento, exatamente na direção do perfil metálico da coluna, conforme indicado na Figura 1 e na Figura 2.



*Figura 1 - Fachada lateral da residência*



Figura 2 - Local da abertura de fissura na vedação (vista interna).

Segundo a NBR 8800 [1], a variação da temperatura é considerada uma ação variável. Ações variáveis são aquelas que ocorrem com valores que apresentam variações significativas durante a vida útil da construção, como também: uso e ocupação da edificação, pressões hidrostáticas e hidrodinâmica e ação do vento.

As variações de temperatura não provocam solicitações em estruturas isostáticas, ou seja, causam deslocamentos sem que apareçam esforços. Contudo, em estruturas hiperestáticas, estas variações provocam deformações e esforços internos na estrutura, Martha [2].

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A visita técnica foi solicitada devido ao aparecimento de rachaduras na alvenaria, mesmo executando corretamente a sua ligação com a estrutura metálica, como especificada em projeto. A rachadura apareceu na região do pilar metálico e apenas no segundo pavimento. Após a inspeção no local, a análise do problema teve como base o estudo e modelagem do projeto estrutural da residência, fornecido pelo proprietário, modelado através do software de análise estrutural e dimensionamento Cype 3D [3] (Figura 3), aplicando todas as ações, inclusive o gradiente de temperatura.

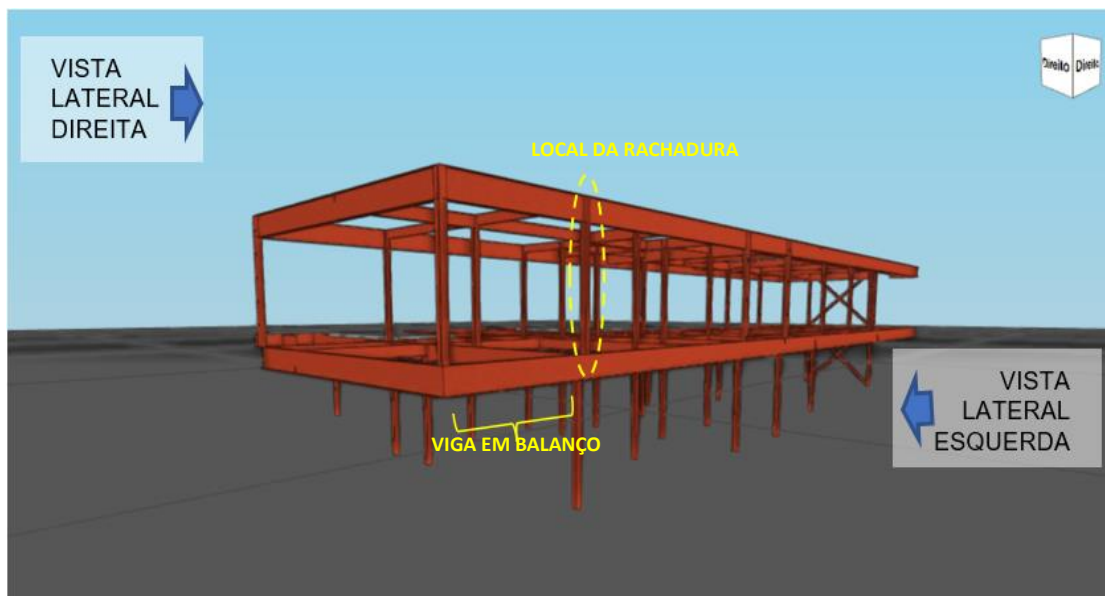


Figura 3 -- Modelo da residência em 3D

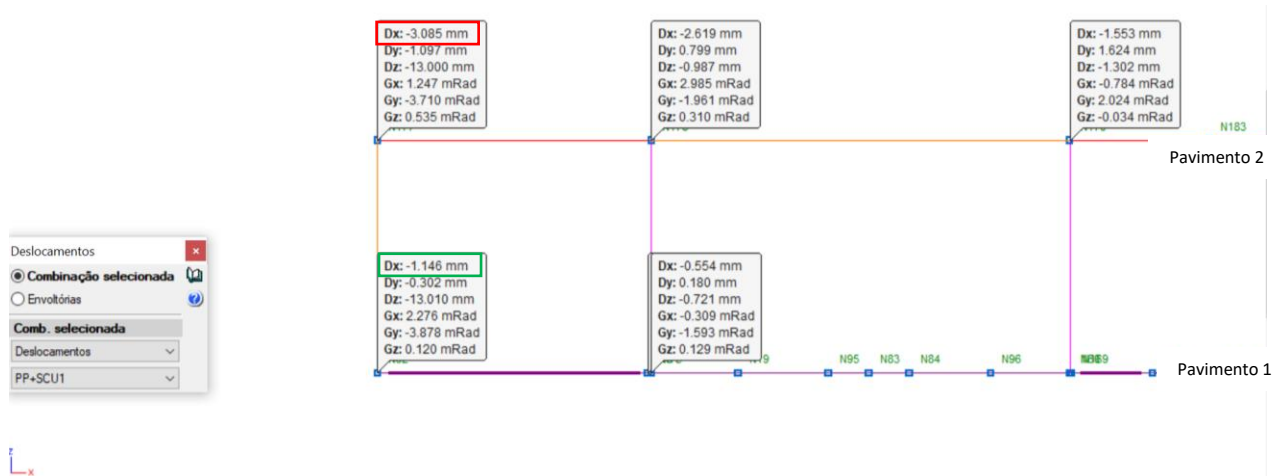
A modelagem teve como finalidade analisar o comportamento da estrutura, mais especificamente das vigas de aproximadamente 4,50m em balanço, que parte da coluna onde foi verificada a rachadura. Percebe-se no modelo, que considerando uma variação de temperatura, existem deslocamentos diferenciados nos nós nas extremidades das vigas. Para tal análise foi considerada uma variação de temperatura de 10°C, de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Amplitude térmica – Rio de Janeiro, 2021

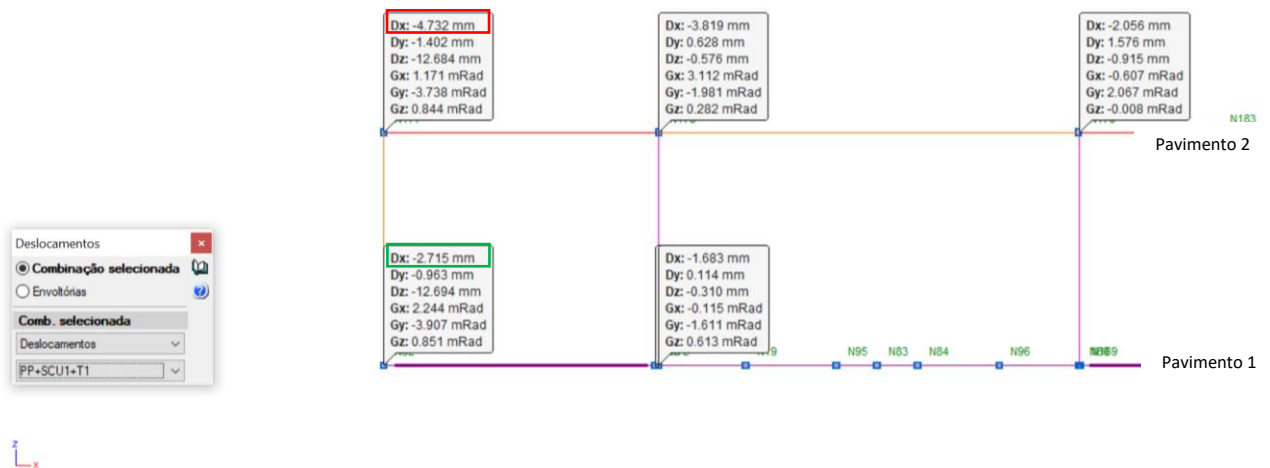
Fonte: Climadate-Data.ORG

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	26,7	27	25,9	24,3	21,8	20,8	20,1	20,9	22,2	23,7	24,2	25,8
Temperatura mínima (°C)	23,3	23,3	22,7	21,1	18,2	16,8	16	16,5	18,1	20	21	22,4
Temperatura máxima (°C)	31,2	31,7	30,2	28,5	26,2	25,8	25,4	26,5	27,5	28,6	28,5	30,1
<b>Amplitude Térmica (°C)</b>	<b>7,9</b>	<b>8,4</b>	<b>7,5</b>	<b>7,4</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>9,4</b>	<b>10</b>	<b>9,4</b>	<b>8,6</b>	<b>7,5</b>	<b>7,7</b>

A Figura 4 apresenta a comparação do deslocamento dos nós da estrutura, vista lateral esquerda, considerando apenas as ações de peso próprio e sobrecarga (Figura 4.a) e em seguida além destas, considerando também a amplitude térmica na análise (Figura 4.b).



(a) Combinação considerada: peso próprio e sobrecarga



(b) Combinação considerada: peso próprio, sobrecarga e variação de temperatura  
 Figura 4 - Deslocamento dos nós - Vista lateral esquerda

Conforme pode ser observado, o deslocamento no Pavimento 2, denominado Dx, é de 3,085mm (sem a consideração da temperatura – Figura 4.a), e 4,732mm (com a consideração da temperatura - Figura 4.b), acarretando em um deslocamento não previsto de 1,0647mm. No Pavimento 1, este aumento é de 1,146mm para 2,715mm, acarretando um alongamento de 1,569mm. Observa-se claramente que a desconsideração do efeito da variação da temperatura como carregamento adicional considerado nas combinações é significativo no cálculo de deslocamentos em estruturas, principalmente em aço devido à sua alta condutibilidade térmica.

Devido a esta constatação, foram apresentadas duas propostas de intervenções na estrutura, a fim de minimizar os deslocamentos dos nós da extremidade livre, que por consequência solicitam as partes não estruturais, como por exemplo as alvenarias e seus revestimentos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No intuito de causar a menor intervenção possível, visto que a obra já se encontrava em fase de acabamento, pensou-se em soluções que não afetassem demasiadamente a fachada e evitasse demolições.

#### 3.1 SOLUÇÃO PROPOSTA 1

A primeira proposta apresenta uma solução inserindo tirantes metânicos na cobertura, de modo que as vigas em balanço do pavimento superior ficassem ligadas a um montante, conforme Figura 5.

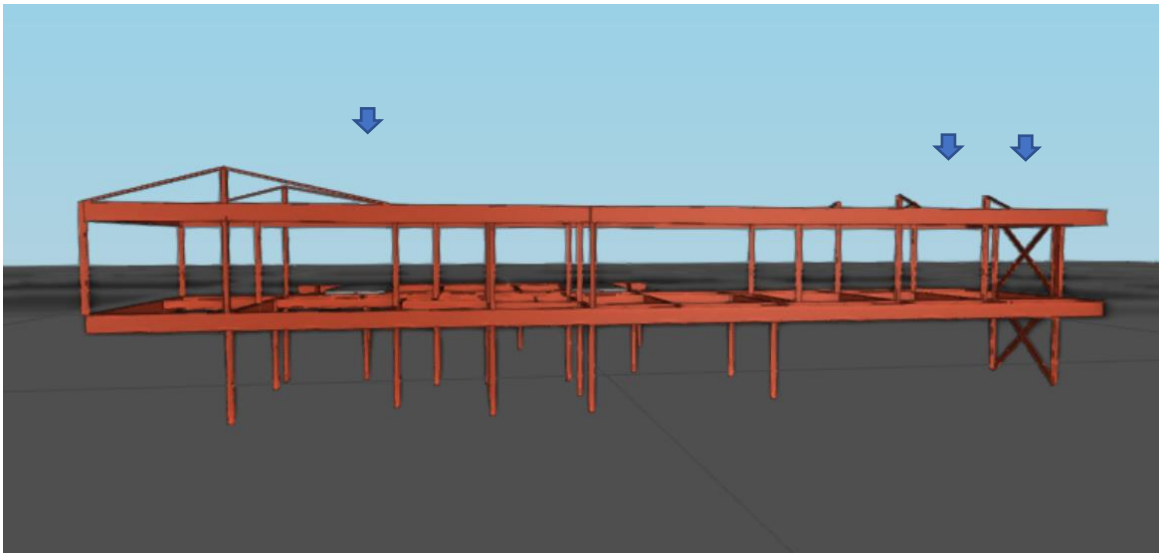


Figura 5 - Solução proposta 1

A Figura 6 apresenta um comparativo do deslocamento dos nós da estrutura original e da mesma com a solução proposta.

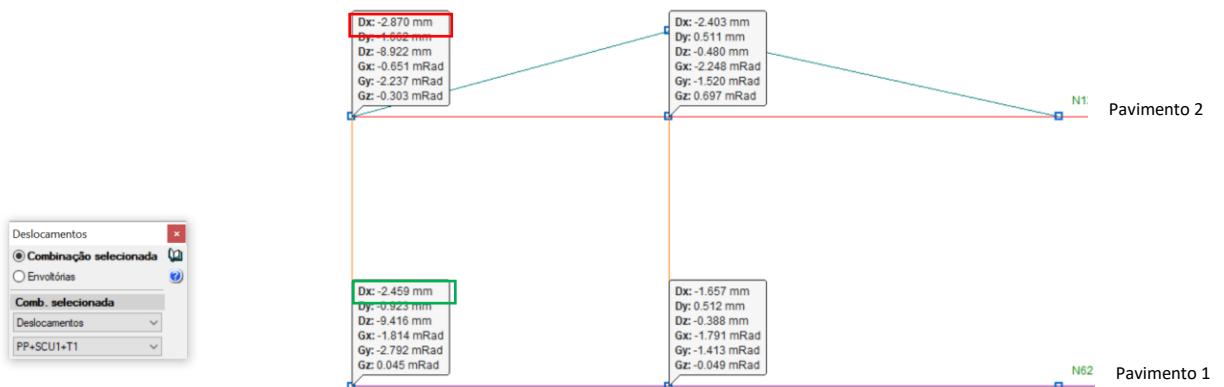


Figura 6 - Vista Lateral Esquerda – deslocamento dos nós considerando atirantamento

Comparando os deslocamentos da extremidade em balanço mostrados na Figura 6 (com atirantamento) com os da Figura 4.b (sem atirantamento), ambas considerando o efeito da temperatura nas combinações de carregamento, o deslocamento  $D_x$  no Pavimento 2, reduz de 4,732mm para 2,870mm, reduzindo o deslocamento em 1,862mm. No Pavimento 1 observa-se a redução no deslocamento de 2,715mm para 2,459mm, reduzindo-o em 0,256mm.

### 3.2 SOLUÇÃO PROPOSTA 2

A pedido do cliente, foi testada a solução de introdução de dois pilares no pavimento térreo sob os balanços da parte frontal da edificação, afastados de 1 metro da sua extremidade, para que não interfiram com a escada existente, conforme Figura 7.

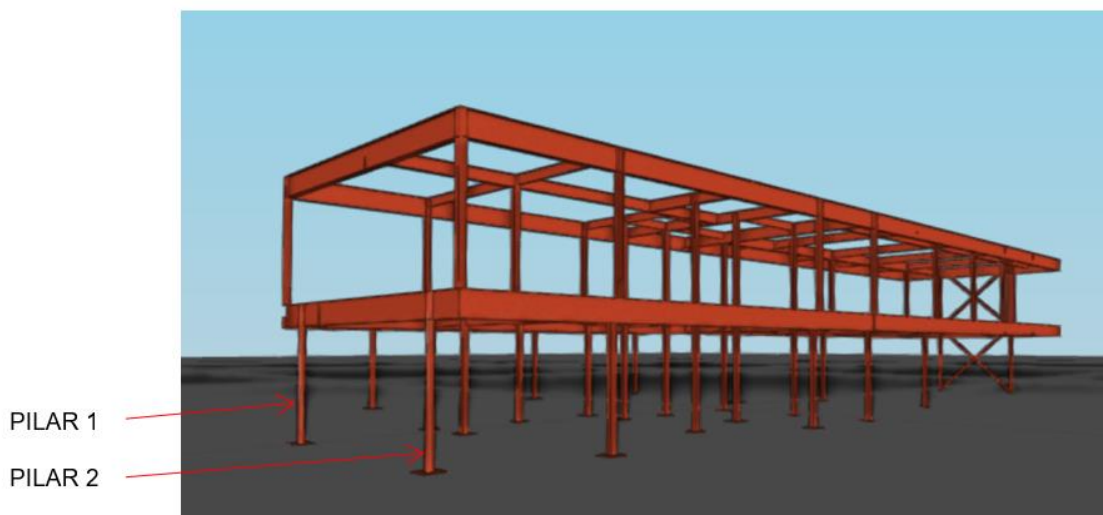


Figura 7 - Modelo com inserção de dois pilares. Solução Proposta 2.

Desta forma, primeiramente foram testados pilares de perfil H, similares aos perfis já adotados como pilares na construção e posteriormente adotados perfis tubulares de aço dobrado, com aço ASTM A572 Gr50.

Os resultados dos deslocamentos sem pilares e com pilares podem ser comparados nas Figura 8 e Figura 9.

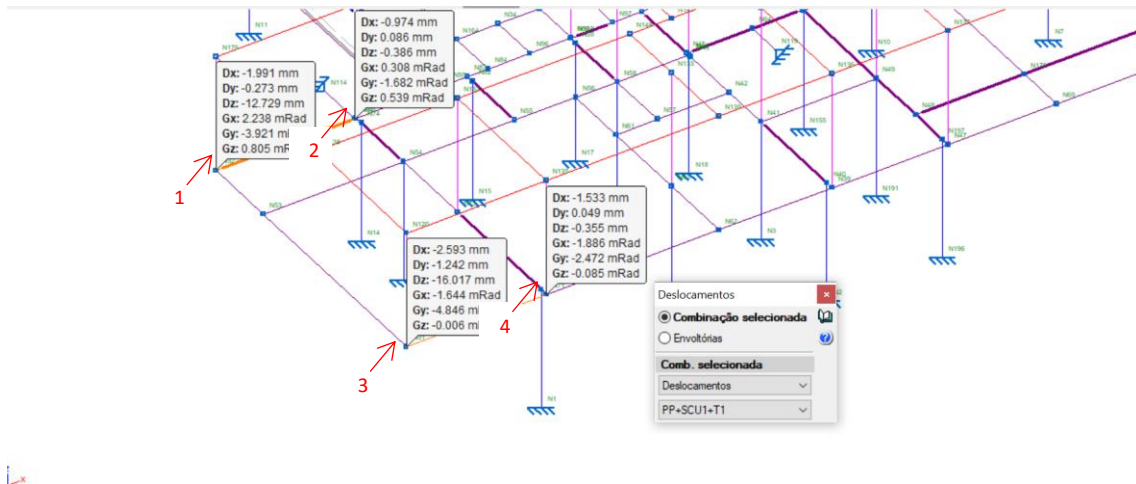


Figura 8 - Deslocamento dos nós sem os pilares.

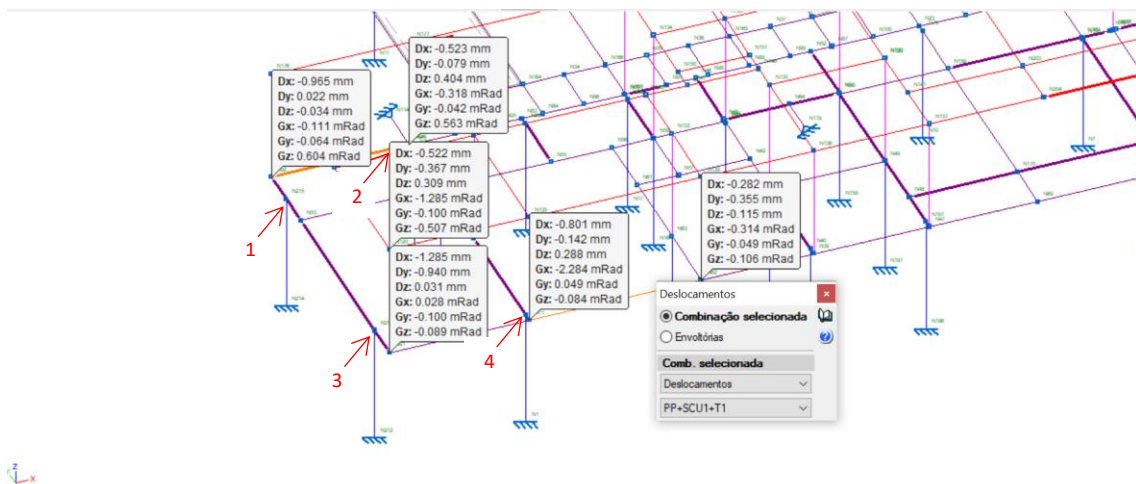


Figura 9 - Deslocamento dos nós com os pilares em perfil H.

A Tabela 1 apresenta as verificações quanto aos deslocamentos iniciais (sem pilares) e os deslocamentos após a consideração dos pilares. Pode-se constatar que os mesmos diminuíram consideravelmente após inserir os dois pilares no vão de balanço da estrutura.

Tabela 1 - Comparativo dos deslocamentos sem e com pilares

Ponto		Sem pilares	Com pilares
Lateral direita – nó 1	Dx	-1,991	-0,965
	Dz	-12,729	-0,034
Lateral direita – nó 2	Dx	-0,974	-0,523
	Dz	-0,386	0,404
Lateral esquerda – nó 3	Dx	-2,593	-1,285
	Dz	-16,017	0,031
Lateral esquerda – nó 4	Dx	-1,533	-0,801
	Dz	-0,355	0,288

Os pilares tubulares especificados são de aço dobrado A572 Gr50, NBR 14762 [4], perfil Ø168,3 x 5mm. Foram projetadas sapatas e inseridas placas de base, detalhadas para cada pilar. É importante ressaltar que as deformações existentes foram zeradas antes da instalação dos pilares através de macaqueamento para nivelamento das vigas em balanço.

### 3.3 RESUMO DOS PERFIS UTILIZADOS - PROPOSTA 1

A Proposta 1 consiste na utilização de perfis tipo I e cantoneiras duplas no nível superior à laje do segundo pavimento, conforme

Tabela 2, totalizando 419 quilos em perfis de aço.

Tabela 2 - Resumo dos perfis da Proposta 1

Perfil	Comprimento(m)	Quantidade	Total(m)	Peso (kg/m)	Peso total (kg)
W 150 x 22,5	0,5	4	2	22,5	
	1	2	2	22,5	
			<b>4</b>	<b>22,5</b>	<b>90,00</b>
2 L60 x 60 x 8	4,7	2	9,4		
	3,9	2	7,8	14,18	
	1,5	4	6	14,18	
			<b>23,2</b>	<b>14,18</b>	<b>328,98</b>
<b>Total:</b>					<b>418,98</b>

### 3.4 RESUMO DOS PERFIS UTILIZADOS - PROPOSTA 2

A Proposta 2 refere-se a inserção de dois pilares tubulares circulares em aço na fachada, diminuindo consideravelmente a condição de balanço das vigas. De acordo com a Tabela 3, acrescentou 132 quilos de aço.

Tabela 3 - Resumo dos perfis da Proposta 2

Perfil	Comprimento(m)	Quantidade	Total(m)	Peso (kg/m)	Peso total (kg)
Ø168,3 x 5	3,275	2	6,55	20,13	
<b>Total:</b>					<b>131,89</b>

#### **4 CONCLUSÃO**

Na ocasião da vistoria verificou-se a abertura de rachaduras de aproximadamente 2mm na linha das colunas metálicas do pavimento superior, junto aos balanços da estrutura.

Considerando que a variação de temperatura no aço causa deformações, e que os materiais se dilatam de forma diferente de acordo com o seu coeficiente de dilatação térmica, pressupõe-se que a abertura de rachaduras nas alvenarias pode se dar por movimentação de efeitos térmicos.

Foi observado que as deformações, quando considerada a temperatura, foram compatíveis com as fissuras encontradas no momento da vistoria. Com isso, supõe-se que o efeito da temperatura tenha causado essa abertura. A estrutura foi modelada e foram testadas duas opções de intervenções, menos invasivas, de modo que não afetasse a fase em que a obra se encontrava. Visando evitar impactos arquitetônicos na fachada, considerou-se apropriada a intervenção na cobertura, através do atirantamento.

Contudo, em comum acordo com o proprietário, foi testada a inserção de dois pilares sob o balanço na parte frontal da edificação. Constatou-se uma considerável diminuição nos deslocamentos. Como consequência, foram executadas sapatas assentes a 1 metro de profundidade, de modo a garantir tensão no terreno compatível com a sondagem.

Esse artigo demonstra a importância de considerar o efeito de grandes variações de temperatura em uma estrutura metálica, principalmente em sistemas estruturais hiperestáticos que venham contemplar grandes vãos em balanço.

#### **REFERÊNCIAS**

- [1] ABNT NBR 8800: 2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.
- [2] Martha, Luiz Fernando. *Análise de Estrutura. Conceitos e Métodos Básicos*. Ed. Elsevier. Rio de Janeiro, 2010.
- [3] Cype 3D – Cype Ingenieros. Versão 2021. Brasil.
- [4] ABNT NBR 14762:2001- Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento.