



**IBAPE NACIONAL**  
Instituto Brasileiro de Avaliações  
e Perícias de Engenharia



**IBAPE BAHIA**  
Instituto Brasileiro de  
Avaliações e Perícias de  
Engenharia da Bahia

# **Colapso de Sistema de Cobertura em Estrutura Metálica, após Transcurso de 18 Anos: Inspeção, Retroanálise dos Projetos e Ensaios de Caracterização. Um Estudo de Caso**

**Luís Henrique Poy**



O conteúdo dos trabalhos técnicos apresentados no COBREAP é de inteira responsabilidade de seus autores.

# COLAPSO DE SISTEMA DE COBERTURA EM ESTRUTURA METÁLICA, APÓS TRANSCURSO DE 18 ANOS: INSPEÇÃO, RETROANÁLISE DOS PROJETOS E ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO. UM ESTUDO DE CASO.

## RESUMO

O presente trabalho decorre de perícia extrajudicial relacionada ao colapso de um sistema de cobertura (com área de 392m<sup>2</sup>), composto por estrutura metálica (vãos de até 27,0 m), sobre a qual se assentavam telhas cerâmicas. O sinistro se deu cerca de 18 anos após a instalação e vitimou algumas pessoas, sem gravidade. Através de inspeção cadastral rigorosa, de ensaios de caracterização diversos, da reanálise do projeto e de modelagem estrutural foi possível explicar tecnicamente o ocorrido, restando evidente que a ruptura de um tirante (por deficiências da solda), a substituição de materiais, falhas de montagem e o subdimensionamento geral fragilizaram a estrutura e determinaram seu colapso.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Colapso estrutural; Estrutura metálica; Cobertura.*

## 1 EXPOSIÇÃO

### 1.1 GENERALIDADES

O imóvel em análise trata-se de uma edificação comercial construída em concreto armado, edificada há cerca de 18 anos e composta por:

- a) Estrutura: pilares, vigas e lajes em concreto armado;
- b) Cobertura: parte em telhas cerâmicas (tipo portuguesa, no local do sinistro e no lado oposto - leste) e parte em telhas metálicas (centro);
- c) Vedações: em tijolos cerâmicos, rebocados em ambas as faces.

As fotografias apresentadas na sequência ilustram o descrito.

Figura 1 – Vista aérea (o polígono vermelho delimita o objeto deste Parecer Técnico)



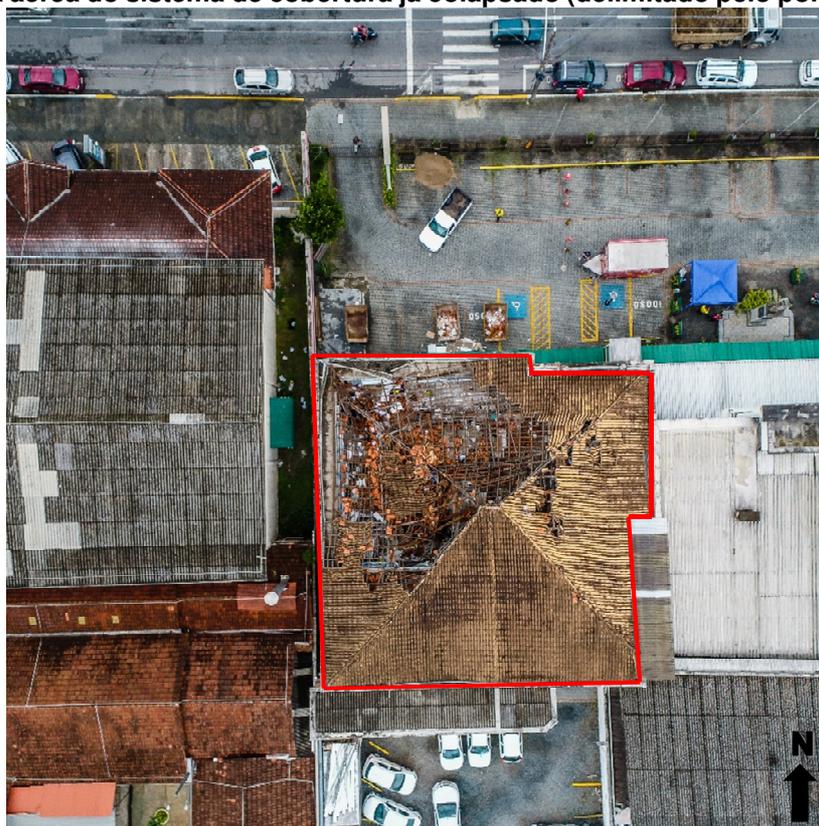
Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2019)

Figura 2 – Fachada frontal do Imóvel (a seta vermelha indica o objeto deste Parecer Técnico)



Fonte: Adaptado de *Google Maps* (2019)

Figura 3 – Vista aérea do sistema de cobertura já colapsado (delimitado pelo polígono vermelho)



Fonte: Proprietário (2019)

## 1.2 JUSTIFICATIVA PARA A REALIZAÇÃO DO PRESENTE TRABALHO

O presente trabalho pretende gerar PARECER TÉCNICO INDEPENDENTE e restringir-se-á à análise da região do sistema de cobertura que sofreu o colapso (com área de 392,00 m<sup>2</sup>), local onde funcionava um dos setores ocupados pelo inquilino. Segundo informações obtidas, o colapso da cobertura se deu de maneira repentina,

no dia 28 de fevereiro do presente ano, durante o horário de expediente, por volta das 8:35h.

### 1.3 OBJETIVO DESTE TRABALHO

Realizar diagnóstico técnico do sinistro, estabelecendo provável (is) causa(s), origem (ns) e mecanismo(s) de ocorrência.

### 1.4 ABRANGÊNCIA DESTE TRABALHO

O objeto do presente estudo é exclusivamente o **sistema de cobertura** (com área de 392,0 m<sup>2</sup>).

### 1.5 ETAPAS QUE COMPUSERAM ESTE TRABALHO

- a) Análise da documentação técnica disponibilizada pelo PROPRIETÁRIO;
- b) Análise do Relatório Técnico produzido pelo Laboratório;
- c) Entrevistas com o responsável pela manutenção da edificação, para obtenção de histórico;
- d) Inspeção *in loco*, para identificar e caracterizar os elementos de interesse;
- e) Geração de Registro fotográfico pertinente;
- f) Análise crítica das informações obtidas;
- g) Retro análise estrutural;
- h) Elaboração de Parecer Técnico.

## 2 DOCUMENTAÇÃO DISPONIBILIZADA E ANALISADA

Foi disponibilizado o Projeto Estrutural do sistema de cobertura da edificação, espelho da ART e fotografias (disponibilizadas pelo Eng. Projetista), Relatório de Consulta Técnica (produzido pelo Eng. solicitado pela Defesa Civil), e Relatório Técnico de Ensaio (do Laboratório de Análise de Materiais).

Foi disponibilizada, ainda, pelo PROPRIETÁRIO, Ata Notarial, relativa ao procedimento de remoção e estocagem da estrutura metálica colapsada, a qual foi preservada para eventuais futuras análises, se entendidas pertinentes.

## 3 BREVE RELATO DO OCORRIDO

Nos anos 2000/2001 a empresa Contratada realizou **projeto, execução e montagem da estrutura**, em análise.

Em síntese, o sistema de cobertura foi executado em estrutura metálica galvanizada a fogo, em quatro águas, composta por duas vigas principais treliçadas (em perfis de aço, em chapa dobrada e cantoneiras laminadas), munidas de tirantes inferiores (em barras redondas lisas), sendo estas treliças fixadas em estrutura de concreto armado, em suas extremidades, por uso de parabolts. Sobre esta estrutura metálica foi posteriormente instalado madeiramento (terças, caibros e ripamento, em Itaúba), para instalação de telhas cerâmicas (do tipo portuguesa).

Por volta das 08h35min, do dia 28/02/2019 – ou seja, após o transcurso de mais de 18 anos – ocorreu o colapso da estrutura metálica. Na ocasião já se havia

iniciado o turno de trabalho, sendo que no local trabalhavam cerca de 40 pessoas, das quais 9 tiveram lesões leves.

## 4 INSPEÇÃO

A INSPEÇÃO se deu nos dias 14 e 20 de março e nos dias 05, 09 e 10 de abril, tendo o trabalho abrangido parte da cobertura (conforme Figuras 1 e 2, retro apresentadas). Importante registrar que a inspeção se deu já com a cena alterada, em face da remoção de todas as telhas e do madeiramento.

Nesta etapa do trabalho buscou-se perceber e registrar as condições do local, realizar conferências/medições, visando detectar os aspectos mais relevantes e eventuais anomalias/incompatibilidades, tomando por base as informações contidas no projeto disponibilizado.

Foi realizada, ainda, entrevista com o responsável pela manutenção da edificação, no intuito de conhecer o histórico de intervenções ou ocorrência de eventos anteriores relacionados ao local.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS MAIS RELEVANTES OBSERVADAS

Durante a realização da INSPEÇÃO, foi possível identificar as características mais relevantes, sendo estas relacionadas a seguir:

- a) A alteração da cena trouxe dificuldade adicional, exigindo análise pormenorizada da documentação disponibilizada (sobretudo fotografias);
- b) O madeiramento era fixado à estrutura por pregos e encontrava-se apoiado sobre a laje de beiral, nas proximidades da calha perimetral;
- c) De maneira geral, não foram observados sinais significativos de corrosão nos elementos que compunham a estrutura metálica, que se encontrava em bom estado geral de conservação;
- d) Segundo relatado, o local encontrava-se preservado e como originalmente construído, não havendo histórico de eventos anteriores que pudessem guardar relação com o sinistro ocorrido;
- e) Restou evidenciado que o colapso da estrutura metálica se deu a partir de falha na VP-01 e VP-02. Seu tirante apresentava ruptura, com sinais de corrosão (em emenda soldada) e os parabolts, junto ao apoio, encontravam-se cisalhados;
- f) Importante registrar que todas as fixações dos apoios dos elementos metálicos na estrutura de concreto sofreram arrancamento, à exceção daquelas correspondentes à chapa de fixação da VP-01 e VS-02-b (lado norte), que sofreram cisalhamento;
- g) Foram percebidas algumas divergências importantes entre o contido em Projeto e o executado, sendo as mais relevantes:
  - i. O apoio da VP-01 deveria conter 7 parabolts de 1/2" mas no local foram encontrados apenas 5;
  - ii. O apoio da VS-02-b (lado sul) deveria conter 6 (seis) parabolts de 3/8" x 3", mas possuía parafusos e buchas (Figuras 31 e 32);
  - iii. Houveram adaptações diversas, quando da montagem: principalmente prolongamento de alguns componentes estruturais e substituição de perfis (troca de bitola).

As fotografias apresentadas na sequência, todas registradas pelo Autor (2019), ilustram o relatado. As siglas VP e VS representam, respectivamente, as Vigas Principais e as Vigas Secundárias.

**Figura 4 – Vista parcial da estrutura metálica de sustentação da cobertura que sofreu o colapso, com a VP-01 (seta vermelha)**



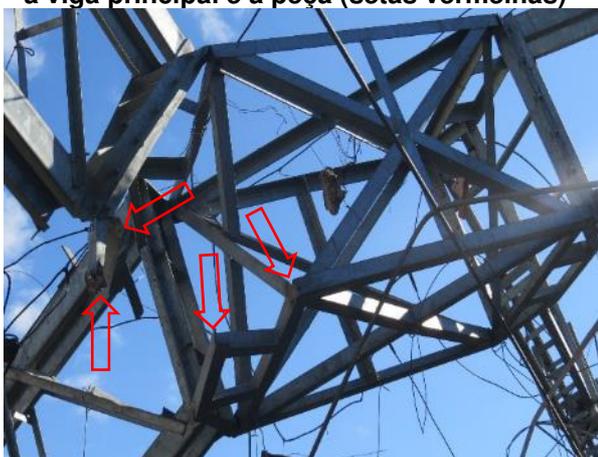
**Figura 5 – Vista parcial da estrutura metálica de sustentação da cobertura que sofreu o colapso, com a VS-03-a (seta vermelha)**



**Figura 6 – Vista parcial da estrutura metálica que sofreu o colapso**



**Figura 7 – Vista da peça central superior com destaque para o rompimento da ligação entre a viga principal e a peça (setas vermelhas)**



**Figura 8 – Ligação entre as vigas secundárias VS-02-b e VS-03-b (lado norte - círculo vermelho)**



**Figura 9 – Detalhe o rompimento do parafuso (círculo vermelho) da Figura 8**



**Figura 10 – Encontro da VS-01-b com a VS-02-b (lado sul), destacando a ruptura da ligação (círculo vermelho)**



**Figura 11 – Detalhe do encontro da VS-01-a com a VS-02-a, com destaque para ausência de parafusos de fixação (círculos vermelhos)**



**Figura 12 – Ponto de ligação entre a VP-01, VS 01-a e VS-01-b, em estado de corrosão (elipse amarela)**



**Figura 13 – Vista superior parcial a partir da VP-04, com indícios de falta de travamentos (círculo vermelho)**



**Figura 14 – Ponto de fixação da VP-04 (Detalhe 01, do projeto)**



**Figura 15 – Detalhe da Figura 14 anterior com destaque para o parabolte em processo avançado de corrosão (círculo vermelho)**



**Figura 16 – Viga secundária 03-a, próxima às caixas d'água, com os suportes do madeiramento com prego (círculo vermelho)**



**Figura 17 – Ponto de fixação da VS-02-a (Detalhe 04, do projeto), no lado leste da edificação, com todos os parabolts arrancados (círculo vermelho)**



**Figura 18 – Vista parcial da VS-01-b (lado sul), retratando também uma emenda na parte inferior (círculo vermelho)**



**Figura 19 – Detalhe da emenda da Figura 18. Observar solda deficiente, com uso de “tarugos” de aço**



**Figura 20 – Ponto de fixação da VS-02-b (Detalhe 04, do projeto) no lado sul da edificação, fixados com parafusos e buchas**



**Figura 21 – Ponto de fixação da VP-02 (Detalhe 05, do projeto) com os parabolts arrancados (círculo vermelho)**



**Figura 22 – Vista parcial superior da VP-03. Observar ausência de travessas de rigidez (setas amarelas)**



**Figura 23 – Ponto de fixação da VP-03 (Detalhe 01, do projeto) com arrancamento total dos parabolts (círculo vermelho) e flambagem da chapa (círculo amarelo)**



**Figura 24 – Medição da inclinação da viga VP-04, com uso de inclinômetro. No detalhe, leitura em aproximadamente 16 graus, ou 28,67%**



**Figura 25 – Vista parcial superior da estrutura metálica, com ponto de fixação da VS-02-a (lado oeste, Detalhe 03, do projeto, círculo vermelho)**



**Figura 26 – Chapa de fixação da VP-01 (Detalhe 02, do projeto) ainda com parabolts (círculo vermelho)**



**Figura 27 – Parabolts presentes na área da chapa de fixação da VP-01 (Figura 31)**



**Figura 28 – Parabol 1, da Figura 27, com diâmetro aproximado de 11,06 mm**



**Figura 29 – Parabol 2, da Figura 27, com diâmetro aproximado de 12,23 mm**



**Figura 30 – Parabol 3, da Figura 27, com diâmetro aproximado de 12,65 mm**



**Figura 31 – Parabol 4, da Figura 27, com diâmetro aproximado de 13,30 mm**



**Figura 32 – Medida do diâmetro do tirante da VP-01-02 (aproximadamente 16,35 mm)**



**Figura 33 – Detalhe do tirante da VP-01-02, sendo medida região da solda com a barra roscada (aproximadamente 4,0 cm)**



**Figura 34 – Suporte da barra rosca na chapa da VP-01 (no lado norte, Detalhe 12 do projeto)**



**Figura 35 – Detalhe da Figura anterior, com destaque para o local de ruptura do tirante com a barra rosca (em processo avançado de corrosão)**



**Figura 36 – Emenda do tirante da VP-01 e VP-02 (círculo vermelho), próxima ao ponto de fixação da VP-02 na estrutura de concreto**



**Figura 37 – Detalhe da barra rosca da VP-01 (lado norte), com medida de solda de aproximadamente 4,0 cm**



**Figura 38 – Detalhe da solda do tirante com a barra rosca, na VP-03 (círculo vermelho)**



**Figura 39 – Detalhe da solda do tirante com a barra rosca, na VP-02 (círculo vermelho)**



**Figura 40 – Emenda do tirante da VP-03 e VP-04 (círculo vermelho), próxima ao ponto de fixação da VP-03**



**Figura 41 – Detalhe da solda do tirante com a barra rosca, na VP-03 (círculo vermelho)**



**Figura 42 – Emenda do tirante da VP-01 e VP-02 (círculo vermelho)**



**Figura 43 – Emenda do tirante da VP-03 e VP-04 (círculo vermelho)**



**Figura 44 – Emenda do tirante da VP-01 e VP-02**

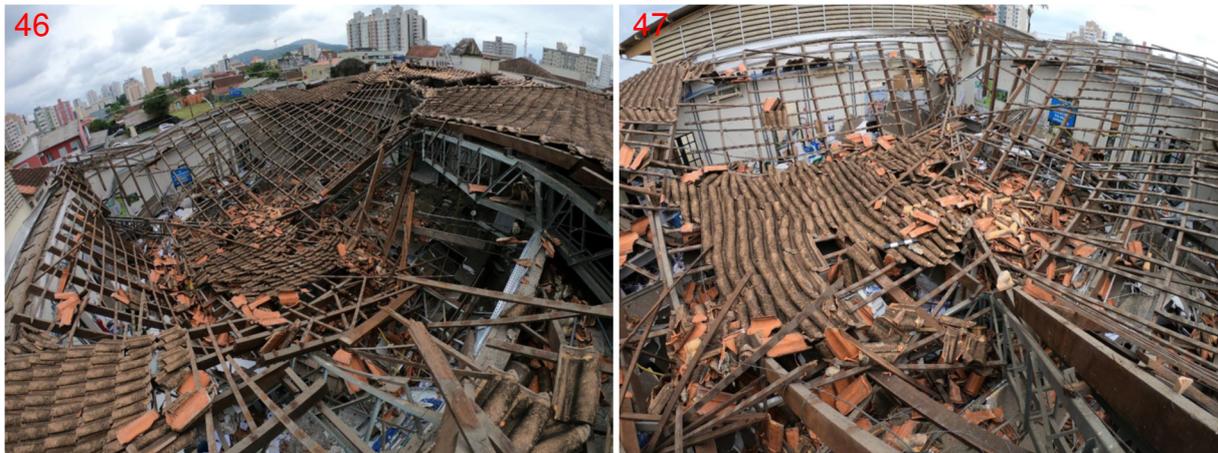


**Figura 45 – Madeiramento utilizado na estrutura de cobertura**



A seguir apresentamos algumas imagens extraídas do Relatório de Consulta Técnica produzido para a DEFESA CIVIL e imagens cedidas pelo Eng. Projetista.

**Figuras 46 e 47 – Imagens parciais do sistema de cobertura**



Fonte: Relatório de Consulta Técnica solicitado pela Defesa Civil (2019)

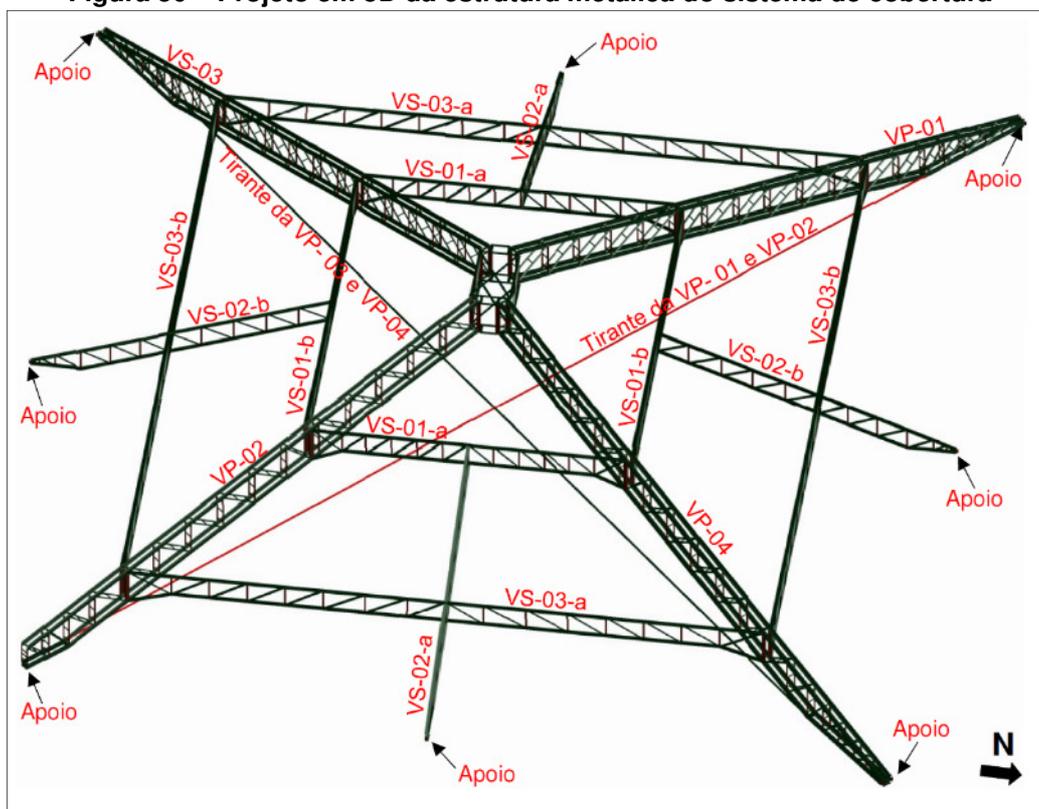
**Figuras 48 e 49 – Imagens dos parabolts em avançado processo de corrosão**



Fonte: Relatório fotográfico do Eng. Projetista (2019)

A Figura 50, a seguir apresentada, apresenta o projeto da estrutura metálica do sistema de cobertura.

Figura 50 – Projeto em 3D da estrutura metálica do sistema de cobertura



Fonte: Eng. Auxiliar (2019)

## 5 ENSAIOS E TESTES

### 5.1 ENSAIO DO LABORATÓRIO

Para correta caracterização, foram realizados ensaios em 3 amostras do tirante das VP-01 e VP-02.

Os ensaios foram realizados entre os dias 23 a 28/03/2019, no Laboratório.

As Figuras a seguir apresentadas, todas registradas pelo Autor (2019), ilustram o decorrido.

**Figura 51 – Retirada de amostras para ensaio pelos técnicos do Laboratório**



**Figura 52 – Retirada de amostras para ensaio pelos técnicos do Laboratório**



**Figura 53 – Retirada de amostras para ensaio pelos técnicos do Laboratório**



**Figura 54 – Amostras 01, 02 e 03 retiradas para ensaio**



## 5.2 TESTE DE ABSORÇÃO DAS TELHAS

Para que fosse possível aferir com maior precisão o peso máximo que o telhamento cerâmico aplicava sobre a estrutura metálica, foi realizado um teste de absorção de água, onde as telhas foram submersas por 24h e pesadas logo em seguida. As Figuras, a seguir, todas registradas pelo Autor (2019), ilustram o descrito.

Figura 55 – Pesagem das telhas secas em balança digital, indicando 6,50 kg (ou seja, 3,25 kg/unidade)



Figura 56 – Telhas submersas para teste de absorção de água



Figura 57 – Pesagem das telhas úmidas em balança digital, indicando 6,825 kg (ou seja, 3,41 kg/unidade)



## 6 ANÁLISES

### 6.1 RESULTADO DOS ENSAIOS E TESTES REALIZADOS

#### 6.1.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DO LABORATÓRIO

Os ensaios realizados nos materiais extraídos tiveram por objetivo a determinação das propriedades mecânicas mais relevantes destes materiais, visando a posterior realização de análise e conformidade com o projeto estrutural.

Do Relatório de Ensaio produzido, em relação à **amostra 1** – local do tirante que rompeu em campo – existe região de fratura na região de solda, porosidade/ falta de fusão na raiz da solda, ausência de ligação metalúrgica (fusão) entre a solda e a barra roscada (defeitos de soldagem) e alongamento/ estiramento característicos de material dúctil, mediante processo de falha.

O Relatório de Ensaio aponta, ainda, a presença de resíduos prováveis do processo de zincagem (galvanização a fogo) a que a peça foi submetida, bem como estabelece que a profundidade de corrosão alcança 1,4 mm.

A **amostra 2** apresenta indícios de defeito de mordedura na face da solda com regiões pontuais de corrosão vermelha no cordão de solda. Importante salientar que as propriedades mecânicas obtidas para a **amostra 2** apresentam conformidade com o aço ASTM A-36, e que esta, no ensaio de tração, apresentou rompimento em metal de base.

Da **amostra 3**, extrai-se que houve modo de fratura dúctil após o ensaio de resistência à tração. Consta, também, a presença de Sódio (Na) no produto de corrosão, cuja provável origem esteja em falhas durante processo de zincagem.

O Relatório de Ensaio informa, também, a presença de trincas e indícios de falta de penetração na região da raiz da solda, características típicas de defeitos de soldagem, assim como estabelece que a profundidade de corrosão atinge 0,03 mm (página 8).

Extrai-se, ainda, que a barra roscada e o eletrodo apresentam conformidade com a liga de aço SAE 1010, e que o tirante e a barra lisa de reforço apresentam conformidade com a liga de aço ASTM A36.

Nas suas conclusões o Relatório de Ensaio afirma que as **amostras 1 e 3** apresentam defeitos de soldagem, fato que veio a contribuir no processo de falha catastrófica dos componentes. Indica, ainda, que os defeitos de soldagem têm relação direta com a morfologia da fratura.

O Quadro 1, a seguir apresentado, traz os resultados do ensaio de tração nas **amostras 2 e 3** e no Quadro 2, são apresentadas as propriedades mecânicas dos aços SAE 1010, SAE 1045 e ASTM A-36.

**Quadro 1 – Resultados do ensaio de tração**

Amostras	Tensão máxima (MPa)	Tensão de escoamento (MPa) 0,2%	Carga máxima (kgf)	Carga de escoamento (kgf)
2	442	268	8983	5447
3	464	374	6902	5561

Fonte: Relatório de Ensaio do Laboratório

**Quadro 2 – Propriedades mecânicas dos aços SAE1010, SAE1045 e ASTM A-36**

Aço	Limite de escoamento mínimo (MPa)	Resistência à tração média (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
1010	295	420	190
1045	350	570	190
A-36	250	475	200

Fonte: GERDAU<sup>1</sup> (2003)

<sup>1</sup> GERDAU. Barras e perfis. Disponível em: <https://www.gerdau.com/br/pt/productsservices/products/Document%20Gallery/catalogo-barras-e-perfis.pdf>. Acesso em: 19/04/2019.

## 6.1.2 RESULTADOS DO TESTE DAS TELHAS

O teste das telhas teve como objetivo o levantamento das cargas totais aplicadas pelo telhamento sobre a estrutura metálica.

Para a determinação da carga aplicada, foram consideradas 15 telhas/m<sup>2</sup>. Dado que a área da cobertura é de aproximadamente 392,29 m<sup>2</sup>, é necessário a aplicação de um fator de correção para planificar a estrutura inclinada, chegando-se a uma área equivalente de 404,45 m<sup>2</sup>.

Multiplicando a área equivalente pela quantidade de telhas distribuídas por m<sup>2</sup>, chega-se a uma quantidade de 6.068 telhas, aproximadamente. Tendo que o peso de cada telha, na condição saturada (pior situação) é de 3,41 kg, o peso total do telhamento seria de aproximadamente 20.704 kg.

## 6.2 ANÁLISE DE CONFORMIDADE ENTRE O PROJETO COM O VERIFICADO *IN LOCO*

Em alguns elementos que compõe a estrutura metálica foram utilizados materiais em desconformidade com o estabelecido no Projeto analisado.

Da análise do Laudo Técnico, elaborado pelo Eng. Auxiliar do Perito, em sua página 10, item c, se extrai:

- i. "Vigas secundárias 02-b, indicadas no projeto com banzos em perfis U 100x40x2,65mm foram executadas com perfis U 76x38x2,65mm. Trelçamento confere;
- ii. Os materiais dos tirantes, indicados no projeto como SAE 1045, foram detectados como ASTM A-36 e as ponteiros roscadas como SAE 1010, nos Relatórios de Ensaio 1471/19 – EAC Rev.02 e 1471/19 Rev.02, da Laboratório";
- iii. Para o apoio do detalhe 02 (Fig. 09) foram detectados 05 (cinco) chumbadores  $\phi$  1/2" rompidos, das 07 (sete) unidades solicitadas em projeto. Estavam todos em estado avançado de corrosão. Foram detectados, ainda, outros 02 (dois) chumbadores, porém incompatíveis com a furação da chapa, tendo sido utilizados, provavelmente, apenas na fase de montagem;
- iv. Utilização de bucha de nylon e parafuso sextavado com rosca soberba, na fixação da viga secundária 02-b dos fundos, junto ao apoio de concreto."

## 6.3 ANÁLISE ESTRUTURAL

Para correta determinação do (s) provável (is) mecanismo (s) de ruptura há que se partir de algumas premissas:

- a) O sinistro ocorreu cerca de 18 anos após a construção da estrutura;
- b) A ligação entre o tirante e a barra roscada, no ponto de ruptura em campo (**amostra 1**), se encontrava em estado de corrosão avançado;
- c) Os parabolts que fixavam a chapa da VP-01 encontravam-se cisalhados e em estado de corrosão de médio para avançado;
- d) As soldas verificadas nas **amostras 1 e 3** se encontravam falhas, apresentando várias deficiências;
- e) O sistema de cobertura permaneceu praticamente inalterado ao longo dos anos, sem qualquer modificação de suas características originais;
- f) Na data do colapso não ocorreu nenhum evento climático extremo na região (principalmente ventos de forte intensidade), conforme se apurou junto à

Defesa Civil, mediante análise de estações hidrometeorológicas das imediações.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de todo o ocorrido e após realizadas todas as análises pertinentes cumpre-nos informar.

### 7.1 DA INSPEÇÃO REALIZADA

- a) Restou evidenciado que o colapso da estrutura metálica se deu a partir da falha da VP-01 e VP-02, decorrente da ruptura de seu tirante, na região de fixação (**amostra 1**). Também pode ser identificada a ruptura, por cisalhamento, tanto dos parabolts que garantiam a fixação da VP-01 quanto daqueles presentes na fixação da VS-02-b (lado norte), na estrutura perimetral de concreto;
- b) De maneira geral pode-se dizer que a estrutura metálica se encontrava em bom estado de conservação, não tendo sido identificados quaisquer sinais de alteração/ uso indevido do local ou indícios de manutenção deficiente;
- c) A confrontação do projeto disponibilizado com o observado *in loco*, mediante os resultados da Laboratório, indica divergências importantes, sendo as mais relevantes:
  - i. Enquanto o projeto estabelecia que o tirante deveria ser confeccionado em aço SAE 1045, observou-se o uso de aço SAE 1010 (barra roscada) e ASTM A-36 (barra lisa). Tal situação representa uma expressiva redução na resistência à tração do tirante (superior a 17%);
  - ii. Embora o projeto previsse o uso de 7 parabolts de 1/2", junto à fixação da VP-01 à estrutura perimetral de concreto, foram verificados somente 5 parabolts instalados. Este fato representa uma redução significativa de sua capacidade em resistir aos esforços solicitantes (em cerca de 30%).

### 7.2 DOS ENSAIOS E ANÁLISES REALIZADAS PELO LABORATÓRIO, A PARTIR DAS AMOSTRAS 1, 2 E 3

Do Relatório Técnico do Laboratório, se extrai as Figuras a seguir apresentadas.

Figura 58 – Observa-se descontinuidade na face da solda com aspecto de mordedura, na amostra 2 (setas vermelhas)

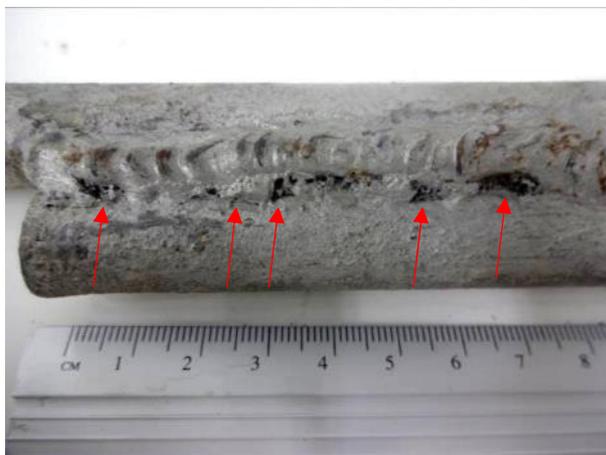


Figura 59 – Observa-se, na região indicada (seta amarela), indícios porosidade/falta de fusão na raiz da solda. Indica, também, ausência de ligação metalúrgica da amostra 1 (setas vermelhas)

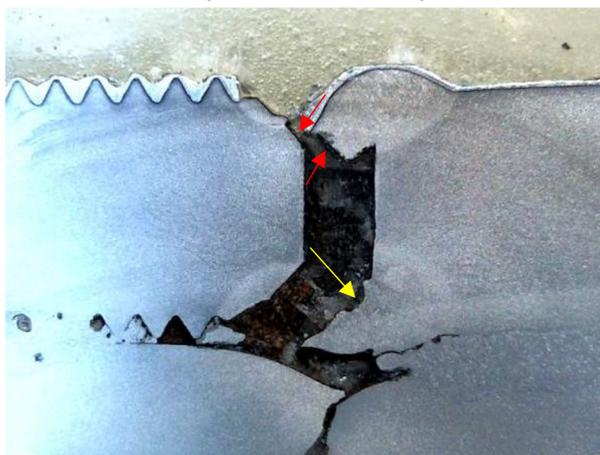


Figura 60 – Observa-se presença de defeitos de soldagem, na amostra 1 (porosidade e falta de penetração na raiz de solda)

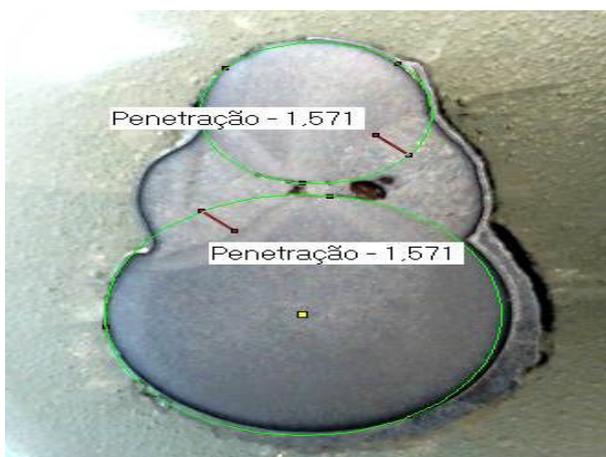


Figura 61 – Observa-se propagação da trinca em região de falta de penetração na raiz da solda e trinca na face da solda da amostra 3 (setas vermelhas)



A partir do Relatório Técnico do Laboratório é possível concluir, que:

- Via de regra, as soldas presentes mostravam-se bastante deficientes, o que tornaria os pontos soldados os mais vulneráveis;
- A corrosão presente na **amostra 1** (local de ruptura do tirante, em campo) decorre provavelmente de falhas durante o processo de zincagem, quando das etapas de decapagem e limpeza, onde não foram completamente removidos compostos agressivos que foram os responsáveis pelo processo de corrosão observado;
- A análise metalográfica das amostras permitiu determinar as respectivas ligas de aço empregadas na confecção dos elementos;
- O local de ruptura era o ponto menos resistente do tirante.

### 7.3 DA ANÁLISE DA CHAPA DE FIXAÇÃO DA VP-01

A chapa de fixação da VP-01 apresenta, no projeto estrutural (em seu detalhe 09), 07 (sete) parabolts para fixação, sendo que a chapa foi implantada com somente 05 (cinco) orifícios para fixação, o que indica uma não-conformidade entre o projetado e o executado.

As Figuras a seguir, todas registradas pelo Autor (2019), ilustram o descrito.

Figura 62 – Vista da parte superior da chapa de fixação



Figura 63 – Vista da parte inferior da chapa de fixação

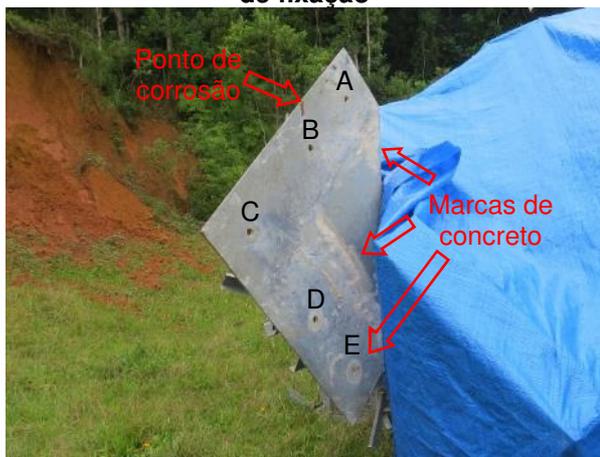
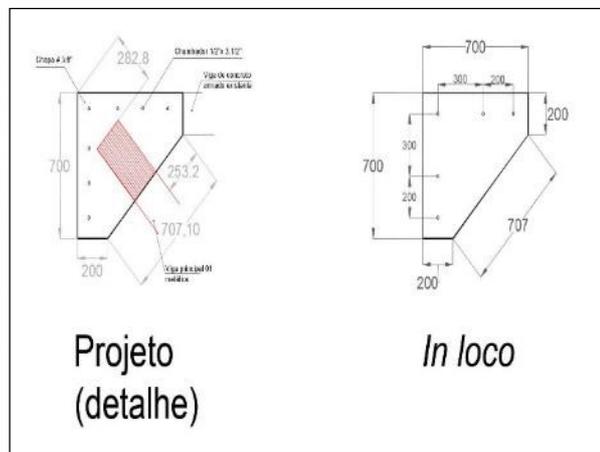


Figura 64 – Vista da parte superior da localização da chapa de fixação



Figura 65 – Comparativo entre o projeto e o encontrado *in loco*



### 7.4 DA RETROANÁLISE ESTRUTURAL, REALIZADA PELO ENG. AUXILIAR DO PERITO

Para verificação e compreensão do mecanismo de ruptura da estrutura metálica foram adotados os seguintes condicionantes:

- Desconsideração dos coeficientes de minoração e majoração prescritos em Norma Técnica;
- Consideração apenas das cargas reais permanentes (peso próprio), dispensada a ação de cargas acidentais previstas em Norma Técnica (principalmente Vento).

A partir do projeto disponibilizado – devidamente ajustado, em face do observado *in loco*, durante inspeção – foi realizada modelagem estrutural, com uso do software CYPE 2014 - Novo Metálicas 3D. Desta se extraiu as seguintes informações:

- a) O madeiramento possui relevância estrutural, visto que sua rigidez influi significativamente na distribuição de cargas e, conseqüentemente, nas definições dos esforços atuantes nos principais elementos de interesse da VP-01 (tirante e parabolts);
- b) A depender da contribuição do madeiramento, a carga atuante no tirante da VP-01 varia entre 672 kgf a 9.266 kgf. Já o esforço horizontal, a ser suportando pelos parabolts, pode atingir 20 tf;
- c) A estrutura metálica, como executada, apresenta uma taxa de cerca de 8 kg/m<sup>2</sup>, o que indica ser uma estrutura bastante esbelta e deformável. Segundo referências de mercado, o usual seria uma taxa em torno de 10 a 12 kg/m<sup>2</sup>.

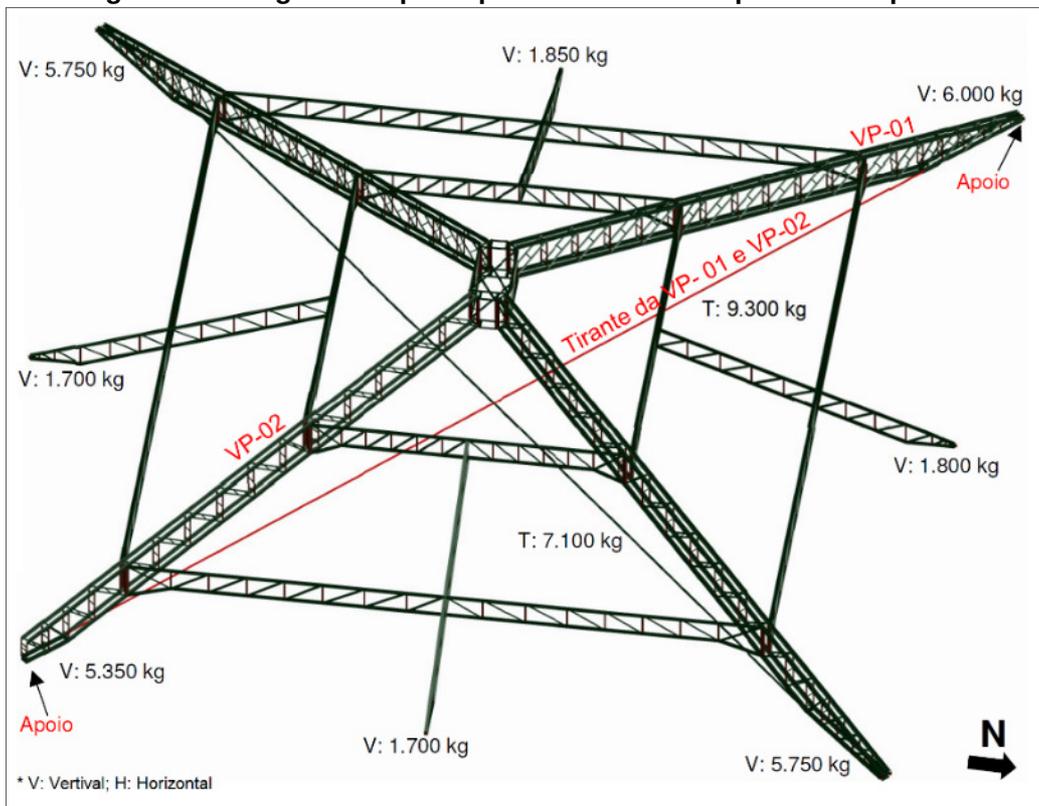
**Quadro 3 – Cargas consideradas no Laudo Técnico**

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Carga (kg/m<sup>2</sup>)</b>
1 - Estrutura Metálica	3.100,00	8,00
2 - Estrutura de Madeira	7.100,00	20,00
3 - Telha de Cerâmica	21.450,00	55,00
4 - Forro de Gesso	3.200,00	15,00
<b>TOTAL</b>	<b>34.850,00</b>	<b>98,00</b>

Fonte: O Autor (2019)

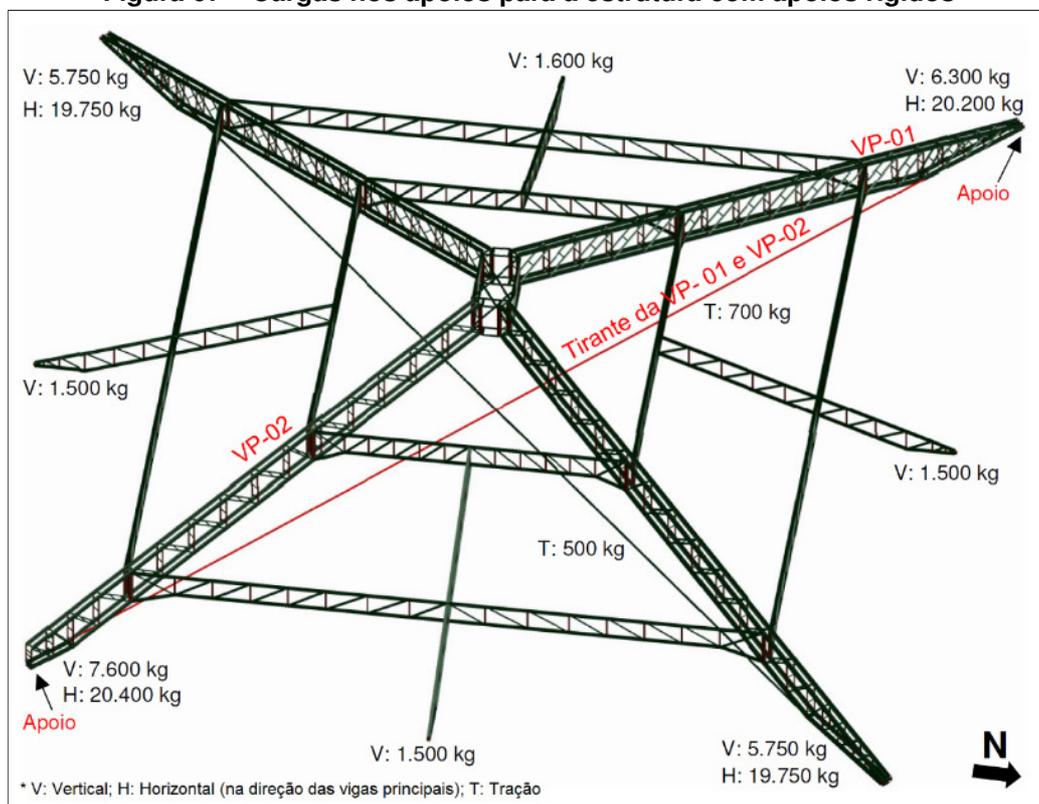
As Figuras 66 e 67, a seguir apresentadas e extraídas do Relatório Técnico do Eng. auxiliar do perito, apresentam as variações das cargas nos apoios.

Figura 66 – Cargas nos apoios para a estrutura simplesmente apoiada



Fonte: Eng. Auxiliar (2019)

Figura 67 – Cargas nos apoios para a estrutura com apoios rígidos



Fonte: Eng. Auxiliar (2019)

## 7.5 DAS PROVÁVEIS CAUSAS, ORIGENS E MECANISMOS DE OCORRÊNCIA QUE LEVARAM A ESTRUTURA AO COLAPSO

Necessário esclarecer que o colapso de uma estrutura é um evento raro e que normalmente decorre do alinhamento desfavorável de uma série de fatores (ou causas).

Dentre as várias causas, há que se distinguir as chamadas DETERMINANTES daquelas ditas ACESSÓRIAS.

DETERMINANTES seriam aquelas que mesmo sozinhas seriam capazes de gerar a ruína, tal qual se observou.

Já as ACESSÓRIAS seriam aquelas que, embora colaborando para o ocorrido, isoladamente não teriam como gerar a ruína da estrutura em análise, supondo a ausência das DETERMINANTES.

No caso em análise, poder-se-ia ainda dividir as DETERMINANTES em **principal** e **secundárias**.

A DETERMINANTE **principal** seria a ruptura do tirante, em região de solda, em seu ponto de ancoragem junto à VP-01. Tal ocorrência teria ORIGEM em processo de soldagem deficiente, o que evidencia falta de controle de qualidade no processo de fabricação.

Já como DETERMINANTES **secundárias** podem ser elencadas as seguintes:

- a) O subdimensionamento flagrante da estrutura metálica, que apresentava esbeltez excessiva (taxa de 8 kg/m<sup>2</sup> contra 10 a 12 kg/m<sup>2</sup>, usualmente esperados) e mal suportaria as cargas decorrentes de seu peso próprio, não restando margem para consideração do efeito de cargas acidentais (vento) ou da aplicação dos coeficientes de minoração/ majoração, ambos obrigatórios de consideração, por Norma Técnica;
- b) A ausência de REDUNDÂNCIA<sup>2</sup> na estrutura metálica, que não foi capaz de absorver e redistribuir os esforços decorrentes da ruptura do tirante, sem colapsar;
- c) A redução da capacidade resistente do tirante, por substituição do aço do tirante (de SAE 1045 para SAE 1010/ ASTM A-36, de menores resistências) e também do número de parabolts, no apoio da VP-01 (de 07 para 05 unidades).

Como ACESSÓRIA, cabe evidenciar a corrosão presente, tanto na região da ruptura do tirante da VP-01 como também dos parabolts, na fixação de seu apoio.

A Figura 68, a seguir apresentada, ilustra todo o sistema de cobertura que colapsou, sendo a imagem registrada logo após a ocorrência.

---

<sup>2</sup> Capacidade de promover a redistribuição de esforços em um sistema estrutural inicialmente danificado (<http://www.tqs.com.br/tqs-news/consulta/58-artigos/1009-colapso-progressivo-dos-edificios-breve-introducao>).

**Figura 68 – Imagem parcial da cobertura**



Fonte: Relatório de Consulta Técnica solicitado pela Defesa Civil (2019)

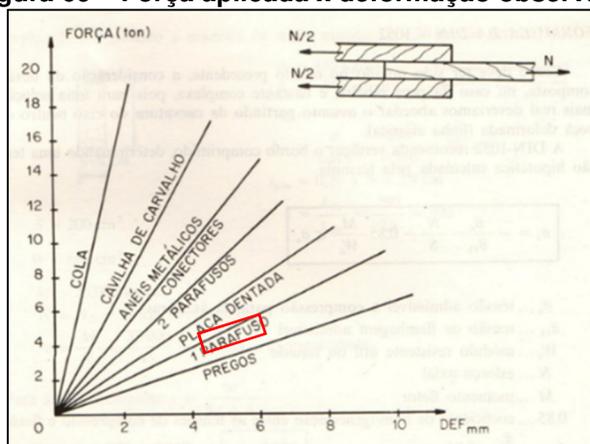
A partir da Figura 68, é possível concluir que:

- a) As emendas dos caibros seriam por transpasse simples, com uso de pregos (setas vermelhas e verdes);
- b) Havia apoio da extremidade dos caibros sobre a laje de beiral, em uma espécie de “berço” (caibro deitado, simplesmente apoiado. Seta amarela).

Finalizando e ao que tudo indica, a estrutura metálica permaneceu em operação, por mais de 18 anos, graças à contribuição prestada pelo madeiramento, que lhe fornecia travamento e rigidez, reduzindo os esforços atuantes tanto no tirante da VP-01 e 02, quanto nos seus parabolts de fixação, instalados no apoio.

Ocorre que com o passar do tempo e dado fato das ligações entre as peças em madeira (por pregos) serem bastante deformáveis, o madeiramento foi perdendo sua rigidez e assim houve incremento progressivo de cargas na estrutura metálica – notadamente no tirante da VP-01 e 02 e no apoio da VP-01 – até o momento em que o tirante rompeu, em seu ponto de menor resistência (em ligação por solda deficiente, junto à sua fixação na VP-01). A Figura 69, a seguir, apresenta comparativo de eficiência entre as várias ligações possíveis entre elementos em madeira (MOLITERNO, 1986). Notar que a ligação por pregos é a menos eficiente de todas.

Figura 69 – Força aplicada x deformação observada



Fonte: Adaptada de Moliterno (1986) apud Prof. Arcangeli (La Cienza dele Construzioni)

## 8 BIBLIOGRAFIA

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. São Paulo: Edgard Blucher. 1986.