

In: SEMINÁRIO "USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO", 3., São Paulo, SP,
28 jun.-1º jul. 1988. Anais. São Paulo, CTCEN, 1988.
p.201-212

AUSCULTAÇÃO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA DE COBERTURA TIPO "SHED"
DURANTE A EXECUÇÃO DO SEU REFORÇO

Roberto Martins Gonçalves

Toshiaki Takeya

da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo

SUMÁRIO

Apresentam-se neste trabalho comentários e os principais resultados de medições de deslocamentos e deformações em diversas barras de uma cobertura tipo shed da Usina de Fibras de RHODIA S.A., em São José dos Campos, durante a execução de reforço. A estrutura da cobertura com vigas mestras de 24m e tesouras de 18m foi reforçada utilizando-se vigas armadas vinculadas às traves e vigas mestras nos montantes de apoio e no nó central onde foi aplicada uma força vertical. Esta força vertical possibilitou um alívio da carga permanente nas estruturas principais e a solicitação efetiva da viga armada de reforço.

1. INTRODUÇÃO

Apresenta-se o relato sucinto da auscultação realizada na estrutura metálica de cobertura tipo Shed da Usina de Fibras de Rhodia S.A. de São José dos Campos - SP, realizada pelo Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP, durante a execução do reforço das tesouras e vigas mestras.

O reforço foi idealizado pelo Prof. Hermann Schulte que levou em consideração o fato de que as atividades no interior do edifício industrial não poderiam ser paralisadas, ou mesmo interrompidas momentaneamente.

O projeto do reforço foi elaborado pela Themag Engenharia Ltda, e executado pela Construções Metálicas Pierre Saby S.A., com fiscalização do Prof. Hermann Schulte.

2. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

2.1 - DADOS GERAIS SOBRE O EDIFÍCIO

A cobertura da Usina de Fibras de Rhodia S.A. compreende uma área aproximada de 11.300m², sendo a estrutura de cobertura do tipo shed, coberta em telhas de fibrocimento e apoiada em pilares de concreto armado. A figura 1 esquematiza a

0787425

-201-

SYNSO	0787425
PROD	003325
ACERVO EESC	

planta da edificação.

As vigas mestras são treliçadas (figura 2), espaçadas em 9m, vãos de 24m, contínuas, e apoiadas nas tesouras.

As travessias com vãos de 9m, são compostas de perfis tipo U laminados, apoiadas sobre as vigas mestras.

Uma das particularidades da estrutura em questão foi a eliminação de determinados pilares (figura 1) exigindo a necessidade da introdução de um elemento estrutural, que convencionou-se chamar de tesoura (figura 3), na qual as vigas mestras apoiam onde os pilares foram eliminados.

2.2 - PRINCIPAIS PROBLEMAS APRESENTADOS PELA ESTRUTURA

A estrutura em questão apresentou várias falhas, não só na concepção estrutural mas também na sua execução. Durante a execução da cobertura houve a necessidade de reforço de várias barras, principalmente das tesouras, e após alguns anos de utilização, em função de vários problemas que não cabe aqui relatar, uma nova proposta para o reforço estrutural foi estudada após a vistoria realizada pelo Prof. Hermann Schulte e pela THEMAG ENGENHARIA.

Os principais itens observados durante a vistoria foram:

- comparação entre a estrutura existente e o projeto original;
- medição das deformações existentes nos vários elementos da estrutura;
- verificação das seções transversais de todos os elementos;
- vistoria em todos os nós e ligações.

Os principais problemas constatados durante a vistoria foram:

- apoios mal executados;
- diferenças entre o projeto e a estrutura existente;
- chumbadores com grandes deformações;
- nós com vários tipos de elementos de ligação (solda, rebites e parafusos) e grandes excentricidades;
- fixação de sobrecargas (dutos, forros) de maneira aleatória;
- juntas de dilatação inoperantes;
- deformações excessivas em algumas tesouras e vigas mestras;
- ausência de várias barras do sistema de contraventamento.

3. DESCRIÇÃO DO REFORÇO

Após análise dos resultados da vistoria, o reforço proposto para a estrutura consistiu na execução de vigas armadas, com o banzo superior constituído de perfis duplo U, externos às tesouras e vigas mestras, interligados por chapas e com o banzo inferior constituído de barras de seção circular vinculadas nas extremidades do banzo superior através de uma articulação e no meio do vão das tesouras e vigas mestras através de um dispositivo especial, que convencionou-se chamar de "gaiola" (figura 4).

Esse dispositivo especial foi projetado de tal forma a permitir a aplicação de uma força na estrutura existente (tesouras e vigas mestras) tendo como reação a estrutura de reforço, por meio de um macaco hidráulico posicionado entre ambas, com o objetivo de compatibilizar o comportamento da estrutura existente e o reforço.

Convencionou-se chamar esta força aplicada pelo macaco hidráulico como "protensão" das vigas mestras e tesouras.

A solução proposta pelo Prof. Schulte foi criar um "apoio"

intermediário para as vigas mestras e tesouras, através da "gaiola" posicionada entre as estruturas existentes e os tirantes da estrutura de reforço, e que passaria a funcionar como tal para qualquer sobrecarga que eventualmente ocorra.

A equipe técnica do Departamento de Estruturas foi responsável pelo controle da aplicação da "protensão" cujo valor foi inicialmente previsto pela projetista em 15 kN nas vigas mestras e 30 kN nas tesouras.

Em função das incertezas quanto ao comportamento do reforço e da estrutura existente adotou-se inicialmente um procedimento que convencionou-se chamar de "fase ensaio", na qual a protensão das vigas mestras e traves teriam valores maiores.

Na fase ensaio, adotou-se inicialmente uma protensão de 30 kN e 60 kN respectivamente para vigas mestras e tesouras, porém observou-se, no desenrolar da sua aplicação, que uma parcela considerável desta força era dispendida na acomodação das estruturas, existente e reforço, e que o objetivo de uma perfeita compatibilização entre ambas não era obtida com os valores da força de protensão previstos inicialmente.

Na Tabela a seguir estão indicados os valores da protensão utilizados, bem como a quantidade de elementos "protendidos" em cada fase.

	Fase ensaio		Fase execução	
	Protensão	Quantidade	Protensão	Quantidade
Viga Mestras	60 kN	3	30 kN	47
Tesoura	120 kN	3	60 kN	21

Durante a execução da protensão foram medidas deformações de várias barras da estrutura existente e do reforço bem como os deslocamentos verticais e horizontais, procurando assim verificar se a "protensão" aplicada cumpriu seu objetivo.

4. INSTRUMENTAÇÃO, EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS :

A necessidade de um acompanhamento efetivo do comportamento das estruturas e dos reforços determinaram as seguintes medições:

- Deslocamentos verticais e horizontais do reforço, das vigas mestras e tesouras;
- Deformações em vários pontos de ambas as estruturas, conforme indicado nas figuras 2, 3 e 5;
- Controle da força de protensão aplicada.

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Macacos hidráulicos com capacidade de 200 kN acionados por bomba manual;
- Manômetros para o controle das forças aplicadas;
- Células de carga desenvolvidas pelo Laboratório de Estruturas da EESC, instrumentadas com extensômetros elétricos de resistência, adaptadas aos macacos hidráulicos, para controle das forças aplicadas;

- Indicador de deformações TEPIC - HUGGENBERGER para a leitura das células de carga;
- Indicador de deformações TRANSDUTEC, para a leitura dos extensômetros elétricos de resistência;
- Extensômetros elétricos de resistência KYOWA, com base de medida 5mm, para a medição das deformações na estrutura;
- Extensômetro mecânico HUGGENBERGER, modelo TENSOTAST, com base de medida de 100mm e sensibilidade de 0,001mm para a leitura das deformações na estrutura;
- Relógios comparadores marca MITUTOYO de sensibilidade de 0,01mm e curso de 50mm para a medida de deslocamentos.

O procedimento adotado na execução das medições teve a seguinte sequência:

a) Preparação dos pontos de medição das deformações:

- identificação da seção;
- limpeza da superfície das barras;
- marcação dos eixos de referência e da base de leitura do extensômetro mecânico;
- fixação dos extensômetros elétricos de resistência (somente na fase ensaio)

b) Leitura das deformações:

- leitura inicial do extensômetro mecânico na barra de invar, para correção posterior das variações das deformações provocadas pela variação da temperatura;
- leitura da etapa zero (sem "protensão") de todas as seções instrumentadas (extensômetros elétricos de resistência e extensômetros mecânico);
- leitura de todos os pontos durante as várias etapas de carregamento;

c) Leitura do deslocamento vertical no meio do vão das estruturas principais e do reforço:

- montagem do dispositivo com relógios comparadores para a medição dos deslocamentos verticais da estrutura;
- leitura da etapa zero (sem "protensão");
- leituras nas várias etapas de carregamento.

d) Leitura do deslocamento horizontal nos apoios da estrutura de reforço:

- posicionamento das bases magnéticas com relógios comparadores;
- leitura da etapa zero (sem "protensão");
- leitura durante as várias etapas de carregamento.

5. APLICAÇÃO DA "PROTENSÃO"

Os procedimentos utilizados na aplicação da "protensão" estão abaixo relacionados:

- a) Posicionamento do macaco hidráulico entre a estrutura principal e o reforço.
- b) Verificação da verticalidade e alinhamento do macaco hidráulico em relação à estrutura principal.
- c) Ligação e leitura inicial da célula de carga.
- d) Aplicação da "protensão" segundo o seguinte esquema:

Fase ensaio:

- tesouras; 120 kN em 12 etapas de 10 kN
- vigas mestras: 60 kN em 6 etapas de 10 kN

Fase execução:

- tesouras: 60 kN em 6 etapas de 10 kN
- vigas mestras: 30 kN em 3 etapas de 10 kN

e) Colocação de calços entre a estrutura de reforço e a estrutura principal, permitindo desta forma a retirada dos macacos hidráulicos.

f) Soldagem da ligação dos calços com as estruturas principal e de reforço.

6. RESULTADOS OBTIDOS

Os objetivos inicialmente propostos para a execução do reforço e sua compatibilização com a estrutura existente foram atingidos.

Todos os resultados obtidos nas medições efetuadas durante a "protensão" das 24 tesouras e 50 vigas mestras mostraram-se satisfatórios.

Na figura 6 estão apresentados os deslocamentos obtidos das três tesouras na fase ensaio bem como das vigas de reforço e os deslocamentos teóricos.

Ressalta-se que os resultados das tesouras 32 e 36 indicam que uma parcela considerável da força de "protensão" foi despreendida para a acomodação das estruturas.

Na figura 7 estão apresentados os deslocamentos obtidos nas vigas mestras da fase ensaio, bem como os resultados teóricos.

A figura 8 indica os deslocamentos da fase execução, máximos, mínimos e os valores médios das 21 travessas e das vigas de reforço, bem como os valores teóricos.

Na figura 9 estão apresentados os deslocamentos da fase execução, máximos, mínimos e os valores médios das 47 vigas mestras e das vigas de reforço, bem como os valores teóricos.

Na figura 10 estão apresentados os valores das tensões obtidas das três tesouras na fase ensaio bem como das vigas de reforço e os valores das tensões teóricas.

Na figura 11 estão apresentados os valores das tensões obtidas nas vigas mestras da fase ensaio bem como nas vigas de reforço e os resultados teóricos.

A figura 12 indica os valores das tensões na fase execução, máximos, mínimos e os valores médios das 21 travessas e das vigas de reforço, bem como os valores teóricos.

Na figura 13 estão apresentados os valores das tensões na fase execução, máximos, mínimos e os valores médios das 47 vigas mestras e das vigas de reforço, bem como os valores teóricos.

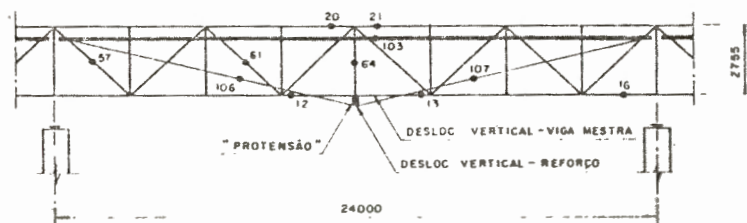


Figura 2 - Esquema da viga mestra e pontos instrumentados (Extensômetro mecânico)

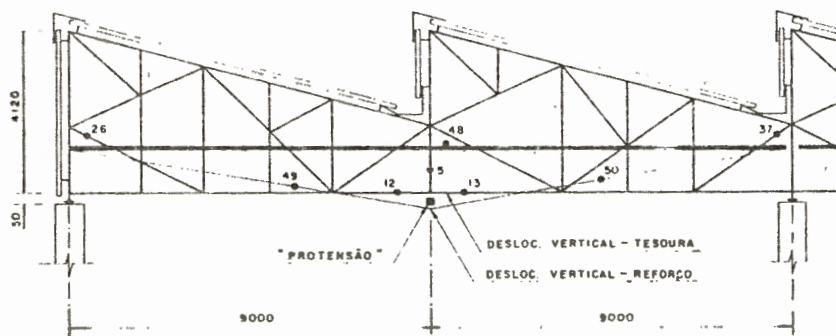


Figura 3 - Esquema da tesoura e pontos instrumentados (Extensômetro mecânico)

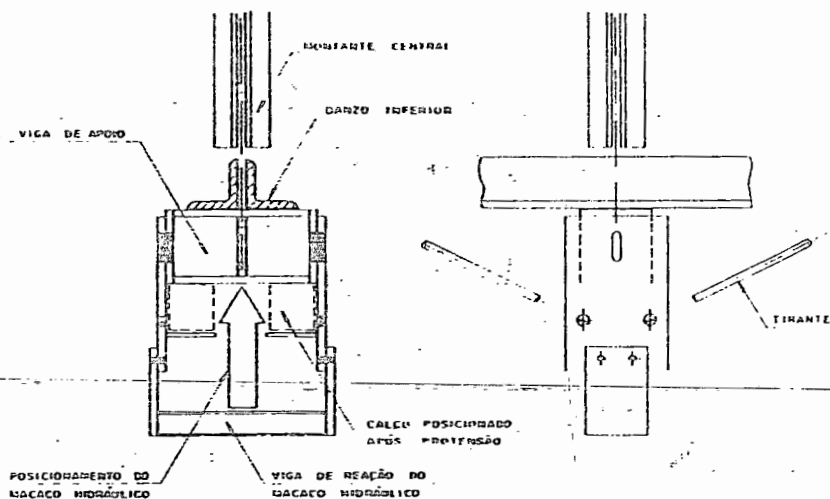


Figura 4 - Esquema do dispositivo de aplicação da protensão (gaiola)

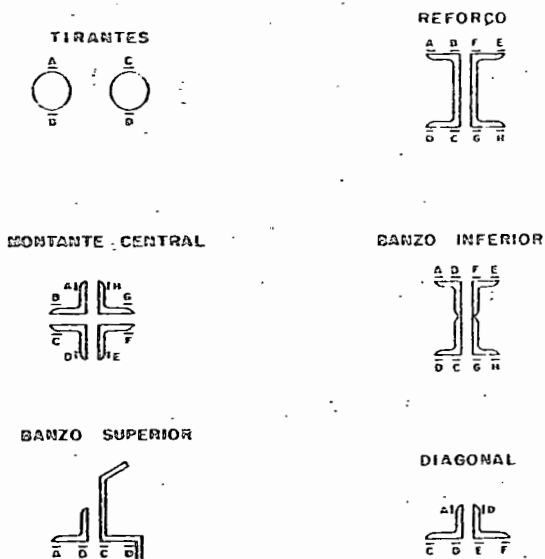


Figura 5 - Localização das pontas de medição em cada seção transversal

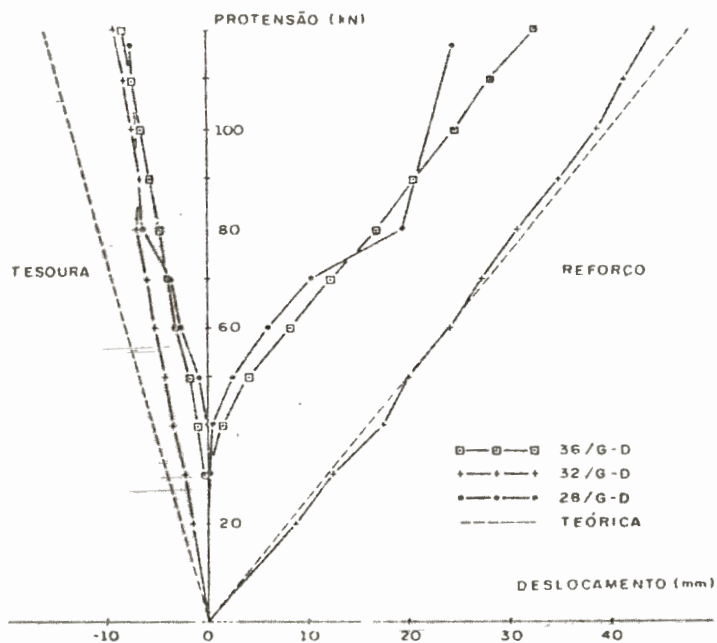


Figura 6 : Deslocamentos das tesouras - Fase ensaio

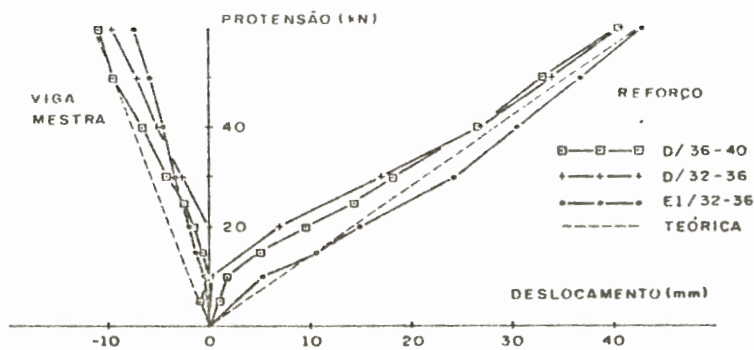


Figura 7 : Deslocamentos das vigas-mestras - Fase ensaio

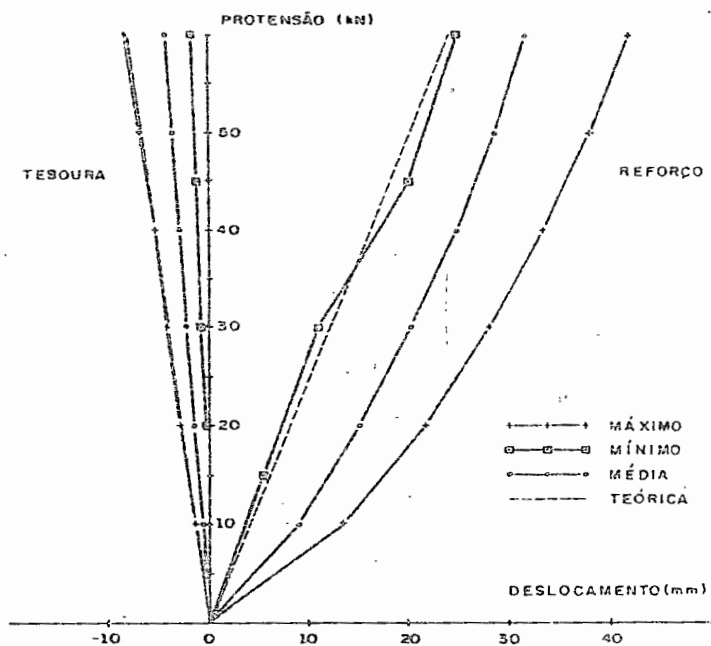


Figura 3: Deslocamentos das tesouras - Fase execução

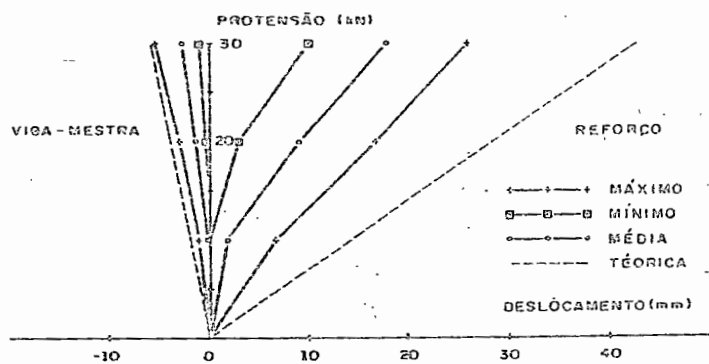


Figura 2: Deslocamentos das vigas-mestras - Fase execução

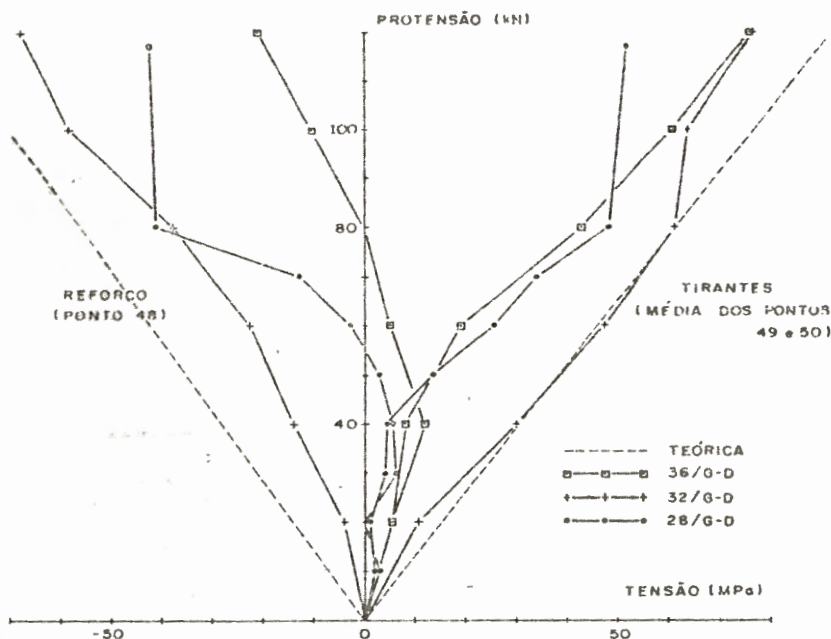


Figura 10: Tensões no reforço das tesouras - Fase ensaio

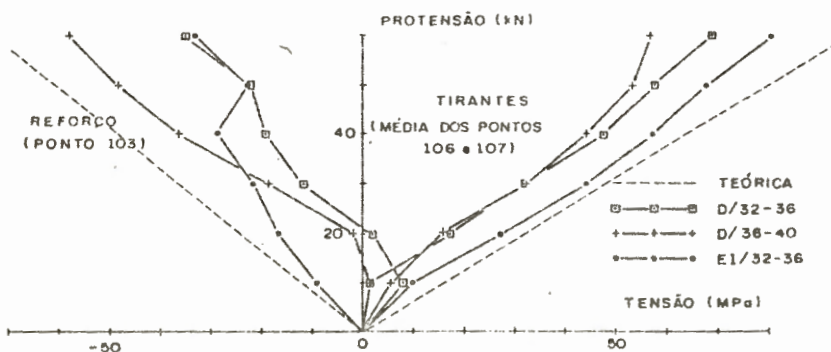


Figura 11: Tensões no reforço das vigas mestras - Fase ensaio

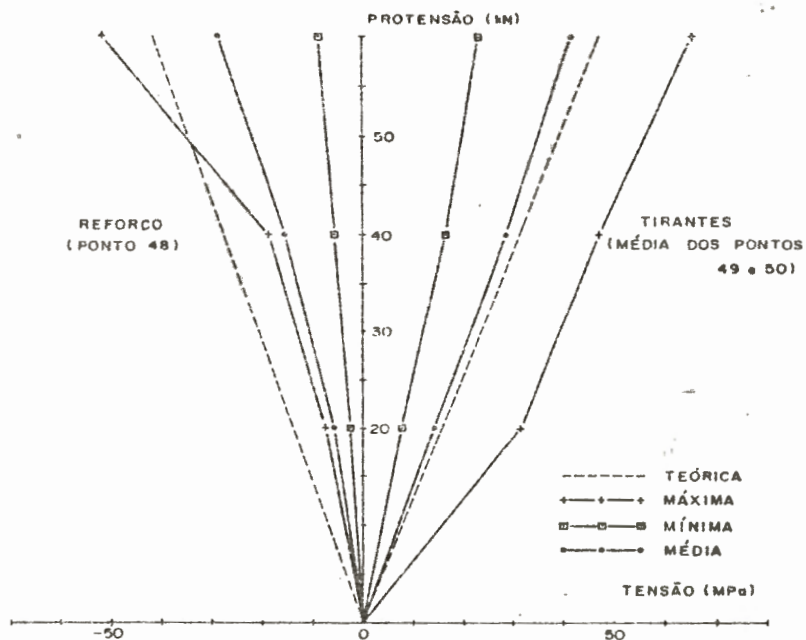


Figura 12 : Tensões no reforço das tesouros - Fase execução

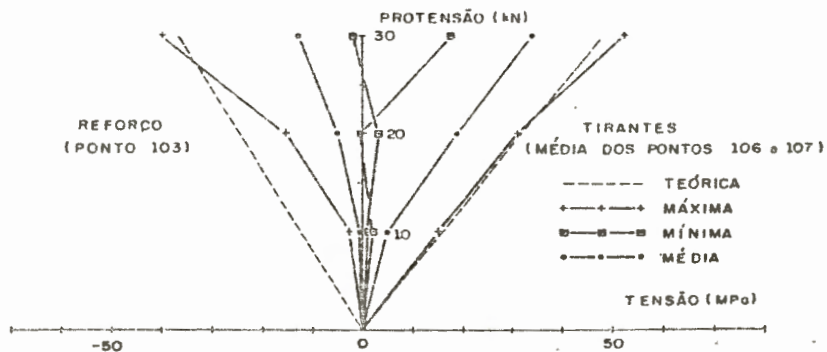


Figura 13 : Tensões no reforço das vigas mestras - Fase execução