



Vigas ensaiadas por Fritz Leonhardt e René Walther – Stuttgart [26]

Fazemos aqui a comparação entre as aberturas de fissura medidas nos ensaios de [26] e as calculadas pelo CEB 78 e por G. Rehm assim como as calculadas pela NBR6118 -2002

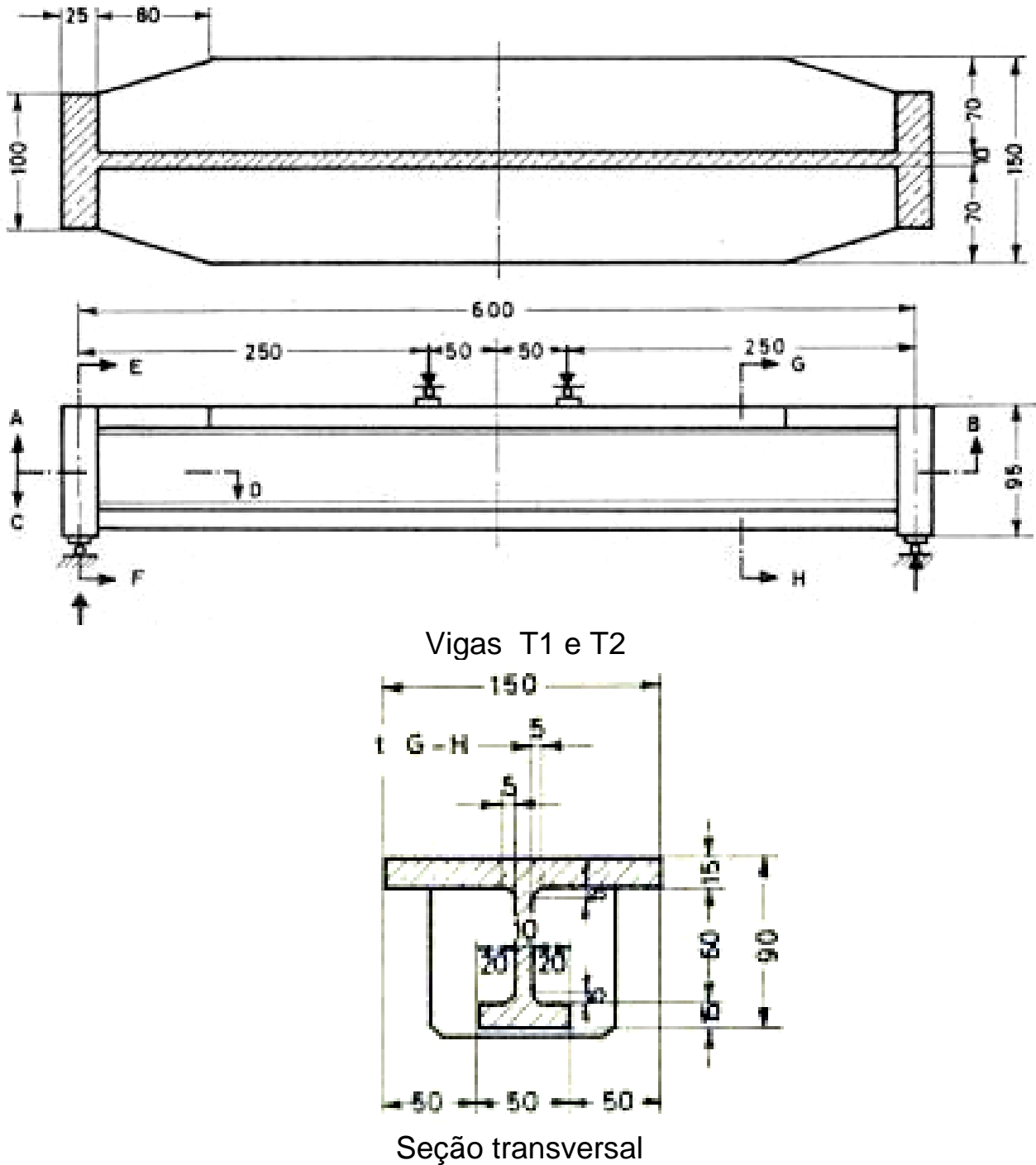


Figura 32 - Forma das vigas T1 e T2



A armadura das vigas era composta de 16 barras de 26mm na armadura de flexão e de estribos com 12mm de diâmetro e espaçamento de 8cm. Em uma metade da viga os estribos tinham nervura. Na outra metade, os estribos não tinham nervura. A fissuração inclinada não foi diferente entre as duas metades da viga. Isso faz supor que o importante nos estribos é a ancoragem nas suas extremidades, nos ganhos e dobras.

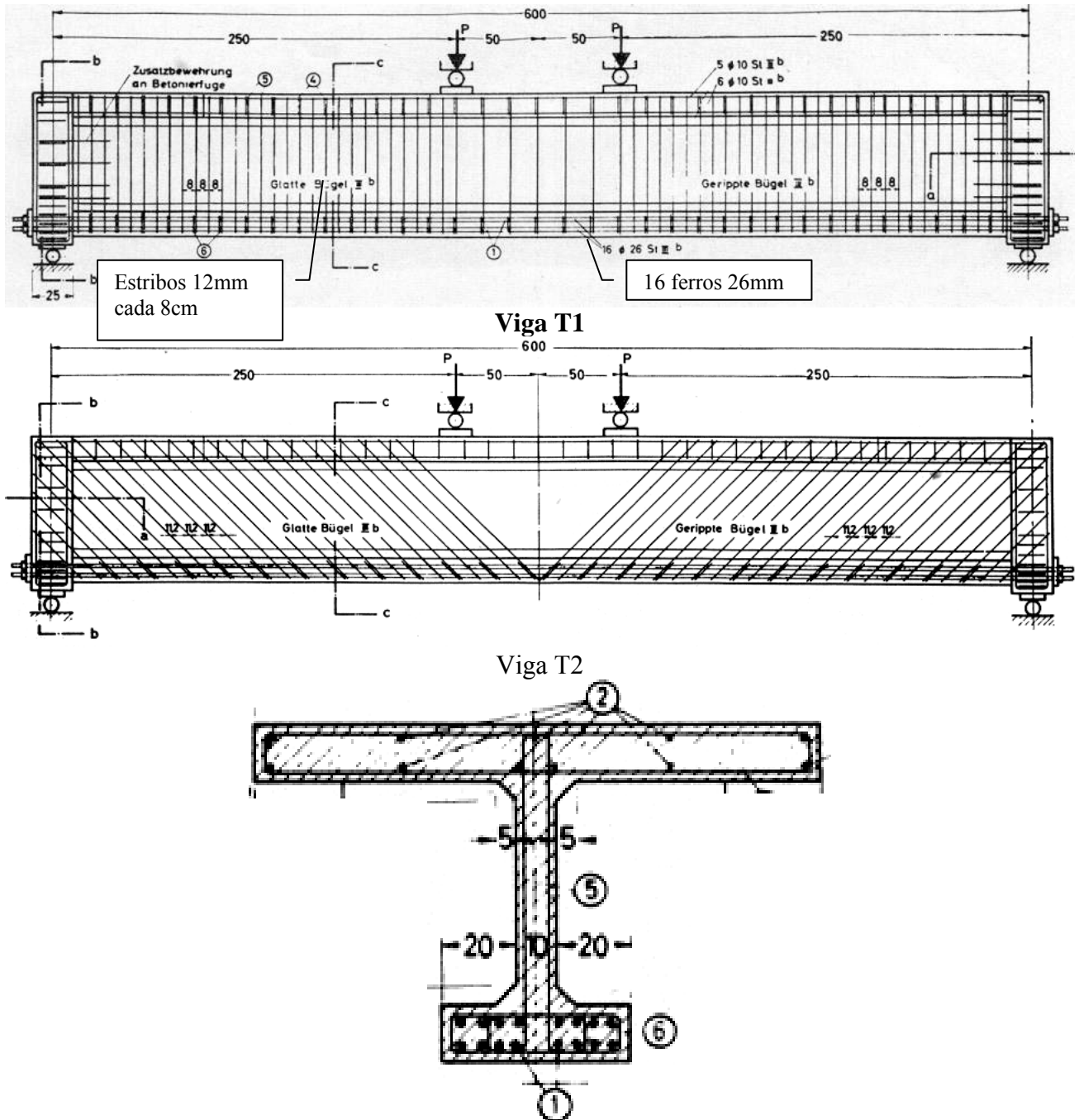


Figura 33 - Armadura da vigas T1 e T2



Segundo o relatório dos ensaios, [26], o aço usado nos ensaios apresenta as seguintes características:

Armadura de estribos:

Barras $\phi=12\text{mm}$; Espaçamento = 8cm

Metade da viga com estribos nervurados, metade com estribos lisos.

$$\sigma_{\text{ruptura}} = 5470 \left(\text{kgf/cm}^2 \right) = 56,0 \left(\text{kN/cm}^2 \right)$$

$$\sigma_{\text{escoamento } 0,2\%} = 4350 \left(\text{kgf/cm}^2 \right) = 47,40 \left(\text{kN/cm}^2 \right)$$

Armadura de flexão :

16 barras $\phi=26\text{ mm}$ nervuradas

Área da barra = 5,29 cm²

$$\sigma_{\text{ruptura}} = 5600 \left(\text{kgf/cm}^2 \right) = 56,0 \left(\text{kN/cm}^2 \right)$$

$$\sigma_{\text{escoamento } 0,2\%} = 4740 \left(\text{kgf/cm}^2 \right) = 47,40 \left(\text{kN/cm}^2 \right)$$

$$\sigma_{\text{limite.linear}} = 3700 \left(\text{kgf/cm}^2 \right) = 37 \left(\text{kN/cm}^2 \right)$$

Módulo de Elasticidade $E=2,08 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$.



Dedterminação da linha neutra no estágio 2

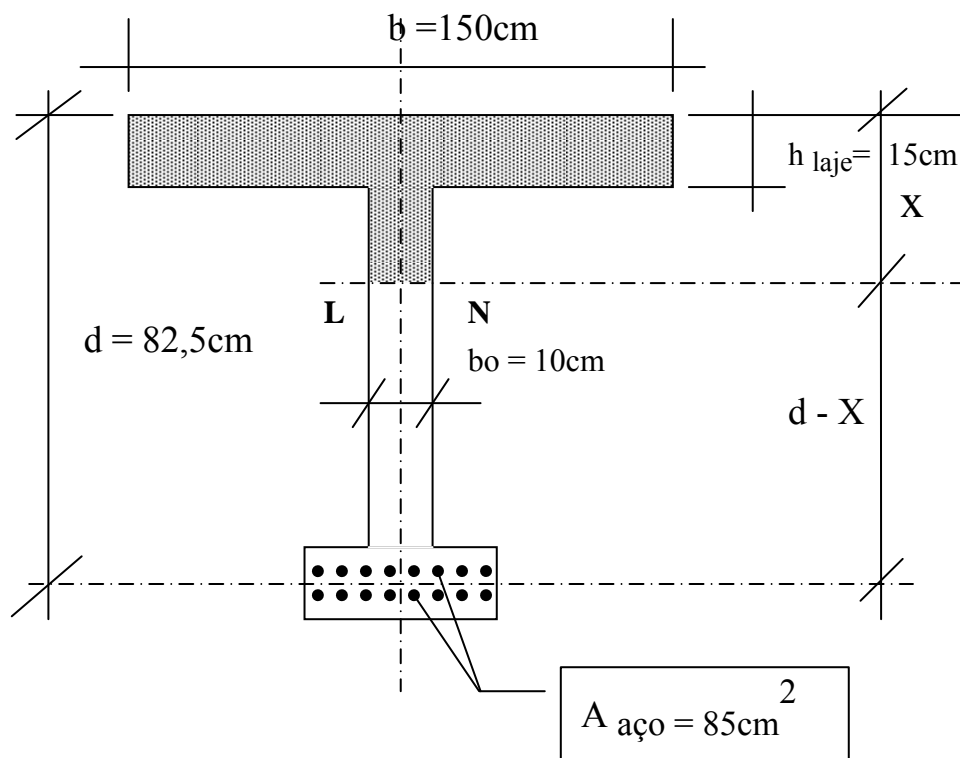


Figura 34 - Posição da linha neutra

Cálculo da posição da linha neutra no **estádio II**.

Momento estático nulo em relação à linha neutra :

Concreto $f_{c,\text{prismático}} = 24,2\text{ MPa}$

$E_c(\text{MPa}) = 5600\sqrt{f_{c,k}(\text{MPa})} = 5600\sqrt{24,2} = 27548\text{ MPa} = 27,5\text{ GPa}$, segundo a norma brasileira NBR 6118.

$$n = \frac{E_{\text{aço}}}{E_{\text{concreto}}} = \frac{210\text{ GPa}}{27,5\text{ GPa}} = 7,6 \cong 8$$

$$b \times h_{\text{laje}} \times \left(X - \frac{h_{\text{laje}}}{2} \right) + b_o \times \left(X - h_{\text{laje}} \right) \times \frac{\left(X - h_{\text{laje}} \right)}{2} = n \times A_{\text{aço}} \times (d - X)$$

Usando $n = 8$



$$150 \times 15 \times \left(X - \frac{15}{2} \right) + 10 \times (X - 15) \times \frac{(X - 15)}{2} = 8 \times 85,0 \times (82,5 - X)$$

$$X = 24,7 \text{ cm}$$

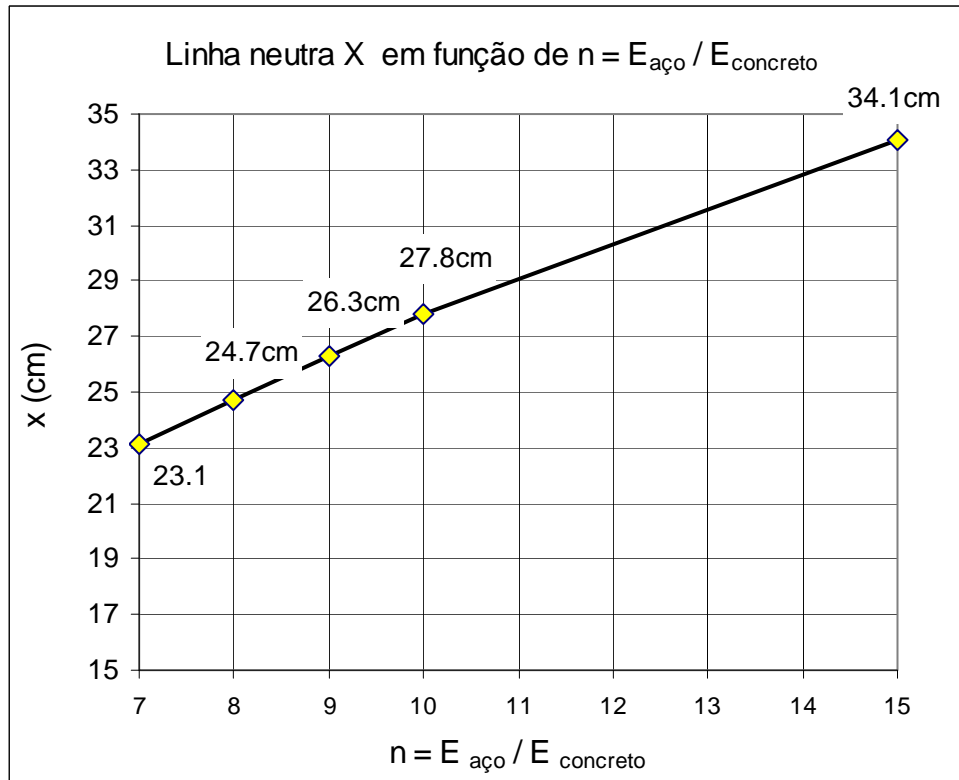


Figura 35 – Posição da linha neutra .

- A posição da linha neutra X varia com a relação $n = E_{\text{aço}} / E_{\text{concreto}}$.
- A norma alemã DIN 1045 , por exemplo, recomenda $n=15$ para o cálculo da linha neutra.
Nesse caso $X=34,1$ cm.

Para avaliar a posição da linha neutra usamos os alongamentos medidos na armadura de flexão ($\epsilon_{\text{aço}}$) com extensômetros elétricos e o encurtamento medido no concreto (ϵ_{c}) no bordo comprimido da viga.

$$\frac{x}{\epsilon_{\text{c}}} = \frac{d - x}{\epsilon_{\text{aço}}} = \frac{d}{\epsilon_{\text{c}} + \epsilon_{\text{aço}}}; \quad x = \frac{\epsilon_{\text{c}}}{\epsilon_{\text{c}} + \epsilon_{\text{aço}}} \times d$$

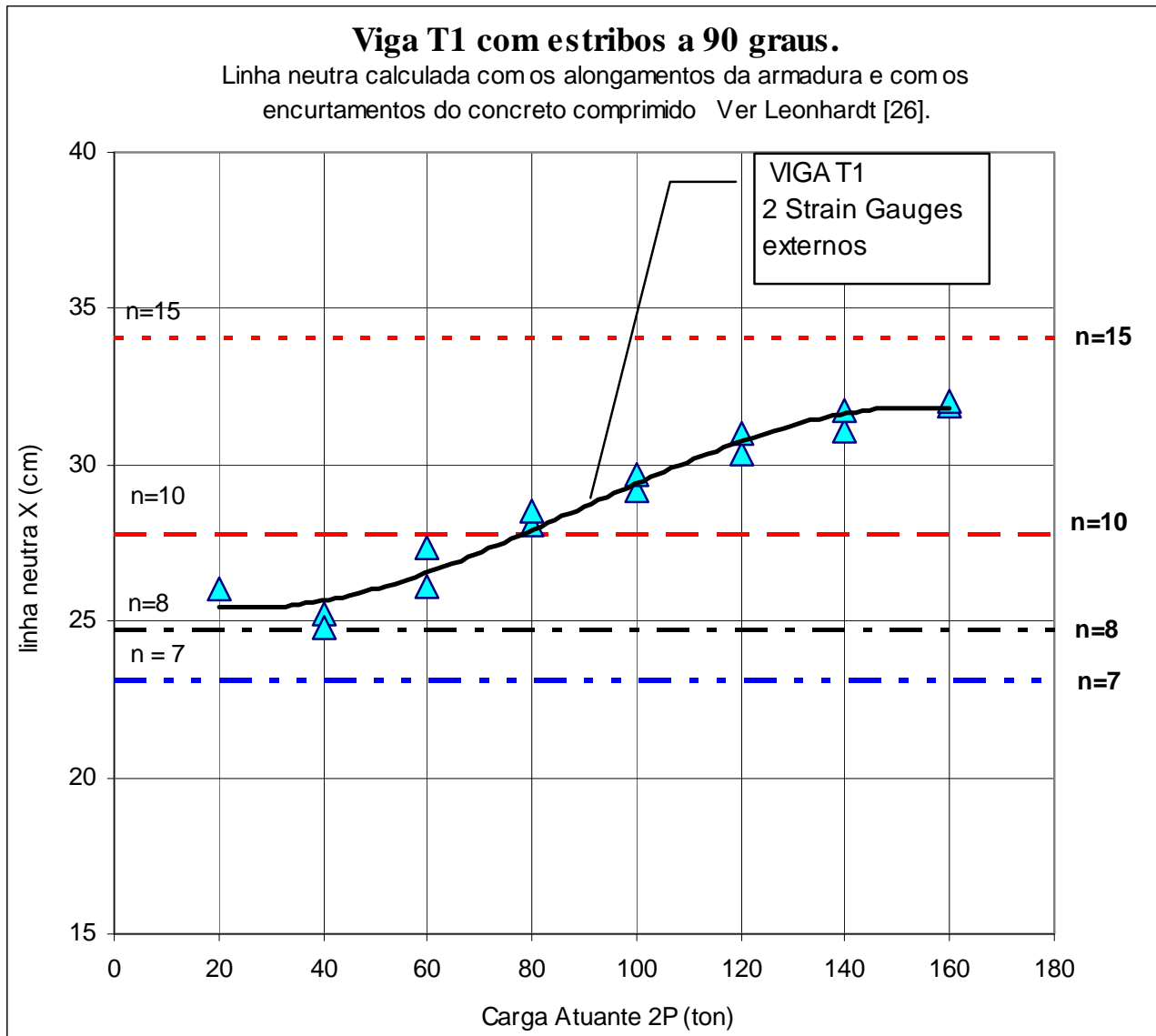
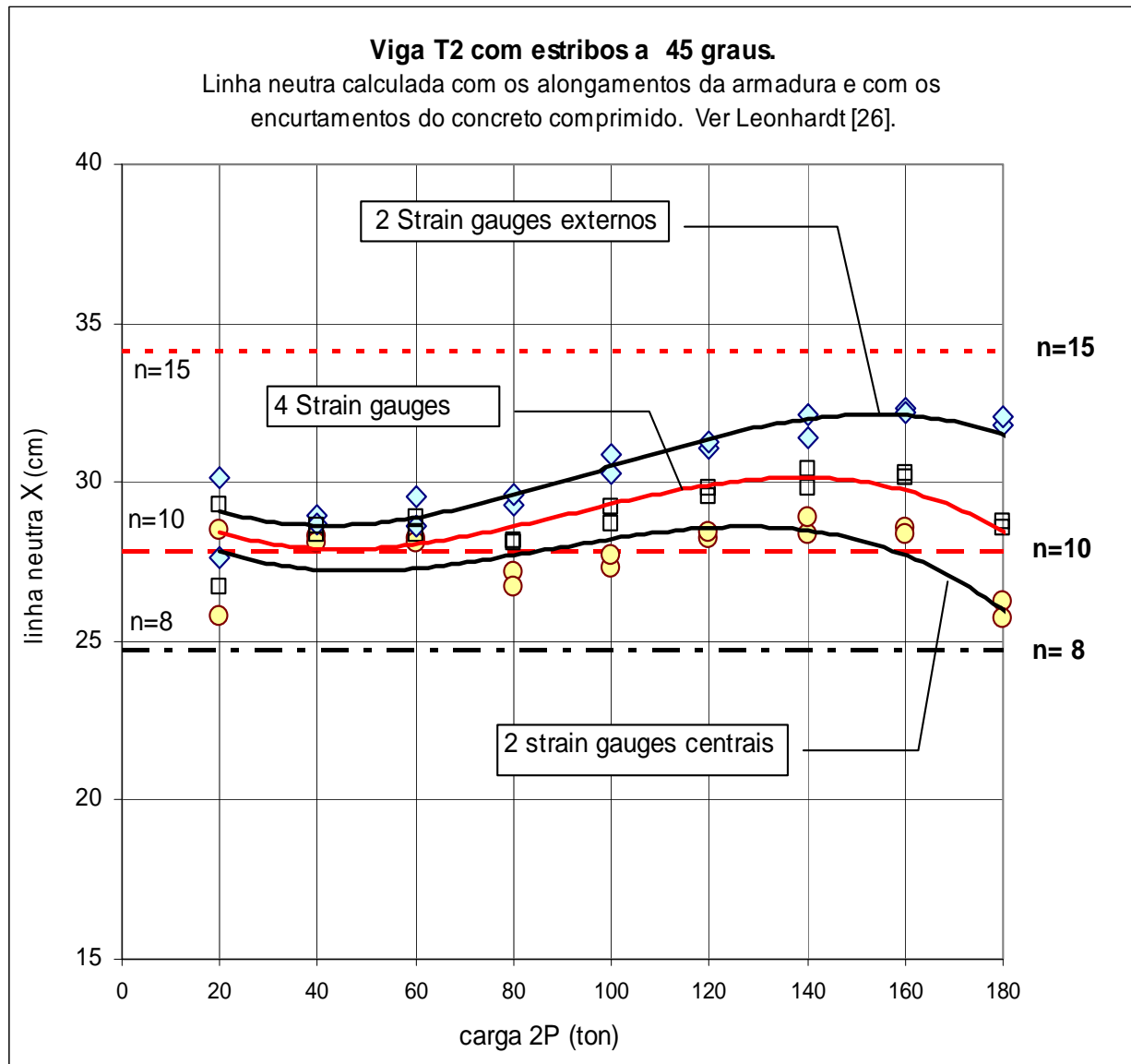


Figura 36 – Viga T1 - Posição da linha neutra

- Na viga T1, como se pode observar da figura 36, a linha neutra variou de 25cm a 32cm, a medida que a carga atuante aumentava.
- Uma possível explicação seria:
- A medida que a carga atuante aumenta, a tensão de compressão no concreto aumenta e o módulo de secante de deformação do concreto (E_c) diminui.
- Com a diminuição do módulo secante de deformação do concreto (E_c), o valor de $n = E_a/E_c$ aumenta, X aumenta, e a linha neutra desce na viga.



A linha neutra foi calculada com base nos alongamentos das barras de aço tracionadas e nos encurtamentos da mesa de concreto comprimido.

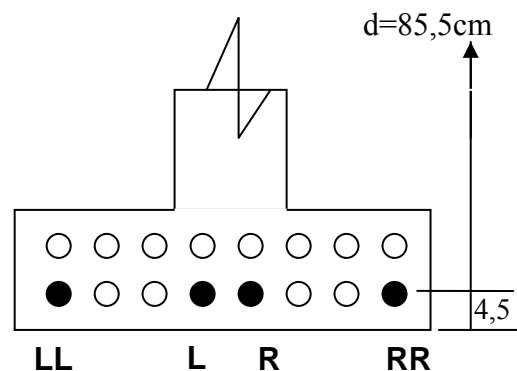
$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_{aço}} \times d$$

Como os extensômetros

elétricos (strain gauges) foram colocados nas barras inferiores $d = 85,5$ cm

Foram considerados os alongamentos dos

- extensômetros externos LL e RR
- extensômetros internos L e R
- 4 extensômetros LL, L, R e RR





Posição da resultantes de compressão.

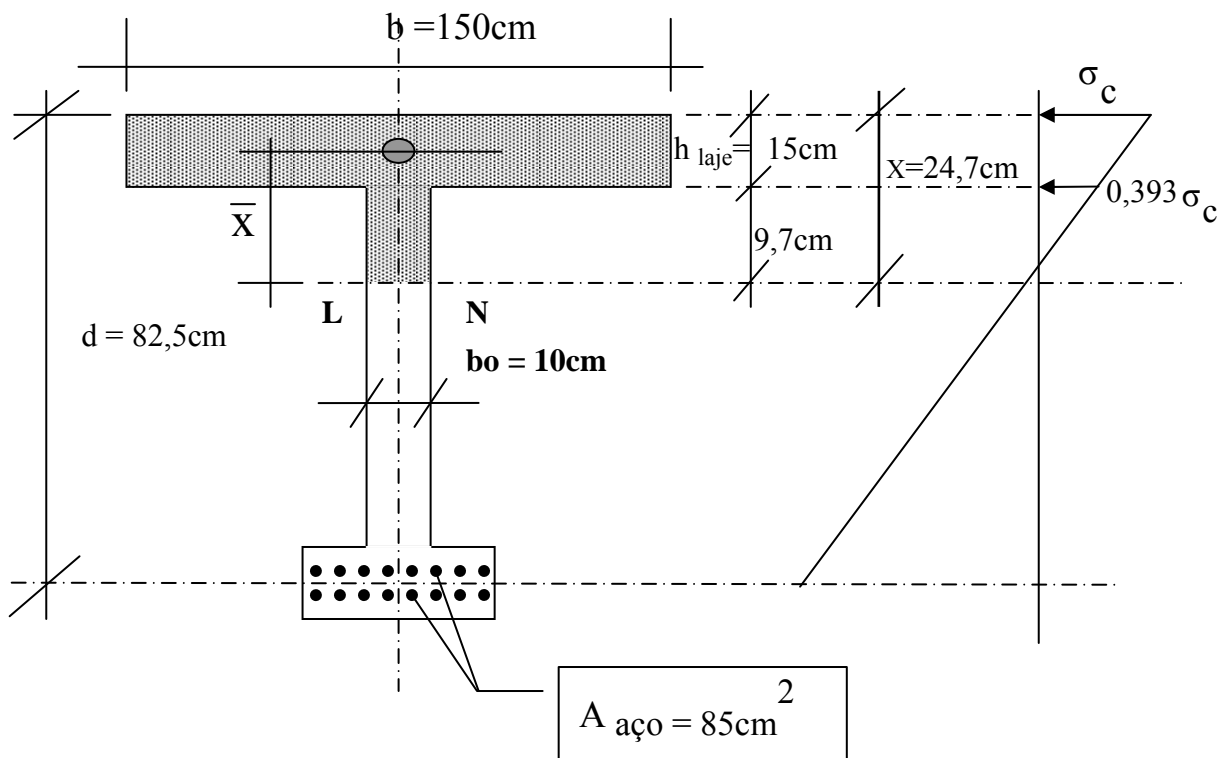


Figura 37 - Ponto de aplicação da resultante a contar da linha neutra :

Item	Resultante força	Força	Momento
R1=	$[(1-0,393) \sigma_c \times 150\text{cm} \times 15\text{cm}]/2=$	$682,875 \times \sigma_c$	$\times (24,7-5,0) \text{ cm} =$ $=13452,63 \sigma_c$
R2=	$0,393 \sigma_c \times 150\text{cm} \times 15\text{cm} =$	$884,250 \times \sigma_c$	$\times (24,7-7,5) \text{ cm} =$ $=15209,10 \sigma_c$
R3=	$[0,393 \sigma_c \times 9,7\text{cm} \times 10\text{cm}] / 2 =$	$19,060 \times \sigma_c$	$\times (2/3) \times 9,7\text{cm} =$ $=123,25 \sigma_c$
	Somatórios	$\Sigma = 1586,185 \times \sigma_c$	$\Sigma = 28784,98 \sigma_c$

$$\bar{X} = \frac{28784,98 (\text{cm}^3) \times \sigma_c}{1586,185 (\text{cm}^2) \times \sigma_c} = 18,15\text{cm}$$

O braço de alavanca é : $Z = d - \bar{X} = 82,5\text{cm} - (24,7\text{cm} - 18,15\text{cm}) = 75,9\text{cm}$

Considerando a resultante de compressão no centro da mesa comprimida teríamos:

$$Z = d - \frac{h_{\text{laje}}}{2} = 82,5\text{cm} - \frac{15\text{cm}}{2} = 75\text{cm} \approx 75,9\text{cm}$$

Essa simplificação é usual em vigas T, tanto no estado limite de utilização (serviço) como no estado limite último (ruptura).



Resistência à tração do concreto :

Para o concreto $f_{c,prismático} = 24,2$ MPa estima-se a resistência:

$$f_{ct\ 95\%} = 3,3 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,5 \text{ MPa}$$

Momento fletor de fissuração:

Momento de Inércia da seção homogeneizada no estágio I = $5\ 038\ 794 \text{ cm}^4$

$$W_{sup.} = 136\ 315 \text{ cm}^3$$

$$W_{inf.} = 95\ 007 \text{ cm}^3$$

$$M_{fissuração} = W_{inf.} \times f_{ct95\%} = \left(95007 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \right) \times 3300 \text{ (kN/m}^2) = 313,5 \text{ kN.m}$$

$$M_{fissuração} = 31,3 \text{ tm} = 313 \text{ kN.m}$$

A tensão no aço logo após a fissuração inicial seria:

$$\sigma = \frac{M_{fissuração}}{z \times A_{aço}} = \frac{31,3 \text{ tm}}{0,759 \text{ m} \times 85 \left(\text{cm}^2 \right)} = 0,49 \left(\text{t/cm}^2 \right) = 490 \left(\text{kgf/cm}^2 \right)$$

$$M_{\text{peso próprio}} = \frac{g \times L^2}{8} = \frac{10,5 \text{ (kN/m)} \times (6,00 \text{ m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

$$M_{\text{carga 2P}} = 313,5 - 47,3 = 266,2 \text{ kN.m}$$

Carga 2P quando ocorre a fissuração da viga :

$$2P = 2 \times \left(\frac{266,2 \text{ (kN.m)}}{2,5 \text{ m}} \right) = 213 \text{ kN} = 21,3 \text{ t}$$



Fissura quando atua a carga externa: $2P = 2 \times 10.65 \text{ ton} = 21.3 \text{ ton}$

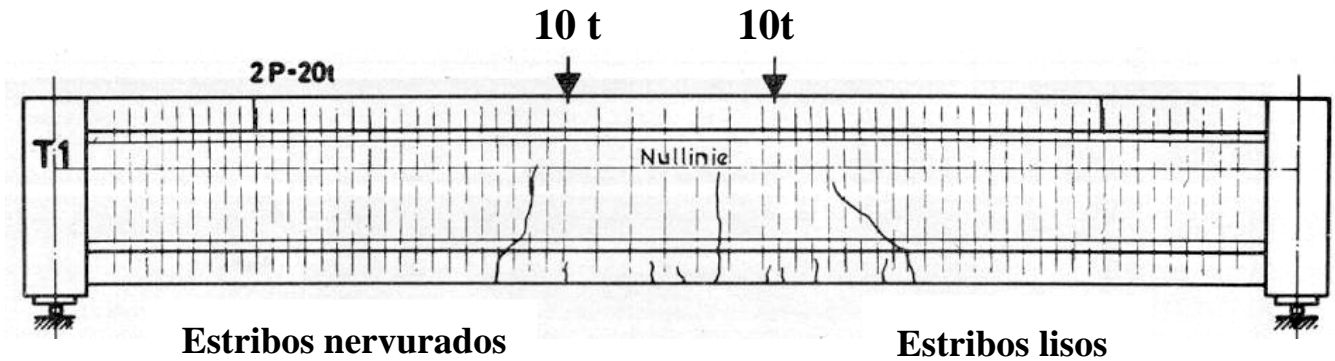


Figura 38 - Viga T1 com as fissuras para a carga total de $20t = 200 \text{ kN}$

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:

$$M = 106.5 \text{ kN} \times 2.5\text{m} = 266,2 \text{ kN.m}$$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10.5 \text{ (kN/m)} \times (6.0\text{m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

O momento fletor total é :

$$M = 266,2(\text{kN.m}) + 47,3 \text{ (kN.m)} = 313,5 \text{ kN.m}$$

$$\text{A força de tração na armadura é : } R_t = \frac{M}{z} = \frac{313,5\text{kN.m}}{0,759\text{m}} = 413\text{kN}$$

$$\text{A tensão do aço no } \mathbf{estádio II} \text{ seria : } \sigma_{\text{aço}} = \frac{R_t}{A_{\text{aço}}} = \frac{97.4\text{kN}}{85\text{cm}^2} = 4,9 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)$$

Com essa tensão o aço está dentro do comportamento elástico.

O alongamento do aço no **estádio II** seria :

$$\varepsilon_{\text{aço.estadio.II.puro}} = \frac{\sigma}{E} = \frac{490(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} = 0,235 \text{ ‰} = 0,235 \text{ (mm/m)}$$



Segundo o **CEB 78** , o alongamento médio do aço no centro do vão é :

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{\sigma}{E} \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{\sigma_{\text{aço.1}^{\text{a}}.\text{fissura}}}{\sigma_{\text{aço.estádio.II}}} \right)^2 \right) =$$
$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{490(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} \times \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{490(\text{kgf/cm}^2)}{490(\text{kgf/cm}^2)} \right)^2 \right)$$
$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = 0,2355\text{‰} \times 0,50 = 0,118 \text{ (mm/m)}$$

O espaçamento médio entre fissuras vale :

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (c + 0,10 S) + 0,05 \times \frac{\phi}{\rho_r}$$
$$\rho_r = \frac{A_{\text{aço}}}{A_{\text{concreto}}} = \frac{85\text{cm}^2}{15\text{cm} \times 50\text{cm}} = 0,1133$$

C = cobrimento da barra = 3,2 cm (face a face)

S = espaçamento entre as barras (eixo a eixo)

$\phi = 26\text{mm}$

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (3,2\text{cm} + 0,10 \times 5,8\text{cm}) + 0,05 \times \frac{2,6\text{cm}}{0,1133} = 7,6 + 1,1 = 8,7\text{cm}$$

O espaçamento médio medido, no trecho central de 1.0m, foi de 9cm .

$$\omega_{95\%} = 1,7 \times \varepsilon_{\text{sm}} \times S_{\text{rm}} = 1,7 \times 0,118(\text{mm/m}) \times 0,087(\text{m}) = 0,017\text{mm}$$

Segundo a norma brasileira **NBR6118 / 2002**

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \frac{3 \times \sigma_{\text{aço}}}{f_{\text{ctm}}_{\text{concreto}}}$$
$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{490(\text{kgf/cm}^2)}{2100000(\text{kgf/cm}^2)} \times \frac{3 \times 490(\text{kgf/cm}^2)}{25(\text{kgf/cm}^2)} = 0,013\text{mm}$$



$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right)$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{490 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}{2100000 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}} \times \left(\frac{4}{0,1133} + 45 \right) = 0,017 \text{ mm}$$

Fissura quando atua a carga externa: $2P = 2 \times 15 \text{ ton} = 30 \text{ ton}$

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:

$$M = 150 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m} = 375 \text{ kN.m}$$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10,5 \text{ (kN/m)} \times (6,0 \text{ m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

O momento fletor total é :

$$M = 375 \text{ (kN.m)} + 47,3 \text{ (kN.m)} = 422,3 \text{ kN.m}$$

$$\text{A força de tração na armadura é : } R_t = \frac{M}{z} = \frac{422,3 \text{ kN.m}}{0,759 \text{ m}} = 556 \text{ kN}$$

$$\text{A tensão do aço no } \mathbf{estádio II} \text{ seria : } \sigma_{\text{aço}} = \frac{R_t}{A_{\text{aço}}} = \frac{556 \text{ kN}}{85 \text{ cm}^2} = 6,54 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)$$

Com essa tensão o aço ainda está dentro do comportamento elástico.

A tensão no aço, calculada através da medição de extensômetro elétrico colados na armadura de tração, foi de 7,0 (kN/cm²)

O alongamento do aço no **estádio II** seria :

$$\varepsilon_{\text{aço. estadio. II. puro}} = \frac{\sigma}{E} = \frac{654 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}{2,08 \times 10^6 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}} = 0,314 \text{ ‰} = 0,314 \text{ (mm/m)}$$



Segundo o **CEB 78** , o alongamento médio do aço no centro do vão é :

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{\sigma}{E} \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{\sigma_{\text{aço.1}^{\text{a}}.\text{fissura}}}{\sigma_{\text{aço.estádio.II}}} \right)^2 \right) =$$

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{654(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} \times \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{490(\text{kgf/cm}^2)}{654(\text{kgf/cm}^2)} \right)^2 \right)$$

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = 0,5314 \text{ ‰} \times 0,72 = 0,226 \text{ (mm/m)}$$

O espaçamento médio entre fissuras vale :

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (c + 0,10 S) + 0,05 \times \frac{\phi}{\rho_r}$$

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (3,2 \text{ cm} + 0,10 \times 5,8 \text{ cm}) + 0,05 \times \frac{2,6 \text{ cm}}{0,1133} = 7,6 + 1,1 = 8,7 \text{ cm}$$

O espaçamento médio medido, no trecho central de 1.0m, foi de 9cm .

$$\omega_{95\%} = 1,7 \times \varepsilon_{\text{sm}} \times S_{\text{rm}} = 1,7 \times 0,226(\text{mm/m}) \times 0,087(\text{m}) = 0,033 \text{ mm}$$

Segundo a norma brasileira **NBR6118 / 2002**

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \frac{3 \times \sigma_{\text{aço}}}{f_{\text{ctm}}_{\text{concreto}}}$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{654(\text{kgf/cm}^2)}{2100000(\text{kgf/cm}^2)} \times \frac{3 \times 654(\text{kgf/cm}^2)}{25(\text{kgf/cm}^2)} = 0,023 \text{ mm}$$

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right)$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{654(\text{kgf/cm}^2)}{2100000(\text{kgf/cm}^2)} \times \left(\frac{4}{0,1133} + 45 \right) = 0,023 \text{ mm}$$





Fissura quando atua a carga externa:

$$2P = 2 \times 20 \text{ ton} = 40 \text{ ton}$$

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:

$$M = 200 \text{ kN} \times 2,5\text{m} = 500 \text{ kN.m}$$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10,5 \text{ (kN/m)} \times (6,0\text{m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

O momento fletor total é :

$$M = 500 \text{ (kN.m)} + 47,3 \text{ (kN.m)} = 547,3 \text{ kN.m}$$

$$\text{A força de tração na armadura é : } R_t = \frac{M}{z} = \frac{547,3\text{kN.m}}{0,759\text{m}} = 721\text{kN}$$

$$\text{A tensão do aço no estágio II seria : } \sigma_{\text{aço}} = \frac{R_t}{A_{\text{aço}}} = \frac{721\text{kN}}{85\text{cm}^2} = 8,48 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)$$

Com essa tensão o aço ainda está dentro do comportamento elástico .

A tensão no aço, calculada através da medição de extensômetro elétrico colados na armadura de tração, foi de 8,60(kN/cm²)

O alongamento do aço no estágio II seria :

$$\varepsilon_{\text{aço. estadio.II.puro}} = \frac{\sigma}{E} = \frac{860(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} = 0,413 \text{ ‰} = 0,413 \text{ (mm/m)}$$

Segundo o CEB 78 , o alongamento médio do aço no centro do vão é :

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{\sigma}{E} \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{\sigma_{\text{aço.1}^{\text{a}}.\text{fissura}}}{\sigma_{\text{aço.estádio.II}}} \right)^2 \right) =$$

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{860(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} \times \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{490(\text{kgf/cm}^2)}{860(\text{kgf/cm}^2)} \right)^2 \right)$$



$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = 0,594 \text{ ‰} \times 0,84 = 0,347 \text{ (mm/m)}$$

O espaçamento médio entre fissuras vale :

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (c + 0,10 S) + 0,05 \times \frac{\phi}{\rho_r}$$

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (3,2 \text{ cm} + 0,10 \times 5,8 \text{ cm}) + 0,05 \times \frac{2,6 \text{ cm}}{0,1133} = 7,6 + 1,1 = 8,7 \text{ cm}$$

O espaçamento médio medido, no trecho central de 1.0m, foi de 9cm .

$$\omega_{95\%} = 1,7 \times \varepsilon_{\text{sm}} \times S_{\text{rm}} = 1,7 \times 0,347 \text{ (mm/m)} \times 0,087 \text{ (m)} = 0,051 \text{ mm}$$

Segundo a norma brasileira **NBR6118 / 2002**

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \frac{3 \times \sigma_{\text{aço}}}{f_{\text{ctm}_{\text{concreto}}}}$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{860 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}{2100000 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}} \times \frac{3 \times 860 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}{25 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}} = 0,039 \text{ mm}$$

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right)$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{860 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}{2100000 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}} \times \left(\frac{4}{0,1133} + 45 \right) = 0,030 \text{ mm}$$





Fissura quando atua a carga externa $2P = 2 \times 30 \text{ ton} = 60 \text{ ton}$

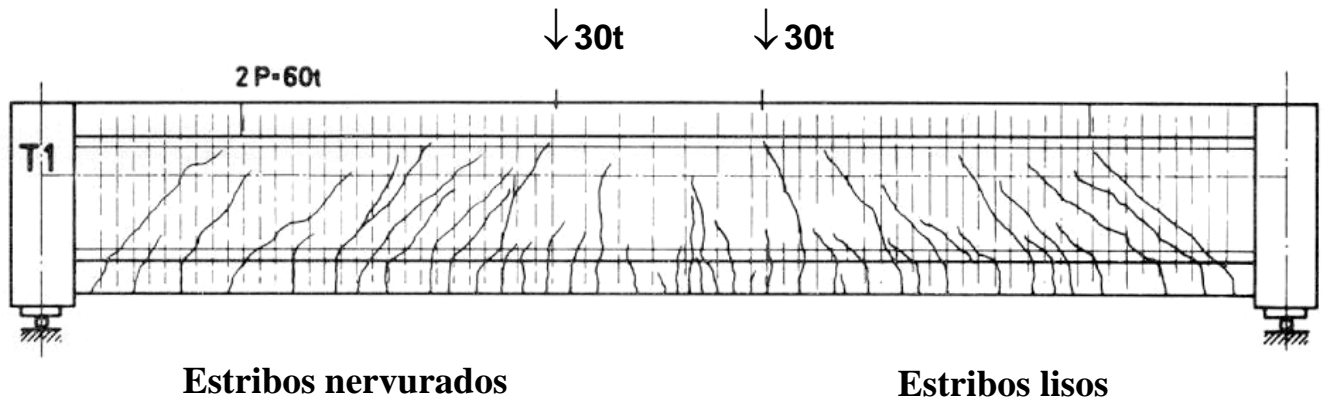


Figura 39 - Fissuração para a carga total de 60t = 600kN

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:
 $M = 300 \text{ kN} \times 2,5\text{m} = 750 \text{ kN.m}$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10,5 \text{ (kN/m)} \times (6,0\text{m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

O momento fletor total é :

$$M = 750 \text{ (kN.m)} + 47,3 \text{ (kN.m)} = 797,3 \text{ kN.m}$$

A força de tração na armadura é : $R_t = \frac{M}{z} = \frac{797,3\text{kN.m}}{0,759\text{m}} = 1050\text{kN}$

A tensão do aço no **estádio II** seria : $\sigma_{\text{aço}} = \frac{R_t}{A_{\text{aço}}} = \frac{1050\text{kN}}{85\text{cm}^2} = 12,35 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)$

Com essa tensão o aço ainda está dentro do comportamento elástico .

A tensão no aço, calculada através da medição de extensômetro elétrico colados na armadura de tração, foi de 13,2(kN/cm²)

O alongamento do aço no **estádio II** seria :

$$\varepsilon_{\text{aço. estadio. II. puro}} = \frac{\sigma}{E} = \frac{1235(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} = 0,594 \text{ ‰} = 0,594 \text{ (mm/m)}$$



Segundo o **CEB 78** , o alongamento médio do aço no centro do vão é :

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{\sigma}{E} \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{\sigma_{\text{aço.1}^{\text{a}}.\text{fissura}}}{\sigma_{\text{aço.estádio.II}}} \right)^2 \right) =$$

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{1235(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} \times \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{490(\text{kgf/cm}^2)}{1235(\text{kgf/cm}^2)} \right)^2 \right)$$

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = 0,594 \text{ ‰} \times 0,92 = 0,547 \text{ (mm/m)}$$

O espaçamento médio entre fissuras vale :

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (c + 0,10 S) + 0,05 \times \frac{\phi}{\rho_r}$$

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (3,2 \text{ cm} + 0,10 \times 5,8 \text{ cm}) + 0,05 \times \frac{2,6 \text{ cm}}{0,1133} = 7,6 + 1,1 = 8,7 \text{ cm}$$

O espaçamento médio medido, no trecho central de 1.0m, foi de 9cm .

$$\omega_{95\%} = 1,7 \times \varepsilon_{\text{sm}} \times S_{\text{rm}} = 1,7 \times 0,547(\text{mm/m}) \times 0,087(\text{m}) = 0,081 \text{ mm}$$

Segundo a norma brasileira **NBR6118 / 2002**

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \frac{3 \times \sigma_{\text{aço}}}{f_{\text{ctm}} \text{concreto}}$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{1235(\text{kgf/cm}^2)}{2100000(\text{kgf/cm}^2)} \times \frac{3 \times 1235(\text{kgf/cm}^2)}{25(\text{kgf/cm}^2)} = 0,081 \text{ mm}$$

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right)$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{1235(\text{kgf/cm}^2)}{2100000(\text{kgf/cm}^2)} \times \left(\frac{4}{0,1133} + 45 \right) = 0,043 \text{ mm}$$



Fissura quando atua a carga externa: $2P = 2 \times 50 \text{ ton} = 100 \text{ ton}$

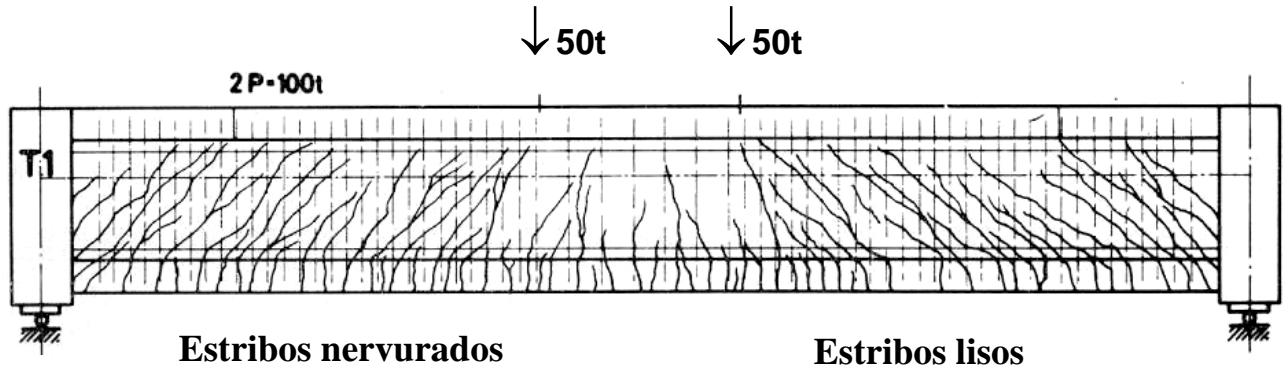


Figura 40 : Fissuração para a carga total de 100t = 1000kN

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:

$$M = 500 \text{ kN} \times 2,5\text{m} = 1250 \text{ kN.m}$$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10,5 \text{ (kN/m)} \times (6,0\text{m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

O momento fletor total é :

$$M = 1250 \text{ (kN.m)} + 47,3 \text{ (kN.m)} = 1297,3 \text{ kN.m}$$

$$\text{A força de tração na armadura é : } R_t = \frac{M}{z} = \frac{1297,3\text{kN.m}}{0,759\text{m}} = 1709 \text{ kN}$$

$$\text{A tensão do aço no estádio II seria : } \sigma_{\text{aço}} = \frac{R_t}{A_{\text{aço}}} = \frac{1709 \text{ kN}}{85\text{cm}^2} = 20,1 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)$$

Com essa tensão o aço ainda está dentro do comportamento elástico .

A tensão no aço, calculada através da medição de extensômetro elétrico colados na armadura de tração, foi de 22,4(kN/cm²)

O alongamento do aço no **estádio II** seria :

$$\varepsilon_{\text{aço.estadio.II.puro}} = \frac{\sigma}{E} = \frac{2010(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} = 0,966 \text{ ‰} = 0,966 \text{ (mm/m)}$$

Segundo o **CEB 78** , o alongamento médio do aço no centro do vão é :



$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{\sigma}{E} \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{\sigma_{\text{aço.1}^{\text{a}}.\text{fissura}}}{\sigma_{\text{aço.estádio.II}}} \right)^2 \right) =$$

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{2010(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} \times \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{490(\text{kgf/cm}^2)}{2010(\text{kgf/cm}^2)} \right)^2 \right)$$

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = 0,966 \% \times 0,97 = 0,937 \text{ (mm/m)}$$

O espaçamento médio entre fissuras vale :

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (c + 0,10 S) + 0,05 \times \frac{\phi}{\rho_r}$$

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (3,2 \text{ cm} + 0,10 \times 5,8 \text{ cm}) + 0,05 \times \frac{2,6 \text{ cm}}{0,1133} = 7,6 + 1,1 = 8,7 \text{ cm}$$

O espaçamento médio medido, no trecho central de 1.0m, foi de 9cm .

$$\omega_{95\%} = 1,7 \times \varepsilon_{\text{sm}} \times S_{\text{rm}} = 1,7 \times 0,937(\text{mm/m}) \times 0,087(\text{m}) = 0,139 \text{ mm}$$

Segundo a norma brasileira **NBR6118 / 2002**

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \frac{3 \times \sigma_{\text{aço}}}{f_{\text{ctm}}_{\text{concreto}}}$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{2010(\text{kgf/cm}^2)}{2100000(\text{kgf/cm}^2)} \times \frac{3 \times 2010(\text{kgf/cm}^2)}{25(\text{kgf/cm}^2)} = 0,21 \text{ mm}$$

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right)$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{2010(\text{kgf/cm}^2)}{2100000(\text{kgf/cm}^2)} \times \left(\frac{4}{0,1133} + 45 \right) = 0,071 \text{ mm}$$

Fissura quando atua a carga externa :

$$2P = 2 \times 80 \text{ ton} = 160 \text{ ton}$$

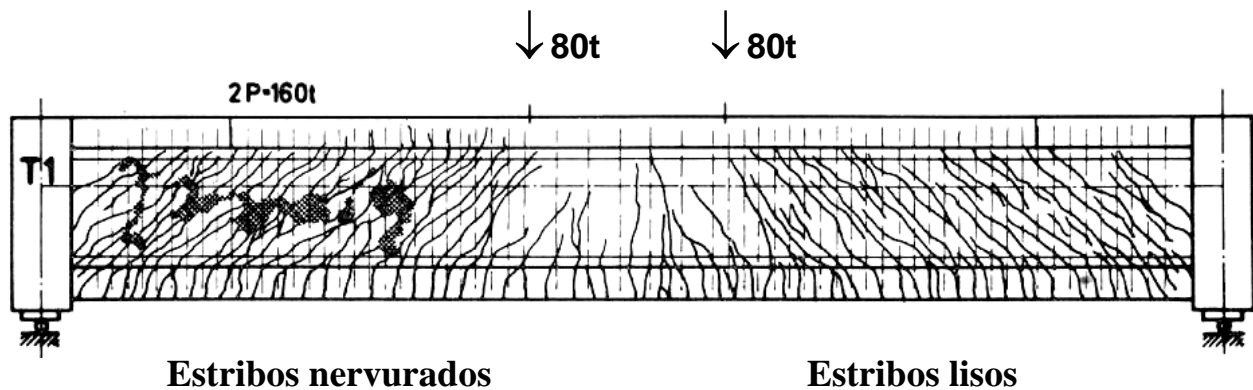


Figura 41 : Fissuração para a carga total de 160t = 1600kN

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:

$$M = 800 \text{ kN} \times 2,5\text{m} = 2000 \text{ kN.m}$$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10,5 \text{ (kN/m)} \times (6,0\text{m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

O momento fletor total é :

$$M = 2000 \text{ (kN.m)} + 47,3 \text{ (kN.m)} = 2047,3 \text{ kN.m}$$

$$\text{A força de tração na armadura é : } R_t = \frac{M}{z} = \frac{2047,3\text{kN.m}}{0,759\text{m}} = 2697 \text{ kN}$$

$$\text{A tensão do aço no } \mathbf{estádio II} \text{ seria : } \sigma_{\text{aço}} = \frac{R_t}{A_{\text{aço}}} = \frac{2697 \text{ kN}}{85\text{cm}^2} = 31,73 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)$$

Com essa tensão o aço ainda está dentro do comportamento elástico .

A tensão no aço, calculada através da medição de extensômetro elétrico colados na armadura de tração, foi de 36(kN/cm²)

O alongamento do aço no **estádio II** seria :

$$\varepsilon_{\text{aço.estadio.II.puro}} = \frac{\sigma}{E} = \frac{3173(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} = 1,525 \text{ ‰} = 1,525 \text{ (mm/m)}$$

O valor medido do alongamento no aço foi de 1,73 (mm/m)

Segundo o **CEB 78** , o alongamento médio do aço no centro do vão é :



$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{\sigma}{E} \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{\sigma_{\text{aço.1}^{\text{a}}.\text{fissura}}}{\sigma_{\text{aço.estádio.II}}} \right)^2 \right) =$$

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{3173(\text{kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)} \times \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{490(\text{kgf/cm}^2)}{3173(\text{kgf/cm}^2)} \right)^2 \right)$$

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = 1,525 \text{ ‰} \times 0,988 = 1,51 \text{ (mm/m)}$$

O alongamento médio do concreto na face inferior da viga, medido em uma base de 50cm, foi de 1,9mm/m.

O espaçamento médio entre fissuras vale :

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (c + 0,10 S) + 0,05 \times \frac{\phi}{\rho_r}$$

$$S_{\text{rm}} = 2 \times (3,2 \text{ cm} + 0,10 \times 5,8 \text{ cm}) + 0,05 \times \frac{2,6 \text{ cm}}{0,1133} = 7,6 + 1,1 = 8,7 \text{ cm}$$

O espaçamento médio medido, no trecho central de 1.0m , foi de 9cm .

$$\omega_{95\%} = 1,7 \times \varepsilon_{\text{sm}} \times S_{\text{rm}} = 1,7 \times 1,51(\text{mm/m}) \times 0,087(\text{m}) = 0,223 \text{ mm}$$

Segundo a norma brasileira **NBR6118 / 2002**

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \frac{3 \times \sigma_{\text{aço}}}{f_{\text{ctm}}_{\text{concreto}}}$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{3173(\text{kgf/cm}^2)}{2100000(\text{kgf/cm}^2)} \times \frac{3 \times 3173(\text{kgf/cm}^2)}{25(\text{kgf/cm}^2)} = 0,532 \text{ mm}$$

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{\text{aço}}}{E_{\text{aço}}} \times \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right)$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{3173(\text{kgf/cm}^2)}{2100000(\text{kgf/cm}^2)} \times \left(\frac{4}{0,1133} + 45 \right) = 0,112 \text{ mm}$$



Fissura quando atua a carga externa : $2P = 2 \times 100 \text{ ton} = 200 \text{ ton}$

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:

$$M = 1000 \text{ kN} \times 2,5\text{m} = 2500 \text{ kN.m}$$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10,5 \text{ (kN/m)} \times (6,0\text{m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

O momento fletor total é :

$$M = 2500 \text{ (kN.m)} + 47,3 \text{ (kN.m)} = 2547,3 \text{ kN.m}$$

$$\text{A força de tração na armadura é : } R_t = \frac{M}{z} = \frac{2547,3 \text{ kN.m}}{0,759 \text{ m}} = 3356 \text{ kN}$$

$$\text{A tensão do aço no estágio II seria : } \sigma_{\text{aço}} = \frac{R_t}{A_{\text{aço}}} = \frac{3356 \text{ kN}}{85 \text{ cm}^2} = 39,48 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)$$

Com essa tensão o aço ainda está pouco acima do comportamento elástico .

A tensão no aço, calculada através da medição de extensômetro elétrico colados na armadura de tração, foi de $44 \text{ (kN/cm}^2)$

O alongamento do aço no estágio II seria :

$$\varepsilon_{\text{aço. estadio.II.puro}} = \frac{\sigma}{E} = \frac{3948 \text{ (kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6 \text{ (kgf/cm}^2)} = 1,898 \text{ ‰} = 1,898 \text{ (mm/m)}$$

O valor medido do alongamento no aço foi de $1,73 \text{ (mm/m)}$

Segundo o **CEB 78** , o alongamento médio do aço no centro do vão é

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{\sigma}{E} \left[1 - 0,5 \times \left(\frac{\sigma_{\text{aço.1}^{\text{a}}.\text{fissura}}}{\sigma_{\text{aço.estádio.II}}} \right)^2 \right]$$
$$: \varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = \frac{3984 \text{ (kgf/cm}^2)}{2,08 \times 10^6 \text{ (kgf/cm}^2)} \times \left[1 - 0,5 \times \left(\frac{490 \text{ (kgf/cm}^2)}{3948 \text{ (kgf/cm}^2)} \right)^2 \right]$$

$$\varepsilon_{\text{aço.médio.estádio.II}} = 1,915 \text{ ‰} \times 0,992 = 1,899 \text{ (mm/m)}$$



O espaçamento médio entre fissuras vale :

$$S_{rm} = 2 \times (c + 0,10 S) + 0,05 \times \frac{\phi}{\rho_r}$$

$$S_{rm} = 2 \times (3,2 \text{ cm} + 0,10 \times 5,8 \text{ cm}) + 0,05 \times \frac{2,6 \text{ cm}}{0,1133} = 7,6 + 1,1 = 8,7 \text{ cm}$$

O espaçamento médio medido, no trecho central de 1.0m , foi de 9cm .

$$\omega_{95\%} = 1,7 \times \varepsilon_{sm} \times S_{rm} = 1,7 \times 1,899 (\text{mm/m}) \times 0,087 (\text{m}) = 0,28 \text{ mm}$$

Segundo a norma brasileira **NBR6118 / 2002**

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{aço}}{E_{aço}} \times \frac{3 \times \sigma_{aço}}{f_{ctm_{concreto}}}$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{3984 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}{2100000 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}} \times \frac{3 \times 3984 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}{25 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}} = 0,838 \text{ mm}$$

$$\omega = \frac{\phi}{12,5 \times \eta} \times \frac{\sigma_{aço}}{E_{aço}} \times \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right)$$

$$\omega = \frac{26 \text{ (mm)}}{12,5 \times 2,25} \times \frac{3984 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}{2100000 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}} \times \left(\frac{4}{0,1133} + 45 \right) = 0,141 \text{ mm}$$



Abertura média e máxima das fissuras de flexão.

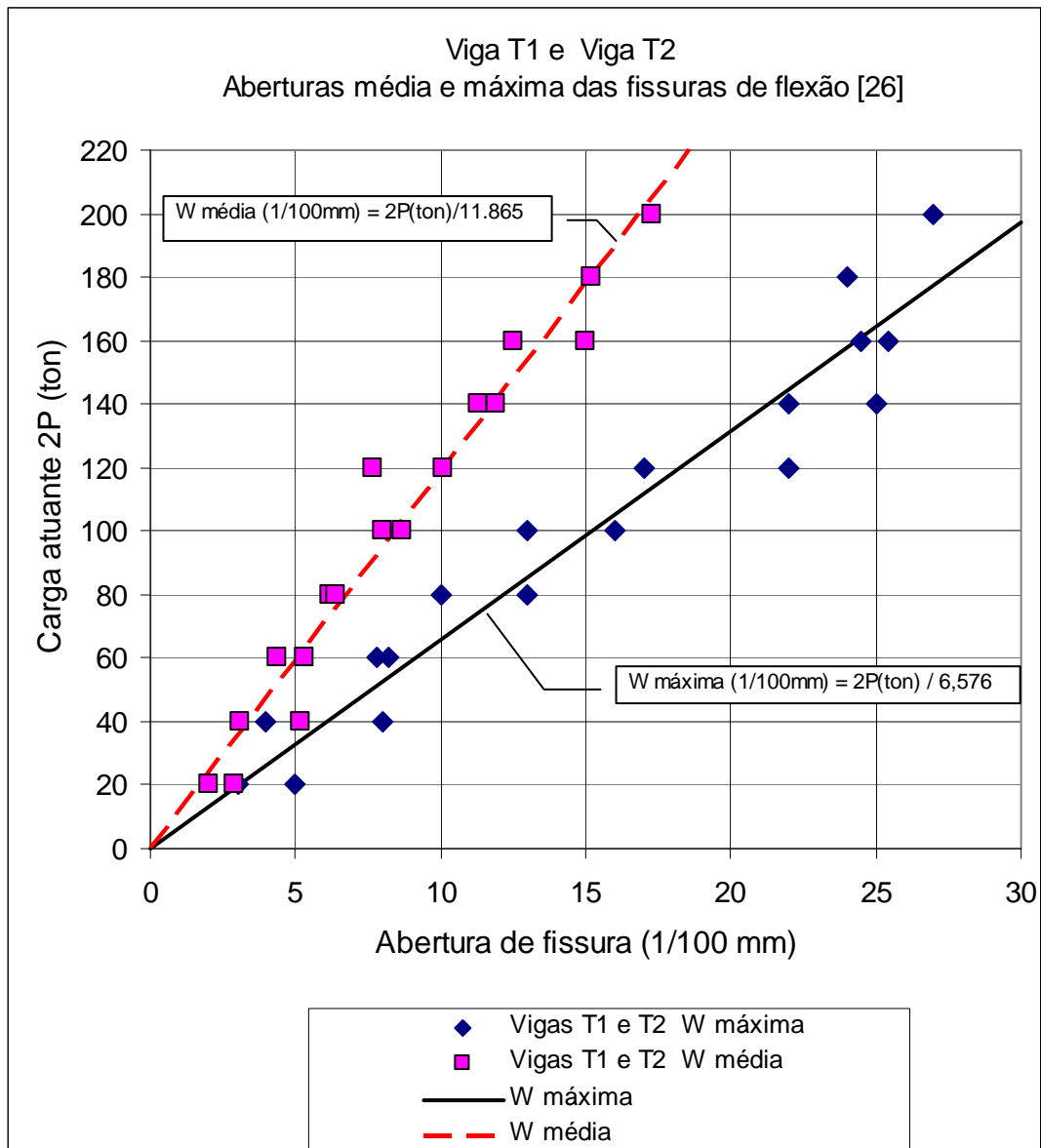


Figura 42 - Relação entre as aberturas de fissura máxima e média

- Estão indicadas as linhas de tendência passando pela origem.
- A relação entre a fissura máxima e a fissura média foi $\cong 1,80$, como se observa na figura acima.
- Essa relação é estimada de forma semelhante por diversos pesquisadores:
 - Prof Lobo Carneiro (INT / RJ) $\Rightarrow 1,72$ a $2,02$
 - CEB 78 $\Rightarrow 1,70$.
 - Prof. Gallus Rehm $\Rightarrow 2,1$



Abertura média das fissuras de flexão.

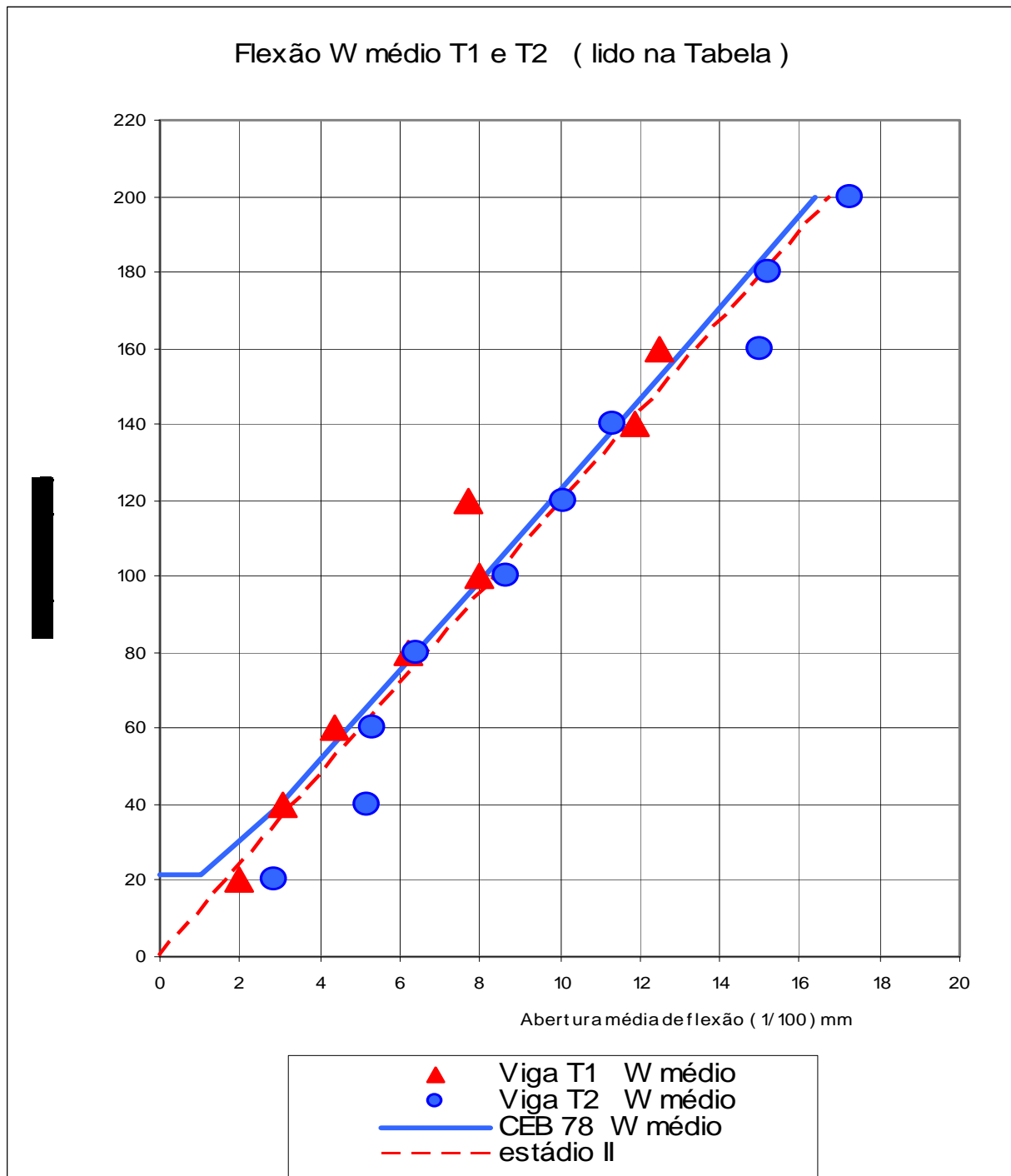


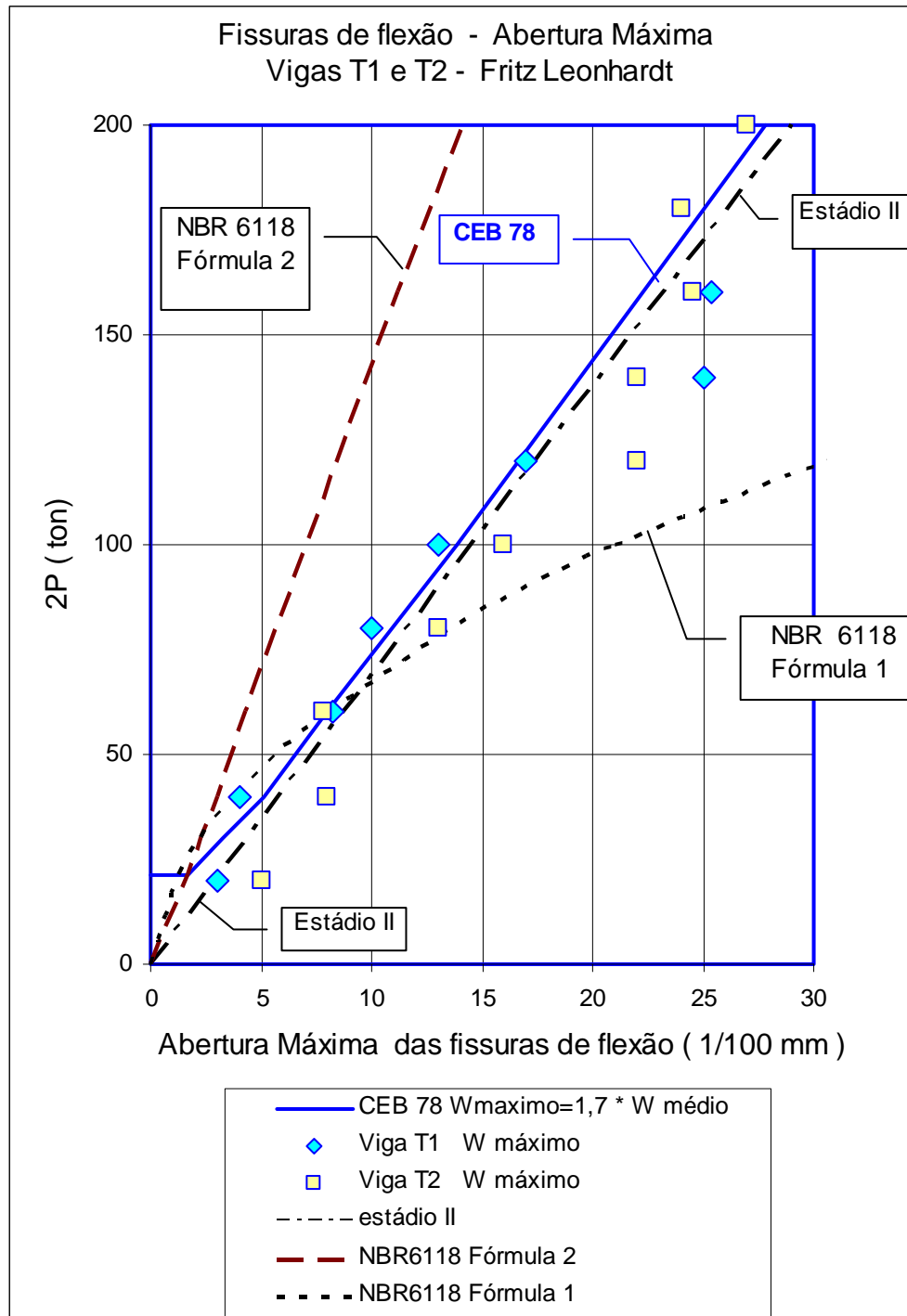
Figura 43

A formulação do CEB 78 prevê corretamente a abertura média das fissuras de flexão.



Abertura máxima das fissuras de flexão

Formulações NBR 6118 , CEB 78 , e Estádio II





Verificação da abertura de fissura seguindo a formulação do Prof. Gallus Rehm (DIN 1045)

Abertura da fissura na face da viga T1

Vale lembrar que a abertura de fissura é calculada e medida na face inferior da viga.

$$w_{95\%}(\text{cm}) = \left(\frac{10^{-6}}{\text{kgf/cm}^2} \right) \times \left(4(\text{cm}) + 0,025 \times \frac{\phi(\text{cm})}{\mu} \right) \times \sigma_{eII}(\text{kgf/cm}^2) \times \left[1 - \left(\frac{3}{\mu \times \sigma_{eII}(\text{kgf/cm}^2)} \right)^2 \right]$$

Fissura quando atua a carga externa : $2P = 2 \times 20 \text{ ton} = 40 \text{ ton}$

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:
 $M = 200 \text{ kN} \times 2,5\text{m} = 500 \text{ kN.m}$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10,5 (\text{ kN/m}) \times (6,0\text{m})^2}{8} = 47,3 (\text{ kN.m})$$

O momento fletor total é :

$$M = 500 (\text{kN.m}) + 47,3 (\text{kN.m}) = 547,3 \text{ kN.m}$$

$$\text{A força de tração na armadura é : } R_t = \frac{M}{z} = \frac{547,3\text{kN.m}}{0,759\text{m}} = 721\text{kN}$$

$$\text{A tensão do aço no estágio II seria : } \sigma_{aço} = \frac{R_t}{A_{aço}} = \frac{721\text{kN}}{85\text{cm}^2} = 8,48 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)$$

Com essa tensão o aço ainda está dentro do comportamento elástico .

A tensão no aço, calculada através da medição de extensômetro elétrico colados na armadura de tração, foi de 8,60(kN/cm²)

$$\text{Usando a taxa de armadura: } \mu = \frac{A_{aço}}{b \times d} = \frac{85\text{cm}^2}{50\text{cm} \times (90\text{cm} - 7,5\text{cm})} = 0,0206$$



$$\omega_{95\%}(\text{cm}) = \left(10^{-6}\right) \times \left(4 + 0,025 \times \frac{2,6}{0,0206}\right) \times 848 \times \left[1 - \left(\frac{3}{0,0206 \times 848}\right)^2\right]$$

$$\omega_{95\%}(\text{cm}) = \frac{10^{-6}}{\left(\text{kgf} / \text{cm}^2\right)} \times 7,2(\text{cm}) \times 848\left(\text{kgf} / \text{cm}^2\right) \times 0,97 = 0,006 \text{ cm} = 0,06 \text{ mm}$$

Fissura quando atua a carga externa : $2P = 2 \times 50 \text{ ton} = 100 \text{ ton}$

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:
 $M = 500 \text{ kN} \times 2,5 \text{ m} = 1250 \text{ kN.m}$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10,5 \text{ (kN/m)} \times (6,0 \text{ m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

O momento fletor total é :

$$M = 1250 \text{ (kN.m)} + 47,3 \text{ (kN.m)} = 1297,3 \text{ kN.m}$$

$$\text{A força de tração na armadura é : } R_t = \frac{M}{z} = \frac{1297,3 \text{ kN.m}}{0,759 \text{ m}} = 1709 \text{ kN}$$

$$\text{A tensão do aço no estágio II seria : } \sigma_{\text{aço}} = \frac{R_t}{A_{\text{aço}}} = \frac{1709 \text{ kN}}{85 \text{ cm}^2} = 20,11 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)$$

Usando a taxa de armadura:

$$\mu = \frac{A_{\text{aço}}}{b \times d} = \frac{85 \text{ cm}^2}{50 \text{ cm} \times (90 \text{ cm} - 7,5 \text{ cm})} = 0,0206$$

$$\omega_{95\%}(\text{cm}) = \left(10^{-6}\right) \times \left(4 + 0,025 \times \frac{2,6}{0,0206}\right) \times 2011 \times \left[1 - \left(\frac{3}{0,0206 \times 2010}\right)^2\right] =$$

$$\omega_{95\%}(\text{cm}) = \frac{10^{-6}}{\left(\text{kgf} / \text{cm}^2\right)} \times 7,2(\text{cm}) \times 2010\left(\text{kgf} / \text{cm}^2\right) \times 0,995 = 0,014 \text{ cm} = 0,144 \text{ mm}$$



Fissura quando atua a carga externa : $2P = 2 \times 80 \text{ ton} = 160 \text{ ton}$

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:

$$M = 800 \text{ kN} \times 2,5\text{m} = 2000 \text{ kN.m}$$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10,5 \text{ (kN/m)} \times (6,0\text{m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

O momento fletor total é :

$$M = 2000 \text{ (kN.m)} + 47,3 \text{ (kN.m)} = 2047,3 \text{ kN.m}$$

$$\text{A força de tração na armadura é : } R_t = \frac{M}{z} = \frac{2047,3\text{kN.m}}{0,759\text{m}} = 2697 \text{ kN}$$

$$\text{A tensão do aço no estádio II seria : } \sigma_{\text{aço}} = \frac{R_t}{A_{\text{aço}}} = \frac{2697 \text{ kN}}{85\text{cm}^2} = 31,73 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)$$

Usando a taxa de armadura:

$$\mu = \frac{A_{\text{aço}}}{b \times d} = \frac{85\text{cm}^2}{50\text{cm} \times (90\text{cm} - 7,5\text{cm})} = 0,0206$$

$$\omega_{95\%}(\text{cm}) = \left(10^{-6}\right) \times \left(4 + 0,025 \times \frac{2,6}{0,0206}\right) \times 3173 \times \left[1 - \left(\frac{3}{0,0206 \times 3173}\right)^2\right] =$$

$$\omega_{95\%}(\text{cm}) = \frac{10^{-6}}{\left(\text{kgf} / \text{cm}^2\right)} \times 7,2(\text{cm}) \times 3166 \left(\text{kgf} / \text{cm}^2\right) = 0,023 \text{ cm} = 0,23 \text{ mm}$$



Fissura quando atua a carga externa : $2P = 2 \times 100 \text{ ton} = 200 \text{ ton}$

O momento fletor, no meio do vão, devido às 2 cargas concentradas é:

$$M = 1000 \text{ kN} \times 2,5\text{m} = 2500 \text{ kN.m}$$

O momento fletor do peso próprio da viga é :

$$M = \frac{10,5 \text{ (kN/m)} \times (6,0\text{m})^2}{8} = 47,3 \text{ (kN.m)}$$

O momento fletor total é :

$$M = 2500 \text{ (kN.m)} + 47,3 \text{ (kN.m)} = 2547,3 \text{ kN.m}$$

$$\text{A força de tração na armadura é : } R_t = \frac{M}{z} = \frac{2547,3\text{kN.m}}{0,759\text{m}} = 3356\text{kN}$$

$$\text{A tensão do aço no estágio II seria : } \sigma_{\text{aço}} = \frac{R_t}{A_{\text{aço}}} = \frac{3356 \text{ kN}}{85\text{cm}^2} = 39,48 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)$$

Com essa tensão o aço ainda está pouco acima do comportamento elástico .

Usando a taxa de armadura:

$$\mu = \frac{A_{\text{aço}}}{b \times d} = \frac{85\text{cm}^2}{50\text{cm} \times (90\text{cm} - 7,5\text{cm})} = 0,0206$$

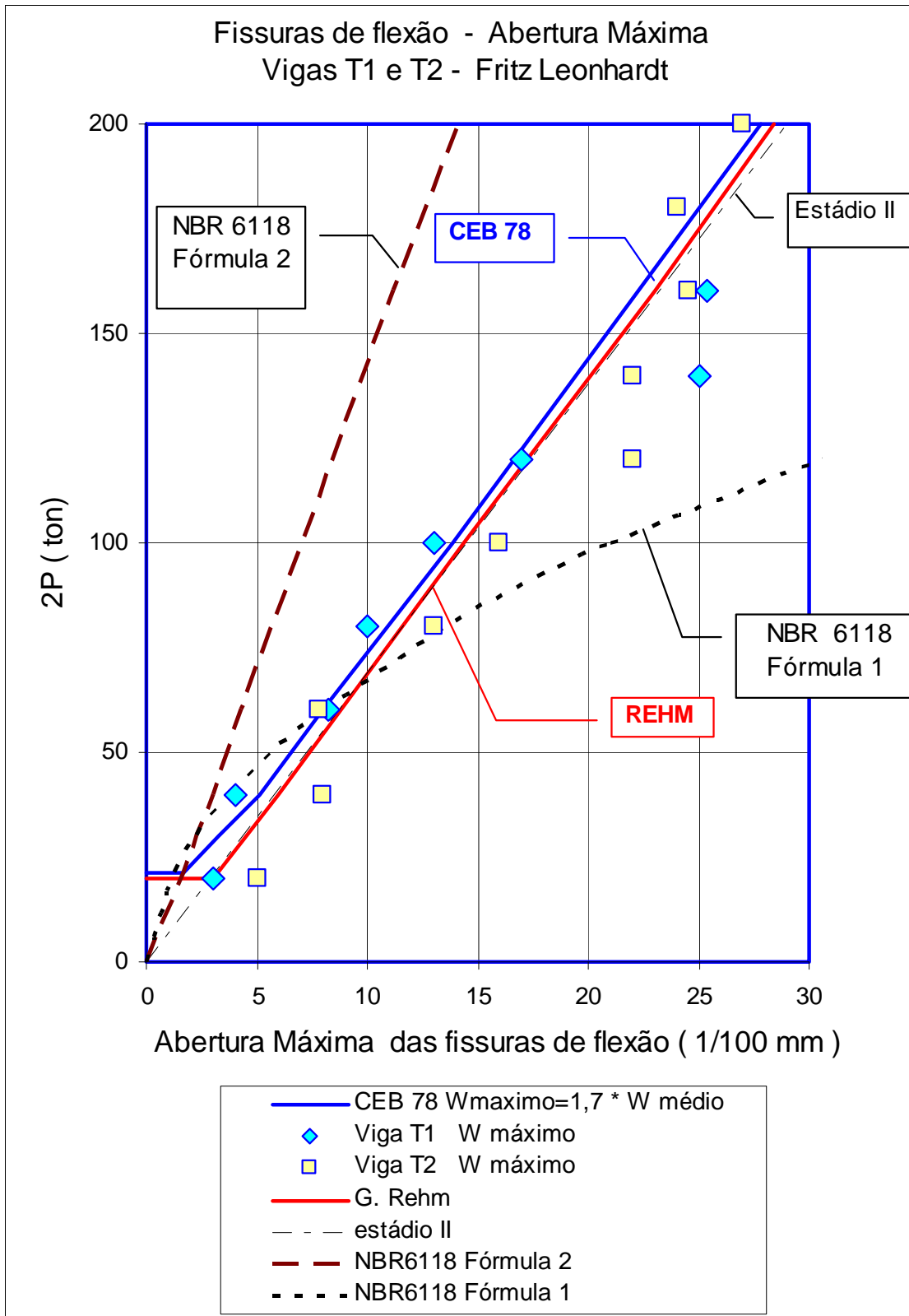
$$\omega_{95\%}(\text{cm}) = \left(10^{-6} \right) \times \left(4 + 0,025 \times \frac{2,6}{0,0206} \right) \times 3948 \times \left[1 - \left(\frac{3}{0,0206 \times 3948} \right)^2 \right]$$

$$\omega_{95\%}(\text{cm}) = \frac{10^{-6}}{\left(\text{kgf/cm}^2 \right)} \times 7,2(\text{cm}) \times 3948 \left(\text{kgf/cm}^2 \right) \times 0,999 = 0,0284\text{cm} = 0,284 \text{ mm}$$



Abertura máxima das fissuras

Formulações NBR 6118 , CEB 78 , Prof. G.Rehm e Estádio II





Resumo e Conclusões

- A formulação do CEB - 78 tem boa concordância com as medições feitas em obras e em modelos experimentais de laboratório.
- A formulação do Prof. Gallus Rehm (DIN 1045) tem boa concordância com as medições feitas em obras e em modelos experimentais de laboratório.
- A formulação da NBR 6118 prevê aberturas de fissuras bem menores que as fissuras observadas, tanto em obras como em ensaios de laboratório.