

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
COORDENAÇÃO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

## DADOS PARA DIMENSIONAMENTO



CAMPO MOURÃO  
2016

## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. TRAÇÃO.....	3
2.1. Corpos de Prova.....	3
2.2. Resultados .....	3
3. COMPRESSÃO .....	5
3.1. Corpos de Prova.....	5
3.2. Resultados .....	6
4. RESUMO.....	9

## 1. INTRODUÇÃO

As propriedades do papel que será utilizado para a construção das pontes foram determinadas através de ensaios de tração e compressão realizados no Laboratório de Sistemas Estruturais da UTFPR, em 29 de junho de 2016.

Os resultados dos ensaios são apresentados neste relatório e poderão servir como referência para o dimensionamento dos elementos de treliça das pontes na III Competição de Pontes de Papel, no ano de 2016.

As folhas de papel ensaiadas são oriundas do mesmo “lote” que serão entregues no dia da montagem da ponte pela comissão organizadora, por isso a importância de serem utilizados somente estas folhas de papel.

Através de um paquímetro determinou-se que a espessura do papel é de 0,35 mm.

A partir dos resultados médios de ensaio podem ser utilizados coeficientes de segurança, a critério de cada equipe, para tentar suprir os erros de execução e não homogeneidade do material, assim, tentando obter o resultado mais preciso.

## 2. TRAÇÃO

### 2.1. Corpos de Prova

Para realização dos ensaios de tração foram utilizadas tiras de papel cortadas na direção longitudinal (na direção vertical com a folha em retrato) e transversal (na direção horizontal com a folha em retrato) com larguras de 5 e 10 mm. Foram ensaiados um total de vinte e quatro corpos de prova para cada direção, divididos entre as duas larguras (Tabela 1).

Tabela 1: Divisão dos corpos de prova

Direção	Quantidade	Largura (mm)
Longitudinal	6	5
Longitudinal	6	10
Transversal	6	5
Transversal	6	10

### 2.2. Resultados

A partir do ensaio foi possível determinar a força máxima em newtons de cada C.P. (corpo de prova), com a seção transversal conhecida, através da equação 1 foi calculada a tensão máxima de cada C.P.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N_{m\acute{a}x}}{A} \quad (MPa) \quad (1)$$

As tabelas 2 e 3 mostram os resultados de força máxima obtidos em ensaio e suas respectivas tensões máximas calculadas pela equação 1.

Tabela 2: Força máxima e tensão máxima dos corpos de prova (Direção Longitudinal)

C.P.	L (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	F (N)	Tensão (MPa)
TL-1	5,25	2,63	56	21,33
TL-2	5,45	2,73	60	22,02
TL-3	4,93	2,46	57	23,15
TL-4	5,48	2,74	56	20,46
TL-5	5,08	2,54	57	22,46
TL-6	4,85	2,43	57	23,51
TL-7	9,70	4,85	113	23,30
TL-8	10,13	5,06	115	22,72
TL-9	9,70	4,85	120	24,74
TL-10	10,58	5,29	131	24,78
TL-11	9,2	4,60	107	23,26
TL-12	9,5	4,75	116	24,42
<b>Valor médio</b>				23,01

Tabela 3: Força máxima e tensão máxima dos corpos de prova (Direção Transversal)

C.P.	L (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	F (N)	Tensão (MPa)
TT-1	5,00	2,50	31	12,40
TT-2	5,50	2,75	35	12,73
TT-3	5,00	2,50	30	12,00
TT-4	4,73	2,36	27	11,43
TT-5	4,65	2,33	30	12,90
TT-6	4,85	2,43	31	12,78
TT-7	9,90	4,95	66	13,33
TT-8	9,73	4,86	64	13,16
TT-9	9,85	4,93	64	12,99
TT-10	10,05	5,03	66	13,13
TT-11	10,05	5,03	66	13,13
TT-12	10,5	5,25	72	13,71
<b>Valor médio</b>				12,81

A tensão de tração média obtida para a direção longitudinal foi de **23,01 MPa** e para a direção transversal foi de **12,81 MPa**, apresentando valores inferiores do que na direção longitudinal, sendo assim, aconselha-se que para **a construção das pontes deve-se utilizar o papel preferencialmente na direção longitudinal**. O gráfico da figura 1 apresenta os resultados obtidos e a figura 2 a direção longitudinal que deve ser preferencialmente adotada.

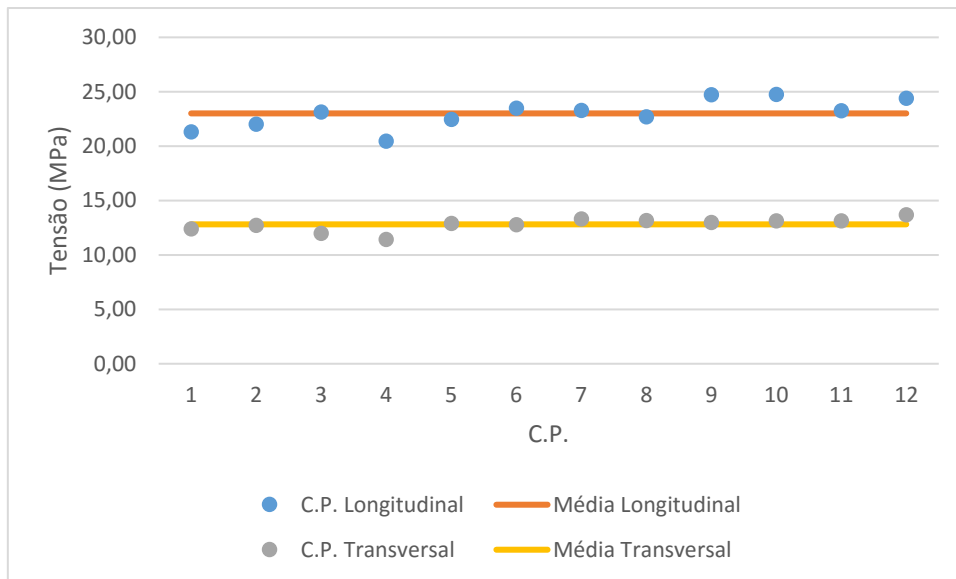


Figura 1: Tensões obtidas em cada corpo de prova e as tensões médias para cada direção.

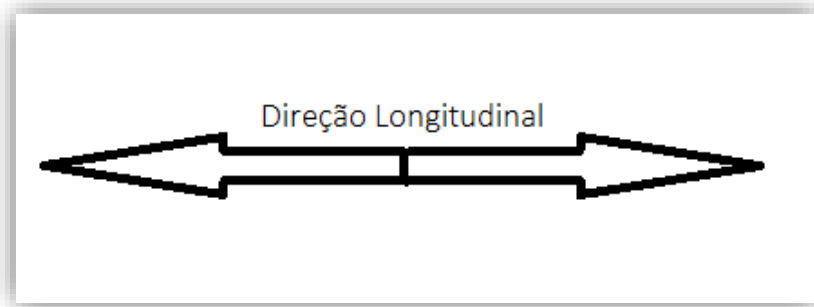


Figura 2: Definição da direção longitudinal em uma folha na posição paisagem.

### 3. COMPRESSÃO

#### 3.1. Corpos de Prova

Os corpos de prova ensaiados para determinar a tensão máxima média de compressão foram construídos com seção transversal caixão de aproximadamente 10 x 10 mm, e comprimentos variados, de 100 mm a 350 mm, como mostrado nas figuras 3 e 4.

Os corpos de prova foram feitos somente na direção longitudinal.

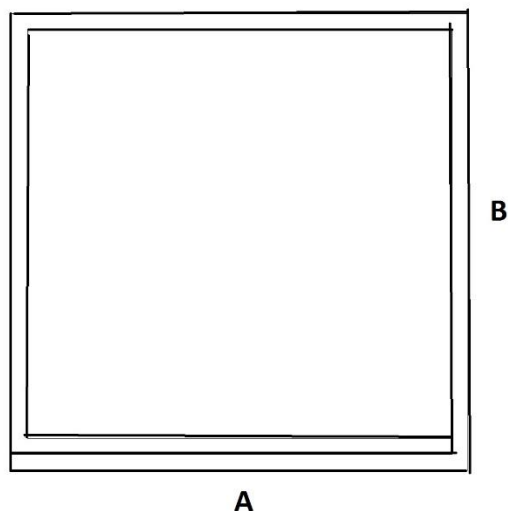


Figura 3: Configuração do corpo de prova à compressão

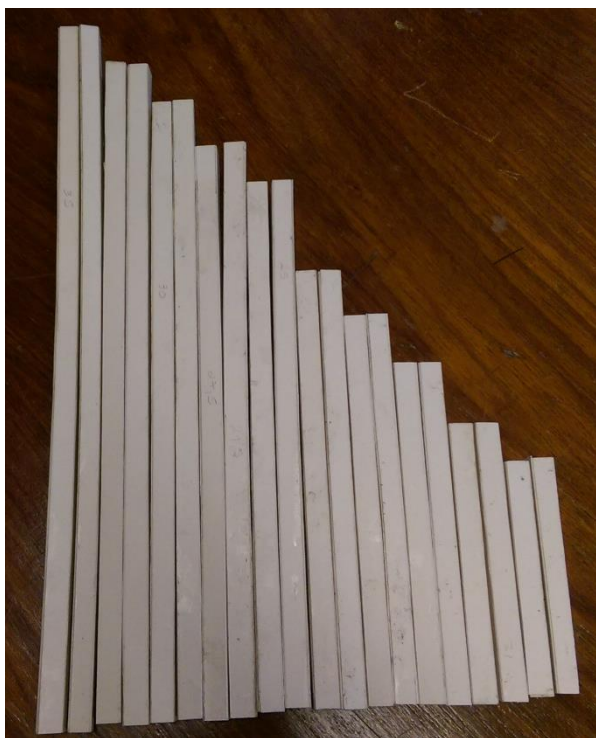


Figura 4: Corpos de prova à compressão

### 3.2. Resultados

As dimensões e a força de ruptura de ensaio de todos os corpos de prova são apresentadas nas tabelas 4 e 5. As dimensões "A" e "B" (seção transversal medida externamente) foram obtidas com a média de três medições, sendo uma em cada uma das extremidades e mais uma na região central de cada corpo de prova. Foi considerada a espessura nominal da folha de papel à 0,5mm.

Tabela 4: Características corpos de prova submetidos a compressão

C.P.	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Força máxima (N)
C-1	10,45	10,55	97,90	153,82
C-2	10,28	10,28	98,35	159,47
C-3	10,18	10,72	118,30	150,83
C-4	10,37	10,40	118,00	143,27
C-5	10,77	10,82	149,00	139,89
C-6	10,72	10,35	148,90	134,92
C-7	10,47	10,67	172,85	133,99
C-8	10,70	10,92	172,70	132,49
C-9	10,70	10,60	198,80	128,65
C-10	10,93	10,68	199,60	123,02
C-11	10,82	10,68	248,60	115,75
C-12	10,67	10,65	248,40	113,29
C-13	10,85	10,60	272,30	95,36
C-14	10,95	11,08	273,50	107,93
C-15	10,50	10,53	298,60	93,12
C-16	10,78	11,07	298,70	97,65
C-17	10,90	10,68	323,00	91,54
C-18	10,82	11,03	324,00	93,54
C-19	11,07	10,88	350,00	88,02
C-20	11,13	10,67	350,00	65,15

Para o dimensionamento de elementos comprimidos devem ser levadas em consideração não apenas a resistência do material, mas também sua geometria, condições de contorno (vinculações), esbelteza, etc. Como pode ser observado na tabela 4, quanto maior o comprimento do elemento estrutural, menor é sua capacidade de carga. Para levar em consideração os efeitos

de instabilidade em elementos comprimidos, sugere-se que seja considerada a esbeltez, calculada conforme a equação 2:

$$\lambda = \frac{L}{\sqrt{\frac{I_{min}}{A}}} \quad (2)$$

A tabela 6 ordena todos os corpos de prova de acordo com seus respectivos coeficientes de esbeltez e apresenta a tensão máxima para cada um deles. A tensão máxima foi calculada de acordo com a equação 1, considerando a área efetiva da seção transversal (papel).

**Tabela 6: Corpos de prova ordenados de acordo com seu respectivo coeficiente de esbeltez.**

C.P.	$\lambda$	Tensão máxima (MPa)
C-1	43,90	6,22
C-2	45,25	6,59
C-3	51,61	6,16
C-4	53,70	5,86
C-5	65,47	5,49
C-6	68,93	5,41
C-7	76,53	5,39
C-8	74,89	5,20
C-9	89,34	5,12
C-10	89,50	4,81
C-11	111,07	4,56
C-12	110,88	4,50
C-13	122,95	3,76
C-14	117,34	4,15
C-15	134,38	3,76
C-16	127,73	3,79
C-17	144,68	3,58
C-18	139,20	3,63
C-19	154,06	3,39
C-20	158,20	2,52



Para coeficiente de esbeltez compreendido entre os limites 40 e 160 ( $40 \leq \lambda \leq 160$ ) pode-se calcular a tensão máxima resistente por meio da equação empírica (3) obtida por meio de ajuste de uma curva para os resultados dos ensaios.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{56,576}{\lambda^{0,557}} \quad (3)$$

O gráfico da figura 5 representa a curva tensão x coeficiente de esbeltez.

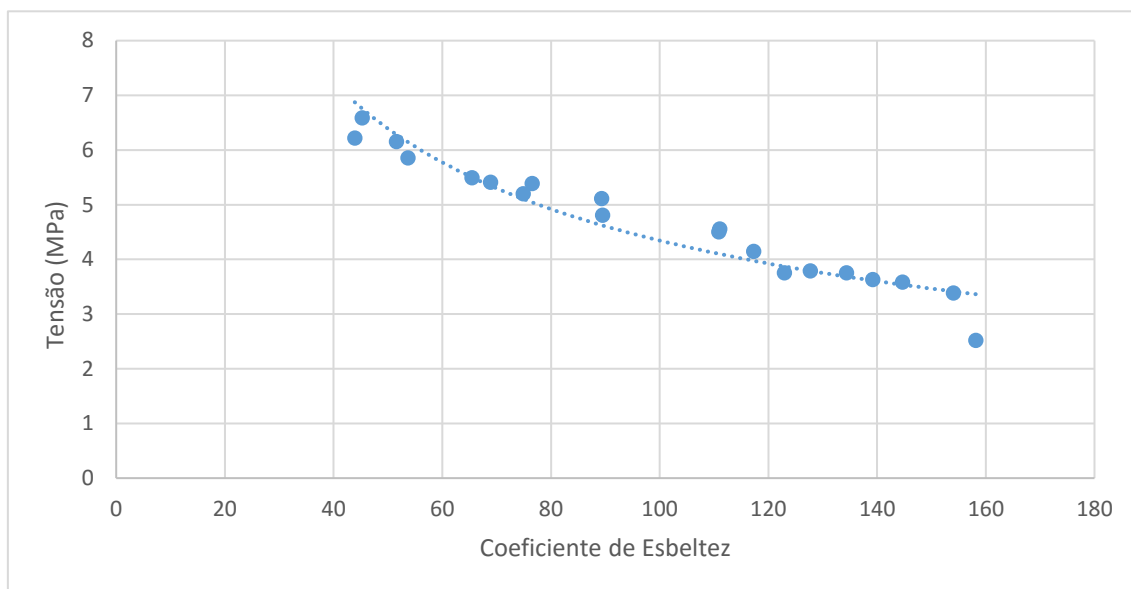


Figura 4: Curva tensão x coeficiente de esbeltez.

#### 4. RESUMO

Tipo de solicitação	Tensão máxima resistente
Tração Longitudinal	23,01 MPa
Tração Transversal	12,81 MPa
Compressão em elementos com seção caixão quadrada (10 x 10 mm) com $40 \leq \lambda \leq 160$ .	Usar equação 3