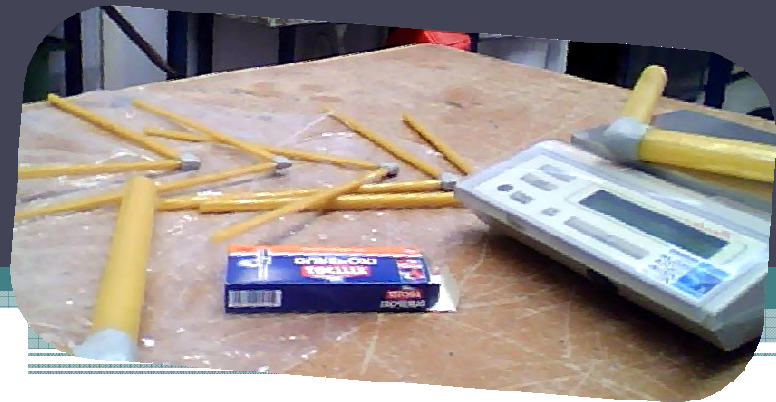


Estudo experimental para estimativa de peso de colas epóxi no projeto de pontes de espaguete



Autora: Diandra Tainá Rockenbach
Orientador: Paulo Fernando Salvador

Equipe do projeto de extensão : Prof. Carlos H. Lagemann;
Prof. Paulo F. Salvador; Prof. Ronaldo C. Tremarin;
Bolsista Diandra Tainá Rockenbach.

INTRODUÇÃO:

A competição de pontes de espaguete é uma atividade acadêmica proposta aos estudantes da área tecnológica, que devem construir uma estrutura treliçada com limitações de dimensões e de peso, sendo que, para o atendimento deste último, é necessário estimar o peso dos fios de espaguete, bem como a porção utilizada com as colas epóxi para conformação das barras e para ligação das mesmas nos nós da estrutura

O embasamento técnico para cálculo das pontes é feito a partir de estudos apresentados por GONZALEZ, MORCSH e MASUERO (2005), no artigo “*Didactic games in engineering teaching – case: spaghetti bridges design and building contest*”

O referido artigo apresenta características dos fios de espaguete da marca Barilla - n^o 7:

- Diâmetro médio: 1,8mm
- Área de seção transversal: $2,545 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$
- Momento de inércia da seção: $5,153 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^4$
- Comprimento médio de cada fio: 25,4 cm
- Peso médio de cada fio inteiro: 1 g
- **Peso linear: 0,03937 g/cm**
- Módulo de Elasticidade Longitudinal: 36000 kgf/cm²

Atualmente, a estimativa de peso das barras, no projeto das pontes de espaguete, é feita considerando-se apenas o peso do fio de espaguete

O peso das colas utilizadas é estimado empiricamente

OBJETIVOS:

Este trabalho tem por objetivo realizar um estudo experimental para estimar o peso linear dos fios de espaguete com cola epóxi tipo resina, para diferentes configurações de barras, e o peso unitário das ligações destas barras nas extremidades (nós ou emendas), com cola epóxi tipo resina e tipo massa



Para atingir o objetivo proposto, avaliou-se o incremento de peso nas barras, pela presença das colas epóxi, bem como o peso nas ligações



METODOLOGIA:

Foram estabelecidos dois tipos de seção transversal circular: vazada, com dois diferentes diâmetros ($\varnothing_{\text{ext}}=1,7\text{cm}$ com 26 fios e $\varnothing_{\text{ext}}=2,36\text{cm}$ com 38 fios), e cheia, com quatro diferentes configurações (5, 10, 15 e 20 fios)



Adotaram-se quatro repetições para cada seção, sendo que as barras tinham, aproximadamente, 25cm de comprimento e foram coladas da seguinte forma: todas as barras tiveram os fios unidos com cola epóxi tipo resina (ProEpoxy 6min), com auxílio de pincel, e as extremidades das barras (duas a duas) com cola epóxi tipo resina (ProEpoxy 6min) e tipo massa (Durepoxi)



Os pesos foram aferidos em balança de precisão, antes e depois de aplicação das colas, com a finalidade de se obter as diferenças de pesos para as barras e para os nós (ou emendas)



RESULTADOS E DISCUSSÃO:

(peso linear dos fios de espaguete com cola epóxi tipo resina)

		Número de fios de espaguete	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Diâmetro Médio		Compr. médio (cm)	Massa inicial linear (g/cm)	Massa final linear (g/cm)	Diferença linear (g/cm)	Acréscimo (%)	
					Interno (mm)	Externo (mm)						
Seção cheia	Barra 1 (5 fios)	1B1	5	5,09	6,01		4,80	25,30	0,0402	0,0475	0,0073	18,07
		2B1	5	5,14	6,25		4,75	25,30	0,0406	0,0494	0,0088	21,60
		3B1	5	5,06	6,09		4,80	25,30	0,0400	0,0481	0,0081	20,36
		4B1	5	5,12	6,18		4,80	25,20	0,0406	0,0490	0,0084	20,70
	Barra 2 (10 fios)	1B2	10	10,39	12,25		5,95	25,20	0,0412	0,0486	0,0074	17,90
		2B2	10	10,18	11,91		7,00	25,30	0,0402	0,0471	0,0068	16,99
		3B2	10	10,26	11,78		6,70	25,30	0,0406	0,0466	0,0060	14,81
		4B2	10	10,24	11,69		6,50	25,20	0,0406	0,0464	0,0058	14,16
	Barra 3 (15 fios)	1B3	15	15,36	17,80		9,15	25,10	0,0408	0,0473	0,0065	15,89
		2B3	15	15,38	17,65		8,35	25,30	0,0405	0,0465	0,0060	14,76
		3B3	15	15,57	17,89		8,75	25,10	0,0414	0,0475	0,0062	14,90
		4B3	15	15,63	18,01		8,65	25,40	0,0410	0,0473	0,0062	15,23
	Barra 4 (20 fios)	1B4	20	20,55	23,29		9,50	25,10	0,0409	0,0464	0,0055	13,33
		2B4	20	20,71	23,64		9,65	25,15	0,0412	0,0470	0,0058	14,15
		3B4	20	20,48	23,68		9,75	25,30	0,0405	0,0468	0,0063	15,63
		4B4	20	20,45	23,23		9,95	25,10	0,0407	0,0463	0,0055	13,59
Seção vazada	Øext = 1,7cm (26 fios)	1B1	26	24,58	29,39	13,60	17,00	25,30	0,0374	0,0447	0,0073	19,57
		2B1	26	24,48	29,45	14,00	17,50	25,30	0,0372	0,0448	0,0076	20,30
		3B1	26	24,51	29,50	14,70	17,40	25,30	0,0373	0,0448	0,0076	20,36
		4B1	26	24,61	29,79	14,75	17,50	25,30	0,0374	0,0453	0,0079	21,05
	Øext = 2,36cm (38 fios)	1BE	38	36,99	44,85	20,00	24,65	25,40	0,0383	0,0465	0,0081	21,25
		2BE	38	36,68	42,37	20,45	23,85	25,40	0,0380	0,0439	0,0059	15,51
		3BE	38	37,09	42,68	21,65	23,90	25,30	0,0386	0,0444	0,0058	15,07
		4BE	38	36,82	43,43	21,15	24,45	25,30	0,0383	0,0452	0,0069	17,95

XV Mostra de Ensino, Extensão e Pesquisa da Univates - MEEP 2013

		Massa inicial	Massa final	Diferença	Acréscimo
		linear (g/cm)	linear (g/cm)	linear (g/cm)	(%)
Geral	Máximo	0,0414	0,0494	0,0088	21,5953
	Mínimo	0,0372	0,0439	0,0055	13,3333
	Média	0,0397	0,0466	0,0068	17,2140
	Desvio	0,0015	0,0015	0,0010	2,7878
	Coef. var. (%)	3,67	3,15	14,61	16,19
Seção cheia	Máximo	0,0414	0,0494	0,0088	21,5953
	Mínimo	0,0400	0,0463	0,0055	13,3333
	Média	0,0407	0,0474	0,0067	16,3795
	Desvio	0,0004	0,0010	0,0010	2,6283
	Coef. var. (%)	0,93	2,06	15,66	16,05
Seção vazada	Máximo	0,0386	0,0465	0,0081	21,2490
	Mínimo	0,0372	0,0439	0,0058	15,0714
	Média	0,0378	0,0449	0,0071	18,8830
	Desvio	0,0006	0,0008	0,0009	2,4409
	Coef. var. (%)	1,46	1,68	12,23	12,93

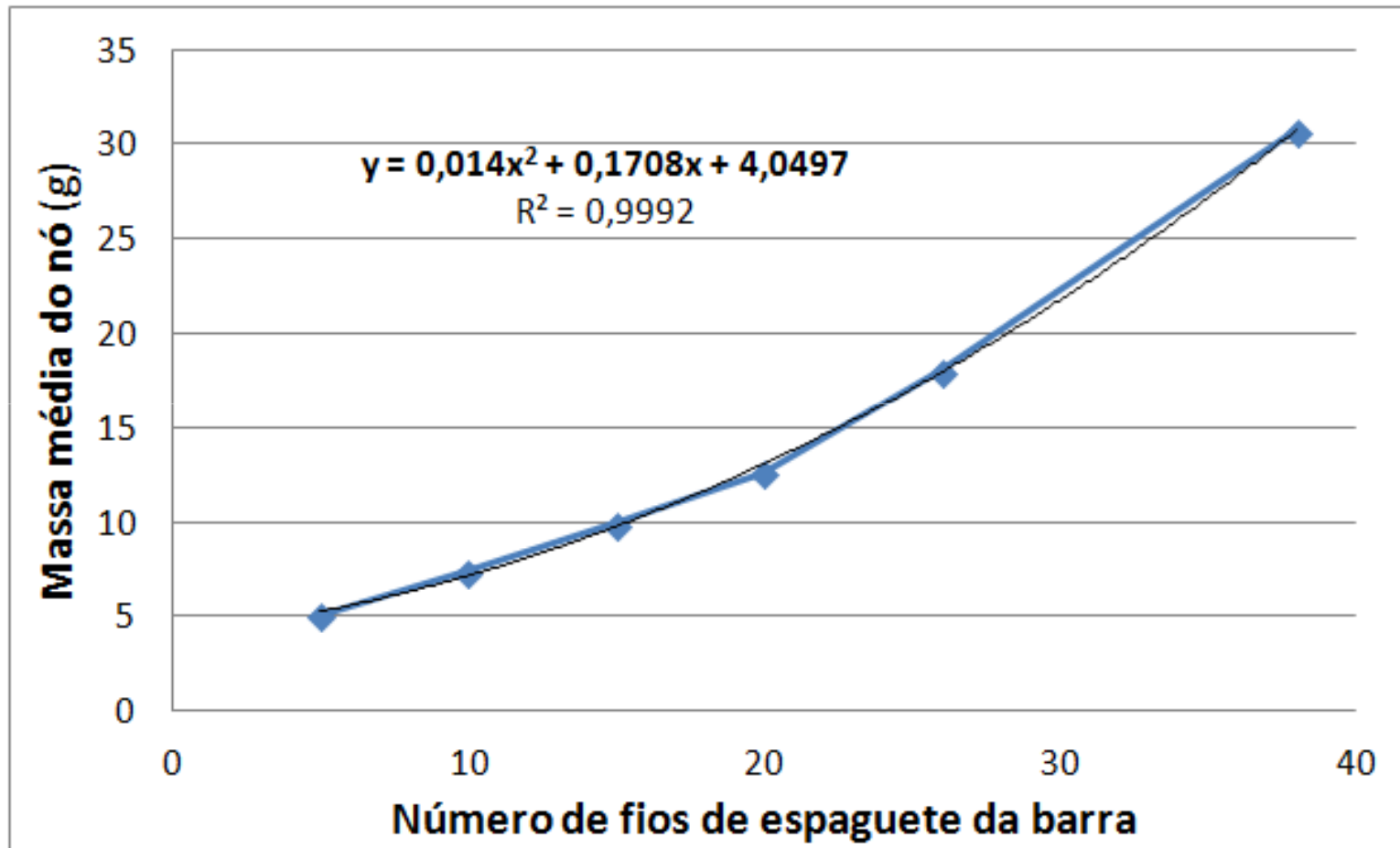
- Nas barras de seção cheia, o peso linear médio de um fio de espaguete com cola ProEpoxi ficou em 0,0474 g/cm
- Nas barras de seção vazada, o peso linear médio de um fio de espaguete com cola ProEpoxi ficou em 0,0449 g/cm
- Levando-se em consideração os dois tipos de barras, o peso linear médio de um fio de espaguete com cola ProEpoxi ficou em 0,0466 g/cm

- Para os dois tipos de barras testados, observou-se um coeficiente de variação dos resultados abaixo de 3,15% e um desvio padrão abaixo de 0,015 g/cm
- Observou-se um incremento de peso da ordem de 17%

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

(peso unitário dos nós ou emendas com cola epóxi tipo resina e tipo massa)

	Barras Ligadas	Massa inicial	Massa com ProEpoxi	Massa com ProEpoxi e Durepoxi	Massa do nó	Massa média do nó	Número de fios da barra	Massa unit.
		(g)	(g)	(g)	(g)	(g)		(g/fio)
Seção cheia	1B1 e 2B1	8,53	12,31	13,68	5,15			
	3B1 e 4B1	8,78	12,31	13,79	5,01	5,08	5	1,02
	1B2 e 2B2	17,65	23,33	25,7	8,05			
	3B2 e 4B2	17,85	23,99	24,64	6,79	7,42	10	0,74
	1B3 e 2B3	27,4	35,8	37,58	10,18			
	3B3 e 4B3	27,79	35,25	37,51	9,72	9,95	15	0,66
	1B4 e 2B4	34,17	45,7	48,69	14,52			
	3B4 e 4B4	37,41	46	48,1	10,69	12,61	20	0,63
Seção vazada	1Bl e 2Bl	46,76	56,33	61,76	15			
	3Bl e 4Bl	41,05	54,2	62,23	21,18	18,09	26	0,70
	1BE e 2 BE	58,9	82,27	90,84	31,94			
	3BE e 4BE	60,2	82,6	89,7	29,5	30,72	38	0,81



- Com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,99, o peso de um nó ou emenda de duas barras unidas com colas ProEpoxi e Durepoxi pode ser estimado por:

$$\text{Peso do nó} = 0,014 \cdot x^2 + 0,1708 \cdot x + 4,0497$$

onde x é o número de fios de espaguete na extremidade de uma das barras

- O peso unitário médio dos nós ou emendas, com valores calculados a partir da expressão anterior para barras entre 5 e 38 fios, ficou em 0,73g/fio (desvio padrão de 0,09g/fio e coeficiente de variação de 12,06%)

CONCLUSÕES:

Em que pese o reduzido número de repetições, para os tipos de barras e colas utilizadas, destacaram-se as seguintes conclusões deste estudo exploratório:

- Para fins de projeto, de modo simplificado, pode-se estimar o peso linear de um fio de espaguete com cola ProEpoxi em $0,0474 \text{ g/cm}$ (maior valor médio encontrado)

- Para fins de projeto, também de modo simplificado, pode-se estimar o peso de um nó ou emenda de duas barras unidas com colas ProEpoxi e Durepoxi em 0,73 g/fio de espaguete (valor médio para barras entre 5 e 38 fios)

OBS: o valor apresentado refere-se ao peso unitário do nó ou da emenda, em função do número de fios de espaguete na extremidade de uma das barras

- Ainda que não se tenha comprovação experimental, acredita-se, de modo empírico, que os valores apresentados podem ser estendidos para barras com mais de 38 fios (seção cheia ou vazada), se houver um certo cuidado para espalhar a cola ProEpoxi entre todos os fios de espaguete na seção transversal

REFERÊNCIAS:

- GONZALEZ, L. A. S.; MORSCH, I. B.; MASUERO, J. R.: ***Didactic games in engineering teaching – case: spaghetti bridges design and building contest.*** *18th International Congress of Mechanical Engineering.* Ouro Preto, MG: 2005
- Competição Ponte de Espaguete – UFRGS [acesso em 26/9/2013]:
http://www.ppgec.ufrgs.br/segovia/espaguete/dados_gerais.html