

ESTUDOS SOBRE ARGAMASSA ARMADA

Eng. Archimino Cardoso de Athayde Neto

Trabalho apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".



DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Orientador:

Prof. Dr. Lafael Petroni

São Carlos, 09 de junho de 1977

Class.	TESE
PHA	
Cult.	A886 v
Tombo	63/89-SET

AGRADECIMENTOS

Pela orientação técnica e bibliográfica, aos professores:

Lafael Petroni

Francisco de Assis Basílio

João Cesar Hellmeister

Pela incansável participação na execução dos ensaios, ao
tecnologista:

Nivaldo Libardi

Pelo apoio e incentivo, aos professores:

João Maria de Lima Paes

Antonio Borges Leal Filho

Ivens Coimbra Brandão

Í N D I C E

Resumo	
Abstract	
Introdução	7
1 - Argamassa simples	19
1.1 - Consistência	19
1.1.1 - O cone penetrômetro	19
1.1.2 - Ensaio de consistência	19
1.2 - Ensaio realizado pelo Prof. Hernani Savio Sobral	21
1.2.1 - Granulometria das areias utilizadas.....	21
1.2.2 - Preparação e cura dos corpos de prova...	21
1.2.3 - Ruptura por compressão	21
1.2.4 - Resultados obtidos em compressão	21
1.2.5 - Quadros demonstrativos da influência da relação cimento/areia e do fator água/mistura seca na resistência à compressão e na consistência da ar- gamassa	21
1.2.6 - Quadros demonstrativos da influência da granulometria da areia e do fator água/mistura seca na resistência à compressão e consistência das arga- massas	3
1.2.7 - Quadro demonstrativo da influência da granulometria da areia e do fator água/cimento nas resistências à tra- ção e à compressão de argamassas de mesma consistência	3
1.2.8 - Considerações relativas aos ensaios do Prof. Hernani Savio Sobral	3
1.3 - Ensaio em argamassa simples, realizados neste trabalho	3
1.3.1 - Forma geométrica e método de adensa- mento dos corpos de prova	3
1.3.2 - Característica da areia utilizada	3
1.3.3 - Preparação e cura dos corpos de prova ..	3

1.3.4 - Ruptura dos corpos de prova	40
1.3.5 - Resultados obtidos em compressão com 7 dias de cura	40
1.3.6 - Conclusões	42
2 - Ensaaios de Compressão em "Ferro-Cimento"	43
2.1 - Ensaaios de Kelly e Mouat	43
2.2 - Ensaaios de Antoine Naaman e Carlos Ramos	43
2.2.1 - Os corpos de prova	43
2.2.2 - Procedimento do ensaio e resultados	43
2.2.3 - Conclusões	46
3 - Ensaaios de compressão em argamassa armada	47
3.1 - Corpos de prova	47
3.2 - Procedimento do ensaio e resultados	48
3.2.1 - Quadros resumidos dos resultados	55
3.3 - Valores do módulo de elasticidade à compressão ..	57
3.4 - Conclusões	58
4 - Ensaaios de tração em argamassa armada	59
4.1 - Corpos de prova	59
4.2 - Procedimento dos ensaios	59
4.3 - Considerações relativas aos ensaios e ao equipamento	62
4.3.1 - Otimização de equipamento para ensaio de tração	62
4.3.2 - Cuidados especiais com o corpo de prova ..	64
4.4 - Quadro de resultados	64
4.5 - Análise dos resultados	64
4.5.1 - Carga para a qual ocorreu a 1ª fissura...	65
4.6 - Estudo do aparecimento e desenvolvimento de fissuras	67
4.6.1 - Análise dos ensaios relativos ao apare- cimento da 1ª fissura	70
4.6.2 - Desenvolvimento da fissuração	70
4.7 - Módulo de elasticidade à tração	75
4.8 - A utilização da malha hexagonal	77
5 - Ensaaios à flexão em argamassa armada	79
5.1 - Corpos de prova	79

5.2 - Procedimento do ensaio e resultados	79
5.3 - Aspecto dos corpos de prova rompidos	92
5.4 - Diagramas carga/flecha	95
5.5 - Análise dos resultados	109
5.5.1 - Módulo de elasticidade antes do aparecimento da 1ª fissura	109
5.5.2 - Tensão de tração na flexão, no momento da abertura da 1ª fissura	109
5.5.3 - Deformação por tração no momento da abertura da 1ª fissura	110
5.5.4 - Espaçamento médio entre fissuras	111
6 - Conclusões	113
6.1 - Conclusões relativas aos materiais	113
6.1.1 - Sobre argamassa simples	113
6.1.2 - Sobre argamassa armada em compressão	113
6.1.3 - Sobre argamassa armada em tração	115
6.1.4 - Sobre argamassa armada em flexão	116
6.2 - Conclusões relativas à metodologia de ensaios ...	116
6.2.1 - Geometria dos corpos de prova	116
6.2.2 - Possibilidade de reprodução de argamas- sas com as mesmas características	116
6.2.2.1 - Quanto aos agregados	116
6.2.2.2 - Quanto à maneira de misturar ...	117
6.3 - Considerações finais	117

P E S U M O

A argamassa armada vem sendo estudada, há muitos anos, na Escola de Engenharia de São Carlos.

Esse material é uma variante do "ferro-cimento", tendo porém como diferenças fundamentais, o consumo de cimento, a percentagem e o tipo da armação.

O nosso trabalho, reúne uma série de ensaios sobre argamassa armada, e visa contribuir para o seu melhor conhecimento.

Tendo em vista os resultados alcançados pudemos concluir que o emprego de telas, mesmo em número reduzido, proporciona reais vantagens do ponto de vista da fissurabilidade, trabalhabilidade e flexibilidade.

Considerando ainda, que atualmente, se acham empenhados no seu estudo, pesquisadores de notoria capacidade, em várias partes do mundo, aplicando telas mais grossas, como nós temos feito, justo é prever-se um futuro bastante promissor para este novo material.

A B S T R A C T

For many years, the new material "REINFORCED MORTAR" (a mixture of cement, sand water reinforced with steel screens) has been studied at the "Escola de Engenharia de São Carlos - USP".

This material is a variety of "Ferro-cimento" having as main differences, the consumption of cement, the percentage and type of reinforcement.

Our project summarises a series of testings about reinforced mortar and its aim is to contribute for a better knowledge of it.

As a result of the research we can conclude that use of steel screens (even in low numbers) brings advantages in terms of good workability and flexibility, and specially related to the occurrence of cracks.

Taking into considerations that studying researchers are working out all over the world using thicker screens, it is fair to forecast a promissory future for the use of REINFORCED MORTAR.

INTRODUÇÃO

Este trabalho reúne uma série de ensaios mecânicos em argamassa armada, e visa contribuir para um melhor conhecimento deste material.

A argamassa armada é uma variante do "ferro-cimento", material cuja primeira patente data de 1848, apresentada por Jean Luis Lambot, referente a um bote que se utilizou com êxito durante algumas décadas e se conserva, desde 1902, no Museu de Briennes, na França.

Os trabalhos de Lambot foram frutos de simples intuição e, sobre "ferro-cimento", nada mais se veio a saber até 1940, quando

Pier Luigi Nervi realizou uma série de ensaios em laboratório, determinando características físicas suficientes para utilizar o novo material na construção de barcos e em estruturas de construção civil. Daí, até nossos dias, apesar de pouco difundido, vem-se utilizando largamente o "ferro-cimento", inclusive em obras de grande envergadura. No Japão já se construíram navios de grande tonelagem, na União Soviética, além da construção naval, a sua aplicação em coberturas existe em larga escala.

Disse Pier Luigi Nervi: (1) "... A idéia fundamental do "ferro-cimento" consiste no fato de que os concretos e argamassas podem suportar grandes deformações nas proximidades das armaduras. Por outro lado, a grandeza das tensões depende da distribuição destas armaduras na massa dos concretos ou argamassas. Por isso, o material obtido com uma espessura delgada de argamassa e armado com capas superpostas de malhas metálicas de pequeno diâmetro, cuja proporção e subdivisão sejam elevadas ao máximo, proporciona um conjunto de alto grau de elasticidade, notável limitação da fissuração e grande resistência com mínimo peso próprio. Geralmente não necessita de formas..."

"... usar 500 kg de ferro e 800 a 1.000 kg de cimento por m^3 de argamassa..."

O "ferro-cimento", é pois argamassa com pequena espessura, variando de 1 a 5 cm, armada com malhas superpostas tão densamente que, em alguns casos, pode ser moldada sem formas.

A diferença fundamental entre a argamassa armada e o "ferro-cimento" está no consumo de cimento e densidade de armadura; na argamassa armada o consumo por m^3 de material, fica em

torno dos 700 kg de cimento e 250 kg de ferro.

Enquanto que no "ferro-cimento" são utilizadas séries de 5, 10 ou mais telas de fios metálicos de pequeno diâmetro, na argamassa armada procura-se colocar 1 a, quando muito, 5 telas, que poderão ter fios de até 3.4 mm de diâmetro.

Desde 1960, a Escola de Engenharia de São Carlos vem estudando a argamassa armada, adaptando o "ferro-cimento" às nossas condições, reduzindo seu custo e analisando a forma de aplicação.

Muitas obras já foram executadas e não existe mais dúvida sobre a grande faixa de aplicação deste material.

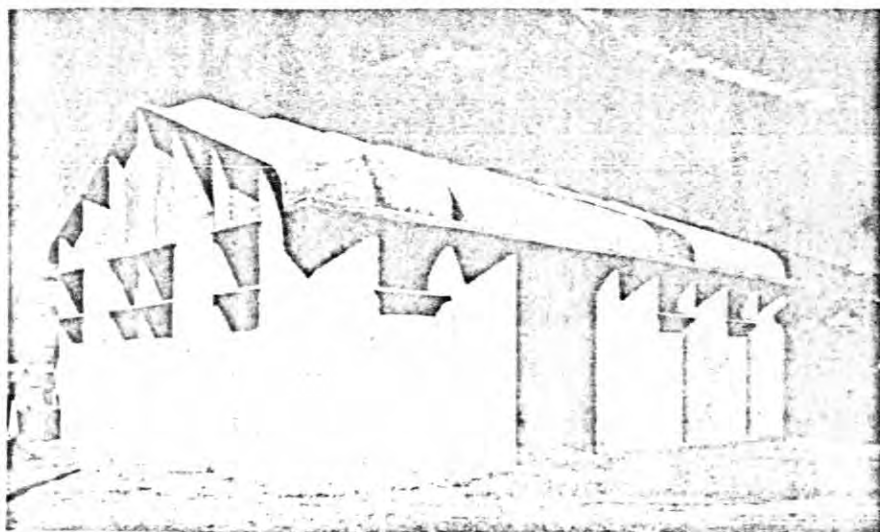


Fig. 1 - Primeira obra de construção civil utilizando o "ferro-cimento". Estrutura Experimental, executada pela firma NERVI E BARTIOLI (Roma-1946) cuja resistência é devida à forma ondulada das paredes e da cobertura que com apenas 3 cm de espessura, vence vãos livres de 11,38m de largura e 21,88m de comprimento. Quanto à segurança os resultados obtidos foram ótimos, entretanto, quanto ao isolamento térmico e custos (para a época) foram insatisfatórios.

Fig. 2 -

Iate Nenele (1948) construído pela firma NERVI E BARTIOLI, com casco de 1,2cm de espessura, para 12,5m de comprimento, armado com 7 malhas metálicas superpostas, reforçado com vergalhões de 6,0mm de diâmetro espaçados de 5 em 5cm.

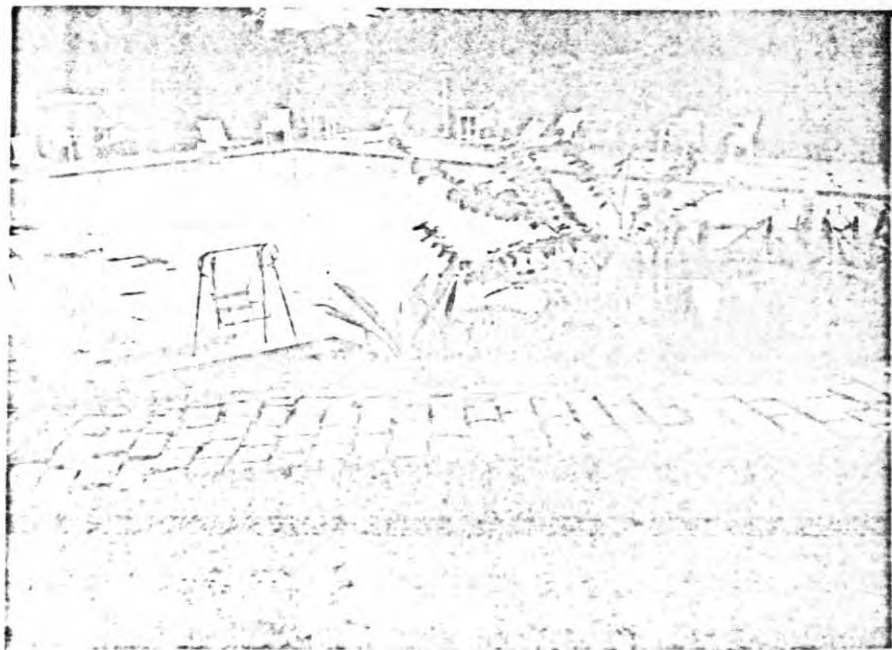
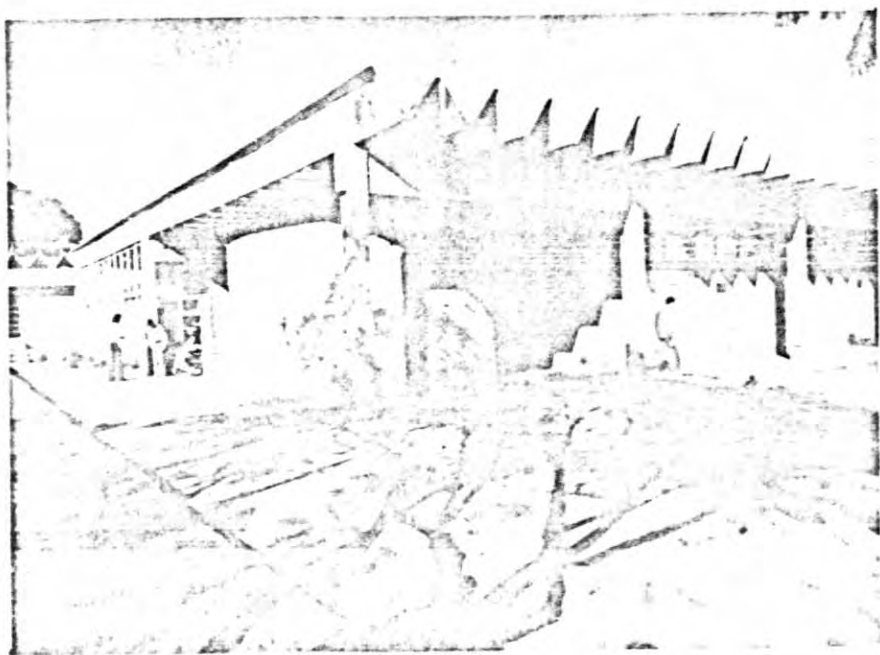


Fig. 3 - Piscina do Hotel Estância Suíça em São Carlos - SP - executada com peças pré-moldadas de argamassa armada.



ig. 4 - Aplicação em cobertura residencial



ig. 5 - Prédio no Campus de São Carlos - USP - Cobertura em ar
gamassa armada



Fig. 6 - Ensaio na viga telha utilizada na cobertura do reservatório enterrado, de argamassa armada, construído em Araraquara - SP - com as seguintes características:

Projeto: Prof. Dr. Lafael Petroni, Prof. Dr. Frederico Schiel.

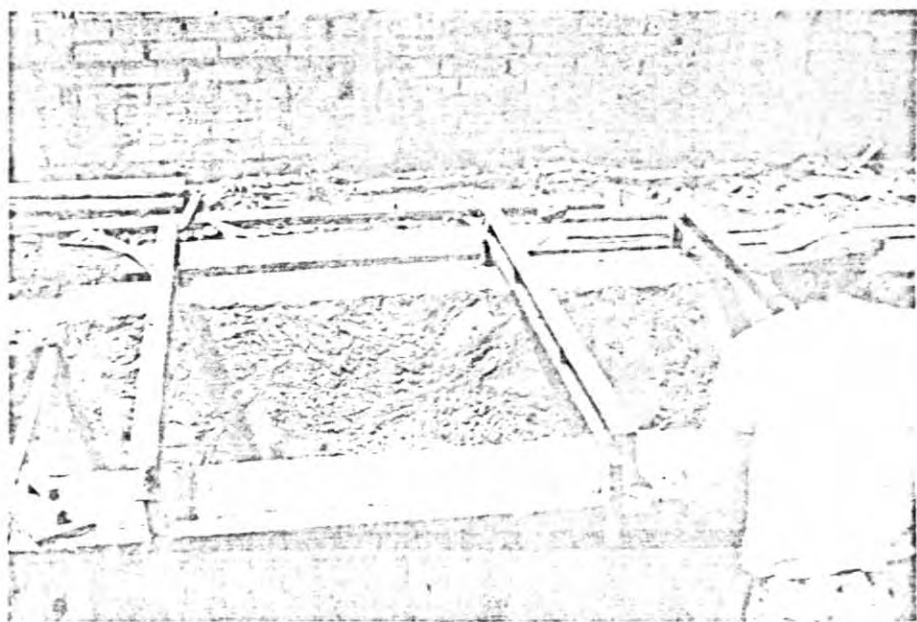
Cobertura: Peças conforme foto, com 11,35m de comprimento.

Dimensões do Reservatório: 48,0m de comprimento, 22,5m de largura, 3,60m de profundidade.

Espessura das Paredes do Reservatório: 2cm, armadas com 2 telas de fios soldados de 3mm de diâmetro, com malhas de 5cm.



ig. 7 - Cooperativa de Laticínios São Carlos, São Carlos - SP - telhas fabricadas fora do canteiro da obra, com 30,00m de comprimento. Na foto, observar a fôrma metálica e a colocação das malhas de armação.



ig. 8 - Cooperativa de Laticínios São Carlos - a argamassa foi lançada como que para emboço e ligeiramente vibrada an tes do acabamento..

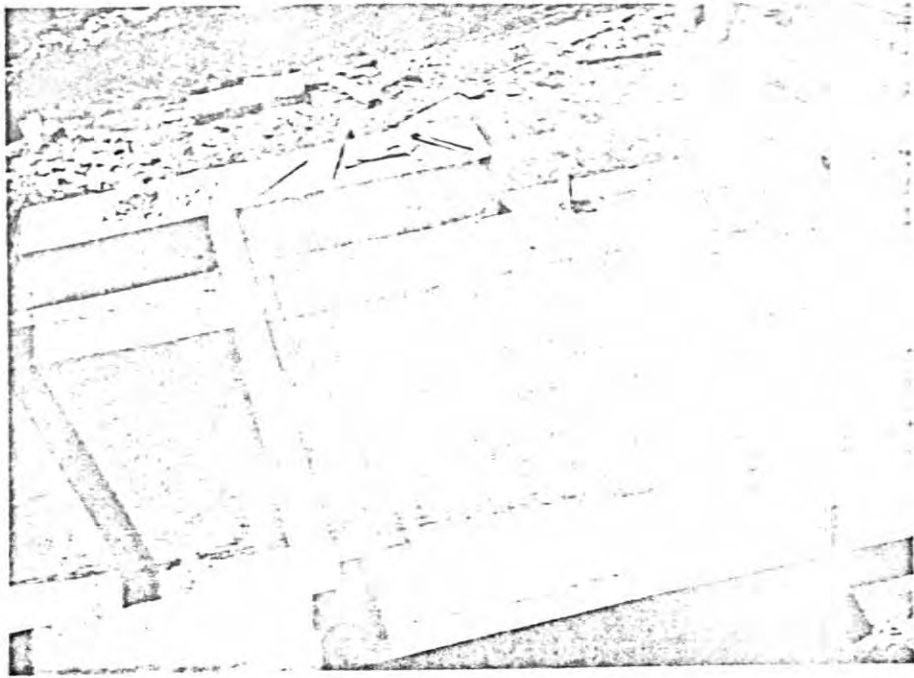


Fig. 9 - Cooperativa de Laticínios São Carlos - .0 acabamento, simplesmente desempenado com colher de madeira.

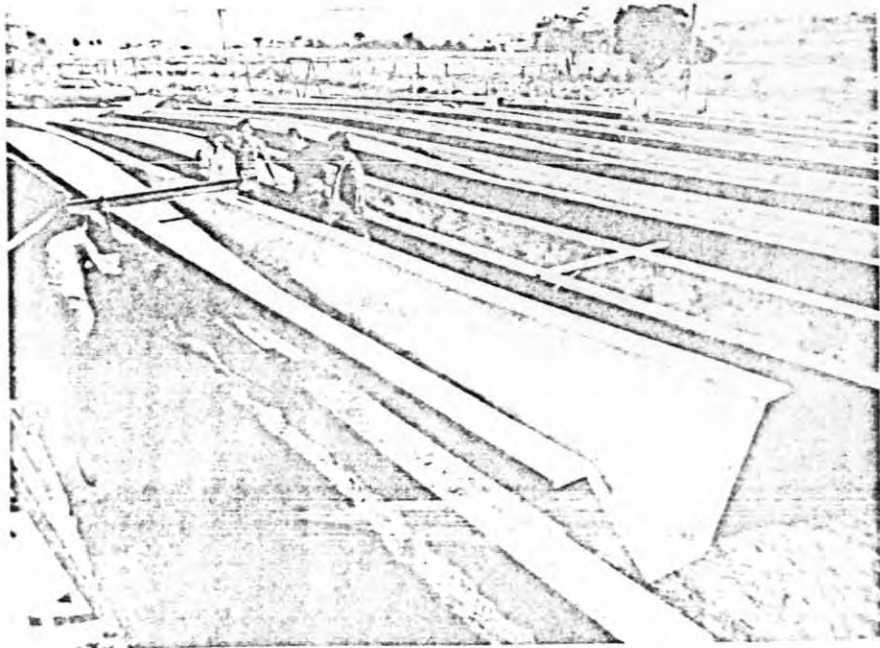


Fig. 10 - Cooperativa de Laticínios São Carlos - Na telha pronta, observar o septo de contraventamento, colocado para evitar os efeitos de instabilidade lateral devido a seção aberta de areia fina. A argamassa foi lançada em duas etapas. Primeiro moldaram-se o fundo e a parte das laterais, até o nível do septo. Após a colocação deste, foi concluído o enchimento das laterais. O septo foi pre-moldado em placas com armadura exposta nas faces laterais, para que as mesmas pudessem ser ancoradas nas paredes da calha.

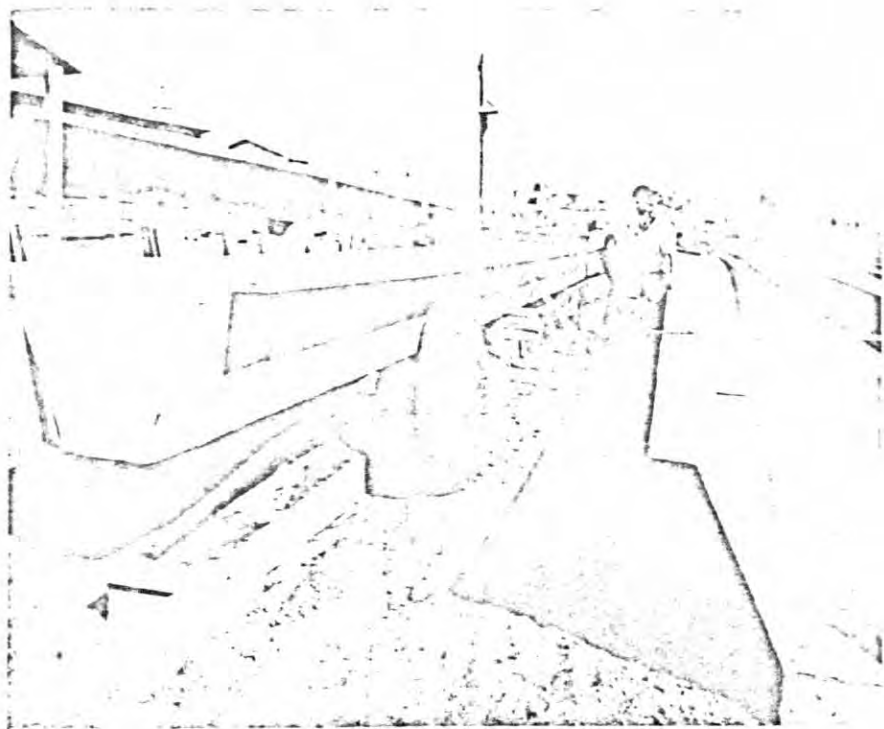


Fig.11 - Cooperativa de Laticínios São Carlos - Para o transporte, após a retirada das formas laterais as telhas foram levantadas por macacos e assentadas sobre veículos isolados, exatamente nos pontos de apoio previstos em cálculo.

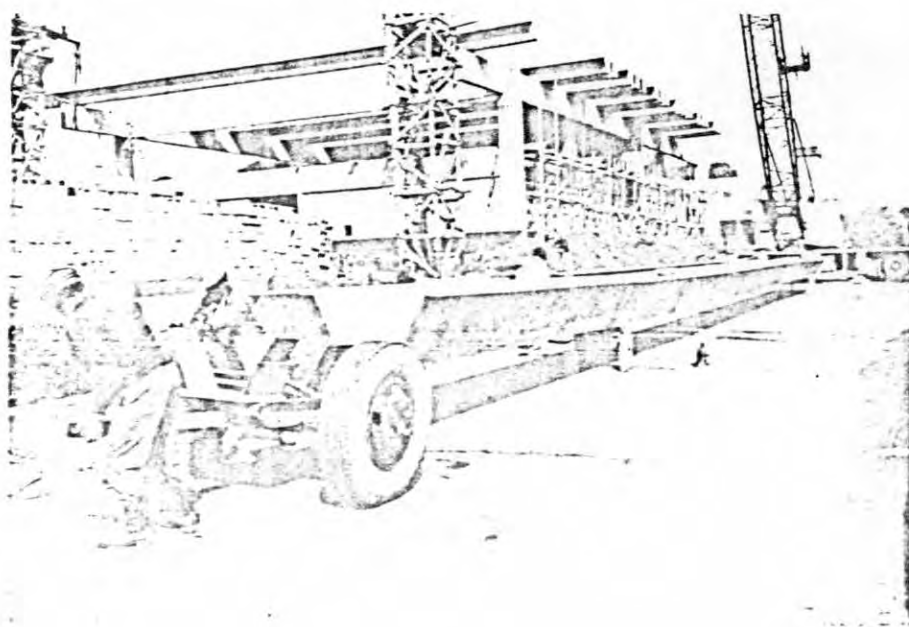


Fig.12 - Cooperativa de Laticínios São Carlos - No canteiro da obra, processo semelhante, para retirada dos veículos transportadores. Nesta foto, observar: o macaco hidráulico utilizado, o detalhe dos veículos transportadores e os suportes para estocamento no canteiro, simulando os apoios reais da peça.

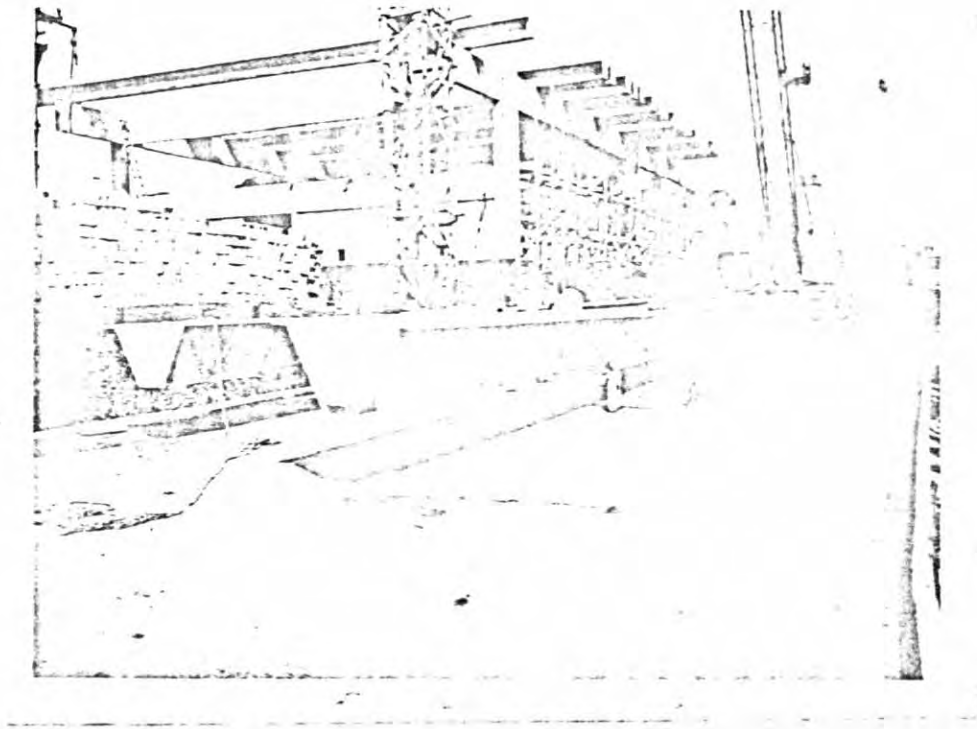


Fig.13 - Cooperativa de Laticíneos São Carlos - A peça pronta para ser içada

Fig-14 -
Cooperativa de Laticí-
nios São Carlos - O i-
çamento.

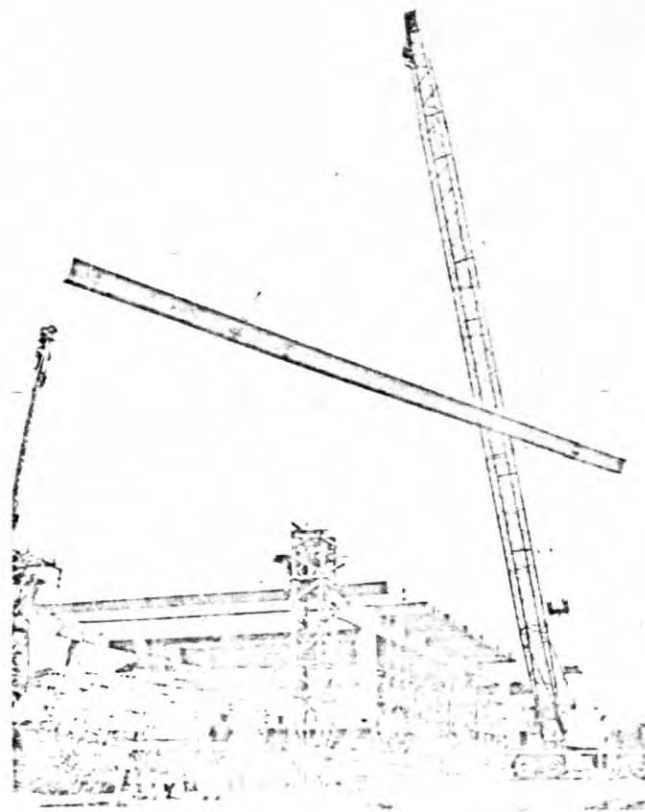


Fig.15 -

Cooperativa de Laticí-
nios São Carlos - Colo
cação, simplesmente a-
poiada sobre juntas de
NEOPRENE

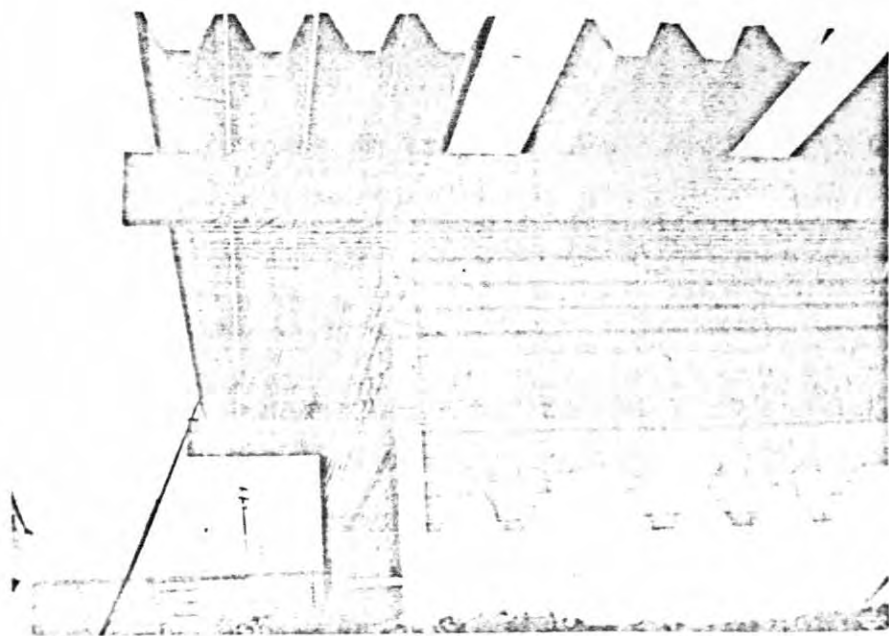
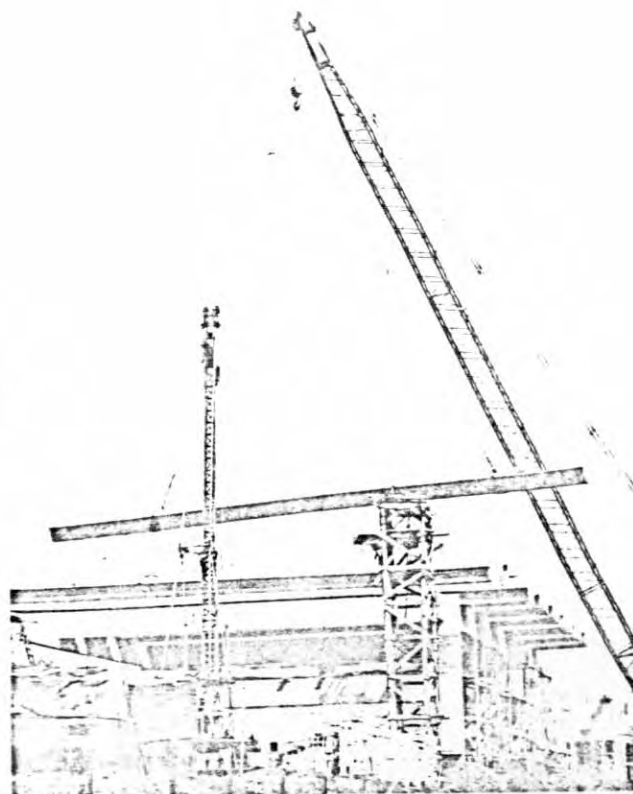


Fig.16 - Cooperativa de Laticínios São Carlos - A obra, observar
que, inclusive as venezianas, são peças pré-moldadas de
argamassa rmada.



Fig.17 - Atualmente, os professores LAFAEL PETRONI e LUIZ ROMARIZ DUARTE, estão desenvolvendo, em São Carlos, a tecnologia da construção de barcos em argamassa armada, utilizando agregados leves. Este primeiro protótipo tem 1,2cm de espessura, armado com 1 malha de fios de 1,2mm com lado de 1,0cm. Executado com argila expandida, pesou 140kg para uma capacidade de carga de 560kg.

Além das aplicações estruturais de argamassa armada, pode ser executada uma gama enorme de peças variadas, como móveis, mesa de "ping-pong", balcões, elementos construtivos, enfim, toda uma série de pequenos objetos, frutos da extravagante imaginação do homem.

1 - A ARGAMASSA SIMPLES

Antes de iniciarmos o estudo da argamassa armada, julgamos conveniente fazer algumas considerações relativas à argamassa simples.

Essas considerações são necessárias porque, embora a relação a/c seja a principal determinante da resistência da argamassa, as implicações relativas à aplicação da mesma, em peças de pequena espessura, principalmente com relação aos processos de adensamento, fazem com que a consistência da argamassa ocupe uma posição de grande importância na argamassa armada.

1.1 - Consistência

A compatibilização entre a consistência de uma argamassa e o modo como será aplicada em peças esbeltas, por entre o emaranhado de telas da "argamassa armada", é um problema de muito pouca flexibilidade.

O aparelho para determinação da consistência, descrito no item 28 do HB-1, não se presta para a medida dos extremos de argamassas mais secas ou mais plásticas.

Por este motivo, foi desenvolvido nos laboratórios da "PORTLAND CEMENT ASSOCIATION and UTAH STATE UNIVERSITY", um cone penetrômetro (2), que permite um ensaio de consistência em argamassas de qualquer plasticidade.

1.1.1 - O cone penetrômetro

Pode ser construído a partir de um aparelho de Vicat substituindo-se a agulha por um cone de base com diâmetro 41mm, altura 91mm e um arredondamento no vértice de 3mm de raio; é necessário também elevar aproximadamente 5 cm a altura do suporte do aparelho. O peso do conjunto móvel deve ser de 400g e a forma do corpo de prova, semelhante ao recipiente de 400 cm³ normalizado pela ASTM C-185.

1.1.2 - O ensaio

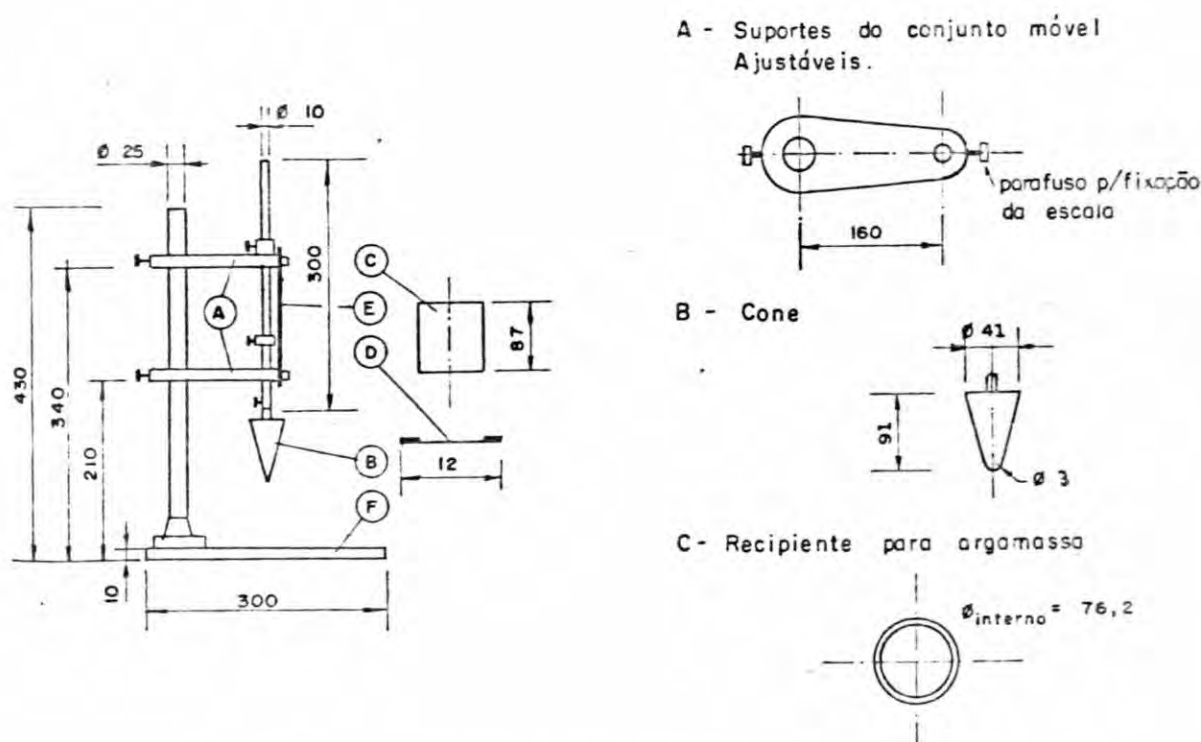
A argamassa para ensaio, deve ser preparada com uma mistura seca de aproximadamente 1200g, (material suficiente para apenas 1 ensaio) e água de acordo com a plasticidade descrita.

O recipiente deve ser cheio em 3 camadas iguais, cada uma adensada com 30 golpes moderados do soquete normal, de acordo com o descrito no item 31 do NP-1.

Depois de processado o arrazamento da argamassa, o aparelho deve ser zerado com o vértice do cone na bordadura do recipiente do corpo de prova.

Centrado o corpo de prova, deixa-se penetrar o cone na argamassa, sem choque e sem velocidade inicial.

O resultado do ensaio será a média de, pelo menos, duas penetrações em corpos de prova independentes.



D - Base para o recipiente de argamassa 120x120 com um rebaixamento circular central, de diâmetro igual ao ϕ externo do recipiente

E - Escala

F - Base do aparelho, 300x150 suficientemente rígida e plana

Fig. 18 - Detalhes do aparelho fabricado na oficina mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos (medidas em mm).

Fig. 19 -

Este aparelho foi inteiramente construído na oficina mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos, não se tratando de uma adaptação no aparelho Vicat.

Com exceção da haste móvel, que é de latão, as demais peças são em aço, sendo o cone ôco, usado para atender as especificações de peso do conjunto.

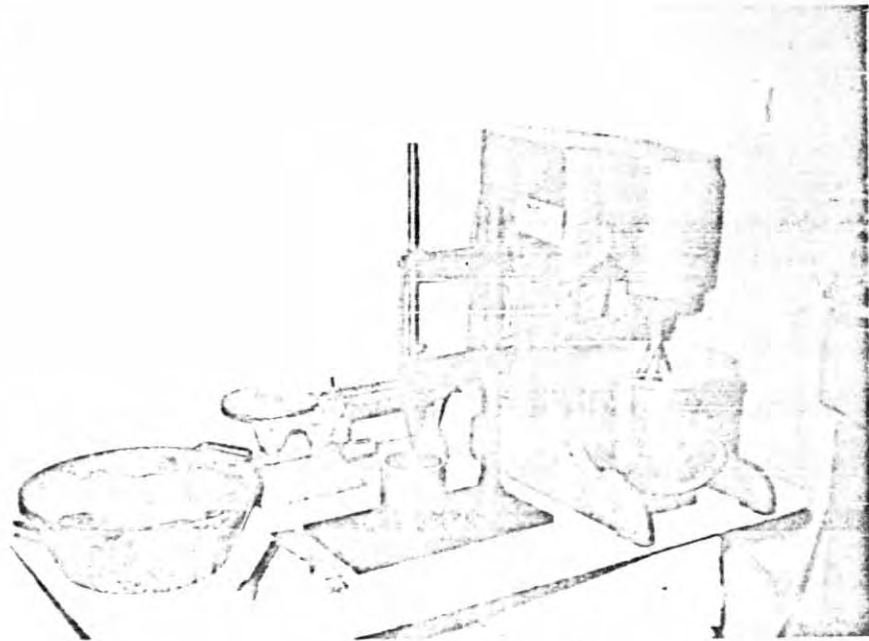


Fig. 20 - Conjunto dos equipamentos utilizados para o ensaio - A argamassa pode ser preparada conforme a argamassa normal do MP-1 - APNT ou com arassadeira mecânica.

1.2 - Ensaios realizados pelo Professor Hernani Savio Sobral (3).

Estes ensaios relacionam fator água/cimento, percentagem de água na mistura seca, granulometria da areia, consistência e resistência à compressão e à tração em corpos de prova de argamassa simples, cilíndricos, de base com 5 cm de diâmetro e altura 10 cm.

1.2.1 - Granulometria das areias utilizadas

Foram utilizados 5 tipos diferentes de areia com as seguintes granulometria:

Abertura das Peneiras (mm)	Resíduos Acumulados (%)			
	Areia A	Areia B	Areia C	Areia N
4,8		6	5	
2,4		19	50	
1,2		45	70	25
0,6	1	70	90	50
0,3	27	85	95	75
0,15	98	95	100	100
Módulo da finura	1,26	3,20	4,10	2,50

TABELA 1 - Granulometria das areias utilizadas

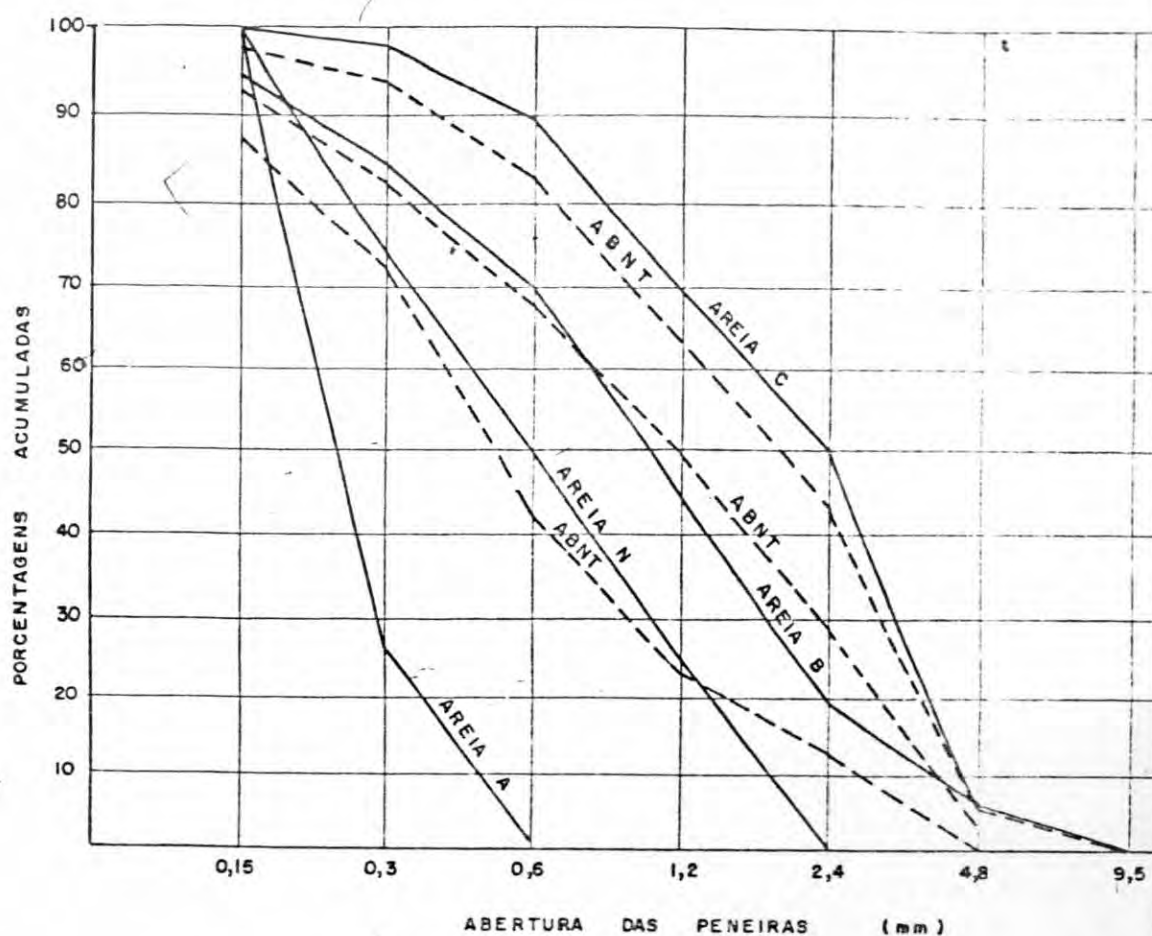


Fig. 21 - Curvas granulométricas das areias utilizadas.

1.2.2 - Preparação e cura dos corpos de prova

Em cada moldagem foram utilizadas 1.200 g de mistura seca, quantidade suficiente para 3 corpos de prova. A água foi totalmente lançada em 1 minuto e o amassamento manual foi processado durante 5 minutos, com espátula e recipiente normalizados no IP-1. Os corpos de prova foram cheios em 4 camadas de altura aproximadamente iguais, adensadas com 30 golpes de soquete normal, cada uma.

A cura foi feita em imersão, em água a uma temperatura de 21°C a 23°C.

1.2.3 - Ruptura por compressão

Os corpos de prova foram rompidos numa prensa universal Baldwin, na qual se adaptaram, sobre os pratos, outros de maior mobilidade.

1.2.4 - Resultados obtidos em compressão - Os resultados obtidos estão transcritos nas tabelas 2 a 5, correspondentes à utilização das areias A, B, C e M, respectivamente.

Relação Cimento/ areia	Fator A/C	Água de amassa- mento (%)	Penetra- ção do cone (mm)	Resistência à Compressão		
				Média (kg/cm ²)	Desvio padrão (kg/cm ²)	Coef. de variação (%)
1:1	0,20	10,0	2			
	0,25	12,5	5			
	0,30	15,0	36	630	40,6	6,4
	0,35	17,5	65			
	0,40	20,0	88	629	11,2	1,8
1:2	0,20	6,6	3			
	0,30	10,0	4	392	22,1	5,6
	0,40	13,3	25	395	22,1	5,6
	0,50	16,7	64	367	25,6	7,0
	0,60	20,0	88	286	17,3	6,0
1:3	0,30	7,5	7			
	0,40	10,0	9	251	29,5	11,7
	0,50	12,5	19	212	15,3	7,2
	0,60	15,0	34	203	16,0	7,9
	0,70	17,5	51			
1:4	0,40	8,0	3	143	8,6	6,0
	0,50	10,0	9	163	13,1	8,0
	0,60	12,0	11	163	6,4	3,9
	0,70	14,0	25	122	9,5	7,7
1:5	0,40	6,7	10	120	9,9	8,2
	0,50	8,3		122	9,1	7,4
	0,60	10,0	13	129	13,8	10,7
	0,70	11,8		128	12,7	9,9
	0,80	13,3	18			

TABELA 2 - Resultados dos ensaios de consistência e resistência à compressão referentes à areia A.

Relação Cimento/ areia	Fator A/C	Água de amassa- mento (%)	Penetra- ção do cone (mm)	Resistência à Compressão		
				Média (kg/cm ²)	Desvio padrão (kg/cm ²)	Coef. de variação (%)
1:2	0,20	6,6	2	442	19,7	4,6
	0,30	10,0	3	467	40,4	8,6
	0,35	11,6	13			
	0,40	13,3	54	444	31,7	7,1
	0,50	16,6	88	432	23,8	5,5
	0,60	20,0		339	23,1	6,8
1:3	0,30	7,5	3	257	29,7	11,5
	0,40	10,0	9	363	37,2	10,2
	0,50	12,5	39	321	30,7	9,6
	0,60	15,0	81	305	20,1	6,6
	0,70	17,5	88	297	33,2	11,2
1:4	0,30	6,0	5	193	20,9	10,8
	0,40	8,0	9	225	11,8	5,2
	0,50	10,0	12	285	25,2	8,8
	0,60	12,0	43	226	17,9	7,9
	0,70	14,0	67	170	24,1	14,1
1:5	0,30	5,0	4	137	9,0	6,6
	0,40	6,6	6	170	13,2	7,8
	0,50	8,3	7	186	18,9	10,2
	0,60	10,0	10	216	17,8	8,2
	0,70	11,6	26			
1:6	0,40	5,7		120	6,9	5,8
	0,50	7,1		138	9,9	7,2
	0,60	8,6		146	12,6	8,6
	0,70	10,0		147	13,6	9,2

TABELA 3 - Resultados dos ensaios de consistência e resistência à compressão referentes à areia P.

Relação Cimento/ areia	Fator A/C	Água de amassa- mento (%)	Penetra- ção do cone (mm)	Resistência à Compressão		
				Média (kg/cm ²)	Desvio padrão (kg/cm ²)	Coef. de variação (%)
1:1	0,30	15,0		761	53,3	7,0
	0,40	20,0		550	19,9	3,6
1:2	0,30	10,0	7	573		
	0,35	11,6	28			
	0,40	13,3	55	527	32,5	6,2
	0,50	16,6	88	376	20,9	3,3
1:3	0,30	7,5	5	224	22,6	10,0
	0,40	10,0	9	573	43,1	8,0
	0,50	12,5	37	363	23,6	6,5
	0,60	15,0	53	295	30,0	10,1
1:4	0,30	6,0	9	175	17,7	10,1
	0,40	8,0	11	213	19,7	9,2
	0,50	10,0	13	360	33,1	3,6
	0,60	12,0	22	256	9,2	3,6
1:5	0,30	5,0	5			
	0,40	6,6	7	149	8,0	5,4
	0,50	8,3	9	231	24,2	10,5
	0,60	10,0	12	217	10,8	5,0
	0,70	11,6	16			
	0,80	13,3	23			

TABELA 4 - Resultados dos ensaios de consistência e resistência à compressão referentes à areia C.

Relação Cimento/ areia	Fator A/C	Água de amassa- mento (%)	Penetra- ção do cone (mm)	Resistência à Compressão		
				Média (kg/cm ²)	Desvio padrão (kg/cm ²)	Coef. de variação (%)
1:2	0,30	10,0	14	644	36,2	5,6
	0,35	11,6	19			
	0,40	13,3	31	563	48,8	3,6
	0,50	16,6	88	446	20,3	4,6
	0,60	20,0		205	23,8	8,1
1:3	0,25	6,3	3			
	0,30	7,5	5	244	26,4	10,8
	0,40	10,0	7	439	37,5	8,5
	0,50	12,5	23	387	36,6	9,4
	0,60	15,0	50	244	40,2	16,5
1:4	0,30	6,0	3			
	0,40	8,0	5	250	20,0	8,0
	0,50	10,0	10	314	21,9	7,0
	0,60	12,0	20	202	20,0	9,9
	0,70	14,0	36			
1:5	0,40	5,7		123	10,7	8,7
	0,50	7,1		138	14,3	10,3
	0,60	8,6		165	16,6	10,1
	0,70	10,0		166	9,5	5,7

TABELA 5 - Resultados dos ensaios de consistência e resistência à compressão referentes à areia N.

1.2.5 - Quadros demonstrativos da influência da relação cimento/areia e do fator água/mistura seca, na resistência à compressão e na consistência das argamassas.

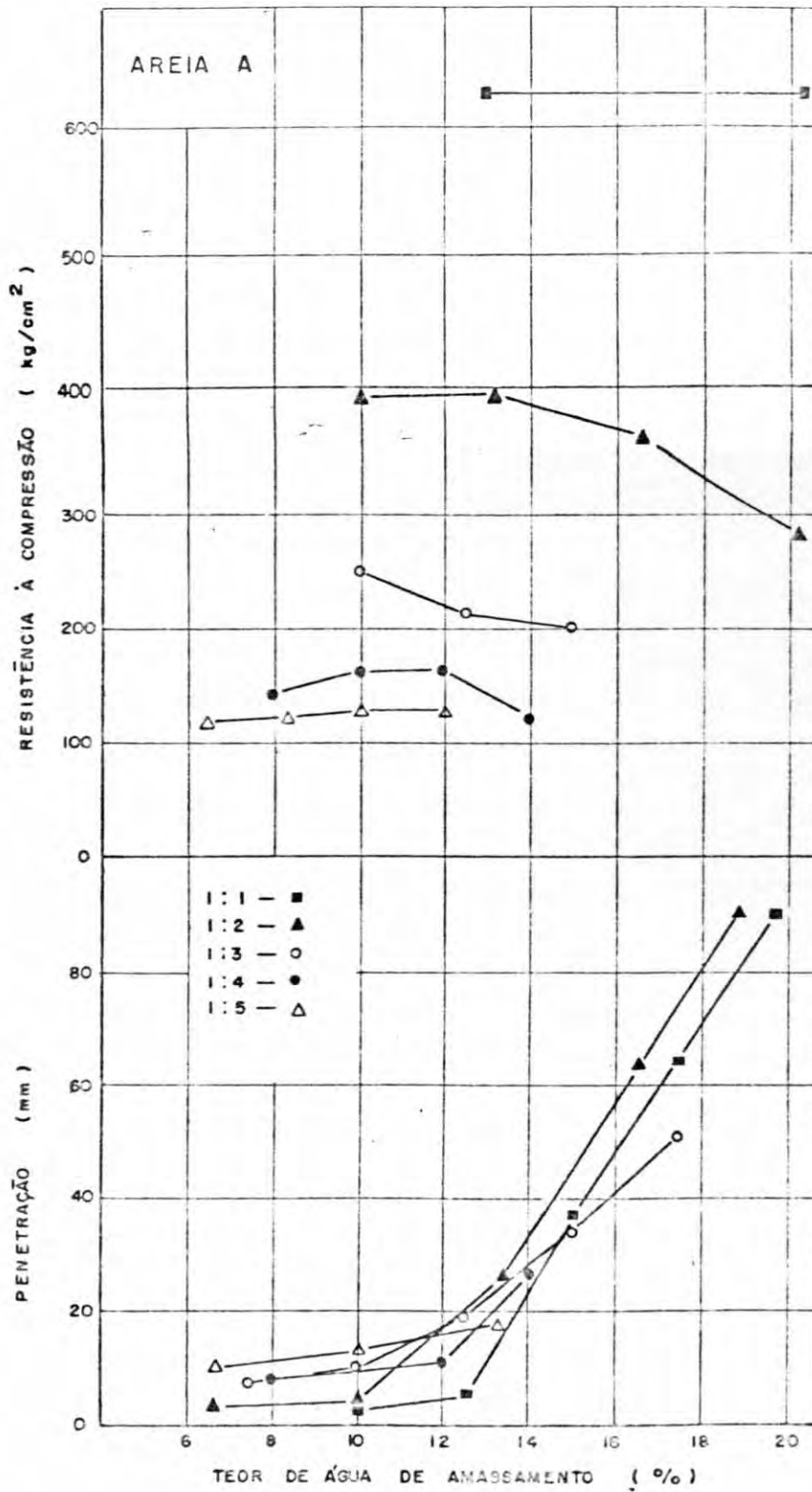


Fig. 22 - Influência da relação cimento/areia e da água de amassamento na resistência à compressão e na consistência das argamassas (Areia A).

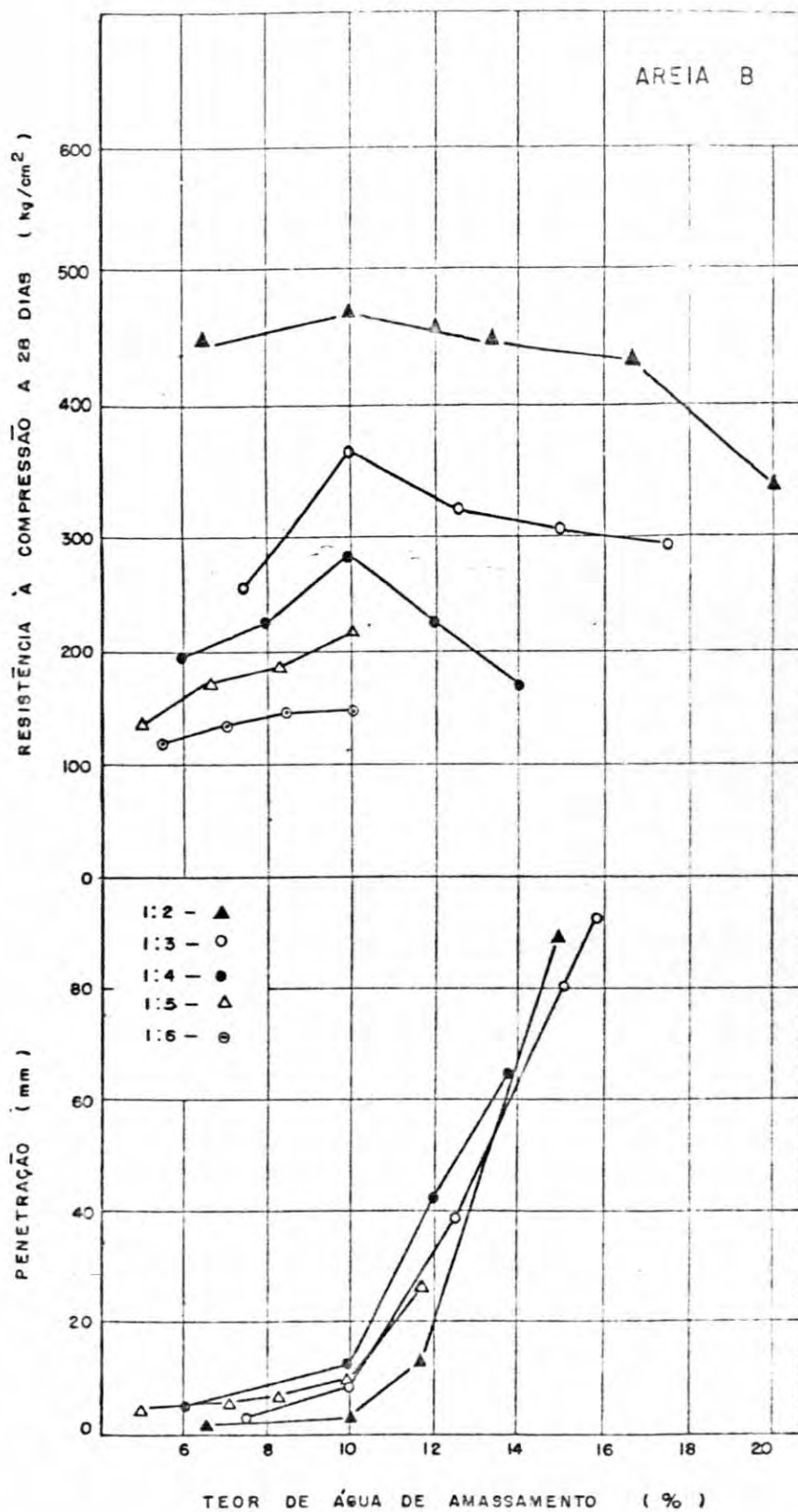


Fig. 23 - Influência da relação cimento/areia e da água de amassa-
na resistência à compressão e na consistência das ar-
damassas (Areia B).

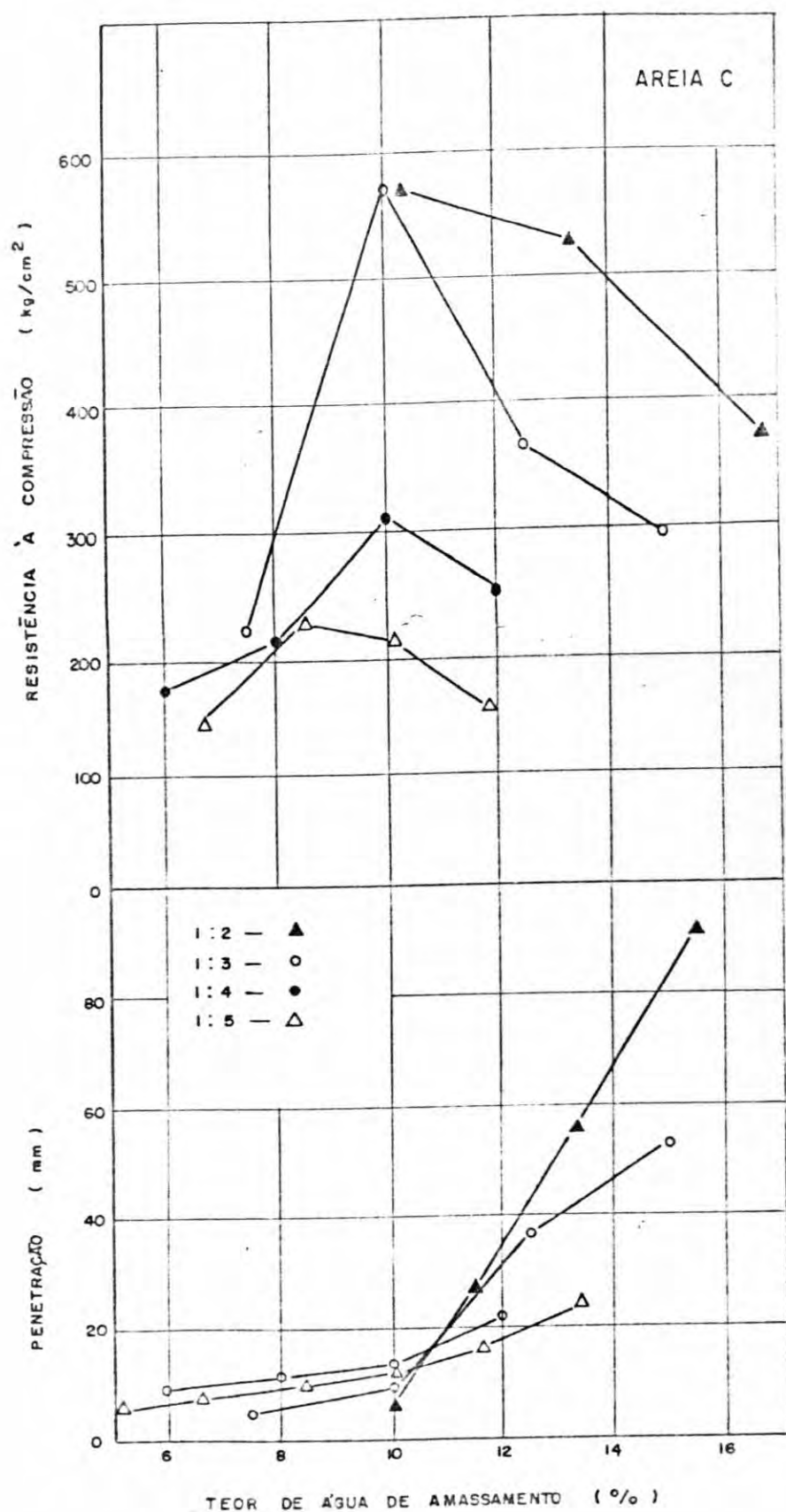


Fig. 24 - Influência da relação cimento/areia e da água de amassamento na resistência à compressão e na consistência das argamassas (Areia C).

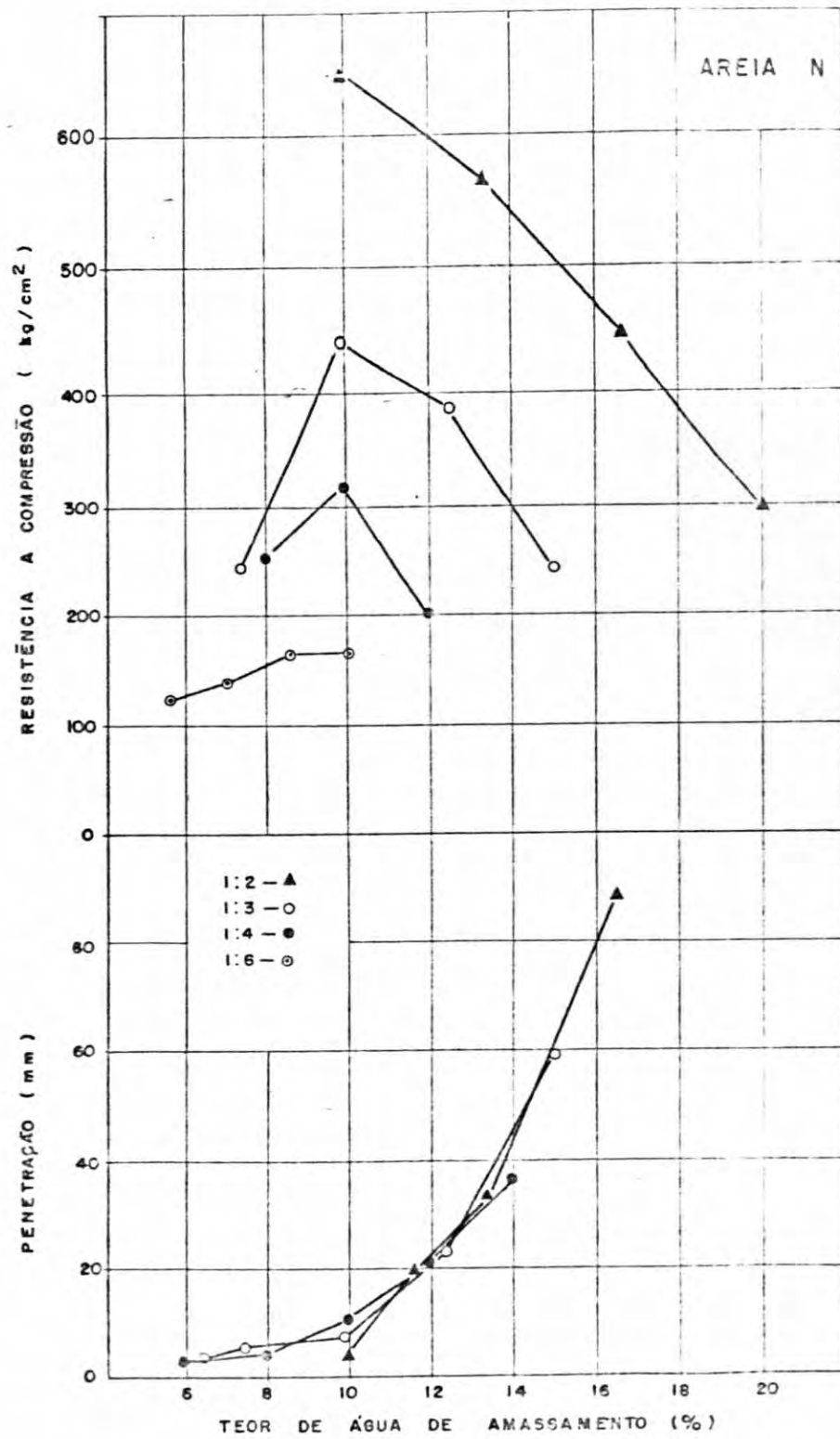


Fig. 25 - Influência da relação cimento/areia e da água de amassamento na resistência à compressão e na consistência das argamassas (Areia N)

1.2.6 - Quadros demonstrativos da influência da granulometria da areia e do fator água/mistura seca na resistência à compressão e consistência das argamassas.

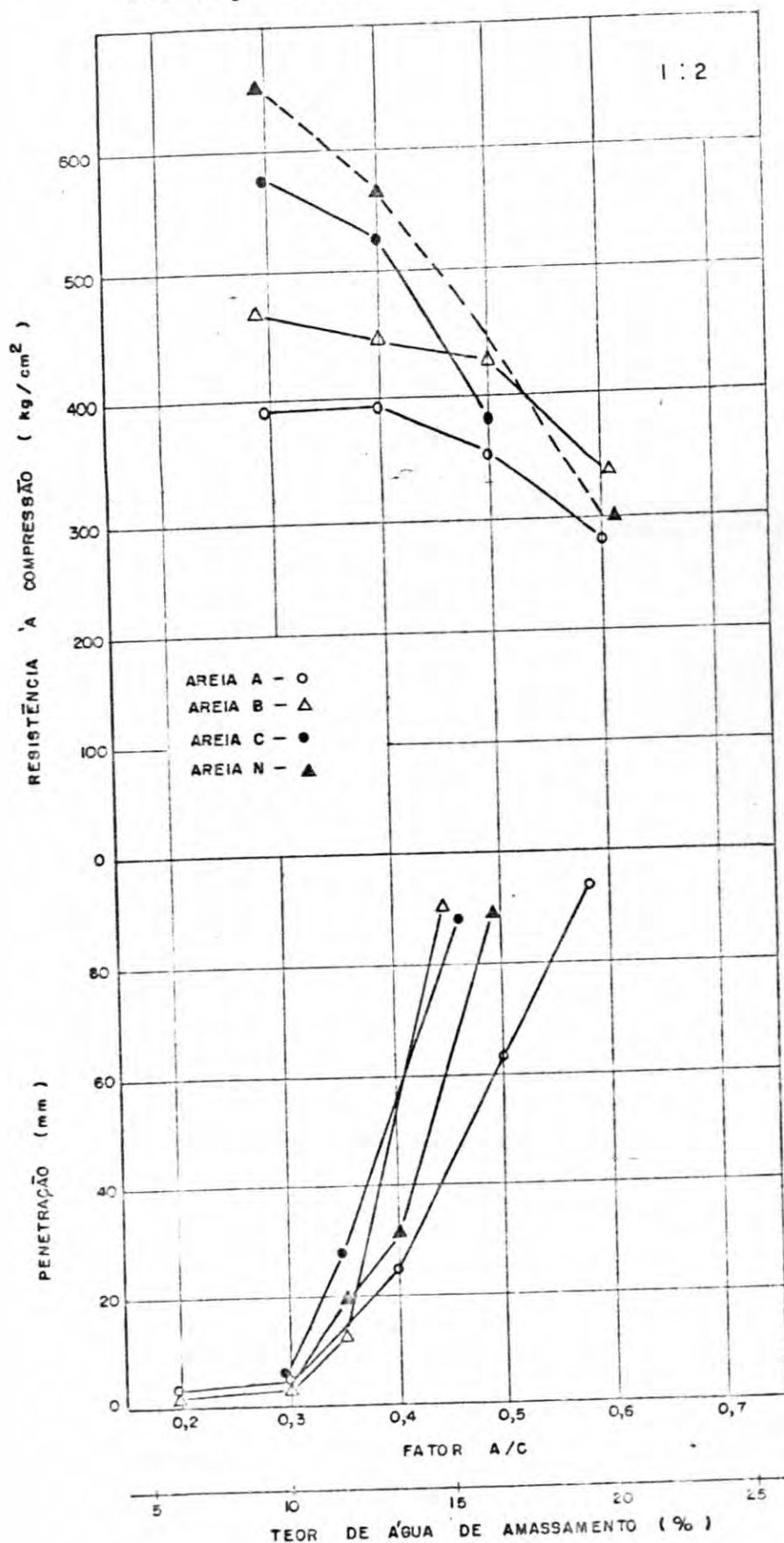


Fig. 26 - Influência da granulometria da areia e do teor de água de amassamento na resistência à compressão das argamassas (Rel. cimento/areia 1:2).

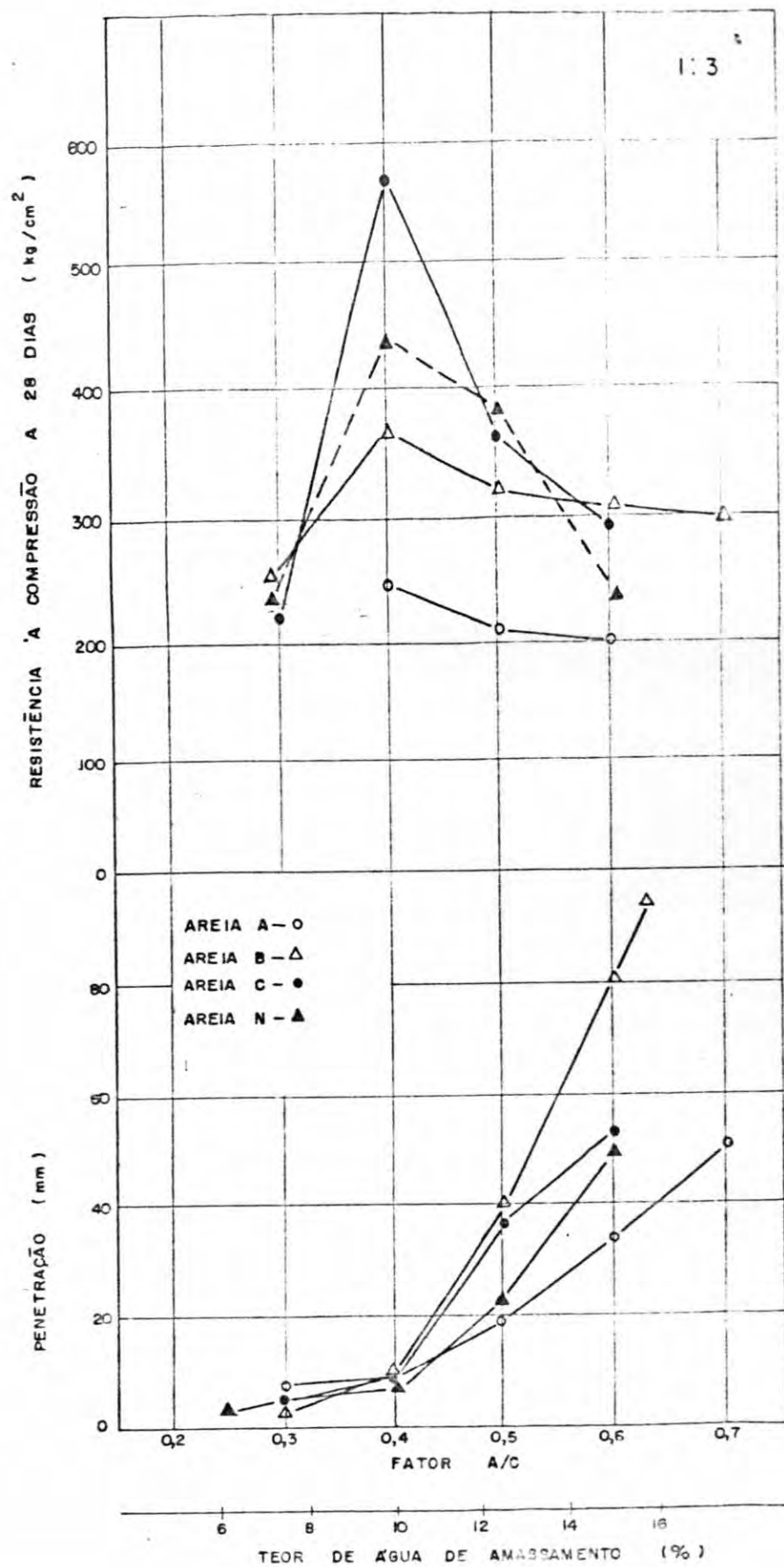


Fig. 27 - Influência da granulometria da areia e do teor de água de amassamento na resistência à compressão das argamassas (Rel. cimento/areia 1:3).

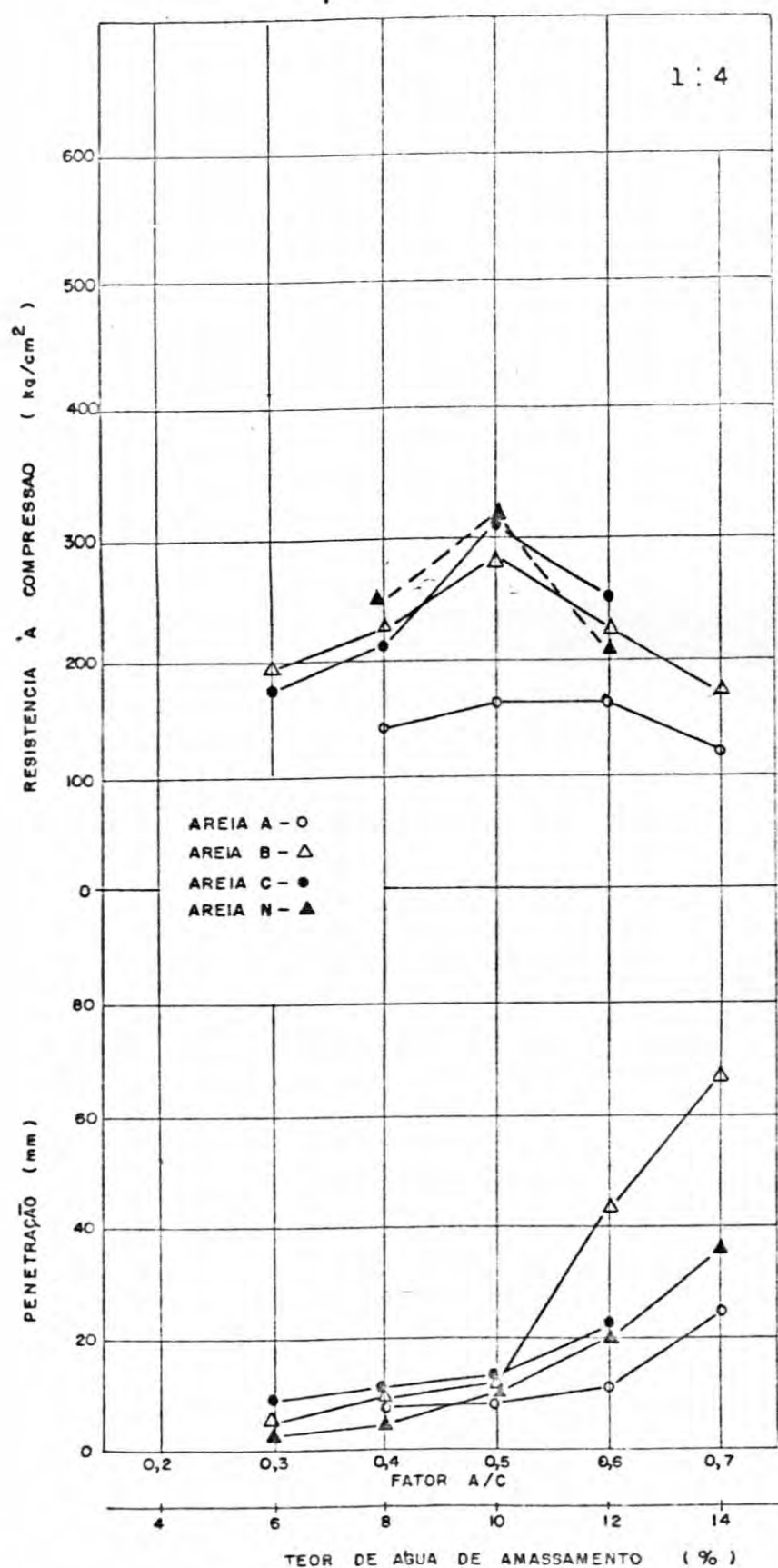


Fig. 29 - Influência da granulometria da areia e do teor de água de amassamento na resistência à compressão das argamassas (rel. cimento/areia 1:4).

1.2.7 - Quadro demonstrativo da influência da granulometria da areia e do fator água/cimento nas resistências à tração e à compressão de argamassas de mesma consistência. Os resultados destes ensaios, estão apresentados nas tabelas 6 e 7, e, postos em gráfico na Fig. 29.

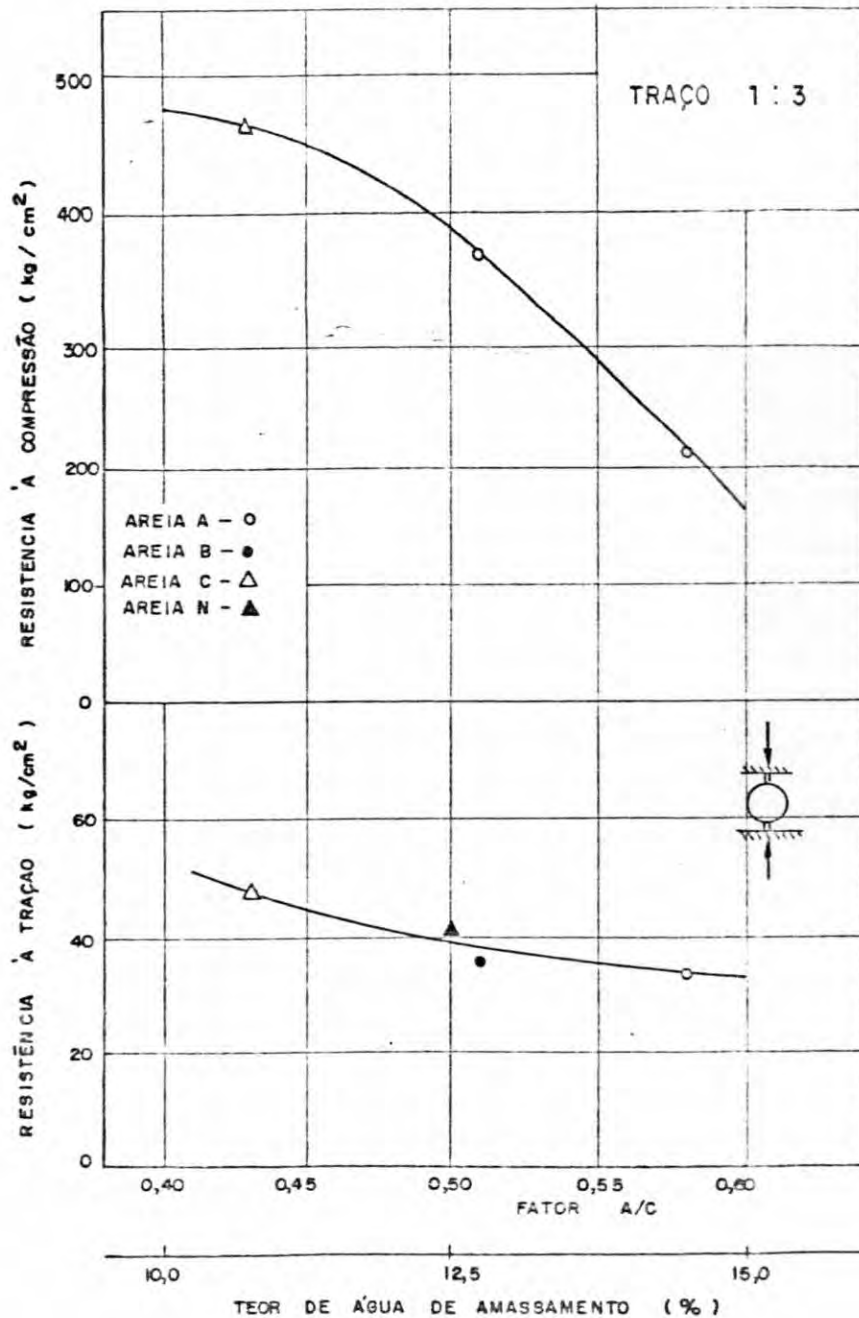


Fig. 29 - Influência da granulometria da areia e do fator a/c nas resistências à compressão e à tração de argamassas de mesma consistência.

Areias	Fator A/C	Água de amassamento (%)	Resistência à Compressão		
			Média (kg/cm ²)	Desvio padrão (kg/cm ²)	Coef. de variação (%)
A	0,58	14,5	215	16,8	7,8
B	0,51	12,8	370	23,9	6,4
C	0,43	13,3	466	41,0	8,7
N	0,50	12,5	387	36,6	9,4

TABELA 6 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão de argamassas de mesma consistência.

Areias	Fator A/C	Água de amassamento (%)	Resistência à Compressão		
			Média (kg/cm ²)	Desvio padrão (kg/cm ²)	Coef. de variação (%)
A	0,58	14,5	34	2,2	6,5
B	0,51	12,8	36	3,3	9,2
C	0,43	13,3	48	7,1	14,7
N	0,50	12,5	41	5,7	13,9

TABELA 7 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão diametral de argamassas de mesma consistência.

1.2.8 - Considerações relativas aos ensaios do Prof. Hernani Savio Sobral:

- a) Devemos, de início, ressaltar a grande variação na granulometria das areias utilizadas (Tab. 1, Fig. 21)
- b) Observar que o teor de água de amassamento 10%, leva às maiores resistências à compressão (Tab. 2 a 5), e que, até os 10%, o teor de água exerce influência bem menor na consistência da argamassa, medida pela penetração do cone. Convém, ainda, salientar que os corpos de prova utilizados foram adensados conforme o ensaio de cimento MR-1.
- c) Outras observações são as seguintes: a resistência cresce com a relação cimento/areia; a relação cimento/areia, pouco influe na consistência; a areia tipo "A", muito fina, apresenta variações menos definidas; é acentuada a influência da granulometria das areias, na resistência à compressão das argamassas, para um dado teor de água de amassamento; somente se observa grande variação na consistência das argamassas, quando o teor de água de amassamento se eleva a mais de 10%.
- d) Na resistência à tração, a finura da areia exerce menor influência do que na resistência à compressão.

1.3 - Tendo em vista que os corpos de prova do Professor Hernani Savio Sobral tinham em comum apenas a forma geométrica e o método de adensamento, fez-se variar estes parâmetros para observar até que ponto poderiam generalizar-se os resultados obtidos.

1.3.1 - Forma geométrica e método de adensamento dos corpos de prova.

Foram moldados corpos de prova cilíndricos, para efeito de comparação de resultados, e corpos de prova de seção H, conforme a Fig. 30.

Utilizarão-se 3 métodos diferentes para adensamento dos corpos de prova:

- Socados
- Vibrados
- Socados e vibrados simultaneamente.

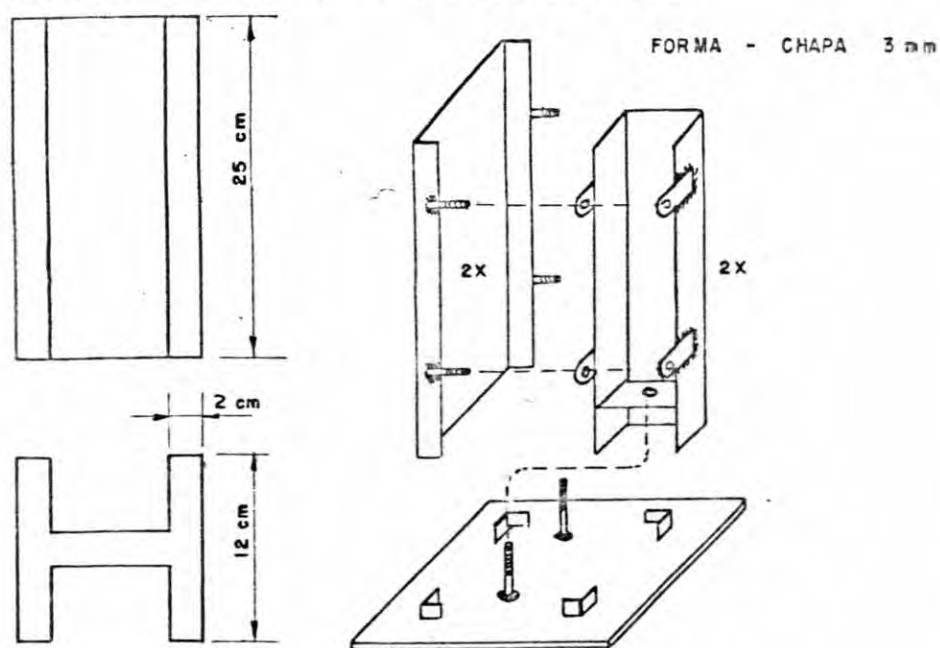


FIG.30 - CORPOS DE PROVA DE SEÇÃO H

1.3.2 - Característica da areia utilizada:

- Módulo da finura - 2,61
- Peso específico - 2,63
- Peso unitário - 1,42
- Granulometria:

Abertura das peneiras (mm)	Resíduos acumulados
4,8	0,26
2,4	2,06
1,2	8,94
0,6	57,98
0,3	92,64
0,15	99,45

TABELA 8 - Granulometria da areia utilizada

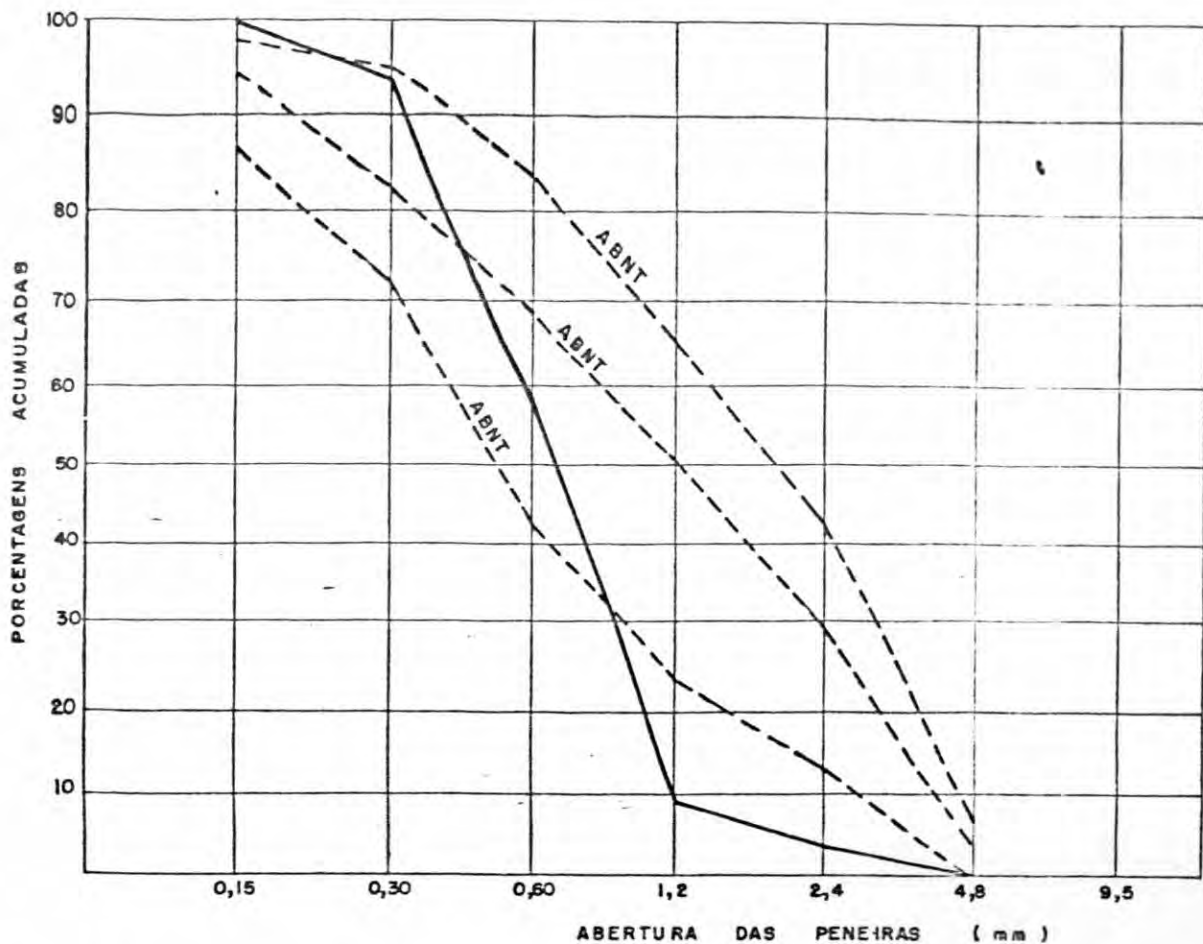


FIG. 31 - CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA UTILIZADA

1.3.3 - Preparação e cura dos corpos de prova

Para cada moldagem foi preparada uma quantidade de argamassa suficiente para um corpo de prova de seção "H" e dois corpos de prova cilíndricos. A argamassa foi amassada mecanicamente, durante 3 minutos, em batadeira EMIC.

Os corpos de prova cilíndricos foram adensados com o soquete normal, conforme o MB-1.

Os corpos de prova "H" foram adensados com vibração produzida por um vibrador de imersão, acoplado à base das formas.

Não há dúvidas de que o sistema assim montado, produziu enérgica vibração.

Além destes, foi preparada uma série de corpos de prova "H", que foi simultaneamente vibrada e compactada com golpes de um soquete de extremidade plana com 1,3cm de diâmetro.

Em todos os casos a cura foi feita por imersão total em água.

1.3.4 - Os corpos de prova foram rompidos em uma prensa AL'SLEP, com mobilidade satisfatória em ambos os pratos.

Para regularização da superfície dos corpos de prova, foi feito um carreamento de pasta de cimento, lixado sobre plataforma horizontal, rígida, antes da aplicação do carreamento.

Em todos os casos fez-se a ruptura aos sete dias de idade.

1.3.5 - Resultados obtidos em compressão com 7 dias de cura.

Característica do corpo de prova	A/C	Teor de água (%)	Penetração do cone (média) (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO		
				Média kg/cm ²	Desvio padrão kg/cm ²	Coeffic. de variação (%)
cilíndricos socados	0,3	7,5	5	93,5	22,9	24,6
	0,4	10,0	7	210,69	20,2	9,6
	0,5	12,5	19,5	177,75	8,1	3,8
	0,6	15,0	39,0	149,42	14,5	9,7
Seção "H" vibrados	0,3	7,5	5	145,67		
	0,4	10,0	7	243,42	37,0	15,2
	0,5	12,5	19,5	150,39	24,7	16,4
	0,6	15,0	39,0	129,48	21,8	16,8
Seção "H" Vibrados e Socados	0,3	7,5	5	289,9	17,7	6,1
	0,4	10,0	7	236,71		

TABELA 2 - Quadro dos resultados obtidos em compressão simples: a medida da penetração representa a média de todos os ensaios com argamassa de mesmo a/c: a variação, sem exceção, foi insignificante.

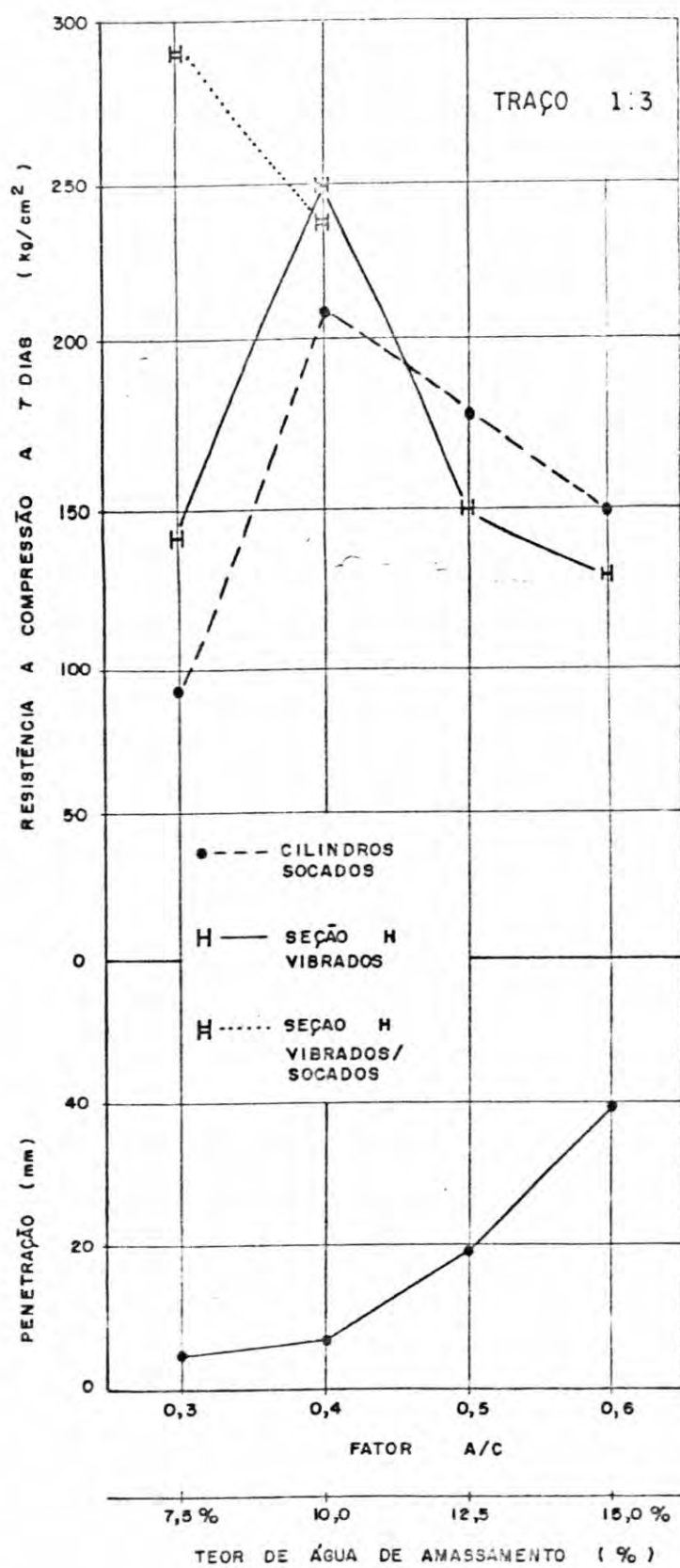


Fig. 32 - Influência da forma geométrica e modo de adensamento na resistência à compressão das argamassas.

1.3.6 - Conclusões:

- a) A forma geométrica do corpo de prova não interferiu nas tendências de variações da resistência.
- b) Mesmo uma vibração relativamente crônica, não foi suficiente para adensar convenientemente a argamassa com teor de água de amassamento inferior a 10%.
- c) O processo de adensamento, para o qual a resistência da argamassa não caiu, para teor de água de amassamento inferior a 10%, é de difícil reprodução em operação prática.
- d) Os resultados obtidos pelo Prof. Hernani Savio Sobral, ficam confirmados para mais um tipo diferente de areia.

2 - ENSAIOS DE COMPRESSÃO EM "FERRO-CEMENTO"

2.1 - Ensaios de Kelly e Mouat

Kelly e Mouat realizaram ensaios em corpos de prova armados com telas de malha hexagonal. Variando de 0 a 12 o número de telas, chegaram à conclusão que a resistência à compressão independe da armação.

2.2 - Ensaios de Antoine Naaman e Carlos Ramos (4)

Estes verificaram que os resultados obtidos por Kelly não podem ser generalizados para qualquer tipo de malha, tendo em vista ensaios realizados com telas de malha quadrada, soldada, galvanizada, com fios de 0,64 mm de diâmetro e 0,4 mm de abertura.

2.2.1 - Os corpos de prova

Foram elaborados corpos de prova prismáticos, com dimensões de 5x7,6 cm e espessura de 1,27 cm. O número de telas variou de 0, 2, 4, 6 e 8. A argamassa utilizada foi composta no traço de 1 : 1,5 com fator a/c = 0,6.

Os corpos de prova foram adensados com prolongada vibração e permaneceram nos moldes durante 24 horas, quando foram desformados e imersos em água até o momento do ensaio.

2.2.2 - Procedimento do ensaio e resultados

As faces externas dos corpos de prova foram retificadas com serra de diamante. A máquina utilizada para ensaio foi uma INSTRON com capacidade máxima de 2000 kn. Foram calculados os valores da energia total absorvida por cada corpo de prova, determinando-se a área sob a curva carga/deformação. Finalmente, estes valores foram expressos como percentagem da energia absorvida pelos corpos de prova sem armação.

Todos os corpos de prova cisalharam quase sempre na

a de duplo cône.

As fissuras, em todos os casos, se iniciaram na zona de contacto com os pratos da prensa.

Os resultados obtidos nestes ensaios estão na tabela das figuras 33 e 34 (A-B).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (kg/cm ²)				
0 malhas	2 malhas	4 malhas	6 malhas	8 malhas
375	329	362	369	410
437	350	336	430	504
—	343	360	420	362
RESISTÊNCIAS MÉDIAS (kg/cm ²)				
411	340	353	406	473
ENERGIA ABSORVIDA EM RELAÇÃO AO CORPO DE PROVA SEM ARMADURA				
100%	81%	88%	108%	139%

ELA 10 - Quadro dos resultados obtidos nos ensaios de compressão.

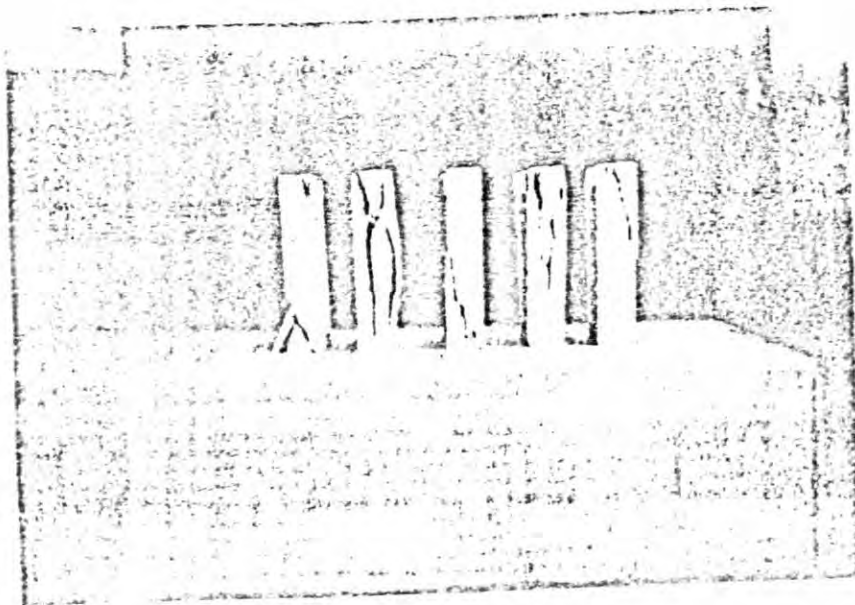


Fig. 33 - Aspecto da ruptura dos corpos de prova comprimidos: da esquerda para a direita, armados com 0, 2, 4, 6 e 8 telas.

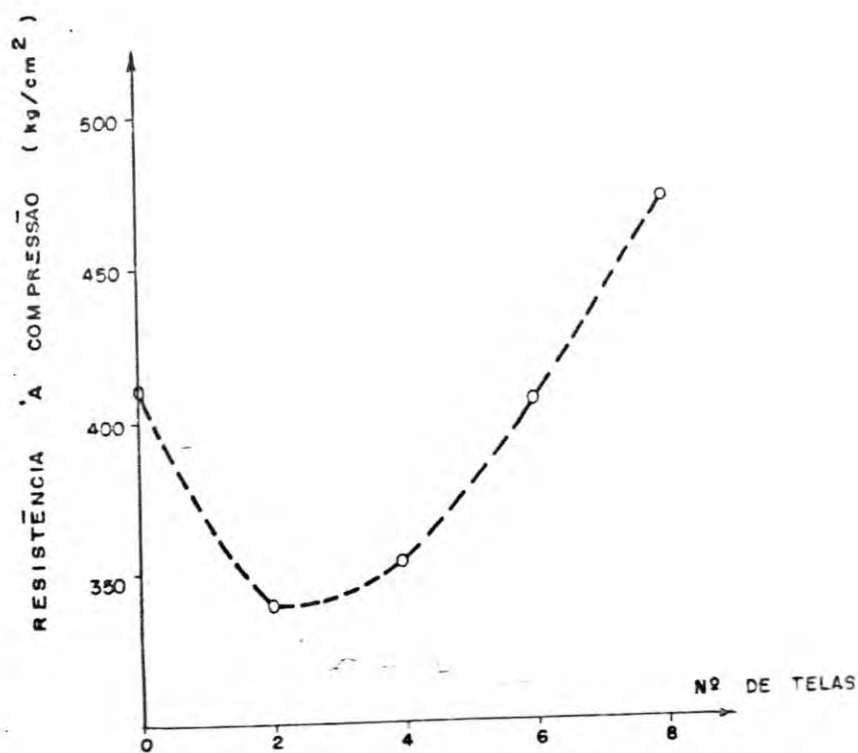


FIG. 34 A - TENDÊNCIAS DAS VARIAÇÕES DE RESISTÊNCIA

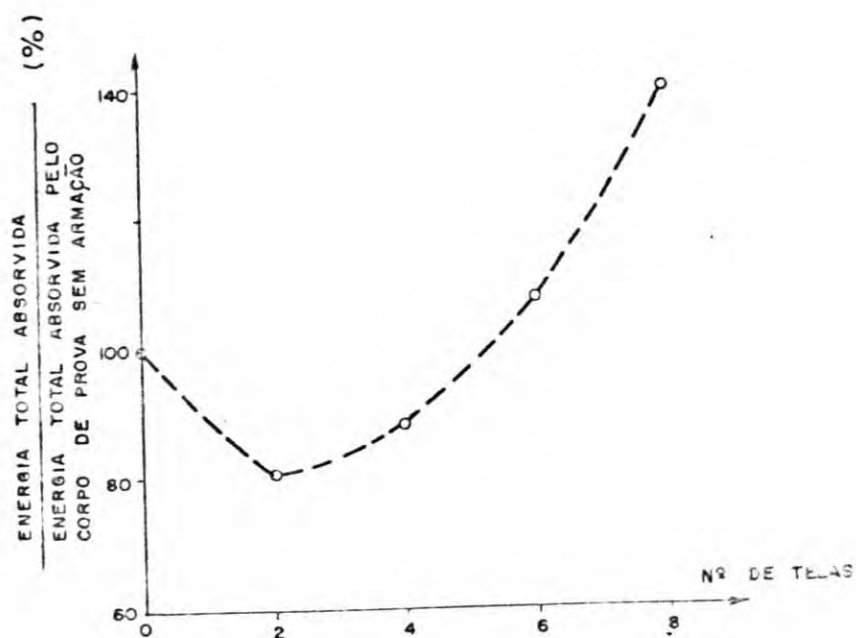


FIG. 34 B - TENDÊNCIAS DAS VARIAÇÕES DE ENERGIA ABSORVIDA

2.2.3 - Conclusões:

Nestes ensaios o comportamento do "ferro cimento" foi milar ao observado em ensaios de materiais plásticos reforça-s com fibra contínua; isto é, a armação, até certo volume, ovocou decrêscimo de resistência em relação ao corpo de prova m armação.

Pode-se portanto, definir um volume crítico de arma-o, abaixo do qual, a resistência do composto é inferior à do terial simples (argamassa sem armação).

3 - ENSAIOS DE COMPRESSÃO, EM ARGAMASSA ARMADA, REALIZADOS NO LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS.

3.1 - Corpos de prova

Foram moldados corpos de prova cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura e, outros com seção transversal "H", conforme Figura 35.

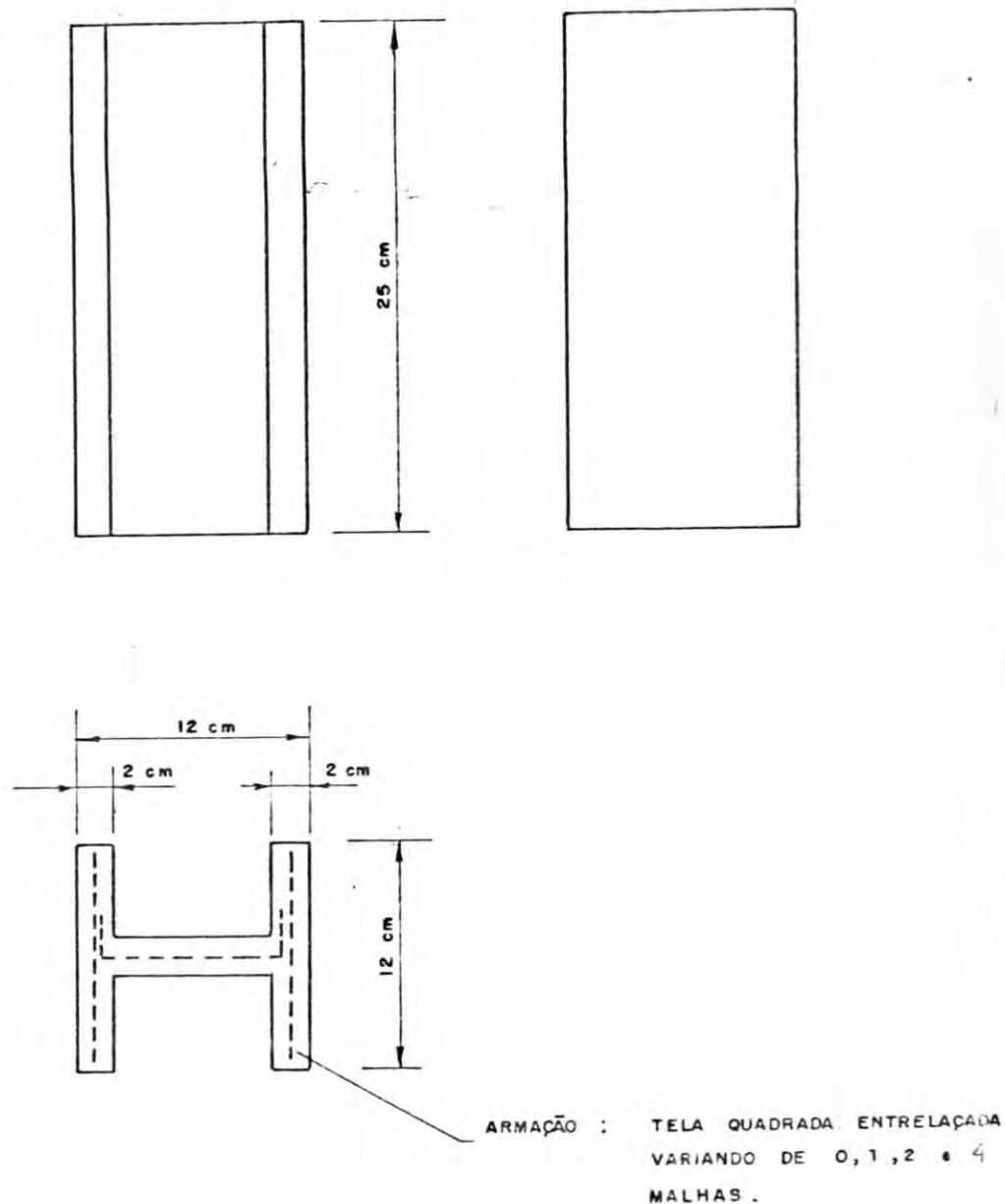


FIG. 35 - CORPOS DE PROVA DE SEÇÃO H, PARA RUPTURA À COMPRESSÃO.

Somente os corpos de prova "H" foram armados, variando de 0, 1, 2 e 4 o número de telas. As telas utilizadas foram de fios entrelaçados com 1,2 mm de diâmetro, espaçados de 12cm. A argamassa utilizada foi composta no traço 1 : 2, em peso, com $a/c = 0,45$.

O processo de adensamento foi por vibração e o de cura, por inersão total até o momento da ruptura.

3.2 - Procedimento do ensaio e resultados.

Os corpos de prova foram capeados com pasta de cimento nas extremidades que, depois de lixadas, apresentaram regularidade absolutamente satisfatória. A ruptura foi processada numa máquina AMSLER com excelente mobilidade em ambos os pratos. As deformações totais foram medidas por defletômetros Mitutoyo, com aproximação de 0,01 mm.

A tabela 11, nos mostra a tensão de ruptura à compressão, de uma série de corpos de prova de seção "H", correspondente a uma argamassa, cujos corpos de prova cilíndricos romperam a uma média de 610 kg/cm^2 .

Nas tabelas 12, 13, 14 (a, b, c, d) são apresentados os resultados obtidos nas demais séries de ensaios à compressão. Nestas séries, além da tensão de ruptura, foram medidos os encurtamentos totais do corpo de prova, em dois pontos diametralmente opostos e, calculadas as deformações unitárias, para cada estágio de carregamento.

Utilizando a mesma argamassa virada para moldar uma série completa, foram preparados 6 corpos de prova cilíndricos, de geometria já descrita em 3.1, adensados conforme o método de ensaio de cimento MP-1. Três dos seis corpos de prova cilíndricos, foram rompidos por compressão. A média destes resultados, pode ser vista na legenda das tabelas 11 a 14.

Nº de Telas	Taxa de armacão na direção do carregamento (%)	Pesistência (kg/cm^2)
0	0	500,00
1	0,47	475,50
2	0,94	504,06
4	1,88	504,68

TABELA 11 - Primeira série ensaiada, simples ruptura. A tensão de ruptura dos corpos de prova cilíndricos foi: 610 kg/cm^2 .

a) SEM ARMAÇÃO

CARGA (t)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
5	0,26		0,25		78,12	
10	0,39	0,13	0,39	0,14	156,25	0,00108
15	0,50	0,11	0,51	0,12	234,37	0,00154
20	0,63	0,13	0,65	0,14	312,50	0,00208
25	0,76	0,13	0,78	0,13	390,62	0,00260
30	0,91	0,15	0,94	0,16	468,75	0,00322
*33					515,62	

TABELAS 12 - 2ª Série, medido o encurtamento total do corpo de prova, para cada estágio do carregamento, até a ruptura. A ten são média de ruptura dos corpos de prova cilíndrico foi: 595 kg/cm².

b) ARMADO COM UMA TELA (2ª Série)

CARGA (t)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
3	0,14		0,14		48,87	
6	0,24	0,10	0,24	0,10	93,75	0,00076
9	0,32	0,08	0,33	0,09	140,62	0,00110
12	0,40	0,08	0,41	0,08	187,50	0,00142
15	0,47	0,07	0,50	0,09	234,37	0,00174
18	0,55	0,08	0,58	0,08	281,25	0,00206
21	0,63	0,08	0,67	0,09	328,12	0,00240
24	0,71	0,08	0,76	0,09	375,00	0,00274
*27	0,84	0,13	0,94	0,18	421,87	0,00332

* Carga de ruptura

ARMADO COM DUAS TELAS (2ª Série)

GA)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
,9	0,18		0,19		46,87	
	0,27	0,09	0,29	0,10	93,75	0,00070
	0,35	0,08	0,38	0,09	140,62	0,00104
	0,43	0,08	0,46	0,08	187,50	0,00136
	0,50	0,07	0,54	0,08	234,37	0,00166
	0,58	0,08	0,61	0,07	281,25	0,00196
	0,65	0,07	0,68	0,07	328,12	0,00224
	0,83	0,10	0,86	0,10	421,87	0,00296
	0,98	0,15	1,04	0,18	467,18	0,00362

ARMADO COM QUATRO TELAS (2ª Série)

GA)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
,6	0,19		0,24		46,87	
	0,27	0,08	0,33	0,09	93,75	0,00066
	0,34	0,07	0,42	0,09	140,62	0,00098
	0,40	0,06	0,49	0,07	187,50	0,00124
	0,46	0,06	0,55	0,06	234,37	0,00148
	0,51	0,05	0,61	0,06	281,25	0,00170
	0,51	0,06	0,67	0,06	328,12	0,00194
	0,63	0,06	0,73	0,06	375,00	0,00218
	0,70	0,07	0,80	0,07	421,87	0,00246
	0,77	0,07	0,87	0,07	468,75	0,00279
	0,93	0,08	1,02	0,08	562,50	0,00336
			1,09	0,07	587,50	0,00364

arga de ruptura

a) SEM ARMACÃO

CARGA (t)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
3	0,15		0,16		46,87	
6	0,24	0,09	0,26	0,10	93,75	0,00074
9	0,31	0,07	0,34	0,08	140,62	0,00104
12	0,38	0,07	0,41	0,07	187,50	0,00132
15	0,45	0,07	0,48	0,07	234,37	0,00160
18	0,52	0,08	0,61	0,07	281,25	0,00186
21	0,60	0,08	0,61	0,07	328,12	0,00216
24	0,67	0,07	0,69	0,08	421,87	0,00274
30	0,83	0,08	0,82	0,07	468,75	0,00304
33	0,92	0,09	0,91	0,09	515,62	0,00340
*36	1,05	0,13	1,03	0,12	562,50	0,0039

TABELAS 13 - 3ª Série, medido o encurtamento total do corpo de prova, para cada estágio do carregamento, até a ruptura. A tensão média de ruptura dos corpos de prova cilíndricos foi: 646,80

b) ARMADO COM UMA TELA (3ª Série)

CARGA (t)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
3	0,22		0,22		46,87	
6	0,32	0,10	0,30	0,09	93,75	0,00074
9	0,40	0,08	0,37	0,07	140,62	0,00104
12	0,48	0,08	0,44	0,07	187,50	0,00134
15	0,55	0,07	0,51	0,07	234,37	0,00162
18	0,62	0,07	0,57	0,06	281,25	0,00188
21	0,70	0,08	0,63	0,06	328,12	0,00216
24	0,76	0,06	0,70	0,07	375,00	0,00242
27	0,84	0,08	0,77	0,07	421,87	0,00272
30	0,92	0,08	0,84	0,07	468,75	0,00302
*33	1,10	0,09	0,93	0,09	515,62	0,00338

* Carga de ruptura

c) ARMADO COM DUAS TELAS (3ª Série)

CARGA (t)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
3	0,19		0,17		46,87	
6	0,33	0,14	0,30	0,13	93,75	0,00094
9	0,43	0,10	0,40	0,10	140,62	0,00134
12	0,53	0,10	0,48	0,08	187,50	0,00170
15	0,62	0,09	0,56	0,08	234,37	0,00204
18	0,71	0,09	0,64	0,08	281,25	0,00238
21	0,79	0,08	0,72	0,08	328,12	0,00270
24	0,88	0,09	0,80	0,08	375,00	0,00304
27	1,00	0,12	0,89	0,09	421,87	0,00346
*30	1,15	0,15	1,04	0,15	468,75	0,00406

d) ARMADO COM QUATRO TELAS (3ª Série)

CARGA (t)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
3	0,17		0,16		46,87	
6	0,28	0,11	0,27	0,11	93,75	0,00080
9	0,39	0,11	0,35	0,08	140,62	0,00118
12	0,47	0,08	0,42	0,07	187,50	0,00148
15	0,56	0,09	0,50	0,08	234,37	0,00182
18	0,69	0,08	0,56	0,06	281,25	0,00210
21	0,71	0,07	0,62	0,06	328,12	0,00236
24	0,79	0,08	0,69	0,07	375,00	0,00266
27	0,87	0,08	0,76	0,07	421,87	0,00296
30	0,96	0,09	0,84	0,08	468,75	0,00330
*33	1,05	0,09	0,93	0,09	515,62	0,00366

* Carga de ruptura

a) SEM ARMADURA

CARGA (t)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
1	0,05		0,05		15,62	
2	0,10	0,05	0,10	0,05	31,25	0,00036
3	0,14	0,04	0,14	0,04	46,87	0,00052
4	0,18	0,04	0,19	0,05	62,50	0,00070
5	0,22	0,04	0,23	0,04	78,12	0,00086
6	0,25	0,03	0,27	0,04	93,75	0,00100
9	0,35	0,10	0,36	0,09	140,62	0,00138
12	0,44	0,09	0,44	0,08	187,50	0,00172
15	0,53	0,09	0,53	0,09	234,37	0,00209
18	0,62	0,09	0,61	0,08	281,25	0,00238
21	0,71	0,09	0,68	0,07	328,12	0,00270
24	0,92	0,10	0,85	0,07	375,00	0,00304
27	1,05	0,13	0,95	0,10	421,87	0,0035
*28					437,50	

TABELAS 14 - 4ª Série, medido o encurtamento total do corpo de prova, para cada estágio do carregamento, até a ruptura. A tensão média de ruptura dos corpos de prova cilíndricos foi: 474 kg/cm².

b) ARMADO COM UMA TELA (4ª Série)

CARGA (t)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
1	0,09		0,09		15,62	
2	0,13	0,04	0,13	0,04	31,25	0,00032
3	0,16	0,03	0,16	0,03	46,87	0,00044
4	0,20	0,04	0,20	0,04	62,50	0,00060
5	0,24	0,04	0,23	0,03	78,12	0,00074
6	0,27	0,03	0,27	0,04	93,75	0,00088
9	0,37	0,10	0,35	0,08	140,62	0,00124
12	0,46	0,09	0,44	0,09	187,50	0,00160
15	0,55	0,09	0,52	0,09	234,37	0,00194
18	0,64	0,09	0,59	0,07	281,25	0,00226
21	0,71	0,07	0,67	0,08	328,12	0,00256
24	0,80	0,09	0,74	0,07	375,00	0,00288
27	0,90	0,10	0,84	0,10	421,87	0,00328
*30	1,00	0,10	0,94	0,10	468,75	0,00368

* Carga de ruptura

c) ARMADO COM DUAS TELAS (4ª Série)

CARGA (t)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)		
1	0,04		0,04		15,62	
2	0,08	0,04	0,07	0,03	31,25	0,00030
3	0,11	0,03	0,10	0,03	46,87	0,00042
4	0,13	0,02	0,12	0,02	62,50	0,00050
5	0,16	0,03	0,15	0,02	78,12	0,00062
6	0,18	0,02	0,17	0,02	93,75	0,00070
9	0,27	0,09	0,25	0,08	140,62	0,00104
12	0,34	0,07	0,31	0,06	187,50	0,00130
15	0,42	0,08	0,37	0,06	234,37	0,00158
18	0,50	0,08	0,44	0,07	281,25	0,00188
21	0,58	0,08	0,51	0,07	328,12	0,00218
24	0,67	0,09	0,57	0,06	375,00	0,00248
27	0,75	0,08	0,65	0,08	421,87	0,00280
30	0,84	0,09	0,73	0,08	468,75	0,00314
33	0,95	0,11	0,83	0,10	515,62	0,00356
*34,3					535,93	

d) ARMADO COM QUATRO TELAS (4ª Série)

CARGA (t)	ENCURTAMENTO TOTAL				TENSÃO (kg/cm ²)	DEFORMAÇÃO UNITÁRIA
	LEITURA 1		LEITURA 2			
	LEITURA (mm)	DIFER. (mm)	LEITURA (mm)	DIFE. (mm)		
1	0,08		0,08		15,62	
2	0,12	0,04	0,12	0,04	31,25	0,00032
3	0,17	0,05	0,17	0,05	46,87	0,00052
4	0,22	0,05	0,21	0,04	62,50	0,00070
5	0,26	0,04	0,25	0,04	78,12	0,00086
6	0,30	0,04	0,29	0,04	93,75	0,00102
9	0,40	0,10	0,39	0,10	140,62	0,00142
12	0,50	0,10	0,47	0,08	187,50	0,00178
15	0,60	0,10	0,55	0,08	239,37	0,00214
18	0,70	0,10	0,62	0,07	281,25	0,00248
21	0,78	0,08	0,70	0,08	328,12	0,00290
24	0,88	0,10	0,78	0,08	375,00	0,00316
27	0,98	0,10	0,86	0,08	421,87	0,00352
30	1,08	0,10	0,96	0,10	468,75	0,00392
*32,2					503,12	

* Carga de ruptura

3.2.1 - Quadros resumidos dos resultados

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (kg/cm^2)				
Cilindro	SEÇÃO H			
	0 malhas	1 malha	2 malhas	4 malhas
610	500	476	564	504
595	515	422	467	527
647	562	515	468	515
474	437	468	535	503
RESISTÊNCIA MÉDIA (kg/cm^2)				
581,5	503,5	470,0	508,5	527

TABELA 15 - Tensão de Ruptura à Compressão



Fig. 36 - Aspecto da ruptura nos corpos de prova comprimidos. Da esquerda para a direita, armados com 0, 1, 2 e 4 telas.

	Taxa de armação na direção do esforço %	Resistência (menor percentual) encontrado %
A. NAAMAN	0	100,00
	0,78	80,09
	1,56	76,88
	2,34	98,39
C. RAMOS	3,12	115,33
NESTE TRABALHO	0	100,00
	0,47	81,94
	0,94	90,67
	1,88	113,98

TABELA 16 - Comparação com resultados obtidos por Naaman e Ramos

Cilindro	CORPO DE PROVA DE SEÇÃO H	
	Variação %	Relação das medidas %
100%	82	86
	86	
	87	
	92	

TABELA 17 - Relação entre a resistência do cilindro de 5 cm de base por 10 cm de altura, com o corpo de prova "H" sem armação.

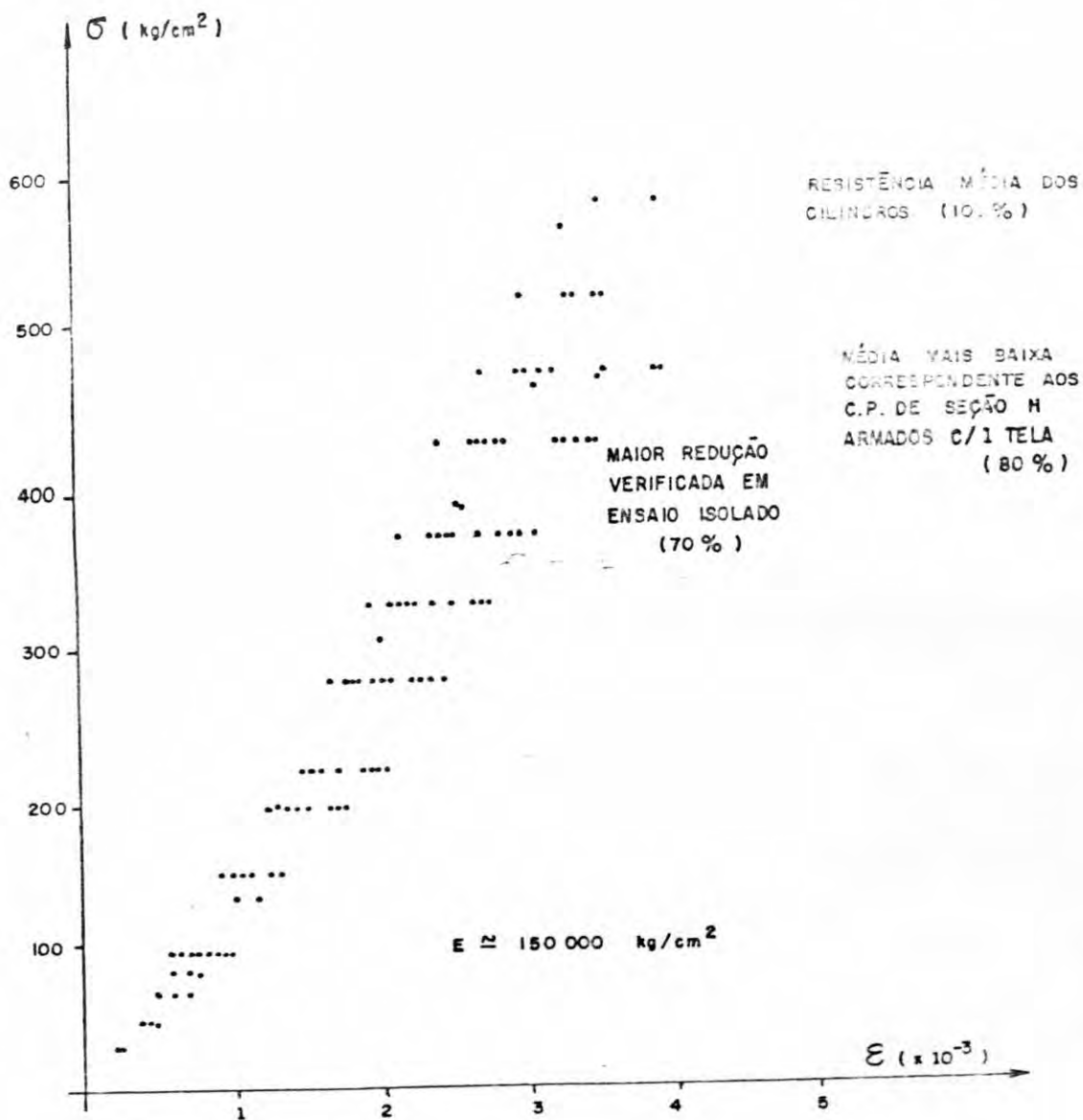


Fig. 37 - Gráfico tensão-deformação correspondente ao ensaio de compressão simples nos corpos de prova de seção "H", com taxa de armação variando de 0 a 1,89%.

3.3 - Valores do módulo de elasticidade à compressão, citados em alguns trabalhos sobre ferro-cimento: (5)

BEZUDLADOV	- 200000 kg/cm^2
WALKUS	- 210000 kg/cm^2
NESTE TRABALHO	- 150000 kg/cm^2

3.4 - Conclusões

Analisando-se os resultados das tabelas apresentadas, observamos que a resistência à compressão da argamassa, medida em corpos de prova com seção em forma de "H", não armado, ficou em torno de 85% da resistência dos corpos de prova cilíndricos.

Comparando-se a resistência à compressão, de corpos de prova de seção "H", com armadura e sem armadura, verifica-se que, somente com armadura acima de um certo limite é que se observa aumentos dessa resistência. Desse modo, os nossos resultados confirmaram as observações de Naaman, devendo-se observar contudo, que não ficou claro, em função de qual parâmetro ocorre essa variação. Em termos de números, Naaman chegou a encontrar resistências de corpos de prova armados, reduzida de até 23% em relação a corpos de prova não armados.

Neste trabalho, a maior redução encontrada foi de 18%. Utilizando então os dados dos nossos ensaios, verificamos que a menor relação entre as resistências de corpos de prova cilíndricos e de corpos de prova de seção "H", armados, ficou em torno de 0,7.

Relativamente ao módulo de elasticidade, a variação do número de telas, não implicou em variações significativas desse parâmetro.

4 - ENSAIOS DE TRACÃO EM ARGAMASSA ADUNADA, REALIZADOS NO LABORATÓRIO DE MADEIRAS E DE ESTRUTURAS DE MADEIRA DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS.

4.1 - Corpos de Prova

Foram moldados corpos de prova cilíndricos, descritos no MP-1, para ensaio à tração, por compressão diatretal, e, corpos de prova de seção transversal retangular, como mostra a figura 38.

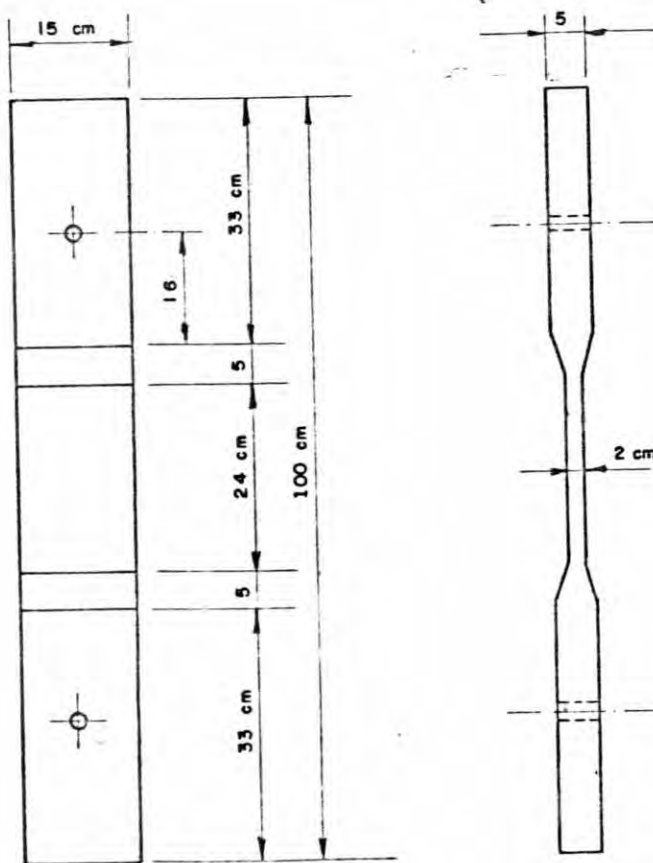


Fig. 38 -

Corpos de prova de seção retangular para ensaios de tração.

Exceto os cilíndricos, os corpos de prova foram armados com 0, 1, 2 e 4 malhas de fios entrelaçados.

As telas, a argamassa e os processos para adensamento e cura, foram os mesmos do ensaio de compressão.

4.2 - Procedimento dos Ensaios

Ao contrário dos corpos de prova rompidos à compressão, para a ruptura por tração, as dificuldades que se apresentaram nos ensaios foram excessivas. Os mínimos detalhes no equipamento de ensaio precisaram ser observados, várias montagens

diferentes foram experimentadas e, ainda assim, os resultados finais apresentaram grande dispersão.

Não há dúvida que vale a pena descrever, com muitos detalhes, todo o processamento utilizado, inclusive como orientação para ensaios semelhantes, no futuro.

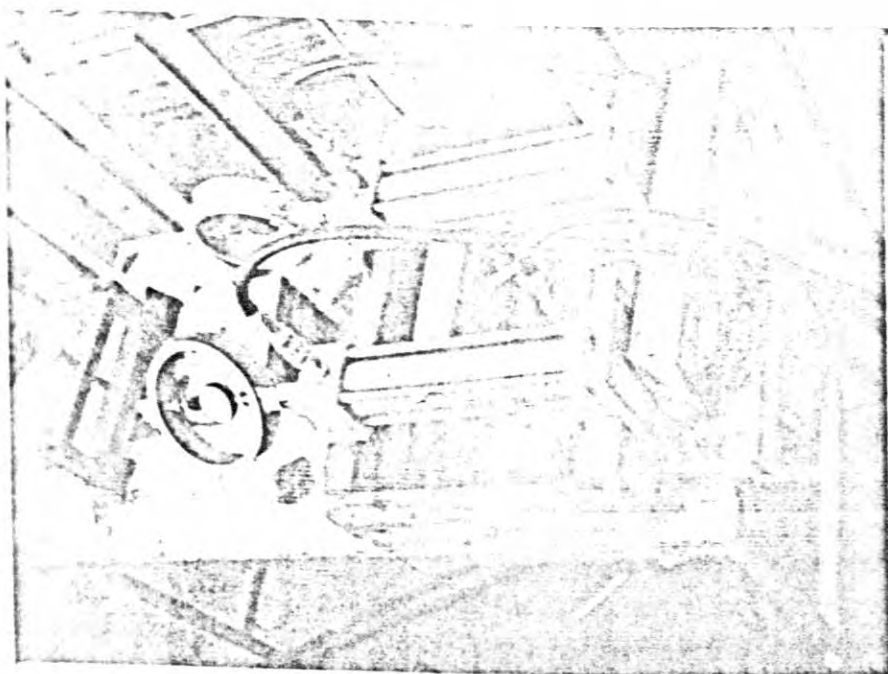


Fig. 39 - A máquina de ensaio.

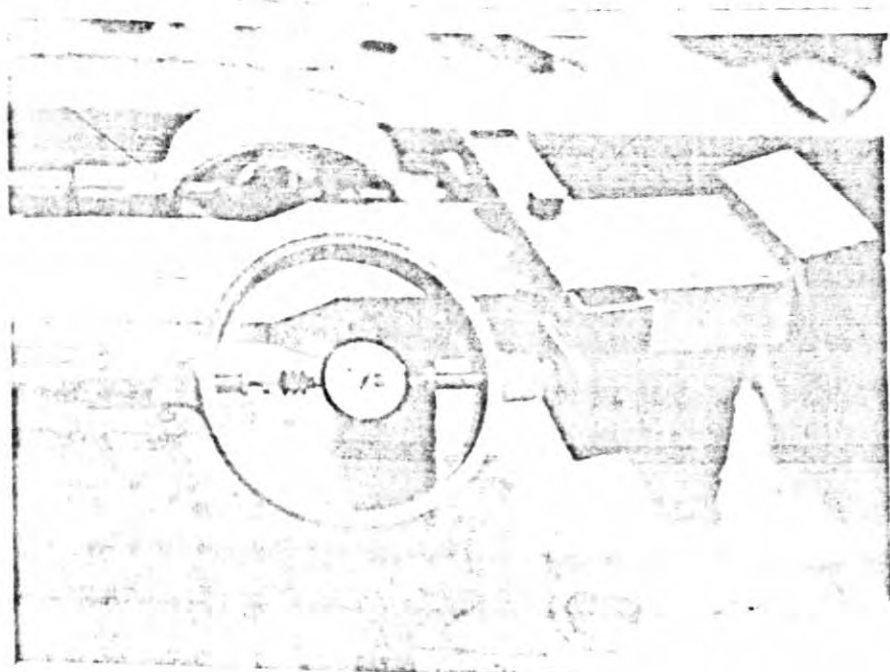


Fig. 40 - Vinculação na extremidade anterior do corpo de prova e medida do carregamento através da deformação em anéis, com precisão de aproximadamente 1,82 kg.

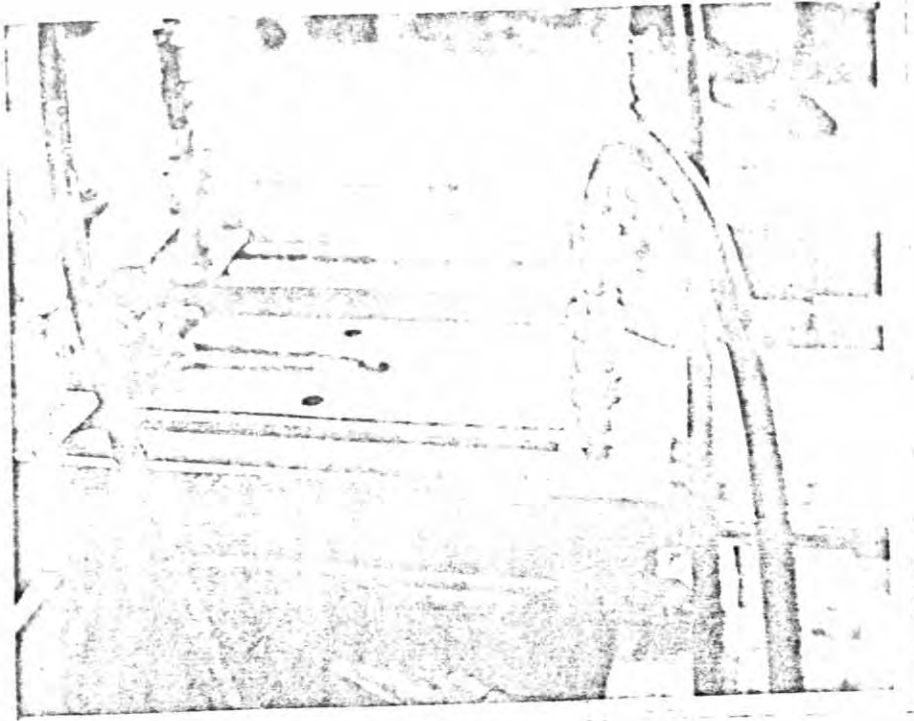


Fig. 41 - Vinculação na extremidade posterior do corpo de prova.

Na extremidade anterior, o corpo de prova foi fixado por um pino, em uma trave, cuja centragem foi obtida distribuindo-se finíssimas folhas metálicas, prensadas entre a trave e a face do corpo de prova, em igual número, na face superior e inferior.

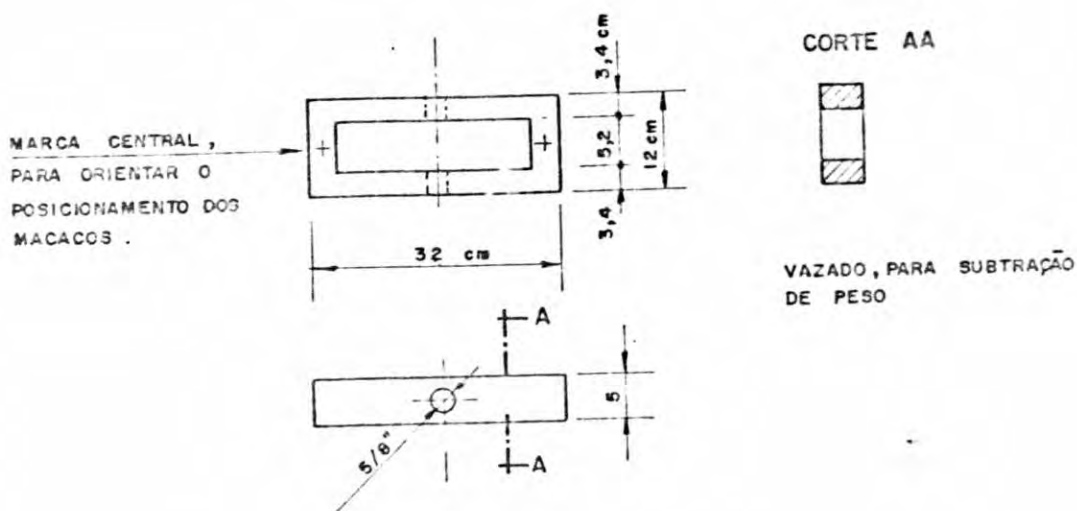


FIG. 42 - DIMENSÕES DA TRAVE

Observar, na Fig. 40 a trave, e nos lados da vertical, passa pelo pino de fixação, as folhas metálicas para centrar, prensadas entre a trave e a face do corpo de prova.

Na extremidade posterior, o corpo de prova foi amarrado com um cabo de aço, a uma peça de madeira, que também serviu base para a reação dos macacos (Fig. 39 e Fig. 41).

Os macacos foram simplesmente assentes em armação de madeira, centrados ao corpo de prova, com calcos que poderiam ser fina folha metálica ou de papel, conforme as necessidades. Isso pode ser observado no apoio anterior do macaco da esquerda, na Fig. 39.

Para servir de berço ao pino foi deixado, na ocasião moldagem, um segmento de eletroduto rígido, posicionado e perfurado à base da fôrma.

Para absorver as cargas gravitacionais, foram distribuídos, ao longo do comprimento do corpo de prova, prismas de madeira, que podem ser vistos na Fig. 40 e Fig. 41.

4.3 - Considerações relativas ao ensaio e ao equipamento

- 4.3.1 - Uma grande melhora no equipamento, poderia ser conseguida fazendo tanto o vínculo anterior como o posterior em trave, substituindo, entretanto, a fixação do corpo de prova, como se ilustra em 1, 2, 3, da Fig. 43.

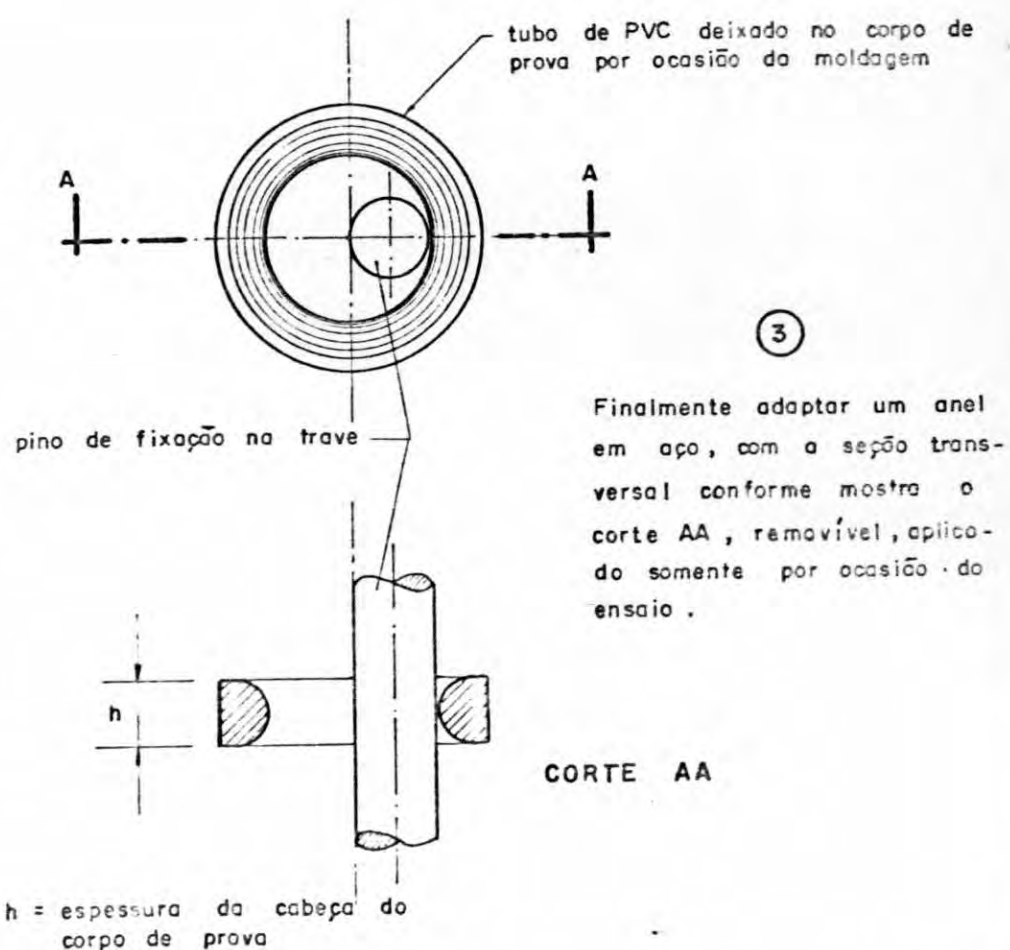
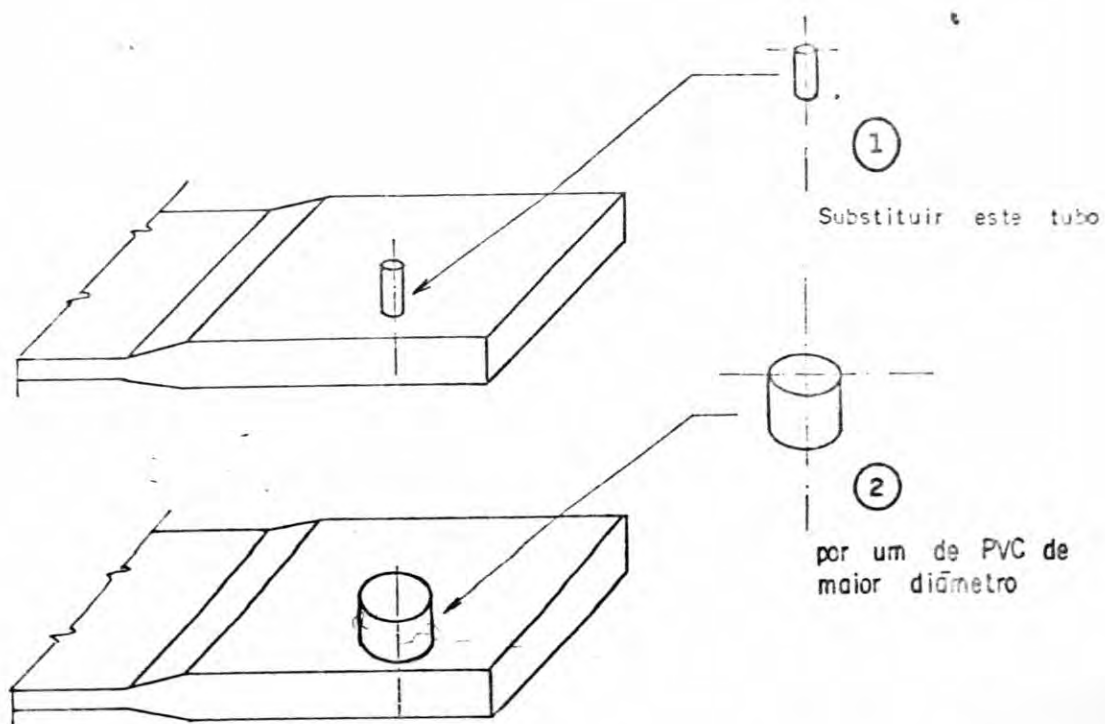


FIGURA 43 - SUGESTÃO PARA MELHORAR O CORPO DE PROVA E O EQUIPAMENTO DE ENSAIO

4.3.2 - Deve haver uma preocupação exagerada com o acabamento de todas as faces, com a manutenção dos ângulos retos da fôrma, e com a contracção de todas as peças, sejam pinos, tubos, travos, etc.

4.4 - Quadro dos Resultados

Ensaio realizado por BEZUKLADOV (6), por NAA'AN e AMOS (4), demonstraram que a superfície específica de armacção é um parâmetro fundamental no estudo da tração em "ferro-cimento", e conseqüentemente da argamassa armada.

Define-se como superfície específica de armacção, a área de fios em contacto com a argamassa, por unidade de volume do material.

Pode-se considerar a superfície específica, propriamente dita, ou somente na direcção do carregamento.

$$S_e = \frac{\pi \phi}{a t} \cdot n \quad \text{onde: } S_e = \text{superfície específica na direcção do carregamento}$$

ϕ = diâmetro dos fios

a = abertura da malha quadrada

t = espessura da peça em argamassa

n = número de telas de armacção

Para se ter a superfície específica propriamente dita, duplicar o valor de S_e .

Bazukladov define a superfície específica como 90% do valor da superfície específica propriamente dita (5).

Shah, (5) sugere que se trate como superfície específica, somente a correspondente à direcção do carregamento (S_e).

A Tabela 20 resume os resultados obtidos nos ensaios por nós realizados.

CILINDRO		CORPOS DE PROVA DE SEÇÃO RETANGULAR							
Comp. Tração kg/cm ² kg/cm ²		Sem Armação	1 malha $S_e = 0,157$		2 malhas $S_e = 0,314$		4 malhas $S_e = 0,628$		
		σ kg/cm ²	σ_{tpf} kg/cm ²	S_{rm} cm	σ_{tpm} kg/cm ²	S_{rm} cm	σ_{tnf} kg/cm ²	S_{rm} cm	
610	40,0	32,0	—	—	29,0	2,80	60,5	1,35	
595	30,0	26,0	41,0	—	36,0	2,65	48,0	1,40	
647	39,0	40,0	30,0	—	33,0	2,80	53,0	1,43	
474	42,0	43,0	42,0	—	39,0	2,70	45,0	1,37	

TABELA 20 - Resultados obtidos em tração, onde:

- a) a tensão de tração no cilindro foi obtida por compressão diametral;
- b) σ_{tpf} - significa tensão para qual ocorreu a primeira fissura visível;
- c) S_{rm} - espaçamento médio entre fissuras;
- d) S_e - significa superfície específica na direção do carregamento;
- e) a carga de ruptura, em todos os casos, se deu com o limite de resistência das armaduras.

4.5 - Análise dos Resultados

O número reduzido de ensaios, em relação à grande dispersão, permite que seja feita uma análise apenas qualitativa, a saber:

4.5.1 - Carga para a qual ocorreu a primeira fissura

Somente nos corpos de prova armados com 4 telas, isto é, com superfície específica igual a 0,628, é que se observou influência da armação na carga de ocorrência da primeira fissura visível.

Por outro lado, houve casos em que a presença da armação provocou uma pequena redução no carregamento, por ocasião da primeira fissura, isto pode ser explicado considerando que,

invariavelmente, a primeira fissura ocorreu em uma sã face do corpo de prova, e justamente, na face mais afastada da armação. Vale pois, como recomendação, a necessidade de distribuir uniformemente as telas, ao longo da espessura das peças. Não há dúvida que a irregular distribuição de tensões, provocada pela irregular distribuição das telas de armação, pode provocar uma fissuração prematura.

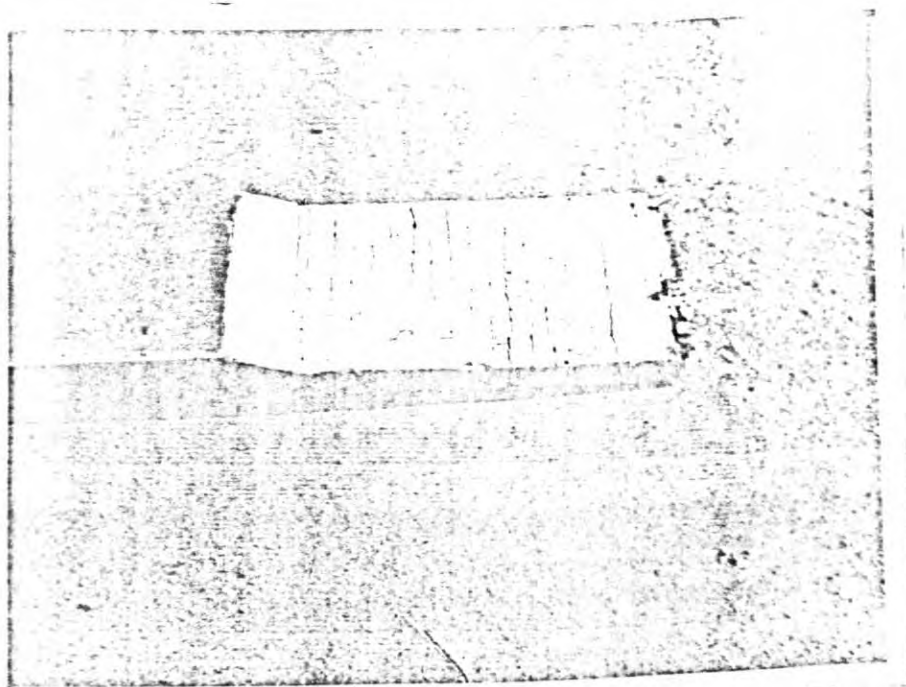


Fig. 44 - Painel de fissuração na face mais próxima das telas.

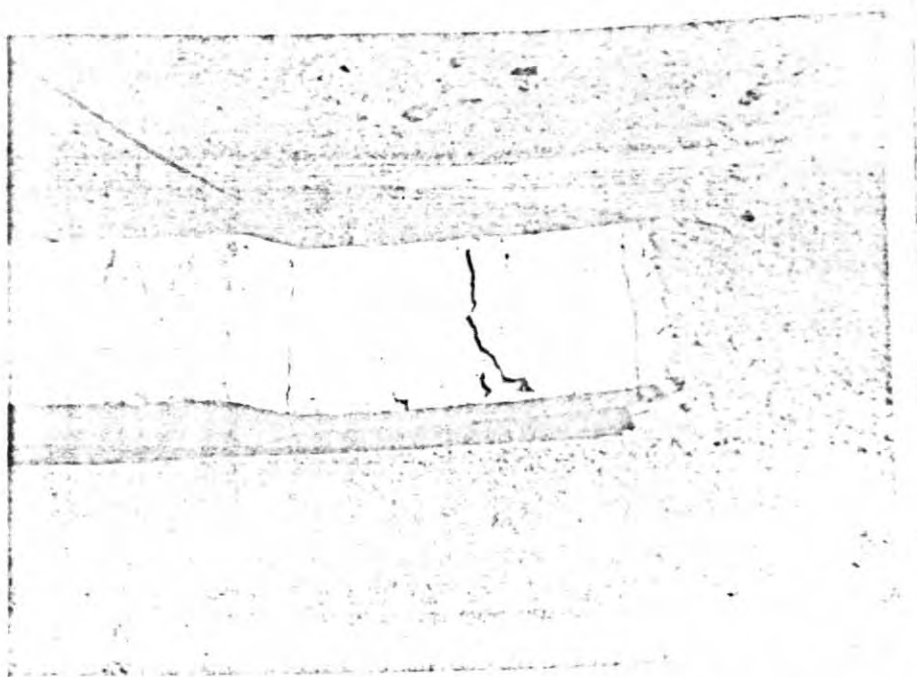


Fig. 45 - Painel de fissuração do mesmo corpo de prova da Fig. 44, na face onde as telas ficaram mais afastadas.

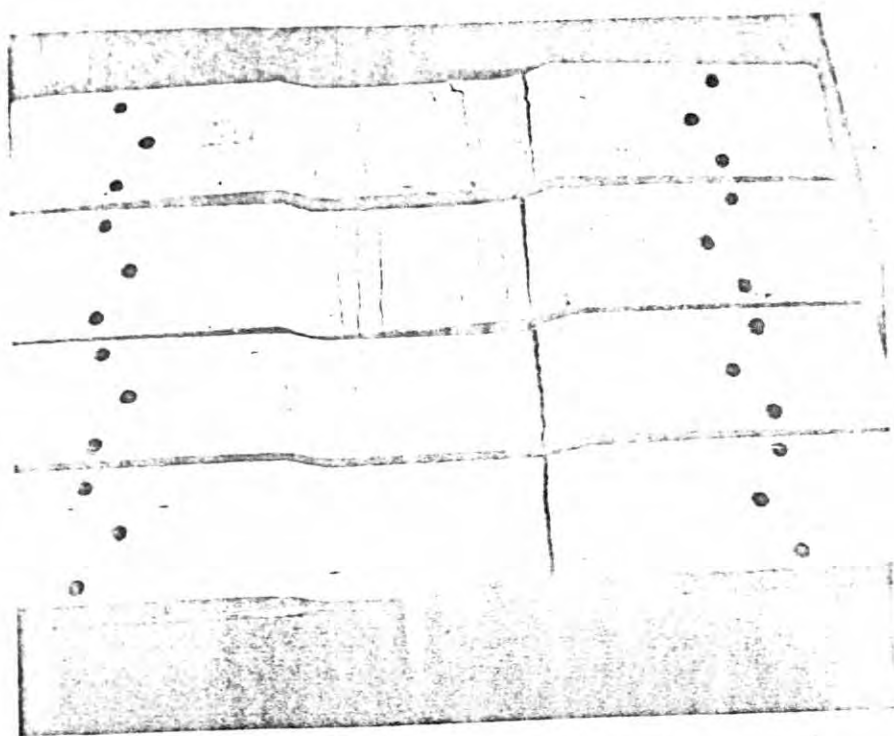


Fig. 46 - Aspecto da ruptura em uma série completa.

4.6 - Estudo do aparecimento e desenvolvimento de fissuras.

Supondo inicialmente que:

$$T_{tp} = T_{argamassa} + T_{armação}$$

onde:

T_{tp} = carga no material composto

tem-se:

$$T_{tp} = \sigma_s A_s + \sigma_c A_c$$

onde:

σ_s = tensão na armadura

A_s = seção de armação na direção do carregamento

σ_c = tensão na argamassa

A_c = seção de argamassa

Fazendo:

$$A_c = A_{tp} - A_s$$

$$\frac{A_s}{A_c} = \rho$$

$$\sigma_c = f_{tk}, \text{ no momento da fissuração}$$

Onde: A_{tp} = área total do material composto.

Chega-se a:

$$\sigma_{tpf} = f_{tk}(1-\rho) + \sigma_s \rho$$

onde:

σ_{tpf} = Tensão no corpo de prova, no instante da fissuração.

ou,

$$\sigma_{tpf} = \rho(\sigma_s - f_{tk}) + f_{tk}$$

Então, considerando serem iguais as deformações na ma lha e na argamassa, conclui-se que a carga de tração para a qual ocorre a primeira fissura, é uma função linear da taxa de armação.

Essa conclusão, entretanto, é invalidada pela experiência, conforme demonstram os gráficos do tipo da figura 48, apresentados por Naaman.

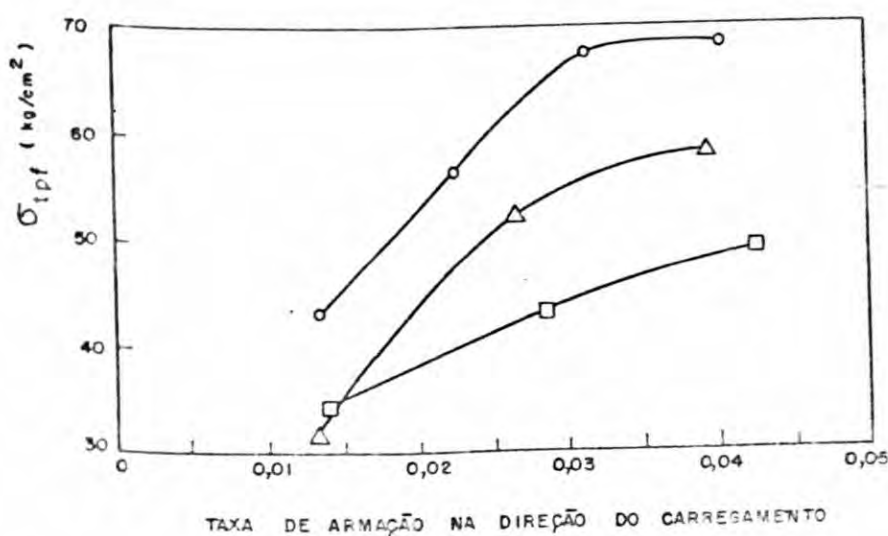


Fig. 48 - Relacionando taxa de armação na direção da carga e tensão no material composto, no instante da abertura da primeira fissura.

Por outro lado, Bezukladov (6), com seus trabalhos, permitiu elaborar-se uma análise bem racional do problema, relacionando tensão para a qual aparece a primeira fissura em peças de "ferro-cimento", com a superfície específica de armação, na direção do carregamento.

Essa relação pode ser observada na figura 49 e tabela 21, onde figuram resultados por nós obtidos, ao lado de resultados conseguidos por outros pesquisadores.

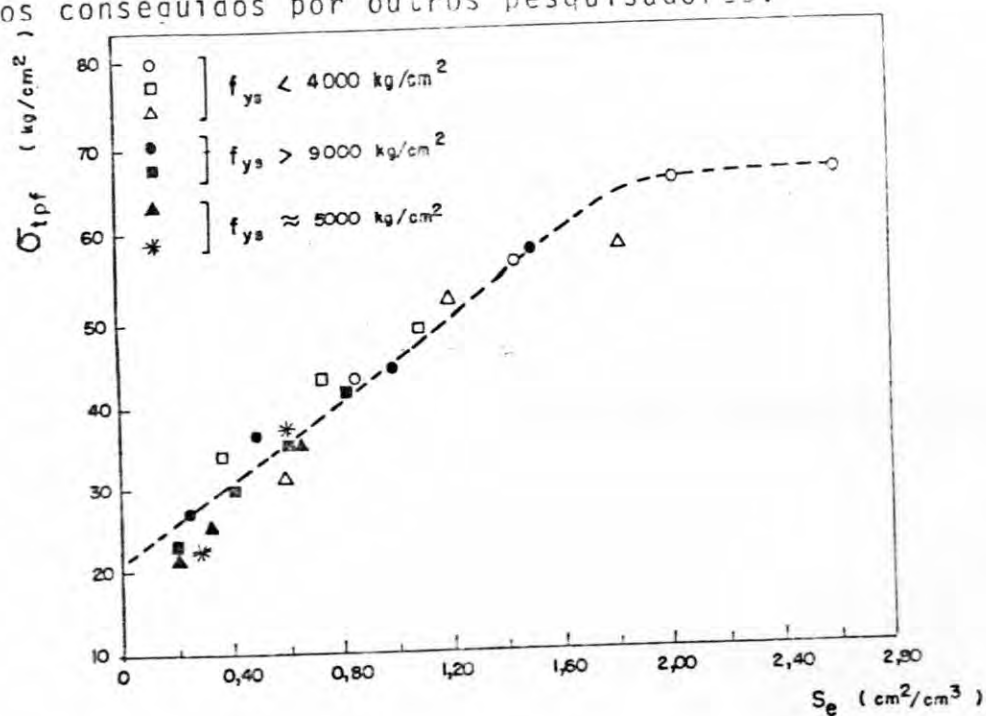


FIG. 49 - RELAÇÃO ENTRE A SUPERFÍCIE ESPECÍFICA DE ARMAÇÃO NA DIREÇÃO DO CARREGAMENTO (S_e), E A CARGA PARA A QUAL OCORREU A PRIMEIRA FISSURA.

Na Figura 49 temos:

Nº	Símbolo	MALHA			
		Abertura cm	Fios ϕ mm	Tipo	f_{ys} kg/cm ²
1	○	0,64 x 0,64	0,64	Entrelaçada	3570
2	□	1,27 x 1,27	1,66	Entrelaçada	3990
3	△	0,42 x 0,42	0,88	Entrelaçada	3570
4	●	0,64 x 0,64	0,64	Entrelaçada	11200
5	■	1,27 x 1,27	1,64	Entrelaçada	9800
6	▲	1,27 x 1,27	1,60	Soldada	5180
7	*	1,20 x 1,20	1,20	Entrelaçada	5300

TABELA 21 - Características das telas usadas nos corpos de prova que deram origem ao gráfico da Fig. 49.

Os resultados de 1 a 6 foram obtidos por Maernan e Rap-
por ruptura em máquina INSTRON, de corpos de prova prismá-
s, sendo a primeira fissura detectada pela mudança brusca
módulo de elasticidade, registrada automaticamente pela má-
a de ensaio.

Para os ensaios de 1 a 3, os corpos de prova foram de
o transversal 2,5cm x 1cm e comprimento 25cm. Para os en-
s de 4 a 6, os corpos de prova foram de seção transversal
m x 1,3cm e comprimento 30cm.

O resultado 7 foi obtido neste trabalho, e a primeira
ura foi detectada por simples observação visual.

4.6.1 - Análise do gráfico da Fig. 49

A equação da reta média é:

$$* \sigma_{tpf} = f_{tk} + 25 S_e, \text{ com } \sigma_{tpf} \text{ e } f_{tk} \text{ em kg/cm}^2 \text{ e } S_e \text{ em } \text{cm}^2/\text{cm}^3$$

A grande variação de telas utilizadas permite admitir
o praticamente conclusivo o valor encontrado para σ_{tpf} : isto
para a tensão no material composto, no momento do aparecimen-
a primeira fissura na armadura, pode-se contar com um a-
cimo, sobre a tensão de tração da armadura simples, da or-
de $25 S_e$.

4.6.2 - Desenvolvimento da fissuração

Há conveniência em iniciar este estudo por uma retros-
ção à abordagem do problema para peças em concreto armado(7),
o segue:

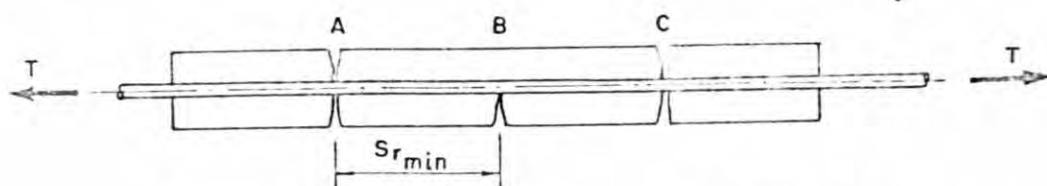


FIGURA 50

m (4) a equação apresentada é a seguinte: $\sigma_{tpf} = f_{tk} + 10 S_e$

Considere-se o tirante em concreto armado, da Figura 50, já fissurado em A e C. Poderá abrir-se uma nova trinca em B, desde que a distância $\bar{A}P$ seja suficiente para a transferência de tensões do aço ao concreto atingir f_{tk} .

Com a condição de equilíbrio:

$$\pi \phi S_{r_{min}} \tau_{bm} = A_c f_{tk}$$

onde:

$$\tau_{bm} = \text{Tensão média de aderência}$$

chega-se a:

$$S_{r_{min}} = \frac{A_c}{\pi \phi} \cdot \frac{f_{tk}}{\tau_{bm}}$$

Naturalmente, a fissura em B só pode ocorrer quando a distância $\bar{A}C$ for superior a $S_{r_{min}}$.

Desse modo, o espaçamento entre fissuras deverá variar entre $S_{r_{min}}$ e $2 S_{r_{min}}$, com espaçamento médio, $S_{r_m} = 1,5 S_{r_{min}}$.

Então:

$$S_{r_m} = 1,5 \frac{A_c}{\pi \phi} \cdot \frac{f_{tk}}{\tau_{bm}}$$

Neste ponto, temos três caminhos a seguir, a saber:

a) Segundo as recomendações do CEB.

Considerando que:

$$\frac{A_c}{\pi \phi} = \frac{1}{4} \frac{\phi}{\rho}$$

onde:

$$\rho = \text{taxa de armação}$$

A expressão de S_{r_m} fica:

$$S_{r_m} = \frac{3}{8} \frac{f_{tk}}{\tau_{bm}} \frac{\phi}{\rho}$$

Admitindo constante a relação $\frac{f_{tk}}{\tau_{bm}}$:

$$S_{r_m} = k \frac{\phi}{\rho}$$

É previsto ainda uma influência do cobrimento no espaçamento entre fissuras:

$$S_{r_m} = 1,5 c + k \frac{\phi}{\rho}$$

c = cobrimento das armaduras

k = fator que leva em consideração o cobrimento da armadura, no espaçamento entre fissuras

0,16 = valor experimental para tirantes

Para tratar o problema em função da superfície específica S_e , observa-se que:

$$\frac{\phi}{\rho} = \frac{4}{S_e}$$

A expressão final para S_{r_m} fica:

$$S_{r_m} = 1,5 c + k \cdot \frac{4}{S_e}$$

$$S_{r_m} = 1,5 c + \frac{0,64}{S_e} \quad (\text{segundo o CEB})$$

b) Abordagem admitida por Naaman e Ramos

Partindo de:

$$S_{r_m} = 1,5 \frac{f_{tk}}{\tau_{bm}} \frac{A_c}{\pi \phi}$$

servando que:

$$\frac{A_c}{\pi \phi} = \frac{1}{S_e}$$

e admitindo:

$$\frac{\tau_{bm}}{f_{tk}} = k_1 = 1,6$$

A expressão de S_{r_m} fica:

$$S_{r_m} = \frac{1,5}{1,6} \cdot \frac{1}{S_e}$$

ou,

$$S_{r_m} = \frac{0,9375}{S_e} \quad (\text{utilizada por Naaman e Ramos em (4)})$$

c) Segundo a NB1/76

Partindo de:

$$S_{r_m} = 1,5 \frac{f_{tk}}{\tau_{bm}} \cdot \frac{A_c}{\pi \phi}$$

utilizando:

$$\frac{f_{tk}}{\tau_{bm}} = \frac{K_o}{0,357 \eta}$$

onde,

$$K_o = 0,4 + 4,5 p$$

η = coeficiente de aderência

Com $\frac{A_c}{\pi \phi} = \frac{1}{S_e}$, a expressão de S_{r_m} fica:

$$S_{r_m} = \left(\frac{1,6}{S_e} + 4,5 \phi \right) \frac{1}{\eta} \quad (\text{segundo a NB1/76})$$

Superfície específica (m ² /cm ³)	ESPAÇAMENTO MÉDIO ENTRE FISSURAS			
	OBSERVADO (cm)	CALCULADOS (cm)		
		Seg.CEB	Seg.Naaman e Ramos	Seg.NB1/76 (*)
0,314	2,8 2,65 2,8 2,7	2,78	2,98	2,78
0,628	1,35 1,40 1,43 1,37	1,47	1,49	1,52

TABELA 22 - Comparação dos resultados obtidos nos nossos ensaios e os calculados segundo a, b, c de 4.6.2).

A NB1 prevê $\eta < 1,8$ para fios ou barras utilizáveis em concreto armado. Para os valores da tabela acima, η foi tomado igual a 2,02, isto porque, havendo uma armadura transversal, solidária à armação longitudinal, fica evidente que os valores superados para as barras simples do concreto armado, não são aplicáveis à argamassa armada.

Não há dúvida de que estes resultados são insuficientes para a eleição de um processo de cálculo que satisfaça o problema da fissuração em peças de argamassa armada, mesmo assim, podem ser feitas algumas observações, tais como:

É possível que fique muito difícil generalizar a análise da fissuração em função de η (NB1/76), pois que cada tipo de tela teria um η específico.

Naaman e Ramos (4), levantam a hipótese de que, nos casos em que o espaçamento teórico entre fissuras for maior que a abertura da malha utilizada, a armação transversal pode exercer grande influência no problema.

Este estudo terá que ficar em aberto, uma vez que para conclusões satisfatórias, seria necessário um trabalho exclusivo.

4.7 - Módulo de elasticidade à tração

Os valores citados em alguns trabalhos são:

BAZUKLADOV - 50000 kg/cm^2
(para uma resistência mínima da argamassa, de 400 kg/cm^2)

SHAH - 42000 kg/cm^2
(antes do aparecimento da primeira fissura)
- 21000 kg/cm^2
(após o aparecimento da primeira fissura)

NAAMAN e RAMOS - Sugerem a aplicação de:

$$E_{c1} = E_A + E_s^* p$$

$$E_{c2} = E_s^* p$$

onde:

E_{c1} = Módulo de elasticidade antes do aparecimento da primeira fissura.

E_{c2} = Módulo de elasticidade da peça fissurada.

E_A = Módulo de elasticidade à tração, da argamassa simples.

E^* = Módulo de elasticidade aparente dos fios na direção do carregamento; não se trata, pois, do módulo de elasticidade do fio isolado, e sim do módulo de elasticidade dos fios na direção do carregamento, na situação natural da malha, que apresenta diferença para o caso das telas entrelaçadas.

p - taxa de armadura na direção do carregamento.

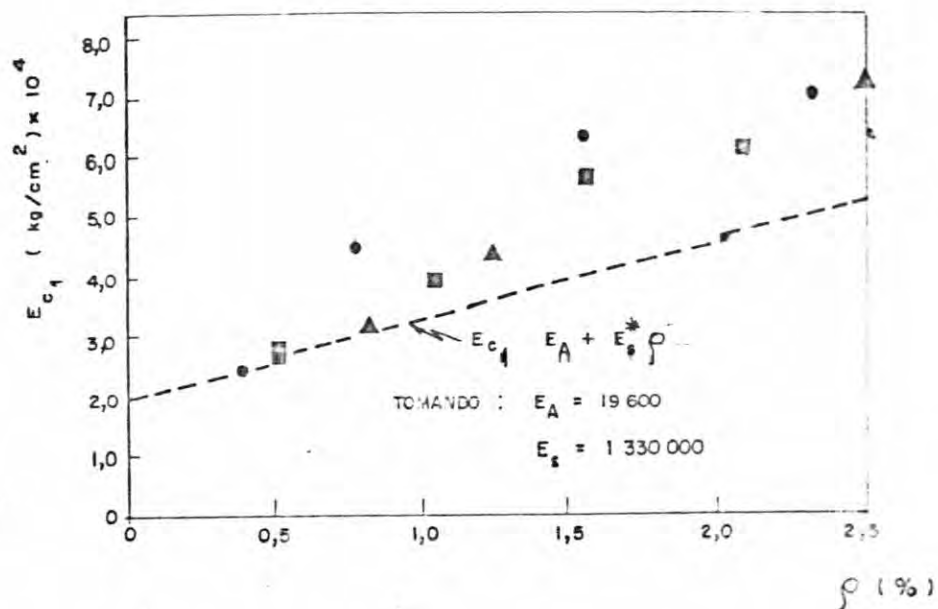


Fig- 51 - Módulo de elasticidade do "ferro-cimento" antes do aparecimento da primeira fissura (4).

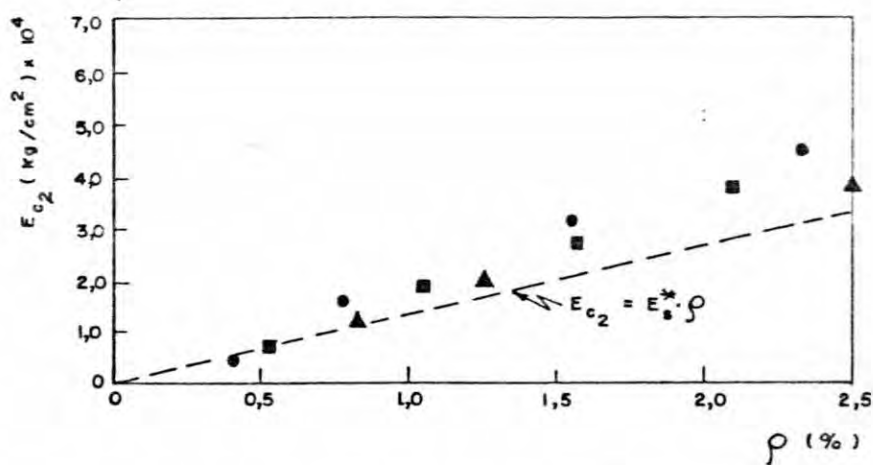


Fig. 52 - Módulo de elasticidade do "ferro-cimento" após o aparecimento da primeira fissura.(4).

Símbolo	Tipo de Tela	Abertura da Malha (mm)	Diâmetro dos Fios (mm)	Nº de Telas
●	Entrelaçada	6,4 x 6,4	0,64	2
■	Entrelaçada	12,7 x 12,7	1,64	2
▲	Soldada	12,7 x 12,7	1,6	2
		25,4 x 25,4	1,6	2
		50,8 x 50,8	1,6	2

TABELA 23 - Referente às Figuras 51 e 52

4.8 - A utilização da malha hexagonal

NAAMAN e RAMOS: "A malha hexagonal, por não se deformar na direção do carregamento, produz esforços de compressão na argamassa e provoca trincas segundo sua forma".

LAFANEL PETRONI e LUIZ DUARTE: Em pesquisa sobre a fabricação de botes em argamassa armada, utilizando agregados leves, foi observada grande deficiência quando da utilização da malha hexagonal.

Talvez a malha hexagonal possa servir como uma espécie de armadura de pele, em peças cujas dimensões solicitem preocupação com os efeitos da retração; mas isto é outro problema que precisa ser analisado.

5 - ENSAIOS À FLEXÃO EM ARGAMASSA ARMADA REALIZADOS NO LABORATÓRIO DE MATERIAIS DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

5.1 - Corpos de Prova

Foram moldadas vigas com 100cm de comprimento, de seção transversal retangular, com 3cm de base por 15cm de altura.

A argamassa utilizada, a tela, o adensamento e a cura, respeitaram os mesmos padrões dos ensaios anteriores, portanto, já descritos nos itens 3.1 e 4.1. Igualmente, a armação variou de 0, 1, 2 e 4 telas. Para cada tipo foram moldadas 4 a mostras, em fôrmas de madeira.

5.2 - Procedimento do ensaio e resultados

As vigas, com 100cm de comprimento, foram apoiadas de tal forma que o vão livre resultou ser de 90cm. Foram aplicadas duas cargas concentradas em pontos distantes 24cm dos apoios, estes reproduziram uma rótula e um apoio simples.

Com um defletômetro Mitutoyo, de aproximação de 0,01mm foi medida a flecha no centro do vão.

Com extensômetros mecânicos, marca Galileo, foram medidas as deformações em níveis distantes 1cm das faces superior e inferior respectivamente, em uma seção transversal, distante 30cm de um dos apoios.

As peças foram rompidas em uma máquina AMSLER, conforme mostram as figuras 54 e 55.

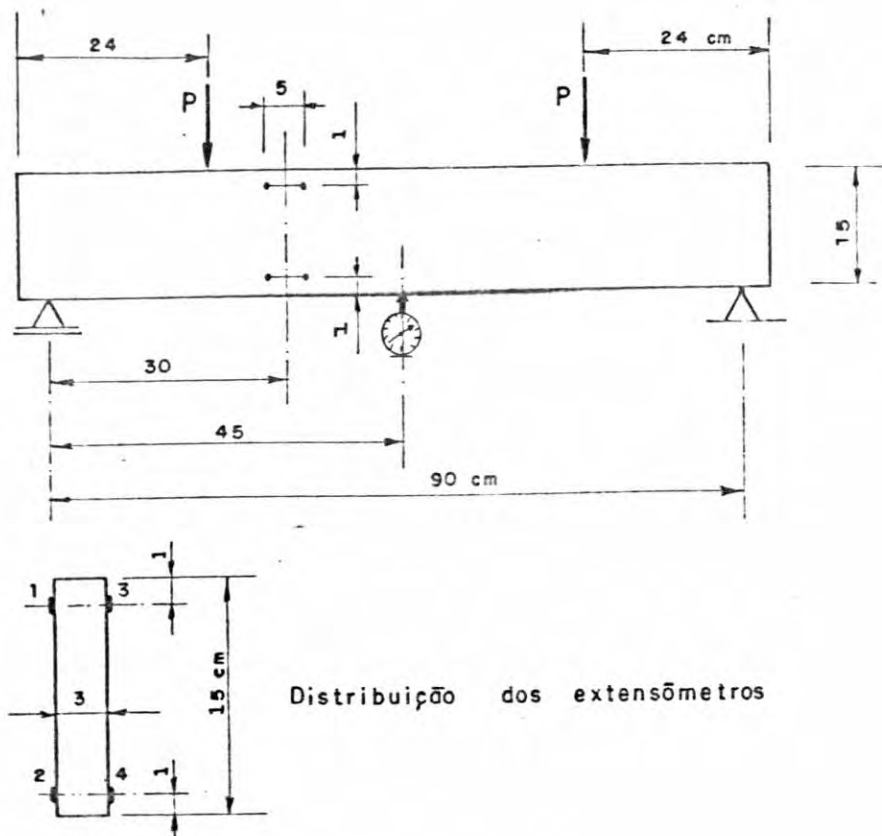


Fig. 53 - Esquema do ensaio.

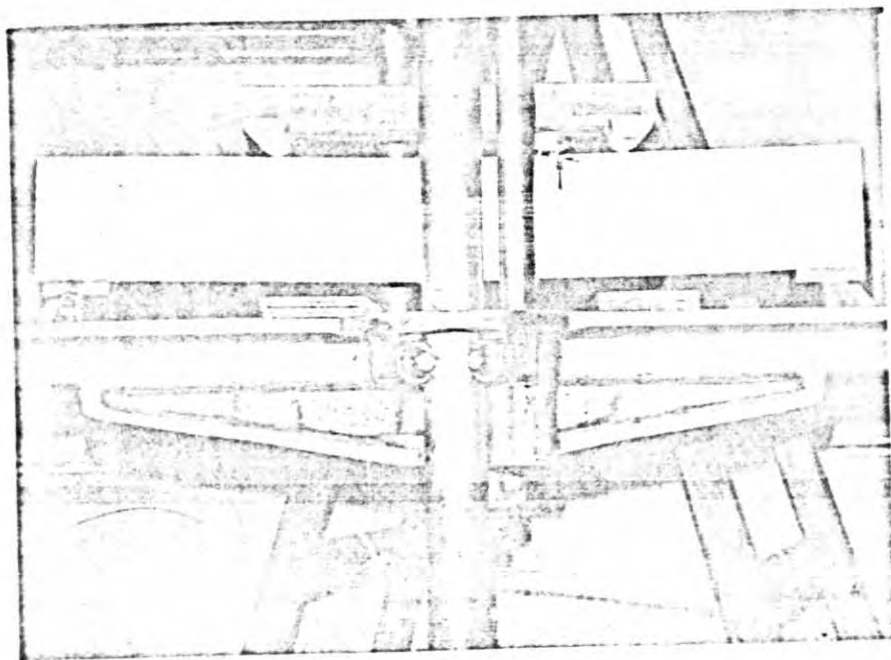


Fig. 54 - Esquema de fixação do corpo de prova na prensa.

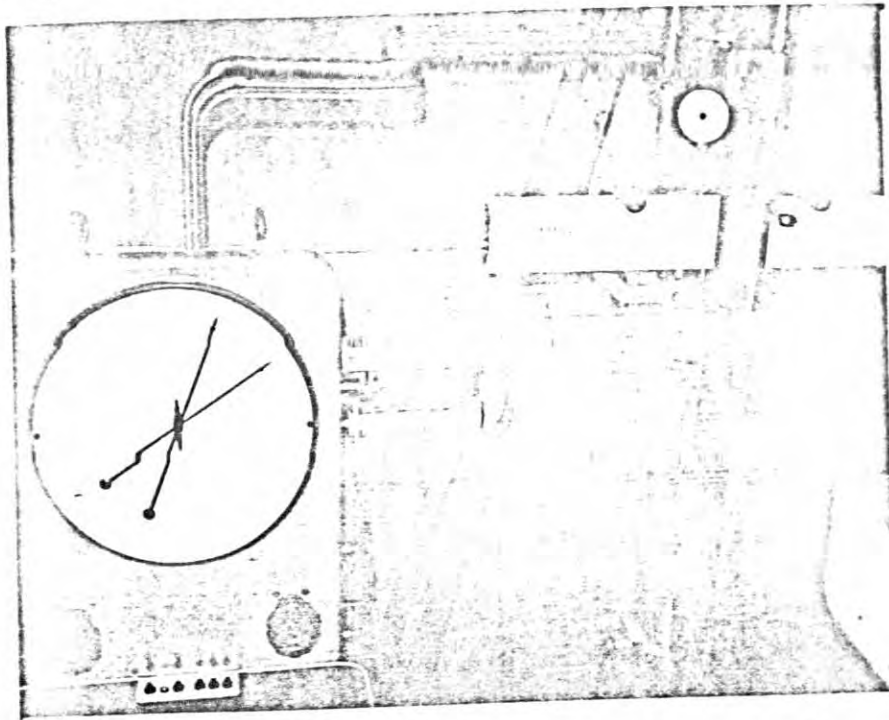


Fig. 55 - A máquina de ensaio.

a) SEM ARMACÃO

CARGA P (kg)	FLECHA NO CENTRO (mm)
15	0,01
30	0,02
45	0,04
60	0,055
75	0,07
90	0,09
105	0,105
120	0,125
135	0,14
150	0,16
165	0,185
180	0,20
210	0,24
240	0,26
270	0,28
280	Ruptura

TABELA 24 - Resultados obtidos na 1ª série de ensaios.

b) ARMADO COM DUAS TELAS (1ª série)

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR ($\times 10^{-5}$)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR ($\times 10^{-5}$)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	2	2	2	0	3,01	1,5	0,032
60	4	3	3,5	1	7,03	4,0	0,060
90	6	4	5,0	2	12,06	7,03	0,090
120	8	5	6,5	4	16,8	10,04	0,120
150	10	6	8,0	6	22,11	14,05	0,150
180	12	7	9,5	8	26,13	17,06	0,180
210	14	8	11,0	11	30,15	20,57	0,205
240	16	9	12,5	14	36,18	25,09	0,230
270	18	10	14,0	18	40,20	29,10	0,26
300	20	12	16,0	32	52,26	42,13	0,30
330	22	14	18,0	48	66,33	57,16	0,36
360	26	16	21,0	62	82,41	72,20	0,43
390	28	18	23,0	74	98,49	86,24	0,49
420	32	20	26,0	98	128,64	113,32	—
450	34	22	28,0	118	144,72	131,36	0,64
480*	36	24	30,0	202	178,89	190,44	0,72
510	40	26	33,0	222	—	—	0,81
540	44	28	36,0	244	—	—	1,29
570	48	30	39,0	272	—	—	1,56
600	54	34	44,0	—	—	—	1,86
630	58	38	48,0	—	—	—	2,33
660	60	42	51,0	—	—	—	3,03
690	62	50	56	—	—	—	—
705	R U P T U R A			—	—	—	—

Espaçamento médio entre fissuras: 5,7cm

* Primeira fissura visível

c) ARMADO COM QUATRO TELAS (1ª série)

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR ($\times 10^{-5}$)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR ($\times 10^{-5}$)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	2	2	2	0	2	1	0,03
60	4	4	4	2	4	3	0,06
90	5	5	5	3	5	4	0,09
120	6	6	6	4	6	5	0,115
150	7	8	7,5	6	7	6,50	0,145
180	8	9	8,5	7	9	8,0	0,17
210	10	10	10	8	11	9,5	0,20
240	11	12	11,5	9	12	10,5	0,225
270	12	14	13	10	14	12	0,25
300	14	16	15	11	16	13	0,28
330	16	17	16,5	11	17	14	0,32
360	18	20	19	8	14	—	0,39
390	20	22	21	9	15	—	0,44
420	22	24	23	10	16	—	0,50
450	28	26	27	12	14	—	0,60
480	30	28	29	12	16	—	0,72
510	32	30	31	14	16	—	0,80
570	42	44	41	—	—	—	1,21
630	48	52	50	—	—	—	1,47
690	54	64	59	—	—	—	1,81
750	58	70	64	—	—	—	2,12
810*	60	78	69	—	—	—	2,40
870	68	86	77	—	—	—	2,78
930	74	92	83	—	—	—	3,23
990**	80	100	90	—	—	—	3,72
1050	88	116	102	—	—	—	4,38
1110	102	132	117	—	—	—	5,28
1170	110	156	133	—	—	—	5,59
1230	118	194	156	—	—	—	6,93
1265	R U P T U R A						

Espaçamento entre fissuras: 2,3cm

* Abertura da fissura em torno de 0,05mm

** Abertura da fissura em torno de 0,1mm

a) SEM ARMAÇÃO

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR ($\times 10^{-5}$)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR ($\times 10^{-5}$)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	1	2	1,5	0	0	0,0	0,03
60	2	3	2,5	2	2	2,0	0,07
90	4	4	4,0	4	4	4,0	0,11
120	6	6	6,0	6	5	5,5	0,15
150	7	7	7,0	7	6	6,5	0,19
180	8	8	8,0	8	8	8,0	0,22
210	10	10	10,0	10	10	10,0	0,25
240	11	12	11,5	12	11	11,5	0,29
270	12	14	13,0	14	12	13,0	0,32
300	13	15	14,0	15	14	14,5	0,34
330	14	16	15,0	16	15	15,5	0,37
360	16	17	16,5	17	16	16,5	0,40
390	17	18	17,5	18	17	17,5	0,43
415	R U P T U T A						

TABELA 25 - Resultados obtidos na 2ª Série de ensaios

b) ARMADO COM UMA TELA (2ª Série)

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR ($\times 10^{-5}$)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR ($\times 10^{-5}$)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	0	2	1,0	2	0	1,0	0,02
60	1	4	2,5	4	0	2,0	0,045
90	2	6	4,0	6	0	3,0	0,07
120	2	8	5,0	8	0	4,0	0,095
150	3	11	6,5	10	0	5,0	0,12
180	3	14	8,5	14	1	7,5	0,15
210	4	15	9,5	15	1	8,0	0,18
240	5	17	11,0	17	3	8,5	0,21
270	6	18	12,0	20	4	10,0	0,42
300	10	30	20,0	10	0	5,0	0,57
330	14	34	24,0	12	0	6,0	—
360	16	40	28,0	10	0	5,0	1,21
385	R U P T U R A						

c) ARMADO COM DUAS TELAS (2ª Série)

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR ($\times 10^{-5}$)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR ($\times 10^{-5}$)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	1	2	1,5	1	0	0,5	0,025
60	2	4	3,0	2	1	1,5	0,050
90	3	5	4,0	3	3	3,0	0,080
120	4	6	5,0	4	4	4,0	0,11
150	6	8	7,0	6	6	6,0	0,15
180	8	10	9,0	7	7	7,0	0,18
210	9	11	10,0	8	8	8,0	0,21
240	10	12	11,0	9	9	9,0	0,235
270	11	14	12,5	10	10	10,0	0,265
300	12	16	14,0	12	11	11,5	0,29
330	13	17	15,0	14	12	13,0	0,315
360	14	18	16,0	16	13	14,5	0,34
390	16	20	18,0	17	15	16,0	0,37
420	16	22	19,0	14	14	14,0	0,56
450	22	32	27,0	8	6	—	1,00
510	26	38	32,0	—	—	—	1,24
570	34	46	40,0	—	—	—	1,89
660	52	—	—	—	—	—	2,54
700	R U P T U R A						

Espaçamento médio entre fissuras: 5,1cm

) ARMADO COM QUATRO TELAS (2ª Série)

ARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR (x10 ⁻⁵)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR (x10 ⁻⁵)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	1	1	1	1	0	0,5	0,03
60	2	2	2	2	1	1,5	0,05
90	4	4	4	4	2	3,0	0,07
120	5	5	5	5	4	4,5	0,10
150	6	6	6	6	5	5,5	0,125
180	7	8	7,5	8	6	7,0	0,15
210	8	9	8,5	10	8	9,0	0,18
240	9	10	9,5	11	9	10,0	0,205
270	10	11	10,5	13	10	11,5	0,23
300	11	12	11,5	15	11	13,0	0,255
330	12	14	13,0	17	12	14,5	0,285
360	13	17	15,0	18	13	15,5	0,35
420	20	24	22,0	12	10	—	0,485
480	24	28	26,0	—	—	—	0,83
540	26	38	32,0	—	—	—	1,23
600	30	46	38,0	—	—	—	1,61
660	36	58	47,0	—	—	—	2,00
750	42	68	55,0	—	—	—	2,44
840	46	82	64,0	—	—	—	3,00
930	54	94	74,0	—	—	—	3,74
1020	72	110	91,0	—	—	—	4,64
1110	74	128	101,0	—	—	—	5,73
1200	82	152	117,0	—	—	—	7,15
1300	R U P T U R A						

Espaçamento médio entre fissuras: 2,6cm

a) SEM ARMAÇÃO

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR (x10 ⁻⁵)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR (x10 ⁻⁵)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	1	2	1,5	1	1	1,0	0,030
60	2	4	3,0	2	2	2,0	0,050
90	2	6	4,0	4	3	3,5	0,080
120	4	8	6,0	6	4	5,0	0,110
150	5	9	7,0	7	5	6,0	0,140
180	6	10	8,0	8	6	7,0	0,170
210	7	12	9,5	10	7	8,5	0,200
240	8	R U P T U R A					0,230

TABELA 26 - Resultados obtidos na 3ª Série de ensaios

b) ARMADO COM UMA TELA (3ª Série)

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR (x10 ⁻⁵)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR (x10 ⁻⁵)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	2	2	2,0	2	1	1,5	0,030
60	3	4	3,5	3	3	3,0	0,060
90	4	5	4,5	4	4	4,0	0,090
120	5	6	5,5	5	6	5,5	0,120
150	6	8	7,0	7	7	7,0	0,150
180	8	9	8,5	8	8	8,0	0,175
210	9	10	9,5	10	10	10,0	0,205
240	14	48	—	—	—	—	0,280
270	—	60	—	—	—	—	1,05
300	R U P T U R A						

c) ARMADO COM DUAS TELAS (3ª série)

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR ($\times 10^{-5}$)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR ($\times 10^{-5}$)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	1	1	1,0	2	2	2,0	0,04
60	2	3	2,5	3	3	3,0	0,08
90	4	4	4,0	4	4	4,0	0,11
120	6	5	5,5	5	6	5,5	0,14
150	7	6	6,5	8	8	8,0	0,17
180	8	8	8,0	10	10	10,0	0,20
210	10	9	9,5	11	11	11,0	0,23
240	12	10	11,0	12	12	12,0	0,29
270	16	16	16,0	—	—	—	0,45
300	18	18	18,0	—	—	—	0,55
330	26	24	25,0	—	—	—	0,75
360	32	30	31,0	—	—	—	0,94
390	36	34	35,0	—	—	—	1,30
420	38	40	39,0	—	—	—	1,13
480	44	56	50,0	—	—	—	2,14
540	56	80	68,0	—	—	—	3,03
600	R U P T U R A						

Espaçamento médio entre fissuras: 4,48cm

d) ARMADO COM QUATRO TELAS (3ª série)

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR ($\times 10^{-5}$)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR ($\times 10^{-5}$)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
60	2	2	2,0	2	2	2,0	0,065
120	4	6	5,0	6	4	5,0	0,15
180	8	10	9,0	9	8	8,5	0,22
240	9	13	11,0	12	10	11,0	0,30
300	10	16	18,0	16	14	15,0	0,38
360	14	32	23,0	—	—	—	0,54
420	30	40	35,0	—	—	—	0,665
480	56	56	56,0	—	—	—	1,11
540	—	—	—	—	—	—	1,39
600	—	—	—	—	—	—	—
660	—	—	—	—	—	—	2,05
720	—	—	—	—	—	—	2,35
780	—	—	—	—	—	—	2,80
840	—	—	—	—	—	—	3,48
900	—	—	—	—	—	—	—
960	—	—	—	—	—	—	4,11
1020	—	—	—	—	—	—	—
1080	—	—	—	—	—	—	—
1090	R U P T U R A						

Espaçamento médio entre fissuras: 2,26cm

a) SEM ARMAÇÃO

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR ($\times 10^{-5}$)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR ($\times 10^{-5}$)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	1	1	1,0	1	1	1,0	0,025
60	2	2	2,0	2	2	2,0	0,055
90	4	4	4,0	3	3	3,0	0,088
120	6	6	5,5	5	4	4,5	0,120
150	6	7	6,5	6	5	5,5	0,150
180	7	8	7,5	7	6	6,5	0,175
210	8	9	8,5	8	8	8,0	0,205
240	10	10	10,0	10	10	10,0	0,232
270	12	12	12,0	12	11	11,5	0,260
300	13	13	13,0	13	12	12,5	0,295
330	14	14	14,0	14	13	13,5	0,320
360	15	16	15,5	15	15	15,0	0,350
390	16	17	16,5	18	16	17,0	0,380
420	R U P T U R A						

TABELA 27 - Resultados obtidos na 4ª Série de ensaios

b) ARMADO COM UMA TELA (4ª Série)

CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR ($\times 10^{-5}$)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR ($\times 10^{-5}$)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
30	0	3	1,5	2	0	1,0	0,020
60	1	4	2,5	3	1	2,0	0,045
90	2	6	4,0	6	2	4,0	0,075
120	3	7	5,0	7	3	5,0	0,105
150	4	9	6,5	8	4	6,0	0,135
180	5	12	8,5	10	5	7,5	0,168
210	6	13	9,5	12	6	9,0	0,195
240	7	14	10,5	14	8	11,0	0,230
270	7	16	11,5	18	10	14,0	0,260
300	7	18	12,5	19	11	15,0	0,290
330	8	20	14,0	20	12	16,0	0,315
360	9	22	15,5	22	13	17,5	0,345
390							0,545
420	R U P T U R A						

ARMADO COM DUAS TELAS (4ª série)

A P 1)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR (x10 ⁻⁵)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR (x10 ⁻⁵)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	EXT.1	EXT.3	MÉDIA	EXT.2	EXT.4	MÉDIA	
	1	2	1,5	1	2	1,5	0,02
	2	3	2,5	2	3	2,5	0,04
	3	6	4,5	4	4	4,0	0,05
	4	7	5,5	6	5	5,5	0,085
	5	8	6,5	7	6	6,5	0,100
	6	9	7,5	8	7	7,5	0,110
	7	10	8,5	10	8	9,0	0,130
	8	11	9,5	12	9	10,5	0,155
	10	12	11,0	13	10	11,5	0,180
	11	14	12,5	14	12	13,0	0,205
	12	15	13,5	16	13	14,5	0,230
	14	24	19,0	8	16	12,0	0,330
	16	26	21,0	8	18	—	0,450
	18	28	23,0	10	20	—	0,600
	20	38	29,0	—	—	—	0,880
	22	—	—	—	—	—	1,030
	28	—	—	—	—	—	1,470
	—	—	—	—	—	—	1,800
	—	—	—	—	—	—	2,600
	—	—	—	—	—	—	2,910
	—	R U P T U R A					4,240

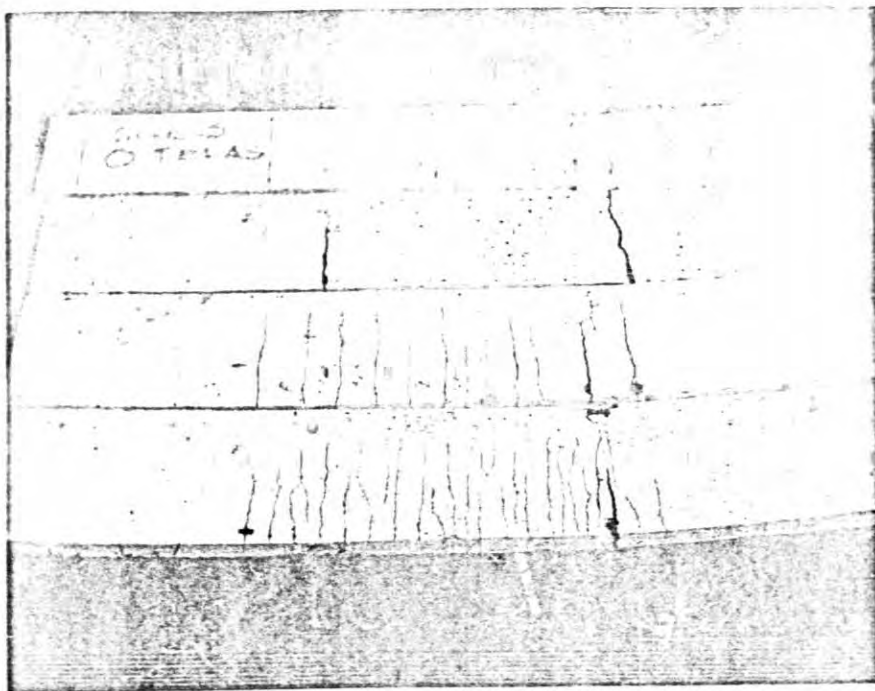
espaçamento médio entre fissuras: 5,7cm

d) ARMADO COM QUATRO TELAS (4ª Série)

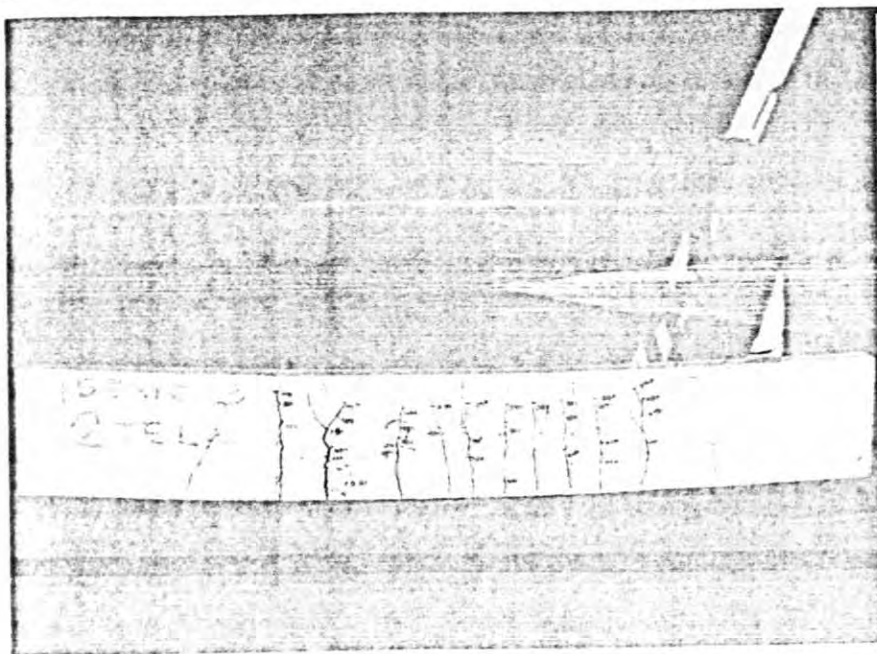
CARGA P (kg)	DEFORMAÇÃO NO NÍVEL SUPERIOR ($\times 10^{-5}$)			DEFORMAÇÃO NO NÍVEL INFERIOR ($\times 10^{-5}$)			FLECHA NO CENTRO (mm)
	FXT.1	EXT.3	MÉDIA	FXT.2	EXT.4	MÉDIA	
60	1	2	1,5	2	1	1,5	0,055
120	4	4	4,0	4	2	3,0	0,110
180	6	7	6,5	7	3	5,0	0,165
240	8	10	9,0	10	6	8,0	0,220
300	11	12	11,5	12	12	12,0	0,270
360	14	14	14,0	14	14	14,0	0,320
420	28	20	24,0	10	18	—	0,650
480	30	30	30,0	—	24	—	1,150
540	36	34	35,0	—	—	—	1,280
600	—	—	—	—	—	—	1,830
660	52	52	52,0	—	—	—	2,220
720	58	58	58,0	—	—	—	2,490
780	62	64	63,0	—	—	—	2,830
840	66	72	69,0	—	—	—	3,290
900	72	80	76,0	—	—	—	3,850
960	80	86	83,0	—	—	—	4,560
1020	86	100	93,0	—	—	—	5,400
1080	100	114	107,0	—	—	—	6,510
1140	102	132	117,0	—	—	—	7,920
1195	R U P T U T A						

Espaçamento médio entre fissuras: 2,92cm

5.3 - Aspecto dos corpos de prova rompidos.



n. 56 - Paineis de fissuração na face que, por defeito de moldagem, a tela ficou mais próxima.



q. 57 - Face mais afastada da tela, do 2º corpo de prova, visto de baixo para cima na figura 56. Observar que nesta face, as fissuras não se distribuem tão uniformemente, além de terem aparecido em menor número que as da face oposta, mostrada na figura anterior.

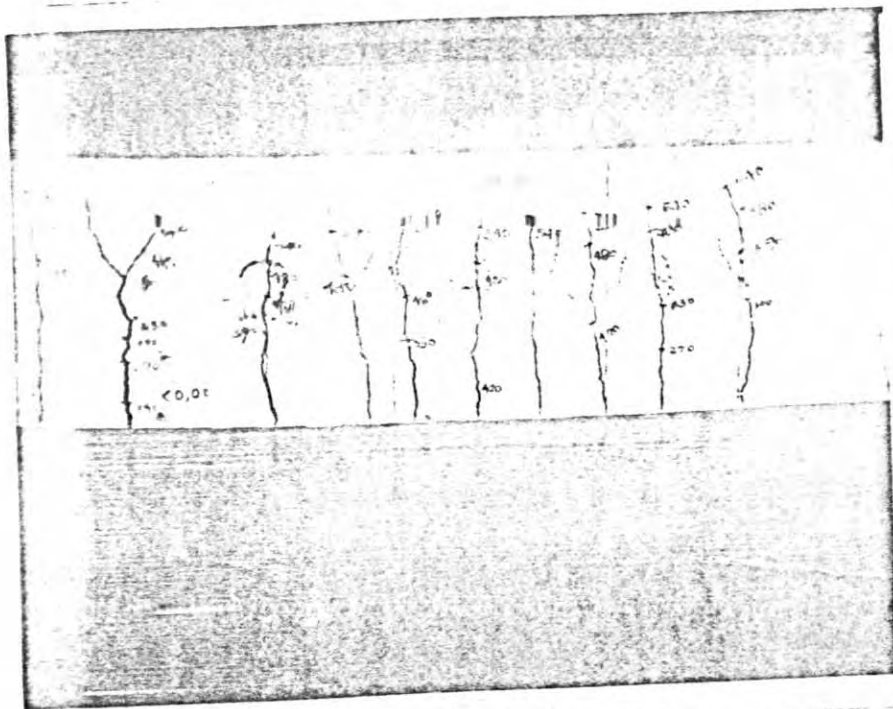


Fig. 58 - Detalhe do painel de fissuração do corpo de prova da figura 57. Na iminência da ruptura, as fissuras atingiram 76% da altura da peça.

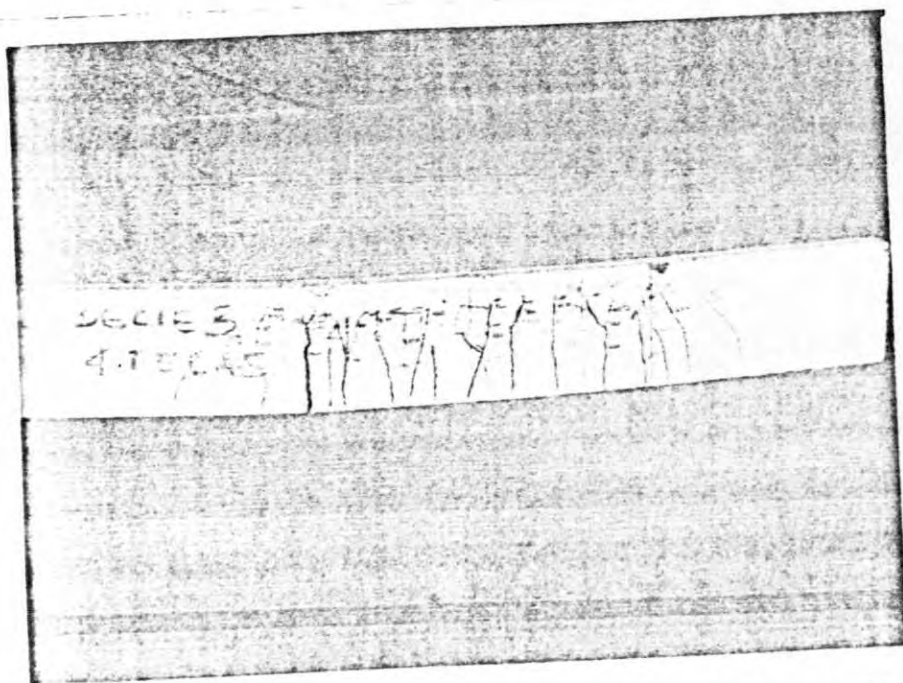
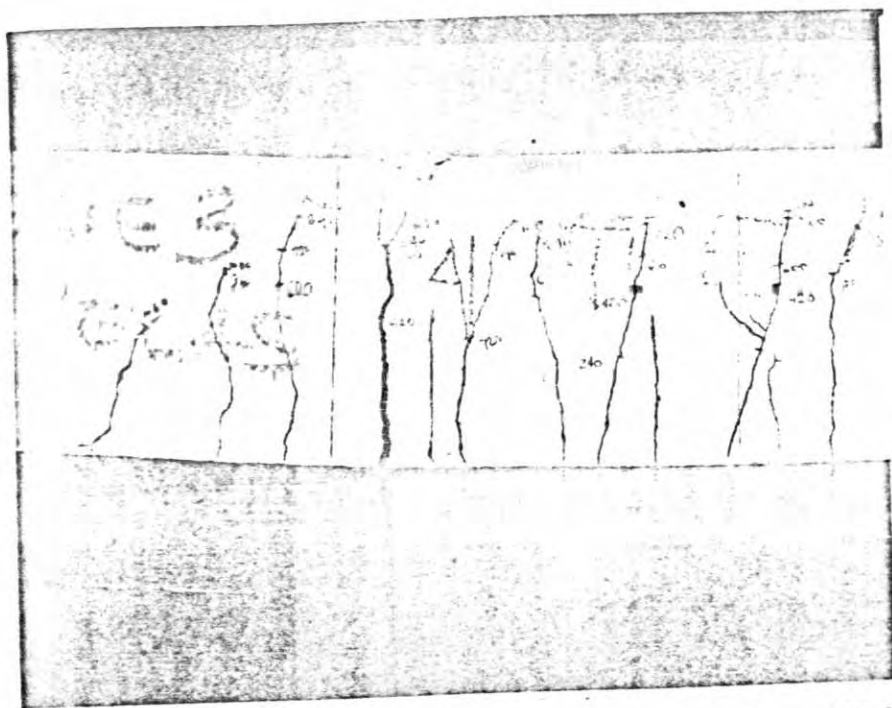
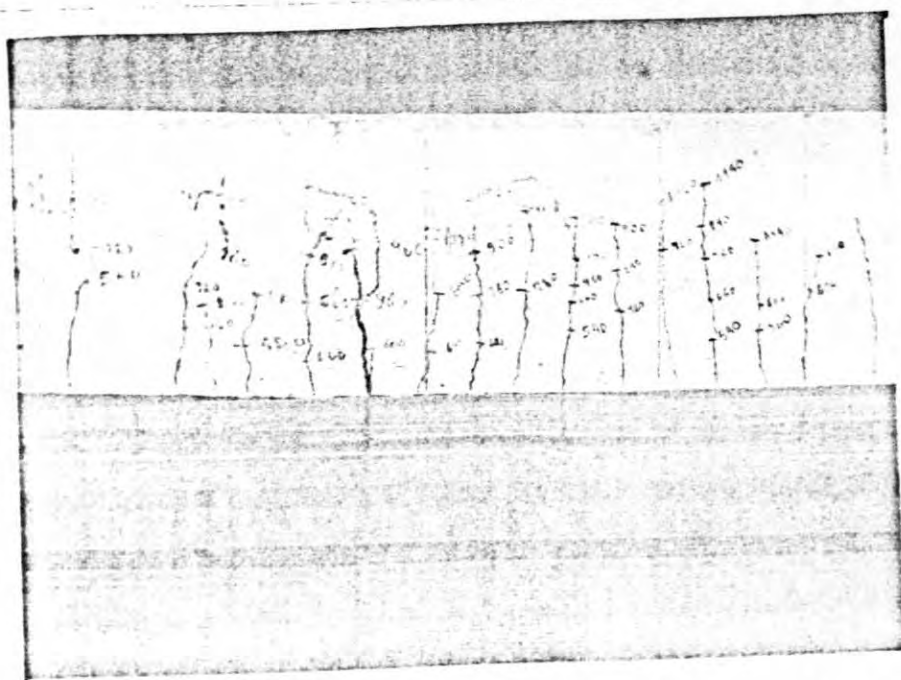


Fig. 59 - Ainda o problema da necessidade de distribuir a armação uniformemente ao longo da espessura; este corpo de prova é o primeiro visto de baixo para cima na figura 56.



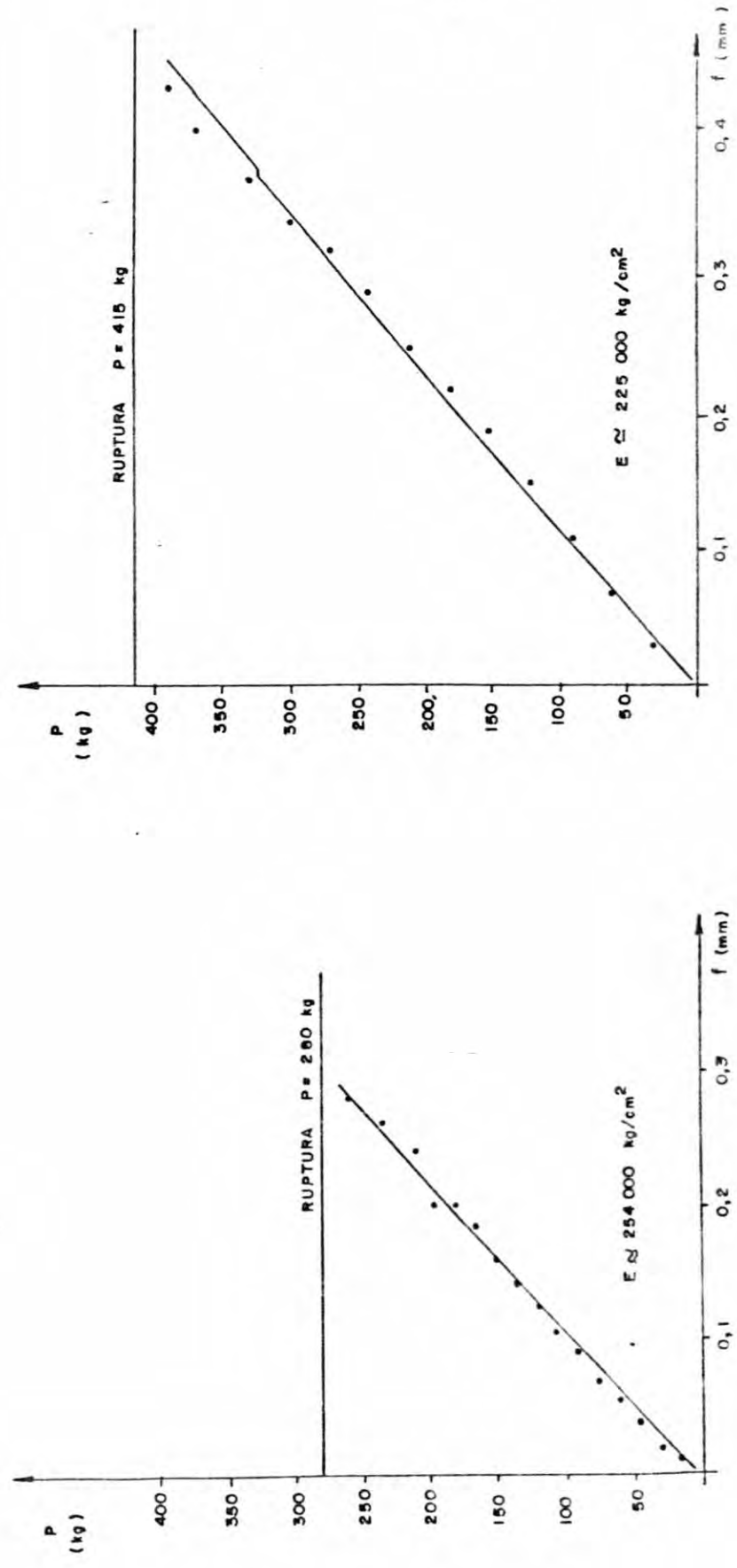
60 - Detalhe do painel de fissuração do corpo de prova da Fig. 59; na iminência da ruptura, as fissuras atingiram 80% da altura da peça.



g. 61 - Detalhe do painel de fissuração do corpo de prova da série 4, armada com 4 telas. As fissuras atingiram 75% da altura da peça, na iminência da ruptura.

5.4 - Diagramas carga/flecha.

FIG.62 - CORPOS DE PROVA SEM ARMAÇÃO



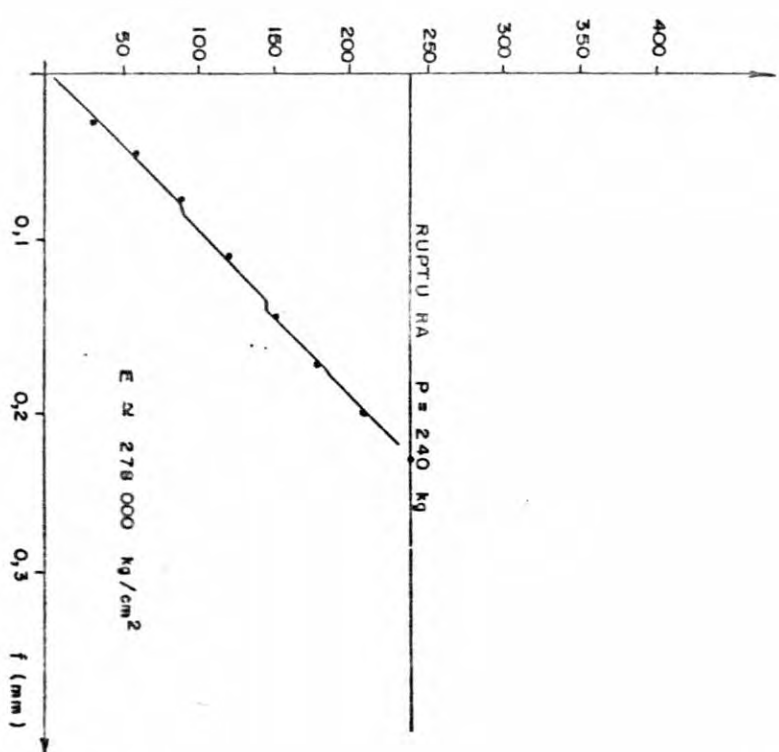


FIG. 62c - SÉRIE 3

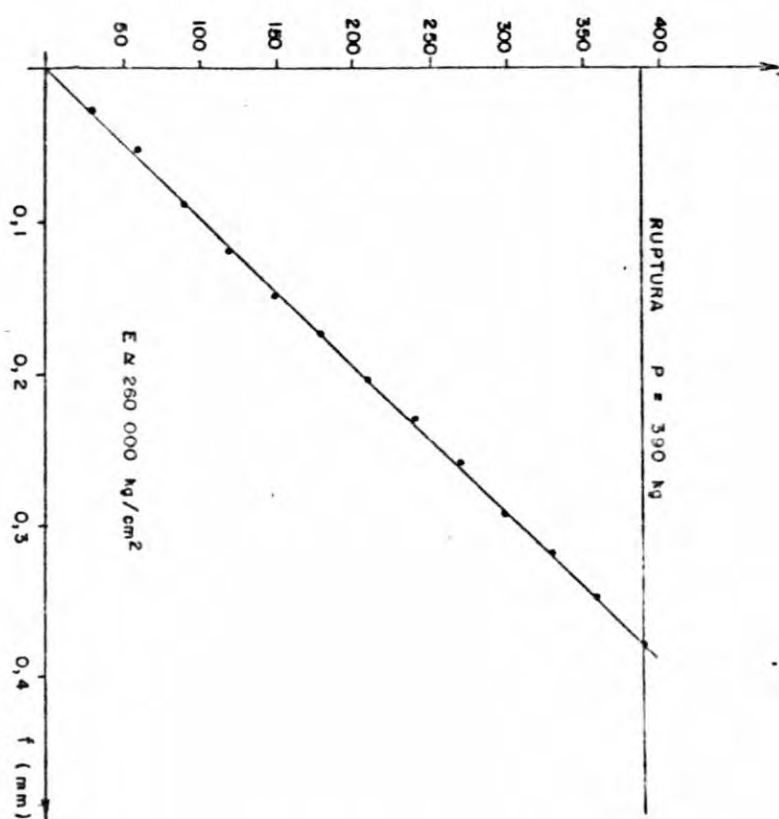


FIG. 62d - SÉRIE 4

FIGURA 63 - CORPOS DE PROVA ARMADOS COM 1 TELA

FIG. 63a - SÉRIE 2 (1 tela)

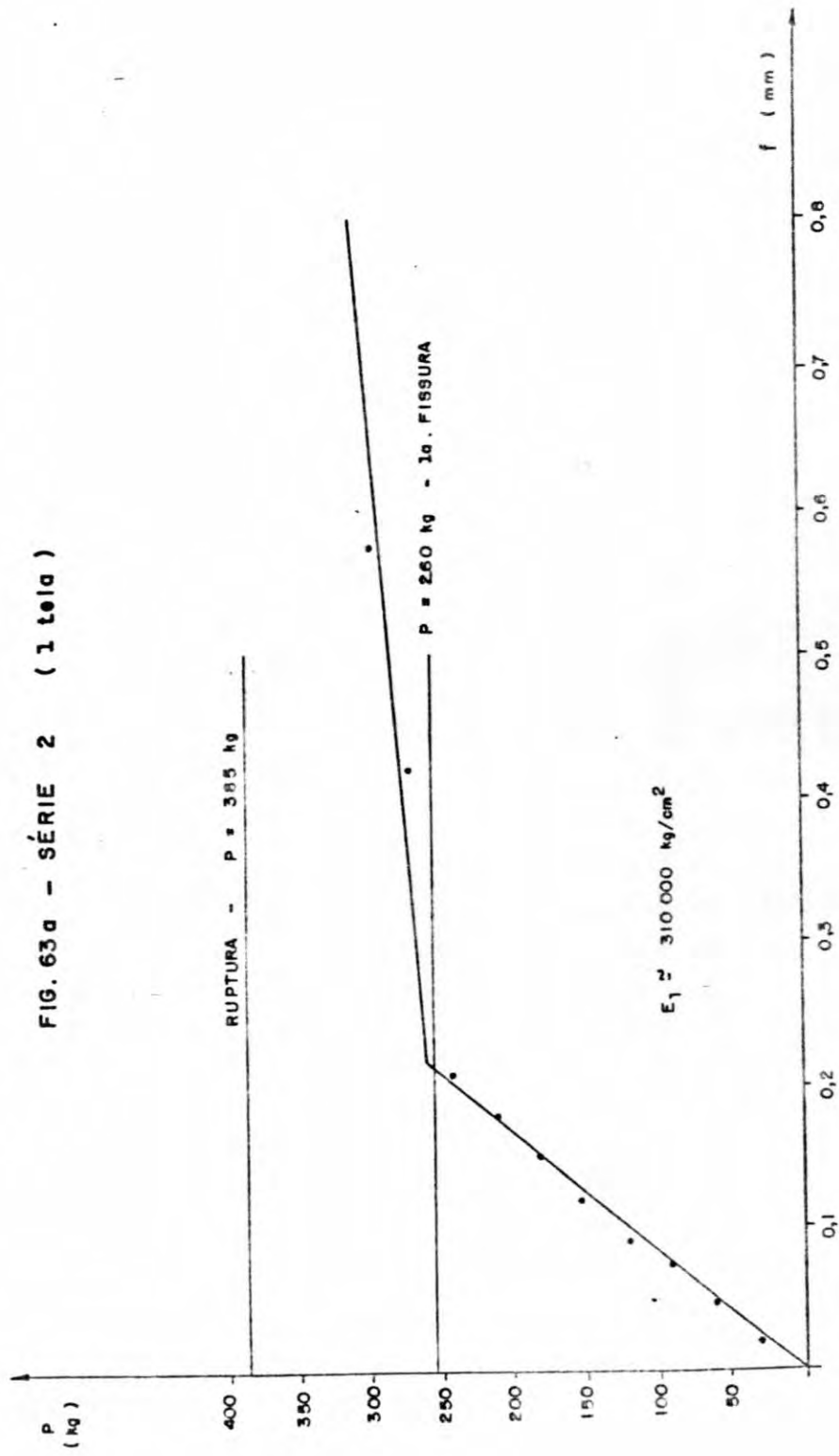


FIG. 63 b - SÉRIE 3 (1 telo)

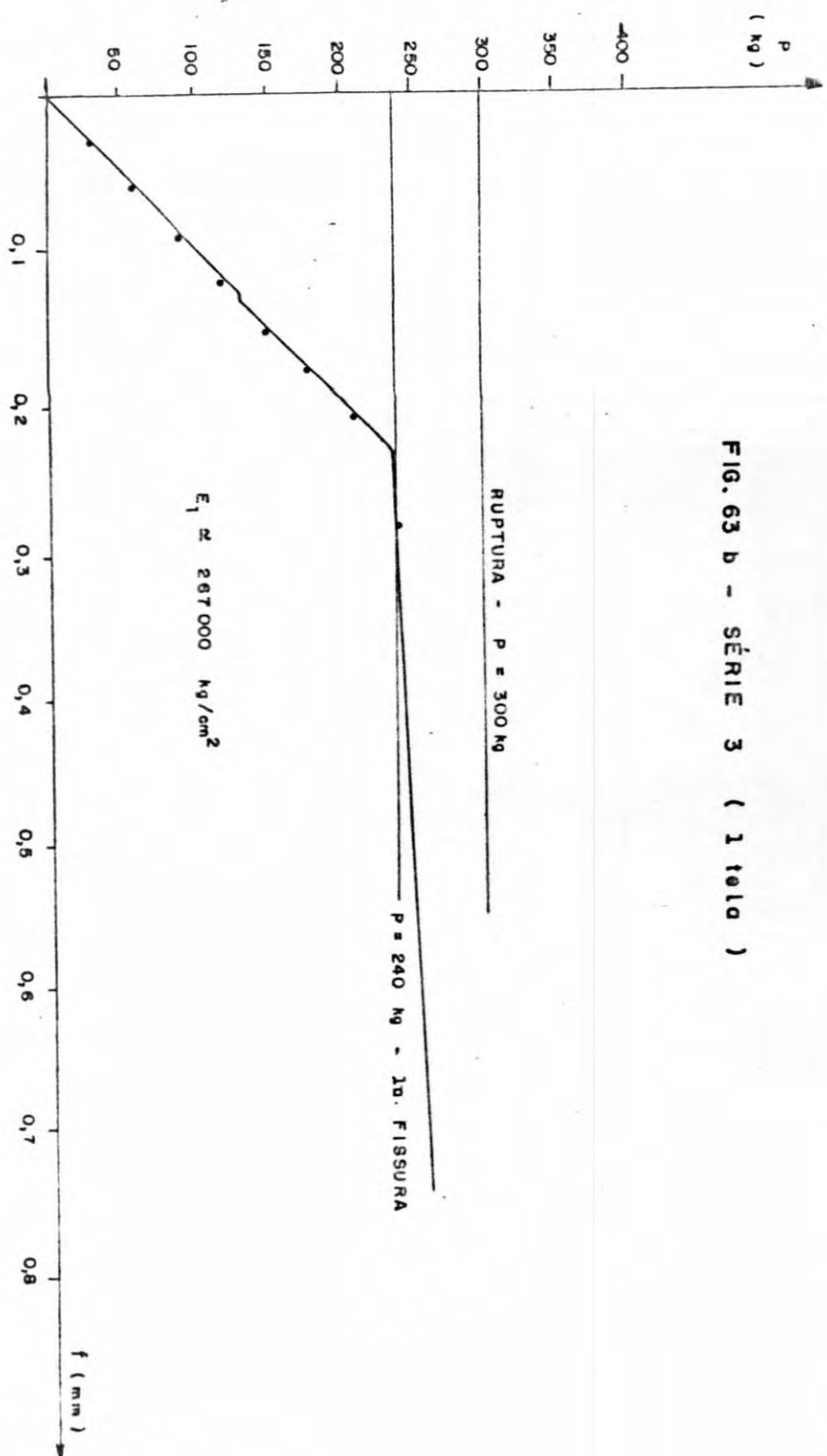


FIG. 63c - SÉRIE 4 (1 tôle)

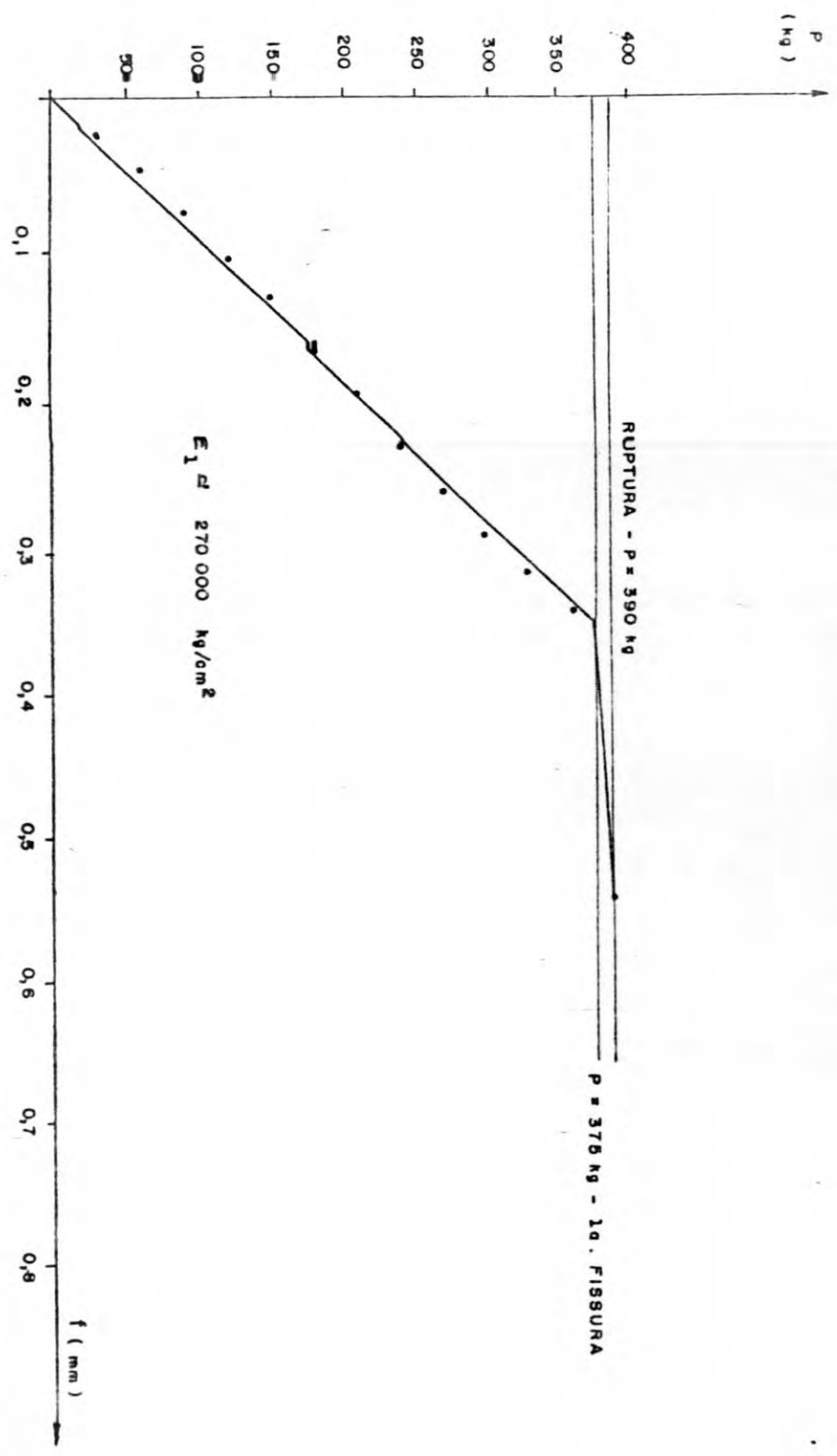
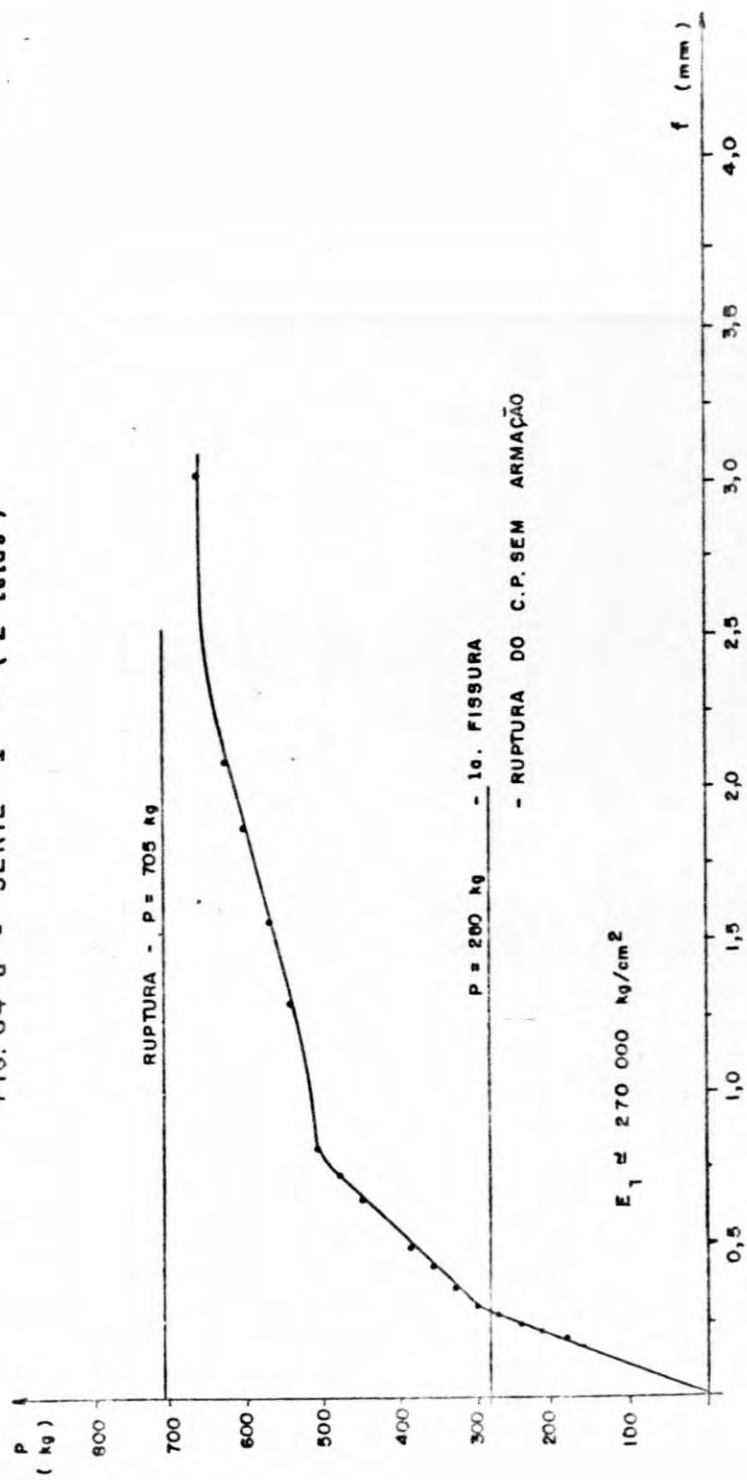


FIGURA 64 - CORPOS DE PROVA ARMADOS COM 2 TELAS

FIG. 64 a - SÉRIE 1 - (2 telas)



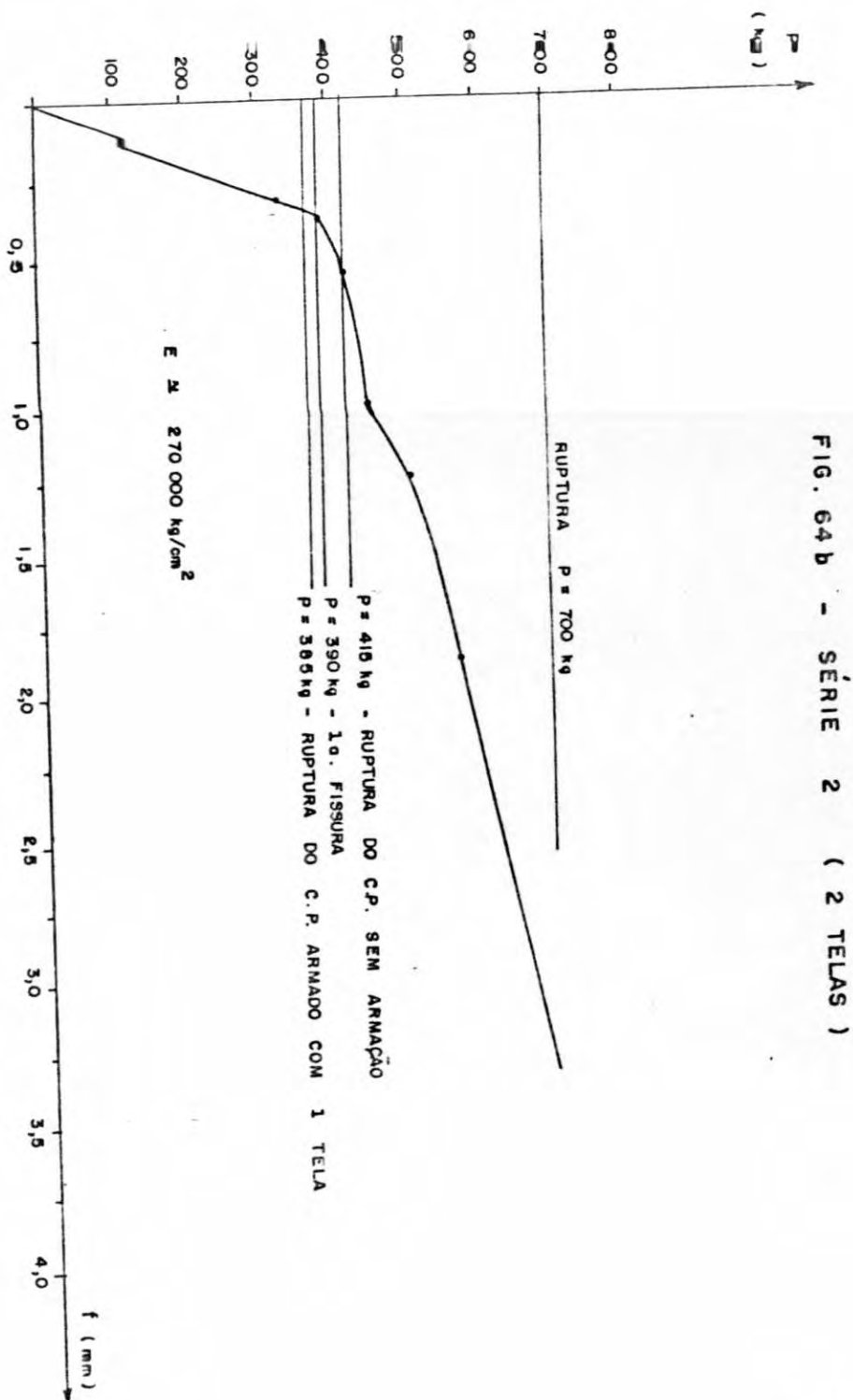


FIG. 64 c - SÉRIE 3 - (2 telas)

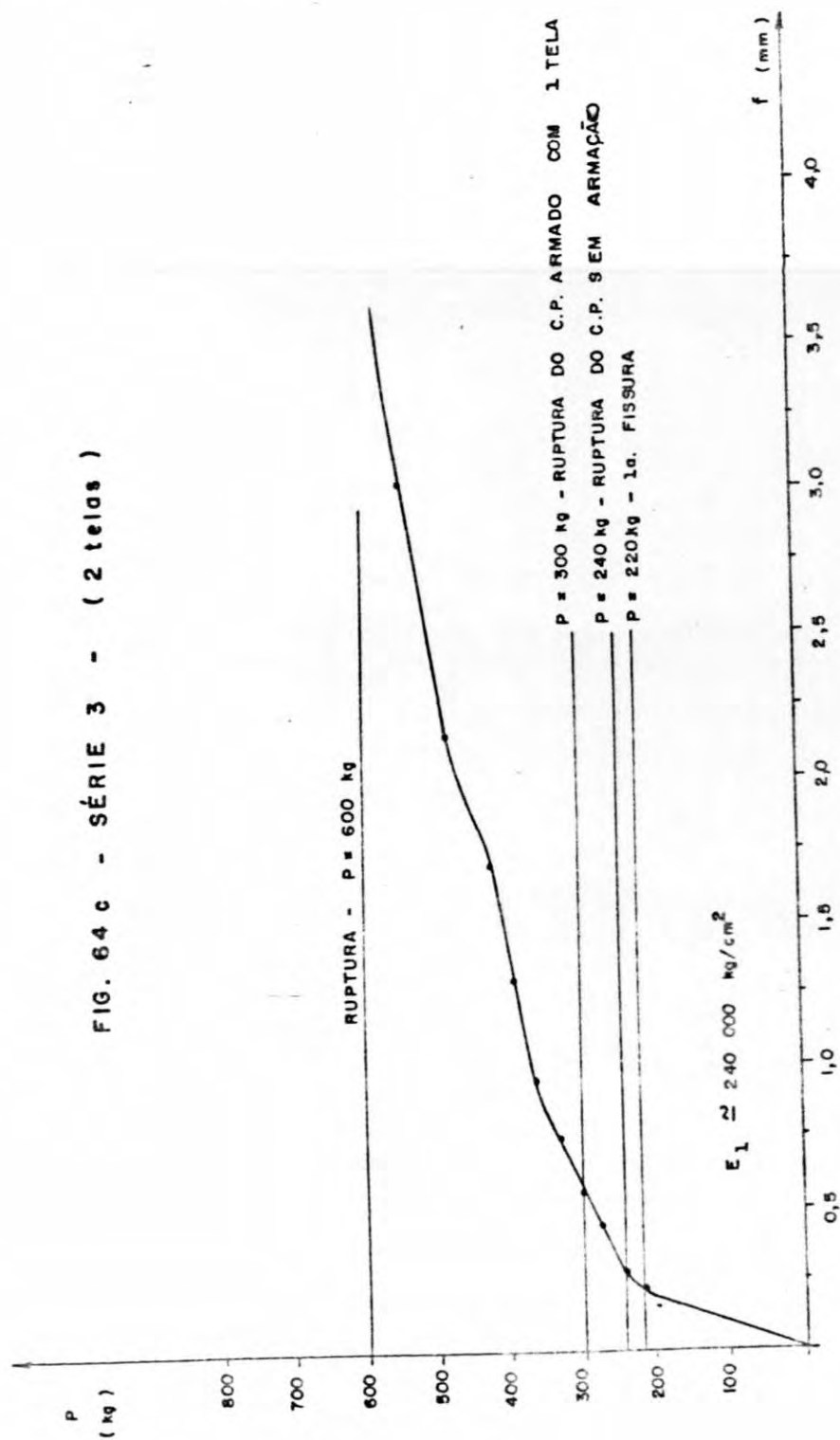


FIG. 64 d - SÉRIE 4 (2 telas)

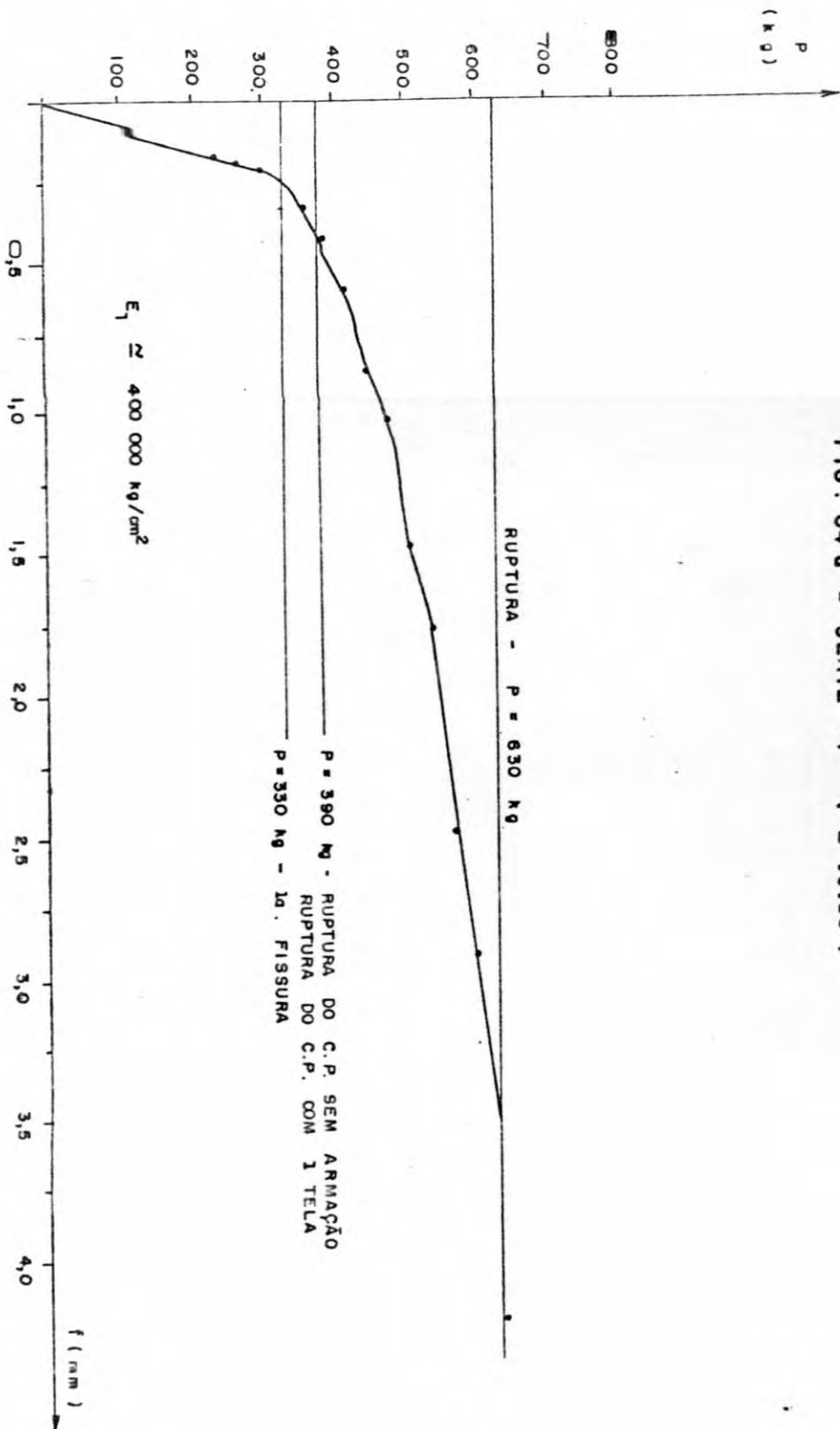


FIGURA 65 - CORPOS DE PROVA ARMADOS COM 4 TELAS

FIG. 65a - SÉRIE 1 (4 telas)

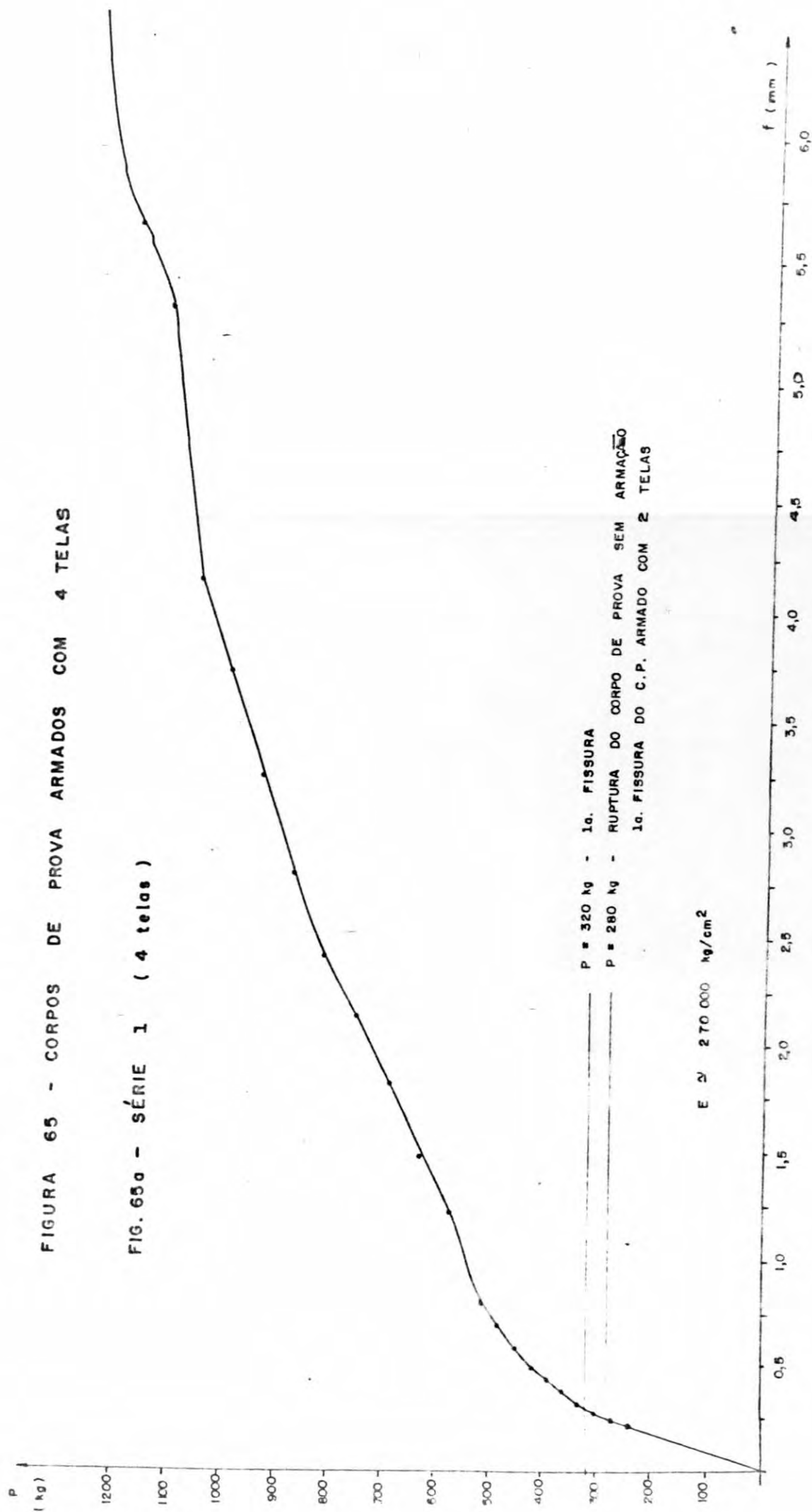


FIG. 65 b - SÉRIE 2 (4 telas)

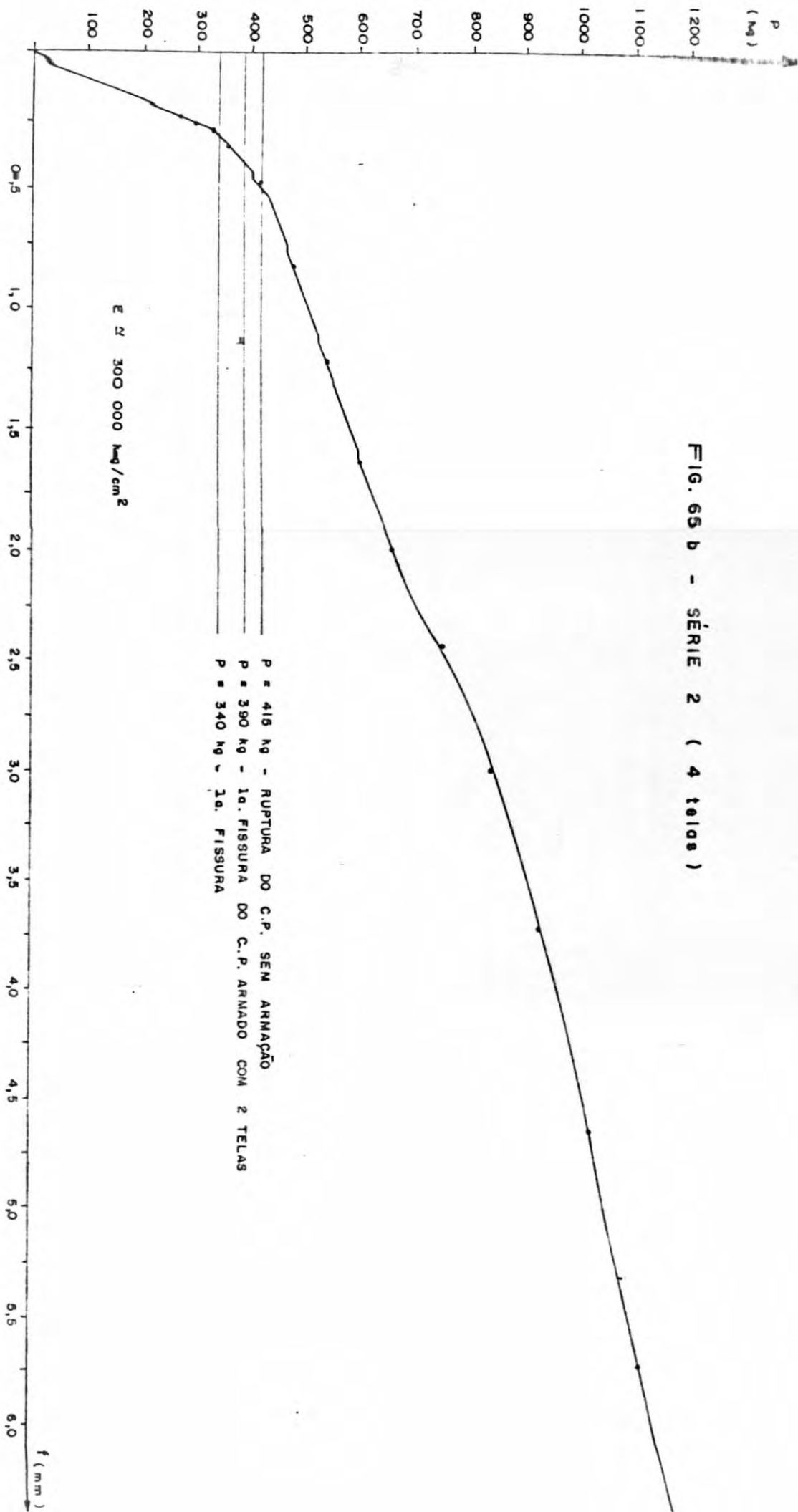


FIG. 65 c - SÉRIE 3 (4 telas)

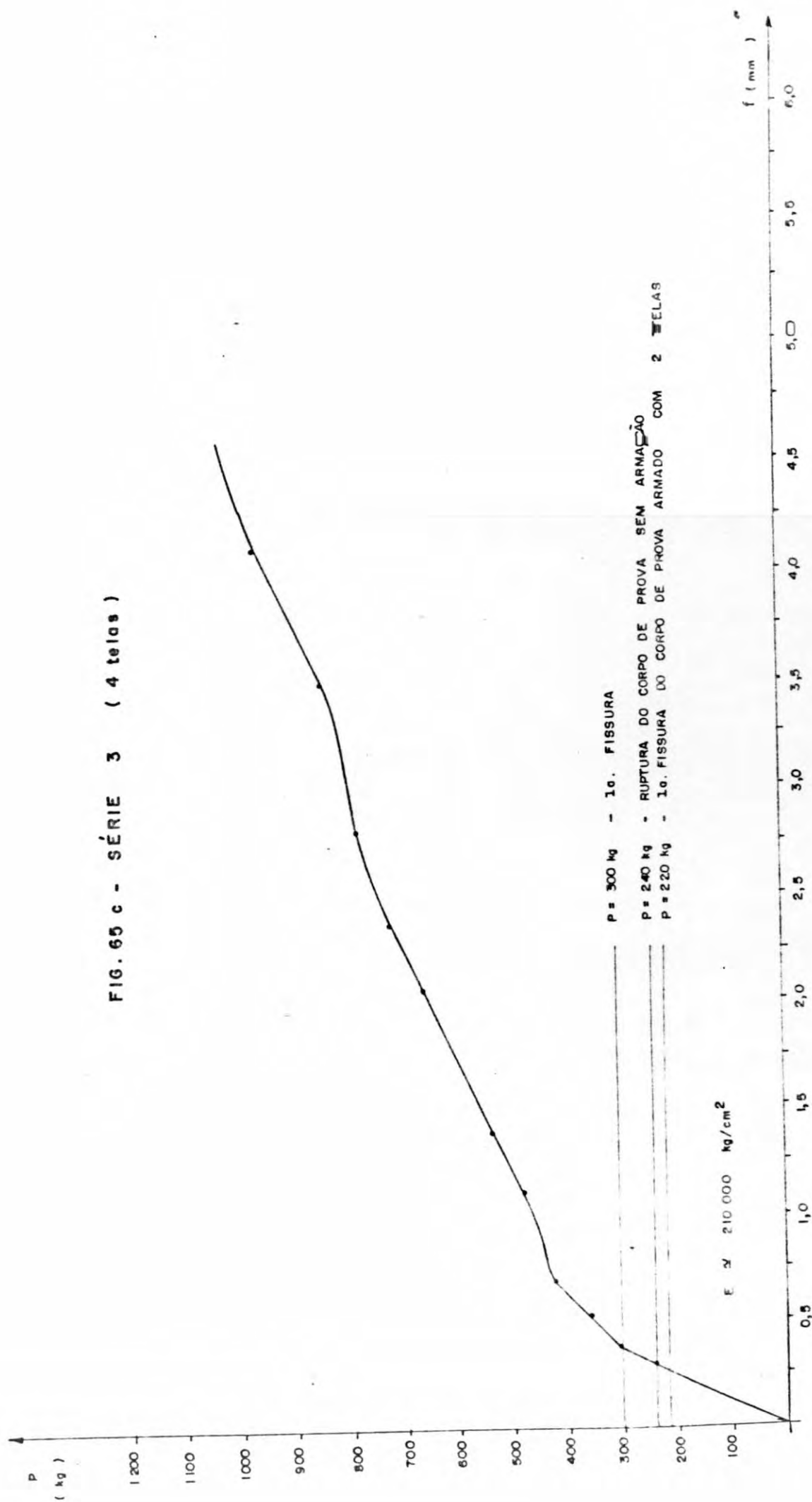
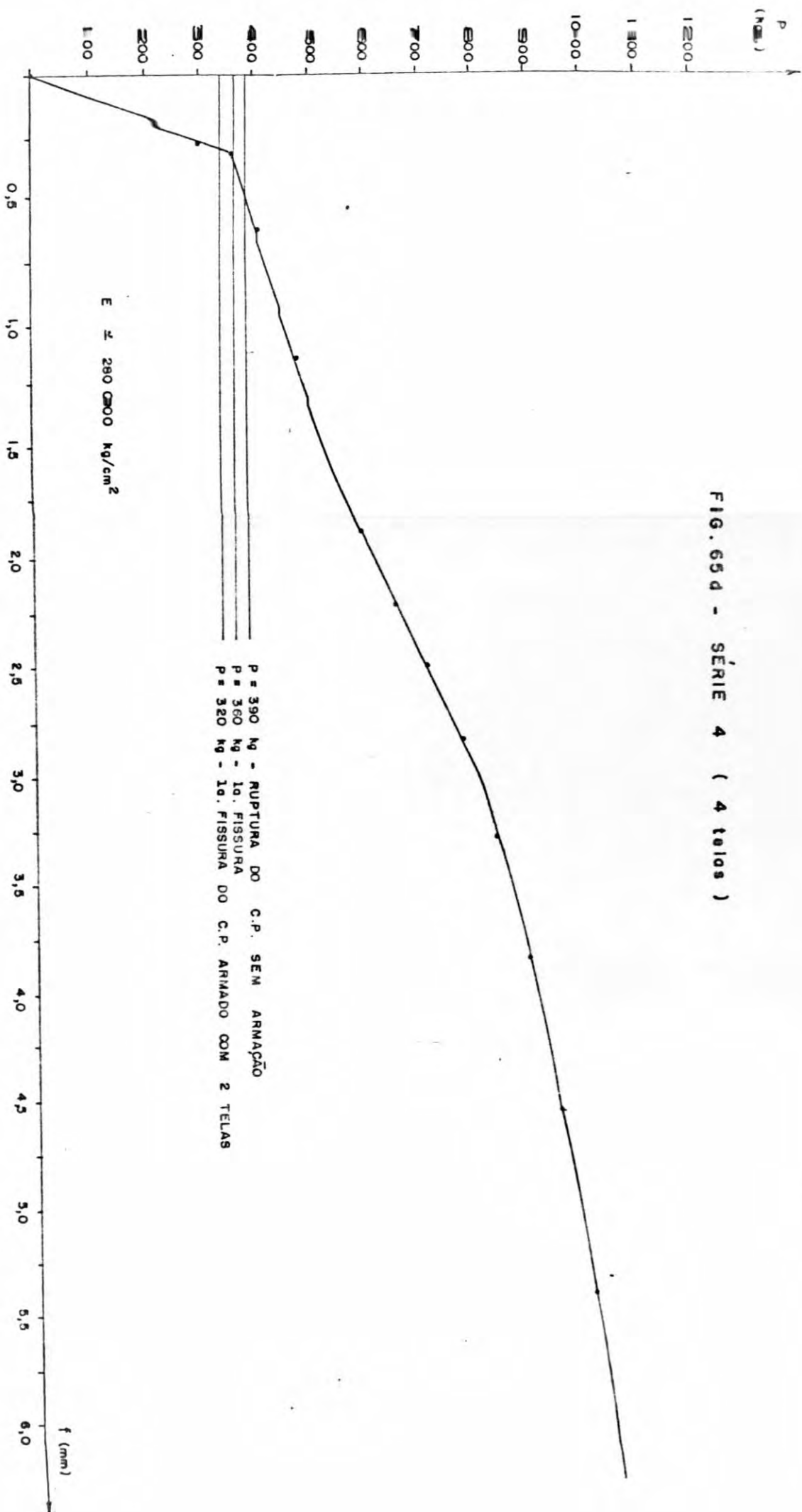


FIG. 65 d - SÉRIE 4 (4 telas)



5.5 - Análise dos resultados

5.5.1 - Módulo de elasticidade antes do aparecimento da primeira fissura.

Com os resultados obtidos, não foi possível visualizar qualquer influência da armadura no módulo de elasticidade à flexão. A tabela 28, mostra a variação do módulo de elasticidade à flexão, para os diversos corpos de prova ensaiados.

SÉRIE	MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO (kg/cm ²)			
	0 TELAS	1 TELA	2 TELAS	4 TELAS
1	254000	—	270000	270000
2	225000	310000	270000	300000
3	278000	267000	240000	210000
4	260000	270000	400000	280000

TABELA 28 - Variação do módulo de elasticidade antes do aparecimento da primeira fissura.

5.5.2 - Tensão de tração na flexão, no momento da abertura da primeira fissura

A observação da tabela 29, nos leva à estranha conclusão de que, a armação, até certo limite, provoca uma redução na tensão correspondente à abertura da primeira fissura. Este fato já foi observado nos ensaios de tração e de compressão pura, sendo que no caso da compressão, encontramos uma justificativa racional, qual seja, o fato das malhas flexionarem nas paredes finas do corpo de prova. Esta justificativa com relação à compressão, provém do fato de se iniciar a ruptura por compressão, com a abertura de fissuras nos planos onde estão colocadas as telas.

Em se tratando de tração pura ou de tração na flexão, acreditamos que o problema ocorra ainda pela falta de simetria na distribuição das telas, cujo efeito prejudicial já nos foi demonstrado no capítulo referente a ensaios de tração.

Série	Tensão de ruptura em corpos de prova cilíndricos (kg/cm ²)		Tensão de ruptura à tração para corpos de prova de seção retangular (kg/cm ²)	Tensão máxima de tração na flexão, no momento da abertura da primeira fissura. (kg/cm ²)			
	Comp.	Tracção		0 Tel.	1 Tel.	2 Tel.	4 Tel.
	610	40	32	59,7		59,7	62,2
	595	30	26	88,5	55,4	83,2	72,5
	647	39	40	51,2	51,2	45,0	64,0
	474	42	23	83,2	70,0	70,4	76,8
Média	581	37,75	35,25	70,65	62,16	64,57	70,37

TABELA 29 - Variações da tensão para a qual ocorreu a primeira fissura

Para ratificar o que vem sendo dito, com relação aos efeitos extremamente prejudiciais da distribuição assimétrica das tensões nas telas de armação, analisemos a série 2, comparando a tensão máxima de tração que rompeu o corpo de prova sem armação, com a tensão máxima de tração para a qual abriu a primeira fissura do corpo de prova armado com 1 tela.

Voltando as atenções à tabela 25.b, observando as deformações lidas nos extensômetros 2 e 4, concluímos imediatamente que houve neste ensaio, uma distribuição de tensões completamente irregular.

Fazendo a mesma análise para todas as séries de ensaios, obteremos conclusões semelhantes. Ressaltamos ainda a série 3, onde se verificou maior uniformidade, inclusive com relação ao acréscimo de tensão igual a $25 S_e$, no momento da abertura da primeira fissura, para o corpo de prova cuja superfície específica foi 0,42 (armado com 4 telas).

5.3 - Deformação por tração no momento da abertura da primeira fissura.

Mesmo sob a hipótese de se ter aberto a primeira fissura prematuramente, por força da assimetria das armaduras, julgamos importante analisar a deformação registrada nos extensômetros fixados na zona tracionada, basicamente pelo fato de que,

na prática, somente em espessuras relativamente deloadas, será possível uma distribuição de telas mais ou menos simétrica.

A tabela 30 mostra que a primeira fissura se abriu, quando era registrado no extensômetro, uma deformação da ordem de 10^{-5} .

Foi definido como instante da abertura da primeira fissura, aquele, para o qual, houve modificação de inclinação da curva carga/flecha. Em nenhum caso, a primeira fissura assim detectada, foi visível.

SÉRIE	Média das deformações registradas no extensômetro do nível inferior no momento da abertura da primeira fissura (o/oo)			
	0 telas	1 tela	2 telas	4 telas
1	—	—	0,29	0,14
2	0,17	0,10	0,16	0,14
3	0,08	0,10	0,12	0,15
4	0,17	0,17	0,14	0,14

TABELA 30 - Deformação por tração, na argamassa, no momento da abertura da primeira fissura.

5.5.4 - Espaçamento médio entre fissuras

No capítulo sobre tração, foi iniciada uma análise do problema do espaçamento médio entre fissuras, tendo ficado em aberto a questão. A título de informação, a tabela 31 apresenta os resultados obtidos em nossos ensaios.

Superfície específica cm^2/cm^3	Espaçamento médio entre fissuras cm
0,21	5,7
	5,1
	4,5
	5,7
0,42	2,3
	2,6
	2,3
	2,9

Fig. 31 - Espaçamento médio entre fissuras.

É importante deixar claro, que ocorreu a distribuição uniforme de fissura e, conseqüentemente, aberturas extremamente reduzidas, até a iminência de ruptura, notadamente no corpo, de prova armado com 4 telas, onde a primeira fissura visível ocorreu com carregamento perto de 2,5 vezes àquele para o qual ocorreu a primeira fissura, detectada pela inflexão no diagrama carga x flecha.

6 - CONCLUSÕES

6.1 - Conclusões relativas aos materiais

6.1.1 - Sobre argamassa simples

Com relação à argamassa, convém utilizar uma relação água/materiais secos, maior do que 0,1, uma vez que para relação abaixo deste valor, dificilmente se conseguirá um adensamento conveniente.

Outro fato importante, que vale a pena ressaltar, é que a influência da granulometria da areia é muito menos acentuada nos ensaios de tração do que nos ensaios de compressão, em corpos de prova de argamassa com a mesma consistência.

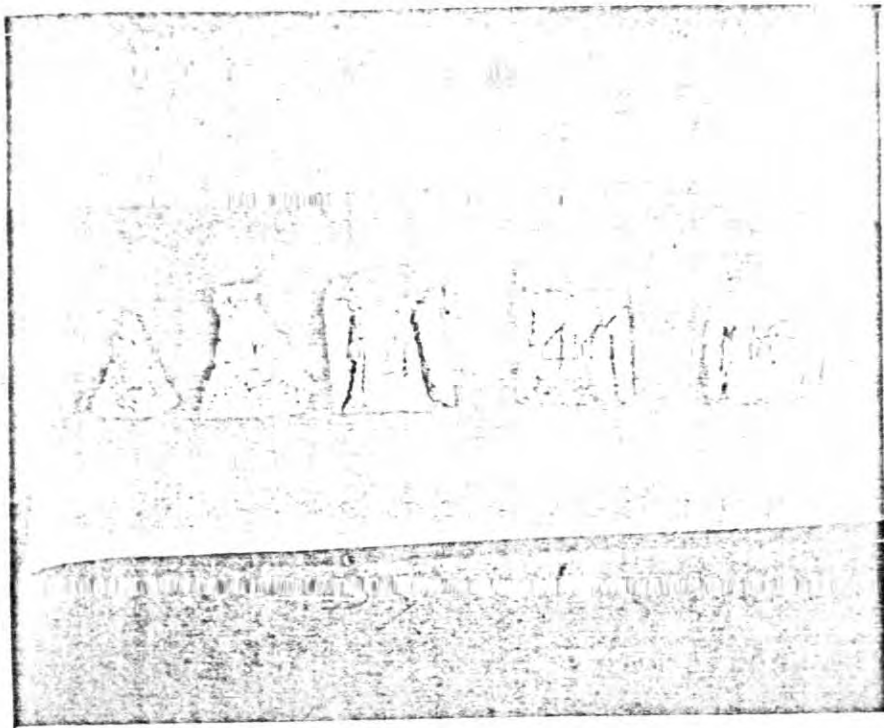
6.1.2 - Sobre argamassa armada, em compressão

O principal efeito da armação com telas, em corpos de prova de pequena espessura, foi a redução da resistência do corpo de prova armado, em relação ao corpo de prova não armado. Essa redução em limites máximos, chegou a 18% (*) em relação à resistência de corpos de prova de mesma geometria e, 30% em relação a corpos de prova cilíndricos.

Testando-se corpos de prova cúbicos, não se verificou nenhuma influência da armação com telas, na resistência à compressão. Os resultados obtidos nestes ensaios são mostrados na figura 66 e na tabela 32. Na figura 66, nota-se, pelo aspecto da ruptura, a tendência da abertura de fissuras nos planos onde estão colocadas as telas. Na tabela 32 figuram os resultados obtidos para a tensão de ruptura.

Quanto ao módulo de elasticidade, não se verificou nenhuma influência das armações neste parâmetro.

* Nos trabalhos de Naaman, que utilizou telas mais finas e argamassa menos resistente, esta redução atingiu 33%.



G. 66 - Aspecto da ruptura de corpos de prova cúbicos, submetidos à compressão. Os dois primeiros, da esquerda para a direita, não são armados. Os demais são armados com 2, 4 e 6 telas, do mesmo tipo das utilizadas nos ensaios anteriores.

Nº DE TELAS	TENSÃO DE RUPTURA (kg/cm^2)
0	408
	527
	388
2	416
	402
	403
4	397
	403
	416
6	403
	420
	417

APELA 32 - Resultados obtidos em uma série de corpos de prova cúbicos rompidos à compressão.

6.1.3 - Sobre argamassa armada, em tração

Analisando-se o problema da fissuração observa-se que no momento em que se formou a primeira trinca, a tensão correspondente atingiu valor maior que o valor da tensão de tração na argamassa simples, para o caso em que os corpos de prova estavam armados com 4 telas, isto é, quando a superfície específica de armação, na direção do carregamento, era de $0,628 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$.

Por outro lado, em (4), é apresentada uma curva que mostra que o valor do acréscimo de tensão referido acima, é da ordem de 25 vezes a superfície específica (S_e), na direção do carregamento, notadamente quando $0,4 \leq S_e \leq 1,6$.

Com relação ao espaçamento médio entre fissuras, os três processos indicados em 4.6.2, levam a valores bastante próximos. Resta entretanto, estudar qual o que melhor se adapta à argamassa armada, bem como de que forma os fios transversais da tela influenciam neste espaçamento.

Ainda, julgamos importante ressaltar os efeitos extremamente prejudiciais da assimetria na distribuição das telas, em relação à espessura.

Pela observação das figuras 44, 45 e 46, vemos como o acréscimo de telas produziu maior distribuição das fissuras, com conseguinte redução na abertura das mesmas.

6.1.4 - Sobre argamassa armada, em flexão

Devido às dispersões dos resultados, não foi possível analisar, com rigor, qual o valor da tensão, no instante em que se abriu a primeira fissura.

Na tentativa de analisar este problema, foi possível apenas, chegar-se mais uma vez, a verificar-se os efeitos negativos da distribuição assimétrica das telas, ao longo da espessura da peça.

Nestes ensaios de flexão, os problemas oriundos da assimetria na distribuição das telas, ficaram agravados pela espessura do corpo de prova (3cm).

Como apenas nos corpos de prova armados com 1 tela é que ocorreram os problemas mais graves, vale a recomendação de usar-se sempre, no mínimo 2 telas. Embora não se tenha sentido acréscimo na tensão para a qual ocorreu a primeira fissura,

uma característica ficou clara: as fissuras se distribuíram com grande uniformidade; o número de fissuras aumentou com o acréscimo de telas: a abertura das fissuras diminuíram com o acréscimo de telas.

6.2 - Conclusões relativas à metodologia de ensaios

6.2.1 - Geometria dos corpos de prova

A forma e as dimensões dos corpos de prova devem ser analisados como um problema fundamental antes do início dos ensaios propriamente ditos. Por exemplo, citamos o caso dos corpos de prova submetidos à flexão, neste trabalho. Estes poderiam ter sido feitos mais baixos e menos espessos, com relação altura/vão, da ordem de, pelo menos, 1/10.

Outro problema que deve ser levantado, é a necessidade de se obter ângulos retos, efetivamente retos. Todas as faces devem ser perfeitamente desempenadas. É necessário, também, grande preocupação com a centragem das armações, dos aparelhos de apoio e dos vínculos de qualquer espécie.

6.2.2 - Possibilidade de reprodução de argamassa com as mesmas características

Segundo trabalho realizado no "Instituto de Materiales y Modelos Estructurales"(7), é possível reproduzir mistura de concreto ou argamassa, com a mesma característica, observando-se as seguintes recomendações:

6.2.2.1 - Quanto aos agregados

- a) Manter os agregados nas mesmas condições, para todas as misturas. Secá-los no ambiente do laboratório e mantê-los assim, para todas as análises.
- b) Separar o agregado em 3 peneiras e fazer a sua composição nas proporções convenientes, cada vez, para cada mistura.

6.2.2.2 - Quanto à maneira de misturar

- a) Misturar mecanicamente por 3 minutos.
- b) Aguardar 3 minutos com a massa em repouso. (Neste intervalo, fazer um teste de plasticidade, adicionando água, quando necessário).
- c) Misturar mecanicamente, por mais 2 minutos.
- d) Aguardar 3 minutos, com a massa em repouso. Neste intervalo, fazer um teste de plasticidade e abandonar a mistura quando não se apresentar bastante próxima do esperado.
- e) Misturar mecanicamente por mais 1 minuto.
- f) Colocar a mistura em um recipiente e, virar manualmente a massa, enquanto são moldados os corpos de prova.
- g) Cuidar para que a cura seja absolutamente igual, para todas as amostras.

6.3 - Considerações finais

Grande número de pesquisadores têm realizado estudos sobre "ferro-cimento", armando na maioria dos casos, seus corpos de prova com telas que variam, em número, de 1 a 12, passando, pois, pela faixa de armacão que nos interessa.

Maaman, Shah, L. Colhen, Johnston, Howat, etc, já romperam mais de 500 corpos de prova em tração, compressão e flexão.

Analisando-se os resultados destes pesquisadores, vemos que a tensão, para a qual ocorre a primeira fissura, a deformação correspondente à resistência, ao impacto e à fadiga, enfim, todos os parâmetros que qualificam o "ferro-cimento" crescem de forma contínua, à medida que se aumenta o número de telas do armacão. Entretanto, quanto menor for o número de telas colocadas, maiores cuidados com a execução são necessários, para que se manifestem as vantagens deste tipo de armacão.

Comparando-se os dados obtidos pelos pesquisadores acima referidos, com os resultados conseguidos neste trabalho, julgamos fundamental destacar 4 recomendações:

- a) Usar argamassa de boa qualidade, procurando obter, em cilindros de 5cm de diâmetro e altura de 10cm, resistências por volta dos 380 kg/cm^2 , aos 28 dias.
- b) Usar, no mínimo, 2 telas, como garantia de melhora na distribuição da armadura.
- c) Sejam quantas forem as telas utilizadas, tentar localizá-las próximas às faces da peça.
- d) Evitar cobrimentos grandes. Shah conseguiu observar os efeitos favoráveis da armação com telas, de superfícies específicas (S_e), da ordem de $0,2 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ com cobrimento de 3mm.

B I B L I O G R A F I A

CORDON, WILLIAM A. Evaluation of concrete and Mortar Mixes. Journal of the American Concrete Institute. Detroit, 7(31): 569-80.-Jan. 1960.

SOBRAL, HERNANI SAVIO. Contribuição ao Estudo da Argamassa dos Concretos. Salvador, s.c.p, 1963. 92p.

NAAMAN, ANTOINE & RAMOS, CARLOS. Propriedades mecânicas del Ferrocemento em Tracción, Flexión y Compresión. Boletim IMME. Caracas 9(33/34): 3-50. ene/jun. 1971.

CASTRO ORVAÑANOS, JOSÉ. El Ferrocemento y sus aplicaciones. Revista INCYC. Mexico, 13(78): 29-35. ene/feb. 1976.

FRATELLI de CAMPORA, GRACIELA. El Ferrocemento. Buenos Aires, s.c.p. 42p.

——— Reproducibilidad de Mezclas experimentales de Concreto. Instituto de Materiales y Modelos estructurales. Caracas. s.c.p. ago. 1971. 11p.

Data 29 / 8 / 1989
Proc. _____
Ped. _____
Liv. _____
Cr\$ Luca xerox / SET / 1989

T 7 A 9 0 0 1 3 7 0