

FORMA PNEUMÁTICA TUBULAR PARA CONSTRUÇÃO DE EMISSÁRIOS DE ESGOTOS

Eng.º ALCINDO CÍCERO CAMANO (*)

SUMÁRIO

1. CARACTERÍSTICAS E DIMENSÕES DA FORMA PNEUMÁTICA TUBULAR
2. CÁLCULO ESTRUTURAL DE GALERIAS DE SECÇÃO CIRCULAR
3. TÉCNICA DE EXECUÇÃO DE GALERIAS DE SECÇÃO CIRCULAR
4. PREÇO APLICADO DA FORMA PNEUMÁTICA TUBULAR
5. COMPARAÇÃO DE PREÇOS ENTRE GALERIAS MOLDADAS
6. USO DA FORMA PNEUMÁTICA NA EUROPA
7. APLICAÇÃO DA FORMA PNEUMÁTICA TUBULAR NA CONSTRUÇÃO DE INTERCEPTORES DE ESGOTOS NA GRANDE SÃO PAULO

O trabalho apresenta um método construtivo para execução de galeria moldada «in loco» com secção interna circular.

A secção circular é obtida através de uma forma pneumática tubular, de patente italiana e que este ano está sendo empregada em São Paulo na construção de emissários de esgotos.

São feitas comparações de custo entre galerias moldadas de secção quadrada e circular, mostrando a redução do consumo de aço e madeira obtida nas obras da SABESP com a aplicação da forma pneumática tubular.

1. CARACTERÍSTICAS E DIMENSÕES DA FORMA PNEUMÁTICA TUBULAR

A forma pneumática tubular é uma câmara de ar cilíndrica, feita com tela de nylon revestida de neoprene. Ela é fabricada por colagem manual a frio destas peças de nylon-neoprene, que formam o corpo e as duas pontas da câmara cilíndrica. A finalidade do neoprene é tornar a câmara estanque para ser inflada e a da tela de nylon é tornar fixo o diâmetro na pressão de trabalho.

A câmara, depois de inflada, adquire resistência à carga externa distribuída, podendo ser envolvida com material a granel sem se deformar.

A altura máxima de recobrimento acima da geratriz superior é função da pressão de trabalho e da densidade do material de recobrimento, podendo esta altura alcançar até 1,20 m no caso do concreto.

A propriedade de não se deformar sob a ação de carga externa distribuída permite o uso deste tipo de câmara como forma interna para lançamento de concreto, obtendo-se galerias de secções circulares.

A figura abaixo esquematiza o carregamento distribuído sobre a forma pneumática tubular, na pressão de trabalho.

A forma pneumática tubular é fornecida com diâmetros variando de 0,10 a 3,00 metros e comprimento variando de 10 a 40 metros.

A câmara cilíndrica trabalha com pressão interna de 0,20 a 0,40 atmosferas, dependendo do diâmetro. Ela possui um re-

(*) Superintendente de Construção da CSA-SABESP.

servatório compensador de ar para evitar abaixamento da pressão interna e, também, uma válvula de segurança para evitar pressões acima das especificadas.

2. CÁLCULO ESTRUTURAL DE GALERIAS DE SECÇÃO CIRCULAR

O estudo das tensões na estrutura provenientes do carregamento normalmente adotado para uma galeria construída em área urbana (recobrimento de terra variando de 0,50 a 5,00 m mais o TB-36) e com pressão interna de até 10 m.c.a., demonstra que as tensões máximas de tração e compressão são muito baixas, da ordem de 4 a 5 kg/cm², devido à forma circular da estrutura.

Para este estudo, a secção foi dividida em vários elementos, calculando-se com auxílio do computador as tensões em cada um, nas várias hipóteses de carregamento. Na secção \varnothing 1,50 m, indicada no desenho n.º 3, o elemento E-32 apresentou a máxima tração σ máx. T = 4,10 kg/cm² e o elemento E-29 apresentou a máxima compressão σ máx. C = 4,60 kg/cm².

O consumo de aço necessário é também abaixo, da ordem de 20 a 25 kg/m³ de concreto contra 70 a 90 kg/m³, normalmente usado em uma estrutura de secção retangular, ou quadrada.

As juntas elásticas estão previstas na mudança do tipo de fundação e também em cada poço de visita, distante, um do outro de 100 a 120 metros.

Estas juntas são apenas para absorver os efeitos da dilatação térmica e da retração, uma vez que a estrutura monolítica da galeria absorve os esforços provenientes de possíveis recalques do solo de fundação.

3. TÉCNICA DE EXECUÇÃO DE GALERIAS DE SECÇÃO CIRCULAR

A construção de galerias de concreto armado, moldadas no local com secção circular, é bastante simples com a forma pneumática tubular.

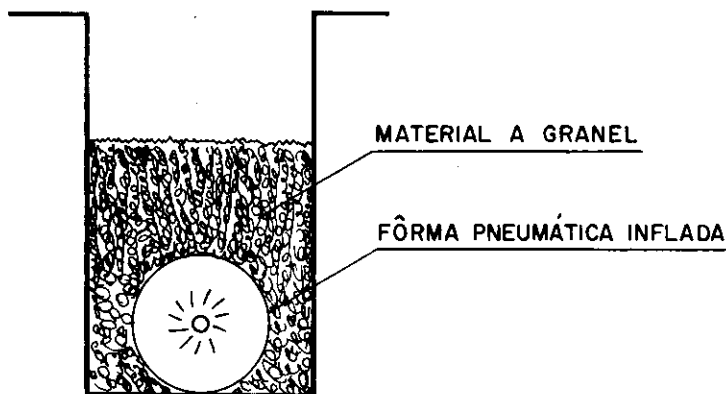
O processo construtivo é feito na seqüência abaixo:

Execução do lastro de brita e de concreto

Estas operações são idênticas às do processo tradicional de construção de galerias moldadas no local.

Concretagem do radier armado sobre o lastro de concreto

A parte superior do radier é feita em arco, cujo diâmetro é menor ou igual ao



Desenho n.º 1



Foto 1 – Concretagem do Radier.

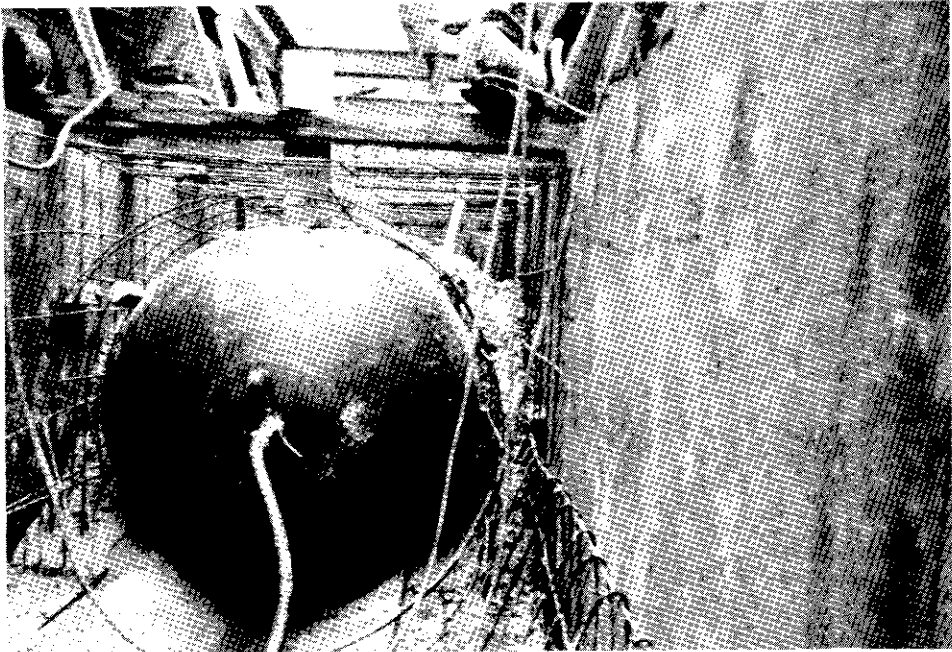
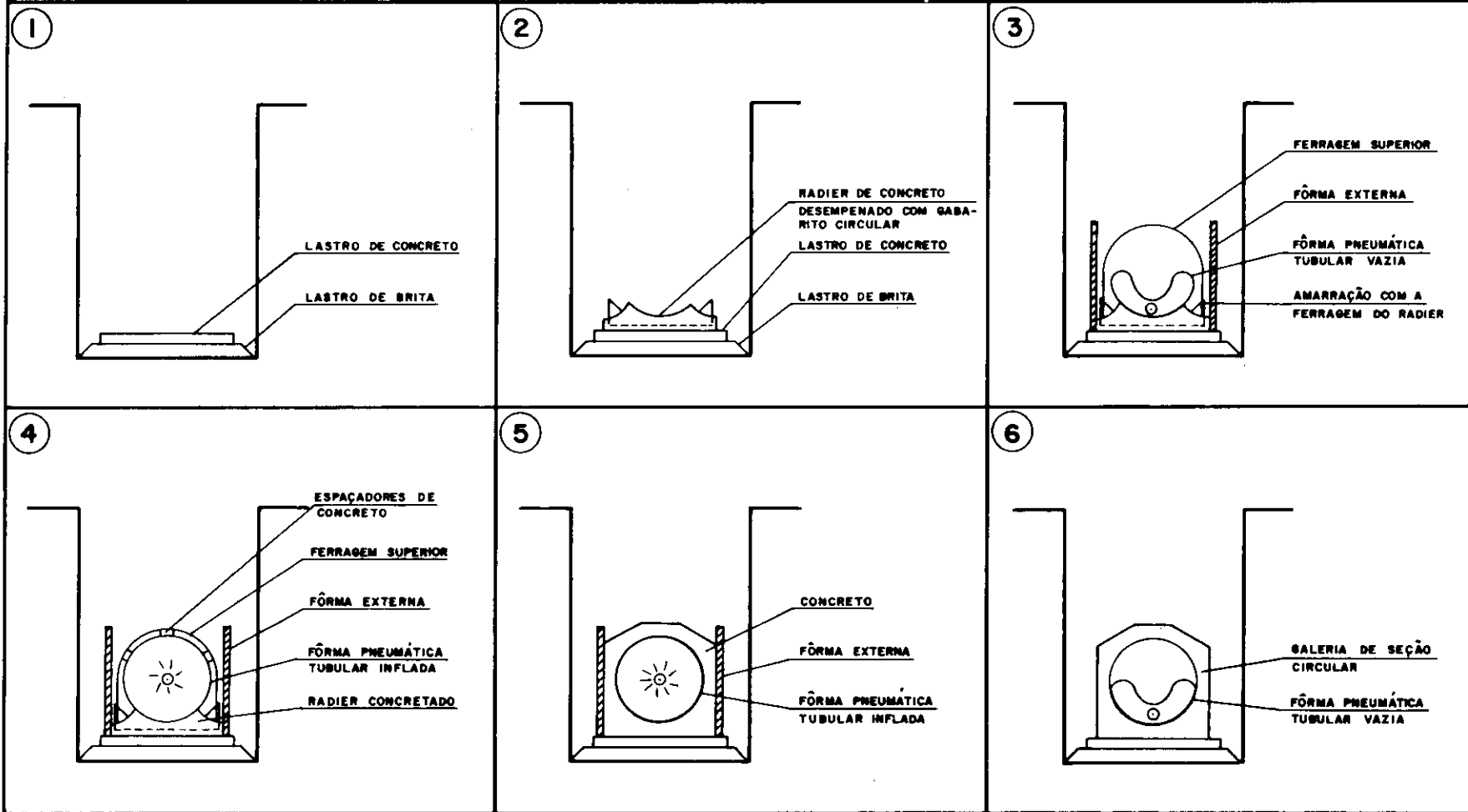


Foto 2 – Lançamento do concreto da cobertura.

SEQUENCIA DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE GALERIA MOLDADA "IN-LOCO"
SEÇÃO CIRCULAR COM O EMPREGO DA FORMA PNEUMÁTICA TUBULAR



Desenho n.º 2

da forma pneumática tubular, dependendo do tipo da secção desejada para galeria (foto 1).

Colocação da ferragem superior e da forma externa

Estas operações são idênticas às do processo tradicional de construção de galerias moldadas no local.

Colocação de forma pneumática tubular

Há necessidade de fixar bem a forma pneumática tubular já inflada, para que ela não se desloque por flutuação, ou mesmo lateralmente, na concretagem. Esta fixação é conseguida por meio de espaçadores de concreto, colocados entre a ferragem superior e a forma pneumática tubular. A ferragem superior é amarrada fortemente na ferragem inferior do radier concretado.

Lançamento do concreto

O lançamento do concreto deve ser feito simultaneamente nos dois lados da forma pneumática para evitar pequenos deslocamentos laterais, conseguindo-se, assim, melhor acabamento (foto 2).

Retirada da forma externa e deslocamento da forma pneumática tubular para a nova concretagem

A forma pneumática tubular é esvaziada 12 horas após a concretagem e sua descolagem do concreto é bastante fácil.

Observa-se pela seqüência das operações aqui descritas que o processo é repetitivo e de fácil aprendizagem por parte dos operários da obra.

4. PREÇO APLICADO DA FORMA PNEUMÁTICA TUBULAR

A forma pneumática tubular é produzida pela empresa italiana SOCAP — Società Casseforme Pneumatiche Tubolari ed Affini com sede em Milão, Via Boccaccio, 39.

A sua aplicação no Brasil depende da compra da forma pneumática tubular através de importação, o que onera sobremaneira o seu custo em relação ao país de origem. Mesmo assim, os resultados obtidos para o custo do metro quadrado aplicado, da forma pneumática tubular, indicam como vantajosa a sua utilização.

Os índices de consumo e os preços usados na composição abaixo, foram obtidos nas obras do Interceptor Leste, Margem Norte, do Rio Tietê, que está sendo executado com a forma pneumática tubular, e nos dados fornecidos pelo setor de equipamentos da SABESP, que está acompanhando a importação de 9 (nove) formas que serão utilizadas na construção do Interceptor de Mogi das Cruzes — Suzano.

É importante lembrar que o custo do metro quadrado de forma aplicada é função da quantidade de serviço que será executada na obra, ou seja, é função do número de metros quadrados em que o custo da forma pneumática tubular será diluído.

Suponhamos que a obra compreenda a construção de uma galeria de diâmetro \varnothing 1,50 m com 1.500 metros de comprimento.

O custo FOB-fábrica de uma forma pneumática tubular de diâmetro \varnothing 1,50 m, com comprimento de 20,00 metros é de Cr\$ 36.454,00, de acordo com a tabela da SOCAP, considerando o valor do dolar a Cr\$ 6,10. O custo CIF-obra sofre um acréscimo de 70%, totalizando Cr\$ 61.971,80.

Nesta obra serão executados 7.065 m² de forma interna circular, resultando o custo de amortização da forma pneumática tubular em Cr\$ 8,77/m², a saber:

$$61.971,80 : 1.500 \pi d = \text{Cr\$ } 8,77/\text{m}^2$$

Para se obter o custo do metro quadrado aplicado, o custo de amortização deve ser acrescido do custo operacional e do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas):

forma pneumática tubular	1,00	m ²	8,77	8,77
compressor 160 PCM	0,01	h	30,00	0,30
tábua de pinho para guia de concretagem	0,20	m	5,00	1,00
pontaletes de pinho para guia de concretagem	0,30	m	2,90	0,87
pregos	0,02	kg	2,60	0,05
encarregado	0,20	h	4,80	0,96
carpinteiro	0,40	h	2,75	1,10
ajudante	1,20	h	1,60	1,92
leis sociais	85	%	3,98	3,38
B.D.I.	30	%	18,35	5,50

Cr\$ 23,85/m²

(Os preços se referem a junho de 1973.)

Foram também considerados nesta composição os dados obtidos em obra similar, visitada na primeira quinzena de setembro de 1973, na cidade de Milão, Itália.

Nesta visita foram anotados os equipamentos usados, número de homens trabalhando, manuseio e transporte da forma pneumática tubular, produção diária de galeria de secção circular, concretagem, desforma e acabamento, sendo estes dados comparados com os da obra

em execução pela SABESP para efeito da aferição dos índices usados na composição.

5. COMPARAÇÃO DE PREÇOS ENTRE GALERIAS MOLDADAS

Para uma mesma secção interna, o volume de concreto usado em uma galeria de secção quadrada é menor do que o volume usado na construção de uma galeria de secção circular.

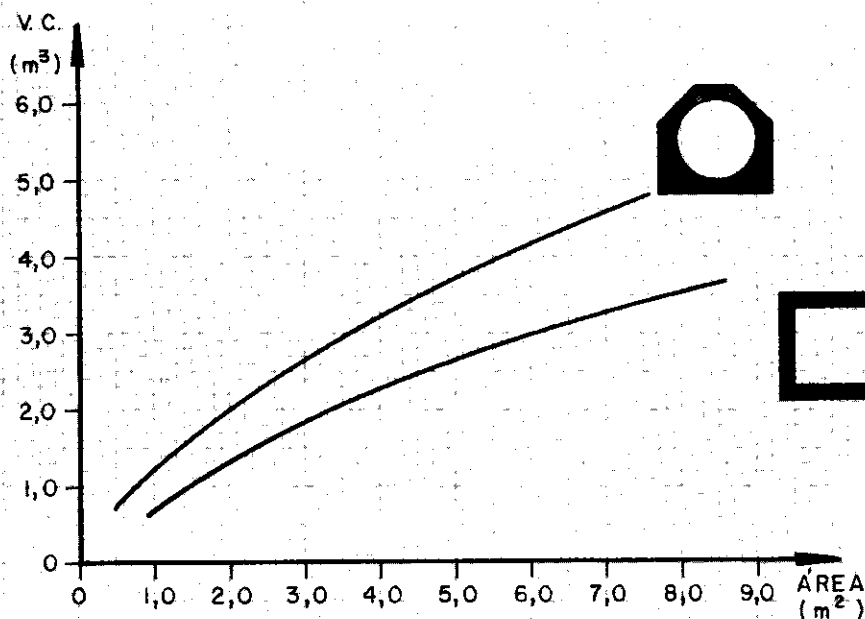


Gráfico n.º 1 - V.C. = Volume de concreto por metro de galeria (m³)
ÁREA = Secção Interna da galeria (m²)

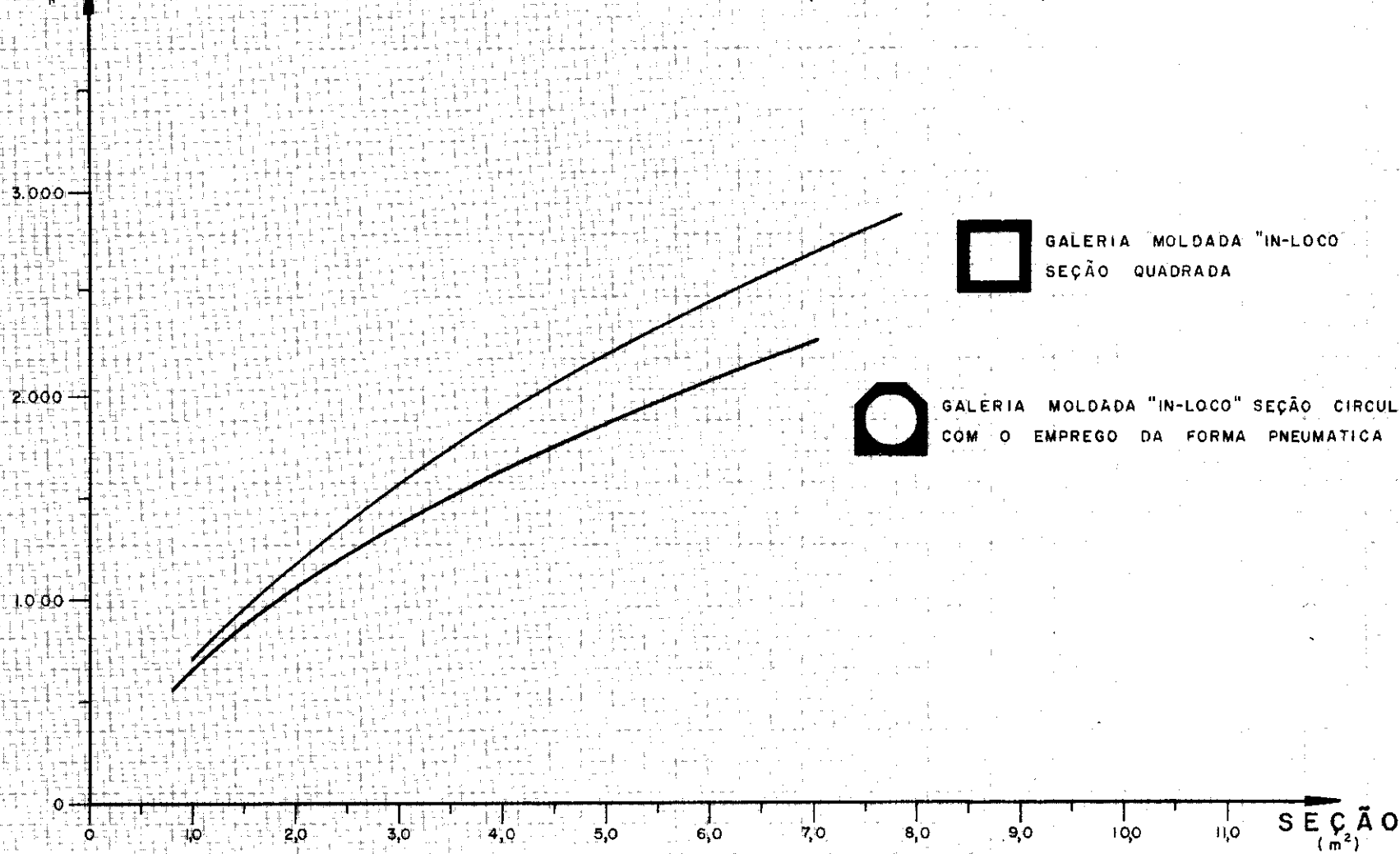
A redução de custo obtida pela diminuição do consumo de aço e madeira, necessários para a construção de uma galeria de secção circular com o emprego da forma pneumática, é maior do que o aumento de custo proveniente do aumento do volume do concreto, resul-

tando um decréscimo no preço final, conforme mostra a tabela n.º 1.

A essência do processo construtivo é a redução do consumo de aço e madeira, materiais de maior dificuldade de obtenção, bem como, a redução sensível da mão de obra, uma vez que:

Cr. \$

GRÁFICO DE CUSTO EM FUNÇÃO DA SEÇÃO INTERNA



GALERIA MOLDADA "IN-LOCO"
SEÇÃO QUADRADA



GALERIA MOLDADA "IN-LOCO" SEÇÃO CIRCULAR
COM O EMPREGO DA FORMA PNEUMÁTICA

Gráfico n.º 2

- a substituição da secção quadrada por circular reduz 75% do consumo de aço na estrutura;
- a substituição da forma plana interna de madeira pela forma pneumática tubular reduz 50% o consumo da madeira;
- diminuindo-se o consumo de aço e madeira, o número de homens especializados (carpinteiros e ferreiros) necessários à obra é também reduzido sensivelmente;
- a velocidade de execução da galeria aumenta, reduzindo as despesas fixas e o tempo de aplicação dos investimentos;
- o investimento necessário para aquisição de forma pneumática é bem menor do que o investimento referente ao aço e madeira para o processo tradicional de construção de galerias de secções quadradas ou retangulares.

Para efeito comparativo foram calculados os custos das seguintes galerias:

- em concreto armado moldada in loco, fundação direta, secção quadrada;
- em concreto armado moldada in loco, fundação direta, secção circular, executada com forma pneumática tubular.

As curvas do gráfico n.º 2 mostram os preços por metro de galeria em função da área interna, obtendo destas curvas o custo comparativo entre secções hidráulicas equivalentes.

Pela fórmula de Manning, verifica-se que uma secção quadrada de 4,00 m² é hidráulicamente equivalente a uma secção circular com 3,80 m², ambas trabalhando a 95%.

Nas curvas de custo, temos os custos de Cr\$ 1.900,00/m para a secção quadrada de 4,00 m² e Cr\$ 1.575,00/m para a secção circular hidráulicamente equivalente.

Os cálculos dos valores para formação das curvas de custo referem-se a junho de 1973.

6. USO DA FORMA PNEUMÁTICA TUBULAR NA EUROPA

O processo construtivo na Europa acha-se bastante difundido entre as projetistas de obras hidráulicas e também entre as construtoras e órgãos públicos, sendo usado com sucesso há mais de 25 anos.

O emprego do processo em larga escala possibilitou à empresa fabricante da

forma pneumática tubular criar um **departamento de locação** desse equipamento, possuindo, em setembro de 1973, mais de 300 formas alugadas para as construtoras.

Isto quer dizer que a empreiteira que usa o processo não se onera com a aquisição da forma, tornando sempre viável a aplicação do método mesmo em obras de galerias de pequeno comprimento.

O preço de locação é estabelecido por metro de galeria em função do diâmetro.

Como exemplo, citamos que uma forma pneumática tubular de diâmetro \varnothing 1,50 m, de 20,00 metros de comprimento é alugada a Cr\$ 6,00 por metro de galeria, ou seja, a Cr\$ 1,27 por metro quadrado, custo baixo para esse tipo de serviço.

7. APLICAÇÃO DA FORMA PNEUMÁTICA TUBULAR NA CONSTRUÇÃO DE INTERCEPTORES DE ESGOTOS NA GRANDE SÃO PAULO

O processo construtivo de galerias com o emprego da forma pneumática tubular vem sendo pesquisado pela SABESP desde junho de 1972.

Após esses estudos foi autorizada, experimentalmente, a construção do Interceptor Norte, Margem Leste, do Rio Tietê — 2.º Trecho, com diâmetro de \varnothing 1,10 m e extensão de 700 metros.

Em 20 dias foram executados 150 metros de galeria de secção circular com o emprego de forma pneumática tubular de 10,00 m de comprimento. A produção teve de ser interrompida, uma vez que a velocidade de abertura da vala é bem menor do que a velocidade de execução da galeria, por ser tratar de obra com profundidade de 5,00 metros, escorada com perfis metálicos e pranchas de madeira e com incidência de rocha na escavação. A produção conseguida é similar a obtida por empresa européia, cujas obras tiveram oportunidade de visitar em Milão.

Em face dos resultados da experiência, a SABESP autorizou a execução de 12.000 m de galerias moldadas «in loco», secção circular, com diâmetro variando de \varnothing 1,30 m a 1,50 m para construção do Interceptor de Esgotos Mogi-Suzano.

No nosso ponto de vista, a implantação deste processo no Brasil é uma questão de tempo, dependendo apenas de uma maior divulgação nos meios técnicos.

TABELA DE CÁLCULO DE CUSTO EM FUNÇÃO DA SEÇÃO INTERNA

GALERIA MOLDADA "IN-LOCO" DE SEÇÃO CIRCULAR COM FORMA TUBULAR PNEUMÁTICA

ÍNDICE	Ø 1,00 m A = 0,785 m ²			Ø 1,50 m A = 1,76 m ²			Ø 2,00 m A = 3,14 m ²			Ø 2,50 m A = 4,90 m ²			Ø 3,00 m A = 7,06 m ²		
	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.
V.C.	0,98	300,00	294,00	1,80	300,00	540,00	2,75	300,00	825,00	3,70	300,00	1.110,00	4,60	300,00	1.380,00
Fe	21,56	4,50	97,02	39,60	4,50	178,20	60,50	4,50	272,25	91,40	4,50	366,30	101,20	4,50	456,40
FE.	2,44	35,00	85,40	3,56	35,00	124,60	4,40	35,00	154,00	4,96	35,00	173,60	6,22	35,00	217,70
F.I.	3,14	23,85	74,89	4,71	23,85	112,33	6,26	23,85	149,78	7,88	23,85	187,22	9,42	23,85	224,67
TOTAIS			581,31			986,13			1401,03			1887,12			2277,77

GALERIA MOLDADA "IN-LOCO" DE SEÇÃO QUADRADA

ÍNDICE	Ø 1,00 m A = 1,00 m ²			Ø 1,40 m A = 1,96 m ²			Ø 1,80 m A = 3,24 m ²			Ø 2,20 m A = 4,89 m ²			Ø 2,80 A = 7,84 m ²		
	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.
V.C.	0,74	300,00	222,00	1,30	300,00	390,00	1,95	300,00	585,00	2,60	300,00	780,00	3,81	300,00	1.143,00
Fe	58,20	4,50	261,90	104,00	4,50	468,00	156,00	4,50	702,00	206,00	4,50	926,00	280,80	4,50	1.263,60
FE.	2,64	35,00	92,40	3,72	35,00	130,20	4,80	35,00	168,00	5,40	35,00	189,00	6,80	35,00	238,00
F.I.	3,00	40,00	120,00	4,20	40,00	168,00	5,40	40,00	216,00	6,60	40,00	264,00	8,40	40,00	336,00
TOTAIS			700,80			1.156,20			1.664,00			2.169,00			2.990,60

GALERIA DE TUBO PRÉ MOLDADO C.A.3 JUNTA ELÁSTICA

ÍNDICE	Ø 1,10 m A = 0,95 m ²			Ø 1,40 m A = 1,54 m ²			Ø 1,80 m A = 2,54 m ²			Ø 2,00 m A = 3,14 m ²			Ø 2,50 m A = 4,90 m ²		
	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.	Q	P.U.	P.T.
TUBO	1,00	664,00	664,00	1,00	916,00	916,00	1,00	1.260,00	1.260,00	1,00	1.458,00	1.458,00	1,00	2.232,00	2.232,00
V.C.	0,43	220,00	94,60	0,58	220,00	127,60	0,82	220,00	180,40	0,96	220,00	211,20	1,34	220,00	294,80
Fe	9,24	4,50	41,58	11,08	4,50	49,86	13,55	4,50	60,98	14,78	4,50	66,81	17,86	4,50	80,37
FE.	2,00	5,50	11,00	2,00	5,50	11,00	2,00	5,50	11,00	2,00	5,50	11,00	2,00	5,50	11,00
ASS.	1,00	80,00	80,00	1,00	100,00	100,00	1,00	150,00	150,00	1,00	185,00	185,00	1,00	290,00	290,00
TOTAIS			911,18			1.206,46			1.662,38			1.931,71			2.908,17

A = ÁREA
Q = QUANTIDADES
P.U. = PREÇO UNITÁRIO

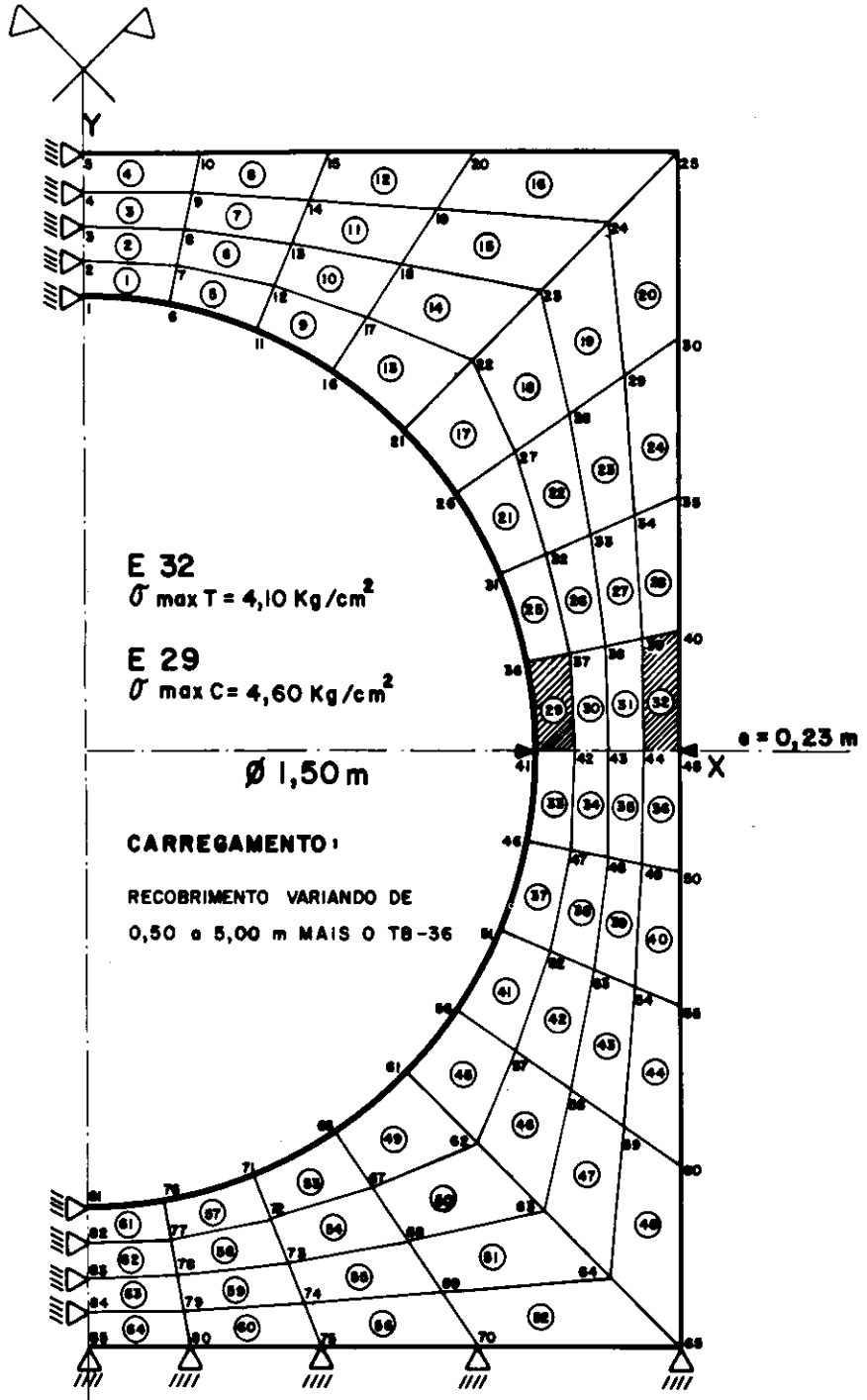
P.T. = PREÇO TOTAL
V.C. = VOLUME DE CONCRETO
Fe = FERRAGENS

FE. = FORMA EXTERNA
F.I. = FORMA INTERNA
ASS = ASSENTAMENTO

Tabela n. 1

ESTUDO DE TENSÕES

GALERIA SEÇÃO CIRCULAR



Desenho n.º 3