

Doc-S/86

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

REUNIÃO ANUAL DE 1987

São Paulo, 20 a 24 de julho

COLÓQUIO SOBRE INDUSTRIALIZAÇÃO DAS
CONSTRUÇÕES DE CONCRETO

GALERIAS ENTERRADAS: NOVAS
POSSIBILIDADES DE CONSTRUÇÃO

Engº Mounir Khalil El Debs^{)}*

(*) Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos.

GALERIAS ENTERRADAS: NOVAS POSSIBILIDADES DE CONSTRUÇÃO

Mounir Khalil El Debs

Professor do Departamento de Engenharia Civil
da Universidade Federal de São Carlos

RESUMO

Objetivo

O objetivo do trabalho é o de apresentar um sistema construtivo que utiliza elementos pré-moldados, com espessuras das paredes menores que as normalmente empregadas, para a construção de galerias enterradas com o porte que se estende do correspondente aos tubos de concreto armado até o correspondente às pontes de pequeno porte.

Desenvolvimento

As galerias enterradas representam uma considerável parcela dos custos da construção de infraestrutura urbana e de estradas, o que justifica a busca de novas possibilidades de construção que reduzam o seu custo.

Apresentam-se os sistemas construtivos correntemente empregados neste tipo de obra, para possibilitar as suas comparações com o sistema construtivo proposto.

Descreve-se o comportamento estrutural dos condutos enterrados, mostrando a importância de se utilizar espessuras pequenas nas paredes.

Apresenta-se o sistema construtivo proposto que tem como principais características: (1) o emprego de elementos pré-mol_dados e (2) o comportamento estrutural, que visa tirar proveito da flexibilidade das paredes. São mostradas as várias possibilidades abrangidas com o sistema em questão.

Apresenta-se exemplo de aplicação do sistema construtivo proposto, para uma situação representativa e a sua comparação, com relação a uma estimativa de custos, com os sistemas construtivos usuais.

Conclusões

O sistema construtivo proposto apresenta uma série de aspectos relevantes, calcados em suas características principais, que diretamente ou indiretamente se refletem na redução do custo da construção de galerias.

Uma comparação, com relação a uma estimativa de custos, entre o sistema construtivo proposto e os sistemas construtivos usuais, para uma situação representativa indica que a redução de custos – da ordem de 20% – é significativa.

1. INTRODUÇÃO

A denominação "galerias" é aqui empregada para obras completa ou parcialmente enterradas no solo, que fazem parte do sistema de drenagem, urbana ou de estradas, ou que funcionam como passagem inferior viária ou de serviço.

As galerias apresentam variação muito grande quanto ao porte, partindo de dimensões correspondentes às tubulações de pequenos diâmetros em cerâmica, cimento-amianto, concreto simples, etc., as quais não são objeto do trabalho, até às de grande abertura, correspondentes às pontes de pequeno porte.

Devido ao grande número, no caso de drenagem de estradas, ou ao considerável comprimento, no caso de drenagem urbana, as galerias representam uma significativa parcela do custo da construção de estradas ou de infra-estrutura urbana.

Embora não se disponha de maiores dados quantitativos dos gastos dispendidos nessas obras, as poucas referências – no caso obras rodoviárias – ilustram essa afirmação. SOUZA PINTO e outros (1975) indicam valores da ordem de 10% a 15% do custo de implantação de uma rodovia para a construção das obras de arte correntes, o que inclui os muros de arrimo e as galerias de drenagem. Outras citação, embora não enquadrada nas consições nacionais, mas que, através de uma extração dos valores indicados permite avaliar a ordem de grandeza dos gastos, é apresentada em KRIZEK e outros (1971), e indica gastos da ordem de quinhentos milhões de dólares anuais em galerias de drenagem em rodovias nos Estados Unidos da América.

Um quesito bastante importante na implantação desse tipo

de obra é a rapidez de construção. Estando as galerias normalmente em fundo de vale, elas estão sujeitas, durante a construção, a infortúnios provocados por inundações. Também a construção de galerias em regiões urbanizadas normalmente produz transtornos, principalmente no sistema viário e no fornecimento de serviços, que devem, sempre que possível, ser minimizados. Na construção de estradas, a rapidez de construção permite maior mobilidade na utilização de equipamentos de terraplenagem, reduzindo as horas ociosas destes equipamentos. Por isto o sistema construtivo proposto aqui utiliza-se da técnica da pré-moldagem, pois, mesmo que parcial, ela permite a redução do tempo de construção.

O emprego da pré-moldagem, em qualquer tipo de construção, deve ser equacionado tendo como condicionante principal o equipamento de transporte e elevação disponível no local de implantação da obra. Para viabilizar o emprego da pré-moldagem em galerias de maior porte, utilizam-se, no sistema construtivo proposto, elementos pré-moldados compatíveis com os equipamentos comuns nesse tipo de obra.

2. SISTEMAS CONSTRUTIVOS USUAIS

Os sistemas construtivos usualmente empregados em galerias estão sendo apresentados com o objetivo de servirem para comparação com o sistema construtivo proposto. Estes sistemas podem ser divididos em três categorias:

- a) galerias de elementos pré-moldados de concreto armado;
- b) galerias de concreto armado moldado no local;
- c) galerias metálicas.

Com esta classificação, diferenciam-se as galerias quanto ao aspecto construtivo, quanto ao material empregado e quanto ao comportamento estrutural.

As galerias metálicas são enquadradas na categoria de condutos flexíveis, que são aqueles que suportam as cargas verticais principalmente pela mobilização das pressões laterais do solo; assim a estrutura resistente será o revestimento — a estrutura propriamente dita — e o solo.

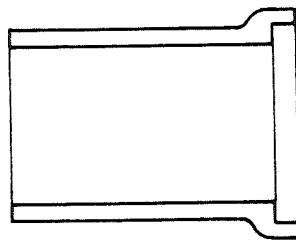
As galerias de concreto armado são normalmente enquadradas

das na categoria dos condutos rígidos, que são aquelas que suportam as cargas por sua própria resistência.

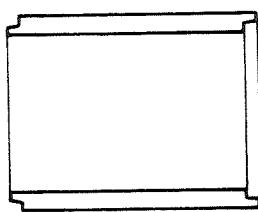
2.1 - Galerias de elementos pré-moldados de concreto

As galerias construídas com elementos pré-moldados de concreto podem ser qualificadas em duas categorias: (1) sem emenda na seção transversal e (2) com emenda na seção transversal.

As galerias construídas sem emendas na seção transversal são as de uso corrente, destacando-se entre elas os tubos circulares, mostrados na figura 1.



Tubo com junta tipo
ponta e bolsa.



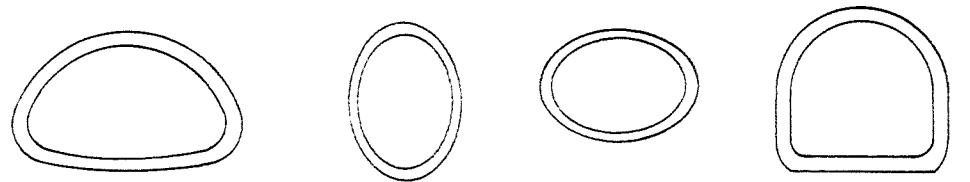
Tubo com encaixe de
meia espessura.

FIG. 1 - TUBOS CIRCULARES DE CONCRETO

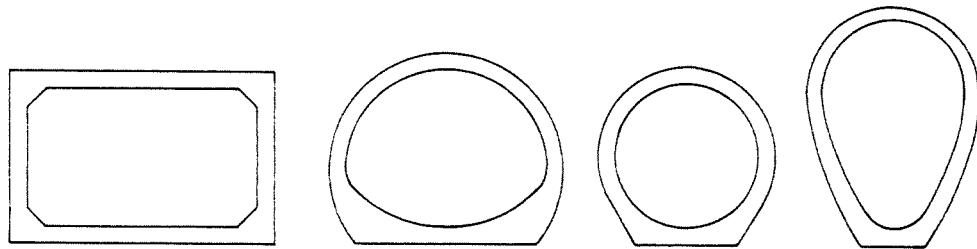
Nas galerias construídas com tubos de concreto, procuram-se empregar linhas simples, porém, em face da disponibilidade no mercado — normalmente o maior diâmetro interno encontrado comercialmente é de 1,5m, pesando cerca de 28 kN (2,8 tf) — ou das limitações do equipamento para a colocação, são também empregadas linhas duplas, triplas, etc. Ao utilizar-se tais combinações nas galerias de drenagem, há de se considerar a diminuição do desempenho hidráulico, se comparado com abertura única.

Os tubos de seção transversal não circular, como os de seção oval, retangular, elíptica, etc., são de uso menos comum, empregados normalmente em situações em que a abertura requerida é maior do que a obtida com os tubos de seção circular. A figura 2 apresenta as formas de seções transversais que são encontradas na bibliografia.

A construção de galerias em que se recorre à emenda também na seção transversal é bastante limitada. Os exemplos destes tipos construtivos estão ilustrados na figura 3.

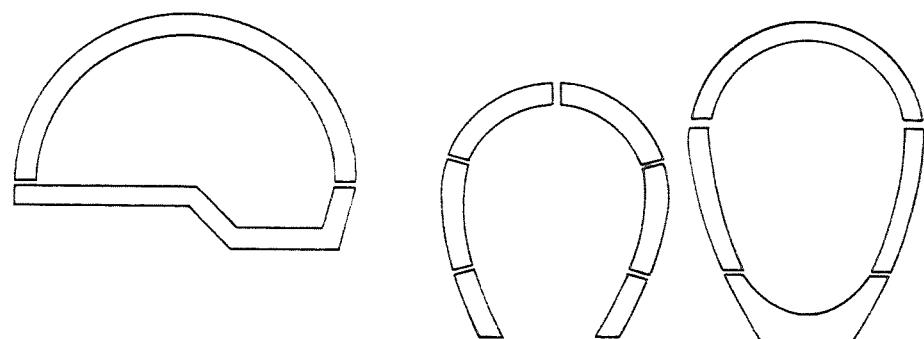


(a) [ref. ASTM (1981)]

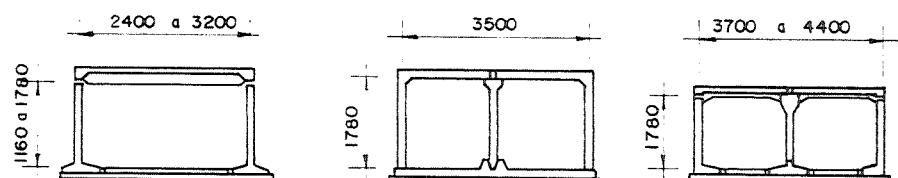


(b) [ref. KRIZEK et alii (1971)]

FIG. 2 – SEÇÕES TRANSVERSAIS DE TUBO DE CONCRETO



(a) [ref. KRIZEK et alii (1971)]



(b) [ref. BAYKOV & SAGALOV (1980)]

FIG. 3 – GALERIAS COM EMENDAS NA SEÇÃO TRANSVERSAL

2.2 - Galerias de concreto moldadas no local

As galerias de concreto moldadas no local são normalmente utilizadas quando se necessita de maiores aberturas, como, por exemplo, em passagens inferiores viárias ou em obras hidráulicas, cujas vazões são maiores que as conseguidas, economicamente, empregando os tubos de concreto.

As galerias de seção transversal retangular (figura 4) são as mais empregadas, principalmente quando a altura de cobrimento de terra é pequena. Apesar de possuírem forma desfavorável, no que se refere ao comportamento estrutural e hidráulico, elas são comumente empregadas por razões construtivas, principalmente devido à facilidade de execução das fôrmas.

As galerias utilizadas em sistemas viários, quando empregadas sem cobrimento de terra, com a pavimentação aplicada diretamente sobre a laje superior, normalmente possuem características e porte que as tornam de difícil distinção das pontes propriamente ditas, principalmente quando empregadas sem a laje inferior, conforme mostrado na figura 5.

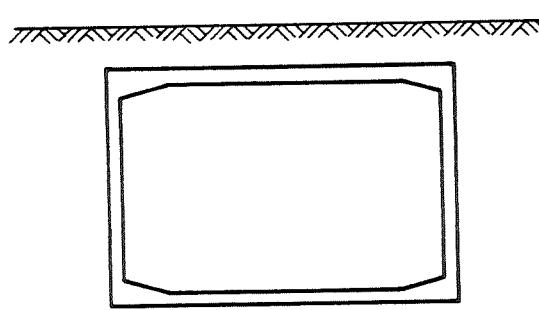


FIG.4 - SEÇÃO RETANGULAR

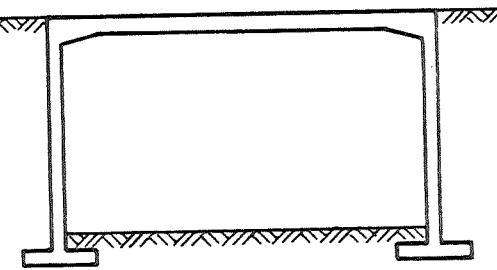


FIG.5 - SEÇÃO RETANGULAR SEM LAJE INFERIOR.

Quando a altura de cobrimento é grande e, portanto, as cargas atuantes na galeria são elevadas, pode ser conveniente o emprego de seções transversais que apresentam melhor comportamento estrutural, como a elíptica, a parabólica, a ovóide, etc. — e que normalmente também apresentam melhor comportamento hidráulico — que possibilitam reduzir os esforços solicitantes, comparativamente com as galerias de seção retangular equivalente, resultando mais econômicas que estas, em que pese a construção mais trabalhosa. Está mostrado na figura 6 um exemplo

deste caso, no qual destaca-se a pequena espessura da parede.

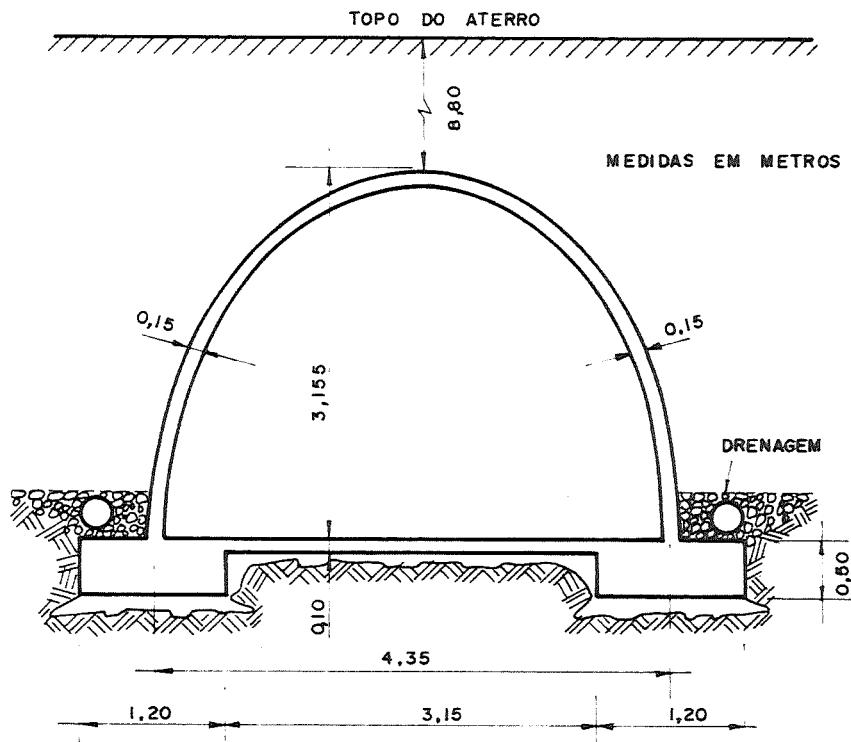


FIG. 6 - GALERIA DE CONCRETO MOLDADO NO LOCAL DE SEÇÃO SEMI- ELÍPTICA . [ref. MARTINELLI & MONTANARI]

2.3 - Galerias metálicas

As galerias metálicas são construídas com chapas corrugadas de aço galvanizado ou, mais restritamente em alumínio.

Com este tipo construtivo é possível, com pequenas espessuras, mesmo sob grandes aterros, se ter grandes aberturas em face do seu comportamento estrutural. Como as pressões verticais tendem a ser maiores que as pressões horizontais, o tubo irá se deslocar contra o solo do aterro lateral, aumentando as pressões horizontais, até a posição de equilíbrio. Caso não se consiga mobilizar empuxo horizontal suficiente, haverá o colapso da galeria. As situações descritas estão ilustradas na figura 7.

Em contrapartida ao bom comportamento estrutural, este sistema construtivo, no caso de galerias de drenagem, não apresenta um bom desempenho hidráulico devido à corrugação das paredes.

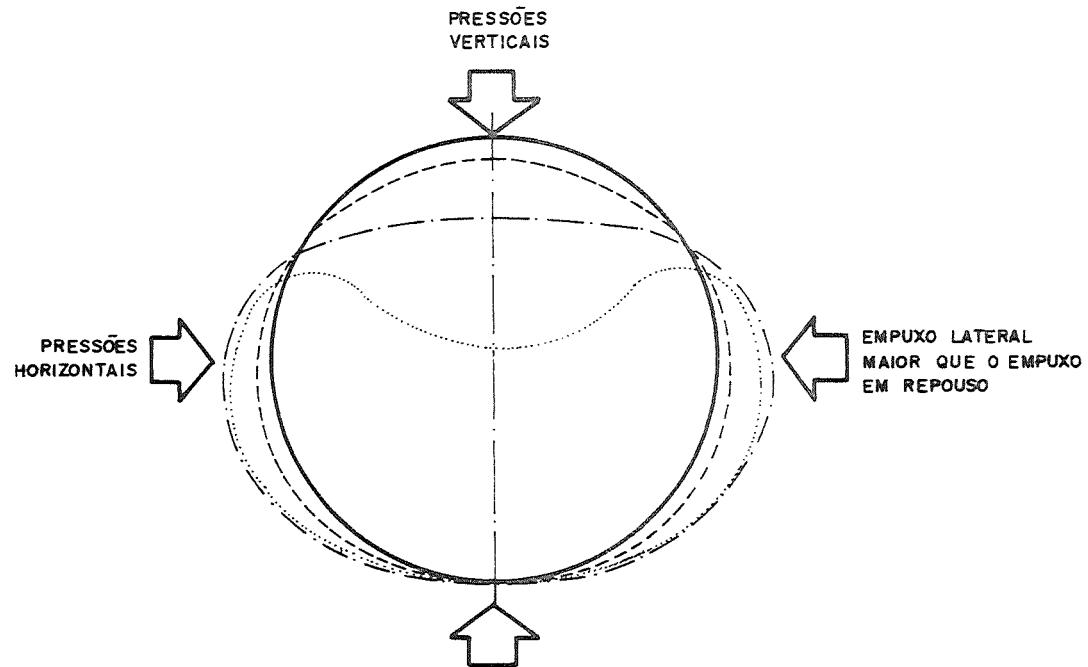


FIG. 7 — FORMAS DE UM TUBO FLEXÍVEL SUJEITO A CARGA DE ATERRA [ref. ESCOREL (1949)]

3. ASPECTOS DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

O comportamento estrutural dos condutos enterrados pode ser avaliado a partir da análise da interação entre uma casca circular cilíndrica elástica e um meio isótropo elástico sujeitos a um carregamento na superfície.

A partir das expressões deduzidas por BURNS e RICHARDS (1964) para essa análise, desprezando a rigidez EA da parede do conduto, o deslocamento e o momento fletor no coroamento podem ser colocados em função do parâmetro adimensional E^*r^3 / EI (coeficiente de flexibilidade), como mostra a figura 8, onde foi considerado que ocorre escorregamento entre a parede do conduto e o solo, e coeficiente de Poisson do solo igual a 0,3.

A análise dos diagramas apresentados na figura 8, permite concluir que existem três intervalos para os valores do coeficiente de flexibilidade do conjunto solo-revestimento, que caracterizam o comportamento dos condutos enterrados, resultando na seguinte classificação:

$$\frac{E^*r^3}{EI} < 1,25 \quad - \text{conduto rígido}$$

$$1,25 < \frac{E^*r^3}{EI} < 1250 \quad - \text{condutos semi-rígidos}$$

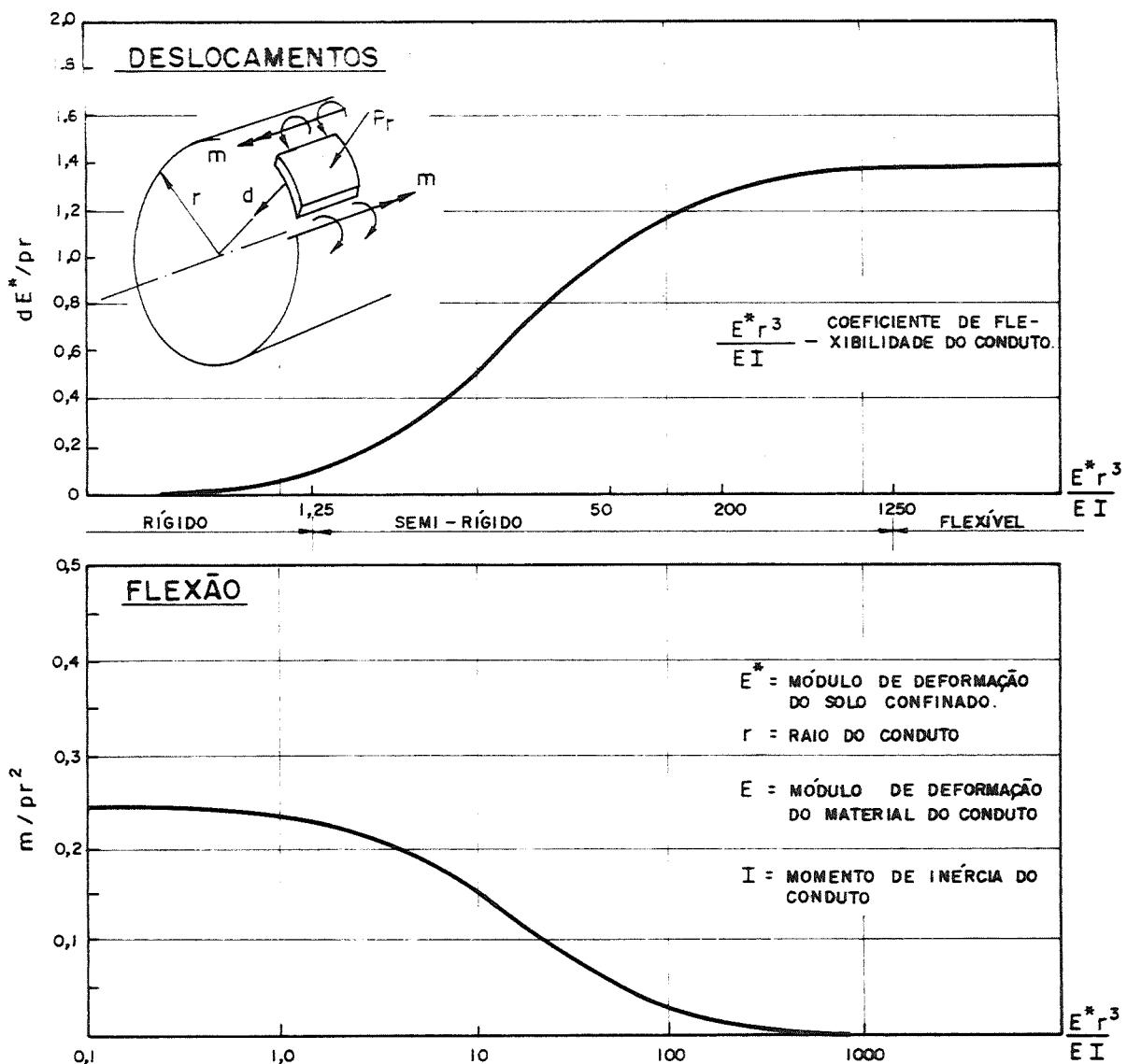


FIG. 8 — DESLOCAMENTOS E FLEXÃO EM CONDUTOS CIRCulares SUJEITO A CARREGAMENTO NA SUPERFÍCIE

$$\frac{E^* r^3}{EI} > 1250 \quad - \text{condutos flexíveis}$$

No caso de condutos rígidos o solo praticamente não colabora na resistência do conjunto solo-revestimento, ficando a cargo apenas do conduto a responsabilidade de resistir às cargas.

Nos condutos flexíveis ocorre uma grande participação do solo no mecanismo resistente, de forma que os momentos fletores são, praticamente, desprezíveis.

Entre essas situações extremas existem situações interme-

diárias em que a participação do solo depende do coeficiente de flexibilidade do conjunto: por exemplo, ao se empregar um coeficiente de flexibilidade de 50, o momento fletor "relativo" m/pr^2 diminui de um valor da ordem de 0,25, se o conduto fosse rígido, para um valor da ordem de 0,08.

Desta análise permite-se concluir que existe possibilidade de se empregar espessuras menores que as usualmente empregadas nos condutos de concreto, desde que o aterro lateral seja feito adequadamente, aumentando, assim, o potencial de aplicação da pré-moldagem para este tipo de construção, uma vez que ao se reduzirem as espessuras reduz-se o peso dos elementos, que, como já foi colocado, é um dos principais condicionantes do emprego da pré-moldagem.

Salienta-se que na análise feita não foi considerada a forma da instalação do conduto, o que inclui a forma do aterro lateral e a forma da execução da base — que normalmente são tratados na bibliografia sobre o assunto, como por exemplo ESCOREL (1949) — mas que não modificam as conclusões obtidas.

Também não foi considerado o efeito de cargas concentradas provenientes de veículos, que apresentam um efeito significativo no caso em que a altura de cobrimento é pequena. Para estas situações, ao se empregarem espessuras pequenas pode-se utilizar um cobrimento mínimo, como é feito nas galerias metálicas, ou então aumentar as espessuras das paredes no coroamento, como sugerido na figura 13.

4. SISTEMA CONSTRUTIVO PROPOSTO

4.1 - Material a ser empregado

Ao se reduzirem as espessuras das paredes das galerias empregando o concreto armado tradicional atingir-se-iam valores da ordem de 10cm a 8cm. Para se atingirem espessuras menores ainda, pode-se eliminar o agregado graúdo do concreto, utilizar armadura mais sub-dividida e reduzir o cobrimento da armadura. Esta redução do cobrimento deve ser feita às custas do emprego de um consumo maior de cimento, de adensamento e cura mais cuidadosos e de um maior controle de execução. Este tipo particular de concreto armado é a argamassa armada.

Com o emprego da argamassa armada seria possível obter es-

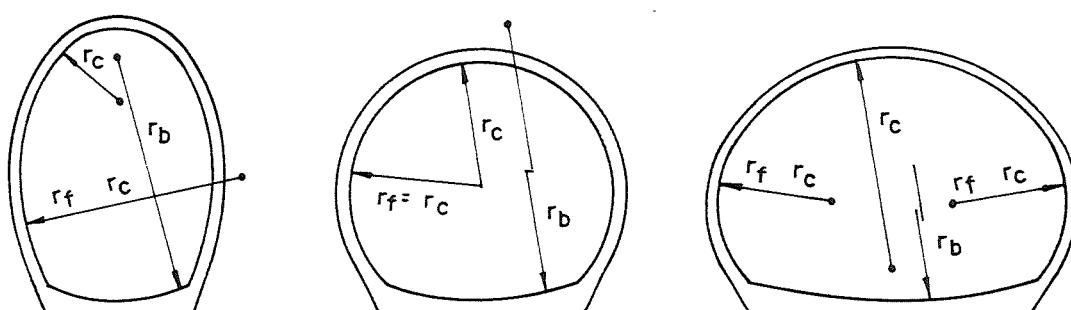
pessuras menores que com o concreto armado tradicional, o que indica que este material apresenta um maior potencial de aplicação para a construção de galerias, seja por tirar maior proveito da interação do revestimento com o solo, mediante o emprego de espessuras pequenas, seja por empregar elementos pré-moldados com maior relação resistência/peso dos elementos que resultam das aplicações da argamassa armada em comparação com o concreto armado.

Embora a argamassa apresente, em princípio, um maior potencial de aplicação, o concreto armado convencional pode ser empregado também com vantagem, desde que sejam equacionadas as condições de elevação e transporte. Completando essa análise, salienta-se que existe uma faixa entre o concreto tradicional e a argamassa armada, que também pode ser explorada para este tipo de construção.

Quando se recorre ao uso de pré-moldagem parcial – parte da estrutura é pré-moldada e parte é moldada no local – a parte a ser moldada no local deverá ser feita em concreto armado tradicional.

4.2 - Formas da seção transversal

As seções transversais a serem empregadas correspondem a círculos de 4 raios e que resultam nas seções aqui denominadas de "elipse", "ferradura" e "lenticular", conforme a relação entre os raios da parte do coroamento e da parte do flanco, que é mostrada na figura 9. A razão de se empregarem estas seções é que elas apresentam um bom comportamento estrutural e hidráulico e podem ser formadas a partir de combinações de segmentos de circunferência.



" Elipse "

" Ferradura "

" Lenticular "

FIG. 9 - SEÇÕES TRANSVERSAIS TÍPICAS

Embora não sejam tratadas neste trabalho, existe ainda possibilidade de se empregarem seções abertas, que podem ser encontradas em DEBS (1987).

4.3 - Possibilidades de construção da galeria

4.3.1 - Galeria sem emenda na seção transversal

O processo de construção da galeria, neste caso, é similar ao empregado nas galerias construídas com os tradicionais tubos pré-moldados de concreto. Ressalta-se, no entanto, o uso da parte inferior plana, visando facilitar a execução da base e – devido às pequenas espessuras empregadas ocorrem dificuldades na utilização de juntas em meio encaixe, ou tipo ponta e bolsa – a possibilidade do uso de luvas de argamassa armada para executar a emenda transversal entre os vários elementos, como ilustra a figura 10.

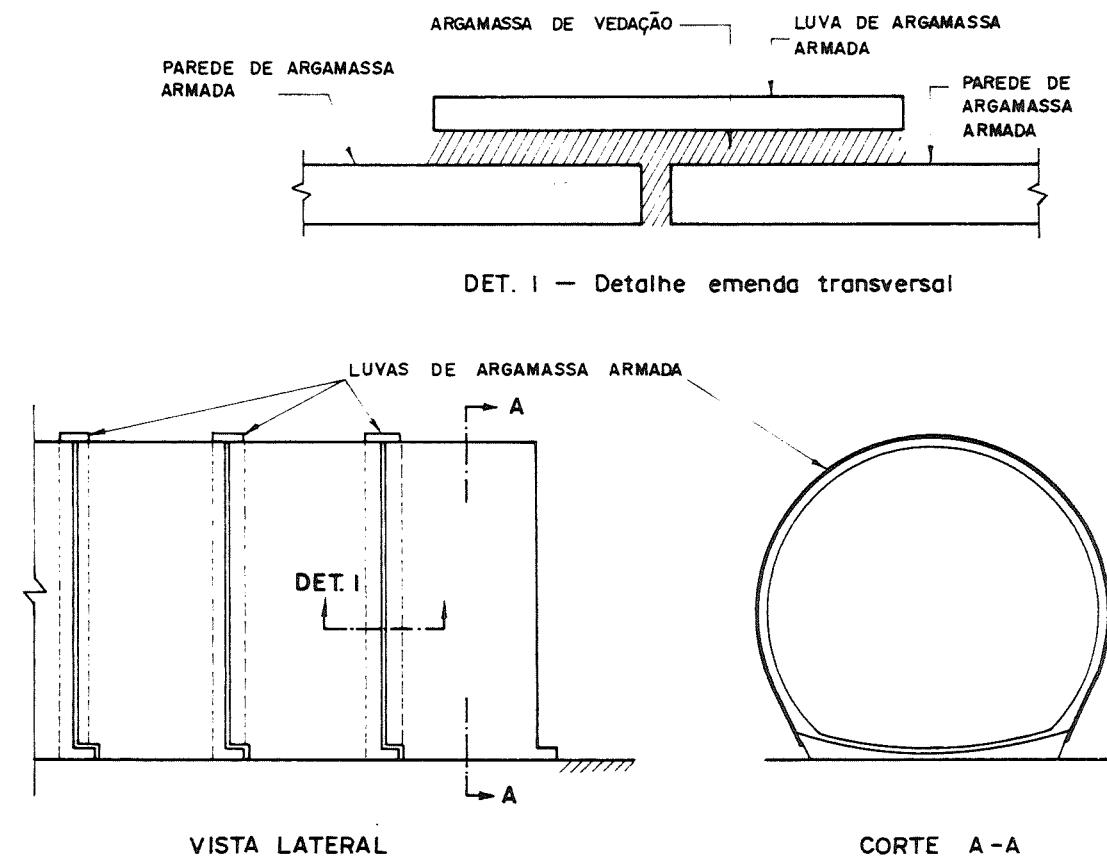


FIG. 10 - GALERIA SEM EMENDA NA SEÇÃO TRANSVERSAL

4.3.2 - Galeria com emenda na seção transversal

O emprego de elementos pré-moldados que podem ser montados para formar a seção transversal, via de regra, são indicados para seções que necessitam de maiores aberturas que as situações cobertas com o caso anterior.

As emendas são localizadas nas regiões onde os momentos fletores são pequenos, resultando em três elementos pré-moldados e na base, que é feita com concreto moldado no local.

Para estas situações, a construção pode ser feita com a montagem dos elementos pré-moldados fora do local da construção, na fábrica de pré-moldados ou em instalações no canteiro, como ilustra a figura 11, ou fazendo a montagem dos elementos pré-moldados no local, como mostra a figura 12.

Quando houver limitações de ordem topográfica que resultem em altura de cobrimento nula, e portanto o efeito de carga móvel é muito importante, pode ser prevista uma concretagem no coroamento no local, como ilustra a figura 13.

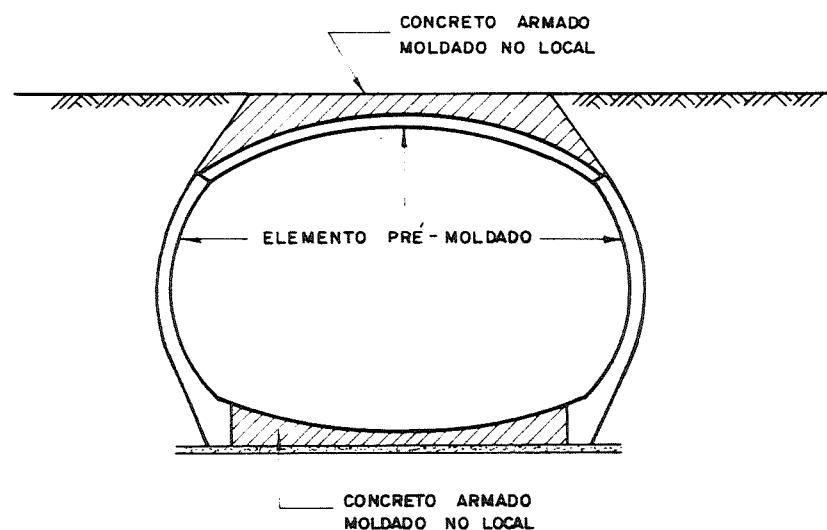
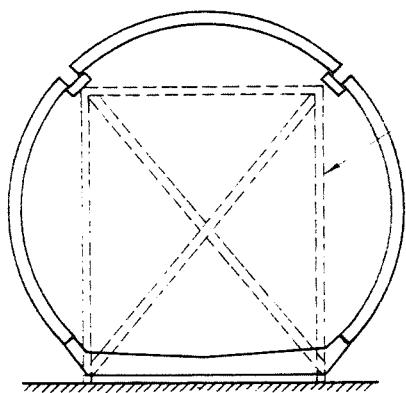


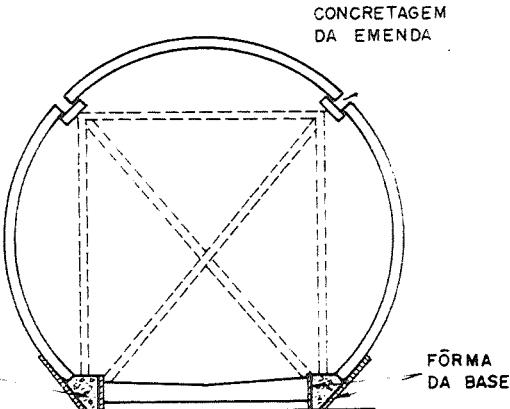
FIG.13 - CONSTRUÇÃO COM CONCRETAGEM DO COROAMENTO NO LOCAL

4.4 - Possibilidades de execução dos elementos

Para a execução dos elementos pré-moldados para construção de galerias sem emenda na seção transversal podem ser utilizados os mesmos procedimentos na construção dos tubos de con-

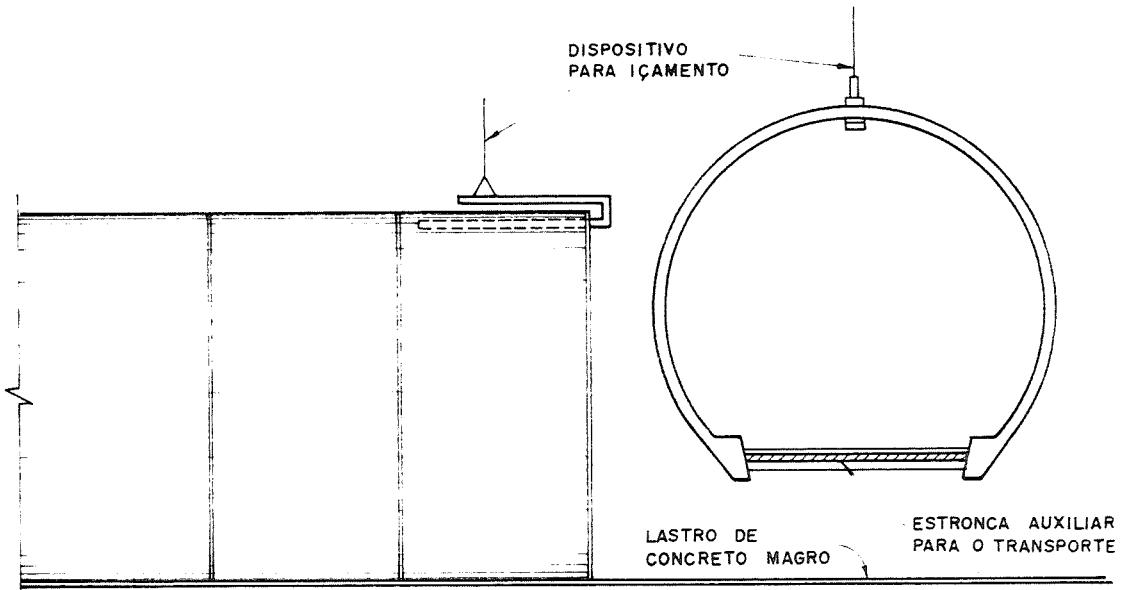


1 - Montagem dos elementos pré-moldados de argamassa armada e arranjo da armadura da base.

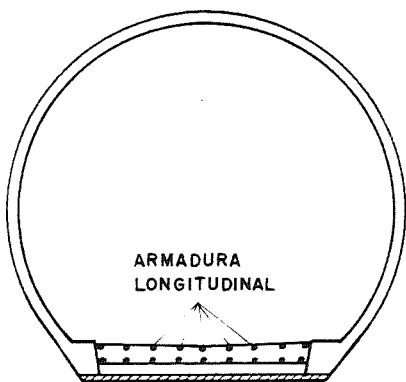


2 - Colocação das fôrmas; concretagem de parte da base; concretagem da emenda longitudinal.

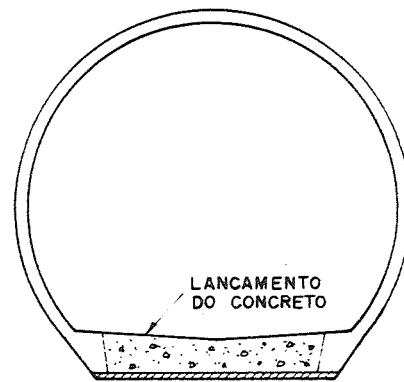
PARTE A SER EXECUTADA NA FÁBRICA DE PRÉ - MOLDADOS



3 - Colocação de peças no local de implantação.

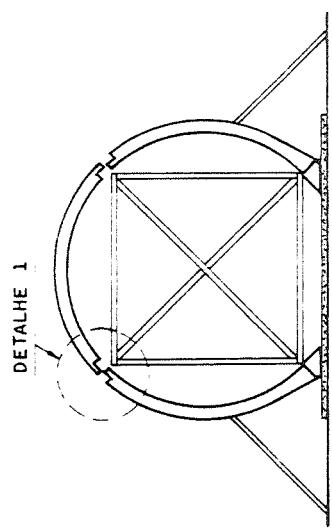


4 - Colocação da armadura longitudinal.

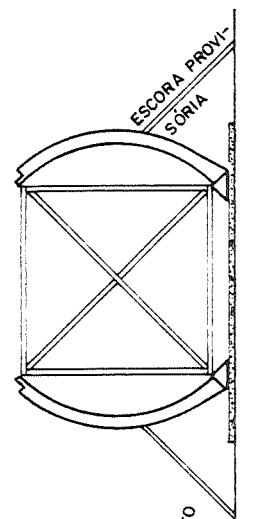


5 - Concretagem do restante da base.

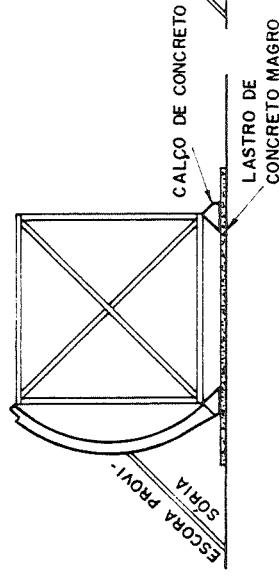
FIG. II - GALERIA COM EMENDA NA SEÇÃO TRANSVERSAL



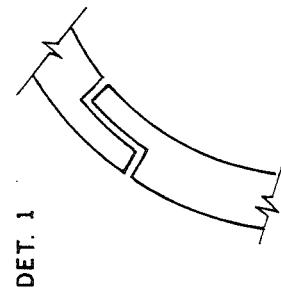
COLOCAÇÃO DA 1º PEÇA



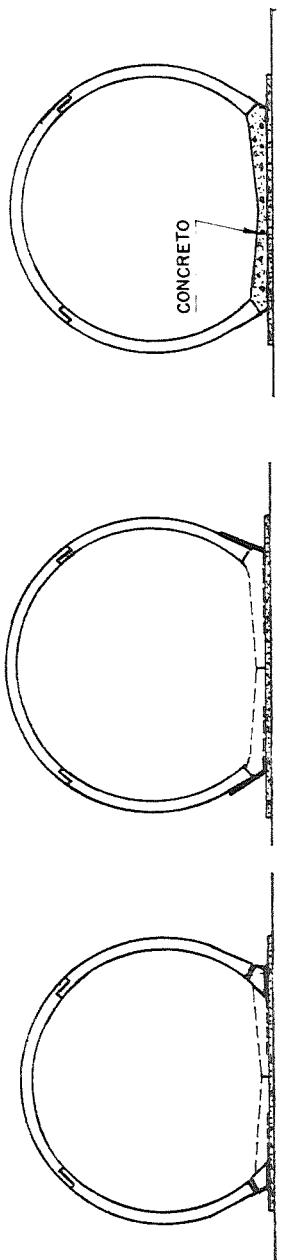
COLOCAÇÃO DA 2º PEÇA



COLOCAÇÃO DA 3º PEÇA



-14-



CONCRETAGEM DA BASE

ARMAÇÃO DA BASE

FIG. 12 — GALERIA COM EMENDA NA SEÇÃO TRANSVERSAL

creto, ressaltando no entanto a questão das espessuras menores.

No caso de elementos para construção de galerias com emendas na seção transversal, como apresentado em 4.3.2, pode-se recorrer ao emprego de fôrmas duplas ou simples. As fôrmas simples podem ser para baixa produção, portanto com pequeno investimento, em alvenaria ou madeira, como mostra a figura 14, ou em pista, utilizando equipamentos de moldagem contínua e cura a vapor, para grandes produções.

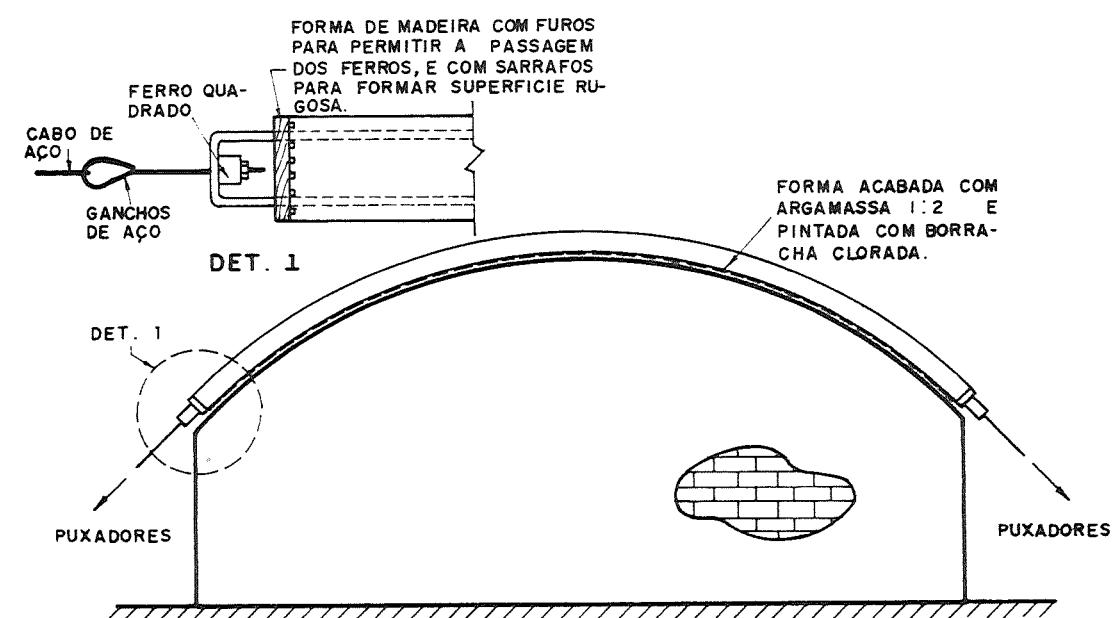


FIG. 14 — FORMAS SIMPLES EM ALVENARIA

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

5.1 - Considerações iniciais

Para o exemplo de aplicação foi escolhida uma galeria para canalizar um córrego com a vazão correspondente à de um tubo de chapa corrugada de aço com diâmetro 2,80m e com altura de cobrimento de 3,5m.

Está mostrado na figura 15 o desenho de fôrmas de galeria. As dimensões internas foram adotadas de forma a propiciar à galeria o mesmo desempenho hidráulico do tubo de chapa corrugada de aço. As demais dimensões foram escolhidas objetivando: (1)

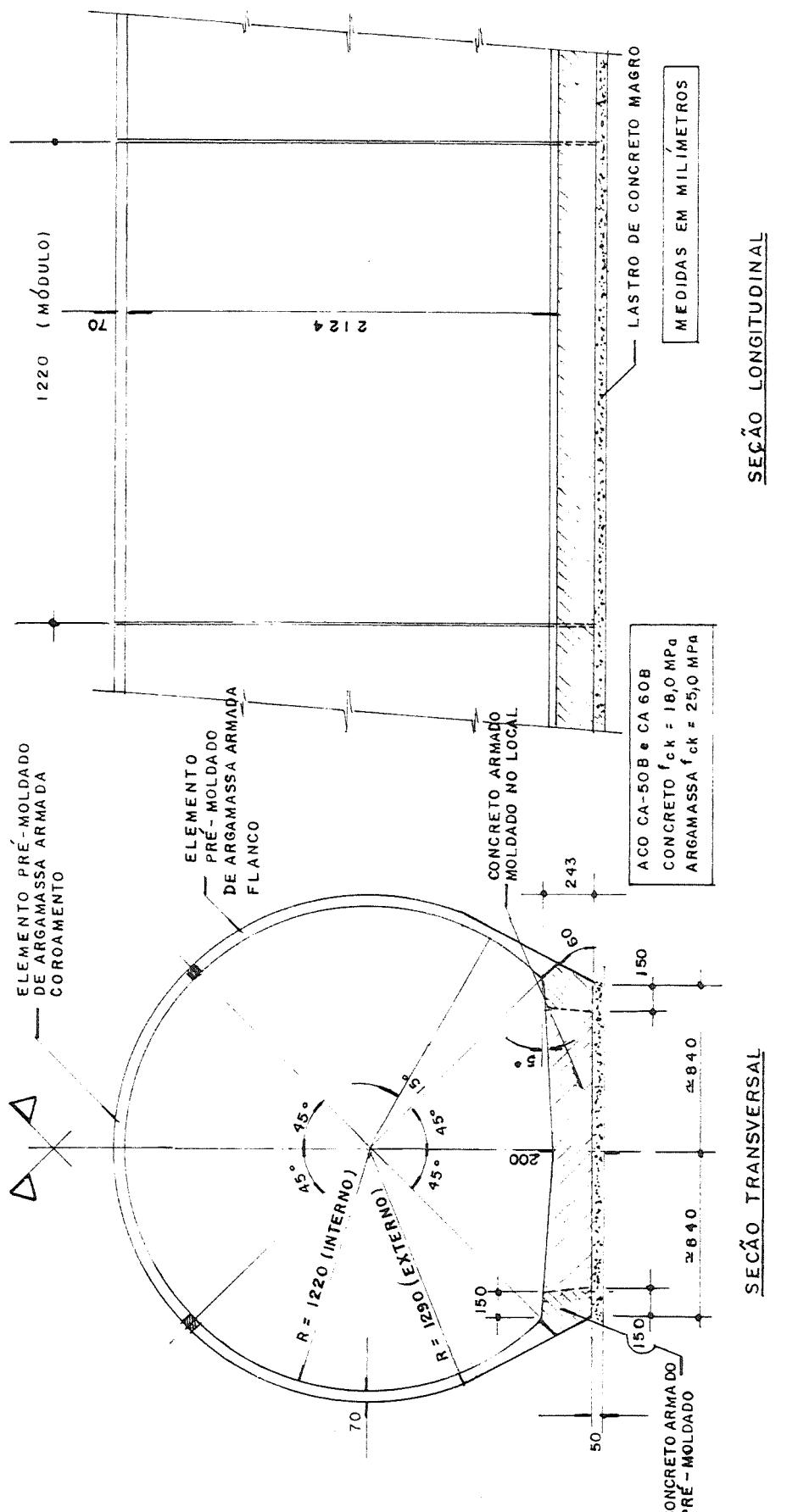


FIG. 15 - FÔRMAS DA GALÉRIA

a resistência; (2) utilização de tela eletro-soldadas com mínimas perda de corte e (3) adequar o peso e o tamanho dos elementos.

A construção da galeria deverá ser com emenda na seção transversal, com a montagem feita fora do local. Para a execução do elemento deverão ser utilizadas fôrmas duplas metálicas.

5.2 - Cálculo das solicitações e dimensionamento

No cálculo foram consideradas as seguintes ações:

- Peso próprio - peso específico = 25 kN/m³ (2,5 tf/m³)
- Solo (carga vertical) - peso específico = 17 kN/m³ (1,7 tf/m³)
- Solo (carga horizontal) - coeficiente de empuxo = 0,33
- Carga accidental - trem tipo classe 45
 - coeficiente de impacto = 1,0

A estrutura foi considerada como um pórtico plano, com 32 nós. O apoio do solo foi considerado como uma série de molas (hipótese de Winkler), com coeficiente de deformabilidade na região lateral igual a 10 MN/m³ (1000 tf/m³) – que corresponde a um módulo de deformação confinado de 8,33 MPa (833 tf/m³) – e igual a 20 MN/m³ (2000 tf/m³) na base.

O cálculo dos esforços solicitantes foi feito mediante computador, utilizando programa desenvolvido para cálculo de galerias enterradas, apresentado em DEBS (1984), que considera o esquema estático citado, a fissuração do material, e o efeito de segunda ordem. A tensão normal em que ocorrerá a fissuração foi estimada em 3,0 MPa (300 tf/m²) e a relação das rigidezes das duas situações – seção fissurada e seção íntegra – foi estimada em 0,3. Foi considerado também que as emendas apresentam um desempenho igual a 0,3 vezes o correspondente à parte sem emenda.

Nesta situação a galeria apresentará um coeficiente de deformabilidade $E \cdot r^3 / EI$, considerando o momento de inércia da seção fissurada, igual a 63.

Estão apresentados na Tabela 1 os principais valores do resultado do cálculo automático, para a situação prevista para o estado limite de utilização, considerando coeficiente de ponderação das cargas verticais e horizontais iguais a 1,0, e pa-

ra a situação prevista para o estado limite último, considerando o coeficiente de ponderação das cargas verticais igual a 1,4 e o das cargas horizontais igual a 0,9.

TABELA 1 - Valores de cálculo das solicitações.

	VALORES DE UTILIZAÇÃO			VALORES ÚLTIMOS		
	n(tf/m)	v(tf/m)	m(tf)	n(tf/m)	v(tf/m)	m(tf)
Coroamento	-5,83	0,0	0,791	-7,66	0,0	1,255
Flanco	-9,88	0,05	-0,543	-13,95	0,10	-0,836
Fundo-flanco	-6,34	4,73	1,704	-8,96	6,66	2,477
Fundo	-5,12	0,0	3,519	-7,28	0,0	5,209

No cálculo dos esforços resistentes foram considerados:

- Argamassa - $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ (250 kgf/cm^3), com consumo de cimento de 600 kg/m^3
- Concreto - $f_{ck} = 18 \text{ MPa}$ (180 kgf/cm^2)
- Aço 60B - $f_{yk} = 600 \text{ MPa}$ (6000 kgf/cm^2)
- Aço 50B - $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ (5000 kgf/cm^2)

5.3 - Avaliação do custo

A avaliação dos custos foi feita considerando a execução dos elementos pré-moldados, a sua montagem na fábrica e a concretagem da base no local de implantação.

A Tabela 2 mostra a composição da estimativa dos custos para 1,22 metros de galeria.

TABELA 2 - Composição da estimativa dos custos para 1,22m de galeria, em OTNs.

Data base: Junho/87 - valor da OTN: Cz\$ 251,56.

ITEM	MATERIAL	MÃO DE OBRA	EQUIPAMENTOS	IMPLANTAÇÃO	TOTAL	(%)
Argamassa ($0,524\text{m}^3$)	5,88	0,50	0,59	-	6,96	17
Armadura (1)	8,00	3,78	-	-	11,78	29
Concreto ($0,47\text{m}^3$)(2)	5,64	-	-	-	5,64	14
Produção	-	10,19	-	-	10,19	4
Fôrmas	-	-	-	1,77	1,77	10
Implantação	-	-	-	4,04	4,04	10
TOTAIS	19,52	14,48	0,59	5,81	40,39	100
(%)	48	36	1	14	100	

(1) Armadura = $14,3 \text{ m}^2$ de tela soldada EQ-141 + 75 kg de aço.

(2) Concreto usinado.

Considerando o valor das Bonificações e Despesas Indiretas (BDI) igual a 50%, o custo da galeria por metro será de 50 OTNs.

5.4 - Comparação da avaliação dos custos com outros sistemas construtivos

Apresenta-se, na Tabela 3, uma comparação da avaliação dos custos entre o sistema construtivo proposto e as outras alternativas usuais com a mesma capacidade de vazão, onde é mostrado o valor em OTN, de cada uma das alternativas analisadas, e a redução dos custos do sistema construtivo proposto em relação com cada uma destas alternativas. Não está sendo computado o custo do aterro em nenhuma das alternativas.

TABELA 3 - Estimativa dos custos para as alternativas analisadas (data base: junho/87 - valor da OTN: Cz\$ 251,56)

ALTERNATIVA	OTN	REDUÇÃO
1. Sistema construtivo proposto, pesando cerca de 1,5 tf o elemento montado.	60	-
2. Concreto moldado no local com abertura 1,75 x 2,50 e espessura de 0,18cm (consumo de concreto de 1,66 m ³ /m).	(1) 80	33%
3. Linha tripla de tubos de 1,50m, pesando 2,8 tf cada.	(1) 73	22%
4. Linha dupla de tubos ovóides com 3,0m de área, pesando 3,15 tf cada.	(2) 78	30%
5. Tubo de chapa corrugada de aço	(2) 74	23%

(1) Cotados em "A Construção São Paulo" nº 2052 de 08/06/87.

(2) Estimados a partir da atualização de valores anteriores.

Nas alternativas 1, 3 e 4, os custos de transporte, colocação e rejuntamento, foram estimados em 20%.

Embora não tenham sido consideradas algumas parcelas que influem nos custos, esta avaliação indica que a redução nos custos – da ordem de 20%, em relação à alternativa usual de menor custo – é significativa.

6. CONCLUSÕES

O sistema construtivo proposto apresenta uma série de aspectos importantes que diretamente ou indiretamente refletem-

-se na redução dos custos da construção e que estão relacionados a seguir.

a) Elementos pré-moldados "leves"

É possível o emprego de elementos "leves", compatíveis com os equipamentos de elevação e transporte comuns a este tipo de construção, mesmo para grandes aberturas.

b) Continuidade estrutural

Com o sistema construtivo proposto é possível garantir continuidade estrutural ao longo do eixo da galeria, através da concretagem da base e do coroamento no local. A continuidade estrutural pode ser conveniente quando o solo apresenta capacidade de suporte irregular ou baixa.

c) Facilidade de transporte

A utilização de elementos pré-moldados "leves" resulta, em geral, em facilidades de transporte, e, o que é mais significativo é que com a possibilidade de se fazer a montagem no canteiro de obra ou no local da implantação com o emprego de elementos correspondentes a segmentos de circunferência, haverá uma grande redução do volume de material transportado, o que é muito interessante pois viabiliza o transporte de elementos que montados resultam em galerias com dimensões de seção transversal fora dos gabaritos usuais.

d) Rapidez de construção

O emprego de elementos pré-moldados permite reduzir o tempo de implantação da obra, mesmo com a utilização de concretagem no local, pois quando este requer o emprego de fôrmas, elas são bastante simples e em quantidades reduzidas.

e) Facilidade de execução da base

A base, sobre a qual é assentada a galeria, é plana em todos os casos previstos no sistema construtivo proposto, o que resulta em execução mais simples, comparativamente a outros tipos construtivos em que se deve fazer a sua conformação.

f) Colocação da pavimentação diretamente sobre a galeria

Com o sistema construtivo proposto é possível a colocação da pavimentação diretamente sobre a galeria, fazendo para isto

a concretagem do coroamento no local. Com isto é possível satisfazer melhor as limitações topográficas deste tipo, do que quando se empregam as galerias metálicas em que é necessário uma altura mínima de cobrimento de terra. Também nestas situações são minimizados os prejuízos causados por recalques diferencial entre o aterro lateral e a galeria.

De uma maneira geral estes aspectos acabam influindo nos custos das galerias, embora a sua quantificação seja difícil de ser feita.

A possível redução dos custos utilizando o sistema construtivo proposto deve ser avaliada em cada caso, sendo difícil uma indicação de quando e o quanto é vantajoso o seu emprego, devido à quantidade de condicionantes que afetam este tipo de obra.

No entanto, a avaliação feita no exemplo de aplicação, desenvolvida no trabalho, indica que a redução nos custos – da ordem de 20% – é significativa e bastante promissora, e mostra que o sistema construtivo oferece novas possibilidades de construção de galerias enterradas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A CONSTRUÇÃO SÃO PAULO. São Paulo, Editora Pini, nº 2052, 08/07/87.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C 361M-78. Standard specification for reinforced concrete low-head pressures pipe. Philadelphia, 1981.

DEBS, M.K.E. Sistema GEPA (galerias de elementos pré-moldados de argamassa armada) para construção de galerias enterradas. São Paulo, ABCP, 1987. 22p.

DEBS, M.K.E. Contribuição ao projeto de galerias enterradas: alternativas em argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1984. 311p. Tese de doutoramento.

BAYKOV, V.N. & SIGALOV, E.E. Estructuras de hormigón armado. Moscow, Mir, 1980.

BURNS, J.Q. & RICHARD, R.M. Attenuation of stresses for buried cylinders. SYMP. ON SOIL STRUCTURE INTERACION, Univ.

of Arizona, 1964. pp. 278-392. Proceedings.

SCOREL, F.J. Tubos de concreto. Boletim ABCP (56). 1949.

KRIZEK, R.J. et alii. Structural analysis and design of pipe culverts. Highway Research Board. Program Report 116, 1971. 155p.

MARTINELLI, D.A.O. & MONTANARI, I. [projeto de galeria para córrego marepe], não publicado.

SOUZA PINTO, N.L. et alii. Vazão de dimensionamento de bueiros. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1975.