

MANUAL  
**COBERTURAS EM ABÓBADAS  
PARA HABITAÇÕES DE BAIXO CUSTO**

Cássio H. Versiani Velloso

Cássio Humberto Versiani Velloso

MANUAL

**COBERTURAS EM ABÓBADAS  
PARA HABITAÇÕES DE BAIXO CUSTO**

Autor: **Cássio Humberto Versiani Velloso**, Engenheiro Arquiteto

Colaboradores técnicos:

**Antônio Valadão Cardoso**, Engenheiro Civil

**João Lopes Faria Neto**, Engenheiro Civil

Ilustrações: **Carlos Felipe Silviano Brandão** (a partir de esboços do autor)

Datilografia (da versão original): **Rosália Claret Alves Coelho Senra**

Capa, montagem e “layout”: **Sinésio Ribeiro Bastos Filho** (1986 e 2020)

Revisão técnica do texto: **Marcos Túlio de Melo**, Engenheiro Civil (2020)

C.R. Biblioteca Nacional :2021RJ 2230 / 72 pg

1.ed. Cobertura em Abóbadas para Habitações de Baixo Custo /  
Cássio Humberto Versiani Velloso ;  
Ilustrações Carlos Felipe Silviano Brandão - 1.ed  
Belo Horizonte - MG - Brasil, 69 pag, formato: Livro Digital

Nº Registro: 817.948 Livro: 1.591 Folha 38

1. Técnico

Direito Autoral 2021

Livro Digital gratuito

Obra póstuma de Cássio Humberto Versiani Velloso

Não é permitida a reprodução total ou parcial desta obra  
sem a permissão da família do autor.

---

O presente MANUAL é resultado de trabalhos desenvolvidos pelo autor, enquanto técnico e pesquisador vinculado ao Setor de Tecnologia de Construções (SDC) do CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, no período entre agosto de 1977 e março de 1989.

Destinava-se este MANUAL a ser publicado pela ENHAP – Escola Nacional de Habitação e Poupança, sob o patrocínio do Departamento de Estudos e Pesquisas Aplicadas – DEPEA, do Banco Nacional da Habitação – BNH e com base em negociações prévias levadas a efeito entre o SDC e o DEPEA.

Entretanto, por uma fatalidade até então imprevisível, o BNH foi extinto em novembro de 1986, por ato do governo federal, poucos dias após a entrega, ao DEPEA, dos originais do mesmo.

No caos que se seguiu a essa medida, perderam-se os referidos originais, apenas permanecendo em nossas mãos uma relativamente precária cópia Xerox dos mesmos, utilizada como base essencial para esta edição, ora disponibilizada.

O objetivo desta nova versão consiste na ampla difusão desta tecnologia específica, que entendemos ser ainda útil; e que foi gerada e desenvolvida com recursos públicos, no âmbito de uma instituição pública. Cumpre salientar que essa instituição, enquanto pôde fazê-lo, muitos e bons serviços prestou ao Estado de Minas Gerais e ao País, no âmbito do desenvolvimento científico e tecnológico.

A Mirian e Lætitia, mulher e filha, pela inspiração e pelo incentivo. A elas se somam, por ocasião desta nova versão, os queridos Klaus e Lars, genro e neto.

A meus pais, pelos consistentes alicerces de que, com muito sacrifício, me dotaram.

A meus colegas do CETEC e, em especial, ao Marcos Túlio de Melo (responsável, inclusive, pela revisão técnica desta versão do Manual, com seus habituais rigor, competência e dedicação), ao Antônio Valadão Cardoso, ao Domingos Sávio Lara, ao Jorge Milton Elian Saffar e ao João Lopes Faria Neto, que muito me ajudaram a erguer mais esta obra.

À Rosália, à Raquel e, em particular, ao Sinésio Ribeiro Bastos Filho, que, com muita dedicação, fizeram os acabamentos e os arremates.

Finalmente, a todos aqueles que, acreditando, ajudaram; ou que, não acreditando, estimularam a busca às respostas (algumas, ainda não encontradas...).

## SUMÁRIO

1. <a href="#">Introdução.....</a>	07
2. <a href="#">Dimensionamento das abóbadas.....</a>	09
3. <a href="#">Execução das cintas de contraventamento.....</a>	11
4. <a href="#">Execução das fôrmas das abóbadas.....</a>	25
5. <a href="#">Posicionamento e alinhamento das fôrmas.....</a>	35
6. <a href="#">Execução das abóbadas (assentamento dos tijolos) .....</a>	38
7. <a href="#">Execução do capeamento impermeabilizante.....</a>	46
8. <a href="#">Acabamentos finais.....</a>	53
9. <a href="#">Observações finais.....</a>	56

### ANEXOS

I. <a href="#">Tabelas de ordenadas e abcissas referentes à marcação das curvaturas (parábolas) das fôrmas, para vãos entre 250 e 350cm, com intervalos de 10cm.....</a>	57
II. <a href="#">Composição comparativa do consumo de materiais e mão-de-obra: cobertura em abóbadas e em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira .....</a>	60

# 1. Introdução

A cobertura de uma casa econômica, executada de maneira usual, com engradamento de madeira e telhas cerâmicas, chega a representar 50% do custo total da mesma.

Outros tipos de cobertura, também usuais em nosso meio e de mais baixo custo, quase sempre se mostram inadequadas, ou por sua insegurança e baixa durabilidade (coberturas com folhas e fibras vegetais), ou por transmitirem em excesso as temperaturas do ambiente externo – quando muito elevadas, ou muito baixas – para o interior das edificações (caso, por exemplo das coberturas em chapas metálicas corrugadas, ou em telhas delgadas de fibrocimento).

A inadequação desses tipos de coberturas deve-se tanto às características intrínsecas dos materiais nelas empregados quanto às maneiras segundo as quais esses materiais nelas são, via de regra, utilizados.

Ao longo de toda a história da humanidade – e desde épocas muito remotas –, as coberturas em abóbadas de tijolos (crus, ou cozidos), ou de pedra aparelhada, foram e são utilizadas, particularmente nos locais ou circunstâncias em que madeiras de qualidade compatível com essa finalidade eram caras e/ou difíceis de serem encontradas.

Hoje em dia, tanto em Minas Gerais como em diversos outros Estados brasileiros, as madeiras de boa qualidade, apropriadas à construção do engradamento de coberturas sólidas e duráveis, são produtos de muito elevado custo. As telhas cerâmicas aqui produzidas – com as devidas e honrosas exceções – também têm deixado muito a desejar quanto à sua

qualidade intrínseca (estabilidade dimensional, resistência mecânica, estanqueidade e/ou durabilidade); e, tal como as madeiras para engradamento, são excessivamente caras, tendo em vista o baixo poder aquisitivo de grande parte de nossa população.

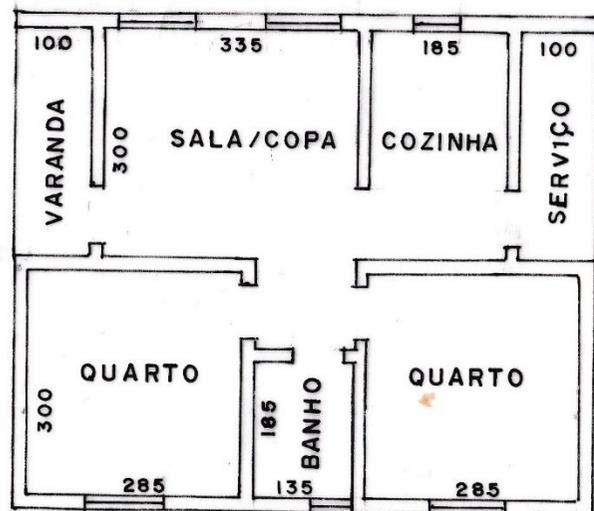
Assim sendo, as coberturas em abóbadas de tijolos passam a ser, para nós, uma alternativa potencialmente interessante em diversos casos, principalmente quando se tratar de edificações de relativamente pequenas dimensões, como é o caso da maioria das habitações econômicas ditas “de interesse social”. Nesses casos, essa alternativa pode reduzir consideravelmente o custo final da edificação, além de dotá-la de uma cobertura durável, segura e adequada às características predominantes do clima em muitas das regiões do País.

O processo de construção de abóbadas por nós desenvolvido no CETEC e que passamos a descrever com o possível nível de detalhe é bastante simples e de fácil execução.

Já foi utilizado em um número considerável de edificações de diversos tipos e para diversas finalidades, inclusive em povoados da zona rural de diversos dos nossos municípios (principalmente, mas não apenas no Estado de Minas Gerais), tendo sido sempre bastante fácil sua assimilação por parte das pessoas que o utilizaram na prática e/ou auxiliaram sua execução, embora em muitos casos sequer tivessem experiência prévia no campo da construção predial.

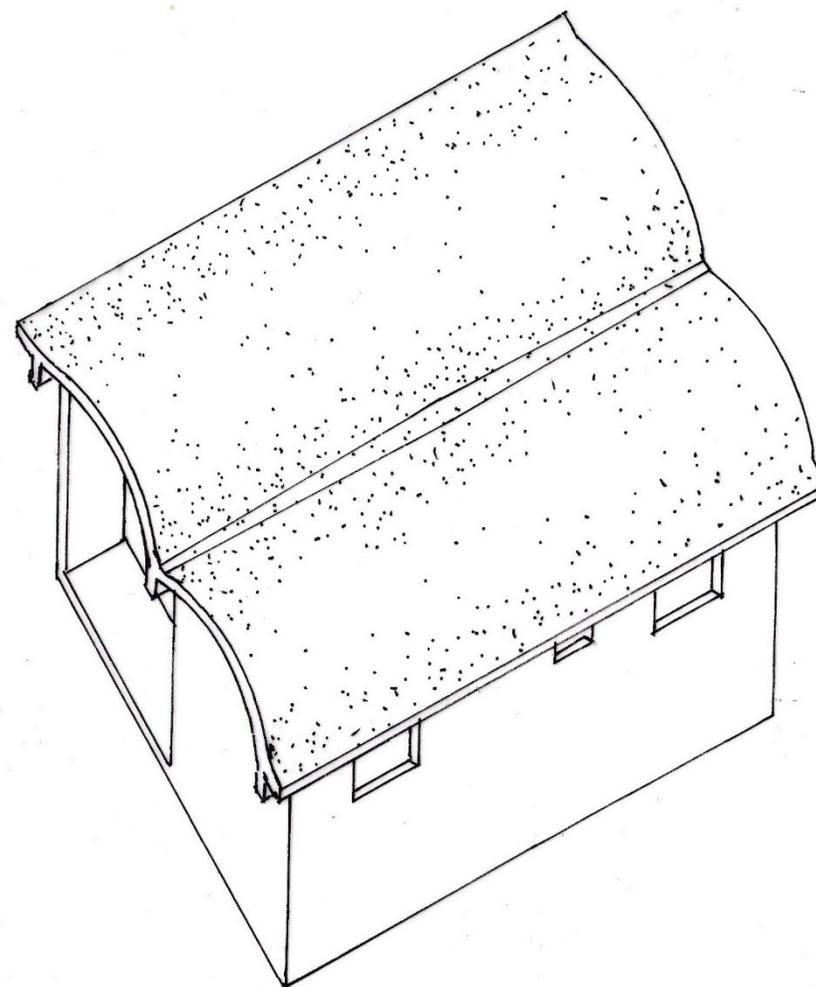
A fim de ilustrar as diversas fases e etapas do processo ora descrito, será utilizada, como exemplo, a cobertura da habitação representada nas Figuras 1a e 1b, a seguir. Naturalmente, este é apenas um exemplo.

Tipos diversos de habitações e outros tipos de edificações (para uso público ou privado) podem ser cobertos da mesma maneira, com vãos maiores ou menores que os do exemplo utilizado neste Manual.



**FIGURA 1a – Planta esquemática de uma habitação a ser coberta com abóbadas (exemplo)**

Entretanto, é importante chamar a atenção para o fato de que a construção das abóbadas fica muito facilitada quando os diversos vãos a cobrir tiverem a mesma largura, tal como ocorre no exemplo aqui utilizado (no caso, de 3m, de face interna a face interna de ambos os vãos). Nesses casos, pode ser utilizada apenas uma fôrma (ou, preferivelmente, duas fôrmas de idênticas dimensões, como adiante se verá), fato esse que irá facilitar muito o trabalho e tornar o processo mais econômico e produtivo.



**FIGURA 1b – Aspecto esquemático (perspectiva isométrica) da habitação com a cobertura em abóbadas.**

## 2. Dimensionamento da abóbada

A abóbada é uma cobertura curva, feita – usualmente – com o emprego de tijolos cerâmicos, furados ou maciços, ou de blocos maciços de concreto leve auto clavado.

Para que essa cobertura não venha a apresentar trincas, que permitam a penetração das águas de chuvas no interior da edificação, é necessário que os tijolos que a compõem trabalhem unicamente à compressão. Assim sendo, a curvatura da abóbada deve ser determinada de maneira que essa condição estrutural seja atendida.

Com base nos estudos preliminares desenvolvidos para esta finalidade, entende-se que a curva que melhor satisfaz essa exigência é uma parábola específica, definida através da expressão

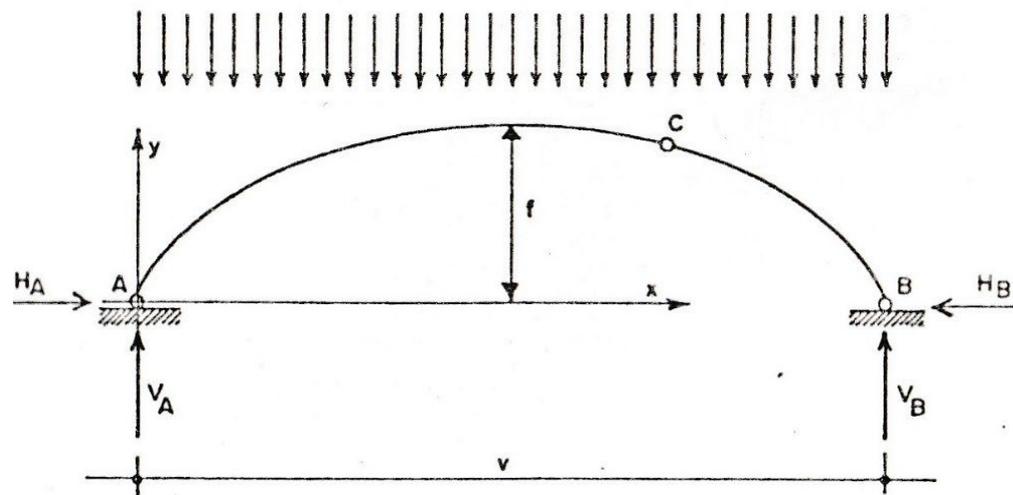
$$y = 4f / v^2 \cdot x \cdot (v - x) , \text{ em que:}$$

$y$  = abscissa de todo e qualquer um dos pontos da parábola, ou seja, a distância vertical desse ponto ao eixo horizontal correspondente aos apoios (igualmente horizontais) da abóbada

$x$  = ordenada de todo e qualquer um dos pontos da parábola, ou seja, a distância horizontal desse ponto ao eixo vertical correspondente ao apoio da abóbada à esquerda

$f$  = flecha máxima da parábola (ao meio do vão)

$v$  = vão livre a ser vencido pela parábola (de face interna a face interna dos apoios laterais), conforme mostrado no diagrama adiante reproduzido:



Essa parábola específica corresponde à curva dos momentos em um arco teórico tri-articulado e uniformemente carregado, cujo vão e cuja flecha máxima se confundem com a face interna da abóbada.

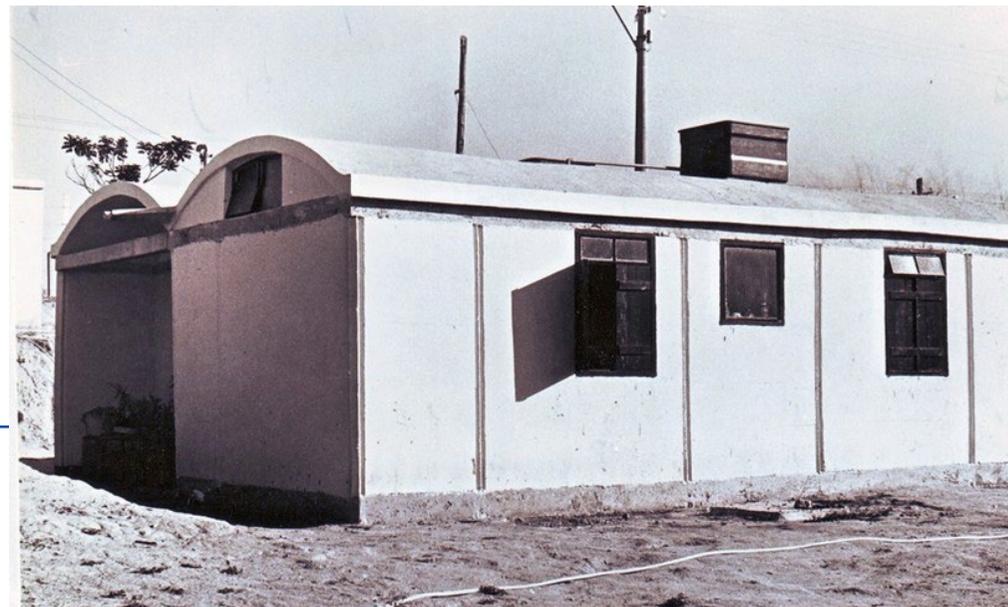
Assim sendo, assegura-se que os momentos na abóbada sejam **nulos**, tal como os esforços cortantes deles derivados. Esses momentos e esforços cortantes seriam os principais fatores estruturais intrínsecos de fissurações das abóbadas, caso não fossem nulos.

São fornecidas, nas tabelas constantes do ANEXO I ao presente MANUAL, os valores de  $y$  correspondentes à variação de  $x$  a cada 15cm, para diversos vãos (no intervalo entre 250cm e 350cm) e suas correspondentes flechas máximas.

Esses valores serão utilizados na fase de execução das fôrmas corredeiras a serem utilizadas para a conformação das abóbadas (ver item 4).

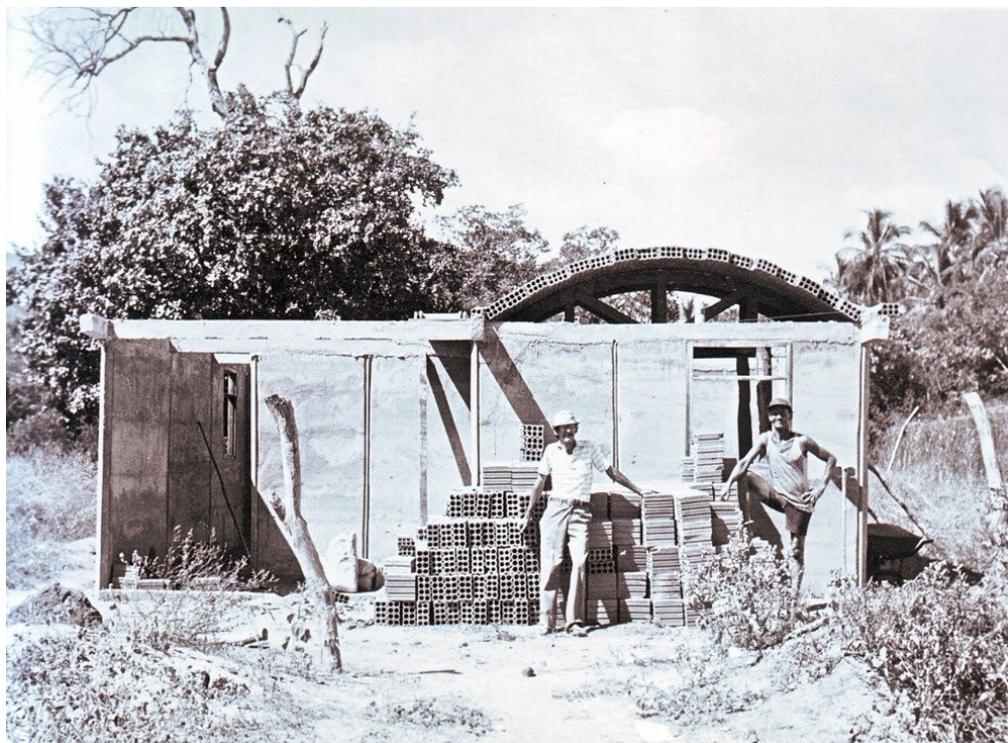


**Desenvolvimento de sistema construtivo com paredes em solo-cimento e cobertura em abóbadas**  
**Habitação experimental em construção – SDC / CETEC (1980/81)**



**Habitação experimental concluída**

**Construção de mini posto rural de saúde em Pajeú,  
distrito de Monte Azul, MG**  
**CETEC / CRS Montes Claros – SES/MG (1983/84)**



### 3. Execução das cintas de contraventamento

A expressão cintas de contraventamento designa as vigas longitudinais e os tirantes transversais que, no sistema construtivo ora apresentado, arrematam superiormente as paredes da edificação.

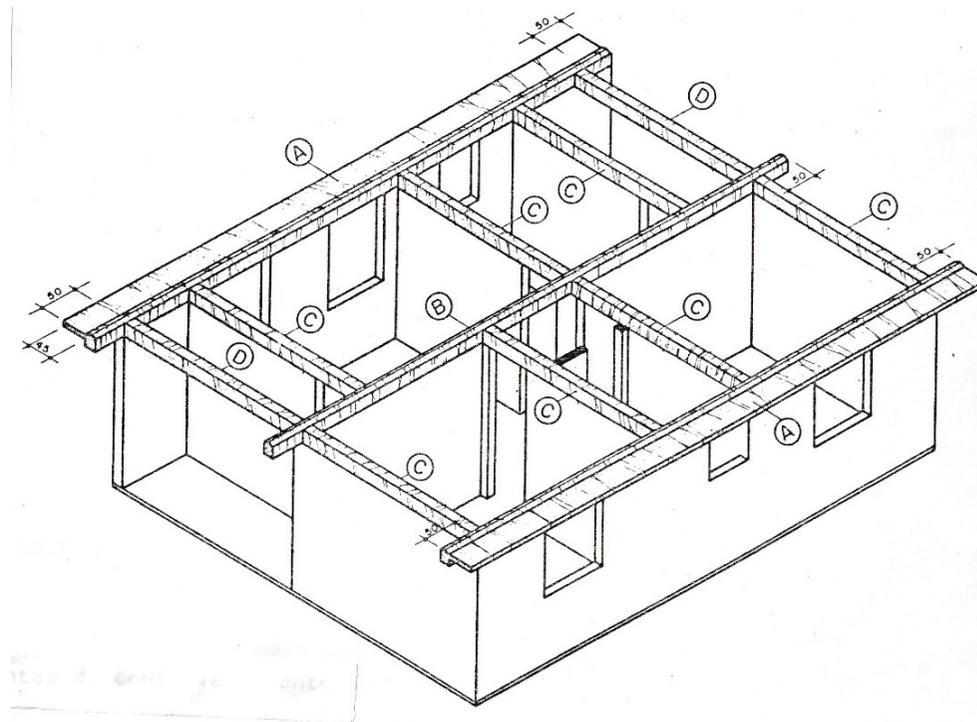
As vigas longitudinais destinam-se a apoiar diretamente as abóbadas e a transferir as componentes verticais (flexão longitudinal) de seu peso próprio – isto é, do conjunto dos materiais que a irão conformar – de maneira uniformemente distribuída, às paredes longitudinais da edificação, sobre as quais elas se irão apoiar.

Os tirantes transversais, por sua vez, destinam-se a anular as componentes horizontais dos esforços gerados pelas coberturas em abóbadas (torção, tração axial) e que não podem, por sua natureza e grandeza, ser diretamente absorvidas pelas paredes comuns de alvenaria.

Ambos esses “tipos” de cintas, no caso específico do sistema construtivo aqui exposto, deverão ser executados em concreto armado moldado “in situ”.

No caso de habitações econômicas com vãos reduzidos (de até cerca de 3m, como no exemplo aqui utilizado), a relativamente pequena intensidade dos referidos esforços possibilita que essas cintas de contraventamento sejam construídas com pequena secção transversal (no caso, de 10cm x 15cm, ou de 10cm

x 20cm); e que sua armadura seja executada com o emprego de vergalhões de aço para concreto de pequeno diâmetro (CA.60B, Ø3,4mm ou 4,2mm).



**FIGURA 2 – Cintas de contraventamento das abóbadas (tipos A, B, C e D)**

Na figura 2, acima, podemos observar que as cintas longitudinais dos tipos A e B deverão avançar cerca de 50cm além do alinhamento das paredes transversais externas da edificação, de modo a possibilitar a conformação, com as abóbadas, de beirais que protejam das intempéries as fachadas frontal e posterior do edifício.

É muito importante destacar que **todas** as dimensões de peças estruturais aqui discriminadas (secções transversais das cintas de contraventamento, diâmetros dos vergalhões da armadura dessas cintas, etc.) referem-se especificamente ao exemplo abordado, ou a edificações com características construtivas equivalentes, especificamente com relação aos **vãos** a serem cobertos pelas abóbadas, da ordem de **3m** ou menos.

Para maiores vãos, será imprescindível consultar um calculista de estruturas de concreto armado.

As cintas do tipo A (longitudinais externas) estão sujeitas a esforços de flexão lateral e de torção devidos aos empuxos derivados do peso próprio das abóbadas e das sobrecargas (permanentes, ou eventuais) que as mesmas recebam, ou venham a receber. Para neutralizar esses esforços, são elas dotadas de nervuras laterais, com dimensões consideráveis (45cm, no caso), que irão funcionar, também, como marquises ou beirais laterais.

Nas cintas do tipo B (longitudinais intermediárias, no caso do exemplo aqui ilustrado restrita a apenas uma), igualmente sujeitas a esforços da mesma natureza (de flexão lateral e de torção), são os mesmos anulados entre si, pela ação conjunta e em sentidos opostos das cargas laterais devidas às duas abóbadas adjacentes à(s) mesma(s).

As cintas do tipo C (transversais, apoiadas sobre paredes da edificação) são sujeitas a esforços de tração axial e irão funcionar como tirantes horizontais.

As cintas do tipo D igualmente se caracterizam como tirantes horizontais, diferenciando-se daquelas do tipo C apenas pelo fato de não se apoiarem sobre paredes da edificação. Este fato submete essas peças não apenas

esforços de tração axial; mas, também, de flexão vertical (no sentido longitudinal), devida a seu peso próprio e pequena altura e obrigando a um relativo reforço de sua armadura.

Devido às diversas naturezas dos esforços a que esses diversos tipos de cintas estão sujeitos, suas armaduras igualmente irão apresentar algumas diferenças, tal como se acha explicitado nas figuras 3, 4, 5 e 6, adiante reproduzidas.

Nas cintas do tipo A, a armadura será composta por 4 vergalhões para concreto armado do tipo CA.60B, corridos, Ø3.4mm (ou de diâmetro superior); e estribos com Ø3.4mm, espaçados entre si de 20cm e com o formato discriminado na figura 3.

Na(s) cinta(s) do tipo B, a armadura longitudinal será idêntica à das cintas do tipo A (4 Ø3.4mm, ou de diâmetro superior), corridos. O diâmetro dos estribos (3.4mm) e seu espaçamento (20cm) também são idênticos àqueles; mas seu formato e desenvolvimento longitudinal seguirão as referências definidas na figura 4.

A armadura das cintas transversais dos tipos C e D, tendo em vista a imprescindível necessidade de serem adequadamente engastadas às cintas dos tipos A e B, deverão necessariamente ter os formatos definidos nas figuras 5 e 6.

No caso das cintas do tipo C, a armadura longitudinal é também composta de 4 Ø3.4mm, ou de diâmetro superior, corridos; e seus estribos, também com Ø3.4mm e, neste caso, apenas destinados a manter a armadura longitudinal na sua posição adequada durante a concretagem, poderão ser espaçados entre si de até cerca de 50cm, tal como mostrado na figura 5.

No que se refere às cintas do tipo D, a armadura longitudinal se compõe de 2 Ø3.4mm, na face superior da cinta; e de 2 Ø4.2mm, ou de diâmetro superior, na face inferior da mesma, potencialmente sujeita a esforços de flexão vertical. Neste caso, os estribos (igualmente com Ø3.4mm) deverão ser espaçados entre si de, no máximo, 20cm, como reforço contra essa tendência à deformação da cinta. A configuração desse tipo de cinta e de sua armadura acha-se expressa na figura 6.



Em todos os referidos tipos de cintas de contraventamento, será sempre conveniente que os vergalhões que compõem sua armadura – em particular no caso da armadura longitudinal – seja contínua, abrangendo todo o seu comprimento.

Nos casos em que seja inevitável a execução de emendas nesses vergalhões, tendo em vista seu pequeno diâmetro e sua superfície usualmente lisa, recomenda-se que as partes a emendar apresentem trespases, uma em relação à outra, de – no mínimo – cerca de 40cm; e que sejam dotadas, em ambas as extremidades das emendas, de pequenos ganchos, tais como ilustrados nas figuras 5 e 6, adiante reproduzidas.

Essas providências irão possibilitar a adequada aderência entre a armadura e o concreto que a irá envolver, assegurando que a peça estrutural se comporte, ao longo do tempo, de maneira íntegra e estável.

A fotografia reproduzida ao lado ilustra, ainda que de forma relativamente precária, a configuração da armadura das cintas dos tipos B (longitudinal intermediária) e C (tirante horizontal apoiado sobre parede da edificação).

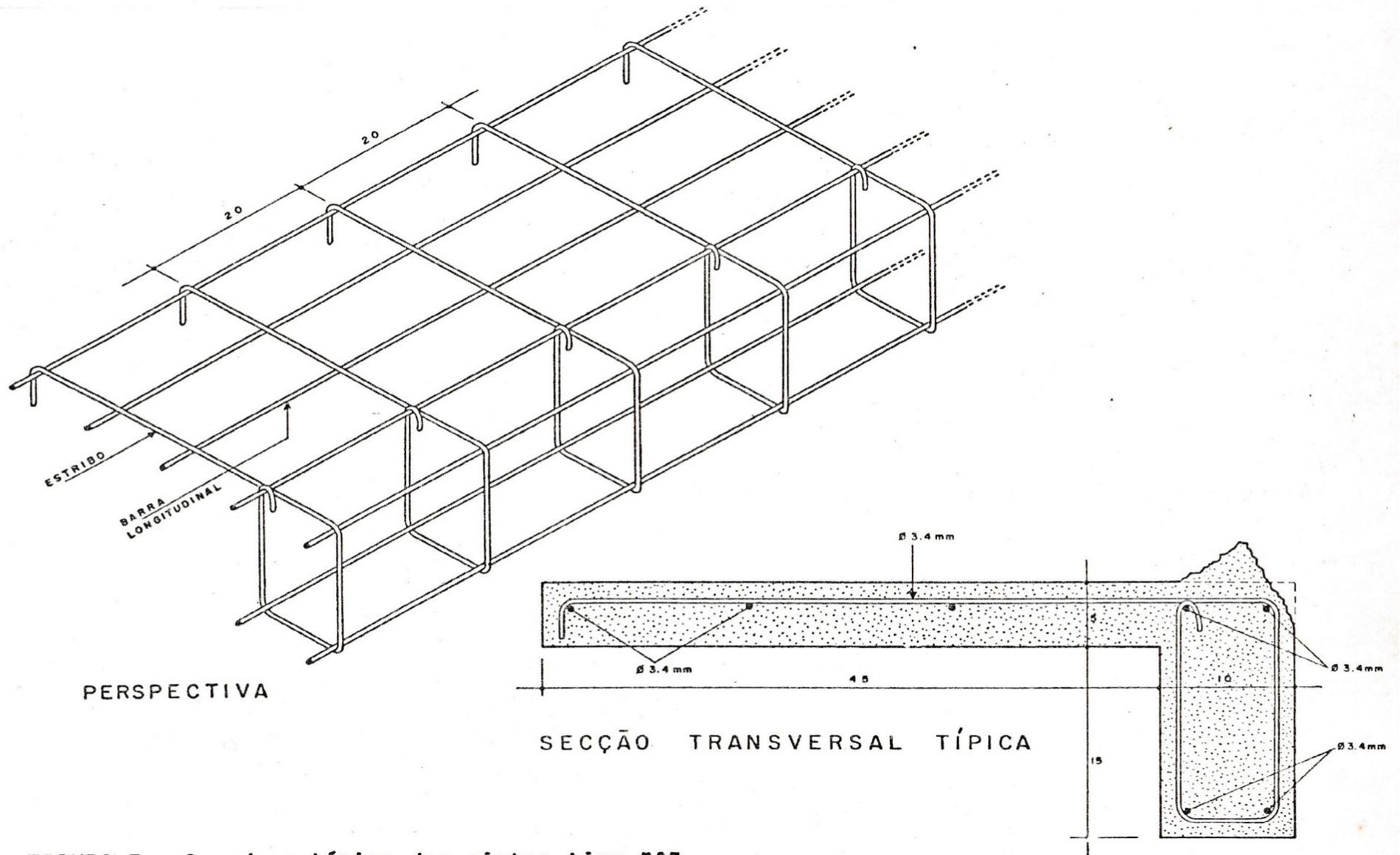


FIGURA 3 - Armadura típica das cintas tipo "A"

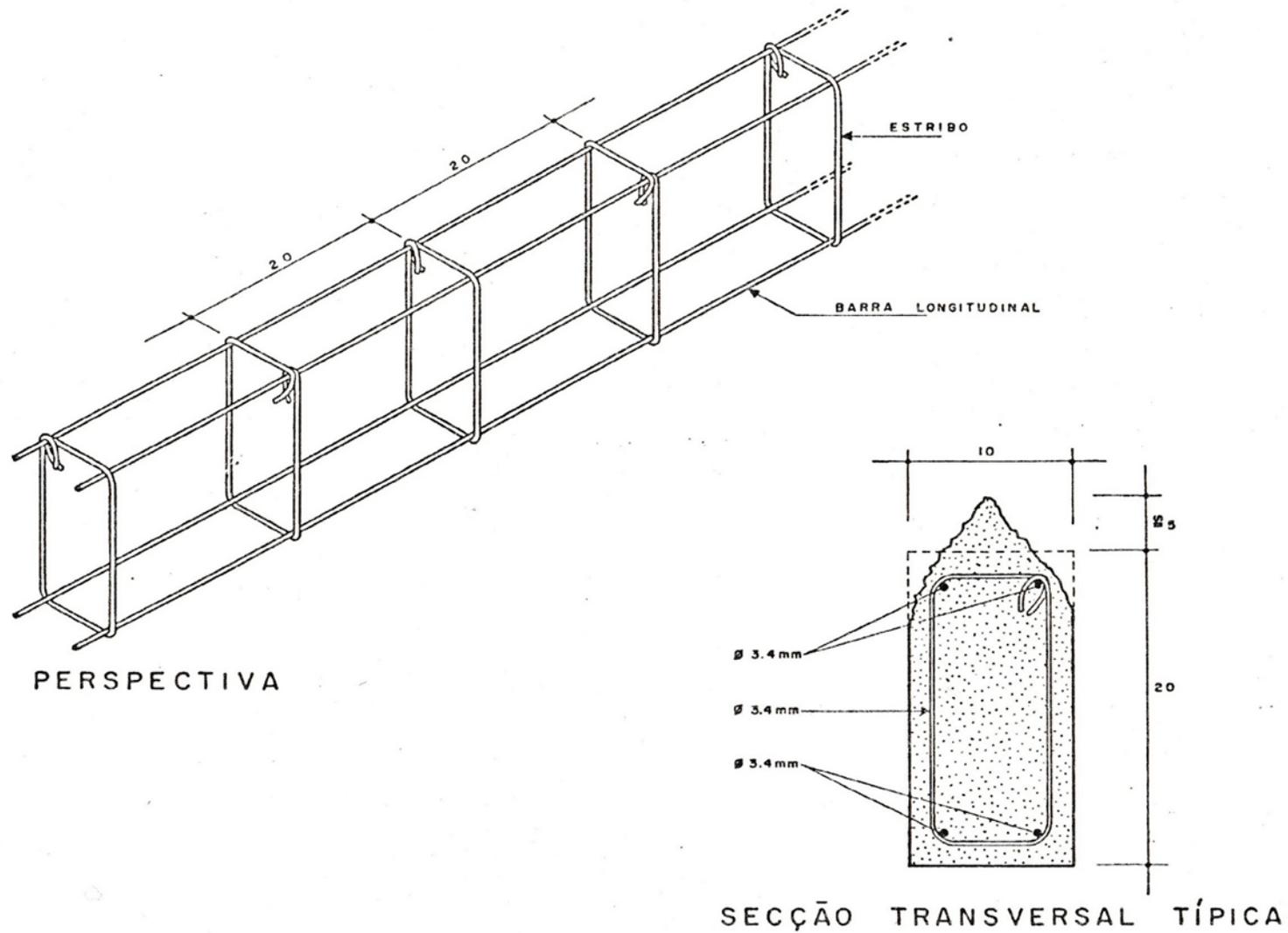


FIGURA 4 - Armadura típica das cintas tipo "B"

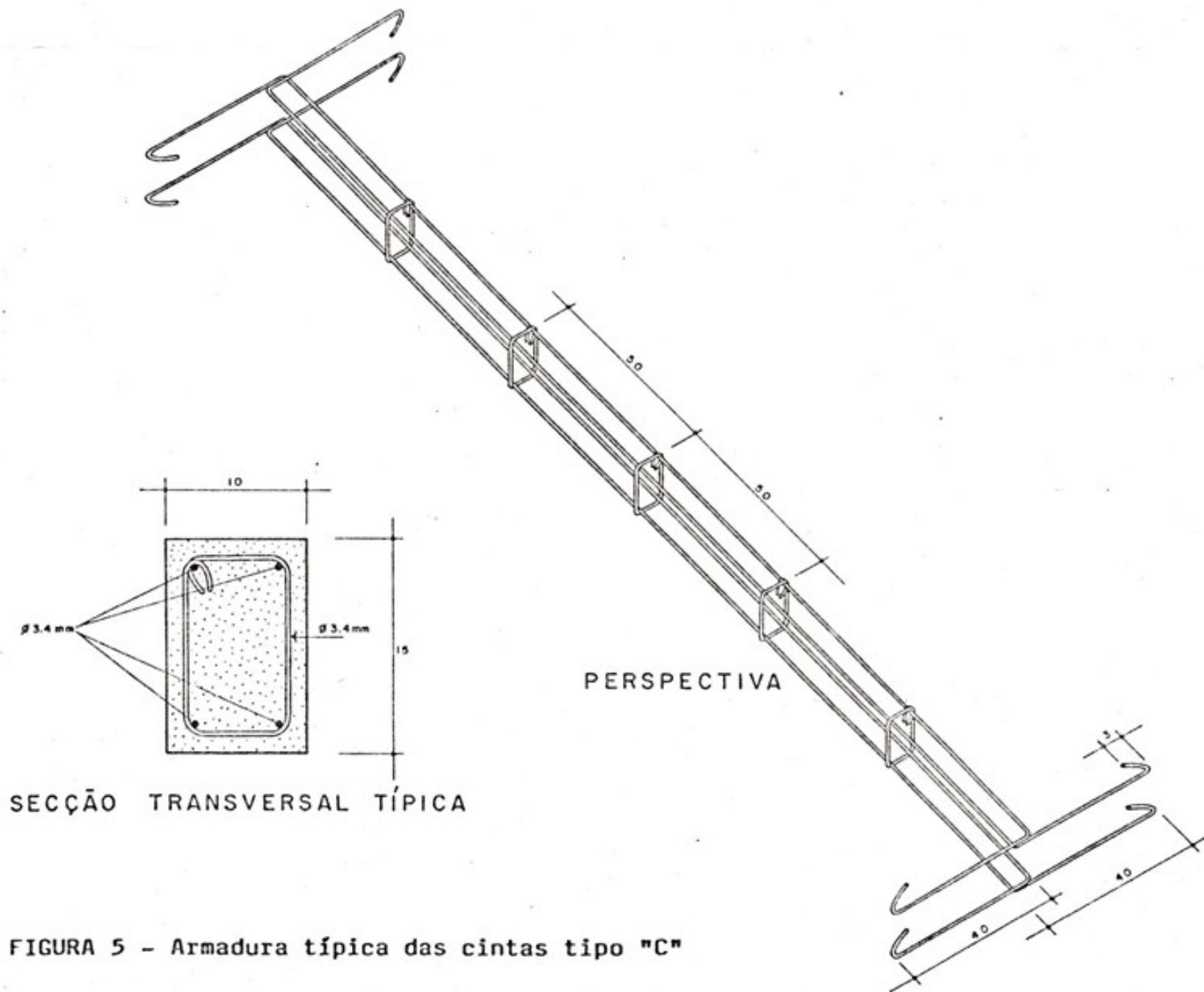
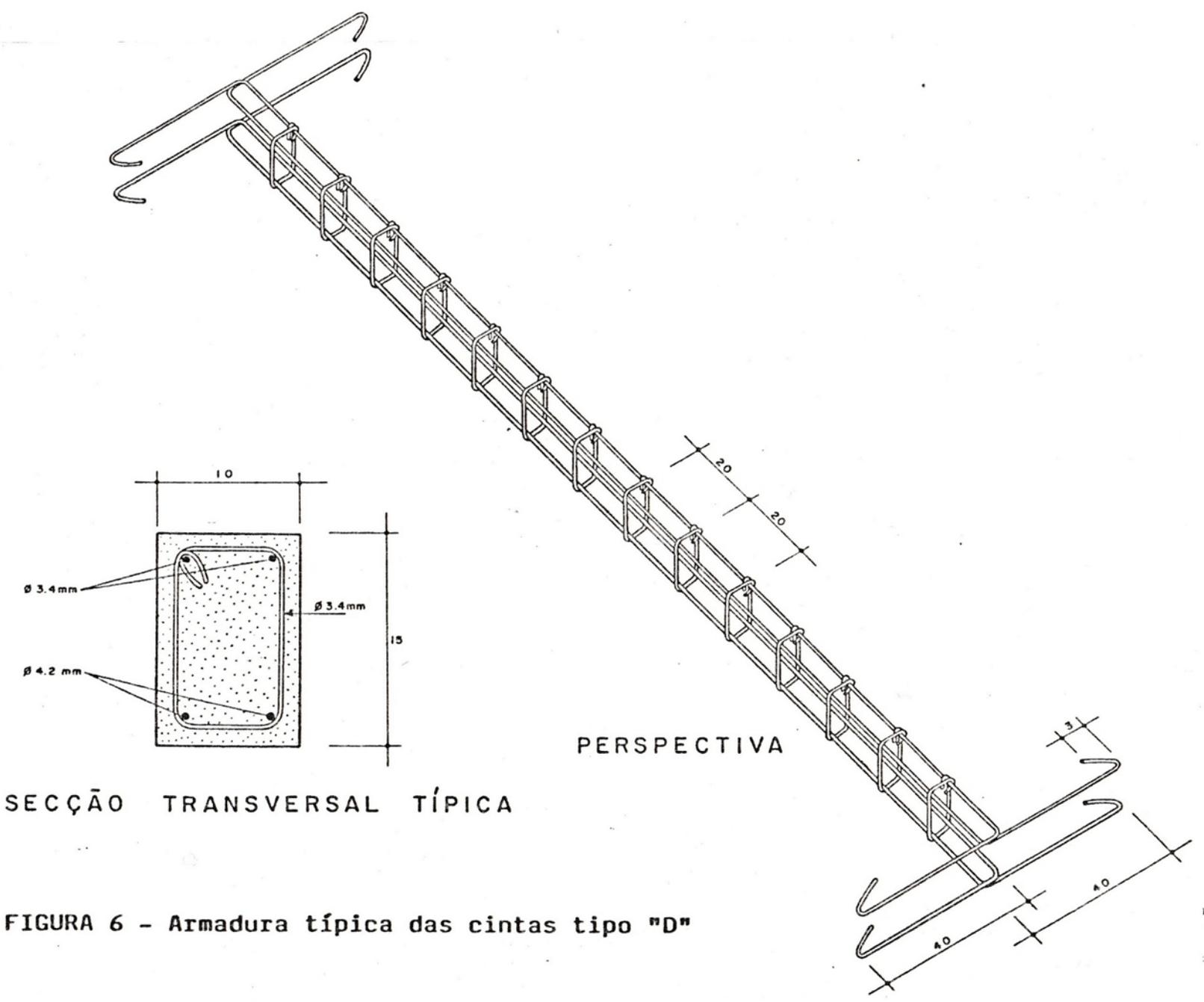
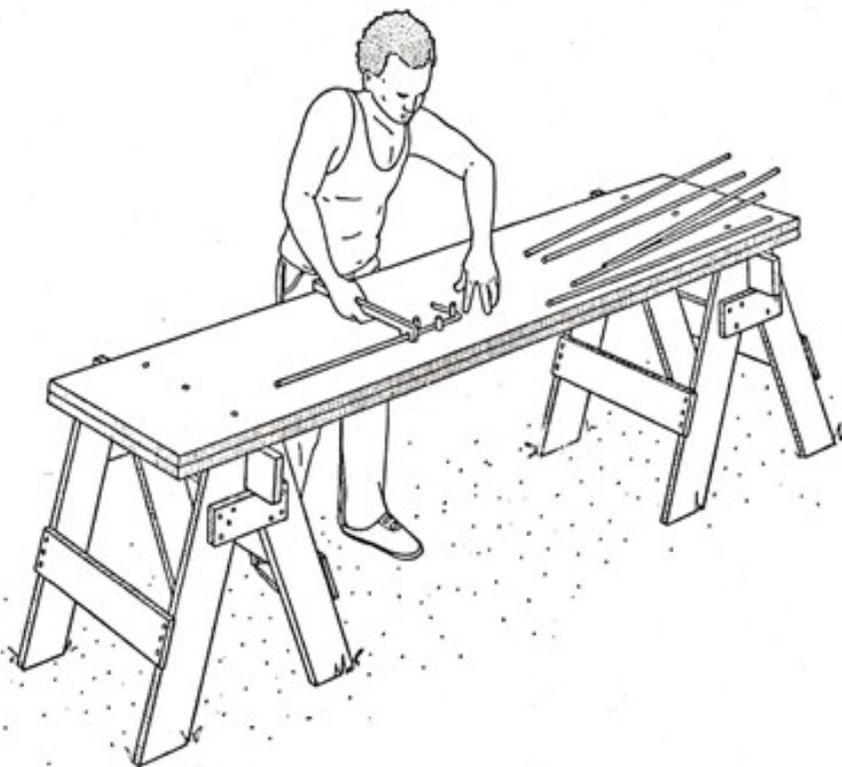


FIGURA 5 - Armadura típica das cintas tipo "C"

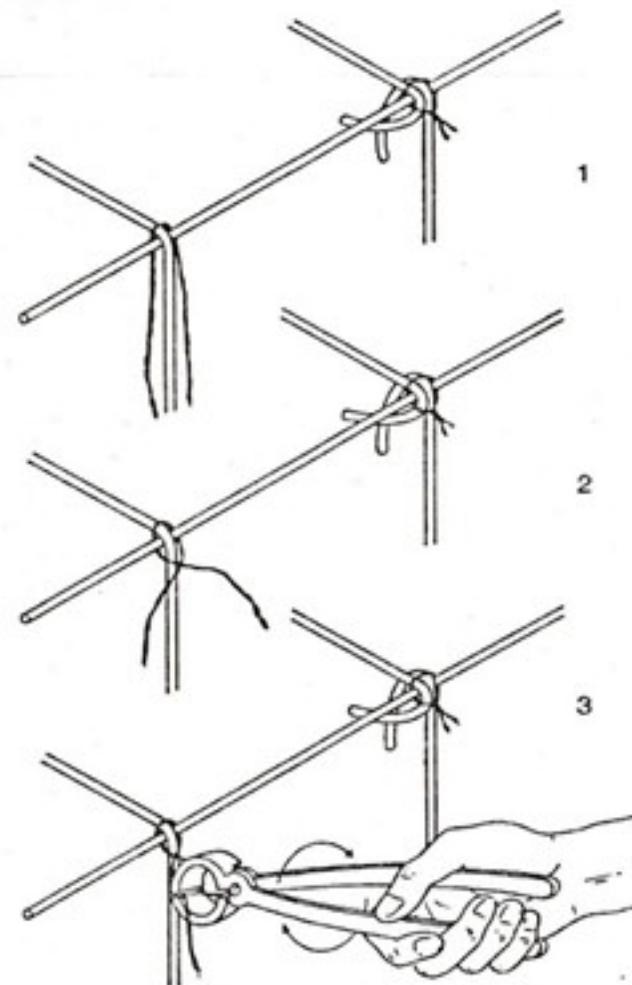




**FIGURA 7a - Dobramento dos estribos**

As diversas peças componentes da armadura deverão ser conformadas (corte dos vergalhões, dobra das peças e sua montagem e amarração) em uma bancada simples do tipo da representada na figura 7a.

A amarração entre os estribos e as peças da armadura longitudinal, caso a caso, é feita com o auxílio de pequenos pedaços de arame recozido, próprio para esse tipo de uso (tipo PG.7, com  $\varnothing 1,24\text{mm}$ ); e de uma torquês (ou alicate), da forma ilustrada na sequência da figura 7b. A correta e firme amarração é muito importante para assegurar que a armadura permaneça na posição correta durante a concretagem.



**FIGURA 7b - Detalhes da amarração dos estribos à armadura longitudinal das cintas**

As fôrmas para concretagem das cintas de contraventamento são executadas de maneira muito simples, com a utilização de tábuas estreitas (com largura mínima de 18cm); ou de sarrafos de madeira compensada própria para a moldagem de concreto (tipo “madeirite” resinado - WBP), neste caso com espessura mínima de 12mm.

Esta última opção, quando disponível e acessível, é mais interessante porque o compensado, embora possa ser algo mais caro que as tábuas comuns empregadas para esse tipo de uso, empena e racha muito menos que estas e possibilita um maior número de reaproveitamentos. Além disso, esses sarrafos de compensado poderão ser reutilizados, após a concretagem das cintas, na execução da(s) fôrma(s) necessária(s) para a conformação das abóbadas (ver item 4 deste Manual).

As figuras 8a, 8b e 8c, adiante reproduzidas, ilustram a maneira de executar as fôrmas para moldagem dos diversos tipos de cintas de contraventamento.

É importante notar que essas fôrmas não precisam ser executadas inteiramente, de uma só vez, sobre todas as paredes da construção.

O fato de as dimensões das cintas serem bastante reduzidas e de elas se apoiarem diretamente sobre as paredes da edificação (à exceção de no caso das cintas do tipo “D” e das pequenas marquises laterais das cintas do tipo “A”) possibilita sua desmontagem já no dia seguinte ao de moldagem do concreto. Assim sendo, é possível executar essas cintas – assim como as fôrmas necessárias para sua moldagem – por partes, com economia de madeira e sem grandes interrupções no trabalho.

Entretanto, é necessário chamar a atenção para o fato de que a desmontagem precoce das fôrmas implica na necessidade da adoção de um maior cuidado no que diz respeito aos procedimentos de “cura” do concreto, dada a maior exposição deste à ação direta do sol, do vento e de eventuais chuvas após a desforma.

Os procedimentos usuais de “cura” do concreto encontram-se descritos um pouco mais adiante, no item que trata da preparação e do lançamento do mesmo no interior das fôrmas.

Também muito importantes, nesse caso, são os cuidados na própria desmontagem das fôrmas, tendo-se em vista que o concreto – ainda fresco e sem a adequada e suficiente resistência mecânica a esforços – acha-se sujeito à desagregação, quando submetido a impactos nessa fase de seu progressivo endurecimento.

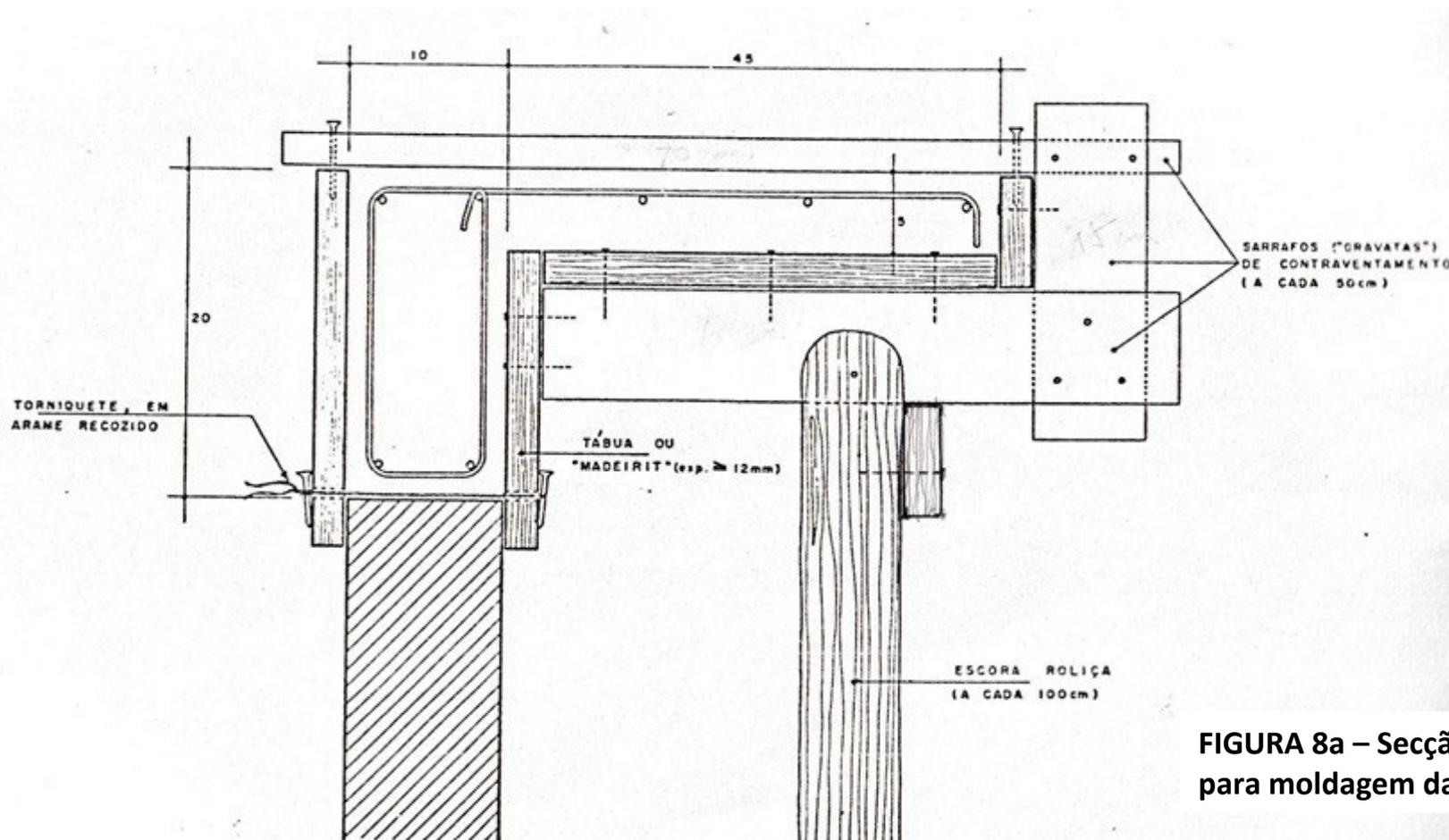
Para a desmontagem das fôrmas basta cortar, com uma torquês adequadamente afiada, as pontas dos arames utilizados na execução dos torniquetes (veja a figura 8a, adiante); e puxar os sarrafos de compensado com cuidado, sem dar pancadas sobre os mesmos – aliás, desnecessárias.

Dessa maneira, e com esses cuidados simples, pode-se perfeitamente fazer a concretagem das cintas por partes, com economia e sem qualquer problema, tal como representado, mais à frente, na figura 9.

O concreto a ser usado nas moldagem das cintas pode ser preparado no traço 2 : 5 : 7 em volume, isto é: duas partes de cimento Portland tipo CP-II (NBR 11.578), com classe de resistência de 32MPa; para cinco partes de areia lavada, média ou grossa; e sete partes de brita fina a média (nº 2).

Observe-se que tanto o cimento, quanto a areia e a brita devem ser, sempre, medidos em um mesmo recipiente – por exemplo, um balde ou uma lata própria para o transporte de concreto fresco –, recipiente esse que deverá ser mantido limpo e a ser utilizado exclusivamente para esse fim, pelo menos até a completa concretagem de todas as cintas de contraventamento.

Outra observação muito importante refere-se à quantidade de água a ser utilizada para a preparação do concreto: esta deverá ser a mínima necessária e suficiente para propiciar a perfeita mistura dos outros três componentes do concreto (cimento, areia e brita) e a adequada hidratação inicial do cimento Portland. Tanto por falta, como por excesso, a água irá comprometer, em definitivo, a qualidade, a resistência e a durabilidade do concreto.



**FIGURA 8a – Seção típica das fôrmas para moldagem das cintas tipo "A"**

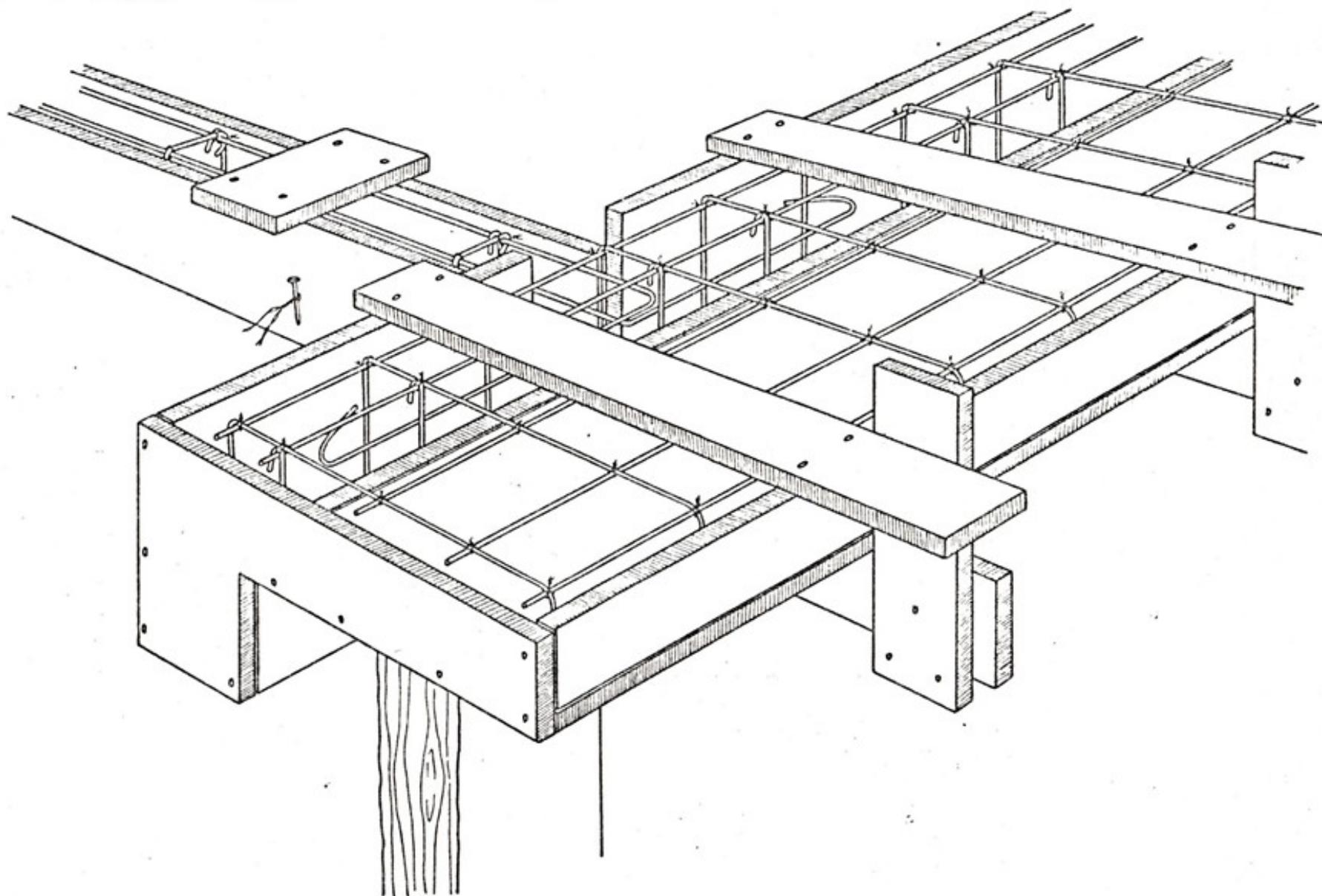
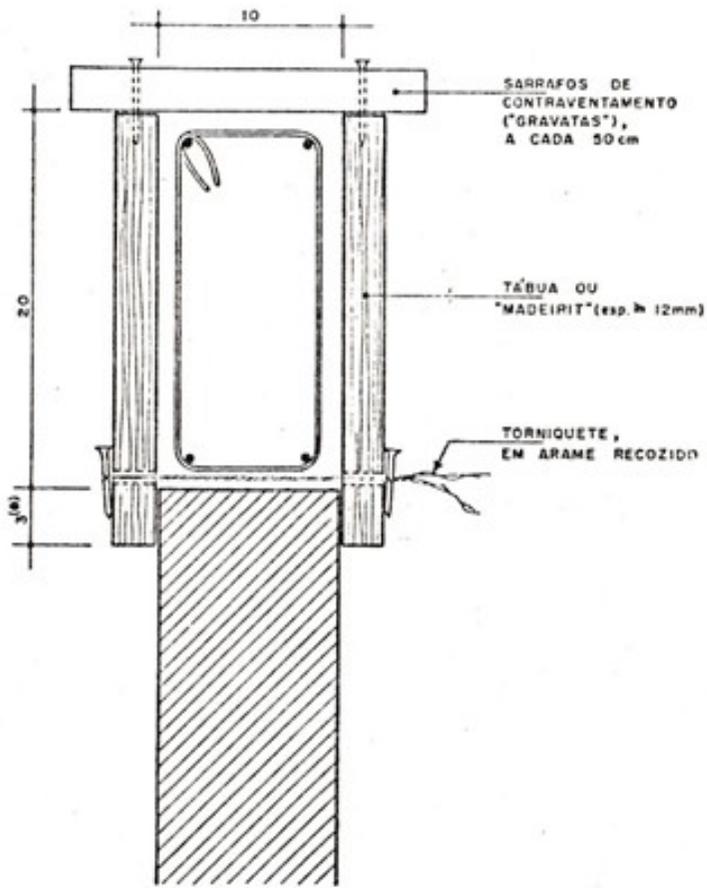
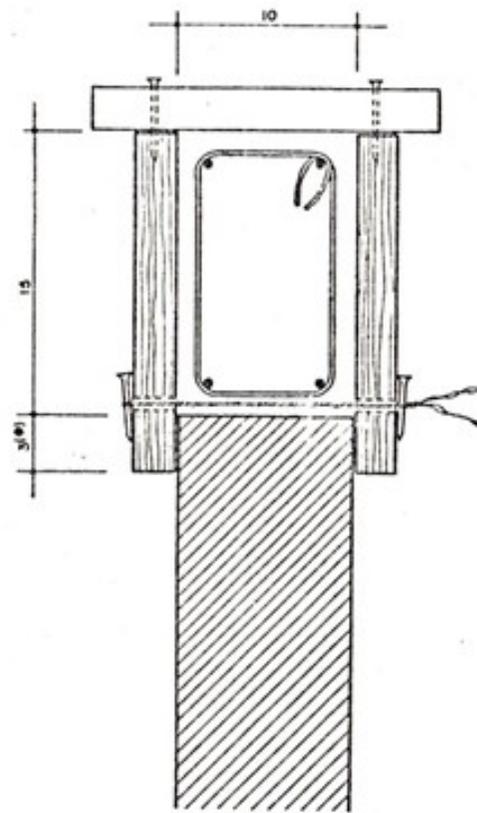


FIGURA 8b - Vista (em perspectiva) das fôrmas e armaduras referentes às cintas tipos "A" e "C"

cintas tipo "B"



cintas tipo "C"



cintas tipo "D"

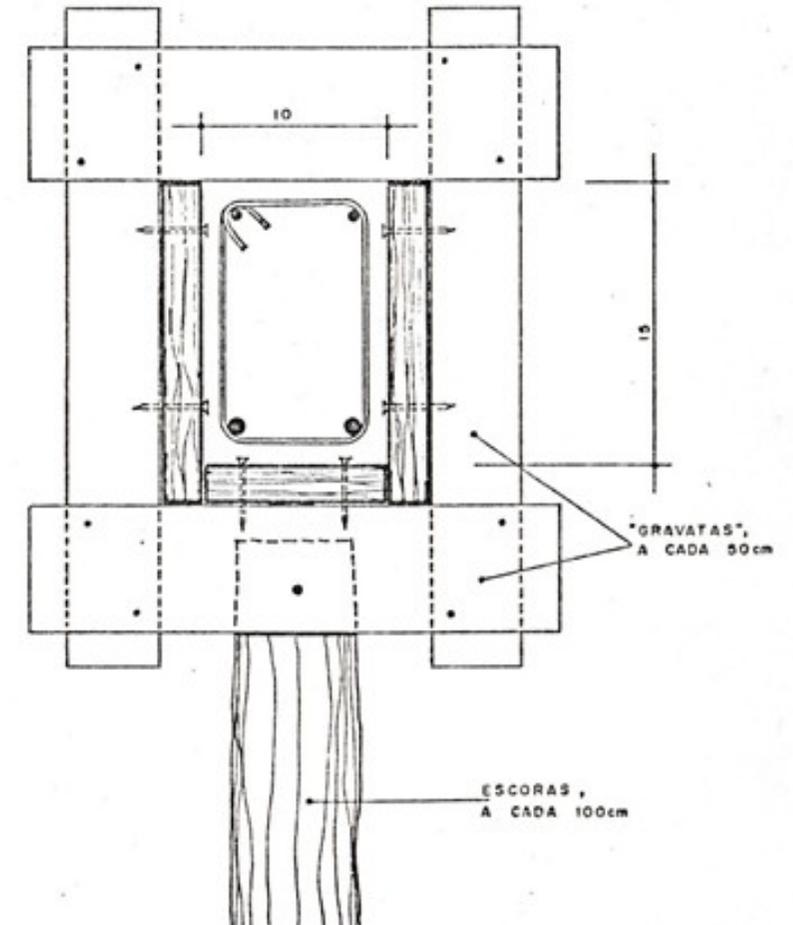


Figura 8c - Secção típica das fôrmas para moldagem das cintas tipo "B", "C" e "D".

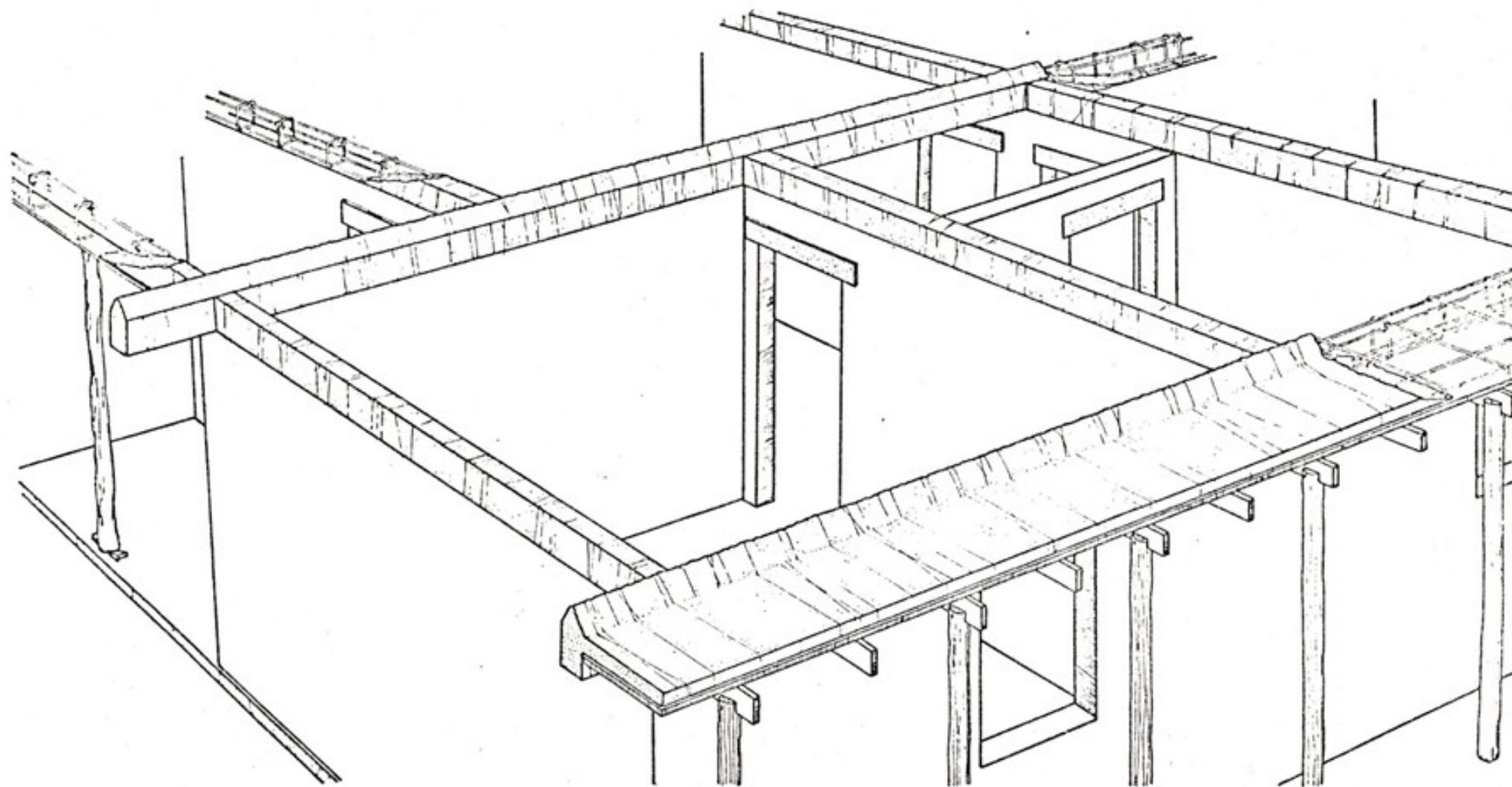


FIGURA 9 - Moldagem por partes do concreto das cintas

A quantidade de água necessária e suficiente para conferir à mistura a trabalhabilidade compatível com o processo de concretagem descrito nesta publicação – com lançamento e adensamento manuais, sem o emprego de equipamentos mecânicos auxiliares, tais como vibradores para concreto – deve ser adicionada aos poucos à mistura seca do cimento, da areia e da brita, até que se obtenha uma massa de consistência plástica, passível de ser moldada com ferramentas manuais.

O adensamento do concreto no interior das fôrmas deve ser feito de maneira cuidadosa, de modo a que o mesmo envolva totalmente toda a armadura; e que fique homogêneo, sem falhas ou “brocas”.

Tendo em vista as pequenas dimensões das cintas, normalmente se consegue um bom adensamento simplesmente mergulhando-se, seguidamente, de cima para baixo e vice-versa, um pequeno pedaço de vergalhão de aço, enquanto o concreto é lançado nas fôrmas. Uma medida auxiliar muito eficaz consiste em se bater, levemente mas de forma continuada, nas laterais das fôrmas, com o emprego de um martelo, ou de um pedaço de madeira.

Assim que o concreto comece a apresentar resistência ao toque com os dedos – o que significa que o processo de “pega” (endurecimento) está se processando normalmente – deve-se cobrir sua superfície exposta (por exemplo, com sacos vazios de cimento, previamente abertos e umedecidos).

A partir desse momento e por um período mínimo de 24 horas, essa proteção superficial deverá ser mantida permanentemente molhada. Após esse período inicial de “cura”, essa proteção superficial poderá ser retirada, para reaproveitamento da mesma em outros trechos; mas a

superfície do concreto deverá ser periodicamente regada, durante – pelo menos – os sete primeiros dias após a execução de cada trecho da concretagem. Este processo de “cura” é essencial para assegurar que o concreto venha a adquirir a plena capacidade de consistência, durabilidade e resistência (à compressão), inerentes à dosagem utilizada em sua composição e aos procedimentos – relativamente simplificados – empregados em sua conformação.

Pode-se observar, nas secções transversais contidas nas figuras 3 e 4, que o lançamento do concreto nas cintas dos tipos A e B, nos seus trechos em que ocorrerá o apoio das abóbadas sobre elas, deverá ser feito de maneira a que essas superfícies venham a apresentar uma textura áspera, rugosa; e com uma configuração formal adequada ao pleno apoio das primeiras fiadas de tijolos das abóbadas sobre essas superfícies.

Isto é feito, na prática, de maneira muito simples: apenas lançando o concreto, nesses trechos superiores das cintas, e modelando-o com a colher de pedreiro, nas formas sugeridas nas referidas figuras 3 e 4, assim como na figura 9 (após sua desforma). Apenas se deve atentar para o uso, nesses trechos específicos, de um concreto menos plástico – com ainda mais baixo conteúdo de água em sua preparação –, de modo a que seja capaz de conservar essa forma, mesmo quando ainda fresco.

Aproximadamente 4 horas após a concretagem (quando, em condições usuais de clima, em nossa região e na estação seca, começa a se consolidar o processo de “pega” do concreto), deverá ser feita a escovação dessas superfícies, preferivelmente com o emprego de uma escova de fios de aço (ou, na falta dessa, de uma escova de piaçava de cerdas curtas e duras).

Essa escovação tem o objetivo de remover a nata de cimento que normalmente se forma na superfície do concreto após sua modelagem; e que poderia prejudicar, de algum modo, a necessária aderência entre essas superfícies e a argamassa a ser empregada no assentamento das primeiras fiadas dos tijolos que irão conformar as abóbadas.

É muito importante chamar-se a atenção para o fato de que o concreto armado necessita de um tempo mínimo, após sua moldagem, para que possa ser submetido à ação de cargas.

As cintas de contraventamento não fogem a essa regra; e, sendo usado o cimento Portland comum, tipo CP-II (NBR 11.578), com classe de resistência de 32MPa, será necessário aguardar-se um período de tempo da ordem de 7 (sete) dias, após a concretagem, para que se possa iniciar a execução da cobertura em abóbadas.

Assim sendo, é conveniente programar-se bem as diversas atividades de execução da obra, como um todo, para que não se configurem “tempos mortos”, que acabem por onerar a construção.



## 4. Execução das fôrmas corrediças para execução das abóbadas

Recomenda-se, para a execução das fôrmas corrediças a serem utilizadas para a conformação das abóbadas, o emprego de chapas de madeira compensada próprias para a execução de fôrmas para a moldagem de componentes construtivos em concreto armado, do tipo “madeirite” resinado (WBP), com espessura mínima de 12mm.

Esse tipo de material – do qual existem diversos fabricantes no mercado – possibilita uma relativamente fácil marcação e corte das diversas peças que irão compor as fôrmas corrediças, como a seguir será mostrado. Além disso, com esse tipo de material essas fôrmas ficarão bastante leves, facilitando seu manuseio; e serão suficientemente resistentes a empenos e deformações resultantes da ação conjunta da umidade e do calor do sol.

Sempre que possível, deverão ser feitas duas fôrmas corrediças de idênticas dimensões, a serem utilizadas por uma mesma equipe de operários (1 pedreiro e 1 ajudante) de forma alternada, em vãos adjacentes da construção, enquanto uma delas fica imobilizada durante o período necessário ao início da “pega” da argamassa de assentamento dos tijolos (mínimo de 2 horas e meia, nas condições climáticas usuais em nossa região, na estação seca). Observe-se que esse tempo mínimo de “pega” da argamassa que irá unir os tijolos da abóbada entre si poderá variar muito – para menos, mas, principalmente, para mais –, dependendo das condições climáticas prevaletentes em cada contexto regional, e/ou ao longo das estações do ano.

Críticas, desse ponto de vista, são as baixas temperaturas, sob as quais o período de tempo necessário para que a argamassa adquira consistência e resistência intrínseca ao esmagamento, compatíveis com essas condições de trabalho, podem estender-se por várias horas.

Para a fabricação de cada fôrma gastam-se, em média, duas chapas de “madeirite”, que são usualmente comercializadas nas dimensões de 110 x 220cm, com diversas espessuras. Recomenda-se utilizar chapas com a espessura mínima de 12mm.

Conforme foi dito anteriormente, parte significativa desse material poderá resultar do reaproveitamento dos sarrafos (dessa mesma natureza e características dimensionais) utilizados na conformação das fôrmas para concretagem das cintas de contraventamento.

A primeira coisa a fazer consiste na marcação, sobre uma chapa inteira, da curvatura (parábola) da abóbada, conforme o vão que se necessita cobrir e utilizando-se os valores discriminados, caso a caso, nas tabelas constantes do ANEXO I a este Manual.

Convém notar que, para a maior parte dos vãos usuais, mesmo na construção de habitações populares de baixo custo – às quais este Manual principalmente se destina –, será necessário fazer uma emenda na fôrma para se utilizar esse tipo de material, de vez que a maior extensão dessas chapas é de, apenas, 220cm (ou 2,2m).

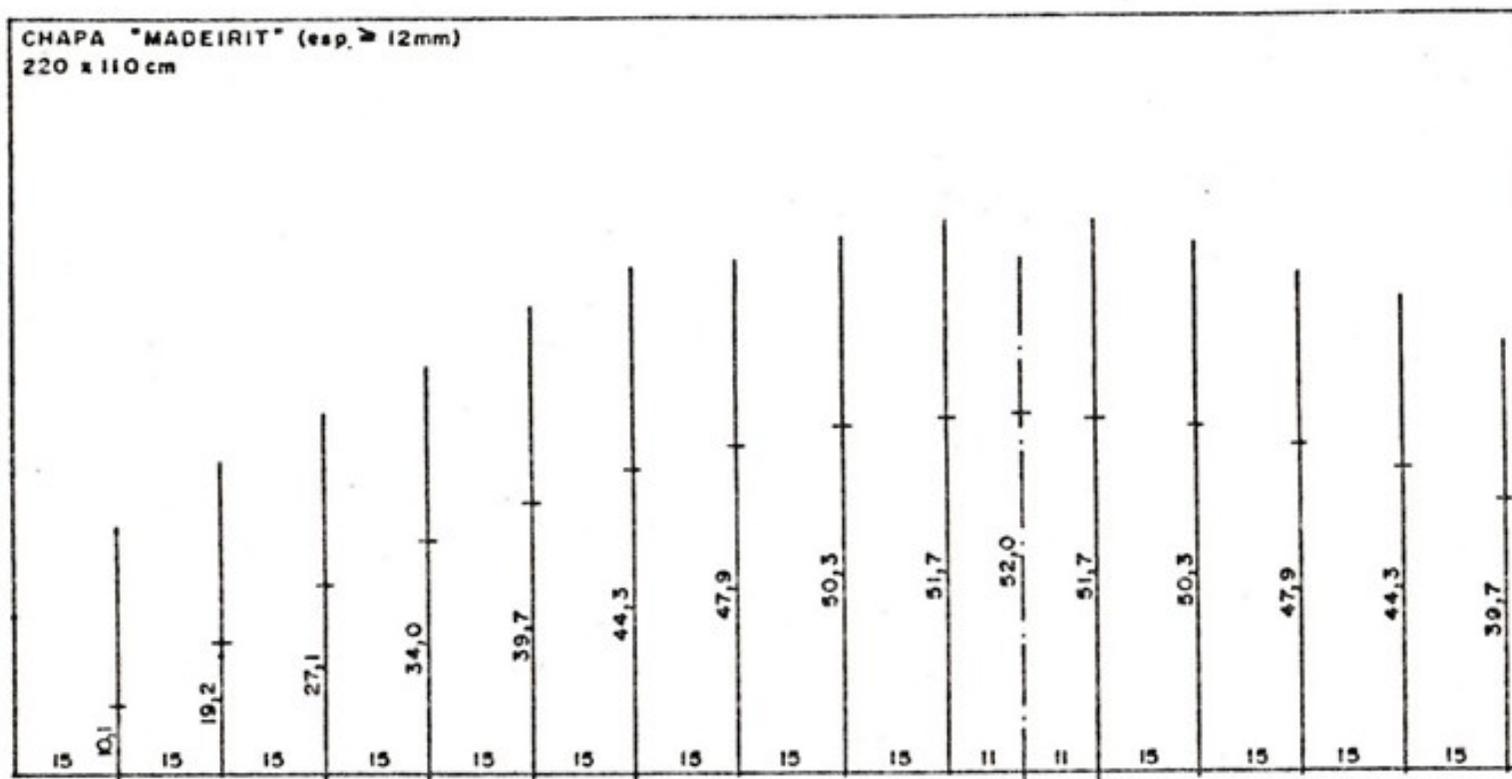
Essa emenda, entretanto, é de execução muito simples, como adiante se verá; e não compromete em nada a necessária rigidez e estabilidade da fôrma.

Utilizando-se os dados da tabela do ANEXO I, referentes ao vão  $V = 3\text{m}$  de nosso exemplo, pode-se ver que tomamos, para a fôrma, o valor de  $v = 292\text{cm}$ . Essa diferença de 8cm entre o vão a cobrir ( $V$ ) e o vão de cálculo ( $v$ ) – este último correspondente ao comprimento total da fôrma corredeira – diz respeito a uma folga mínima a ser deixada entre as extremidades da fôrma e as faces adjacentes das cintas de contraventamento longitudinais (tipos A e B, como vimos), de maneira a permitir que aquela se desloque sem maiores dificuldades, durante o processo de conformação das abóbadas, apesar de pequenas irregularidades eventuais nas faces das cintas.

Esclarecido esse ponto, bastará, para definição da curvatura da abóbada – e, portanto, da fôrma corredeira que será utilizada para conformá-la – marcar, sobre a aresta maior da 1ª chapa de “madeirite” e a partir de sua extremidade à esquerda (veja a figura 10, adiante), nove (9) pontos distintos, distanciados entre si de 15cm.

A seguir, com o auxílio de um esquadro de carpinteiro e a partir de cada um dos referidos pontos, traçamos diversas linhas, paralelas entre si e perpendiculares à aresta inferior da chapa de compensado.

Sobre a primeira dessas linhas (a 15cm da extremidade esquerda da chapa), marcamos o comprimento de 10,1cm (valor de  $y$  na tabela, correspondente a  $x = 15\text{cm}$ ); sobre a segunda das mesmas linhas, o comprimento de 19,2cm (valor de  $y$  correspondente a  $x = 30\text{cm}$ ); e assim por diante, conforme mostrado na figura 10, até a linha correspondente ao ponto situado a 135cm da extremidade esquerda da chapa, sobre a qual se marcará o comprimento de 51,7cm, sempre de acordo com a mesma tabela (para  $V = 300\text{cm}$  e  $v = 292\text{cm}$ ).



**FIGURA 10 - Diagrama da definição dos pontos da parábola sobre a chapa de compensado ("MADEIRIT")**

A partir desse ponto, marcam-se dois outros, distanciados entre si de 11cm; e, com o esquadro de carpinteiro, duas outras linhas, paralelas às primeiras e passando por cada um desses dois pontos. Por conseguinte, a primeira dessas duas novas linhas ficará situada a 146cm da extremidade esquerda da chapa (135 + 11); correspondendo, portanto, à metade do comprimento total da fôrma corredeira ( $292 \div 2$ ). Sobre ela, será marcado o comprimento de 52cm, correspondente à flecha máxima da parábola para esse vão.

Observe-se que todos os valores estabelecidos para a flecha máxima dessas curvaturas, para todos os vãos abordados neste Manual, são arbitrários; e tiveram como referência as observações e aferições do autor, com base na análise de vigotas pré-moldadas em concreto armado de produção industrial, destinadas à conformação de abóbadas mistas.

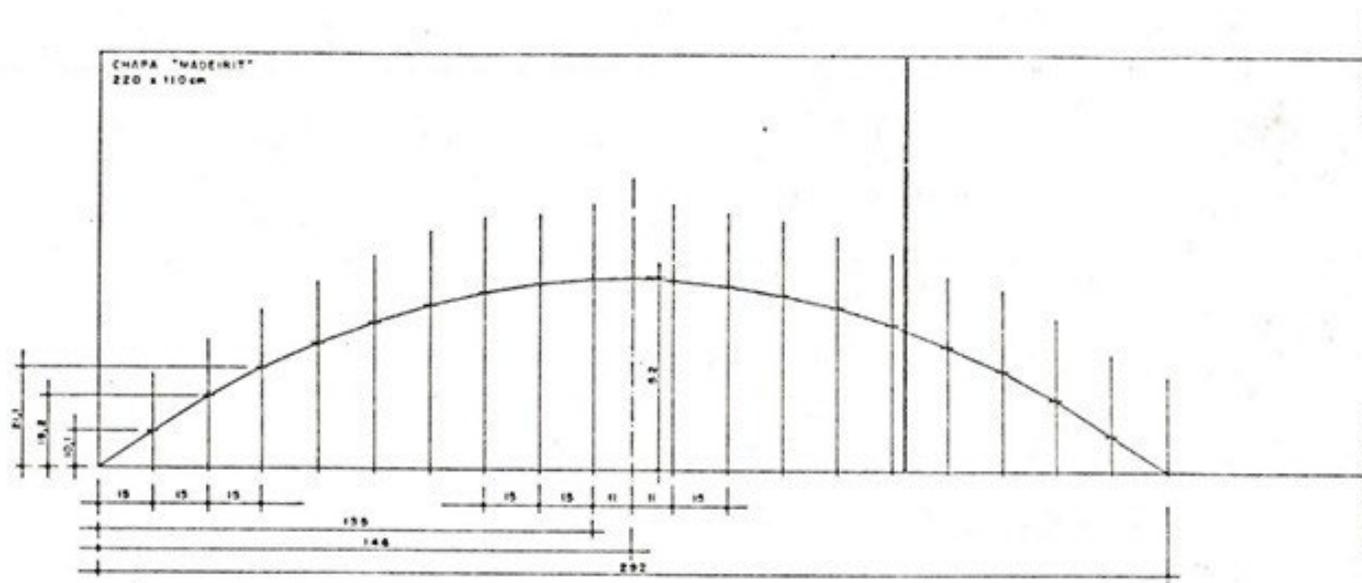


FIGURA 11 - Diagrama da marcação da curvatura (parábola) da fôrma

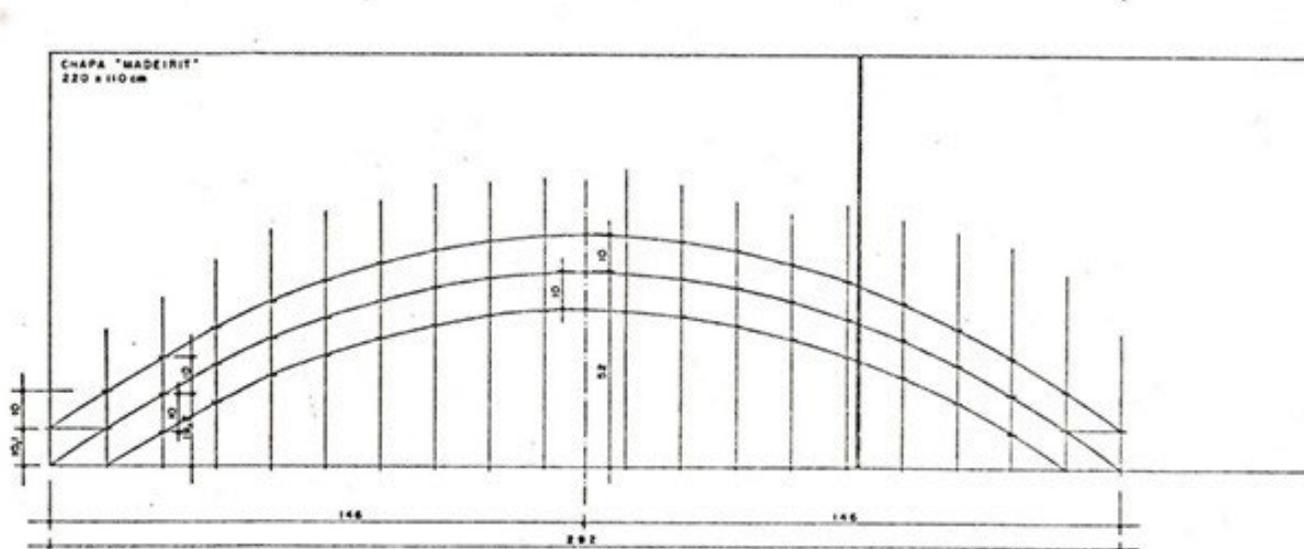


FIGURA 12 - Marcação dos dois sarrafos curvos (peças A.1 e A.2) das cambotas da fôrma

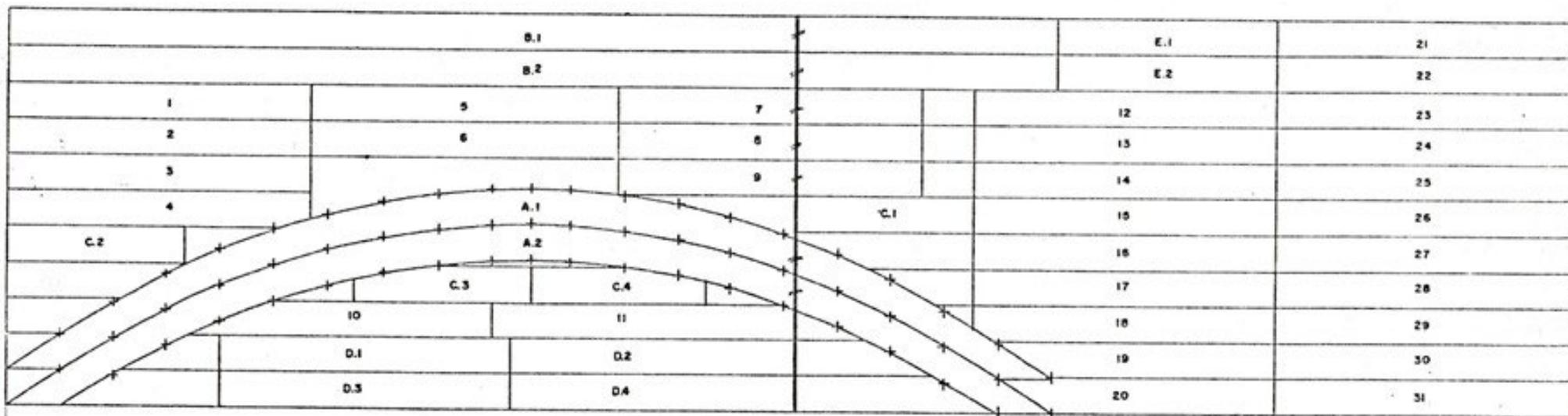


FIGURA 13 - Esquema de desdobramento das chapas de compensado para execução de uma fôrma

Tal como mostrado na figura 11, a partir dessa linha correspondente à flecha máxima da parábola, repete-se a marcação feita até então, mas em escala descendente, do eixo central em direção à extremidade da curvatura à direita: sobre a primeira linha (situada a 11cm do eixo central, à direita deste) repete-se a marcação do comprimento de 51,7cm; e, daí para diante, sobre as novas linhas paralelas e novamente distanciadas entre si de 15cm, valores correspondentes às suas simétricas no tramo ascendente da curva.

Entretanto, como o comprimento total de cada chapa se restringe a 220cm, a complementação dessa marcação será feita sobre a segunda das chapas de compensado, a ser justaposta à primeira, como também evidencia a mesma figura 11.

Completada a marcação dos pontos, a curva (parábola) será definida pela simples ligação desses pontos entre si com segmentos de reta. É evidente que este procedimento resulta de uma simplificação construtiva. Entretanto, tendo em vista a grande "abertura" da curva e a relativamente pequena distância ( $\approx 15\text{cm}$ ) entre seus pontos reais, definidos pelos cálculos expressos na tabela, trata-se de uma simplificação perfeitamente aceitável (até mesmo porque as faces inferiores dos tijolos – cerâmicos e de oito furos, no caso – a serem utilizados na conformação da abóbada são também retilíneas e com largura usual de 20cm).

Definida a curva, deverão ser marcadas duas outras séries de pontos sobre as linhas auxiliares utilizadas para a marcação daqueles, respectivamente acima e abaixo da primeira curva delineada e equidistantes desta de 10cm, tal como mostrado na figura 12.

Essas duas novas séries de pontos irão definir as linhas de corte dos dois sarrafos curvos correspondentes às laterais da fôrma corredeira a ser utilizada para a construção da cobertura em abóbadas. A figura 13 ilustra a forma sugerida de marcação para o desdobramento das chapas de

“madeirite”, de modo a resultar no melhor aproveitamento das mesmas para a obtenção dos demais sarrafos (retilíneos, todos esses) necessários para a conformação da fôrma corredeira. As figuras 14, 15 e 16 ilustram as outras atividades necessárias para a confecção dessa fôrma.

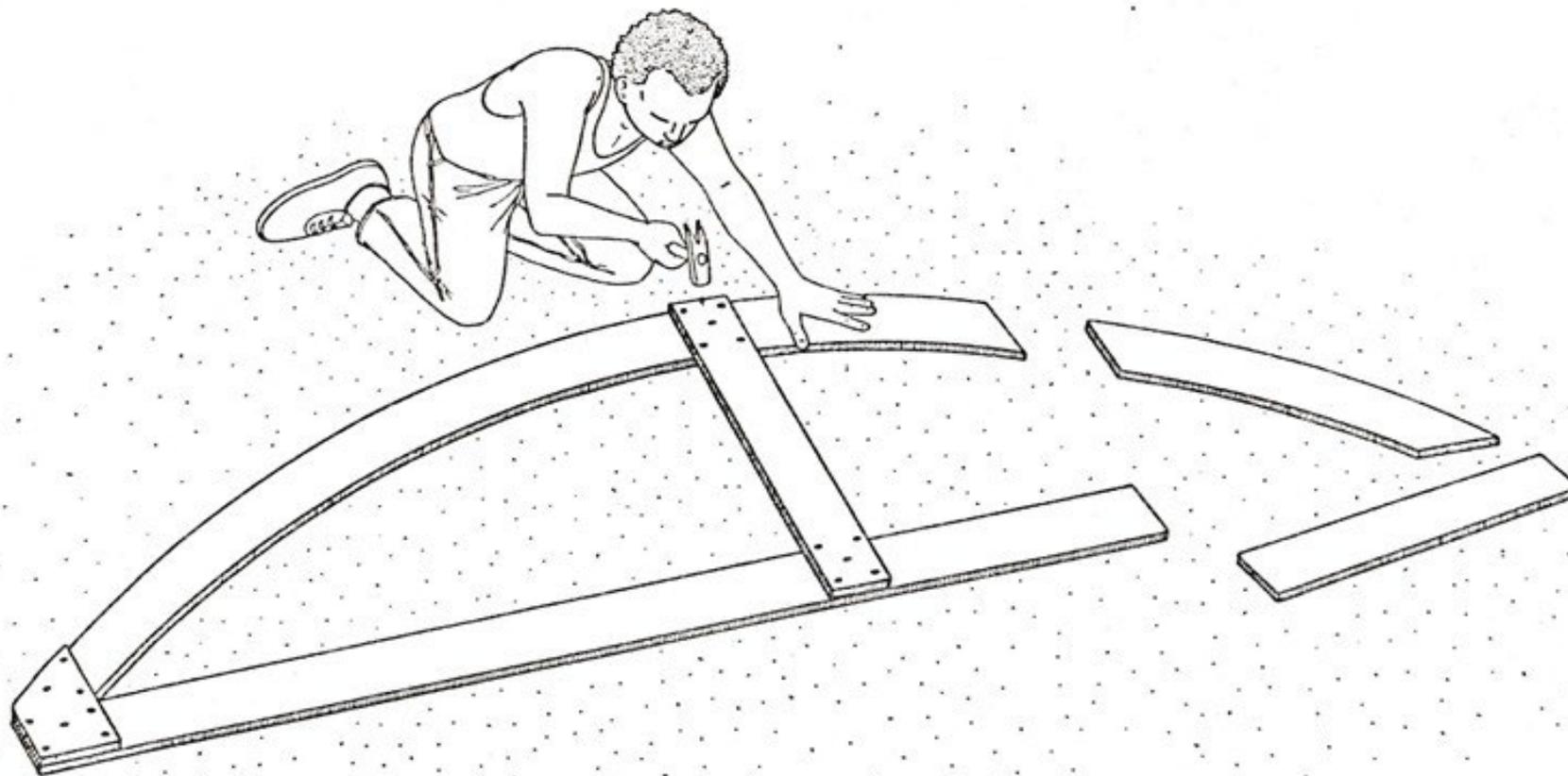


FIGURA 14 - Início da montagem de uma das cambotas laterais da fôrma

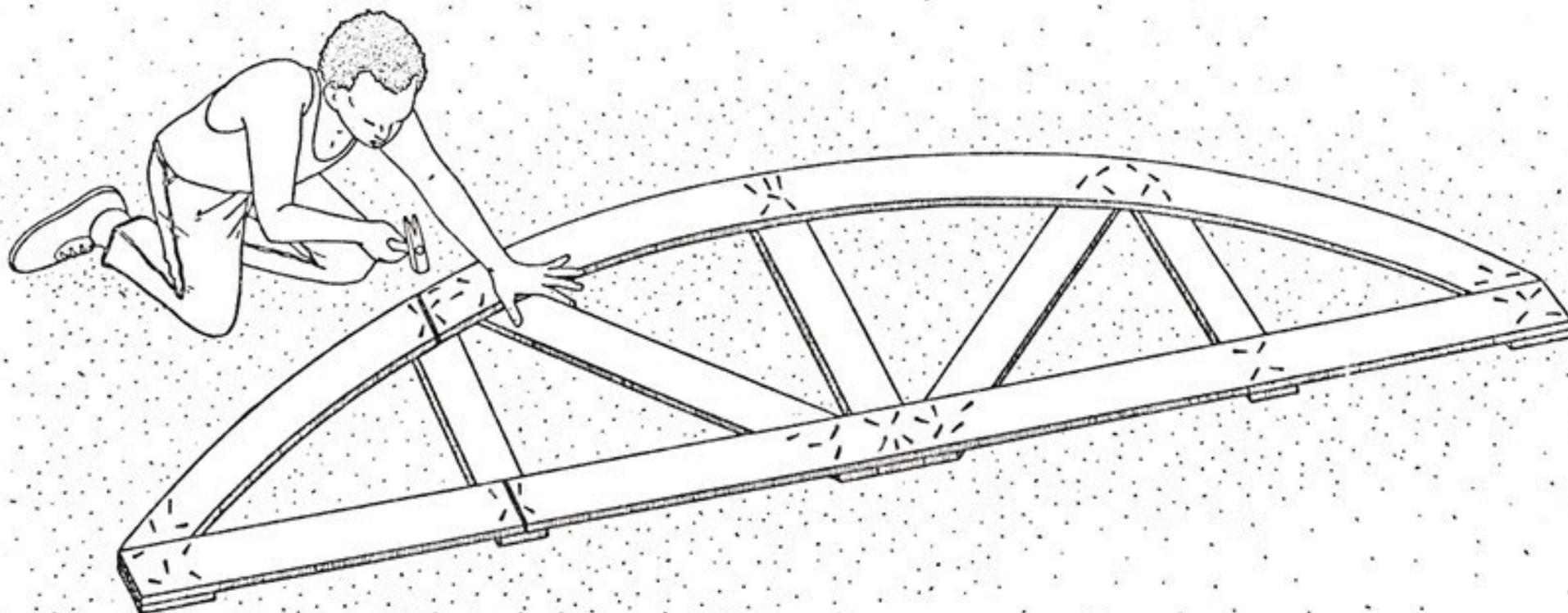


FIGURA 15 - Término da montagem de uma das cambotas laterais da fôrma

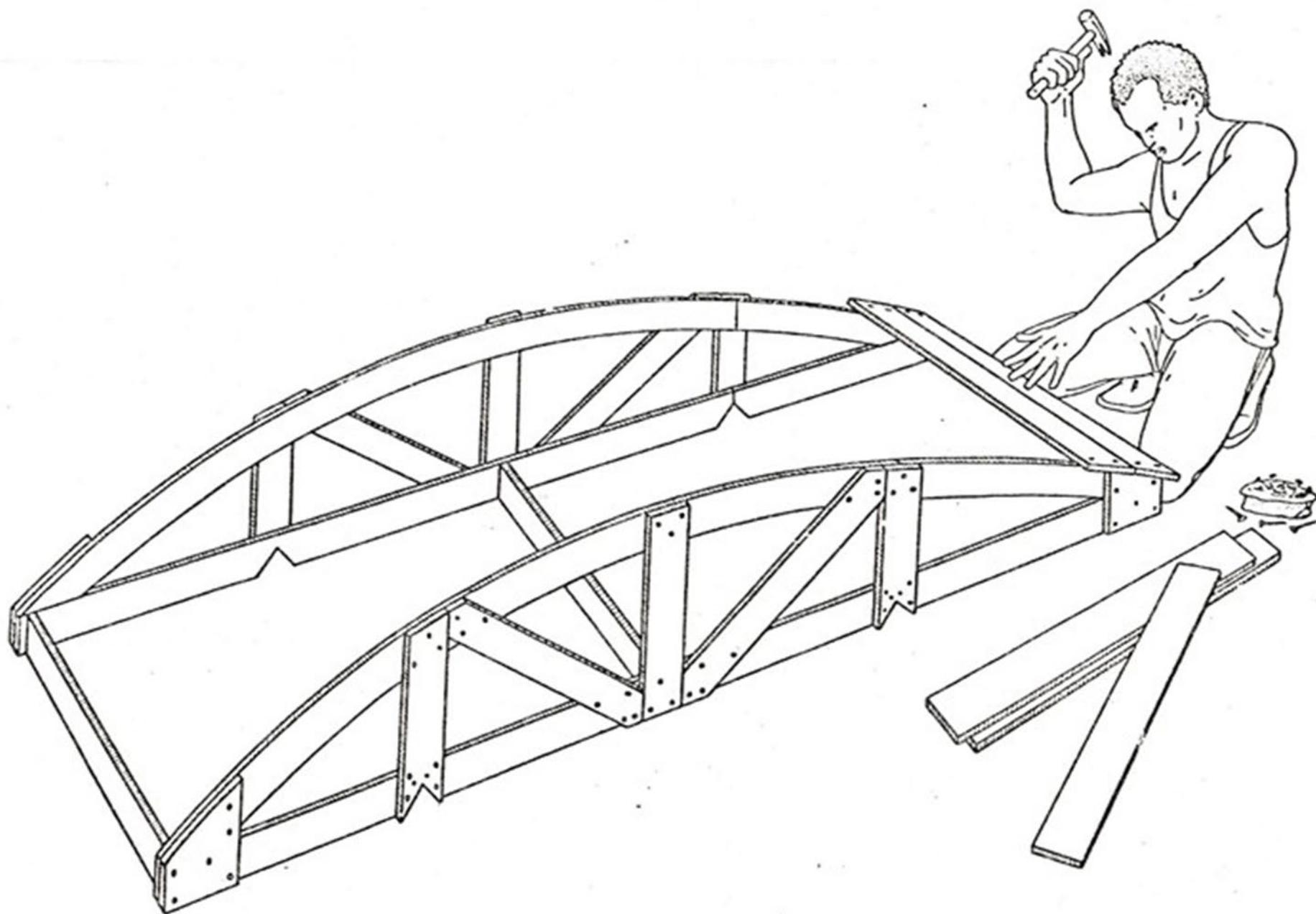


FIGURA 16 - Montagem da fôrma para execução das abóbadas

Conforme já dito anteriormente, a cobertura em abóbadas sobre uma edificação pode ser inteiramente executada com o emprego de apenas uma fôrma corrediça.

Entretanto, como será necessário que se deixe transcorrer o período de tempo mínimo de duas horas e meia, após a execução de cada uma das sucessivas faixas que irão conformar uma das abóbadas, até que se possa deslocar a fôrma para sua nova posição, como adiante se verá, é conveniente – sempre que os recursos financeiros de que se disponha sejam suficientes para tanto – que se construa duas fôrmas corrediças (idênticas entre si, ou não, conforme cada caso), a serem utilizadas alternadamente, sobre vãos adjacentes.

A figura 17, mais adiante reproduzida, irá mostrar (sempre com base no exemplo prático aqui ilustrado, com vãos idênticos entre si, de 3m) o procedimento sugerido para a marcação e desdobramento de quatro (4) chapas de compensado tipo “madeirite”, com espessura mínima de 12mm e dimensões superficiais de 110 x 220cm, para a construção de duas fôrmas corrediças idênticas.

Alternativamente, para a construção dessa segunda fôrma corrediça, poderão ser reaproveitados os sarrafos de “madeirite” usados na confecção das fôrmas para moldagem das cintas de contraventamento, utilizando-se como “moldes” (naturalmente, antes da montagem da primeira fôrma corrediça) os sarrafos – curvos e retilíneos – desdobrados das duas primeiras chapas inteiriças.

Desde que viável, o maior investimento necessário para a execução de duas fôrmas será sempre vantajoso, se considerarmos o grande ganho de tempo que essa providência irá proporcionar no que se refere ao processo de conformação da cobertura em abóbadas, propriamente dito.

**Instalações da PRODAL, em Lagoa Santa, MG: paredes e abóbadas em blocos de concreto celular auto clavado**



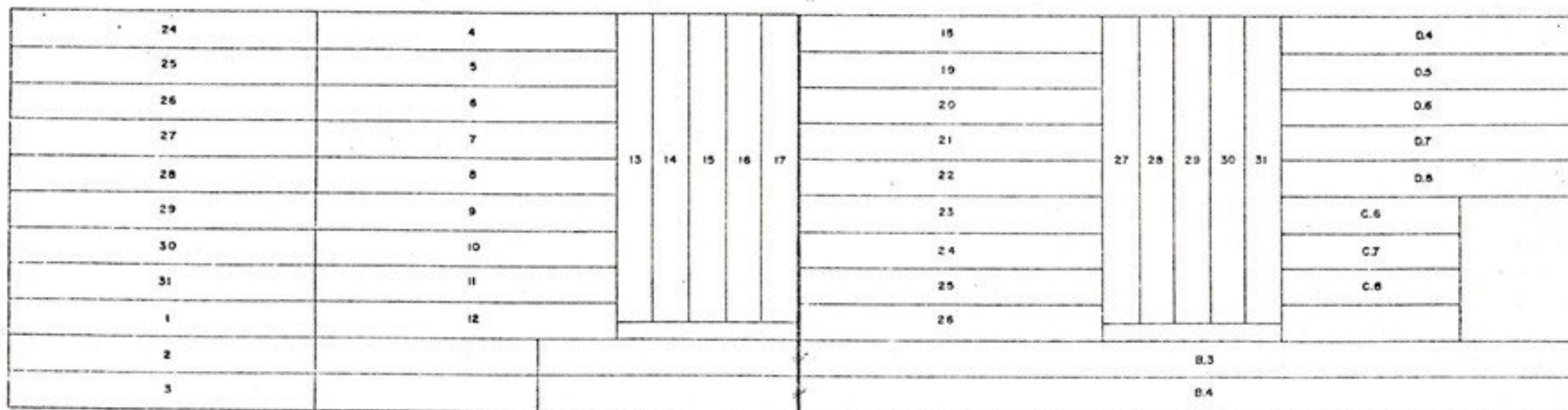
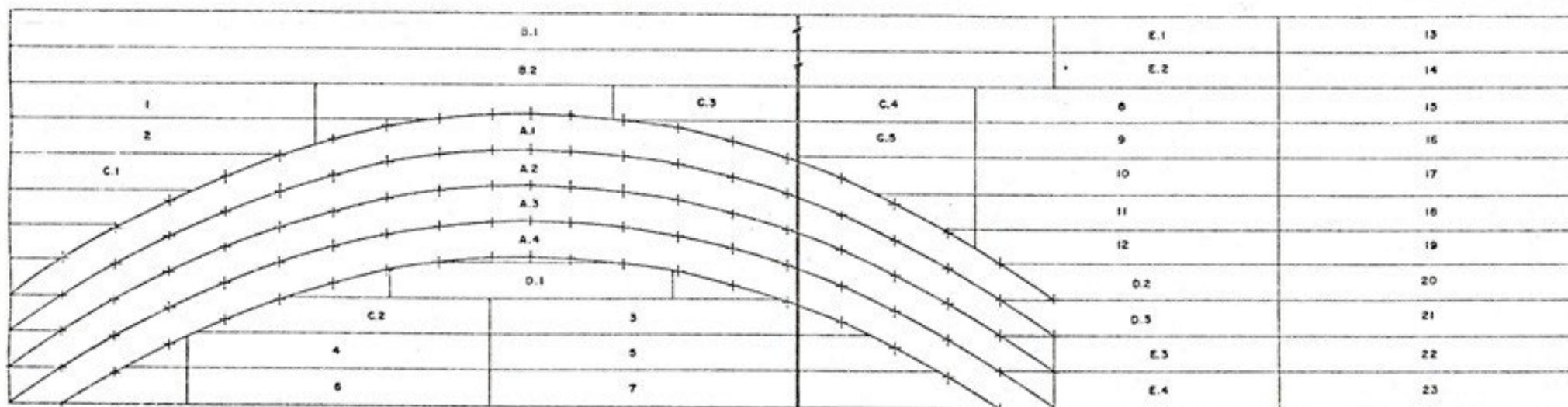


FIGURA 17 - Esquema de desdobramento das chapas de compensado para execução de duas fôrmas

## 5. Posicionamento e alinhamento das fôrmas corrediças

A colocação da(s) fôrma(s) corrediça(s) na posição adequada para sua utilização efetiva é feita de maneira bastante simples, como adiante se verá. Para cada fôrma corrediça, serão necessários dois

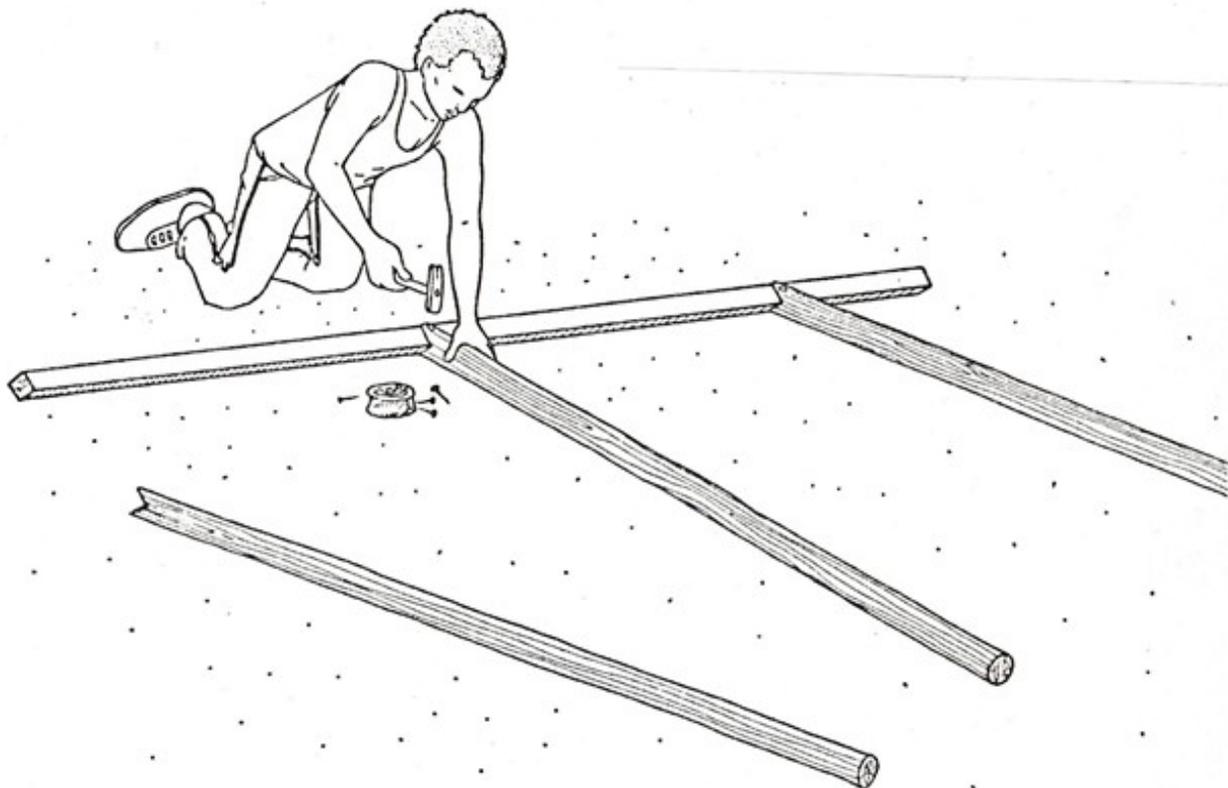


FIGURA 18 - Montagem de um dos cavaletes-guia ("cursores") de apoio da fôrma das abóbadas

pontaletes de madeira maciça aparelhada, com a secção transversal aproximada de 8 x 8cm e tão desempenados quanto seja possível. É muito desejável que o comprimento desses pontaletes – que irão conformar os “trilhos” sobre os quais serão deslocadas as fôrmas corrediças – corresponda à extensão longitudinal do cômodo mais espaçoso da edificação, de modo a se evitar a necessidade de fazer emendas nos mesmos.

As escoras, por sua vez, deverão ter seu comprimento equivalente à altura total das paredes da edificação, somada à metade, aproximadamente, da altura das cintas de contraventamento transversais (tipo C ou D).

Essas escoras deverão ser pregadas aos pontaletes, da maneira ilustrada na figura 18, após a preparação das mesmas, através do corte de sua extremidade superior na forma de “rabo de andorinha”, ou “v”.

Observe-se que a distância máxima entre duas escoras adjacentes não deverá exceder 1,5m, de modo a se evitar a flexão vertical dos pontaletes, quando sob a ação do peso da fôrma corrediça e dos tijolos a serem dispostos sobre ela, durante o processo de conformação das abóbadas.

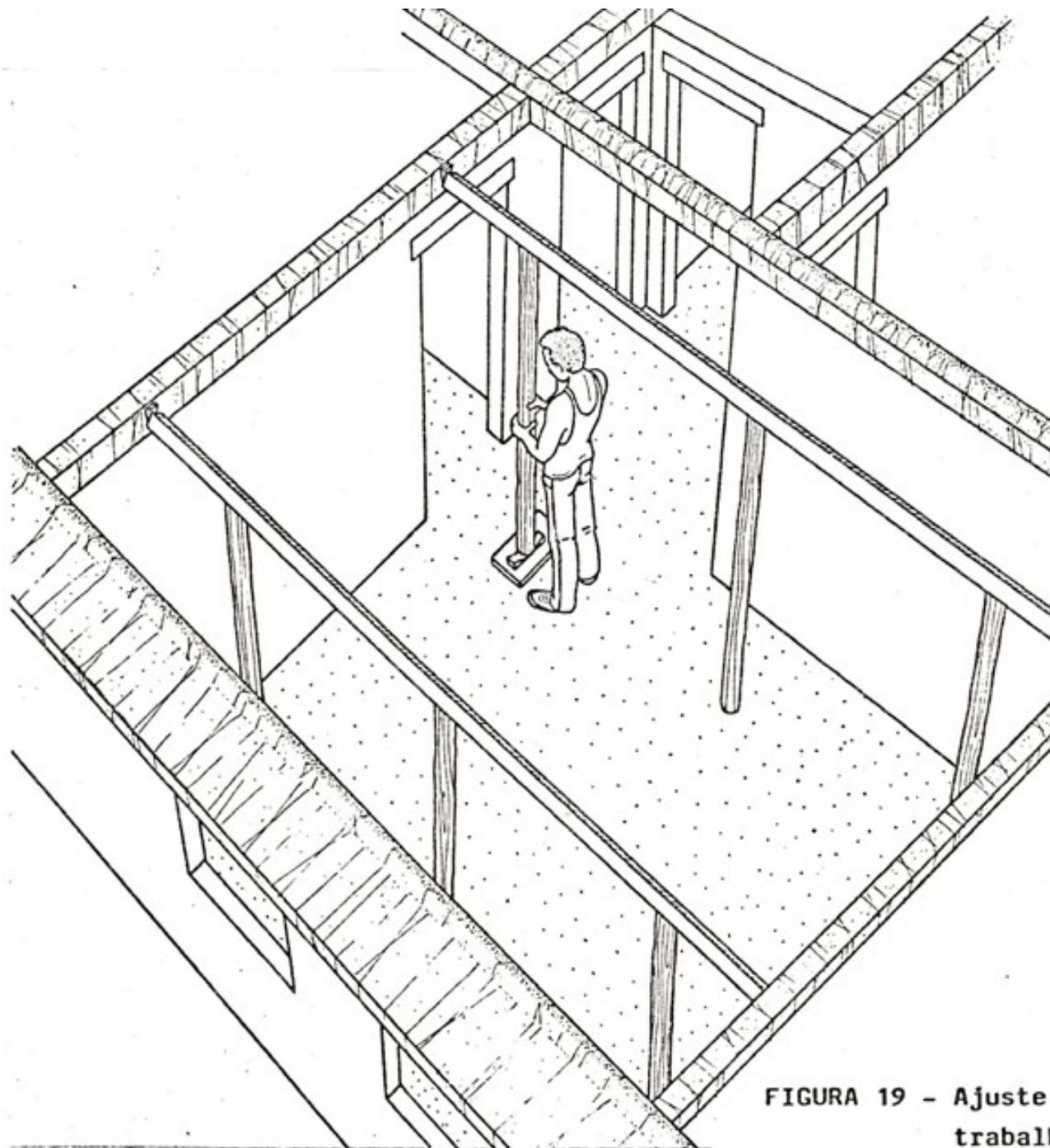


FIGURA 19 - Ajuste preliminar da posição de trabalho dos cavaletes-guia

Tal como mostrado nas figuras 18 e 19, cada conjunto formado pelos pontaletes e pelas escoras que os irão suportar em sua posição de trabalho configura um cavalete-guia (ou “cursor”), sobre o qual a fôrma corrediça se irá apoiar e ser deslocada – como adiante se verá –, durante o processo de conformação de cada segmento das abóbadas da cobertura.

Evidentemente, para cada fôrma corrediça serão necessários dois desses cavaletes-guia, posicionados convenientemente e distanciados entre si de conformidade com a distância entre as ranhuras (em formato de “v” invertido) previamente feitas nos sarrafos inferiores das fôrmas corrediças, quando de sua montagem, tal como mostrado na figura 16.

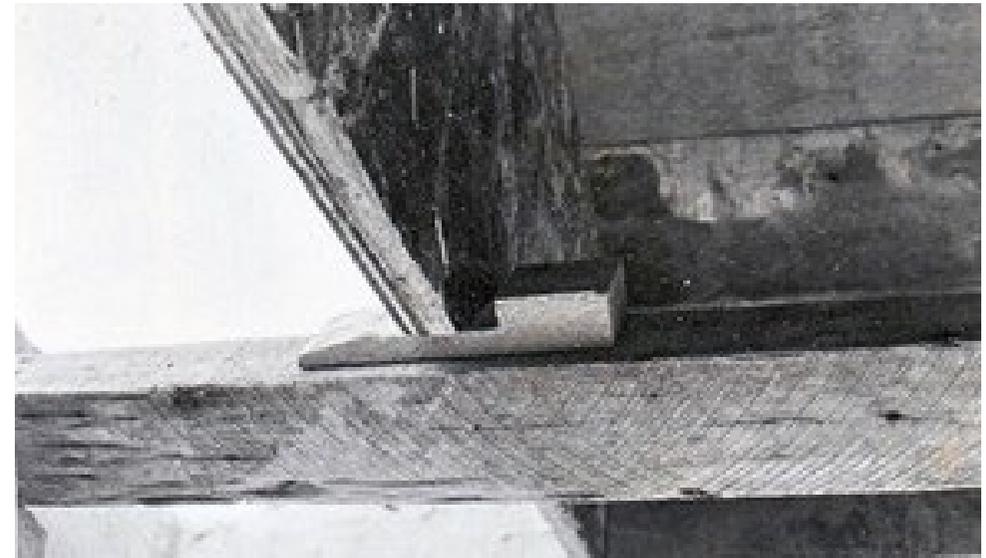
Na posição adequada para a realização do trabalho de conformação das abóbadas, as arestas superiores dos pontaletes horizontais (dispostos diagonalmente, tal como mostrado nas figuras 18 e 19) deverão situar-se cerca de 2cm abaixo do plano formado pelas arestas laterais superiores das cintas de contraventamento longitudinais (tipos A e B).

Para que se possa atender a essa exigência, pequenos ajustes serão certamente necessários, com o emprego de calços e cunhas sob os pés das escoras verticais, tal como sugerido na figura 19.

Outra recomendação importante, quando desse posicionamento dos cavaletes-guia, refere-se à necessidade de que as bordas extremas da fôrma corrediça, uma vez disposta sobre eles, permaneçam tão equidistantes quanto seja possível

de ambas as faces verticais das cintas longitudinais, sobre as quais a abóbada irá descarregar suas cargas.

A fixação dos cavaletes-guia em sua posição conveniente será facilmente feita, caso a caso, igualmente com o emprego de simples cunhas de madeira, a serem dispostas rigidamente entre as extremidades dos pontaletes superiores dos mesmos e as faces verticais das cintas transversais de contraventamento (tipo C), sobre as quais se irão apoiar.



**Desenvolvimento de sistema construtivo com paredes em solo cimento e cobertura em abóbadas**

**Habitação experimental em construção – SDC / CETEC (1980/81)**

→ Colocação de calços entre a fôrma corrediça e os pontaletes horizontais dos cavaletes-guia, içando a fôrma para a conformação de um segmento da abóbada

## 6. Execução das abóbadas (assentamento dos tijolos)

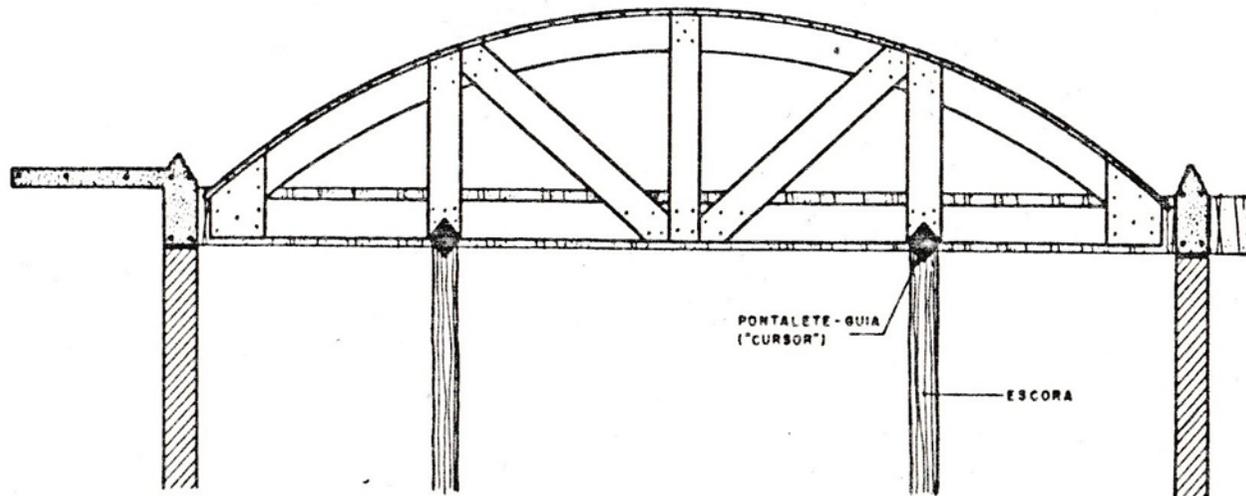


Figura 20a - Ajuste final da posição de trabalho do conjunto fôrma corrediça / cavaletes-guia (1ª etapa)

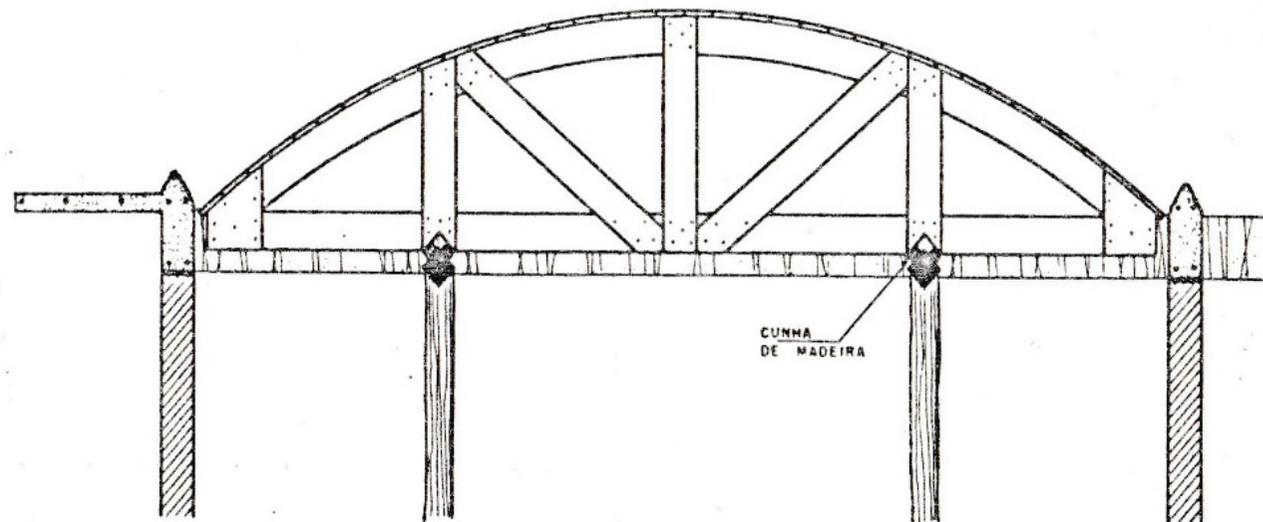


Figura 20b – Ajuste final da posição de trabalho do conjunto fôrma corrediça / cavaletes-guia (2ª etapa → final)

A cobertura em abóbadas é executada, segundo o processo construtivo aqui descrito, em faixas sucessivas, tendo cada uma delas a largura aproximada de 1m. O assentamento dos tijolos que irão conformar essas abóbadas deverá ser feito conforme os procedimentos e a sequência relacionados a seguir.

a. Cunhas de madeira deverão ser colocadas sob as aduelas laterais da fôrma corrediça, nos pontos de contato entre essas aduelas e o pontalete horizontal do cavalete-guia, de maneira a elevar a fôrma por igual; e até que as bordas da fôrma passem a corresponder às arestas laterais superiores das cintas longitudinais (tipos A e B), tal como ilustrado na figura 20b e, adiante, nas figuras 21, 22 e 23.

b. Os tijolos que irão conformar as diversas faixas das coberturas em abóbadas deverão ser previamente mergulhados em água (limpa) e, após isso, distribuídos sobre a fôrma corrediça (ver figuras 21 e 22), observando-se que suas juntas, no sentido transversal da abóbada, fiquem desencontradas entre si, como em uma parede comum de alvenaria (disposição em “mata-junta”).

c. Quando da distribuição dos tijolos sobre a superfície curva da fôrma corrediça, deve-se ajustar a largura das juntas longitudinais entre as diversas fiadas de tijolos, de modo a evitar-se a necessidade de cortar os tijolos de uma dessas fiadas, eliminando desperdícios inúteis e evitando a fragilização dos tijolos.

d. Observe-se que, quanto menor for a espessura das juntas entre as diversas fiadas, menor será o consumo da argamassa de assentamento, menor o tempo necessário para o deslocamento da fôrma corrediça e melhor o desempenho estrutural da

abóbada: a espessura das juntas deverá a mínima necessária e suficiente para que se possa fazer com que a argamassa de assentamento penetre inteiramente nesses interstícios.

e. Para a união dos tijolos da abóbada entre si, deverá ser utilizada uma argamassa de cimento Portland tipo CP-II e areia lavada, média ou grossa, no traço de 1 : 4, em volume, isto é, uma parte de cimento para quatro partes de areia lavada, devendo ambos esses componentes ser medidos com um mesmo recipiente, limpo e reservado exclusivamente para essa finalidade.

A preparação dessa argamassa deverá ocorrer aos poucos, resultando na mistura a ser utilizada, no máximo, ao longo da primeira hora seguinte.

O consumo de água para esse preparo deverá restringir-se ao mínimo necessário e suficiente para assegurar a adequada hidratação da mistura seca homogênea – resultante do intenso e enérgico revolvimento do cimento e da areia –; bem como na necessária trabalhabilidade da argamassa, tal que possibilite o total preenchimento das juntas longitudinais deixadas entre as diversas fiadas de tijolos.

A aplicação dessa argamassa deverá ser precedida de nova aspensão de água sobre os tijolos, com o auxílio de uma broxa, de modo a evitar que os tijolos “roubem” a água de hidratação da argamassa de rejuntamento; e ser feita com a colher de pedreiro, distribuindo e “cortando” a argamassa energicamente, de modo a forçar sua penetração em toda a profundidade e ao longo de toda a junta, caso a caso.

f. Observe-se que, do ponto de vista estrutural, não seria necessária a aplicação de argamassa nos interstícios correspondentes às juntas transversais das diversas fiadas de tijolos. Entretanto, como a questão da estanqueidade (resistência

à penetração das águas de chuvas) é de fundamental importância em qualquer tipo de cobertura, recomenda-se que sejam preenchidas com argamassa também essas juntas.

Esse procedimento irá configurar um obstáculo a mais à penetração, nas abóbadas e na edificação por elas coberta, das águas de chuvas, na hipótese da ocorrência de eventuais fissuras no revestimento superior impermeabilizante (a ser descrito no item 7 deste Manual).

**g.** Tão logo se complete o rejuntamento dos tijolos que compõem cada faixa recém conformada da cobertura em abóbadas, deverá ser utilizado o mesmo tipo de argamassa (com o mesmo traço e os mesmos cuidados em sua preparação) para execução da primeira camada do capeamento superior da cobertura. Mais uma vez, esse procedimento deverá ser precedido da aspersão de água sobre a superfície curva recém configurada, com o auxílio de broxa; e ser feito com o emprego da mesma colher de pedreiro (ou de uma desempenadeira simples), de modo a configurar uma camada delgada, com espessura nominal média de 0,5cm. A superfície dessa 1ª camada de capeamento deverá ser escovada, com uma escova áspera (com cerdas de aço ou de piaçava), tão logo comece a endurecer, o que deverá ocorrer quase de imediato, dada a pequena espessura da camada.

**h.** Tal como recomendado com relação à concretagem das cintas (item 3 do Manual), também essa 1ª camada do capeamento – assim como as demais que a seguirão – deverá ser submetida a um cuidadoso processo de “cura”, através de seu recobrimento com sacos vazios de cimento, abertos e previamente molhados; e aspersão periódica de água (com um regador, por exemplo) durante, pelo menos, os sete primeiros dias após sua conformação.

Esses procedimentos irão assegurar a aderência do capeamento aos componentes construtivos subjacentes, bem como a redução de sua natural fissuração a níveis aceitáveis.

**Início da execução do “chapisco” de ligação da superfície superior das abóbadas com o capeamento superior impermeabilizante**  
**Edificação escolar em Nova Iguaçu, RJ - Abóbadas em blocos de concreto celular auto clavado (cooperação ABCP / CETEC, MG)**



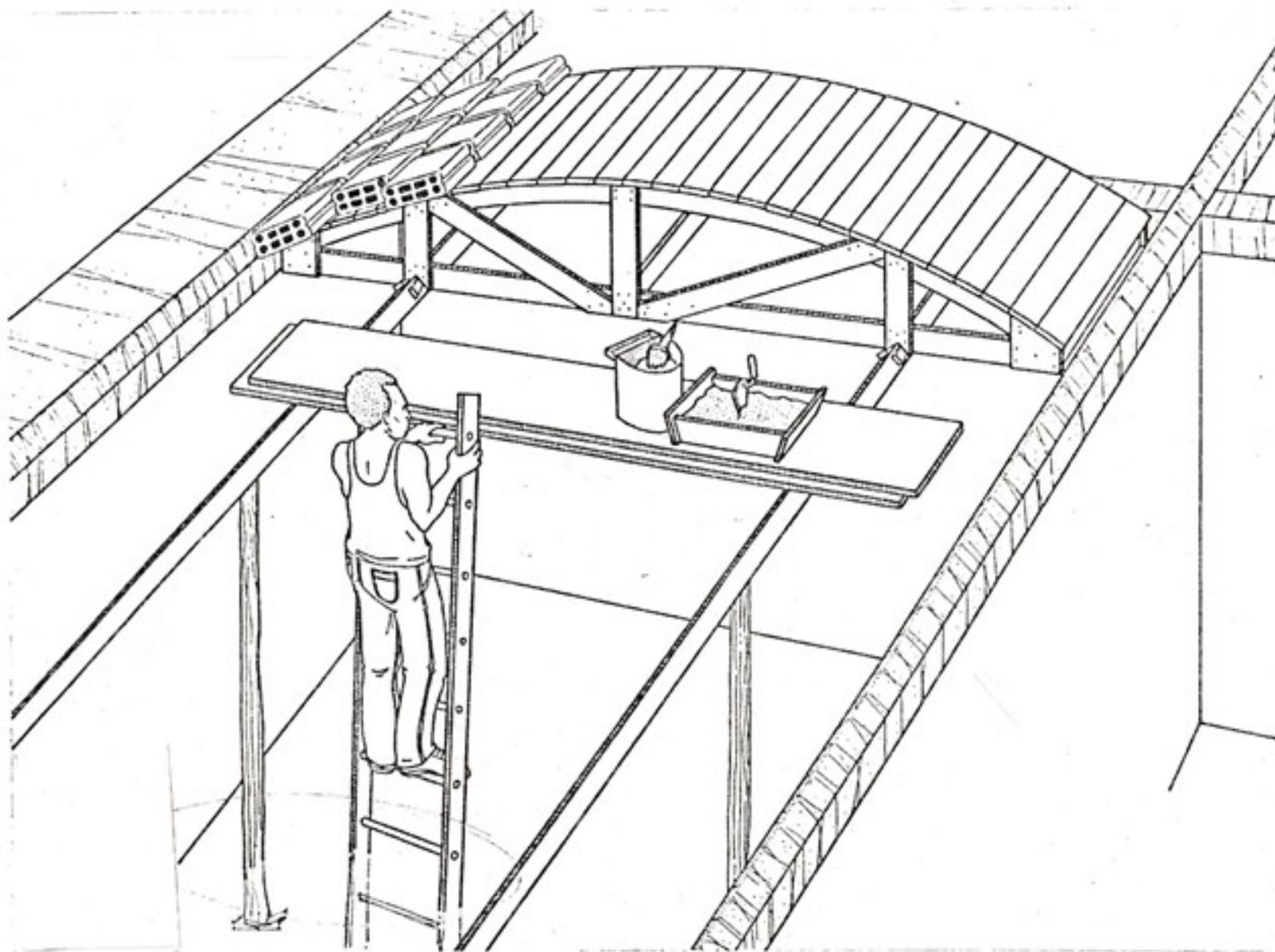
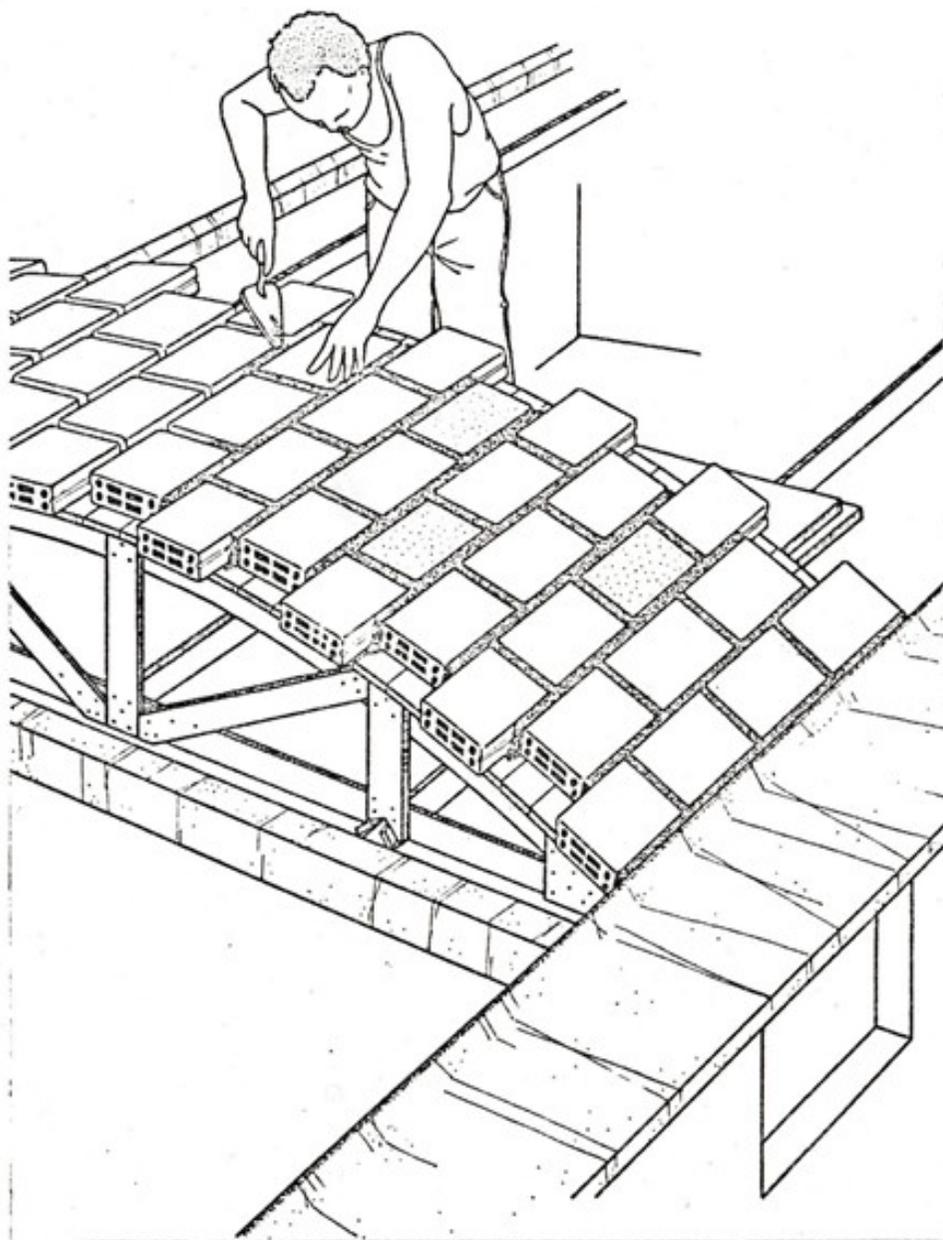
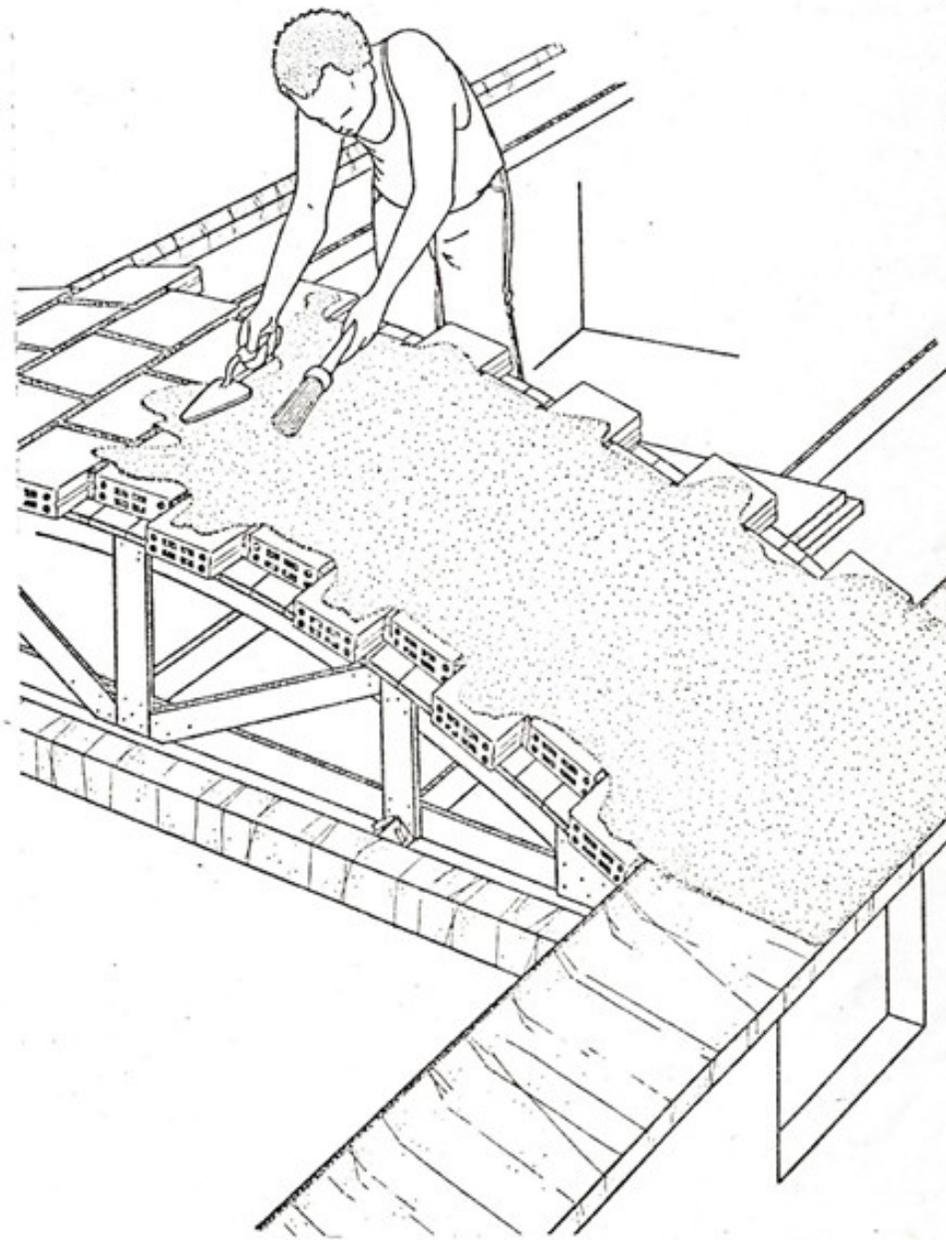


FIGURA 21 - Disposição dos tijolos sobre a fôrma



**FIGURA 22 - Preenchimento dos interstícios dos tijolos com a argamassa de rejuntamento**



**FIGURA 23 - Execução da primeira camada do capeamento superior da cobertura**

Terminada a execução das atividades descritas nos subitens de a até f – que, em condições normais, deverão ocupar um período de tempo da ordem de uma a duas horas, pouco mais ou menos, para vãos no entorno de 3m, como é o caso do exemplo aqui ilustrado –, será necessário aguardar-se o transcurso de, aproximadamente, duas horas e meia, até que se possa movimentar a fôrma corredeira para a execução de um novo trecho da cobertura.

É muito importante salientar que esse período de tempo, de duas horas e meia, foi estabelecido a partir de dados experimentais obtidos nos laboratórios do CETEC (anteriormente a 1986), para uma argamassa de cimento Portland comum e areia lavada de uso corrente na construção predial, no traço (em volume) de 1 : 4, com baixo teor de água; e considerando-se as condições atmosféricas médias encontradas em Belo Horizonte na estação seca, a saber: temperaturas da ordem de 22oCe umidade relativa do ar em torno de 70%.

Variações substanciais nessas condições atmosféricas médias poderão alterar consideravelmente a duração desse intervalo de tempo, para mais ou para menos.

Transcorrido o período de tempo necessário para que, iniciado efetivamente seu período de “cura”, a argamassa responsável pela união dos tijolos da abóbada entre si tenha adquirido coesão, consistência e resistência suficiente para impedir sua desagregação e esmagamento sob a ação das cargas inerentes à faixa da cobertura recém conformada, a fôrma corredeira poderá ser retirada de sob a abóbada; e deslocada para outra posição de utilização, à frente ou ao lado do trecho já executado, conforme o caso.

Para se retirar a fôrma de sob o trecho já conformado, bastará retirar-se – com os devidos cuidados, sem pancadas bruscas – as cunhas utilizadas para se elevar a mesma fôrma corredeira acima dos cavaletes-guia, com o que ela voltará a apoiar-se sobre eles.

Se o próximo trecho a conformar se localizar imediatamente à frente daquele já executado, a fôrma deverá ser simplesmente empurrada para a nova posição, tal como mostrado na figura 24a, adiante reproduzida. Isto feito, as cunhas deverão ser novamente colocadas em posição, de modo que a fôrma corredeira venha a tangenciar a superfície inferior do trecho já executado da abóbada; e voltar a executar os procedimentos de conformação do novo trecho da cobertura, tais como anteriormente descritos.

Se se tratar de deslocá-la para outro cômodo, adjacente a um já inteiramente coberto, o conjunto composto pelos cavaletes-guia e pela fôrma corredeira deverá ser, todo ele, rebaixado, tal como mostrado na figura 24b, de modo a tornar possível sua transferência para a nova posição (evidentemente, após os necessários ajustes no comprimento dos referidos cavaletes-guia).

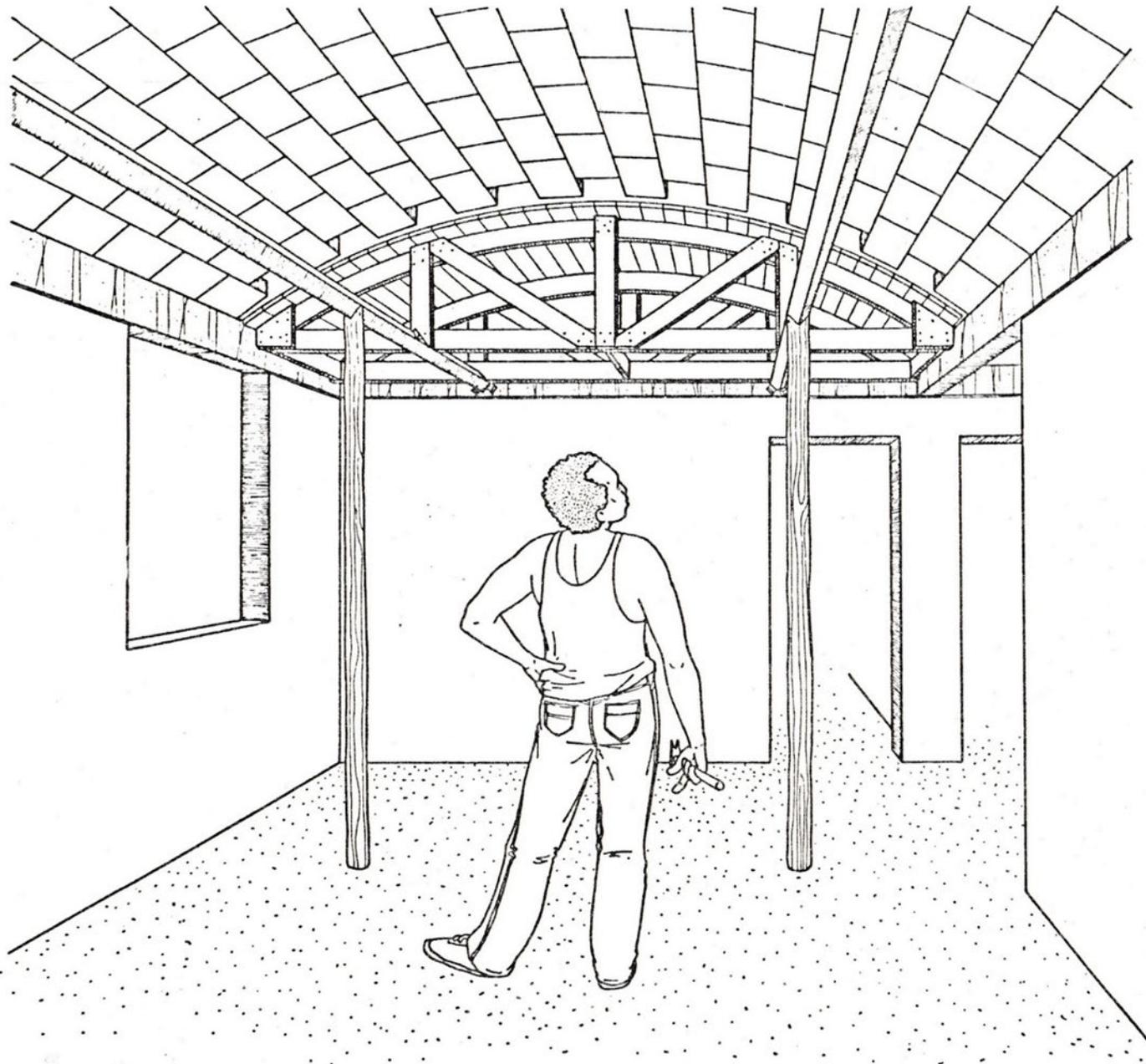
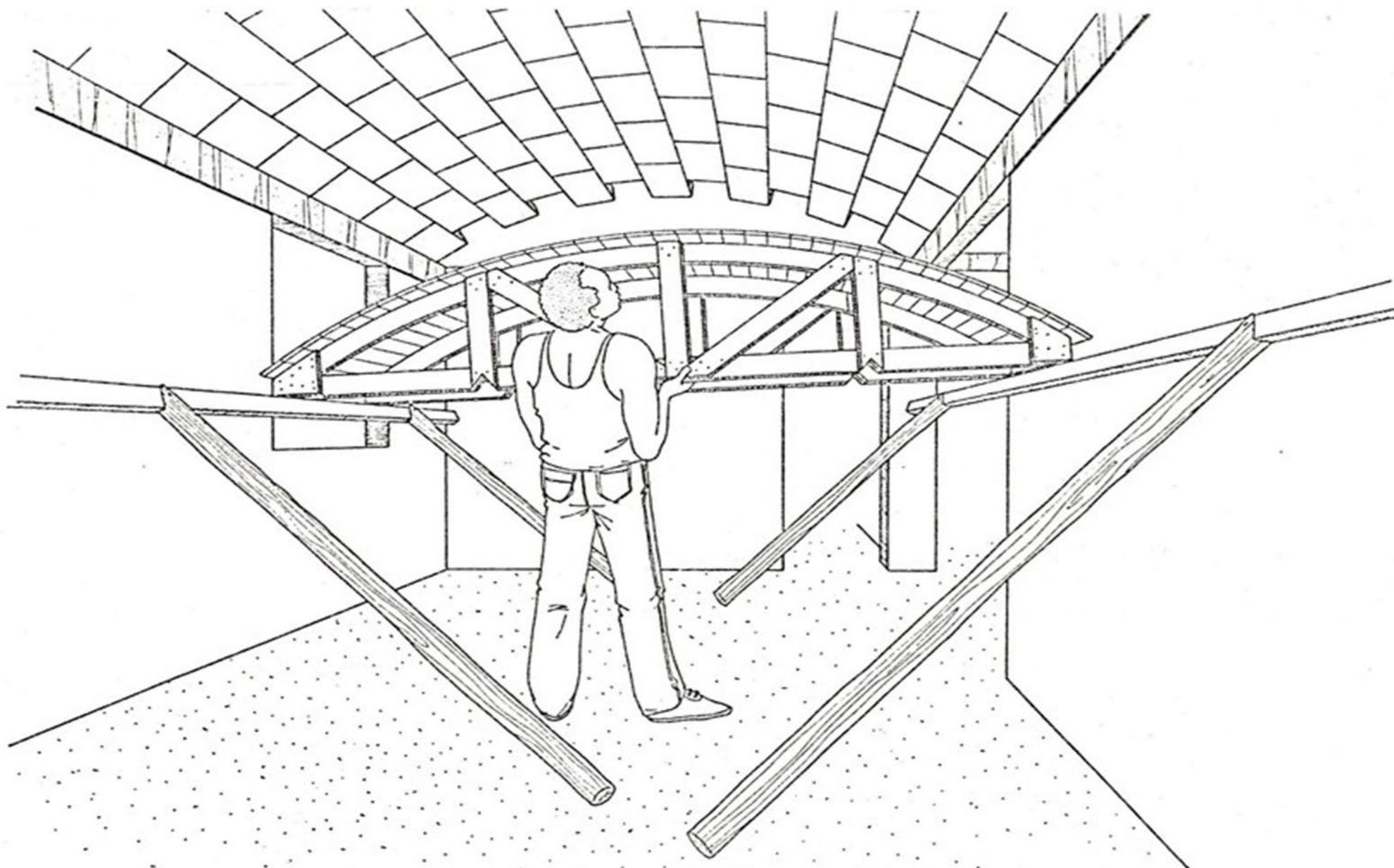


FIGURA 24a - Deslocamento da fôrma para execução de uma nova faixa da cobertura



**FIGURA 24b - Retirada do conjunto fôrma/cavaletes-guia após a execução da cobertura em um cômodo**

## 7. Execução do capeamento superior impermeabilizante

Embora a forma curva das abóbadas favoreça o escoamento das águas de chuvas que caem sobre elas, é extremamente importante que se execute, com os adequados cuidados, o capeamento superior impermeabilizante das mesmas.

Esse capeamento deverá ser executado de forma a que venha apresentar fina textura superficial, baixa porosidade e baixo índice de retração, tanto quanto seja possível apesar das características intrínsecas dos materiais e das técnicas de execução empregadas no processo construtivo aqui descrito.

Um capeamento que atenda a esses requisitos de desempenho irá assegurar que o escoamento das águas pluviais ocorra de maneira rápida e eficaz para o exterior da cobertura, evitando sua infiltração através da mesma.

Para que venha a apresentar propriedades impermeabilizantes, a argamassa a ser utilizada na conformação do capeamento superior deverá ser preparada com um traço rico em cimento.

Entretanto, esse tipo de argamassa apresenta, em condições normais, altos índices de retração durante seu período inicial de “pega” (endurecimento). Portanto, deverão ser tomadas todas as precauções viáveis para que esse problema possa ser controlado.

Sempre que possível, um adesivo retardador de “pega” deverá ser incorporado à argamassa, durante sua preparação; e, em todos os casos, deve-se sempre trabalhar com uma argamassa com baixo teor de água de hidratação, bem como proteger superficialmente a argamassa recém aplicada da ação direta do sol e do vento, de maneira a assegurar que a “pega” ocorra tão lentamente quanto seja possível.

Considera-se de muito grande valia a incorporação ao capeamento superior impermeabilizante, durante seu processo de execução, de uma micro armadura composta por uma tela fina de arame galvanizado (popularmente designada como “tela para viveiro”), tal como adiante será detalhado.

Essas telas são usualmente comercializadas em rolos com a largura de 0,8m e comprimento total de 50m; e são fabricadas com arame galvanizado com fio BWG24 (0,56mm), gramatura de 20g/m<sup>2</sup> e malha de ½” (12,7mm).

Adequadamente executada, essa micro armadura difusa da camada de capeamento superior deverá, na prática, eliminar a tendência natural ao fissuramento da mesma, sob a ação das oscilações atmosféricas.

A execução do capeamento superior impermeabilizante deverá ocorrer, tão rigorosamente quanto seja possível, em cada contexto e circunstância – de conformidade com a sequência de procedimentos adiante discriminada, tendo-se em vista a importância que esse acabamento final terá no desempenho global das coberturas em abóbadas diante das águas de chuvas, questão essa de fundamental importância em condições de clima como as nossas.

a. Determinação do caimento longitudinal da(s) calha(s) entre abóbadas adjacentes. A(s) calha(s) que se forma(m) na região de encontro de duas abóbadas adjacentes, sobre a(s) cinta(s) longitudinal(is) intermediária(s), deverá(ão) ser revestidas em primeiro lugar, antes da execução do capeamento sobre as abóbadas propriamente ditas; e esse revestimento deverá ser precedido da definição de seu caimento longitudinal (normalmente, do meio dessas calhas para ambas as suas extremidades).

Em condições normais, a declividade de 1,5% (caimento de 1,5cm para cada 100cm – ou 1m – de desenvolvimento longitudinal médio da calha) é suficiente para assegurar o rápido escoamento das águas pluviais. Esse caimento é determinado, obedecendo-se a referida declividade mínima, através do enchimento da região central da calha com uma argamassa de cimento e areia lavada no traço de 1 : 6, em volume, preenchida com pequenos cacos de tijolos, de modo a reduzir sua retração.

A figura 25, adiante reproduzida, mostra a configuração formal desses caimentos da calha central, após sua execução.

No caso do exemplo prático utilizado neste Manual, tendo a habitação a cobrir com abóbadas a extensão longitudinal total de 7,6m, a metade do desenvolvimento longitudinal de sua calha central corresponderia a 3,8m; e, por conseguinte, o enchimento a ser feito em sua região central corresponderia – com o caimento de 1,5% – a 5,7cm (≈6cm). A partir desse enchimento central, a conformação do caimento será feita com a ajuda de uma “linha de pedreiro” bem esticada, de modo a “morrer a zero” em ambas as extremidades. É muito importante que a determinação física do caimento da calha central seja feita de maneira

contínua e regular, sem deixar “colos” onde as águas de chuvas se possam acumular; e boleando-se a superfície superior dessa camada de preenchimento, de modo a concordá-la transversalmente com as superfícies das abóbadas adjacentes.

b. Execução do “chapisco” de ligação (camada intermediária). Afim de se assegurar a adequada e imprescindível aderência entre o capeamento final das abóbadas e a primeira camada desse capeamento – executada de forma descontínua e quando da configuração das diversas faixas de que se compõe a cobertura (ver subitem 6.f) –, é necessário conformar uma camada de ligação entre ambas, com textura fortemente áspera, à semelhança de um chapisco. A execução desse “chapisco” deverá ser precedida de uma generosa irrigação da camada subjacente, trecho a trecho, à medida do progresso da atividade; e ocorrer com o emprego de uma argamassa de cimento e areia lavada no traço de 1 : 3, em volume, e de consistência plástica (ou seja, preparada com teor de água um pouco mais elevado que o usual para as demais atividades já descritas).

Essa argamassa deverá ser distribuída sobre a superfície das abóbadas e da(s) calha(s) intermediária(s), por faixas transversais sucessivas, com largura da ordem de 60cm e espessura nominal em torno de 0,5cm, devendo ser – imediatamente em seguida a esse espalhamento definida a desejada textura áspera de cada uma dessas faixas, com o auxílio de uma escova ou de uma vassoura de piaçava de cerdas duras, da forma mostrada na figura 26, a seguir. Os mesmos procedimentos de “cura” controlada discriminados anteriormente deverão ser utilizados, durante e após a conformação desse “chapisco” de ligação.

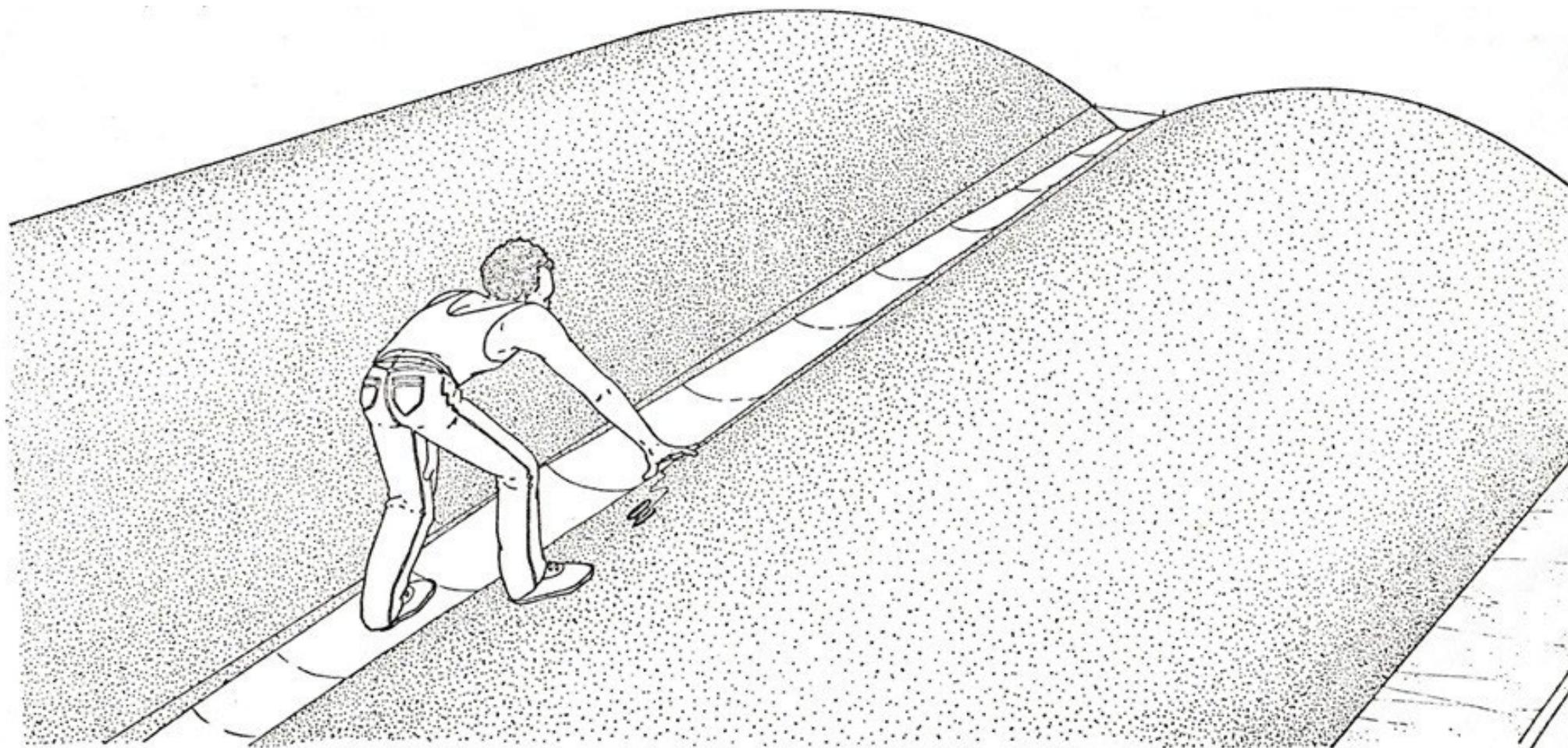
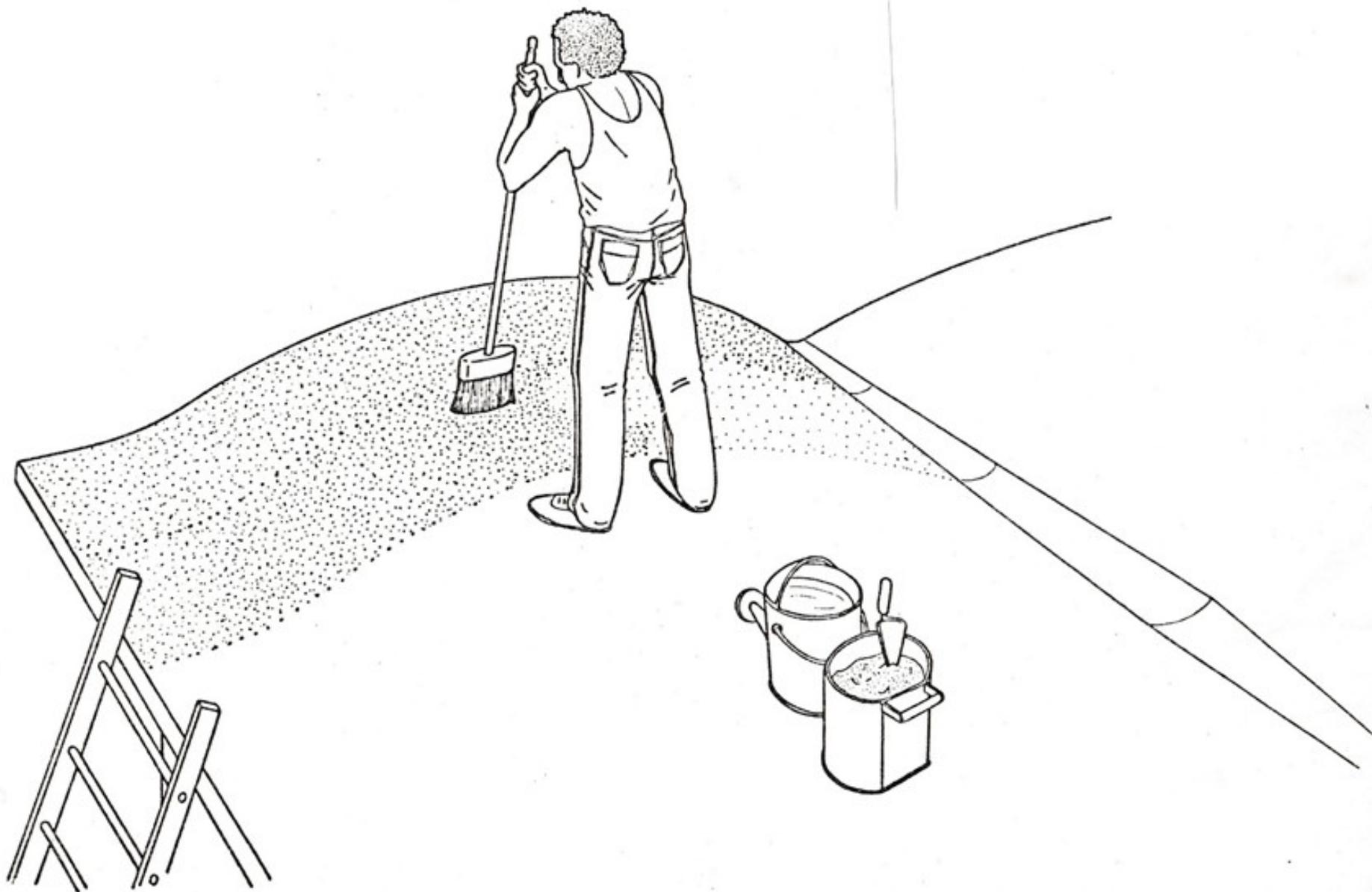


FIGURA 25 - Determinação do caimento da calha central entre duas abóbadas adjacentes



**FIGURA 26 - Execução do "chapisco" de ligação entre a primeira e a última camadas do capeamento superior**

c. Lançamento da micro armadura em “tela para viveiro”. Completada a aplicação e iniciado o processo de “cura” do “chapisco” intermediário de ligação, sobre toda a superfície das abóbadas e de sua(s) calha(s) intermediária(s), de modo tal que o trânsito dos operários possa ser feito sobre ele sem danificá-lo, deverá ser uniformemente distribuída, sobre esse “chapisco”, a micro armadura anteriormente mencionada, que será fisicamente incorporada ao capeamento final impermeabilizante quando de sua conformação, a ser adiante detalhada.

Conforme já discriminado anteriormente, as “telas para viveiro” disponíveis no mercado (com malha hexagonal de  $\frac{1}{2}$ ” e tecida em fios de arame galvanizado com bitola de 0,56mm, ou BWG24), são usualmente apresentadas em rolos com a largura de 80cm e comprimento total de 50m.

Assim sendo, o rolo deverá ser distribuído por faixas sobre a camada de ligação, também nesse caso na direção transversal à cobertura, a partir de uma de suas extremidades e abrangendo todo o desenvolvimento das abóbadas e da(s) calha(s) intermediária(s). O corte da tela, no final de cada faixa, poderá ser feito sem maiores dificuldades com o uso de um alicate comum, ou, de preferência, de uma ferramenta própria para essa finalidade (referência: tesoura para chapa de 10”, modelo L034 da Black Jack, ou similar).

Cada faixa de tela deverá trespassar a anterior em, no mínimo, cerca de 10cm; e sua fixação na posição adequada deverá ser feita com pequenas porções de argamassa (cimento e areia lavada, no traço 1 : 3 em volume), dispostas de forma dispersa sobre elas.

d. Execução do capeamento final impermeabilizante sobre a(s) calha(s) intermediária(s). Uma vez efetivado o lançamento da micro armadura em tela sobre toda a superfície da cobertura, poderá ser de imediato iniciada a execução do capeamento final impermeabilizante sobre ela, a começar da(s) calha(s) intermediária(s).

Tanto quanto seja possível, a execução dessa camada do capeamento final sobre a(s) calha(s) intermediária(s) deverá ser feita de forma contínua, sem interrupções, do meio para as bordas externas e com uma largura mínima da ordem de 70cm, tendo como eixo(s) a(s) linha(s) de intersecção entre duas abóbadas adjacentes.

Imediatamente antes do início de sua execução, esse trecho da cobertura deverá ser generosamente irrigado; e a moldagem do capeamento deverá ser feita com o emprego de uma argamassa de cimento e areia lavada, entre fina e média (neste caso, bem peneirada antes de seu uso, com peneira de malha entre 0,125mm e 0,25mm), no traço de 1 : 3, em volume.

Sempre que possível, deverá ser utilizado um retardador de “pega” quando da preparação dessa argamassa, na proporção recomendada por seu fabricante. A capa final deverá ter a espessura nominal de 1,5cm na zona central da calha intermediária, devendo essa espessura decrescer progressivamente no sentido transversal, a partir desse trecho central (de espessura uniforme) e até suas bordas, onde deverá “morrer a zero”, tal como mostrado na figura 27.

É muito importante que a superfície exposta dessa capa final, no referido trecho central (com largura da ordem de 30cm), seja “queima da” com o auxílio da colher de pedreiro, após a aplicação da argamassa, seu enérgico adensamento e definição de sua configuração formal, conforme a orientação acima exposta. Todo o possível cuidado deve- rá ser dedicado, durante essa configuração, na prevenção da formação de “colos” em que as águas de chuvas se possam acumular, bem como na obtenção de uma textura lisa e contínua.

Por sua vez, as bordas laterais do capeamento final da calha intermediária (com espessura variável entre 1,5cm e zero; e largura nominal da ordem de 17,5cm) deverão ser mantidas com superfície áspera, mais adequada à aderência do capeamento final impermeabilizante das abóbadas, propriamente ditas, conforme será detalhado a seguir.

É de importância fundamental a adequada implementação dos procedimentos de “cura” controlada dessa camada final de capeamento impermeabilizante da calha intermediária entre duas abóbadas adjacentes, tal como já explicitado anteriormente: proteção superficial com sacos vazios de cimento previamente molhados; e manutenção dessa proteção no estado úmido, através de irrigação periódica da mesma e ao longo de, pelo menos, os primeiros sete dias após a conformação da capa.

Deve-se chamar a atenção para o fato de que, sendo necessário, o trânsito dos operários sobre esse capeamento poderá ser permitido após transcorridas seis horas da conclusão de sua conformação (nas condições normais, em nosso meio, de temperatura e umidade relativa do ar, na estação seca).

e. Execução do capeamento final impermeabilizante sobre as abóbadas. Em termos gerais, os procedimentos a serem utilizados na execução do capeamento final impermeabilizante sobre a superfície externa das abóbadas são praticamente idênticos àqueles discrimina- dos, no subitem anterior, para a execução dessa capa final da calha intermediária: umedecimento prévio e generoso de cada trecho a ser executado em seguida; utilização de argamassa com o mesmo traço (1 : 3, em volume) e preparada com os mesmos cuidados, em porções relativamente pequenas, tais que sejam efetivamente utilizadas no prazo máximo de 1 hora após sua preparação; e todo o cuidado na aplicação, acabamento superficial e controle da “cura” da camada recém executada. O capeamento final deverá ser executado em cada uma das diversas abóbadas, de cada vez, a partir de uma de suas extremidades e, tanto quanto seja possível, de maneira contínua, sem interrupções. A execução deverá ocorrer em faixas com largura nominal não superior a 60cm, de maneira a que seja possível aplicar; proceder à efetiva in- corporação da micro armadura em tela (que deverá ser mantida na porção central da capa final); adensar; e alisar superficialmente essa capa superior, “queimando-a” à colher de pedreiro.

É muito importante que o capeamento final de cada abóbada recubra adequadamente as bordas laterais da capa final impermeabilizante da calha intermediária, deixadas ásperas com essa finalidade. As figuras 27 e 28 ilustram esses procedimentos específicos, com razoável nível de detalhe. Caso seja imprescindível interromper a execução do capeamento final sobre as abóbadas antes de sua conclusão, caso a caso, a frente de serviço no momento da paralisação deverá ser configurada de maneira similar à que foi descrita com relação à calha central: conformação desse trecho da capa com seção variável l (entre 1,5cm e zero) numa extensão da

ordem de 20 cm, ao longo do desenvolvimento longitudinal da abóbada; e manutenção dessa “faixa de ligação” com textura áspera, simplesmente desempenada com a lâmina da colher de pedreiro. Quando da retomada dessa operação, que deverá ocorrer no menor prazo tecnicamente possível, esse trecho deverá ser prévia e adequadamente umedecido, de maneira a que a água de hidratação da nova porção de argamassa a empregar não seja “roubada” pela superfície seca subjacente, prejudicando seu processo natural de “pega” e aderência.

A proteção superficial do capeamento final impermeabilizante (em sacos de cimento vazios, previamente abertos e molhados) deverá ocorrer imediatamente após sua execução. Caso venha a ser necessário, poderá ser removida, desde que tenham transcorrido –

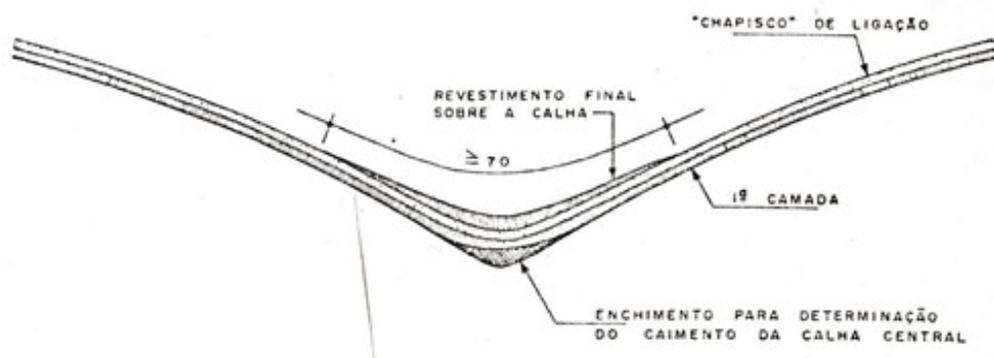


FIGURA 27 – Secção esquemática do capeamento final

pelo menos – as primeiras 48 horas posteriores à conclusão dessa atividade. Essa eventualidade poderá ocorrer, por exemplo, caso venha a ser necessário reutilizar esse material em outro trecho da obra, para a mesma função.

Entretanto, será sempre imprescindível a manutenção dessa capa final recém conformada no estado úmido, através de sua periódica e sistemática irrigação (com regador, ou mangueira), pelo menos ao longo dos primeiros sete dias posteriores à sua execução. Este procedimento será essencial para assegurar a resistência (intrínseca e à fissuração) dessa capa, sua aderência às camadas subjacentes e, por conseguinte, sua durabilidade e estanqueidade perante as águas de chuvas.

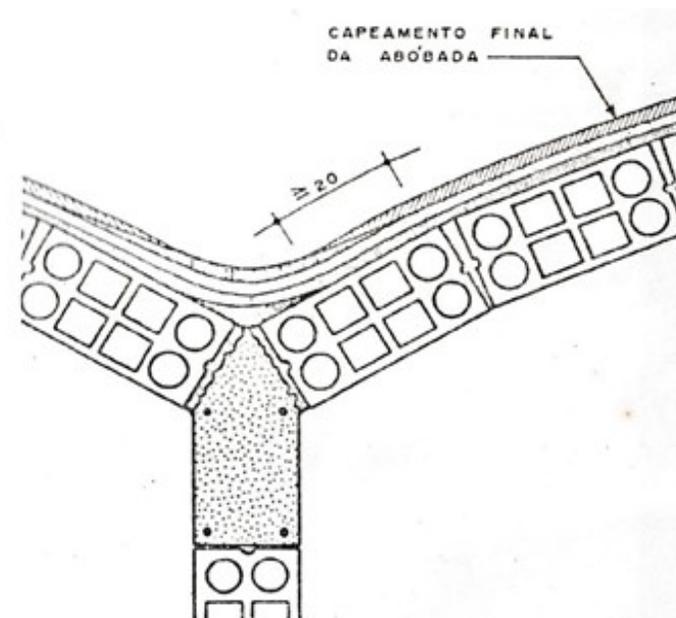


FIGURA 28 – Secção típica da calha intermediária

## 8. Acabamentos finais

Construídas e capeadas superiormente as abóbadas com argamassa impermeabilizante, resta a execução dos acabamentos finais da cobertura, a seguir discriminadas.

**a. Fechamento dos espaços (tímpanos) entre as cintas transversais e as abóbadas.** Quando necessário, o fechamento dos espaços livres entre a superfície inferior das abóbadas e as cintas transversais (tipo C) que se desenvolvem sobre as paredes transversais da edificação é executado de maneira muito simples e convencional, eventualmente aproveitando-se, para isto, os pedaços de tijolos – usualmente cerâmicos, de 8 furos – que se tenham quebrado durante a execução da cobertura.

Apenas uma – e muito importante – recomendação deverá ser feita: que esses trechos de alvenaria não se encostem efetivamente nas abóbadas, deixando-se, entre o topo dos mesmos e a face interna da cobertura curva, uma pequena fenda com espessura da ordem de 2 ou 3mm.

Essa fenda irá funcionar como uma junta de dilatação, destinada a evitar que os referidos trechos de paredes de fechamento se caracterizem como apoios que se possam opor à natural acomodação das abóbadas após sua conformação; e/ou à movimentação – igualmente natural e incontável – desses componentes construtivos sob a ação das intempéries.

Esses indesejáveis apoios inferiores, se ocorrentes, poderiam gerar tensões nocivas na face superior das abóbadas, ocasionando sua fissuração nessas regiões.

Caso mesmo essas pequenas fendas não possam ser toleradas entre os cômodos adjacentes, por quaisquer razões, deverá ser feita a injeção de um material elástico adequado (tipo SIKAFLEX Universal, da SIKA, ou equivalente) ao longo das mesmas, vedando-as sem o mencionado efeito negativo potencial.

Com relação ao fechamento desses tímpanos, no caso específico das paredes transversais extremas da edificação, ressalta-se a conveniência de se deixar, nos trechos centrais dessas vedações superiores, aberturas com dimensões relativamente reduzidas e que possam ser ocupadas por pequenas janelas basculantes.

Esses dispositivos construtivos, de baixo custo relativo, permitirão a natural exaustão, para o exterior da edificação, das camadas de ar mais aquecido que tenderiam a acumular-se junto à cobertura e irradiar-se para as camadas inferiores. Com essa providência, de caráter simples, poder-se-á assegurar a manutenção de um ambiente agradável e saudável no interior da edificação. (Ver exemplo à pág. 10 deste Manual → foto)

**b. Revestimento interno das abóbadas.** Embora não possa ser classificado como absolutamente imprescindível, o revestimento inferior das coberturas em abóbadas proporcionará, sem dúvida, um melhor acabamento e melhores condições higiênicas e de limpeza à edificação.

Sua execução se faz de maneira convencional, como no caso de lajes planas de forro, com o emprego de uma argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia lavada (de fina a média) no traço de 1 : 2 : 9, em volume. A única diferença com relação ao revestimento de lajes planas de forro refere-se à necessidade de que, no caso das abóbadas, as atividades de lançamento e desempenho dessa argamassa deverão – necessariamente – ser feitas na direção (longitudinal) da linha geratriz da abóbada.

**c. Execução de pingadeiras nas bordas inferiores dos beirais laterais.** As pequenas “marquises” que caracterizam as cintas longitudinais externas do tipo A deverão receber um acabamento em forma de pingadeira em suas bordas inferiores, de modo a impedir que as águas pluviais incidentes sobre as abóbadas e sobre as mesmas “marquises”, ou beirais laterais, venham a se escoar sobre as paredes longitudinais externas, umedecendo-as e, eventualmente, danificando-as e – por infiltração – comprometendo a salubridade do interior da edificação.

Essas pingadeiras são conformadas de maneira muito simples, com o auxílio de uma ripa delgada de madeira, presa transitoriamente na posição conveniente sob o beiral com o auxílio de grampos metálicos rudimentares, feitos com sobras de vergalhões comuns de aço para concreto armado, tal como ilustrado na figura 29a.

Assim que a argamassa utilizada para a moldagem da pingadeira inicie efetivamente seu processo natural de “pega” (endurecimento), os grampos e ripas podem ser retirados e transferidos para um novo trecho, para a continuidade da moldagem das pingadeiras.

A argamassa a ser utilizada na conformação dessas pingadeiras deverá ter a mesma dosagem (cimento e areia no traço de 1 : 3, em volume) e ser preparada com os mesmos cuidados utilizados no caso do capeamento final impermeabilizante das abóbadas e calha(s) intermediária(s). Apenas não será necessário (nem mesmo conveniente), no que se refere às pingadeiras, a eventual adição de retardadores de “pega” recomendada naquele caso.

**d. Caição superior do capeamento impermeabilizante.** Uma medida acessória, mas que apresenta muito considerável efeito positivo na preservação das características impermeabilizantes do capeamento

superior final das coberturas em abóbadas, consiste na execução periódica de uma simples pintura a cal sobre o mesmo.

A primeira dessas caiações deverá ser executada, pelo menos, 30 dias após haver sido concluída a conformação da capa superior final; e deverá ser refeita anualmente, cerca de dois meses antes do início do período de chuvas mais intensas.

De fato, a cal hidratada (a ser utilizada nessa pintura superficial periódica) possui a propriedade de combinar-se quimicamente, ao longo do tempo e de forma natural, com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) existente de forma difusa na atmosfera, formando cristais de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), que apresentam baixa solubilidade em água e que tendem a vedar os poros superficiais da argamassa que compõe o capeamento.



**Desenvolvimento de sistema construtivo com paredes em solo-cimento e cobertura em abóbadas**

Habitação experimental em construção – SDC / CETEC (1980/81)

→ Uso alternado de duas fôrmas para conformação das abóbadas

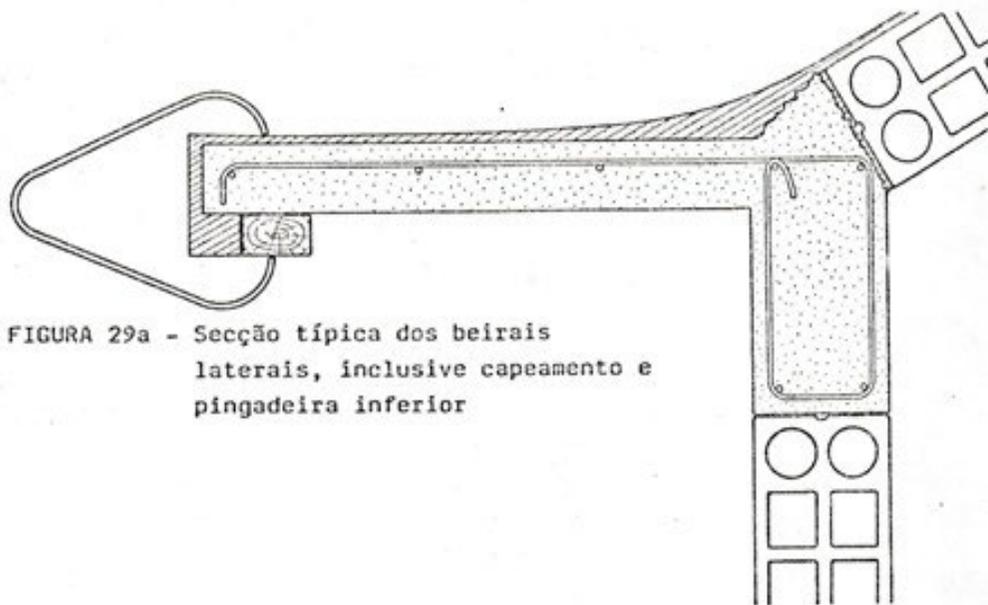


FIGURA 29a - Secção típica dos beirais laterais, inclusive capeamento e pingadeira inferior

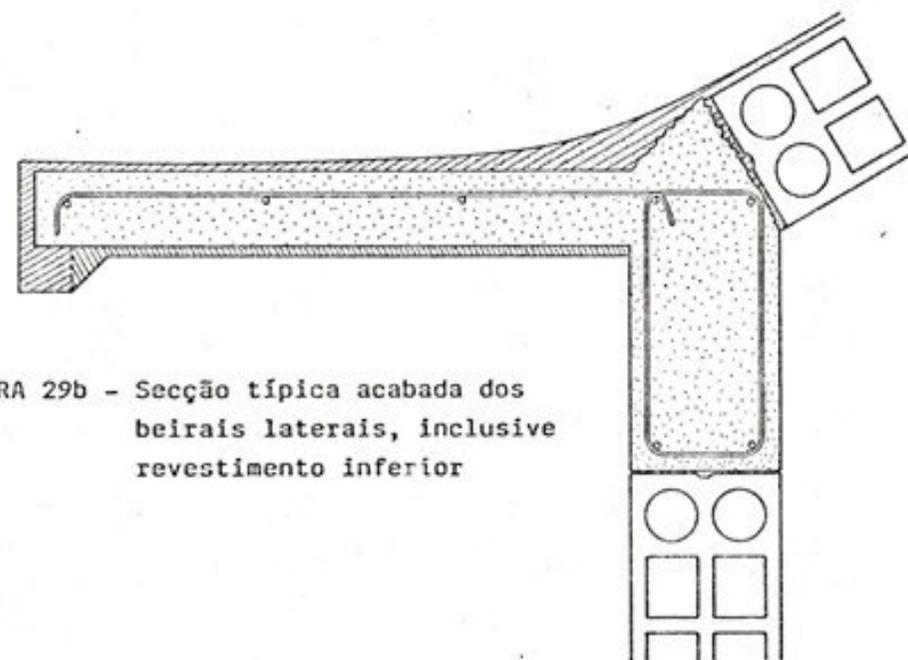


FIGURA 29b - Secção típica acabada dos beirais laterais, inclusive revestimento inferior

FIGURAS 29a e 29b – Secção típica dos beirais laterais (cintas tipo A), durante a execução e acabada



MATSULFUR / Montes Claros, MG: Escola de carvoejamento → paredes e abóbadas em tijolos maciços de solo-cimento



Escola de Engenharia da UFOP: Prova de carga em abóbada (processo construtivo CETEC)

## 9. Observações finais

A figura 30 apresenta os desenhos técnicos, a nível de detalhe (ainda que em tamanho reduzido), da fôrma utilizada para a conformação da cobertura em abóbadas, no caso com as dimensões referentes ao exemplo prático utilizado neste Manual (vãos de 3m).

As tabelas reproduzidas no ANEXO I definem os dados numéricos necessários para a marcação das curvas (parábolas) correspondentes às faces superiores das fôrmas para a conformação das abóbadas, para vãos entre 2,5m e 3,5m, com intervalos de 10cm e de conformidade com os procedimentos discriminados no item 4.

Finalmente, as planilhas reproduzidas no ANEXO II referem-se à comparação entre os consumos de materiais e serviços para a construção da cobertura de uma habitação econômica, em abóbadas de tijolos ou em telhas cerâmicas.

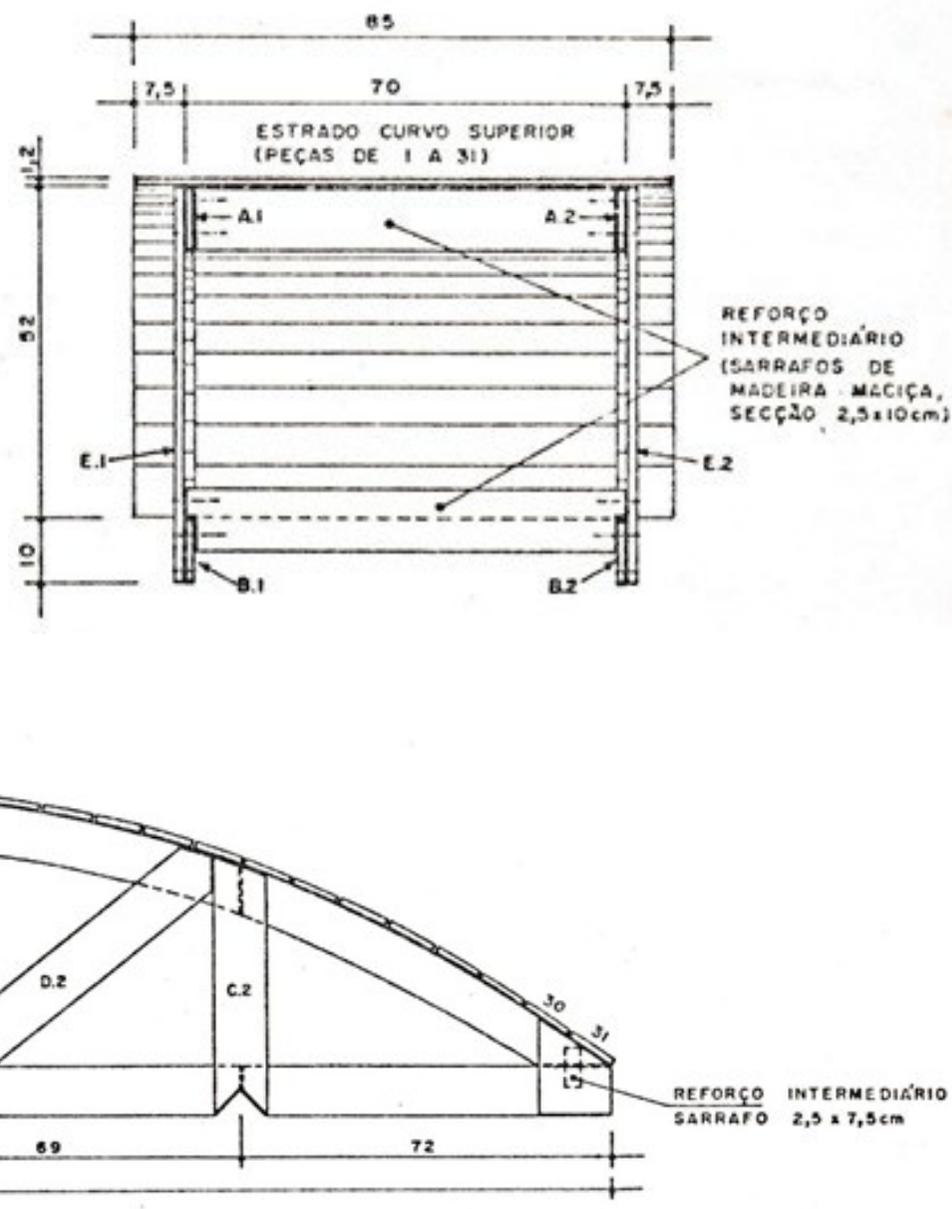


Figura 30 – Desenho técnico da fôrma corrediça para execução das abóbadas: vista frontal e secção transversal média

# ANEXO I

TABELAS DE ORDENADAS E ABCISSAS REFERENTES À MARCAÇÃO DAS CURVAS (parábolas) CORRESPONDENTES ÀS FACES SUPERIORES DAS FÔRMAS PARA CONFORMAÇÃO DE ABÓBADAS PARA VÃOS ENTRE 250cm e 350cm, COM INTERVALOS DE 10cm

$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$				$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$				$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$			
<b>V =</b>	<b>250</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,002869</b>	<b>V =</b>	<b>260</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,002771</b>	<b>V =</b>	<b>270</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,00268</b>
<b>v = V - 8 =</b>	<b>242</b>	$v / 2 =$	<b>121</b>	<b>v = V - 8 =</b>	<b>252</b>	$v / 2 =$	<b>126</b>	<b>v = V - 8 =</b>	<b>262</b>	$v / 2 =$	<b>131</b>
<b>f =</b>	<b>42</b>			<b>f =</b>	<b>44</b>			<b>f =</b>	<b>46</b>		
<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>
15	227	3405	9,8	15	237	3555	9,9	15	247	3705	9,9
30	212	6360	18,2	30	222	6660	18,5	30	232	6960	18,7
45	197	8865	25,4	45	207	9315	25,8	45	217	9765	26,2
60	182	10920	31,3	60	192	11520	31,9	60	202	12120	32,5
75	167	12525	35,9	75	177	13275	36,8	75	187	14025	37,6
90	152	13680	39,2	90	162	14580	40,4	90	172	15480	41,5
105	137	14385	41,3	105	147	15435	42,8	105	157	16485	44,2
121	121	14641	42,0	126	126	15876	44,0	131	131	17161	46,0
$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$				$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$				$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$			
<b>V =</b>	<b>280</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,002595</b>	<b>V =</b>	<b>290</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,002515</b>	<b>V =</b>	<b>300</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,002439</b>
<b>v = V - 8 =</b>	<b>272</b>	$v / 2 =$	<b>136</b>	<b>v = V - 8 =</b>	<b>282</b>	$v / 2 =$	<b>141</b>	<b>v = V - 8 =</b>	<b>292</b>	$v / 2 =$	<b>146</b>
<b>f =</b>	<b>48</b>			<b>f =</b>	<b>50</b>			<b>f =</b>	<b>52</b>		
<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>
15	257	3855	10,0	15	267	4005	10,1	15	277	4155	10,1
30	242	7260	18,8	30	252	7560	19,0	30	262	7860	19,2
45	227	10215	26,5	45	237	10665	26,8	45	247	11115	27,1
60	212	12720	33,0	60	222	13320	33,5	60	232	13920	34,0
75	197	14775	38,3	75	207	15525	39,0	75	217	16275	39,7
90	182	16380	42,5	90	192	17280	43,5	90	202	18180	44,3
105	167	17535	45,5	105	177	18585	46,7	105	187	19635	47,9
136	136	18496	48,0	141	141	19881	50,0	146	146	21316	52,0

$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$				$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$				$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$			
<b>V =</b>	<b>310</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,002368</b>	<b>V =</b>	<b>320</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,002301</b>	<b>V =</b>	<b>330</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,002238</b>
<b>v = V - 8 =</b>	<b>302</b>	$v / 2 =$	<b>151</b>	<b>v = V - 8 =</b>	<b>312</b>	$v / 2 =$	<b>156</b>	<b>v = V - 8 =</b>	<b>322</b>	$v / 2 =$	<b>161</b>
<b>f =</b>	<b>54</b>			<b>f =</b>	<b>56</b>			<b>f =</b>	<b>58</b>		
<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>
15	287	4305	10,2	15	297	4455	10,3	15	307	4605	10,3
30	272	8160	19,3	30	282	8460	19,5	30	292	8760	19,6
45	257	11565	27,4	45	267	12015	27,6	45	277	12465	27,9
60	242	14520	34,4	60	252	15120	34,8	60	262	15720	35,2
75	227	17025	40,3	75	237	17775	40,9	75	247	18525	41,5
90	212	19080	45,2	90	222	19980	46,0	90	232	20880	46,7
105	197	20685	49,0	105	207	21735	50,0	105	217	22785	51,0
151	151	22801	54,0	156	156	24336	56,0	161	161	25921	58,0
$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$				$y = (4f / v^2) \cdot x \cdot (v - x)$							
<b>V =</b>	<b>340</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,002177</b>	<b>V =</b>	<b>350</b>	$4f / v^2 =$	<b>0,00212</b>				
<b>v = V - 8 =</b>	<b>332</b>	$v / 2 =$	<b>166</b>	<b>v = V - 8 =</b>	<b>342</b>	$v / 2 =$	<b>171</b>				
<b>f =</b>	<b>60</b>			<b>f =</b>	<b>62</b>						
<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>(v - x)</b>	<b>x · (v - x)</b>	<b>y</b>				
15	317	4755	10,4	15	327	4905	10,4				
30	302	9060	19,7	30	312	9360	19,8				
45	287	12915	28,1	45	297	13365	28,3				
60	272	16320	35,5	60	282	16920	35,9				
75	257	19275	42,0	75	267	20025	42,5				
90	242	21780	47,4	90	252	22680	48,1				
105	227	23835	51,9	105	237	24885	52,8				
166	166	27556	60,0	171	171	29241	62,0				

# ANEXO II

PLANILHAS REFERENTES AO CONSUMO DE MATERIAIS E SERVIÇOS PARA A CONSTRUÇÃO DA COBERTURA DE UMA HABITAÇÃO ECONÔMICA, EM ABÓBADAS DE TIJOLOS OU EM TELHAS CERÂMICAS SOBRE ENGRADAMENTO DE MADEIRA

As planilhas adiante reproduzidas têm como referência básica um “estudo de caso” realizado no CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, sob a responsabilidade compartilhada do autor do presente Manual (então, técnico e pesquisador do Setor de Tecnologia de Construções) e de diversos técnicos vinculados ao Setor de Economia Industrial daquela entidade (K. Takenaka, L.M.D. Melo e M.C. Mendonça).

Esse “estudo de caso” resultou na elaboração de uma Nota Técnica com o título “Levantamento do custo de coberturas em abóbadas e em telhas cerâmicas com engradamento de madeira em Belo Horizonte” (Belo Horizonte, CETEC, 1985. 13p).

A edificação utilizada como referência para a realização desse “estudo de caso” caracteriza-se como uma habitação de características relativamente modestas, localizada em Belo Horizonte, cuja área a ser coberta – abrangendo os beirais periféricos corresponde a 57,96m<sup>2</sup>.

As referidas planilhas, na presente versão, foram elaboradas com o emprego do aplicativo EXCEL, da Microsoft; e copia- das como imagens dos originais, para integrarem o corpo deste Manual.

Os coeficientes de consumo de materiais e mão-de-obra, caso a caso, foram extraídos – em sua quase totalidade – das Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO.08 – versão de 1986), da Editora PINI, com a única exceção daqueles componentes que, por sua especificidade no que concerne ao processo de construção de abóbadas em tijolos aqui expostos, que forma extraídos da experiência própria do autor com obras dessa natureza.

Por sua vez, os custos unitários dos mesmos componentes foram obtidos das planilhas sistematicamente publicadas pela Caixa Econômica Federal (CEF / CAIXA) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através do SINAPI / Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, no caso, com a utilização da planilha “Preço ref. insumos – MG – 032020”, montada com base em valores obtidos em Belo Horizonte ao longo de março / 2020.

Evidentemente, os valores financeiros expressos nessas tabelas, tendo em vista sua natureza intrinsecamente mutável, apenas servirão como uma referência básica da correlação de custos entre ambas as alternativas estudadas, nos limites do “estudo de caso” realizado.

MANUAL: coberturas em abóbadas para habitações de baixo custo									
comparação de custos entre cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira e em abóbadas de tijolos cerâmicos furados									
item	discriminação dos serviços e obras	unidade	quantidade	custos unitários sem BDI (R\$)	valor total sem BDI (R\$)	BDI sobre serviços (26,43%)	BDI sobre fornecimento de material (16,78%)	valor total com BDI (R\$)	OBSERVAÇÕES
<b>ALTERNATIVA 1: cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira / 1.A. MATERIAIS</b>									
1	concreto cintas (2x8,4m x 0,1 x 0,15)+(2x6,3m x 0,1 x 0,15)	m <sup>3</sup>	0,4410						fck = 150kg/cm <sup>2</sup> , controle tipo C
1.1	cimento Portland comum tipo CP-II (NBR 11.578)	sc	3,3006	20,90	68,98		11,58	80,56	
1.2	areia lavada (de média a grossa)	m <sup>3</sup>	0,3017	66,67	20,12		3,38	23,49	
1.3	brita n° 1	m <sup>3</sup>	0,1276	71,24	9,09		1,53	10,61	
1.4	brita n° 2	m <sup>3</sup>	0,2983	71,24	21,25		3,57	24,82	
								<b>139,48</b>	
2	armadura	kg	21,4000						vergalhões de aço tipo CA.60B
2.1	cintas longitudinais / armadura longitudinal (4Ø4,2mm)	kg	7,6032	4,66	35,43		5,95	41,38	2 x 4 x 8,8m
2.2	cintas longitudinais / estribos (84Ø3,4mm, compr. 40cm)	kg	2,3856	4,66	11,12		1,87	12,98	espaçamento = 20cm (2x42unx0,4m)
2.3.a	cintas transversais / armadura longitudinal (2 x 2Ø4,2mm)	kg	3,0672	4,66	14,29		2,40	16,69	comprimento unitário = 7,1m
2.3.b	cintas transversais / armadura longitudinal (2 x 2Ø5,0mm)	kg	4,3736	4,66	20,38		3,42	23,80	comprimento unitário = 7,1m
2.4	cintas transversais / estribos (72Ø3,4mm, compr. 40cm)	kg	2,0448	4,66	9,53		1,60	11,13	espaçamento = 20cm (2x36unx0,4m)
2.5	arame recozido n° 18 (tipo PG-7)	kg	0,4708	11,76	5,54		0,93	6,47	0,02kg / kg da armadura
								<b>112,44</b>	
3	fôrmas para moldagem das cintas periféricas	m <sup>2</sup>	6,0720	(considerando-se a concretagem em 2 etapas iguais e subseqüentes)					
3.1	chapas de "madeirite" resinado, 110x220cm, espessura = 12mm	pç	3,0000	42,60	127,80		21,44	149,24	sarrafos de 18 x 220cm / 2 reaprov.
3.2	pregos 17 x 21	kg	1,0000	10,91	10,91		1,83	12,74	
								<b>161,99</b>	
4	engradamento do telhado (2 tesouras)	m <sup>2</sup>	67,1600	consumo total de madeira = 1,5m <sup>3</sup>					
4.1	linhas, bitola 8 x 16cm, em eucalipto tratado	m	14,1900	39,82	565,05		94,81	659,86	2 x 6,45 x 1,1 (perdas de 10%)
4.2	pernas, bitola 8 x 16cm, em eucalipto tratado	m	13,6400	39,82	543,14		91,14	634,28	4 x 3,1 x 1,1
4.3	pendurais e escoras, bitola 8 x 16cm, em eucalipto tratado	m	5,0600	39,82	201,49		33,81	235,30	(2 x 0,8 x 1,1) + (2 x 1,5 x 1,1)
4.4	terças e cumeeira, bitola 8 x 16cm, em eucalipto tratado	m	50,6000	39,82	2.014,89		338,10	2.353,0	5 x 9,2 x 1,1 (peças de 8 x 16cm)
								<b>3.882</b>	

**MANUAL: coberturas em abóbadas para habitações de baixo custo**

**comparação de custos entre cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira e em abóbadas de tijolos cerâmicos furados**

item	discriminação dos serviços e obras	unidade	quantidade	custos unitários sem BDI (R\$)	valor total sem BDI (R\$)	BDI sobre serviços (26,43%)	BDI sobre fornecimento de material (16,78%)	valor total com BDI (R\$)	OBSERVAÇÕES
<b>ALTERNATIVA 1: cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira / 1.A. MATERIAIS (continuação)</b>									
4.5	caibros, bitola 5 x 6cm, em eucalipto tratado	m	165,400	11,16	1.845,86		309,74	2.155,6	(2 x 21 x 3,75m) x 1,05 (perdas)
4.6	ripas, bitola 1,5 x 5cm, em eucalipto tratado	m	254,000	2,46	624,84		104,85	729,69	(2 x 12 x 9,2m) x 1,15 (perdas)
4.5	ligação pendural / linha (abraçadeira), em F.C. 1/4" x 2"	m	1,4000	12,52	17,53		2,94	20,47	2 x 70cm (2 unidades)
4.6	ligação pendural / pernas, em F.C. 1/4" x 2"	m	1,2000	12,52	15,02		2,52	17,55	4 x 30cm (4 unidades)
4.7	parafusos Ø3/8", rosca francesa, compr.= 10cm	pç	10,0000	6,48	64,80		10,87	75,67	com 2 arruelas e 1 porca, cada
4.8	parafusos Ø3/8", rosca francesa, compr.= 30cm	pç	4,0000	8,78	35,12		5,89	41,01	com 2 arruelas e 2 porcas, cada
4.9	pregos 18 x 30 (fixação dos caibros à cumeeira e terças)	kg	2,0000	10,91	21,82		3,66	25,48	
4.10	pregos 15 x 15 (fixação das ripas aos caibros)	kg	6,0000	12,08	72,48		12,16	84,64	
								7.032,5	
<b>5</b>	<b>cobertura em telhas cerâmicas, tipo "portuguesa"</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>70,0000</b>						
5.1	telhas cerâmicas capa-e-bica conjugadas, 39,4 x 23,5cm	pç	1.155,0	0,96	1.109		186	1.294,9	consumo = 15pç / m <sup>2</sup>
5.2	telhões cerâmicos para cumeeira, 41x21cm	pç	30,3600	2,20	67		11	78,0	consumo = 3pç / m
								1.372,9	
								<b>8.819</b>	<b>SUBTOTAL 1A: MATERIAIS</b>
<b>ALTERNATIVA 1: cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira / 1.B. MÃO-DE-OBRA</b>									
<b>1</b>	<b>cintas de contraventamento</b>								
1.1	preparo do concreto (0,5475m <sup>3</sup> ): servente	h	4,4100	8,35	36,82		6,18	43,00	rendimento médio = 10h / m <sup>3</sup>
1.2	lançamento do concreto: pedreiro	h	0,8820	11,48	10,13		1,70	11,82	rendimento médio = 2h / m <sup>3</sup>
1.3	lançamento do concreto: servente	h	2,6460	8,35	22,09		3,71	25,80	rendimento médio = 6h / m <sup>3</sup>
1.4	preparo e lançamento da armadura (21,5kg): armador	h	1,4980	11,48	17,20		2,89	20,08	rendimento médio = 0,07h / kg
1.5	preparo e lançamento da armadura: ajudante	h	1,4980	8,62	12,91		2,17	15,08	rendimento médio = 0,07h / kg
1.6	preparo e lançamento das fôrmas (10,95m <sup>2</sup> ): carpinteiro	h	6,8006	18,32	124,59		20,91	145,49	rendimento médio = 1,12h / m <sup>2</sup>
1.7	preparo e lançamento das fôrmas: ajudante	h	6,8006	8,62	58,62		9,84	68,46	rendimento médio = 1,12h / m <sup>2</sup>
								329,74	

**MANUAL: coberturas em abóbadas para habitações de baixo custo**

**comparação de custos entre cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira e em abóbadas de tijolos cerâmicos furados**

item	discriminação dos serviços e obras	unidade	quantidade	custos unitários sem BDI (R\$)	valor total sem BDI (R\$)	BDI sobre serviços (26,43%)	BDI sobre fornecimento de material (16,78%)	valor total com BDI (R\$)	OBSERVAÇÕES
<b>ALTERNATIVA 1: cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira / 1.B. MÃO-DE-OBRA (continuação)</b>									
2	engradamento do telhado (2 tesouras)								
2.1	preparo e lançamento do engradamento (67,16m <sup>2</sup> ): carpinteiro	h	80,5920	11,48	925,20		155,25	1.080,4	rendimento médio = 1,2h / m <sup>2</sup>
2.2	preparo e lançamento do engradamento: ajudante	h	80,5920	8,62	694,70		116,57	811,3	rendimento médio = 1,2h / m <sup>2</sup>
								<b>1.891,7</b>	
3	entelhamento								
3.1	ajuste e colocação das telhas (70m <sup>2</sup> ): pedreiro	h	35,0000	11,48	401,80		67,42	469,2	rendimento médio = 0,5h / m <sup>2</sup>
3.2	transporte e distribuição das telhas: servente	h	70,0000	8,35	584,50		98,08	682,6	rendimento médio = 1h / m <sup>2</sup>
3.3	ajuste e colocação dos telhões de cumeeira (9,2m): pedreiro	h	4,6000	11,48	52,81		8,86	61,7	rendimento médio = 0,5h / m
3.4	transporte e distribuição dos telhões: servente	h	4,6000	8,62	39,65		6,65	46,3	rendimento médio = 0,5h / m
								<b>1.259,8</b>	
								<b>3.481</b>	<b>SUBTOTAL 1B: MÃO DE OBRA</b>
<b>CUSTO TOTAL DA ALTERNATIVA 1 (COBERTURA EM TELHAS CERÂMICAS), ref. março de 2020 →</b>								<b>12.301</b>	
<b>ALTERNATIVA 2: cobertura em abóbadas de tijolos cerâmicos furados (8 furos) / 2.A. MATERIAIS</b>									
1	concreto cintas (3x9,2x0,1x0,2)+(2x9,2x0,45x0,05)+(9x3x0,1x0,15)	m <sup>3</sup>	1,3710						fck = 150kg/cm <sup>2</sup> , controle tipo C
	cimento Portland comum tipo CP-II (NBR 11.578)	sc	10,2611	20,90	214,46		35,99	250,44	
	areia lavada (de média a grossa)	m <sup>3</sup>	0,9380	66,67	62,54		10,49	73,03	
	brita n° 1	m <sup>3</sup>	0,3966	71,24	28,26		4,74	33,00	
	brita n° 2	m <sup>3</sup>	0,9275	71,24	66,07		11,09	77,16	
								<b>433,63</b>	
2	armadura cintas de contraventamento	kg	40,4000						vergalhões de aço tipo CA.60B
2.1	cintas longitudinais tipo A / armadura longitudinal (4Ø4,2mm)	kg	7,9488	4,66	37,04		6,22	43,26	comprimento unitário = 9,2m (2x)
2.2	cintas longitudinais tipo A / estribos (94Ø3,4mm, compr. 93cm)	kg	6,2068	4,66	28,92		4,85	33,78	espaçamento = 20cm
2.3	cinta longitudinal tipo B / armadura longitudinal (4Ø4,2mm)	kg	3,974	4,66	18,52		3,11	21,63	comprimento unitário = 9,2m
								<b>98,66</b>	

**MANUAL: coberturas em abóbadas para habitações de baixo custo**

**comparação de custos entre cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira e em abóbadas de tijolos cerâmicos furados**

item	discriminação dos serviços e obras	unidade	quantidade	custos unitários sem BDI (R\$)	valor total sem BDI (R\$)	BDI sobre serviços (26,43%)	BDI sobre fornecimento de material (16,78%)	valor total com BDI (R\$)	OBSERVAÇÕES
<b>ALTERNATIVA 2: cobertura em abóbadas de tijolos cerâmicos furados (8 furos) / 2.A. MATERIAIS (continuação)</b>									
2.4	cinta longitudinal tipo B / estribos (36Ø3,4mm, compr. 40cm)	kg	2,670	4,66	12,44		2,09	14,53	espaçamento = 20cm
2.5	cintas transversais tipo C / armadura longitudinal (7x4Ø3,4mm)	kg	8,151	4,66	37,98		6,37	44,36	compr. unitário = 4,1m (7x)
2.6	cintas transversais tipo C / estribos (7x16Ø3,4mm, compr. 40cm)	kg	3,1808	4,66	14,82		2,49	17,31	espaçamento = 20cm
2.7	cintas transversais tipo D / armadura longit. inferior (2Ø5,0mm)	kg	2,526	4,66	11,77		1,97	13,74	compr. unitário = 4,1m (2x)
2.8	cintas transversais tipo D / armadura longit. superior (2Ø3,4mm)	kg	1,164	4,66	5,43		0,91	6,34	compr. unitário = 4,1m (2x)
2.9	cintas transversais tipo D / estribos (2x16Ø3,4mm, compr. 40cm)	kg	0,909	4,66	4,24		0,71	4,95	espaçamento = 20cm
2.10	arame recozido nº 18 (tipo PG-7)	kg	0,889	11,76	10,45		1,75	12,21	0,02kg / kg da armadura
								<b>212,09</b>	
<b>3</b>	<b>fôrmas para moldagem das cintas de contraventamento</b>	<b>m²</b>	<b>27,420</b>						
3.1	chapas de "madeirite" resinado 110 x 220cm, espessura = 12mm	pç	4,000	42,60	170,40		28,59	198,99	previsão: 3 reaproveitamentos
3.2	sarrafos de madeira maciça para construção, bitola 2,5 x 7cm	m	42,020	5,87	246,66		41,39	288,05	previsão: 2 reaproveitamentos
3.3	escoras roliças de eucalipto, Ømédio = 7cm, a cada 1m	m	30,800	1,67	51,44		8,63	60,07	compr. médio = 2,8m / 2 reapr.
								<b>547,11</b>	
<b>4</b>	<b>fôrmas para conformação das abóbadas (2 unidades)</b>								
4.1	fôrmas propriamente ditas (chapas de compensado 110x220cm)	pç	2,000	42,60	85,20		14,30	99,50	madeirit resinado, esp.=12mm
4.1.1	sarrafos de madeira maciça para construção, bitola 2,5 x 7cm	m	6,160	5,87	36,16		6,07	42,23	4 sarrafos compr.=70cm / fôrma
4.1.2	pregos 15 x 15	kg	1,000	12,08	12,08		2,03	14,11	
4.1.3	pregos 17 x 21	kg	0,250	10,91	2,73		0,46	3,19	
4.2	cavaletes-guia para apoio e deslocamento das fôrmas (escoras)	m	12,320	1,67	20,57		3,45	24,03	2 peças p/fôrma, compr. unit.=2,8m
4.2.1	pontaletes bitola nominal 8 x 8cm, em madeira maciça	m	13,200	18,56	244,99		41,11	286,10	comprimento unitário = 3m
4.2.2	escoras roliças de eucalipto, Ømédio = 7cm	m	24,640						reaproveitadas do item 3.3
								<b>469,14</b>	

**MANUAL: coberturas em abóbadas para habitações de baixo custo**

**comparação de custos entre cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira e em abóbadas de tijolos cerâmicos furados**

item	discriminação dos serviços e obras	unidade	quantidade	custos unitários sem BDI (R\$)	valor total sem BDI (R\$)	BDI sobre serviços (26,43%)	BDI sobre fornecimento de material (16,78%)	valor total com BDI (R\$)	OBSERVAÇÕES
<b>ALTERNATIVA 2: cobertura em abóbadas de tijolos cerâmicos furados (8 furos) / 2.A. MATERIAIS (continuação)</b>									
5	conformação das abóbadas de tijolos cerâmicos	m <sup>2</sup>	63,480	(desenv. linear efetivo das 2 abóbadas adjacentes)					6,3 x 9,2m (projeção horizontal)
5.1	tijolos furados cerâmicos (8 furos), 9 x 19 x 29cm	pç	1267,2	0,61	772,99		129,71	902,70	consumo = 20pç / m <sup>2</sup>
5.2	argamassa de assentamento (cimento e areia lavada, traço 1:4)	m <sup>3</sup>	0,952	408,53	389,00		65,27	454,28	dosagem em volume
5.2.1	cimento Portland comum tipo CP-II (NBR 11.578)	sc	7,646						
5.2.2	areia lavada média	m <sup>3</sup>	0,980						
5.3	argamassa de capeamento (cimento e areia lavada)								
5.3.1	1ª camada, durante o assentamento dos tijolos, traço 1 : 4	m <sup>3</sup>	0,349	408,53	142,63		23,93	166,57	e = 0,5cm (dosagem em volume)
	cimento Portland comum tipo CP-II (NBR 11.578)	sc	2,80						
	areia lavada média	m <sup>3</sup>	0,359						
5.3.2	2ª camada (chapisco de ligação), traço 1 : 3	m <sup>3</sup>	0,349	451,61	157,68		26,46	184,13	e = 0,5cm (dosagem em volume)
	cimento Portland comum tipo CP-II (NBR 11.578)	kg	186,650						
	areia lavada média	m <sup>3</sup>	0,327						
5.3.3	micro-armadura (em tela de arame galvanizado, malha 1/2")	m <sup>2</sup>	63,480	8,37	531,33		89,16	620,48	fio Ø 0,56mm (BWG24)
5.3.4	3ª camada (capeamento final), traço 1 : 3	m <sup>3</sup>	0,952	451,61	430,02		72,16	502,18	e = 1,5cm (dosagem em volume)
	cimento Portland comum tipo CP-II (NBR 11.578)	kg	509,046						
	areia lavada média	m <sup>3</sup>	0,980						
								2.830,3	
6	caiação superior do capeamento final, em três demãos	m <sup>3</sup>	0,105						cal líquida: 0,0015m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
6.1	cal virgem	kg	41,897	0,73	30,58		5,13	35,72	consumo = 400kg / m <sup>3</sup>
6.2	óleo de linhaça (peso específico ≈ 0,89kg/l)	l	1,765	21,03	37,12		6,23	43,35	consumo = 15kg / m <sup>3</sup>
								79,07	
								4.571	<b>SUBTOTAL 2A: MATERIAIS</b>

**MANUAL: coberturas em abóbadas para habitações de baixo custo**

**comparação de custos entre cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira e em abóbadas de tijolos cerâmicos furados**

item	discriminação dos serviços e obras	unidade	quantidade	custos unitários sem BDI (R\$)	valor total sem BDI (R\$)	BDI sobre serviços (26,43%)	BDI sobre fornecimento de material (16,78%)	valor total com BDI (R\$)	OBSERVAÇÕES
<b>ALTERNATIVA 2: cobertura em abóbadas de tijolos cerâmicos furados (8 furos) / 2.B. MÃO-DE-OBRA</b>									
<b>1</b>	<b>cintas de contraentamento: concreto</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1,3710</b>						fck = 150kg/cm <sup>2</sup> , controle tipo C
1.1	preparo do concreto: servente	h	13,710	8,35	114,48		19,21	133,69	rendimento médio = 10h / m <sup>3</sup>
1.2	lançamento do concreto: pedreiro	h	2,742	11,48	31,48		5,28	36,76	rendimento médio = 2h / m <sup>3</sup>
1.3	lançamento do concreto: servente	h	8,226	8,35	68,69		11,53	80,21	rendimento médio = 6h / m <sup>3</sup>
1.4	preparo e lançamento da armadura (36kg): armador	h	2,828	11,48	32,47		5,45	37,91	rendimento médio = 0,07h / kg
1.4	preparo e lançamento da armadura (36kg): ajudante	h	2,828	8,62	24,38		4,09	28,47	rendimento médio = 0,07h / kg
1.5	preparo e lançamento das fôrmas das cintas (27,42m <sup>2</sup> ): carpinteiro	h	32,904	18,32	602,80		101,15	703,95	rendimento médio = 1,12h / m <sup>2</sup>
1.6	preparo e lançamento das fôrmas das cintas: ajudante	h	32,904	8,62	283,63		47,59	331,23	rendimento médio = 1,12h / m <sup>2</sup>
								<b>1.352,2</b>	
<b>2</b>	<b>fôrmas para conformação das abóbadas</b>	<b>2</b>	<b>conjuntos</b>	<b>(índices extraídos de observações do autor em obras da mesma natureza)</b>					
2.1	execução das fôrmas propriamente ditas (2 unidades): carpinteiro	h	6,000	18,32	109,92		18,44	128,36	(*) inclui os tempos necessários para os deslocamentos dos dois conjuntos de cavaletes-guia e das duas fôrmas, nas mudanças de cômodos (no caso, 7 operações)
2.2	execução das fôrmas propriamente ditas (2 unidades): ajudante	h	6,000	8,62	51,72		8,68	60,40	
2.3	preparação das peças e montagem dos cavaletes-guia: carpinteiro	h	3,500	18,32	64,12		10,76	74,88	
2.3	preparação das peças e montagem dos cavaletes-guia: ajudante (*)	h	7,000	8,62	60,34		10,13	70,47	
								<b>334,1</b>	
<b>3</b>	<b>conformação das abóbadas de tijolos cerâmicos</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>63,480</b>	<b>(índices extraídos de observações do autor em obras da mesma natureza)</b>					
3.1	assentamento dos tijolos: pedreiro	h	44,436	11,48	510,13		85,60	595,72	rendimento médio = 0,7h / m <sup>2</sup>
3.2	assentamento dos tijolos: servente	h	88,872	8,35	742,08		124,52	866,60	rendimento médio = 1,4h / m <sup>2</sup>
3.3	execução das diversas camadas do capeamento final: pedreiro	h	63,480	11,48	728,75		122,28	851,03	rendimento médio estim. = 1h / m <sup>2</sup>
3.4	execução das diversas camadas do capeamento final: servente	h	126,960	8,35	1.060,12		177,89	1.238,0	rendimento médio estim. = 2h / m <sup>2</sup>
								<b>3.551,4</b>	
								<b>5.238</b>	<b>SUBTOTAL 2B: MÃO DE OBRA</b>
<b>CUSTO TOTAL DA ALTERNATIVA 2 (COBERTURA EM ABÓBADAS), ref. março de 2020 →</b>								<b>9.809</b>	
<b>CUSTO TOTAL DA ALTERNATIVA 1 (COBERTURA EM TELHAS CERÂMICAS), ref. 03/2020 →</b>						<b>12.301,00</b>	<b>diferença = 2.492 (20,25%)</b>		

Tal como indicado nessas planilhas, o custo total estimado da alternativa 1 (cobertura em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira), de R\$12.301,00 (doze mil, trezentos e um reais), a preços médios de março de 2020 em Belo Horizonte, ultrapassaria em R\$2.492,00 (dois mil, quatrocentos e noventa e dois reais) o custo total apurado da alternativa 2 (cobertura em abóbadas de tijolos furados), de R\$9.809,00 (nove mil, oitocentos e nove reais), no mesmo contexto de referência.

Essa diferença – não muito significativa – corresponderia, caso fosse adotada esta segunda alternativa, a uma economia percentual de tão somente 20,25%.

Entretanto, se compararmos a correlação entre os custos totais apurados nesse “estudo de caso”, nesta sua atual versão, com o consumo de materiais na alternativa 1 (R\$8.819,00) e na alternativa 2 (R\$4.571,00), percebe-se que essa economia parcial iria corresponder ao muito significativo montante de 48,17%.

Em diversas de nossas experiências com o emprego do processo construtivo de coberturas em abóbadas aqui exposto, foi utilizada tão somente mão-de-obra não qualificada (serventes de pedreiro), evidentemente sob nossa orientação técnica direta durante o início de cada uma das diversas etapas do processo. Ao longo dessas experiências, pudemos

sistematicamente constatar a facilidade de assimilação do conjunto do processo e de cada uma das referidas etapas, não obstante seu caráter inédito e não convencional, bem como a relativamente pequena qualificação profissional desses trabalhadores.

Não obstante, para efeito do “estudo de caso” apresentado, foi adotada a tradicional divisão de atribuições ocorrente na construção civil predial, reservando aos serventes e ajudantes tão somente atividades braçais que exijam essencialmente força física e uma supervisão sumária, enquanto aquelas de natureza mais “técnica” (ou especializada) ficam restritas a oficiais experientes, e/ou (no máximo) a seus eventuais aprendizes.

Por outro lado, nossa experiência profissional nos mostra que dificilmente poderiam ser obtidos bons resultados na construção de coberturas em telhas cerâmicas sobre engradamento de madeira com a utilização exclusiva ou predominante de mão--de-obra não qualificada nessas atividades específicas da construção civil predial.

Em nosso entendimento, essas considerações deveriam ser levadas na devida conta – evidentemente, a par com diversas outras, de mesma ou diversa natureza – ao se analisar a alternativa tecnológica mais adequada para a construção da cobertura de habitações (ou de outros tipos de edificações) cujas características sejam comparáveis às da referência exposta e desenvolvida neste Manual.

MANUAL

**COBERTURAS EM ABÓBADAS PARA  
HABITAÇÕES DE BAIXO CUSTO**