

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
História das Ciências, das Técnicas e Epistemologia

A ESTEREOTOMIA.
UM ASPECTO DA HISTÓRIA DAS TÉCNICAS UTILIZADAS EM
ARQUITETURA NO BRASIL, ATÉ O SÉCULO XIX.

DALTON ALMEIDA RAPHAEL

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ALBERTO LOMBARDI FILGUEIRAS

RIO DE JANEIRO
- JULHO 2009 -



Bonnart inv. et del.

Herisset Sculp.

Geometria plura praesidia praestat Architecturae. Vitruv. L. I. c. I.

"A Geometria presta muitos serviços à Arquitetura",

Desenho de Jean Baptiste Bonnart, gravado por Nicolas Antoine Herisset , Séc. XVIII

Frase do Livro I, Cap. I de "Os Dez Livros de Arquitetura", Vitruvius, I aC.

*Marco Polo décrit un pont, pierre par pierre.
-Mais laquelle est la pierre qui soutient le pont? demande Kublai Khan.
-Le pont n'est pas soutenu par telle ou telle pierre, répond Marco Polo, mais par la ligne
d'arc qu'à elles toutes elles forment.*

*Kublai Khan reste silencieux, il réfléchit. Puis il ajoute:
Pourquoi me parles-tu des pierres? C'est l'arc seul que m'intéresse.
Polo répond:
-Sans pierres, il n'y a pas d'arc.*

(Italo Calvino - Les Villes invisibles)

Marco Polo descreve uma ponte, pedra por pedra.
-Mas qual pedra sustenta a ponte? Pergunta Kublai Khan.
-A ponte não é sustentada por esta ou aquela pedra – responde Marco Polo, mas pela curva do arco que estas formam.
Kublai Khan permanece em silêncio, refletindo. Depois acrescenta:
-Porque falar das pedras? Só o arco me interessa.
Polo responde:
-Sem pedras, o arco não existe.

(Italo Calvino – As cidades invisíveis. Tradução: Diego Mainardi)

Até o século XV, num mundo de analfabetos, a humanidade comunicava-se com pedras, empilhando-as e arrumando-as das mais variadas formas para expressar a fé (as igrejas), o poder (os castelos), o luxo (os palácios), a propriedade (o muro), a punição (o cárcere), a pobreza (os casebres), e a morte (as lápides). Com Gutenberg tudo aquilo deixava de ter sentido. O livro impresso seria a pedra dos tempos futuros. O construtor do devir.

(Victor Hugo no livro Notre Dame de Paris-1831)

Dalton Almeida Raphael

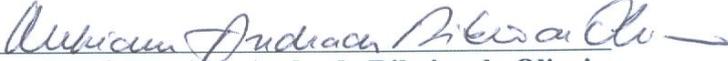
A Estereotomia. Um aspecto da História das Técnicas utilizadas em Arquitetura no Brasil, até o século XIX.

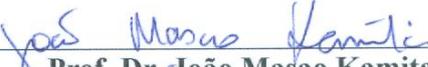
APROVADO em 08 de julho de 2009-06-07

Tese apresentada ao Programa de História das Ciências, das Técnicas e Epistemologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor Ciências.

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Carlos Alberto Lombardi Figueiras, Presidente
Instituto de Química/HCTE - Universidade Federal do Rio de Janeiro


Prof.ª Dr.ª Myriam Andrade Ribeiro de Oliveira
Escola de Belas Artes - Universidade Federal do Rio de Janeiro/IPHAN


Prof. Dr. João Masao Kamita
Departamento de História / Curso de Arquitetura e Urbanismo - PUC-Rio


Prof. Dr. Fernando José Gomes Landgraf
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/IPT


Prof. Dr. Carlos Benevenuto Guisard Koehler
HCTE - Universidade Federal do Rio de Janeiro


Prof. Dr. Ricardo da Silva Kubrusly
Instituto de Matemática/HCTE - Universidade Federal do Rio de Janeiro

RAPHAEL, DALTON ALMEIDA

“A Estereotomia. Um aspecto da História das Técnicas utilizadas em Arquitetura no Brasil, até o século XIX”

[Rio de Janeiro] 2009

xlv, 187 p, ils. 29,7cm (UFRJ,D. Sc. História das Ciências, 2009)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro - IQ.

1. História das Técnicas no Brasil

2. História das Ciências no Brasil

3. História da Arquitetura no Brasil, até o século XIX.

I. Universidade Federal do Rio de Janeiro - IQ.

II. Título

Agradecimentos e consagrações especiais:

A Deus, que me orienta.

A Cristina Larreta, minha amada esposa.

Ao meu filho Danilo e igualmente, ao meu enteado Bernardo.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Lombardi Filgueiras, mescla de orientador, amigo, tutor e irmão.

Aos meus pais a quem tudo devo: Cilene e Dalton (*in memoriam*).

Aos meus parentes próximos, sobretudo a minha tia Diva.

A Edelmira Cunha de Almeida (*in memoriam*).

Às tias Dalva e Dayse, Lyliam e aos primos Darwin e Newton.

A Wanda Célia Pessoa Rodriguez Larreta.

Aos meus alunos, que tanto me ensinam.

Aos Professores: Aníbal Câmara do Bonfim Filho, Leônidas Moraes, Roberto Magrassi Nicolini (*in memoriam*), Lídio Introcaso Bandeira de Mello, Júlio Cesar de Souza Saraiva, Cristina Grafanassi Tranjan, Bruno Alves Dassie, Moacyr Laterza (*in memoriam*), Sônia Viegas (*in memoriam*), Ney Monteiro (*in memoriam*), Luis Augusto Proença Rosa, Fernando Betim Paes Leme, Hermano Freitas, João Calafate, Risaldo Costa da Cruz Gouveia, Thales Memória, Myriam Andrade Ribeiro de Oliveira, João Masao Kamita, Fernando José Gomes Landgraf, Paulo Eduardo Martins de Araújo, Estela Kauffman, Ricardo Kubrusly, Sérgio Camardella (*in memoriam*), Antônio Gonçalves, William Seba Mallmann Bittar, Francisco Salvador Veríssimo, Ruy Guimarães Piva, Eduardo Rocha de Oliveira, Noé Veja Cotta de Mello, José Natividade, Marcos Ferreira Pires de Campos, Carlos Antônio Leite Brandão, Carlos Benevenuto Gizard Koehler.

Ao “mano grande” Paulo Marcos de Barros Monteiro.

A Arnaldo Lyrio Barreto e família.

Aos amigos da Arquibancada (colegas, ex-alunos do Colégio Arquidiocesano de São Paulo) e ao Ir. Rafael Mendes dos Santos.

Ao Professor Hudson Ventura Teixeira.

Ao Sr. Célio Eduardo Mendes de Souza, mescla de guardião e mantenedor da Igreja da Ordem Terceira de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

Ao pessoal do Museu da Inconfidência de Ouro Preto. E ao Pe. José Feliciano da Costa Simões (*in memoriam*), defensor do Patrimônio Cultural ouropretano.

À Jandira Faustino.

À Antônio Fabiano, Pe. Sergio Costa Couto e ao Dr. Joel Mendes Rennó, da Imperial Irmandade de Nossa Senhora da Glória do Outeiro.

Às autoridades do E5 AD1 – Fortaleza de Santa Cruz do Rio de Janeiro.

Às futuras gerações, nas pessoínhas de Carol, Bea, Rodrigo e Thiago.

A todos os apaixonados pela Arquitetura no Brasil.

A todos aqueles que pensaram, carregaram, talharam, moldaram e montaram pedras; foi através de seu sacrifício, técnica e talento que lindas arquiteturas nasceram.

Glossário:

- **ABÓBADA BARRETE DE CLÉRIGO:** Abóbada composta por triângulos curvilíneos.
- **ABÓBADA DE ARESTA:** Aquela que resulta da interseção de duas abóbadas de berço.
- **ABÓBADA DE BERÇO:** Aquela gerada pelo deslocamento retilíneo de uma semicircunferência. Também se considera aquela cuja forma gerada seja um semi-cilindro.
- **ABÓBADA FACETADA ou PIRAMIDAL:** Abóbada formada por planos triangulares.
- **ABÓBADA TRIPARTITE:** Abóbada de aresta que envolve três abóbadas de berço.
- **ABÓBADA:** Cobertura de seção curva em alvenaria de pedras ou de tijolos.
- **ABOBADILHA:** Abobada pequena.
- **AÇOTEIA:** Eirado ou terraço plano sobre uma abóbada.
- **ADOBE:** Espécie de tijolo de barro seco ao sol, ao qual se acrescentavam fibras vegetais ou crinas e algum aglutinante, como sangue vacum ou óleo de baleia. Também denominado Adobo.
- **ADUELA (1):** Peça em forma de cunha que compõe os arcos ou as abóbadas.
- **ADUELA (2):** Denominação vulgar aplicada para designar o intradorso de uma portada, no sentido vertical que recebem as folhas das portas.
- **AFASTAMENTO:** Distância ao plano vertical de referência.
- **AFRESCO:** Tipo de pintura na qual a própria argamassa é pigmentada, para depois ser aplicada sobre a superfície. Contemporaneamente, por equívoco, costumou-se denominar qualquer pintura mural como “afresco”.
- **ÁGUA:** Denominação de um plano de telhado.
- **ALÇADO:** O mesmo que Elevação.
- **ALCATRUZ:** Tubo ou conduto de pedra assentado com cal e juntas betumadas.
- **ALICERCE:** Conglomerado de alvenaria que serve de base para as paredes de uma construção.
- **ALICERCE:** Fundações ou bases de uma edificação.

- ALIZAR: Peça de madeira que promove a vedação entre a a ombreira e o paramento de uma parede.
- ALVENARIA: Pedras ou tijolos compostos de maneira a formar um muro ou uma parede. Podem ser rejuntadas com argamassa ou não.
- ANDAIME: Estrutura auxiliar utilizada nas construções.
- ÂNGULO AGUDO: Todo ângulo menor do que noventa graus.
- ÂNGULO OBTUSO: Todo ângulo maior do que noventa graus.
- ÂNGULO RETO: Todo ângulo igual a noventa graus.
- APARELHAMENTO: Manufatura e fábrica de blocos de pedra utilizáveis em uma construção.
- APICADO: Desbastado de forma tosca, com o picão.
- ARCO BOTANTE: Espécie de pilar exterior à arquitetura destinado a estabilizar paredes evitando trações laterais.
- ARCO BOTAREU: Espécie de pilar exterior à arquitetura destinado a estabilizar paredes evitando trações laterais.
- ARCO CRUZEIRO: Denominação do Arco que separa a nave do altar mor. Com enorme freqüência o arco do Cruzeiro recebe um crucifixo localizado no exterior da ermida.
- ARCO DE PEDRAS SALIENTES: Tipo de arco arquitetônico escalonado, no qual cada pedra se projeta em relação àquela imediatamente inferior.
- ARCO ESCONSO: O mesmo que Arco Aviajado.
- ARCOS COMPOSTOS: Aqueles constituídos de vários segmentos circulares, cada qual com seu distinto centros.
- ARCOS CONCENTRICOS: Arcos que possuem mesmo cento e raios diferentes. Nas arcadas e portadas, foram muito utilizados tanto no período Romano, quanto no Gótico.
- ARGAMASSA: Mistura utilizada na construção de arquiteturas, composta basicamente de cal.
- ARRANQUE: O mesmo que Saimel. Primeira pedra assentada sobre a imposta.
- ARRIMO: Muro de maior espessura, destinado a contenção de encostas ou de aterros.
- AVIAJADO: Denominação atribuída aos arcos esconsos.

- AZIMBRE: Denominação simplória de cimbre ou cambota.
- BALANÇO: Diz-se das partes que se encontram em projeção em uma arquitetura.
- BALCÃO: Diz-se do vão rasgado por inteiro, com peitoril vazado, podendo ser sacado (externo) ou entalado (interno).
- BALDRAME (1): Nome dado ao embasamento de ensilharia, alvenaria ou cantaria, destinado a nivelar um alinhamento para o assentamento de parede de pedra.
- BALDRAME (2): Viga de madeira onde se apóiem paredes.
- BISSETRIZ: Reta que divide o ângulo formado por duas retas concorrentes em dois outros de mesma amplitude.
- BLOCO DE ESPERA: Assim se denominam os silhares destinados a aguardar o entreamento futuro, com novos blocos de pedra, em cantos ou em empenas.
- BLOCOS DE ENSILHARIA: Blocos de pedra em uma parede portante.
- BULBIFORME: Em forma de bulbo.
- CAMBOTA: Cimbre. Forma para confecção de um arco.
- CANGA: Minério de ferro bruto misturado em alvenarias.
- CANJICADO: Tipo de parede executada com pedras irregulares.
- CANTARIA: Obra de pedra aparelhada.
- CANTEIRO: Denominação utilizada para designar o oficial que sabia entremear os blocos de pedra nos cantos, estabilizando-os e dando a cada bloco desenho particular, capaz melhorar o desempenho da prumada.
- CANTO: O mesmo que cunhal. Esquina.
- CAPEIA: Pedra grande destinada a revestimento da parte superior das paredes ou muros.
- CAPIALÇADO: Chanfro de grandes proporções que relaciona as duas faces de abertura de um vão sendo uma maior e outra menor. Aplica-se geralmente em paredes e muros de grande espessura. A inclinação dos elementos capialçados é chamada vôo, voamento ou capialço.
- CAPISTRANA: Faixa de lajes de pedra assentadas entre pisos de seixos rolados.
- CAPITEL: Arremate superior das colunas, geralmente esculpidos nos padrões dórico, jônico ou coríntio.
- CARGAS CONSTANTES: Cargas perenes que atuam na arquitetura.

- **CHANFRO:** Recorde nas bordas de um elemento arquitetônico, destinado a se evitar arestas vivas ou ainda ângulos agudos.
- **CHARNEIRA:** Reta em torno da qual, sob determinadas regras, se processa um rebatimento
- **CIMALHA FALSA:** Espécie de moldura ou arremate superior nas paredes, que imitam as cimalthas reais.
- **CIMALHA REAL:** Terminação em pedra, na extremidade superior de uma parede, destinada a aumentar a dimensão da própria parede com a finalidade de acomodar o madeiramento de uma cobertura ou a uma abóbada. Conjunto de blocos de pedra, de dimensões maiores que aquelas das paredes, destinada a, com seção maior suportar as cargas advindas do sistema de cobertura.
- **CIMBRE:** Molde para a feitura de arcadas.
- **COLAPSO ESTRUTURAL:** Ruptura de um sistema anteriormente estabilizado.
- **COLUNA:** Elemento estrutural vertical geralmente circular, que promove a sustentação.
- **CONCORDÂNCIA:** Passagem curvilínea e suave entre duas retas ou entre dois planos, sem que sejam geradas descontinuidades ou rupturas.
- **CONJUNTO PREPARADO:** Sistema resultante de uma decupagem ou partição.
- **CONTRACHAVE:** Denominação que designa as pedras vizinhas à pedra chave de um arco ou abóbada.
- **CONTRAFORTE:** Espessamento nas paredes de pedra portantes, destinados a aumentar a estabilidade do conjunto.
- **CORDA:** Qualquer segmento cujos extremos pertençam a um arco simples. No caso de arcos compostos, a corda deverá ter extremos simétricos em relação à flecha
- **CORNIJA:** Ornato que assenta sobre o friso de uma obra (Aurélio). O mesmo que entablamento
- **CORO:** Balcão destinado para as funções musicais, em uma ermida religiosa situado sobre o acesso principal.
- **COROAMENTO:** Face superior de um muro.
- **COROAMENTO:** Face superior de uma parede ou muro, geralmente plano, mas podendo apresentar-se inclinado.

- **CORUCHÉU:** Elemento aparentemente ornamental, que tem por finalidade assentar pilares de pedra. Plasticamente os coruchéus tem a missão de diluir a forma verticóide, para que não ocorram rupturas drásticas na composição. Pináculo.
- **COTA:** Distância ao Plano Horizontal de referência.
- **COUCEIRA:** Parte do intradorso de um vão no qual se firmam as dobradiças.
- **CÚPULA:** Cobertura em forma esférica, hiperbolóide de revolução, parabolóide de revolução ou elipsóide.
- **CURVA CÔNICA:** Qualquer das curvas geradas por cortes em cones retos de revolução, de diretriz circular: parábola, hipérbole ou elipse.
- **CURVA TRAÇO:** Curva resultante da interseção de uma superfície com um dos planos de projeção.
- **CUTELO:** Maneira de dispor os tijolos ou blocos de esilharia sobretudo na feitura de pisos e paredes, assentando-o pela face intermediária. Nas abóbadas de tijolos esse tipo de assentamento o intradorso é gerado pela face intermediária de cada tijolo ou bloco.
- **DECUPAR:** Particionar projetualmente uma parede para que possa ser edificada em blocos manufaturados de pedra, madeira ou tijolos.
- **DERRAMA:** Plano inclinado na soleira de uma porta, com caimento para fora.
- **DESPEÇAR:** Particionar projetualmente uma parede para que possa ser edificada em blocos manufaturados de pedra, madeira ou tijolos.
- **DILTEL:** Expressão simplória para lintel ou verga. Trave horizontal dos vãos.
- **DINTEL ADUELADO:** Espécie de dintel fracionado.
- **DIRETRIZ:** Curva que dá a direção a uma superfície curvilínea.
- **DISTÂNCIA SEGURA:** Em Estereotomia, a distância mínima de 5,0 a 8,0 cm.
- **DRAPEADO:** Padrão obtido quando se intercala pedras de mesma dimensões com a soga no paramento.
- **EIXO DE ROTAÇÃO:** Reta, em torno da qual se processa uma rotação.
- **ELÁSTICO:** Que deforma, contraindo ou dilatando.
- **ELEVAÇÃO:** O mesmo que determinada projeção vertical
- **EMBASAMENTO:** Parte inferior de uma construção, situada ao nível do chão ou semi enterrada, que forma base para as paredes de pedra, para colunas, pilares ou cunhais.

- EMPENA: Canto formado por duas paredes ou paramentos.
- ENCABEÇAMENTO: Face exterior de um arco. Acabamento vertical.
- ENGENDRAMENTO: O mesmo que enlace.
- ENGRA: Plano formado por duas paredes. Quina.
- ENLACE: União de duas paredes que concordam sem ruptura ou descontinuidade.
- ENSILHARIA: Diz-se do sistema resultante da edificação através de blocos de pedra, nas quais ao menos a face aparente é aparelhada.
- ÉPURA: Resultado da operação fundamental da Geometria Descritiva, na qual se obtém as projeções ortogonais fundamentais de um objeto. Projeções do Objeto ou projeto.
- ESCODADO: Lavrado com escoda, tipo de matelo dentado usado pelos canteiros para nivelar as pedras.
- ESCOPRO: Instrumento de ferro ou aço, para lavar a pedra.
- ESCULTURA: A arte e a técnica de plasmar a matéria entalhando a madeira, modelando o barro, cinzelando a pedra ou o mármore, fundindo o metal, etc., a fim de representar em relevo, ou em três dimensões, estátuas, figuras, formas abstratas (Aurélio).
- ESPERA: Espaço ou saliência destinado a receber acréscimo. Geralmente uma “espera” aguarda a futura continuidade da construção.
- ESPIGÃO: Em arquitetura a parte convexa entre dois planos que se seccionam.
- ESQUADRIADO: Delimitado com auxílio de esquadros. O mesmo que esquadriado.
- ESQUADRIAS: Fechamentos de um vão, no período colonial executados em madeira.
- ESTEIO: Peça vertical de madeira, pedra ou até de ferro, usada para sustentar parte de uma parede, teto ou dintel.
- ESTRIBO: Espécie de suporte horizontal em projeção em relação à arquitetura.
- EXTRADORSO: Face externa de um vão.
- FÁBRICA: Em escritos do período colonial, alusão a construção em alvenaria.
- FACHADA: Qualquer das faces dum edifício, de modo geral a da frente.
- FECHAMENTO ENTALADO: Tipo de fechamento que se instala no intradorso de um vão.

- FECHAMENTO SACADO: Tipo de esquadria que se instala sobre o vão, externamente.
- FILEIRAS: Camadas horizontais, constituídas de blocos de pedras.
- FISSURA: Espécie de ruptura parcial geralmente causada por fadiga do material.
- FLECHA: Distância do ponto médio “M” da corda de um arco até o ponto de interseção da perpendicular que passa por “M”, com o arco relativo à corda.
- FRACIONAR: O mesmo que decupar.
- FRATURA: Espécie de ruptura total geralmente causada por fadiga do material.
- FRONTAL: Denominação aplicada a uma posição particular de uma reta, semi reta, segmento ou plano no espaço tridimensional.
- GALILÉ: Área coberta que antecede a entrada da nave em edificações de Arquitetura Religiosa, delimitada do frontispício. O mesmo que nártex.
- GATO: Peça de ferro destinado a grampear dois blocos de pedra, quando necessário.
- GEOMETRIA DESCRITIVA: Metodologia de Representação aplicável como linguagem universal para a Arquitetura e as Engenharias.
- GERATRIZ: Reta que se apóia em uma curva diretriz, formando determinada superfície.
- GOLLA: Arremete horizontal geralmente no nível de um piso interior, em muros de pedra. As golas prenunciam o coroamento
- GRAFISMO: Maneira de traçar linhas e desenhar.
- GUARNIÇÃO: Peças do enquadramento de um vão.
- GUINETE: Fileira de pedras assentadas a pique, utilizadas para o travamento ou arrimo de outras pedras e para servir de guia ao escoamento das águas.
- HORIZONTAL: Denominação aplicada a uma posição particular de uma reta, semireta, segmento ou plano no espaço tridimensional.
- IMPOSTA: Denominação da pedra de base de um arco. Elemento saliente ao alto do pé direito de uma parede em que se assenta a pedra de arranque do arco. O mesmo que console ou consolo.
- INFLEXÃO: Denominação aplicada ao enlace de curvas com contracurvas, características do período denominado Barroco.
- INTRADORSO: Face interna de um vão.

- JUNTA DE PICÃO MIÚDO: Rejuntamento de qualquer cantaria, feito com Picão Miúdo, uma espécie de picareta ou martelo apontado e curvo.
- JUNTA SECA: Junta que não recebe qualquer argamassa.
- JUNTA: Emenda de argamassa entre dois blocos de pedras estereotomicas.
- JUNTAS VERTICAIS: Elemento de grafismo importante, resultante do assentamento de pedras, umas sobre as outras.
- JUNTOURO: Peça de pedra assentada à tição, que atravessa completamente a parede de pedra, e que no outro lado serve de espera e amarração de outra parede.
- LAJEADO: Pavimentação de pedra.
- LANCIL: Peça prismática de pedra, longa e de seção quadrada, utilizada para vergas, e ombreiras.
- LAVRA: Espécie de manipulação com pedra. O mesmo que aparelhamento.
- LEITO DE PEDRA: Face superior de um bloco de pedra.
- LINTEL: O mesmo que dintel. Verga.
- LIÓZ (1): Pedra calcária, clara e rija, empregada na cantaria de edifícios.
- LIÓZ (2): Pedra lavrada ou esculpida voltada para o exterior de uma arquitetura. O contrário de Tardóz.
- LUNETAS: O mesmo que óculo, porém quando aplicado em uma Abóbada.
- MACIÇADA: Alvenaria de pedra muito consistente.
- MADRE: Viga horizontal de madeira para assentamento dos barrotes, geralmente servindo de apoio ou guia para os pisos.
- MAINEL: Tipo de ombreira que sustenta dois arcos geminados.
- MÃO FRANCESA: Peça de apoio destinada a diminuir um vão. O mesmo que mísula ou estribo.
- MASSAME: Argamassa simples, composta de cascalho, terra e cal.
- MATAÇÃO: Pedra de grande vulto, de grandes dimensões, geralmente sem ser lavrada.
- MEDIATRIZ: Reta perpendicular a um segmento que determina o ponto médio deste segmento, ou seja, dividindo-o em dois segmentos de mesma medida.
- MESTRE CANTEIRO: Oficial habituado e competente para orientar a lavra das pedras de canto, bem como o canto destas próprias pedras.

- MÉTODOS DESCRITIVOS: Conjunto de operações gráficas e de raciocínio, aplicáveis em situações adversas da representação de arquiteturas. Constituem-se em três métodos: das Mudanças de Planos de Projeção, das Rotações e dos Rebatimentos.
- MÍSULA: Bloco de pedra horizontal destinado a sustentar como mão francesa algum elemento da arquitetura. Geralmente tem a parte inferior estreita e a parte superior saliente. O mesmo
- MODENATURA: Qualidades plásticas de uma arquitetura, que tem por finalidade acentuar determinada intenção do arquiteto. Também se aplica por extensão ao conjunto de molduras de uma edificação, segundo o caráter de uma determinada ordenação.
- MONOLÍTICO: Diz-se de elementos maciços de pedra, como paredes integrais.
- MUDANÇAS DE PLANOS DE PROJEÇÃO: Método Descritivo que tem por finalidade a adoção de um novo plano de projeção, em situação favorável para que se obtenha uma projeção em verdadeira grandeza do objeto.
- NÁRTEX: Vestíbulo transversal que precede a nave de uma igreja. O mesmo que Galilé.
- NEOCLÁSSICO: Romantismo de inspiração ornamental classicizante, em arquitetura.
- NEOGÓTICO: Romantismo de inspiração ornamental goticizante, em arquitetura.
- NÍVEL: Conjunto de pontos que possuam mesma Cota.
- ÓCULO: Vão circular, elíptico, floral, destinado a passagem de ar e luz.
- OGIVA LANCEOLADA: Espécie de traçado aplicado a arcos característicos da fase exuberante denominada “Gótico Flamejante”.
- OMBREIRA: Umbral lateral e vertical dos vãos.
- ORNAMENTAÇÃO: Floreado, guirlanda, *rocaille* ou ornato destinado a enfeitar a arquitetura.
- PADIEIRA: O mesmo que dintel ou verga.
- PARALELEPÍPEDO CAPAZ: Volume prismático que circunscreve a um volume.
- PARAMENTO CILINDRICO: Face cilíndrica em uma parede ou muro.
- PARAMENTO CÔNICO: Face cônica em uma parede ou muro.
- PARAMENTO: cada uma das faces, interna ou externa de uma parede ou de um muro.
- PRAPEITO ENTALADO: Guarda corpo situado no intradorso de um vão.

- **PARAPEITO SACADO:** Guarda-corpo instalado no exterior ao vão.
- **PARAPEITO:** Peitoril, uma superfície horizontal para apoio na parte inferior de uma janela. Pano de peito.
- **PAREDE ESTRUTURAL:** Parede desprovida de elementos de sustentação, auto portante.
- **PAREDE MESTRA:** Parede de pedra que apóia outras paredes de menor espessura.
- **PAREDE:** Elemento de vedação que promove fechamentos externos e separações internas.
- **PARTICIONAR:** O mesmo que decupar.
- **PARTIDO** de uma arquitetura: maneira pela qual se elaborou a arquitetura a partir das imposições do programa. Organização geral de uma edificação, forma de distribuição e de articulação dos espaços.
- **PAU A PIQUE:** Tipo de vedação obtido pelo revestimento de grades executadas com varas de madeira, por argamassa de barro. Também conhecida como Taipa de Sebe ou Taipa de Sopapo.
- **PEDESTAL:** Base de pedra destinada a sustentar uma coluna, estátua ou peça ornamental.
- **PEDRA CHAVE:** Bloco que fecha o sistema de arcos, abóbadas ou cúpulas, estabilizando o sistema.
- **PEDRA PORTANTE:** Sistema construtivo que utiliza pedras e alguma argamassa.
- **PEDRA SALMER:** Também conhecida como Saimel. Pedra responsável por dissipar as pressões laterais em um dintel aduelado, apoiando-se diretamente sobre a ombreira lateral.
- **PEDRA SECA:** Pedras assentadas sem argamassa.
- **PEDRA SECA:** Sistema construtivo que utiliza somente o empilhamento das pedras, sem rejuntamento.
- **PEDRAL:** Cortina de alvenaria de pedra utilizada para a correção de nível em arrimo ou em patamar.
- **PEDRAS DA LOMBADA:** Conjunto de pedras dispostas entre as pedras de arranque ou Saimeis e as pedras de contra chave.
- **PEGÃO:** Espécie de grande pilar para reforço de muro, parede, arco ou abóbada.

- **PERFIL:** Denominação aplicada a uma posição particular de uma reta, semi reta, segmento ou plano no espaço tridimensional.
- **PERPIANHO:** Bloco de pedra na espessura da parede.
- **PERSPECTIVA:** Sistema de projeção que possibilita idéia de volumetrias arquitetônicas.
- **PETIPÉ:** Escala gráfica aposta em documentos da arquitetura patrimonial.
- **PICÃO:** Instrumento de lavra.
- **PILAR:** Elemento estrutural vertical, geralmente retangular que promove a sustentação, trabalhando à compressão.
- **PINÁCULO:** O mesmo que Corucheu. Ornato verticóide de pedra.
- **PLANO PROJETANTE:** Plano utilizado para projeções ortogonais.
- **PLANTA BAIXA:** Representação gráfica da projeção horizontal de um corte feito horizontalmente. Na América espanhola, refere-se ao pavimento térreo de uma edificação, tão somente.
- **PONTALETE:** Trave de madeira utilizada na sustentação de cimbres ou de telhados.
- **PÓRTICO:** Denominação alusiva à monumentalidade escultural em vãos de acesso.
- **PRISMA:** Solido geométrico cujas arestas laterais são paralelas entre si.
- **PROGRAMA** de uma arquitetura: Imposições dos meios físico e social que determinam a arquitetura.
- **PROJEÇÃO HORIZONTAL:** Toda projeção de um objeto, que ocorra no Plano Horizontal de Projeções.
- **PROJEÇÃO LATERAL:** Toda projeção de um objeto, que ocorra no Plano Lateral de Projeções.
- **PROJEÇÃO VERTICAL:** Toda projeção de um objeto, que ocorra no Plano vertical de Projeções.
- **PRUMADA:** Coluna vertical de elementos similares.
- **PUZZOLANA:** Espécie de argamassa hidráulica.
- **QUARTELA:** Peça que sustenta outra, qual mão francesa.
- **QUARTELÃO:** Espécie de mísula, na qual se apóiam colunas ou ornamentações.

- **REBATIMENTOS:** Método descritivo no qual um plano qualquer do espaço é levado, sob determinadas regras para um plano dos planos de projeções, girando no espaço em torno de uma reta, a charneira.
- **RETÁBULO:** Estrutura ornamental em pedra ou talha de madeira, que se eleva atrás dos altares.
- **RETAS HORIZONTAIS:** Quaisquer segmentos de reta que mantenham o mesmo nível ou cota, invariavelmente. Além das propriamente ditas, assim se especificam também as retas de topo e as fronto-horizontais.
- **RINCÃO:** Em arquitetura, a parte côncava entre dois planos que se seccionam.
- **ROTAÇÃO:** Método descritivo no qual um objeto qualquer do espaço é girado, sob determinadas regras para uma posição favorável em torno de um eixo.
- **ROTUNDA:** Qualquer edifício em forma de círculo ou elipse, coberto por cúpula.
- **SANCA:** Termo utilizado para designar a parte interna das cimalthas reais.
- **SETEIRA:** Vão ou abertura vertical, de dimensões reduzidas, destinado a aeração ou proteção militar.
- **SILHAR:** Bloco de pedra.
- **SISTEMA DE PROJEÇÃO CÔNICO:** Sistema no qual a projeção é obtida através de retas que necessariamente passam por um ponto do espaço.
- **SISTEMA DE PROJEÇÃO, CILINDRICO:** Sistema no qual as projeções são obtidas por retas paralelas.
- **SOBRECARGAS:** Cargas que atuam na arquitetura, além das cargas constantes.
- **SOBRELEITO:** Face inferior de um bloco de pedra que se assenta sobre o leito de outra.
- **SOBREVERGA:** Trabalho ornamental sobre as vergas de uma janela ou porta. Além do efeito estético, as sobrevergas tinham por missão desviar a água que escorresse pela empena da parede para a lateral do vão, desviando-a do vão.
- **SOGA:** Bloco de pedra assentado com a face maior na empena da parede.
- **SUPERFÍCIE CILÍNDRICA CIRCULAR:** Diz-se da superfície descrita por uma reta-geratriz que se apóie em uma diretriz circular.
- **SUPERFÍCIE CÔNICA CIRCULAR:** Diz-se da superfície gerada pela trajetória de uma reta que se apóie em uma diretriz circular.
- **SUTA:** Instrumento de demarcação de terrenos e dos cantos de uma elvenaria.

- TALHA: Trabalho ornamental em relevo, geralmente esculpido em madeira.
- TALUDE: Paramento inclinado.
- TARDÓZ: Faces toscas do bloco de pedra, passíveis da composição interna de uma parede, geralmente niveladas com pedras pequenas.
- TESTADA (1): Face exterior de um arco.
- TESTADA (2): Dimensão ou a própria de frente de um terreno.
- TIÇÃO CHAVE: Bloco assentado perpendicularmente às empena da parede, com as faces menores, uma em cada paramento.
- TIÇÃO: Bloco de pedra assentado com a face menor na empena da parede.
- TIJOLO: Peça de barro cozido, geralmente em forma de paralelepípedo.
- TÔPO: Denominação aplicada a uma posição particular de uma reta, semi reta, segmento ou plano no espaço tridimensional.
- TORRE: Parte saliente de uma arquitetura, cujo sentido é predominantemente vertical. Nas ermidas religiosas, são sinônimos de campanário.
- TORREÃO: Espécie de torre centralizada.
- TRAÇA: O mesmo que risca, risco, desenho de uma obra de arquitetura.
- TRAÇO HORIZONTAL: Reta resultante da interseção de um plano qualquer, com o plano horizontal de projeções ou de referência.
- TRAÇO VERTICAL: Reta resultante da interseção de um plano qualquer, com o plano vertical de projeções ou de referência.
- UMBRAL: Peça lateral e vertical de sustentação nos vãos.
- VÃO BREVILÍNEO: Diz-se do vão que apresente corda maior que a flecha.
- VÃO CAMPANÁRIO: O mesmo que torre sineira.
- VÃO LONGILÍNEO: Diz-se do vão apresente corda menor que a flecha.
- VÃO: Vazio, abertura em parede. Subdividem-se em portas, janelas, óculo, e seteira.
- VERDADEIRA GRANDEZA: Diz-se da projeção de um objeto que se apresente com as dimensões do próprio objeto. O fenômeno ocorre, sempre que o objeto estiver paralelo a um dos planos de projeção.
- VERGA: Fechamento superior dos vãos.
- VERTICAL: Denominação aplicada a uma posição particular de uma reta, semi reta, segmento ou plano no espaço tridimensional.

- ZARPA: Saliência no embasamento das paredes de pedra ou dos muros, destinada a fazer a passagem do paramento para a parte enterrada. Também utilizado para arremates horizontais.
- ZIMBÓRIO: Parte superior, geralmente convexa que arremata o extradorso das cúpulas.

Resumo da tese apresentada ao HCTE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de doutor em Ciências (D.Sc)

“A Estereotomia. Um aspecto da História das Técnicas utilizadas em Arquitetura no Brasil, até o século XIX”

Dalton Almeida Raphael

Julho 2007

Orientador: Carlos Alberto Lombardi Filgueiras

Programa: História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia

A tese “A Estereotomia. Um aspecto da História das Técnicas utilizadas em Arquitetura no Brasil, até o século XIX”, com a qual concluo o doutorado no programa interdisciplinar em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, analisa e sistematiza o conhecimento utilizado nos procedimentos construtivos na América lusitana, do descobrimento até o século XIX. A processologia da arquitetura envolvia então conhecimentos adquiridos de Ciências da Matemática, entre outros, o particular das Construções Geométricas, também denominadas mais tarde de Desenho Geométrico.

As Construções Geométricas eram então compreendidas como a maneira pela qual se devesse projetar e dar forma aos elementos arquiteturais, de tal maneira que existisse estabilidade, equilíbrio invariável no tempo, no (e do) conjunto arquitetural projetado.

O processo técnico utilizado nas arquiteturas foi desenvolvido pelo homem, em escala significativa, desde os primórdios das civilizações da humanidade. Os mesopotâmios, os egípcios, os gregos, os romanos (para não citar os povos orientais), foram os geniais semeadores da Estereotomia mais significativa de toda a história da humanidade, aquela utilizada na Idade Média, em manifestações românicas e, sobretudo nas espetaculares expressões do gótico. Não existem dúvidas de que a Estereotomia associada às Construções Geométricas, foram os motivos pelos quais estes monumentos arquitetônicos (e outros, anteriores) tornaram-se estáveis e desta maneira foram remetidos aos dias de hoje aos quais chegam intactos.

Ao final da Idade Média, as ousadas soluções da “archi-tectônica” chegaram então ao novo mundo, sobretudo através das colonizações portuguesa e espanhola.

Aqui, a processologia da arquitetura gozou do “*status*” de conhecimento transplantado, adequável, adaptável.

As adaptações da técnica estereotômica estavam então subservientes aos fatores locais, como a ingenuidade ou a ignorância da mão de obra, a escassez de matéria prima manufaturada, adaptações climáticas, dificuldades impostas pela topografia, mudanças de hábitos, etc. Estes ajustes foram razoáveis e foram técnicas utilizadas com grande frequência, do século XVI ao século XIX.

Em 1808, com o desembarque da família real portuguesa no Brasil, uma vez que a corte estava transposta, novas demandas e solicitações se impuseram. De maneira lenta e paulatina, o processo construtivo sofreu novas influências determinadas pelos ventos que foram soprados das cortes européias, sobretudo de França, através de Grandjean de Montigny, arquiteto da Missão Francesa de 1816.

O advento dos estilos românticos impôs então transformações nos procedimentos estereotômicos e construtivos. As pedras, que eram lavradas à maneira de uma tectônica desenvolvida em Roma passaram então a ser lavradas para atender maneirismos, tanto estruturais quanto plásticos, oriundos do classicismo; a aplicação do sistema de suportes verticais e traves horizontais fez com que os arcos, quando existissem fossem predominantemente ornamentais. A Construção e o Desenho geométricos, que antes ditavam

a estabilidade passaram então a ser elemento de composição, de tendência do estilo, de adorno, quase sempre perdendo a função estrutural.

Mais tarde, no final do século XIX, o surgimento do concreto e o conseqüente desenvolvimento do concreto armado contemporâneo obscureceram de vez à Estereotomia, que ainda se mantinha viva nas academias, através dos estudos de Arquitetura Analítica e da Geometria Descritiva que ordenavam o conhecimento e a ciência da construção. Se já se encontrava em desuso, a Estereotomia passou então, em menos de um século a pertencer aos “saberes mortos”.

Todavia estes saberes são observáveis entre nós luso-americanos, em inúmeros monumentos patrimoniais, entre outros: nas Missões Jesuíticas do Sul, no Mosteiro de São Bento e na Capela de Nossa Senhora da Glória do Outeiro do Rio de Janeiro, na Igreja da Conceição da Praia e no Castelo da Torre de Garcia D’Ávila da Bahia, nas fortalezas militares de San Miguel e Santa Teresa, hoje no Uruguay e Santa Cruz de Orange em Itamaracá e do Rio de Janeiro, sem contar nas inúmeras ermidas das Minas Gerais.

A tese “A Estereotomia. Um aspecto da História das Técnicas utilizadas em Arquitetura no Brasil, até o século XIX”, se propõe então uma análise epistemológica, um estudo sobre o conhecimento científico e seus diferentes métodos, suas teorias e práticas, sua evolução na história e no desenvolvimento nas sociedades da América luso-brasileira.

Este registro analisa então, através da Geometria Descritiva, das Construções Geométricas, dos registros fotográficos, e das mídias digitais, os monumentos representativos da Arquitetura no Brasil, testemunhos do desenvolvimento que aqui atingiram Conhecimento, Ciência e Técnica, ainda que transplantados da Europa, mesmo que ambientados com materiais nativos e adaptados com soluções locais, para solver as questões da edificação.

Registra também o “*modus operandi*” implícito no pensar específico e necessário da Estereotomia, o desenvolvimento a que se pode chegar por intermédio do empilhamento dos blocos de pedra, incluindo-se aí o desenho particular destes blocos.

Desta maneira, a tese se encaminha e direciona, do desenho particular da unidade de um único bloco de pedra até a complexa construção de uma cúpula, passando

pelas paredes e pela inclusão dos vãos nestas paredes, em sentido dos complicados e intrincados empilhamentos intencionais, nas abobadas simples e compostas.

Em toda esta tese há uma vontade presente que visa demonstrar aos mais moços que o povo brasileiro se ressentia da falta de Memória em relação aos nossos Bens Culturais. Somos possuidores de meios para buscar e recompor não só a nossa verdadeira História, mas também a História das Ciências e das Técnicas.

**Abstract of thesis presented to HCTE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements
for the degree of Doctor of Sciences (D.Sc.)**

**“Stereotomy. An aspect of the History of the Techniques employed in Architecture in
Brazil until the XIXth century”**

Dalton Almeida Raphael

Julho 2009

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Carlos Alberto Lombardi Filgueiras

Graduate Program: History of Sciences and Techniques and Epistemology

The thesis “Stereotomy. An aspect of the History of the Techniques employed in Architecture in Brazil until the XIXth century” with which I conclude my doctorate in the interdisciplinary programme in History of Sciences, Techniques and Epistemology at the Universidade Federal do Rio de Janeiro, analyses and systematises the knowledge employed in building procedures used in Portuguese America, from its inception to the XIX century. Architectural processes in use involved knowledge obtained from the mathematical sciences, in particular that of Geometric Constructions, later also known as Geometric Drawing.

Geometric Constructions were understood as the manner by which one should design and give form to architectural elements in such a way as to secure stability, time-invariable equilibrium, and a balance of the whole set of architectural parts.

Technical processes used in architecture were developed by man in large scale from the beginnings of civilisation. The Mesopotamians, the Egyptians, the Greeks, the Romans (to say nothing of Oriental peoples) were seeders of genius of the most significant Stereotomy of all human History. This was followed during the Romanesque Middle Ages but above all in the spectacular manifestations of the Gothic. The association of Stereotomy and Geometric Constructions was doubtless the reason why medieval monuments (and others, of a previous age) became stable and thus survived intact until our time.

At the end of the Middle Ages the bold “archi-tectonic” solutions arrive in the New World through Spanish and Portuguese colonisation.

Here architectural processes enjoyed the status of transplanted knowledge, with adequations and adaptations.

The adaptations of stereotomic techniques became subservient to local factors, such as the naiveté or the ignorance of the labor force, of the scarcity of manufactured goods, of climatic adaptations, of difficulties imposed by the topography, the change of habits, and so forth. Adjustments had to be carried out but those techniques were frequently used from the XVIth to the XIXth century.

From 1808, after the arrival of the Portuguese Royal Family in Brazil, the newly-established Court had demands and requirements previously unknown. In a slow and gradual way building processes went through novel influences dictated by the winds blown from European Courts, chiefly from France, by means of Grandjean de Montigny, architect of the French Mission of 1816.

The arrival of romantic styles brought about transformations in stereotomic and constructive proceedings. Stones, which had been cut according to tectonics developed in Rome started to be worked only to follow structural and plastic mannerisms derived from classicism. The use of a system of vertical supports and horizontal beams led arches to become predominantly ornamental. Construction and Geometric Drawing, which previously had dictated stability became elements of composition, tendency, style, ornament, almost invariably shedding their structural function.

Later, at the end of the XIXth century, the arrival of concrete and the subsequent development of present-day reinforced concrete cast a shadow over Stereotomy, which was still kept alive in studies of analytical and Descriptive Geometry which ordained knowledge and the science of construction. In the course of less than a century Stereotomy went from a state of disuse to that of “dead knowledge”.

Nevertheless that knowledge can still be seen amongst us, Luso-Americans, in innumerable historical monuments, amongst which can be named the Jesuit Missions in the south, the Monastery of Saint Benedict and the Church of Nossa Senhora da Glória do Outeiro in Rio de Janeiro, in the Church of Conceição da Praia and in the Castle of the Tower of Garcia D'Ávila in Bahia, in the fortresses of São Miguel and Santa Teresa, today in Uruguay, in the fortresses of Santa Cruz de Orange in Itamaracá and in that of Rio de Janeiro, let alone the countless examples in Minas Gerais.

The thesis “Stereotomy. An aspect of the History of the Techniques employed in Architecture in Brazil until the XIXth century” sets itself to an epistemological analysis, a study of scientific knowledge and its different methods, theories and practices, its evolution in History and in the development of society in Luso-Brazilian America.

The thesis records and analyses representative monuments of Brazilian Architecture by means of Descriptive Geometry, Geometric Constructions, photographic records and digital media. These monuments bear witness to the development reached here by Knowledge, Science and Technique which, having been transplanted from Europe, were adapted to native materials and local solutions in order to solve building problems.

It also records the “*modus operandi*” implied in specific and necessary thinking of Stereotomy, and the development that can be attained by means of the piling up of stone blocks, including the distinctive design of those blocks.

Thus the thesis starts from the the particular design of a single stone block and proceeds to the complex construction of a dome, adding the walls and the inclusion of openings on them, towards complicated and intricate intentional pilings in single and composite domes.

This thesis is also intended as an incentive to the young who, as agents of transformation must understand that Brazil is lacking in terms of National Memory, especially with respect to its cultural heritage. We possess the means to search and describe not only History as such but also the History of the Sciences and Techniques.

Sumário		
Introdução		01
Considerações sobre Estereotomia		
Capítulo 1 – O que é Estereotomia da pedra		32
Os princípios Básicos para a decupagem e para o projeto estereotômico.		38
Capítulo 2 – Muros Retos, em declive oblíquo e em talude.		44
2.1 Descrições Auxiliares		44
2.1.1 – Muros (ou paredes) Retos		46
2.1.2 – Muros em Viés:		46
2.1.3 - Muros em Talude:		47
2.1.4 - Muros em Talude e Enviesados:		48
2.1.5 - Paredes coroadas em Declive ou em Rampa:		48
2.2 – Montagens e lavras		50
2.2.1 - Montagem com Blocos Regulares ou Isógonos:		50
2.2.2. - Pseudo (ou Falso) Regular:		50
2.2.3 - Diatônico, ou à “Soga e Tição”		51
2.2.4 - Parede ou Muro Misto:		52
2.2.5 - Aparelhamento de uma parede reta:		52
2.2.6 - Aparelhamento de um muro enviesado:		54
2.2.6.a – Manufatura dos blocos:		54
2.2.7 - Muro ou Parede Inclinada (em Talude):		55
2.2.8 - Aparelhamento de muro em talude-enviesado:		58
Capítulo 3 - Muros Cilíndricos ou Cônicos, retos:		62
3.1 – Muro Cilíndrico Reto:		62
3.2 – Muro Cônico:		64
Capítulo 4 - Os oficiais canteiros, os cantos e as cantarias:		67
4.1 - Os oficiais canteiros:		67

4.2 – Os cantos:	70
4.2.1 - Drapeado ou intercalado:	71
4.2.2 - Sistema de ramais:	71
4.2.3- Cantos Chanfrados:	73
Capítulo 5. Concordâncias em paredes retas e cilíndricas:	76
5.1 – Concordância de muros retos, de seção reta invariável:	78
5.2 – Concordância entre muros retos de espessura (seção reta) diferente:	78
5.3 - Concordância de muros em talude de mesma inclinação:	78
5.4 - Concordância de muros em talude de inclinações diferentes:	81
Capítulo 6. Estereotomia dos vãos em paredes de pedra:	87
6.1 - Elementos de um vão:	90
6.2 - Vãos e Arcos:	93
6.2.1 - Fechamento simples:	93
6.2.2 - Fechamento com dintel apontado:	91
6.2.3 – Circulares:	95
6.2.3.1 - Arco de Meio Ponto, Arco Romano ou Arco Pleno:	96
6.2.3.2 - Arcos rebaixados:	98
6.2.3.3. - Arcos alteados:	99
6.3 - Arcos Compostos por curvas cônicas (elipses, parábolas ou hipérbolas):	100
6.3.1 - Elípticos:	100
6.3.2 – Parabólicos:	101
6.3.3 – Hiperbólicos:	102
6.4 - Arcos compostos por curvas especiais definidas:	103
6.4.1 - Arcos abatidos ou Sarapaneis:	103
6.4.2 - Arcos aviajados:	105
6.5 - Arcos de Ogiva:	107
6.5.1 – Rebaixados:	107
6.5.2 - Equiláteros:	108

6.5.3 – Arco de Ogiva Alteado:	109
6.5.4 - Arco Gótico (Flamejante):	110
6.6 - Arco Bulbiforme:	112
6.7 - Arco Inflexo:	113
6.8 – Arcos de origem diversa:	115
6.8.1 - Arco Tudor:	115
6.8.2 - Arco Otomano:	116
6.8.3 - Arco Mourisco:	117
6.8.4 - Arco Mourisco em Ferradura:	118
6.8.5 - Arco de Ferradura:	119
6.9 - Arco de Dintel Fracionado ou falso retilíneo:	119
Capítulo 7 - Decupar objetivando a estabilidade dos vãos.	122
7.1 - Dintéis Fracionados	122
7.2 - A decupagem de um dintel retilíneo:	123
7.3 – Dintel fracionado com juntas maiores:	128
7.4 – O sistema Monta cavalo:	128
7.5 – O Sistema Pentagonal:	130
7.6 – O projeto e os enlaces dos dinteis aduelados:	131
7.7 – A Decupagem de uma Superfície Cilíndrico-Reta:	134
7.7.1 - Juntas verticais externas falsas, em empenas planas:	135
7.7.2 - Juntas verticais externas falsas, em empenas cilíndricas retas:	134
7.8 – Despeçamento de um vão em uma parede com face em talude:	139
7.9 - O fracionamento dos chanfros denominados Capialçados:	142
Capítulo 8 – Abóbadas:	145

8.1 – Abóbadas de Berço:	145
8.2 – Abóbadas de Aresta:	153
8.3 – Abóbadas de Aresta cobrindo vãos de dimensões diferentes	154
8.4 – Abóbadas Barrete de Clérigo	158
8.5 – Abóbadas de Aresta incomuns (quase um estudo de caso)	163
Capítulo 9 – Cúpulas ou Abóbadas Esféricas	171
Capítulo 10 – Finis	177
Bibliografia	183

Lista de Figuras

Figura 1A: Estereotomia da Pedra no Cais do Centro Cultural da Marinha do Brasil no Rio de Janeiro, R.J.

Figura 1A: Estereotomia da Pedra no Cais do Centro Cultural da Marinha do Brasil no Rio de Janeiro, R.J.

Figura 1B: As Superfícies suaves de São Pedro dos Clérigos-Mariana-M.G.

Figura 2: Dormitório Colégio do Caraça - M. G.

Figura 3: Contrafortes, Missão de Jesús Tavarengué, Py.

Figura 4: Botaréu - Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro

Figura 5: Arcos Botantes - Catedral de São Paulo

Figura 6: Estrutura delgada, na Sé de São Paulo

Figura 7: Coruchéus, Capela de Nossa Sra. da Glória do Outeiro, R.J.

Figura 8: Coruchéus, Capela de Nossa Sra. da Glória do Outeiro, R.J.

Figura 9: Ombreiras de madeira e de pedra, Tiradentes, M.G.

Figura 10: Debilidade da pedra à flexão.

Figura 12: Arcos compostos de Pedras Salientes

Figura 13: Arcos compostos de Pedras Salientes

Figura 14: Forças atuantes em um arco

Figura 15: Arcos na Torre do Castelo de Garcia D'Ávila – BA.

Figura 16: Andaimas ou Cimbres.

Figura 17: Cimbra, cimbra ou cambota, suspenso

Figura 18: Cimbres, cimbras ou cambotas, suspenso

Figura 19: Arco sobre estribos - Ponte de Marília Ouro Preto, M.G.

Figura 20: Cimbres apoiado em mísulas

Figura 21: Os detalhes de um cimbres

Figura 22: Esquema de Remoção das cambotas em Planta Baixa

Figura 23: Detalhe de uma cambota e das arcadas paralelas

Figura 24: Detalhe de uma cambota e das arcadas paralelas

Figura 25: Arcos concêntricos – Capela no Caraça, M. G.

Figura 26: Óculo Matriz de N. Sra. da Conceição de Catas Altas do Mato Dentro, M. G.

Figura 27: Folha de Rosto, Livro I de Frézier

Figura 27A: Frézier: Ilustração do tratado de estereotomia

Figura 28: Juntas e Fileiras na Estereotomia da Missão de São Miguel, R.S.

Figura 29; Forças atuantes nas paredes de pedra

Figura 30: O engaste um muro, deve ser perpendicular a empena.

Figura 31: Esperas na Missão Jesuítica de Jesus de Tavarangué, Py.

Figura 32: Esperas na Missão Jesuítica de Jesus de Tavarangué, Py.

Figura 33: Simbologia de identificação das faces das pedras

Figura 33A: Marcas de Pedreiro

Figura 33B: Marcas de Pedreiro

Figura 33C: Assinatura da Corporação de Ofício (martelo e ponteira) – Ilha Fiscal, Rio de Janeiro, R.J.

Figura 34: Possibilidade de Fissura no Bloco

Figura 35: Coroamento de Parede em Jesús Tavarengué, Py

Figura 36: Técnica do Canjicado - Colônia del Sacramento, Uy.

Figura 37: Pedras de Perpianho, Casa da Câmara e Cadeia - Ouro Preto, M. G.

Figura 38: Paredes ou Muros, retos – Castelo da Torre de Garcia D'Ávila, Tatauapara, BA.

Figura 39: Perspectiva de Muro Reto em Viés

Figura 40: Muro em Talude - Forte Orange em Igarassú, PE.

Figura 41: Ilustração de um muro em talude

Figura 42: - Muro em talude - Fortaleza de Santa Cruz, R.J.

Figura 43: Coroamento com Declive - Forte São Marcelo, BA.

Figura 44: Empenas, cilíndrica e cônica, Forte São Marcelo, BA.

Figura 45: Assentamento regular ou isógono

Figura 46: Assentamento pseudo-regular

Figura 47: Soga e tição

Figura 48: perspectiva ilustrativa Assentamento em soga e tição.

Figura 49: Alvenaria Pseudo regular à soga e tição, Puerta de la Ciudadela, Montevideo, Uy.

Figura 50: Assentamento Misto

Figura 51/**Épura 1**: Projeto de um Muro Reto

Figura 52/**Épura 2**: Projeto de um muro enviado

Figura 53: Detalhe em perspectiva de um bloco lavrado

Figura 54: "Distância segura" no guarda corpo, Fortaleza de Santa Teresa, Uy.

Figura 55/**Épura 3**: Projeto de muro inclinado em talude. Perspectivas dos blocos

Figuras 56: Distância segura em muro inclinado com zarpa

Figura 57: Detalhe de muro em talude, Fortaleza de Santa Teresa, Uy.

Figura 58: Perspectiva de Muro em talude enviesado

Figura 59: Perspectiva da seção horizontal do muro em talude enviesado

Figura 60: Perspectivadas seções horizontais e da distância segura em muro em talude em viés

Figura 61: Perspectiva dos blocos de pedra de um muro em talude inclinado enviesado

Figura 62/**Épura 4**: Projeto simplificado de um muro cilíndrico

Figura 63: Perspectiva do Bloco de ensilharia de um muro cilíndrico

Figura 64/**Épura 5**: Projeto de um muro cônico

Figura 65: Perspectiva: Bloco de pedra, setor cônico circular

Figura 66: Instrumentos para a lavra

Figura 67: Compasso

Figura 68: Balcões do Solar do Marquês de Pontal, Mariana, M.G.

Figura 69: Perspectivas de Rincão e Espigão

Figura 70/**Épura 6**: Canto intercalado ou drapeado

Figura 71/**Épura 7**: Canto com ramais

Figura 72: Angulação aguda exigida nos fortes e fortalezas

Figura 73: Angulação aguda exigida nos fortes e fortalezas

Figura 74/**Épura 8**: Projeto de chanfro em muro reto

Figura 75: Cortina com chanfro em grande escala, Forte Monte Serrat, Salvador, Ba.

Figura 76: Chanfro em pequena escala, nas aduelas, na Fortaleza de Santa Cruz, R.J.

Figura 76-A: Chanfro na Capela de N. Sra. do Rosário dos Pretos de Ouro Preto, M.G.

Figura 77/Épura 9: Concordância entre muros retos, de seção reta invariável

Figura 78: Concordância de muros retos, de seção reta invariável, Forte de São Miguel, Uy.

Figura 79: Contra-exemplo - paramentos sem concordância no Castelo de Itaipava, R.J.

Figura 80/Épura 10: Concordância entre muros retos de espessuras diferentes

Figura 81: Muro em Talude constante

Figura 82/Épura 11: Concordância de muros em talude de mesma inclinação

Figura 83: Muros em Talude de inclinação constante, na Fortaleza de Santa Cruz, R.J.

Figura 84: Efeito informatizado ilustrativo - Muro com talude variável

Figura 85/Épura 12: Concordância de muros em talude de inclinações diferentes

Figura 86: Modelos de concordâncias entre diferentes tipos de muros, em Frezier

Figura 87/Épura 13: Muro em talude com inclinações diferentes

Figura 88: Óculo floral - Capela de Nossa Senhora da Glória do Outeiro, R.J.

Figura 89: Seteira, Forte Orange em Igarassú, PE

Figuras 89 A: O Projeto de Antônio Francisco Lisboa

Figura 89 B: São Francisco de Assis de São João Del Rey, M.G. - Óculo e Seteiras

Figura 89 C: Projeto dos “óculos” da capela mor - São Francisco de Assis de Ouro Preto

Figura 89 D: Igreja da Orden Terceira de São Francisco de Assis de São João Del Rei, M.G.

Figura 89 E: A traça do Aleijadinho, em fotomontagem da Matriz de Tiradentes.

Figura 90: Gelsia aplicada sobre o vão

Figura 91: Chanfro e derrama, Casa de Câmara e Cadeia de Ouro Preto, M.G

Figura 92: Fechamentos dos vãos

Figura 93: Ombreiras monolíticas, Colonia del Sacramento, Uy

Figura 94: Ombreiras segmentadas ou fracionadas, Cuartel de Dragones, Maldonado, Uy.

Figura 95: Dintel monolítico

Figura 96: Dintel Monolítico, Convento de Santo Antônio em Igarassú, PE

Figura 97: Dintel apontado

Figura 97: Dintel apontado

Figura 98: Arcadas de quatro espécies distintas Capela de N. S.ra da Glória do Outeiro, R.J.

Figura 99: Arco Pleno, Romano ou de meio ponto

Figura 99 A: Projeto de João Batista Primoli, para Missão Jesuítica de São Miguel, R.S.

Figura 100: Fazenda de Café Neoclássica -Vale do Paraíba, R.J.

Figura 101: Arcos rebaixados, simples e equilátero

Figura 101A: Arcos rebaixados, simples e equilátero

Figura 102: Palácio dos Governadores de Ouro Preto, projeto José Fernandes P. Alpoim

Figuras 103: Arco alteado. Capela de Nossa Senhora da Glória do Outeiro, R.J.

Figuras 103A: Arco alteado. Capela de Nossa Senhora da Glória do Outeiro, R.J.

Figuras 104: Arco Ferradura ou Falso árabe

Figuras 105: Arco Elíptico rebaixado

Figura 106 - Arco Elíptico alteado

Figura 107: Arco falso-parabólico

Figura 108: Cúpula em berço hiperbólico, Fortaleza de Santa Teresa, Uy

Figura 109: Arco Abatido de Três centros

Figura 109A: Arco Abatido, Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro

Figura 110: Arco abatido no coro de São Pedro dos Clérigos, Mariana, M. G.

Figura 111: Arco Aviajado, sustentação de escada

Figura 112: Elevação com traçado do Arco Aviajado

Figura 113: Arco Aviajado - Manifestação Art Nouveau, R.J

Figura 114: Arco de Ogiva rebaixado

Figura 115: Arco de Ogiva Equilátero

Figura 115A: Arcos de Ogiva, de feitio variado

Figura 115B: Arcos de Ogiva, de feitio variado

Figura 116: Arco de Ogiva Alteado, Vassouras, R.J.

Figura 116A: Elevação e decupagem de Arco de Ogiva Alteado

Figura 117: Elevação do Arco Flamejante

Figura 117A: Arco Gótico Flamejante, São Pedro dos Clérigos, Mariana, M. G.

Figura 118: Arco Gótico Flamejante, São Pedro dos Clérigos, Mariana, M. G.

Figuras 119: Arco Bulbiforme na Igreja S. Francisco, Ouro Preto, M. G.

Figura 121: Arco Inflexo; derivação na Capela de São Francisco de Assis – Ouro Preto, M.G.

Figura 122: Arco Inflexo; derivação na Capela de N. Sra. do Rosário, Tiradentes, M.G

Figura 123: Arco Inflexo

Figura 124: Arco Tudor – Elevação para decupagem

Figuras 125: Arco Otomano – Elevação para decupagem

Figuras 126: Arco Otomano – Elevação para decupagem

Figura 127: Arco denominado Mourisco

Figura 128: Arco denominado Mourisco, Plaza de Toros de Colonia del Sacramento, Uy.

Figuras 129: Arco Mourisco em Ferradura, Plaza de Toros, Colonia del Sacramento, Uy.

Figuras 130: Arco Mourisco em Ferradura, Plaza de Toros, Colonia del Sacramento, Uy.

Figura 131: Arco Ogival em Ferradura

Figura 132: Arco de dintel fracionado

Figura 133: Arco de Dintel Fracionado, Missão Jesuítica de Trinidad, Py.

Figura 134: Força atuante em dintel monolítico

Figura 135: Arco adintelado, Forte San Miguel, Uy

Figura 136: Decupagem de um dintel – elevação

Figura 137: Perspectiva da decupagem em dintel

Figura 138: Forças que atuam em cada aduela de um dintel fracionado

Figura 139: Sistema de dintel fracionado em colapso

Figura 140: Dintel decupado em 13 partes, Missão Jesuítica de Jesús Tavarengué, Py.

Figura 141: Acréscimo nas juntas laterais de uma aduela de dintel fracionado

Figura 142: Sistema de Aduelas denominado Monta a Cavalo

Figura 143: Sistema Monta-Cavalo de dintel sobre muro a prumo

Figura 144: Possibilidade de fratura por lavra mal executada ou assentamento indevido

Figura 145: Sistema Pentagonal

Figura 145-A: Sistema Pentagonal em arcada, Rua Venâncio Flores, R.J

Figura 146/Épura 14: Projeto de vão com dintel fracionado e com rebaixos-capialçados

Figura 147/Épura 15: Verdadeira grandeza da face da aduela em dintel com capialçado

Figura 148: Dintel fracionado em 7 partes Cuartel de Dragones de Maldonado, Uy.

Figura 149: Espetacular dintel fracionado em 17 partes, Santíssima Trinidad, Py;

Figura 150/Épura 16: Projeto de aduela em muro cilíndrico-reto

Figura 151 e 151A: Dintel fracionado rotunda do Mercado Modelo, Salvador, Ba.

Figura 152/Épura 17: Juntas verticais externas falsas, em empenas planas

Figura 152A: Perspectiva de uma aduela com falsa junta

Figura 152/Épura 18: Projeto de um vão em muro cilíndrico com sistema de falsa junta

Figura 153: Perspectiva realçada do bloco em sistema de falsas juntas

Figura 154/Épura 19: Arco Pleno em um muro em talude

Figura 155/Épura 20: Determinação da V.G. da face em declive do Muro em Talude

Figura 156: Arco rebaixado vazando Muro em Talude, Fortaleza S. Teresa, Uy.

Figura 157: Arco rebaixado vazando Muro em Talude, Fortaleza S. Teresa, Uy.

Figuras 158: Capialçado na Missão Jesuítica de São Miguel, RS.

Figura 159: Capialçado na Missão Jesuítica de São Miguel, RS.

Figura 160: Capela de N. Sra. Conceição do Castelo da Torre de Garcia D'Ávila, BA.

Figura 161: Face interna do Capialçado em Arco Abatido na Missão Jesuítica de Trinidad, Py.

Figura 162/Épura 21: Decupagem para capialçado em Arco Pleno, vista interna

Figura 162/Épura 22: Decupagem para capialçado em Arco Pleno, vista externa

Figura 163/**Épura 23**: Abóbadas de Berço

Figura 164: Nomenclatura nas Abóbadas de Berço, elevação.

Figura 165: Abóbada de Berço – Fortaleza de Santa Cruz, Rio de Janeiro

Figura 166: Abóbadas de Berço em viés – Fortaleza de Santa Cruz, Rio de Janeiro

Figura 167: Abóbadas de Berço em viés – Fortaleza de Santa Cruz, Rio de Janeiro

Figura 168: Açoteia na Fortaleza de Santa Cruz, Rio de Janeiro

Figura 169/**Épura 24**: Abóbada de Berço em viés

Figura 170: Perspectiva do bloco do encabeçamento

Figuras 171: Perspectiva isométrica, Interseção dos cilindros e geração das Arestas

Figuras 172: Planta esquemática de teto, Interseção dos cilindros e geração das Arestas

Figura 173: Abóbada de Aresta, Claustro do Mosteiro de São Bento, Rio de Janeiro

Figura 174: Relação entre pontos de mesmo nível nos dois arcos, elevação

Figura 175/**Épura 25**: Abóbada de Aresta, interseção entre berços, cilíndrico e abatido

Figura 176: Abóbadas de Arestas Abatidas – Mosteiro de São Bento, R. J.

Figura 177/**Épura 26**: Geração e arranque de uma Abóbada Barrete de Clérigo

Figura 177A: Arranque da Abóbada de Claustro na Missão Jesuítica, Jesús Tavarengué, Py.

Figura 178: Abóbada Barrete de Clérigo, Congonhas do Campo, M.G.

Figura 179/**Épura 27**: Abóbada Barrete de Clérigo ou de Claustro

Figura 180: Exterior Barrete de Clérigo, Torre da Capela de N. S. da Glória do Outeiro, R.J.

Figura 181: Exterior Barrete de Clérigo, Torre da Capela de N. S. da Glória do Outeiro, R.J.

Figura 182: Abóbada de Aresta laminar, Castelo da Torre de Garcia D' Ávila, Tatauapara, Ba.

Figura 183: Galeria de Abóbadas de Aresta do Claustro do Mosteiro de São Bento do R.J.

Figura 183A/**Épura 28**: Abóbada Barrete de Clérigo convencional

Figura 184/**Épura 29**: Abóbada de Arestas em estrela pentagonal de Monduit

Figura 185: Abóbada tripartite – Fortaleza de Santa Cruz, R.J.

Figuras 186: Arcada maior de acesso do pátio. Fortaleza de Santa Cruz, R. J.

Figuras 187: Arcada maior de acesso do pátio. Fortaleza de Santa Cruz, R. J.

Figura 188: Arcadas e passadiço botaréu, Fortaleza de Santa Cruz, R. J.

Figura 189/**Épura 29**: Conjunto Abobadado tripartite - Planta de Teto

Figuras 190: Abóbada tripartite, Fortaleza de Santa Cruz, R. J.

Figuras 191: Pedra chave da Abóbada de Arestas tripartite, Fortaleza de Santa Cruz, R. J.

Figura 192: Abóbada de arestas Superior Fortaleza de Santa Cruz, R.J.

Figura 193: Abobadilha cônica e Abóbada de berço na Fortaleza de Santa Cruz, R. J.

Figura 194: Interseção com o botaréu, arco aviajado ao fundo, Fortaleza de Santa Cruz, R. J.

Figura 195: Extradorso e Chave da Cúpula – Missão Jesuítica de Jesús Tavarengué, Py

Figura 196: Intradorso e Chave da Cúpula– Missão Jesuítica de Jesús Tavarengué, Py.

Figura 197: Cúpula da Capela – Torre de Garcia D' Ávila-Tatauapara, BA.

Figura 198: Nave e Altar Mor da Capela do Castelo de Garcia D' Ávila – Tatauapara, BA.

Figura 198A: Nave e Altar Mor da Capela do Castelo de Garcia D' Ávila – Tatauapara, BA.

Figura 199: Nossa Senhora da Candelária, R.J.

Figura 200: Cúpula piramidal, Capela Mor N. Sra. de Nazaré, Cabo de Santo Agostinho, PE.

Figura 201: Cúpula piramidal, Capela Mor N. Sra. de Nazaré, Cabo de Santo Agostinho, PE.

Figura 202/**Épura 30**: Projeto e decupagem de Cúpula ou Abóbada Esférica

Figura 203: Torre na Missão Jesuítica de Santíssima Trinidad, Py,

Figura 204: Capela de Nossa Senhora do Rosário, Ouro Preto, M.G.

Figura 205: Frontispício do livro de Gaultier

Introdução

Quem estuda a Arquitetura no Brasil, que tenha conhecimento adquirido através de áreas humanísticas tradicionalmente estabelecidas, tais como a História, a História das Técnicas, a História das Ciências, a História das Arquiteturas (enquanto relato explicativo do desenvolvimento da forma e da tecnologia construtiva através dos tempos) ou mesmo a História das Artes em geral, verifica que esta manifestação pode ser analisada e compreendida através de diferentes óticas.

Em qualquer destas esferas que seja considerada, a Arquitetura que se revela neste país, sempre será considerada como um conjunto de linguagens específicas relativas e submetidas às questões que se insiram nos campos histórico-sociais, histórico-formais (e portanto plásticas) e sobretudo histórico-tecnológicas. Como se nota, a Arquitetura no Brasil é um vasto campo a ser corroborado e desmembrado segundo diversas óticas.

Um destes pontos de vista, o histórico-tecnológico, examina as técnicas de construção, o comportamento submisso e adjacente dos materiais utilizados e as adaptações regionais e vernaculares segundo as quais se interpretou o conhecimento transplantado para a Colônia. Após este exame se desenvolvem as propostas de sistematizações das suas relações, que possam esclarecer ligações e vínculos. Só após esta meticulosa prospecção, a ótica histórico-tecnológica poderá apontar a avaliação dos resultados e suas aplicações.

Em outras palavras, a área da História das Técnicas voltada para a análise da Arquitetura Brasileira propõe uma epistemologia das arquiteturas no país que possa sistematizar suas relações, estabelecer seus vínculos e sobretudo, encaminhar a avaliação de seus resultados. Desta maneira, a compreensão de todas as nuances implícitas nas particularidades das técnicas utilizadas na Arquitetura no Brasil, torna-se fundamental para proporcionar àqueles que a amam e que buscam decifrá-la, uma visão mais completa dos nossos êxitos passados e presentes.

Esse entendimento é necessário e muito importante para a História, tanto das Ciências, quanto das Técnicas e também para a consciência do próprio homem, que já não é apenas um espectador que se coloca diante de um monumento da Arquitetura no Brasil (enquanto um fenômeno produzido pelo homem) apenas na qualidade de observador. Culturalmente, existe hoje uma tendência à investigação, ao questionamento e à verificação de todos os processos científicos e tecnológicos. Isto inclui também o estudo e o conhecimento dos processos técnicos aplicáveis às experiências historicamente acumuladas na arquitetura e nas artes plásticas. Ou seja, a pesquisa de todos os processos científicos e tecnológicos inclui uma processologia da arquitetura produzida no país, que buscará respostas analisando e inter-relacionando os itens arrolados por Lúcio Costa¹ que se seguem:

¹ COSTA, Lúcio. *Arquitetura*. MEC/FINAME/BLOCH. Rio de Janeiro, 1980.

- Os programas arquitetônicos, sob os aspectos das condições locais, disponibilidade e natureza dos materiais e em sentido mais amplo e historiográfico, a adequação da edificação em seu contexto social;
- As técnicas utilizadas;
- Os partidos (enquanto maneiras pelas quais foram traduzidas em Arquitetura as imposições arroladas em determinado programa e executadas em determinada técnica);
- A modenatura, isto é, as qualidades plásticas do monumento arquitetônico.

A análise completa de uma edificação do patrimônio cultural brasileiro deve considerar as funções para as quais tal edificação foi projetada, as relações iconográficas e simbólicas das suas formas, o contexto cultural no qual esteja inserida, relacionando apenas alguns dos aspectos.

O tema que apresento, a Estereotomia Arquitetônica, enquanto parte definida do vasto campo da História das Técnicas, indubitavelmente pretende trazer novamente à luz uma área do conhecimento humano situada na região fronteira entre três histórias: a própria História das Técnicas, a História das Ciências e a História das Arquiteturas. Esta região comum é pouco conhecida e aumenta a cada dia. No entanto, um fenômeno curioso e autofágico transforma o conhecimento acumulado pelos artesãos “arquitetos-engenheiros” em áreas cada vez mais obscurecidas e relegadas a planos secundários; na transformação dos sistemas, nas quais processos são substituídos por outros, áreas do conhecimento acabam relegadas à desqualificação. Desta forma, aquela área limítrofe entre as Histórias torna-se área quase morta, tanto para os perspicazes historiadores das ciências e das técnicas, quanto para os arquitetos e engenheiros contemporâneos.

O Dicionário da língua portuguesa de Aurélio B. Holanda² assim define Estereotomia: 1. Arte de dividir e cortar com rigor os materiais de construção.

Já para o dicionário Ilustrado de Arquitetura de Lima e Albernaz³, Estereotomia é a Técnica utilizada para dividir, cortar e ajustar com rigor determinados materiais, principalmente as pedras. É indispensável na construção de muros ou de paredes de cantaria. Envolve questões relativas à determinação do modo mais vantajoso de dividir um bloco em diversas peças e à determinação exata do perfil e dimensões das faces de cada peça, de modo a se ajustar perfeitamente umas às outras. Implica a necessidade de trabalhos gráficos.

São definições populares e simplórias; como se verá no capítulo um, Estereotomia que tem suas raízes nas palavras gregas “*stereos*” (sólido) e “*tomé*” (corte), tem significados mais abrangentes que estes. Preliminarmente, Estereotomia pode ser compreendida como a arte e a técnica de se pensar, lavrar e empilhar pedras, compondo um sistema arquitetônico (que envolve alicerces, paredes e coberturas), estável.

Ao focalizar especificamente o procedimento técnico utilizado na Estereotomia Arquitetônica, quando encontrada em algumas das suas aplicações na Arquitetura do Brasil entre os séculos XVI e XIX, minha intenção não é situar estas técnicas em uma posição determinista, a não ser em sentido estrito e

² HOLLANDA, Aurélio Buarque. Dicionário da Língua Portuguesa do Século XXI. Edição Eletrônica, Rio de Janeiro, 2000.

³ LIMA, Cecília Modesto e ALBERNAZ, Maria Paula. Dicionário Ilustrado de Arquitetura. Pro Editores, São Paulo, 1998.

interno das conclusões desta tese. Lexicamente, a etimologia da palavra “arquitetônica”, através de seus significados nos encaminha à língua italiana. Neste idioma, o termo “*archi-tectonica*” tem por interpretação, “o conjunto de princípios capazes de estabilizar um arco de pedras empilhadas”. A tectônica do arco é impagável herança cultural da civilização romana, cuja tecnologia de construir privilegia a humanidade com suas soluções em arquitetura desde a Roma antiga. Hoje, estes princípios fundamentais básicos e até simples estão relegados a serem lembrados e utilizados somente quando incorporados nos procedimentos das construções geométricas, parte da Geometria Bidimensional. São inúmeros arcos que, sob os cânones que eram estabelecidos (e outros que estabeleciam), acabavam por gerar identidades estilísticas nas teorias da arquitetura. Estas identidades nada mais são do que modos do homem fazer e ver, jeitos de distinguir e identificar, maneiras de fabricar e construir, arquiteturas.

Estas identidades, a História (e em particular a História das Técnicas) se obriga a preservar. Porém, o homem de maneira inversa tende a se encaminhar para perigosas rupturas com seu passado a cada vez que uma parte do conhecimento humano se transforma em matéria hermética, obscurecida ou até mesmo morta. Isto ocorre naquela zona limítrofe entre as Histórias.

A tese “Estereotomia Arquitetônica” levanta e trata historiograficamente uma técnica milenar de construção, devidamente vislumbrada em diversas teorias da arquitetura, trazida e utilizada no Brasil por portugueses, holandeses, espanhóis e até mesmo por italianos, ingleses e alemães⁴. É o registro histórico de uma técnica, portanto, que será definida no primeiro capítulo. Assim tratados, técnicas utilizadas e monumentos representativos da nossa Arquitetura Brasileira são testemunhos da desenvolvimento a que atingiram nosso conhecimento, ciência e técnica, ainda que inicialmente transplantados da Europa, como o foram em toda parte, porém com materiais nativos e soluções locais para a problemática da edificação.

Nada significou tanto para uma técnica, como aquela adquirida e desenvolvida nas paredes de pedra, pilares de sustentação e abóbadas diversas, quanto o progresso obtido pela humanidade com o advento da geometria mongeana, a Geometria Descritiva⁵. Desde que o homem resolveu planejar antes de construir, nunca havia tido a capacidade de prever, medir e antecipar a arquitetura através de seu raciocínio espacial. Antes de Gaspard Monge, nem sequer no projeto de Baldassare Peruzzi para a Basílica de São Pedro de Roma, cuja perspectiva-cortada ajudou na idéia da tridimensionalidade geral, o arquiteto pôde vislumbrar, antever e prever todo o conjunto arquitetônico. Este descortinamento tem por significado a compreensão a priori da complexidade dos volumes, das composições e interseções entre sólidos diversos ou ainda entre cheios e vazios espaciais que compõem os espaços arquitetônicos.

A metodologia das projeções ortogonais, os hábeis artifícios dos Métodos Descritivos⁶, as determinações de verdadeiras grandezas, as interseções entre sólidos, as gerações de superfícies e de volumes⁷,

⁴ VASCONCELLOS, Sylvio. *Arquitetura Dois Estudos*. MEC/SESU/PIMEG/UCG. Goiania, 1983.

⁵ PINHEIRO, Virgílio de Athayde. *Noções de Geometria Descritiva*. Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro, 1971.

⁶ ASENSI, Fernando Isquierdo. *Geometria Descritiva Superior y Aplicada*. Dossat. Madrid, 1975.

⁷ HIDALGO, Joaquim Del Soto. *Geometria Descritiva, Perspectiva, Sombras y Estereotomia*. Edição do autor. Madrid, 1959.

tanto quanto a sistemática das projeções cônicas propiciou aos arquitetos e quase simultaneamente aos engenheiros recém surgidos, um ferramental inequívoco sem precedentes na História das Ciências, das Técnicas, das Arquiteturas ou da Humanidade. Nesta tese utilizo com frequência, como linguagem gráfica e ferramenta de expressão, a bicentenária metodologia de representação, aliada dos arquitetos e engenheiros, a Geometria Descritiva.

Através do engenhoso artifício das épuras (representações bidimensionais dos objetos arquitetônicos tridimensionais - muros, paredes, abóbadas e outras estruturas), exequíveis e executadas em nosso país, tomam forma na História das Técnicas. Neste estudo as épuras possibilitam a compreensão e a visualização do “*modus-operandi*” envolvido desde a atividade projetual. Além das épuras, também lanço mão de perspectivas obtidas por sistema de projeções, tanto cilíndricas quanto cônicas, dependendo da ocasião e em função da necessidade. As perspectivas são utilizadas para a correta percepção de determinada volumetria. O termo “perspectiva” deriva de “*perspicere*” que significa “ver através de”. No sentido mais estrito, utilizo o artifício das perspectivas para possibilitar a visão e a compreensão de determinadas volumetrias possíveis nos sistemas de estabilidade das pedras.

Igualmente, ferramentas científicas contemporâneas, tais como alguns conjuntos de *software* de interpretação ou de representação das formas, são utilizadas sempre que se mostrarem auxiliares necessárias.

Assim, os três procedimentos metodológicos (épuras, perspectivas e *software*) convergem à História das Técnicas através da Estereotomia Arquitetônica para auxiliar a iluminar o entendimento sobre este conteúdo técnico e proporcionar a compreensão das habilidades geradas pela ciência implícita e pela experimentação, das quais se ocuparam os patronos da nossa Arquitetura, hoje vista como patrimônio nacional.

Não será uma redundância frisar que a arquitetura de algumas construções, hoje notáveis, sempre nos traz uma reunião das Histórias da Arte, da Cultura, das Sociedades, da Ciência e das Técnicas utilizadas em sua edificação. Para explicar estas facetas sempre reunidas nas Arquiteturas, os historiadores verificam as informações procedentes da análise formal e da investigação arqueológica, podendo considerar sempre o estudo das fontes primárias, visuais (o monumento) ou escritas (o projeto).

Esta metodologia raramente permite a interpretação das técnicas, projetual e de execução das edificações, em particular no que tange à Estereotomia. Isto ocorre pela incapacidade de se compreender a relevância da unidade estrutural (estereotômica) dentro do contexto geral da composição tridimensional.

No Brasil, assim como em qualquer lugar do mundo, muitas vezes deparamo-nos com a falta de documentação de cunho projetual, geralmente extraviada na noite dos tempos ou por torpes atitudes humanas ou pior, danificada pelas costumeiras pragas que assolam este tipo de material.

A escassez documental é normal até os primórdios do século XX, sobretudo no que tange às questões da processologia da construção. Mas esta não é uma prerrogativa brasileira. Bom exemplo disso, os

escritos mais completos sobre as construções da antiguidade, os “Dez Livros de Arquitetura” de Vitruvius⁸ tratam com mais atenção das questões plásticas, em detrimento da técnica. Embora não se possa esquecer que é através da simetria (cujas implicações plásticas são inegáveis) que se chega à estabilidade propiciada pelo equilíbrio, Vitruvius explora as simetrias como modo de composição, como princípios básicos de harmonia e proporção. Para ele, se a simetria era antes uma técnica de construção estabilizada, não foi considerada, assim como não esclareceu sequer alguns aspectos técnicos das edificações daquela época, tais como argamassas, materiais de construção ou ainda sobre questões do terreno.

A análise investigativa das formas arquitetônicas tem sido utilizada de maneira erudita para explicar a evolução dos estilos arquitetônicos, mas não se pode esquecer de que a aplicação das regras da geometria simples, se isoladas de outras considerações, por si só não seria garantia de êxito estrutural, nem mesmo nas origens de nossa arquitetura. Formas primárias, como o arco de círculo e triângulos curvilíneos, muitas vezes foram usadas pelos arquitetos em seus projetos ou em seus conceitos e a observação quase sempre leva à constatação de que os dimensionamentos sempre foram superestimados, em consideração da segurança da estabilidade.

Mais significativo ainda é o fato de que até Galileu Galilei, o estudo através das formas geométricas não considerava a ordem de grandeza, a escala dos edifícios. Galileu foi o primeiro, em “Duas Novas Ciências”, a relacionar volume e escala construtiva, através da relação entre as áreas de projeção. Para Galileu a geometria simples não era suficiente para prever a estabilidade da edificação. Uma construção de grande escala está exposta a maiores pressões, uma vez que seu volume aumenta em proporção cúbica, na escala construtiva. Já a base deste mesmo edifício (ocupa uma extensão plana de chão) varia em relação ao quadrado da sua área. Galileu demonstrou que tentar gerar uma forma arquitetônica sem considerar a sua escala é tarefa obviamente destinada ao insucesso, principalmente na arquitetura da pedra.

Importante menção deve ser feita também ao papel das modernas técnicas de investigação para o conhecimento das estruturas básicas das arquiteturas, que podem contemplar inclusive partes não visíveis, interiorizadamente ocultas. Sem esta permeabilidade, estas áreas não eram percebidas e não recebiam destaque ou atenção. Com a utilização das modernas prospecções, argamassas de ligação, que são tão importantes em todas as fases da arquitetura, desde o planejamento até a execução e a posterior perduração, podem ser observadas e consideradas. E é ainda através destas técnicas que se percebe o fato de que muitas vezes há tanta pedra abaixo do solo quanto acima dele. Ou até mais.

Em relação às argamassas, elas tinham como componente básica a cal. Dependendo da localidade ou da época, além da cal recebiam areia e aglutinantes como o óleo de baleias ou o sangue de gado vacum, misturados.

O Granito de Gnaiss, a pedra de Arenito, o Calcário, a Esteatita ou Pedra sabão e o Itacuru figuram entre as principais pedras utilizadas no Brasil. Devido à durabilidade, à maleabilidade e sobretudo à sua disponibilidade no litoral, a pedra foi largamente utilizada até a passagem do século XIX para o século XX em

⁸ VITRUVIO, Marco Polião. Dez livros de Arquitetura. Ed. Ingrid Rowland. Cambridge Univeristy. 1999.

funções estruturais como paredes, pilares e até como abóbadas. A resistência à compressão das pedras difere de acordo com sua composição⁹. A pedra é sensível a muitos fatores, tais como a própria orientação do veio em seu leito natural ou, em aspecto exógeno, a direção das forças que atuam no edifício. Desta maneira, a constituição física de cada bloco de pedra não é aleatória como demonstrou Villela¹⁰.

No século XIX ocorreu uma transformação na Estereotomia; os blocos de pedra utilizados nas construções tornaram-se maiores, impondo assim transformações à técnica. Ou teria sido o contrário? Não se sabe. Fato é que o sistema de colunas e traves, que já fora utilizado na Grécia antiga, tornou-se em verdade, uma simplificação de todo o processo construtivo, uma racionalização na estereotomia arquitetônica, que facilitou e reduziu muito o empilhamento, na busca pela estabilidade.

Nesta mesma época, a utilização dos tijolos cozidos torna-se mais frequente e foi aplicada comumente em substituição às pedras de cantaria. Seu emprego obviamente determinou diferenciações, sobretudo quanto às questões da economia das obras e as unidades em argila cozida passaram então a ser menores.

Considerações sobre os elementos que interferem na estereotomia que serão encontrados ao longo desta tese.

As paredes de pedra, que no transcorrer desta tese também são designadas pelo termo “muros”, podem nos contar muito, quando se tenta examinar os simbolismos em uma edificação. As paredes, enquanto importantes elementos arquitetônicos sustentam peças decorativas de época, tais como pinturas, afrescos, esculturas, retábulos, talhas laicas, tapeçarias, brasões, entre outras coisas, nas arquiteturas civil, oficial ou religiosa. A missão de ser suporte e sustentar adornos é apenas um dos requisitos funcionais destes elementos, que podem exercer diversas serventias; paredes podem ser elemento de fechamento, de divisão do espaço, ou ainda apresentar vãos, de acesso, de aeração e de iluminação.

No que tange a narrativa da história, enquanto técnica, as paredes devem ser observadas como peças fundamentais em sistemas estruturais e tão importantes como os pilares de sustentação e os complexos arcos.

Podendo conter internamente gabinetes ou ambientes tais como galerias e passagens, as paredes de pedra constituem uma conexão entre a parte inferior da edificação, os alicerces e fundações e as partes superiores mais altas onde se situam cimalkhas-reais¹¹, abóbadas, cúpulas ou tão somente os simples telhados.

⁹ DIAZ, Henrique Rabasa. Estereotomia de la Piedra – Guia Prática. Ed. Celarayn, León, 2007.

¹⁰ VILLELA, Clarisse Martins. Critérios para a seleção de Rochas na Restauração da Cantaria. Ouro Preto, 2003.

¹¹ MELLO, Suzy. Arquitetura no Brasil. Sistemas Construtivos. UFMG. Belo Horizonte, 1979.

As paredes desempenham dois importantes papéis em uma arquitetura, sendo ambos funcionais. No primeiro deles, enquanto vedações, podem ser um invólucro que proporciona segurança e abrigo, tanto de incômodos provenientes do mundo exterior, quanto das intempéries naturais. Mas, do ponto de vista estrutural, as paredes de pedra suportam o peso da superestrutura do edifício.

As paredes de pedra portante estruturais combinam essas duas funções, atuando como apoio continuado, que suportam o peso próprio e as cargas da sua parte superior (ao longo de toda a sua dimensão), transferindo-as diretamente abaixo para a fundação e conseqüentemente para o solo. Muitas paredes tendem a ser resistentes de maneira homogênea em todos os pontos de sua extensão; isso normalmente é ocasionado pela regularidade das suas faces planas ou em suave superfície, como no caso da Capela de São Pedro dos Clérigos de Mariana (Figura1) bem como por sua espessura considerável. Mesmo assim, as aberturas dos vãos e das portas devem ocorrer de maneira a não interromper a continuidade do sistema estrutural.



Introdução - Figura 1: As Superfícies suaves de São Pedro dos Clérigos-Mariana-M.G. (foto do autor)

As paredes construídas de pedra ou ainda em tijolo ou adobe, são normalmente incluídas na classificação de muros (contínuos) de carga contínua.

Na Arquitetura Brasileira, muitas vezes foram empregados sistemas que não utilizavam paredes estruturais; nestes casos, as cargas do piso e da cobertura estão suportadas por traves verticais. Em geral a experimentação, própria do que é de domínio público, fez com que se utilizasse um material leve entre estas traves. Nestas paredes, normalmente, os materiais eram utilizados em função das diferentes necessidades estruturais ou até em atenção à exuberância local de determinado material. Por exemplo, na construção de paredes que utilizem estruturas de madeira, nas quais a carga é transmitida a partir da cobertura para a fundação por meio dos esteios, que são pesados montantes de madeira; entre os esteios, as paredes podiam ser preenchidas por pedra, ou por uma trama de pau-a-pique ou ainda com tijolos de adobe, arrematadas externamente com algum tipo de material que as tornasse menos permeável.

Uma parede não portante pode ser relativamente delgada e ser vazada por grandes vãos. Os exemplos significativos que encontramos no Brasil são evidentemente decorrentes das técnicas desenvolvidas a partir da observação da arquitetura das igrejas góticas ibéricas, transplantadas para a colônia. Naquela arte, as cargas se dirigem do teto e das abóbadas, diretamente aos pilares e contrafortes exteriores, mas raramente para as paredes que, por este motivo podem ostentar vãos enormes.



Introdução - Figura 2: Dormitório Colégio do Caraça - M. G. (foto do autor)

Por outro lado, ao considerar agora as paredes portantes, notaremos que as janelas eram dispostas em intervalos regulares, ostentando uma centralização no sistema estrutural intermediário. Nelas, a parede vertical existente entre as janelas atua como um eixo estrutural isolado. Quanto maiores forem os vãos, menor capacidade portante terá o muro. Um exemplo deste tipo de parede é o antigo dormitório do Seminário do Caraça (fig.2) datado do século XVIII, em Minas Gerais, vitimado por um incêndio lamentável em 1968 e revitalizado, recentemente.

Outro sistema, que reconhecidamente é uma mescla oriunda das duas técnicas acima descritas, se aproxima e se assemelha muito ao sistema do muro não portante. Este terceiro sistema pode ser notado nos locais onde a parede apresenta menor seção reta horizontal e, portanto seja mais fina apresentando menor espessura. Em tais casos, em intervalos regulares, as delgadas paredes aumentavam de seção para receber

as cargas concentradas das abóbadas de cobertura, gerando elementos salientes de direção vertical, conhecidos como “contrafortes” (fig. 3).



Introdução - Figura 3: Contrafortes, Missão de Jesús Tavarangué, hoje no Paraguai. (foto do autor)

Os contrafortes geralmente são notórios por serem salientes em relação aos muros; no sistema estrutural são planejados logo abaixo das arestas das abóbadas. Este sistema foi bastante utilizado e difundido desde o século XVII, no Brasil. Obviamente, entre dois contrafortes, a parede só precisa suportar os pesos, próprio e das cargas relativamente pequenas advindas do forro diretamente construído sobre esta parede. E como a área da seção horizontal que define a espessura da parede de pedra entre contrafortes é menor do que aquela dos contrafortes em si, este sistema construtivo nos remete à imagem retórica de um esqueleto, como denomina Heyman¹². Este sistema mesclado é evidente, a partir da concepção arquitetônica do gótico tardio, também na Península Ibérica.

As cargas que atuam nas arquiteturas podem ser classificadas em dois grupos: cargas constantes e sobrecargas. Como se pode perceber, a classificação ocorre em função da existência de variação. As cargas constantes decorrem da estrutura arquitetônica fixa propriamente dita, enquanto as sobrecargas são causadas por fatores externos à edificação, como o vento, os abalos sísmicos, acomodações de terreno ou ainda a circulação de pessoas ou de bens móveis, no interior ou sobre a edificação. As cargas constantes que atuam na edificação produzem compressão.

¹² HEYMAN, Jacques. The Stone Skeleton. Structural engineering of masonry architecture. Cambridge University Press, 1997

É reconhecido que nenhum material de construção é absolutamente rígido, embora alguns se comportem de maneira bem próxima da rigidez, principalmente se comparados com os outros materiais; obviamente, os blocos de pedra utilizados nas paredes são mais resistentes que os blocos de tijolo de adobe, por exemplo. Sob condições normais de carga e em se considerando um prazo curto, a maioria dos materiais de construção pode ser considerada elástica, pois ao variar ou desaparecer a carga, os corpos tendem a recuperar a sua forma original. Já, sob a intervenção da ação de cargas extremas ou de cargas de ação prolongada, produzem-se deformações permanentes adicionais não esperadas.

Na prática da arquitetura, quando dois materiais diferem muito em sua rigidez, tal como a madeira e a pedra (que com muita frequência são utilizados em conjunto nas construções na Arquitetura do Brasil), considera-se que o material mais rígido afeta e deforma o outro.

Antes do século XVII, ou seja, da irradiação do conhecimento advindo da Revolução Científica, quase todos os edifícios monumentais do mundo ibérico utilizavam a pedra para as paredes de sua estrutura; mesmo naqueles mais altos, a resistência à compressão raramente falhou, fosse por fadiga ou por qualquer outro motivo. Um dos motivos que mais contribuiu para este êxito é a camada de argamassa entre os blocos de pedra. Esta camada, conforme se verá adiante neste mesmo trabalho, ajuda a distribuir as forças da compressão por toda a superfície de contato das pedras, o que é indubitavelmente mais seguro que do que apoiar somente através de alguns poucos pontos de contato. Esta durabilidade também é certificada pela resistência do composto à compressão.

Por outro lado, a tração é uma ação consideravelmente mais danosa para as paredes montadas estereotomicamente. Um bloco de pedra isolado apresenta normalmente uma grande resistência à tração; porém as paredes de pedra apresentam esta fraqueza: não se pode esperar que argamassa utilizada entre os blocos, tão necessária, tenha o mesmo comportamento permanentemente.

Quando estão sujeitas a cargas laterais as paredes de pedra sofrem deformações e empenam, chegando até a entrar em colapso, em ruptura total. Os principais agentes físicos desta movimentação são: o vento, os movimentos do solo e as cargas laterais, principalmente aquelas provenientes das arcadas ou das abóbadas.

Portanto, tais muros têm boa resistência às cargas verticais, mas apresentam uma fraqueza em relação às fortes cargas laterais.

Quando porém, se observasse a atuação de cargas verticais fracas e simultaneamente cargas laterais relativamente significativas, tornava-se necessário aumentar a seção horizontal do muro, aumentando assim seu peso próprio.

Ou então, buscar outra solução como construir reforços externos perpendiculares às paredes de pedra, que fossem capazes de neutralizar a resultante das forças. Este reforço acabou por se tornar conhecido como os “arcobotantes” ou botaréis.

Os arcobotantes garantiam assim o equilíbrio das abóbadas erguidas sobre pilares de pedras, como pretendeu Moreux¹³. Enfatizando, então: os botaréus tinham por função amparar uma parede que estivesse sendo submetida à tração muito forte; eram constituídos de blocos esteretomicamente esculpados em pedra, formando um conjunto cuja função era prestar reação àquelas forças.

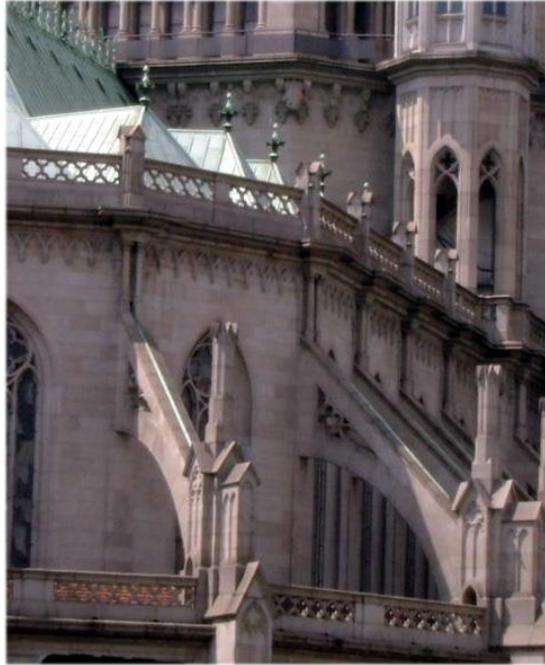
A figura 4 mostra um arcobotante construído na face norte do Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro (face hoje voltada para a Avenida Perimetral e para o cais do porto). Este botaréu tem a finalidade de servir de anteparo a uma parede de pedra que sustenta um sistema de abóbadas internas, da sacristia, da Igreja e da cozinha do mosteiro. Infelizmente oculto por vegetações e de difícil acesso, o arcobotante do Mosteiro retrata uma técnica algo utilizada, mas pouco percebida em nossa arquitetura.



Introdução - Figura 4: Botaréu - Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro (foto do autor).

Os elementos estruturais sujeitos à flexão experimentam uma singular distribuição de pressões, muito mais complexa do que aqueles que estão sujeitos à compressão pura.

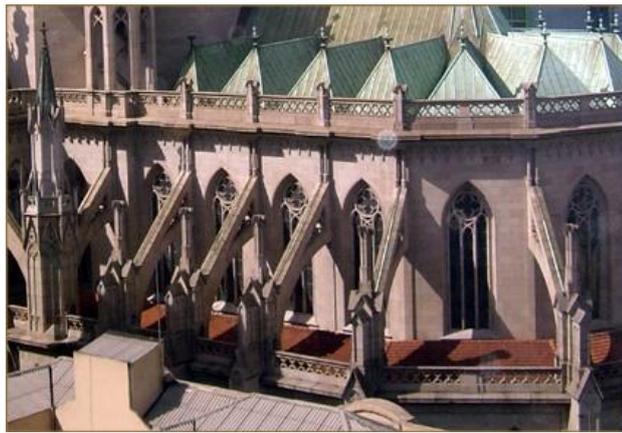
¹³ MOREUX, Jean-Charles. *Histoire de L'Architecture*, Presses Universitaires de France, 1941.



Introdução - Figura 5: Arcos Botantes - Catedral de São Paulo

A flexão de um pilar ou de uma parede de pedra provoca um estreitamento em uma das faces que se encurta; do outro lado, simultaneamente a face se alarga. Ao se alargar estarão atuando sobre o pilar forças de tração que podem gerar uma ruptura, em especial nas camadas de argamassa. Os arcos botantes visavam evitar este problema que poderia, por exemplo, ter ocorrido em uma igreja neogótica, a Catedral de Nossa Senhora da Assumpção, a Sé de São Paulo (figura 5), não fossem os botaréus.

A utilização de pedras “impostas” na base das abóbadas de arestas, ou sustentando trompas que suportam as cúpulas, gera cargas laterais em regiões do muro. Para neutralizá-las, a utilização de contrafortes em determinados locais substituindo as robustas paredes também causava o efeito. Neste caso, a mesma solução surgida na Idade Média se aplicava; consistindo em fazer reforços estruturais que produzissem apoios iguais ao ângulo da força resultante, os arcobotantes inclinados unem a imposta de uma abóbada a um pilar ilhado. Na figura 6, os mesmos arcobotantes da citada Catedral de São Paulo vêm mostrar quão esbelta, elegante e leve, pode ser esta estrutura.



Introdução - Figura 6: Estrutura delgada, na Sé de São Paulo

Já foi aqui referido anteriormente, que os muros de pedra não são consolidados. As argamassas tornam possível a distribuição dos esforços nas superfícies de contato das pedras, proporcionando que as juntas se tornem vedadas.

Muito raramente se encontra um estado de flexão nas construções de pedra, e quando aparece se manifesta com maior incidência nos muros de arrimo. Mesmo nestes, uma eventual flexão pode surgir em função das cargas laterais, e nos muros de pedra sempre será acompanhada pela compressão gerada pelo peso próprio de cada pedra e de todas as peças que se situem acima desta pedra. Quando se sujeita um muro de pedra à tração, a fenda que é gerada pela movimentação é uma ruptura, que mesmo que não seja nociva à estrutura, pode permitir a entrada de água, que por sua vez, pode carregar e esgotar a argamassa. Há notícia que em locais de clima muito frio, como nas regiões do sul do Brasil, sob temperaturas geladas, o acúmulo de água pode expandir e proporcionar reações adversas ainda mais danosas.

Mesmo que a tração possa produzir grandes diminuições na resistência da parede, já no século XVIII os arquitetos e seus mestres faziam correções de projeto examinando suas estruturas para verificar a existência de rachaduras, gretas ou vazados, desde o processo construtivo.

Outra maneira pela qual se combatia a fissura na parede era aumentar a espessura dos pilares (ou até da parede de pedra). Com maior seção horizontal reta, podiam constituir-se mais altos e assim incrementar a compressão, cujas forças tendem a fechar as rachaduras. Muitas vezes então, o arquiteto utilizava em seu projeto o artifício

de designar pesados elementos, tais como parapeitos, sobrevergas, cornijas, coruchéus, pináculos e esculturas, cuja finalidade era aumentar o peso e a compressão fortalecendo assim, as paredes de pedra.



Introdução - Figuras 7 e 8: Coruchéus, Capela de Nossa Sra. da Glória do Outeiro, R.J. (fotos do autor).

Assim, problemas de estrutura podiam ser evitados, como se pode observar nas fotos 7 e 8 da Capela de Nossa Senhora da Glória do Outeiro, onde os contrafortes que sustentam três abóbadas¹⁴ (sendo duas cônicas e uma de berço) são encimados por pesadíssimos coruchéus que comprimem estes contrafortes evitando a presença de botareus, que para a estética barroco-colonial da ermida seria um contrasenso.

Obviamente ao desenho de paredes e pilares mais espessos e pesados, correspondia maior volume de pedra a ser utilizado, o que acarretava maior extração na pedreira. E quanto maior o volume extraído a ser transportado, mais se elevava a monta dos custos, uma vez que a paredes (e pilares) mais fortes também correspondiam acréscimos no volume das fundações da arquitetura.

O método mais simples para criar os vãos necessários para janelas e portas em paredes de pedra consiste no uso de montantes e dinteis. Neste sistema, as ombreiras (ou laterais verticais dos vãos) das portas e janelas, atuam como montantes

¹⁴ TELLES, Augusto Carlos da Silva. Nossa Senhora da Gloria do Outeiro. Agir. Rio de Janeiro, 1999.

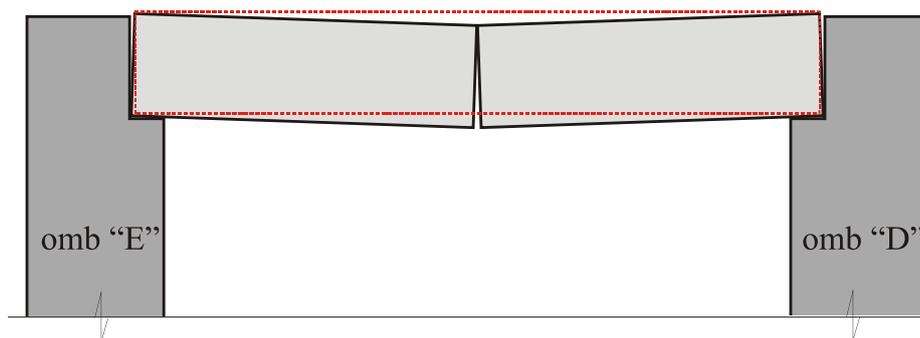
de suporte; o dintel horizontal, na parte de cima do vão atua como uma viga, à flexão. A arquitetura colonial brasileira é muito rica em exemplares que possuam ombreiras e dinteis, tanto de madeira, quanto de pedra. Com madeira, se construíram dinteis muito eficientes, devido à sua boa resistência à tração e ao seu pouco peso; porém devido à maior durabilidade das pedras, estas foram mais utilizadas nas edificações monumentais.

A Figura 9 retrata um exemplo desta utilização, mesclada das ombreiras de madeira e de pedra. Trata-se de uma residência térrea, sita no Largo do Ó em Tiradentes, característica do século XVIII, revitalizada para uso comercial.



Introdução - Figura 9: Ombreiras de madeira e de pedra, Tiradentes, M.G. (foto do autor).

Por outro lado, a pedra lavrada é débil à tensão que a flexiona e isso acarreta a fragilidade do dintel, como demonstra a figura 10. Por isso, vãos que são enquadrados com pedra monolítica têm dimensões limitadas.



Introdução - Figura 10: Debilidade da pedra à flexão-Elevação (desenho do autor).

Os arquitetos antigos eram muito conscientes de suas limitações e desenvolviam com frequência, esquemas pelos quais projetavam respeitando tais limitações. Um método de compensação ao mau comportamento da pedra à flexão

consiste em reduzir as dimensões efetivas de um vão, mediante o emprego de grandes capitéis, ou até de grandes lápides escalonadas na parte superior das colunas, cada uma destas em ligeira projeção sobre aquela imediatamente inferior, como demonstra a foto abaixo.



Introdução - Figura 11: Arco projetado transverso - Missão de San Ignacio Mini, Ar. (foto do autor).

Pode parecer que pequenas reduções nas dimensões do dintel de pedra não venham a ter grande significação; porém em função das forças de flexão que atuam no dintel, essas pequenas economias são importantíssimas. As forças de flexão variam com o quadrado do comprimento apoiado e até os menores incrementos na redução desta distância podem causar o maior efeito nas pressões que atuam no bloco. É tido como domínio público o fato de que uma rachadura em um dintel de pedra, não precisa necessariamente levar à sua destruição. Comprimido desde suas laterais, ao se evitar que os extremos do dintel rachado se separem, o bloco poderá não entrar em colapso, como se observa na figura 10.

Uma estrutura rachada é mais sensível aos movimentos sísmicos e a

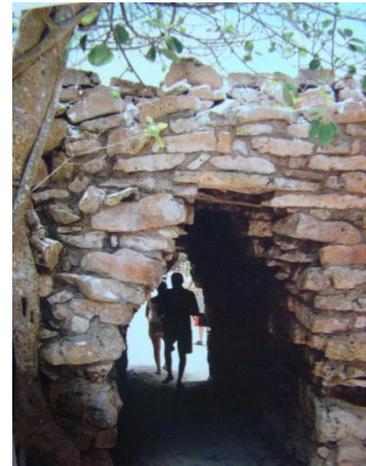
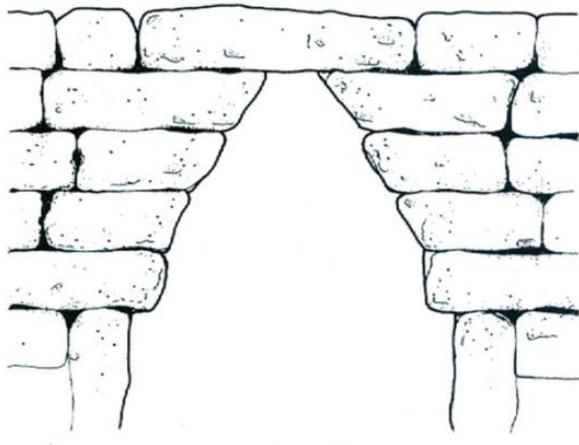
acomodações da terra; segundo Heyman¹⁵, dintéis rachados têm sobrevivido aos séculos em diversas localidades não só do Brasil, mas também da Península Ibérica e da África do norte.

Ainda que não tão prático para proporcionar aberturas nos muros como o sistema adintelado, o chamado “arco de pedras salientes” previne muitos problemas. Neste sistema, cada pedra é assentada em sentido horizontal, em balanço; ou seja, ligeiramente projetada em relação à pedra imediatamente inferior. Enquanto que para vencer grandes distâncias em uma construção adintelada necessita-se do uso de dintéis monolíticos muito pesados, os arcos salientes podem ser construídos com elementos pequenos, normalmente lavrados em pedra ou até em tijolos de argila seca. Na figura 11, em sentido perpendicular ao dintel, apresento um arco saliente composto por pedras que se projetam em balanço, em uma composição adintelada de um lado e saliente por outro. Este arco se assenta sobre estribos laterais que diminuem a distância entre apoios, com um tratamento estereotômico perfeito.

Quando se olha a partir do interior, cada um destes blocos se distingue no vão, pois avançam em relação ao elemento situado abaixo de si, qual uma pequena escada, invertida. A grande vantagem em relação aos arcos verdadeiros (que veremos adiante) é que os arcos em pedras salientes não necessitam de andaimes complicados em seu processo construtivo; a estabilidade dos elementos individuais fica assegurada pela massa de parede situada acima. Estruturalmente, este arco não se comporta como um verdadeiro arco; porém, uma limitação importante em um vão que utilize o sistema das pedras salientes é que sua altura deve ser muito maior que a largura de sua base. Como se passa com o dintel, esta limitação restringe as larguras práticas de utilização em grandes vãos¹⁶. Abaixo, nas figuras 12 e 13, apresento o desenho esquemático e uma foto de um arco composto por pedras salientes.

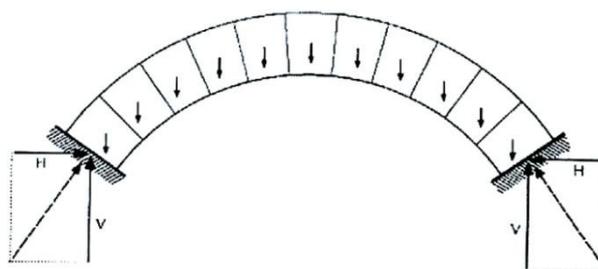
¹⁵ HEYMAN, Jacques. *The Stone Skeleton. Structural engineering of masonry architecture*. Cambridge University Press, 1997

¹⁶ FITCHEN, John. *The Construction of Gothic Cathedrals*. The University of Chicago Press, 1961.



Introdução - Figuras 12 e 13: Arcos compostos de Pedras Salientes (autor ignorado).

Os arcos verdadeiros vencem com facilidade os limites de dimensionamento inerentes aos sistemas adintelado e dos arcos em projeção, mediante a fixação de todos os elementos em forma de cunha que o constituem, conhecidos como aduelas em um estado de compressão. A curvatura de um arco circular produz tanto reações horizontais quanto verticais e as forças geradas neste arco por estas reações atuam fixando as aduelas (figura 14). O potencial para vencer vãos de grandes dimensões converteu o arco no sistema estrutural preferido para as arquiteturas monumentais, que sempre utilizaram dimensionamentos muito acima dos padrões normais. A montagem mediante elementos relativamente pequenos e facilmente manipuláveis é uma vantagem construtiva, que os arcos verdadeiros possuem em relação ao sistema que utiliza pedras que se projetam.



Introdução - Figura 14: Forças atuantes em um arco (Desenho de Trewin Copplestone¹⁷).

¹⁷ COPPLESTONE, Trewin et al. World Architecture. The Ramlyn Publishing Group Limited. London 1963.

Apesar de todas estas vantagens intrínsecas, os arcos exigem um tratamento especial para a sua construção. Devido a produzirem reações horizontais como respostas às cargas gravitacionais verticais, os arcos necessitam de apoios ou de elementos rígidos que suportem a tração através de suas bases para prevenir a separação de seus elementos e a possível ruptura do sistema.

Por outro lado, para que um arco tenha estabilidade, sua forma tem de se aproximar a uma singular configuração otimizada e simultaneamente, seu dimensionamento tem de ser suficiente para manter a linha de força resultante dentro dos limites impostos pelos seus dorsos (intradorso e extradorso).

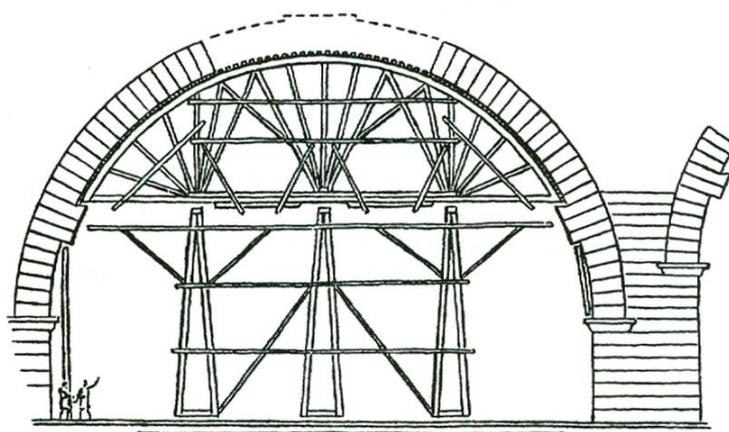


Introdução - Figura 15: Arcos na Torre do Castelo de Garcia D'Ávila – Ba. (foto do autor).

Em função do temor a estas duas atenções, nota-se algo típico em arquiteturas antigas: as arcadas eram sobrecarregadas, o que se conseguia com conteúdo superdimensionado, para prevenir os desmontes de segmentos do arco. Quando um arco está inserido em uma parede de pedra, a região desta parede que esteja acima do arco, atua como sobrecarga. Já uma galeria de arcos inserida em uma parede de pedra ou muro, o empuxo horizontal de cada arco atua em seu vizinho de maneira que o pilar de suporte

inferior experimenta só compressão vertical e este empuxo sujeita firmemente os extremos da arcada, como ocorre¹⁸ na Torre do Castelo de Garcia D'Ávila, em Tatauapara, na Bahia (figura 15).

Uma das questões mais importantes na construção dos arcos (que é ainda mais incisiva, na construção das abóbadas e das cúpulas), está relacionada com o andaime em forma de arco (cilíndrico ou esférico, respectivamente no caso das abóbadas e cúpulas) que era usado para suportar as cunhas de pedra até a colocação da última pedra, denominada em qualquer caso, a “pedra chave”. A ilustração abaixo mostra uma dessas armações.



Introdução - Figura 16: Andaimos ou Cimbres. (Desenho de Trewin Copplestone¹⁹).

Estes andaimes eram especificamente denominados cimbres e eram concebidos para serem desmontados depois da construção do arco. Por uma questão de economia da construção, os cimbres deveriam sempre que possível ser reutilizados. Há pouca literatura sobre estas fôrmas que suportavam simultaneamente tanto os artesãos quanto aos blocos de pedra durante o processo de artesanania, fabrico e montagem dos arcos.

Em suas formas mais primitivas os cimbres (como quaisquer andaimes) eram executados em terra apiloada, compactada, como reza comumente a história da arquitetura; a madeira foi o primeiro material empregado para a fábrica dos cimbres utilizáveis nas construções das arquiteturas históricas, transformando-se em elemento

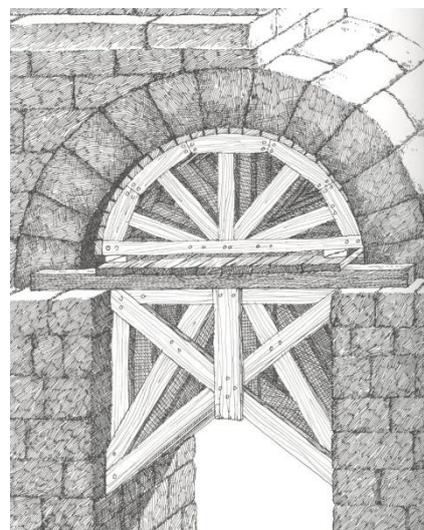
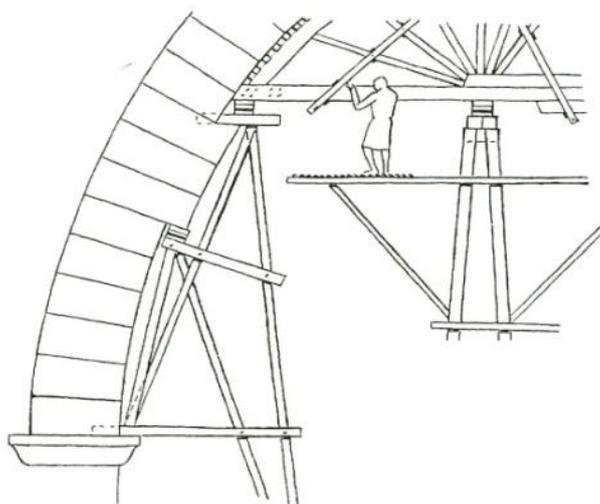
¹⁸ BALDESSARINI, Sônia Rincon. A Arquitetura da Casa da Torre de Garcia D'Ávila. EGBA. Salvador, 2001.

¹⁹ COPPLESTONE, Trewin et al. World Architecture. The Ramlyn Publishing Group Limited. London 1963.

essencial na construção das paredes de pedra lavrada. A precisão da execução, a rigidez e a facilidade de eliminação destes andaimes tiveram papel chave no processo construtivo.

Também denominada cambota, esta estrutura de andaime tinha a forma do arco que se desejasse construir e determinava então o perfil da arcada; já a fôrma semi-esférica sustentava a manufatura da cúpula tanto quanto a cilíndrica apoiava uma abóbada.

O cimbre permanecia paralisado no mesmo lugar até que a estrutura de pedra estivesse consolidada e pudesse suportar a si mesma. Enquanto estivesse em uso, esta cambota deveria resistir à deformação, conforme se aplicavam as cargas incrementais para conseguir a forma final desejada, do arco de pedra lavrada. Para tanto, as armações usadas nas construções das grandes arquiteturas eram construídas com enorme robustez, por necessidade em função do vão.



Introdução - Figuras 17 e 18: Cimbre, cimbra ou cambota, suspenso (desenhos de Fitchen²⁰ e Macaulay²¹).

Tais cambotas podiam ser classificadas em dois grandes grupos básicos: No primeiro grupo, estão inseridas aquelas que se apoiavam diretamente no chão, o que implicava na utilização de pontaletes de madeira, verticais ou radiais.

²⁰ FITCHEN, John. The construction of Gothic Cathedrals. The University of Chicago Press. Chicago, 1961.

²¹ MACAULAY, David. Castle. Houghton Mifflin Company Boston. Boston, 1977.

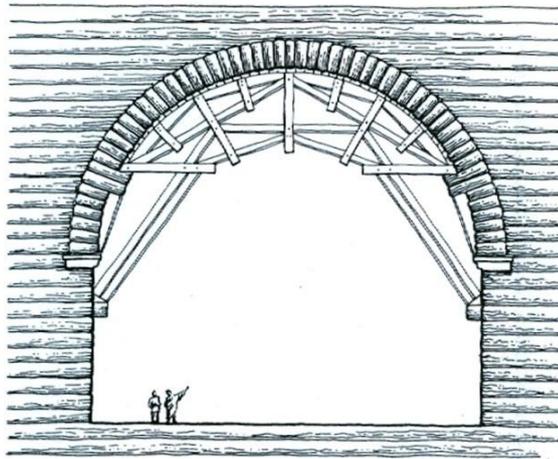


Introdução - Figura 19: Arco sobre estribos - Ponte de Marília Ouro Preto, M.G. (foto do autor).

No segundo grupo estão aquelas que se apoiavam em um pilar de pedra já edificado, em uma parede ou ainda em alguma mísula inserida na parede, próximo à imposta, no extremo do arco. Este segundo método era especialmente apropriado para a construção de pontes, uma vez que a água corrente poderia arrastar as colunas de sustentação do cimbra, se estivessem apoiadas no leito do rio. Além de livrar o cimbra do contato com a água, o andaime suspenso ajudava na conservação da madeira enquanto o arco era construído bem acima do solo (ou da água) e por isso foi muito empregado, como se verifica na figura 19.

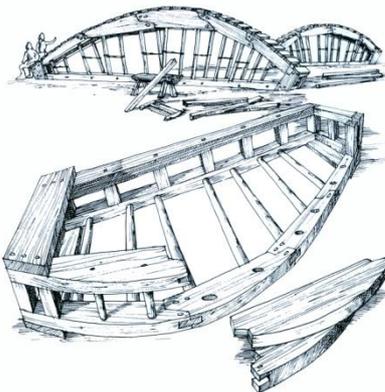
Para a construção de um arco de pedras, a montagem das mísulas (ou estribos), já no interior, dos dois lados do arco, permitia a construção de uma fôrma que reduzia a construção do arco efetivo a um segmento de círculo menor que o semicírculo. Isto ocorrendo protegia-se tanto os materiais, quanto o trabalho, graças à ardilosa redução da dimensão da armação (figura 20). O cimbra elevado enquanto técnica desenvolvida pelo homem assegurava que as sobrecargas se dissipassem, bem antes que

o arco estivesse montado, tão logo os estribos tivessem em condições de estabilidade para receber as cargas da cambota.



Introdução - Figura 20: Cimbre apoiado em mísulas. Desenho de John Fitchen²².

Em suas formas mais singelas, quando eram usados para a construção de um arco simples, estes andaimes eram constituídos de dois arcos paralelos de madeira (figuras 20 e 21), estruturados com trama triangular. Estes arcos se apoiavam em vigas de madeira denominadas “escoras do arco” que acabariam por suportar toda a carga uma vez que sobre os amparos arqueados se assentavam as pedras.



Introdução - Figura 21: Os detalhes de um cimbre (desenho de David Macaulay²³).

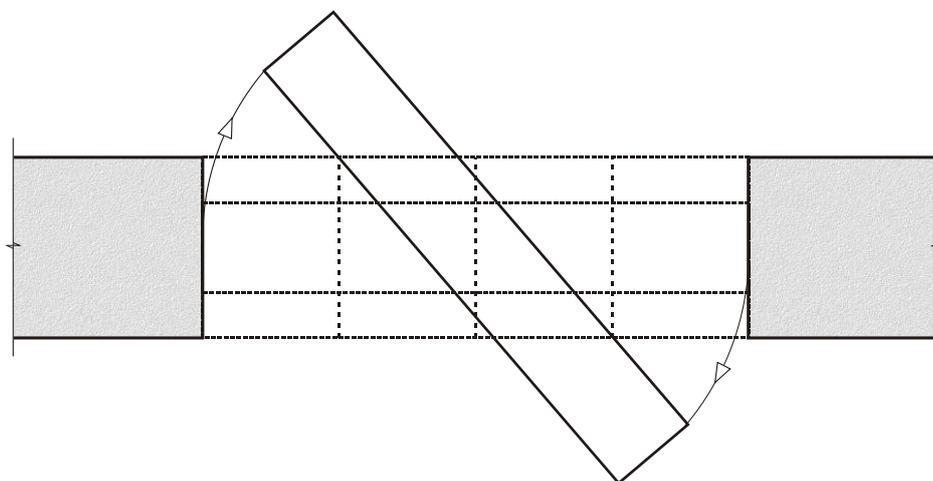
Quando os cimbres estavam apoiados no chão (ou mesmo em mísulas), para que a futura retirada do conjunto, mescla de fôrma e andaime, fosse mais segura, os

²² FITCHEN, John. The construction os Gothic Catedrals. The University of Chicago Press. Chicago, 1961.

²³ MACAULAY, David. Construção de uma Catedral. Martins Fontes, . São Paulo, 1988.

arquitetos inseriam calços em posições opostas e estratégicas sob toda a armação (e no caso de cimbres pendurados, nos estribos). Uma vez pronto o arco, extraíam-se os calços e a fôrma era retirada. A remoção dos calços fazia com que a armação inteira se afastasse uns poucos centímetros do arco de pedra, distância esta que permitia que o arco por inteiro se estabilizasse e se alojasse no sítio próprio.

Evidentemente, nos grandes arcos que demandavam muitos calços de fixação, a remoção da cambota era um procedimento bem mais difícil, que requeria uma extrema coordenação para a eliminação dos calços, já que desenformar desequilibradamente poderia resultar na deformação ou no colapso da estrutura de pedra.

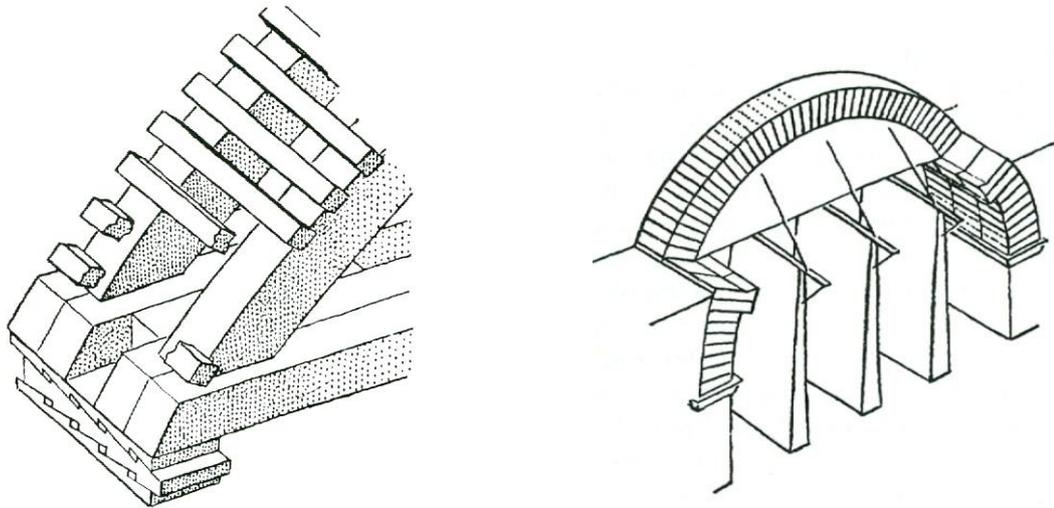


Introdução - Figura 22: Esquema de Remoção das cambotas em Planta Baixa (desenho do autor).

A rotação em torno do raio vertical era uma prática muito utilizada, segundo Fitchen²⁴, conforme se verifica na figura 22.

Eram empregados muitos métodos para reduzir o gasto com estes andaimes e o mais comum era a sua reutilização. As grandes arcadas de pedra, similares como o aqueduto da Carioca, eram montadas com frequência sobre uma série de arcos paralelos. Uma vez que a pedra chave do primeiro arco estivesse colocada, extraíam-se os calços opostos e a forma deslizava lateralmente, para a construção de outra camada do arco, paralela à primeira, o que é demonstrado nas figuras 23 e 24.

²⁴ FITCHEN, John. A Study of Medieval Vault Erection. The University of Chicago Press, 1961.



Introdução - Figuras 23 e 24: Detalhe de uma cambota e das arcadas paralelos (desenho de Fitchen²⁵)

Os custos do cimbre podiam reduzir-se ainda mais, quando se construía em primeiro lugar um arco relativamente leve, sobre uma fôrma também leve, para depois, uma vez estabilizado este primeiro arco, o próprio ser utilizado para suportar os arcos concêntricos adicionais. Desta maneira, montavam formas muito mais pesadas, que se convertiam em formas permanentes, o que foi observado por Viollet-Le-Duc²⁶.

²⁵ FITCHEN, John. A Study of Medieval Vault Erection. The University of Chicago Press, 1961.

²⁶ VIOLLET-LE- DUC, Éugene Emmanuel, Pensamentos sobre a Arquitetura, Paris, 1872.



Introdução - Figura 25: Arcos concêntricos – Capela no Caraça²⁷, M. G. (foto do autor).

Esta técnica que em verdade se originou na arquitetura românica, foi aplicada na região das Minas Gerais do Brasil, no século XIX, na portada da Capela de Nossa Senhora Mãe dos Homens do Seminário do Caraça (figura 25), bem como em diversas outras portadas. Naquela ermida os arcos concêntricos se comportam não só estruturalmente, mas também se converteram em aplicação estética, uma vez que o escalonamento dos arcos confere uma leveza maior a todo o sistema, tornando-o visualmente mais delgado e leve. Indubitavelmente, os antigos eram muito competentes quando desenvolviam este tipo de trucagem, não só estrutural, mas também plástico-visual.

Como se sabe, todos os arcos produzidos pelo homem decorrem de genial invenção na arquitetura Romana. Nas construções que requeriam espaçamentos mais compactos, empregava-se argamassa, de cal, areia e cascalho e assentava-se a pedra tosca ou o tijolo sobre camas muito densas da argamassa hidráulica, à qual os romanos denominavam “puzzolana”. Já aqui no Brasil empregávamos argamassa de areia, cal e óleo de baleia ou na falta deste, sangue de gado vacum²⁸.

A necessidade de iluminação nos interiores também foi importante no papel do desenvolvimento das técnicas de manufatura das paredes de pedra e a busca

²⁷ Capela de Nossa Senhora Mãe dos Homens, Colégio do Caraça.

²⁸ BITTAR, William ET AL. Arquitetura no Brasil, de Cabral a D. João VI. Ao Livro Técnico, 2007.

por grandes vãos foi decisiva para a sua evolução.

Qualquer que fosse a forma dos vãos (em arco pleno, abatido, de ogiva, ou até circulares), diversos materiais foram adaptados em função das regionalidades ou do desenvolvimento sócio-cultural. Estes vãos eram preenchidos com a aplicação de cristais, de tecidos e até com minerais abundantes. Em função da herança cultural que nos foi legada do Românico e do Gótico oriundos da península ibérica, a parede de pedra foi uma superfície muito utilizada, tanto visual como estruturalmente, na qual se inseriam as aberturas de vãos que podiam se apresentar adintelados, em arco ou óculo.

Segundo Panofsky²⁹, a luz que entrava pelos vãos pode ser interpretada simbolicamente como revelam os escritos do século XII do Abade Suger, sobre as janelas de Saint Denis. Nesta ótica, a luz era considerada como uma força para a elevação do espírito até Deus e Suger tinha a crença que a iluminação interior da igreja levava o devoto da esfera física até um estado de contemplação mais elevado.

Embora a criação de interiores cheios de luz possa ser ter sido motivada pela sutileza do pensamento do abade, a iluminação física teve um papel mais direto e simples do que a metafísica, para a abertura dos vãos. Os edifícios dependiam de luz solar para a iluminação e para o aquecimento. Todavia, não é mister desta tese descrever a intensidade efetiva da fonte em uma janela ou vão; isso é coisa complexa, em função das variações oriundas da hora do dia, do clima, da estação do ano, da orientação das janelas, dos anteparos externos, da transmissão da luz permeada em função das medidas do vão, especialmente pelos vidros coloridos. Ainda que não interprete dados quantitativos sobre iluminação arquitetônica e intencionalmente desviando a atenção dos aspectos estéticos e simbólicos, evidencio que em minha opinião, a análise da iluminação zenital nos interiores certamente concorreria para esclarecer algumas intenções implícitas no projeto das edificações patrimoniais da arquitetura brasileira.

Na figura 26, do retábulo do Senhor dos Passos na Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Catas Altas do Mato Dentro, pode-se vislumbrar que abaixo do arco, outro vão, aqui um óculo, capta luz para a cena, no interior da ermida.

²⁹ PANOFSKY, Erwin. *Arquitetura Gótica e Escolástica*. Martins Fontes, São Paulo, 2001.



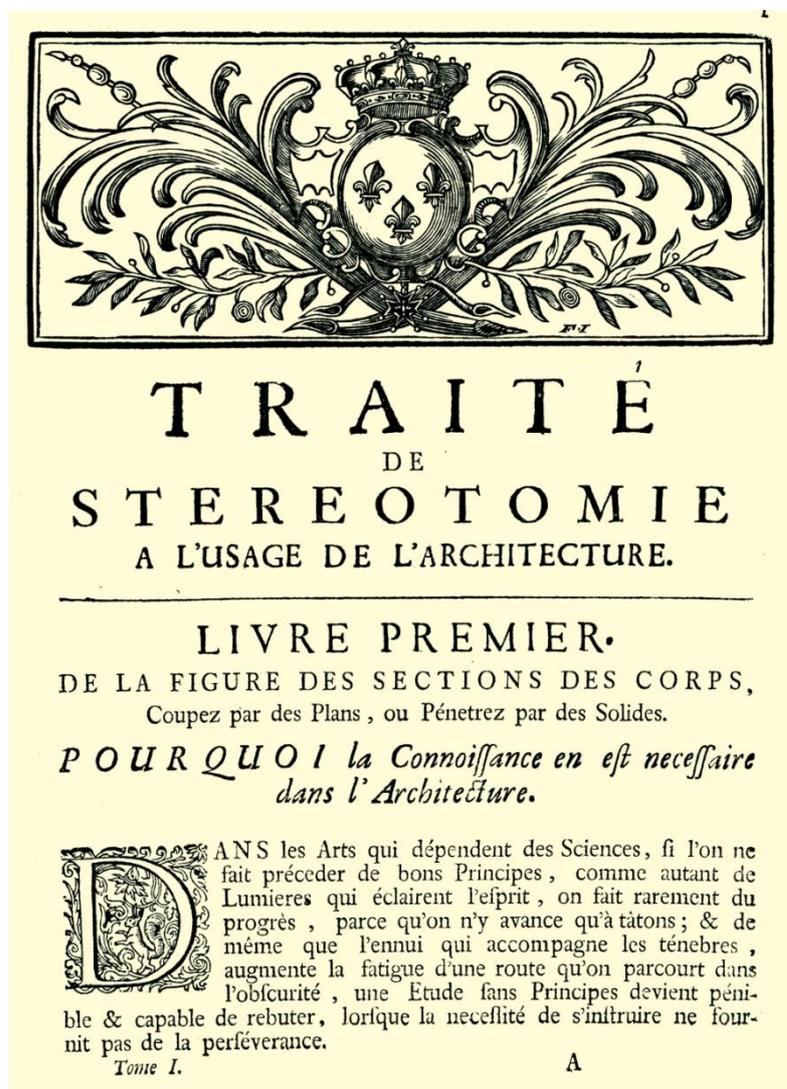
Introdução - Figura 26: Óculo sobre retábulo do Senhor do Passos na Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Catas Altas do Mato Dentro, M . G. (foto do autor).

Muitas vezes, os materiais eram adotados de acordo com as condições de iluminação possibilitada pela abertura ou não dos vãos na arquitetura; quando se fechava um vão, a reflexão das superfícies interiores mudava, tornando necessárias as presenças de fontes de luz artificiais, que podiam contribuir significativamente tanto com a quantidade, quanto com a qualidade da luz. Mas, para esta tese, o importante é a verificação das condições estereotômicas na manufatura da arquitetura; a busca pela luz apenas interferiu como importante vetor nas soluções e no comportamento da estabilidade dos elementos de composição da forma geral.

Capítulo 1 - O que é estereotomia da pedra.

A etimologia da palavra Estereotomia mostra que o vocábulo deriva do grego “*stereos*” (que significa sólido) e de “*tomé*” (que quer dizer corte, seção). Com a finalidade de explicitar o seu significado histórico, foram verificados diversos outros pontos de vista, definições e explicações.

O “*Dictionary of Architecture (...)*”, de Nikolaus Pevsner³⁰, aponta e define: “*Stereotomy. The art and science of cutting, or making sections of solids, e.g. pre-cutting stones to fit in their allocated place, especially in arch or vault, where the geometry of their planes is complex*”.



Capítulo1 - Figura 27 - Folha de Rosto, Livro I de Frézier (foto do autor).

Para o “*Sommaire du Cours du Stéréotomie de L'École Imperiale Polytechnique*”³¹: “*A estereotomia é a arte de esculpir os materiais que compõe as construções. Com a estereotomia a construção dos edifícios e as questões relativas a sua estabilidade, nós pegamos as formas elementares consagradas pela experiência e podemos descreve-las e representá-las. Como o talhe dos materiais demanda muitas circunstâncias, a resolução de termos de lembrar alguns volumes triédricos*”.

³⁰PEVSNER, Nikolaus et al. *Dictionary of Architecture and Landscape Architecture*. Penguin Books. London 1991.

³¹ ANONIMO. *Sommaire du Cours du Stéréotomie de L'École Imperiale Polytechnique*. Paris 1865.

Para Frezier³², no primeiro livro de seu trabalho *La Theorie et la pratique de La Coupe des Pierres e des Bois, pour la construction dês voutes et autres Parties des batimens Civils e Militaires, ou Trate de la Stéréotomie usage de La Architecture, stereotomie (...)* “*é a ciência que guia o matemático-arquiteto, no projeto que ele faz para uma abóbada, para a reunião de muitas partes pequenas. O arquiteto faz mais que pensar no conjunto, quando verifica cada parte em particular, ao compor exatamente uma superfície regular ou ainda uma superfície irregular conjugada. Ambas, estão unidas pela maneira com que se mantêm suspensas no ar, apoiando-se umas sobre as outras, sem outra ligação a não ser a própria força da gravidade* (figura 27 e 27a).



TRAITÉ DE STEREOTOMIE.

Capítulo 1 - Figura 27A - Frézier: Ilustração do tratado de estereotomia (foto do autor).

Já Antonio Becchi e Federico Foce³³ em “*Degli archi e delle volte – Arte del Costruire tra meccanica e stereotomi*”, discorrem explicativamente sobre o vestíbulo do “*Hôtel de Ville di Arles*” projetado por Pilleport e Chambareau em 1673: “*A abóbada de Arles, na verdade é uma obra clássica de estereotomia sem precedentes e, em particular, o conceito de estereotomia liga diretamente à lavra das pedras com a estabilidade, interrogando de maneira inegável a relação entre mecânica, geometria e arquitetura. A estereotomia é tão intensa que pode ser definida como a alma dos arcos, abóbadas e cúpulas, como foi escrito no “Voussoir Del Builders Dictionaire de 1734”.*

³² FREZIER, M.. *La Theorie et la pratique de la Coupe des Pierres e des Bois, pour la construction de voutes et autres parties des bâtimens Civils & Militaires, ou Traité de Stéréotomie a l’usage de l’Architecture*, Tome II.

³³ BECCHI, Antonio, FOCE, Federico. *Degli archi e delle volte – Arte del Costruire tra meccanica e stereotomia*. Marsilio Editori. Veneza, 2001.

Hoje, mesmo depois do advento do concreto armado moderno ocorrido em 1874³⁴, verifica-se que conjuntos edificados puderam e podem ser decompostos e subdivididos em peças; cada uma destas peças é parte homogênea cujas dimensões se estabelecem de maneira imposta por fatores tais como a natureza e resistência do material do qual se compõe e pelas condições de resistência e estabilidade do próprio conjunto integral.

A verificação histórica das ciências utilizadas em tais edificações, enquanto evolução das técnicas de estabilidade leva à necessidade de análises que se ocupem destas divisões e fracionamentos, bem como dos elementos assim obtidos. Por outro lado, as análises se ocupam também da maneira de assentá-los, uni-los e conectá-los, enlaçando-os em uma unidade de modelagem formal ou em um conjunto construtivo.

A estereotomia tem por objetivo planejar, examinar, prever com precisão o modo pelo qual se subdividirá o conjunto de uma arquitetura em partes, aqui considerada como o “todo-unitário. Nestas partes, formas e dimensionamentos devem ser os mais convenientes para que, uma vez justapostos no local que lhes esteja destinado na edificação, correspondam com a necessária resistência e estabilidade e possam restituir e constituir fisicamente a forma final da edificação planejada.

Importante lembrar também o fato de que a estereotomia não só se ocupa dos blocos de pedra, mas além (e mais inteligentemente), igualmente planeja e determina os moldes, cimbres e fôrmas (em verdadeira grandeza) de cada uma das partes em que se dividiu a edificação, bem como os melhores procedimentos de lavra e corte da pedra (da madeira ou do ferro).

A estereotomia abrange três partes distintas:

- A primeira delas é o fracionamento do conjunto a ser edificado, considerando-se o material escolhido, geralmente no caso da arquitetura, a pedra. Este fracionamento considera a adoção da natureza e da posição das superfícies e faces que limitam cada uma das partes nas quais se decompõe o conjunto, para que se tenham dimensões e formas convenientes. O acerto nesta primeira parte da questão estereotômica deve considerar a magnitude, a direção e o sentido de todos os esforços que atuam sobre o conjunto a ser edificado, tendo em conta a natureza e as condições dos materiais que compõem tal carga. Este é o maior desafio para se “projetar-estereotômicamente”.
- Em segundo lugar, o raciocínio espacial envolvido na problemática da estereotomia, exige a representação, de modo claro e preciso, de todas as faces e superfícies do bloco, apuradas no item anterior, determinando-se as “Verdadeiras Grandezas”. Isto é feito através da aplicação, simples ou combinada, dos três métodos da Geometria Descritiva: Mudanças de Planos de Projeção, Rotações dos Objetos e Rebatimentos. Deste modo, forma e dimensões estarão previamente determinados e estabelecidos.

³⁴ BENEVOLO, Leonardo. História da Arquitetura Moderna. Perspectiva. São Paulo, 1976.

- Por último, a estereotomia destina materiais e regras de tratamento destes próprios materiais às formas estabelecidas no primeiro item exposto, buscando o procedimento mais sensivelmente ajustável à economia.

A estereotomia aplicada às pedras então deverá se prestar ao planejamento das partes de uma arquitetura, de maneira que cada uma destas partes tenha dimensões propícias para serem manipuláveis e sobretudo, que tenham as características formais adequadas para o travamento estável, tanto do conjunto, quanto de cada uma das suas partes.

O fracionamento ou o despeçamento de um “conjunto arquitetônico ou escultórico” (por exemplo, constituído de pedras como nas ordinariamente designadas obras de cantaria) é a parte do planejamento e do tratamento estereotômicos que antecede e que orienta a lavra da matéria bruta para a posterior execução e montagem da arquitetura. Ou seja: o todo pretendido se particiona planejadamente, para que sejam fisicamente lavradas ou esculpidas as partes, que agregadas venham a constituir no espaço e no tempo, a arquitetura.

Seja como decorrente do espanhol “*despiezar*” ou ainda do francês “*decouper*”, esta divisão será designada nesta tese pelos termos “desmontar”, “fracionar”, “particionar”, “despeçar” ou ainda pelo galicismo “decupar”, sem preferências.

Ao sistema resultante da partição denomina-se conjunto preparado. A preparação ocorre, portanto, na fase do planejamento e se constitui na forma de prever o entrelaçamento dos diversos elementos ou blocos. O preparo demonstra a posição relativa dos elementos partícipes da unidade do todo em um “Conjunto Arquitetônico-Escultórico” em Pedra.

Com a “preparação” ficam determinados e conhecidos os diversos níveis das projeções horizontais, as elevações e os cortes, a forma e as dimensões do “Conjunto Arquitetônico-Escultórico” em pedra, a que se deseja particionar. Procede-se à divisão do todo em faixas horizontais, as quais se denominam fileiras. Fileiras nada mais são que camadas niveladas de pedra.

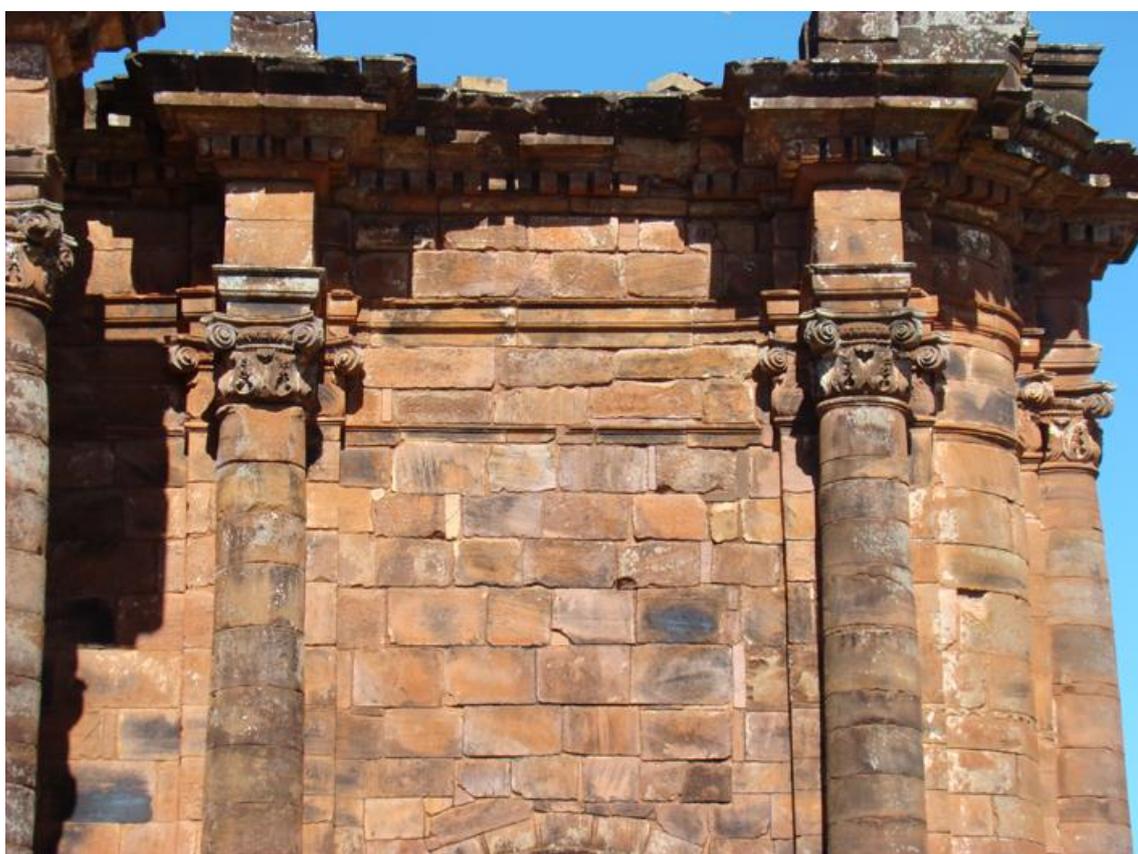
As camadas por sua vez, são fracionadas em “juntas-verticais”. Fileiras e juntas fornecerão linhas de traçado horizontais e verticais, subdividindo ao todo em blocos de pedra que, como já foi dito anteriormente, deverão observar as dimensões razoáveis para o manuseio (que inclui o transporte), condições de resistência próprias do material e além disso, também deverão atender às condições de extração nas pedreiras.

Nas três dimensões de cada bloco não deve haver diferenças acentuadas. Jean Baptiste Rondelet³⁵, na virada do século XVIII para o XIX escreveu um excelente tratado de estereotomia, no qual fixou a tabela 1 abaixo, relacionando larguras, alturas e profundidades:

³⁵ RONDELET, Giovanni. Tratado Teorico e pratico dell' Arte di Edificare. Paris, 1802.

Tipos de Pedras	Largura	Altura	Profundidade
Macias	1,5 unidade	1,0 unidade	2,0 unidades
Dureza média	1,5 a 2,0 unidades	1,0 unidade	2,0 a 3,0 unidades
Muito duras	2,0 a 3,0 unidades	1,0 unidade	4,0 a 5,0 unidades

Capítulo 1 - Tabela 1: Dimensionamentos dos Blocos de Pedra segundo Rondelet.



Capítulo 1 - Figura 28: Juntas e Fileiras na estereotomia da Missão de São Miguel, R.S. (foto do autor).

Cada uma das pedras é um prisma, geralmente reto e de bases retangulares, que se constitui de altura, largura e profundidade. Portanto, altura e largura descrevem o mosaico bidimensional do muro, caracterizado pela altura da junta e pelo comprimento da fileira (Figura 28).

Albernaz e Lima³⁶ definem o termo “paramentos” como aquele utilizado para designar as superfícies das paredes de pedra, anteriores e posteriores, que limitam o conjunto construtivo. Os paramentos podem estar descobertos ou ocultos, em função do revestimento externo.

Convém salientar que também se pode aplicar “paramento” no sentido de ornamentação, floreio de estilo ou de atavio, em função da qualidade plástica que se torna implícita na arquitetura e que dela advém. Porém, normalmente a palavra é empregada para designar uma empena plana.

O termo modenatura ou modinatura assume aqui sua característica mais voltada para a História da Arquitetura, qual seja, o conjunto das molduras de uma construção, segundo o caráter das ordens arquitetônicas, que vem a conferir a esta edificação tanto qualidade plástica, quanto teórica. Portanto, conforme as pedras na fachada aflorem, dividindo com as argamassas de revestimento os espaços do paramento, pode-se estabelecer uma relação formal de maior ou menor qualidade plástica, acentuando no monumento verticalidades, horizontalidades, ou outras presenças estéticas.

Os blocos de pedra de faces aparelhadas que acabarem divididos, depois de estabelecido o desmonte em peças denominam-se “blocos de ensilharia”; tais blocos terão formas geométricas regulares de prismas ou terão a forma de cunhas, dependendo de onde possam estar localizados, em muros, ou arcos e abóbadas.

Os desmontes ou partições (ou seja, os blocos) nascem de diversos fatores: as necessidades práticas e teóricas impostas pela natureza do material utilizado, o dimensionamento, a direção e o sentido dos esforços que cada um destes blocos de ensilharia deva suportar na edificação.

Da ótica da plástica arquitetônica, já no momento da decupagem, o arquiteto considerava a regularidade ou a irregularidade dos blocos. Esta pretensão sempre foi determinante no partido adotado, uma vez que o grafismo advindo do particionamento é importante elemento intencional, sempre relevado na composição nas possibilidades estéticas do muro.

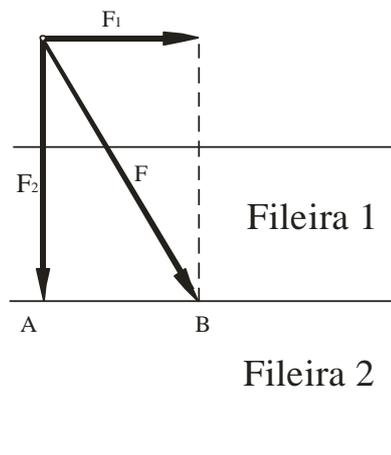
³⁶ ALBERNAZ, Maria Paula e LIMA, Cecília Modesto, Dicionário Ilustrado de Arquitetura. Pro Editores. São Paulo, 1998.

1.1 - Os princípios Básicos para a decupagem e para o projeto estereotômico.

Para a decupagem, são arrolados por Díaz³⁷, os princípios a serem considerados, quando se procede a uma partição:

1.1.1 - As superfícies das fileiras devem ser perpendiculares (normais) aos esforços te tenham de suportar.

Considere-se AB a superfície de contato entre duas fileiras. Se esta superfície de contato estiver oblíqua, irá gerar uma resultante de todas as forças que atuam sobre esta superfície; no diagrama da figura 29 a força F, à qual se pode decompor e substituir pelas forças F1 e F2, sendo F1 uma perpendicular e F2 uma paralela à superfície da fileira.



Capítulo 1 - Figura 29; Forças atuantes nas paredes de pedra - elevação (desenho do autor).

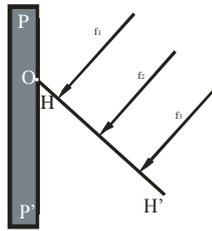
A força F2 é anulada pela resistência do material e a força F1, em função da inclinação tenderia a produzir um deslizamento da fileira 1 sobre a fileira 2, o que comprometeria a estabilidade da edificação.

1.1.2 – As superfícies das fileiras, sempre que possível, devem ser perpendiculares às superfícies dos paramentos.

Na figura 30, seja PP' o paramento vertical do muro plano que se pretende decupar. Se HH' é uma superfície de uma fileira sobre a qual atuam as forças f1, f2, f3,..., fn, perpendiculares ou normais a

³⁷ DÍAZ, Enrique Rabasa. Guia prática de Le estereotomia de La piedra. Centro de los Ofícios. Leon,2007.

HH', verifica-se que quanto mais se aproxima do ponto de encontro projetado "O", menor será a resistência, induzindo à ruptura em "O".



Capítulo1 – Figura 30: O engaste um muro, deve ser perpendicular a empena. (desenho do autor).

Ou seja, o plano pelo qual se engasta uma pedra em um muro, deve ser sempre perpendicular à empena (ou paramento) do muro.

Nas fotos 31 e 32, vêem-se os vãos deixados para acréscimo posterior em um muro consecutivo a um canto, na Missão Jesuítica de Jesus de Tavarangué (1678), hoje território do Paraguai. Tais vãos são normais (ou perpendiculares) à empena da parede, o que evita a ruptura indicada no diagrama da figura 30.



Capítulo 1 – Figuras 31 e 32: Esperas na Missão Jesuítica de Jesus de Tavarangué, Py. (fotos do autor).

1.1.3 - As superfícies das fileiras, bem como das juntas devem ser contínuas, homogêneas e o mais simples possível.

A continuidade favorece a estética, bem como o bom aspecto da parede executada. A simplicidade facilita a execução o que acarreta uma produção econômica.

1.1.4 - O plano que contém as juntas (face lateral do bloco) deve ser perpendicular ao plano que contém as fileiras, tanto quanto à superfície dos paramentos.

Em atenção à afirmação, devem-se evitar ângulos agudos, que sempre diminuem a resistência da pedra, propiciando rupturas.

1.1.5 - As juntas devem ser descontinuadas.

Uma vez que as juntas são perpendiculares às fileiras, também serão paralelas aos esforços que atuam no conjunto construtivo; se seus alinhamentos coincidirem, acarretarão um deslizamento ao longo do próprio alinhamento, que fatalmente comprometeria a estabilidade do conjunto, como um todo.

1.1.6 - Os blocos de pedra devem ser assentados de modo a criarem camadas ajustadas entre si, com precisão.

Chamam-se “leitos da pedra” às bases superiores dos blocos prismáticos. Já, as faces inferiores se denominam sobreleitos. Leitos e sobreleitos são superfícies planas que deverão ter a mesma direção das camadas das pedras. As pedras oferecem maior resistência exatamente na direção perpendicular aos seus leitos e sobre-leitos.

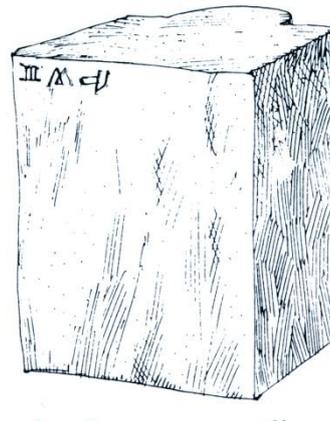
Portanto é necessário que, em todo o conjunto estereotômico da edificação, as pedras sejam assentadas de modo que o leito de pedra esteja perpendicular à resultante das forças que atuam sobre a pedra. Para que não existam equívocos com relação a este quesito, assinalam-se os leitos e sobreleitos, desde a lavra na ocasião da extração na pedreira com um código característico. Díaz³⁸ dizem que um desses códigos, comumente utilizado é composto pelos símbolos da figura 33:

³⁸ DÍAZ, Enrique Rabasa. Guia prática de Le estereotomia de La piedra. Centro de los Ofícios. Leon,2007.



Capítulo 1 - Figura 33: Simbologia de identificação das faces das pedras (desenho do autor).

Macaulay³⁹ afirma que além das marcações dos leitos, sobreleitos e faces dos muros, as pedras recebiam mais três marcas: a primeira indicativa da posição na parede; a segunda indicativa da pedreira de onde proviesse e a terceira marca indicava o cortador que a extraiu.



Capítulo1 – Figura 33A: Marcas de Pedreiro (foto de domínio público e desenho de Macaulay).

³⁹ MACAULAY, David. A Construção de uma Catedral. Martins Fontes. São Paulo, 1988.

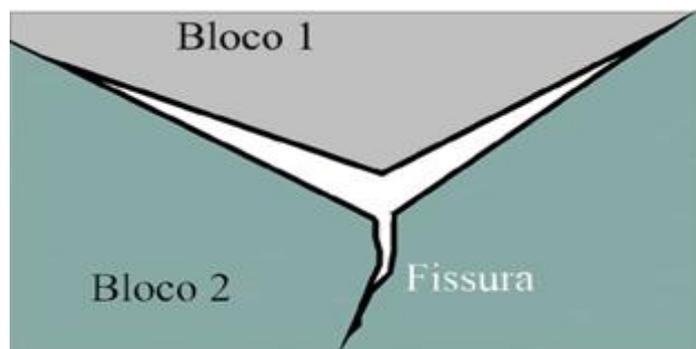


Capítulo 1 – Figura 33B: Assinatura de Canteiro (martelo e ponteira) – Ilha Fiscal, R.J.

(foto do autor)

1.1.7 - Deve-se evitar que, tanto as superfícies de fileiras, quanto as da junta, componham-se de mais de um plano ou contenham pontas ou vincos.

A distribuição das pressões deve ser uniforme; caso o bloco lavrado não atenda a este quesito, passará então a ter pontos vulneráveis, que ocorrerão em função de a face estar subdividida em planos distintos (figura 34).



Capítulo 1 - Figura 34: Possibilidade de Fissura no Bloco (desenho do autor).

1.1.8 - As faces dos blocos que contenham juntas em duas peças consecutivas devem estar em contato, integralmente em toda a extensão de sua área.

A ação levará a que os esforços incidam repartidos de maneira equitativa e equiparada por toda a superfície de contato.

Capítulo 2 – Muros Retos, em declive oblíquo e em talude.

2.1 – Descrições auxiliares

Paredes são compostas de pedras maciças e como já foi mencionado anteriormente, a sua missão é suportar tetos, coberturas e telhados, enquanto sustenta cargas e pressões e delimita áreas. A parte inferior de um muro, aquela que fica em contato com o solo que o suporta, se denomina base, assento ou ainda embasamento. São os alicerces e as fundações. Em alguns lugares do interior do Brasil, também se usa o termo baldrame, equivocadamente, tendo a palavra em verdade, outro significado em arquitetura.

As empenas que limitam o muro externa e internamente, se denominam paramento anterior e paramento posterior, respectivamente. Também se pode usar os termos empena-aparente e empena-oculta, em função da posição do observador. Já a face superior, é denominada coroamento. A foto 35 ilustra o coroamento da parede da nave principal da Missão Jesuítica de Jesús Tavarengué, no Paraguai, ângulo sobre o próprio coroamento.



Capítulo 2 – Figura 35: Coroamento de Parede em Jesús Tavarengué, Py (foto do autor).

Nos muros de pedra, quaisquer partes geradas pela partição se denominam ensilharia; mas em sentido mais estrito, o correto é que assim se denominem os paralelepípedos retângulos habilmente talhados em pedra.

Paredes ou muros que sejam executados em alvenaria composta de pedras irregulares, também conhecidas como canjicado (Figura 36), não serão objeto de análise neste momento, uma vez que usam uma composição livre incremental, que explora a irregularidade da forma, quase uma antítese da estereotomia.



Capítulo 2 – Figura 36: Técnica do Canjicado - Colônia Del Sacramento, Uy. (foto do autor).

O assentamento dos blocos prismáticos recebe diferentes nomes de acordo com a maneira pela qual são assentados.

Se os blocos de pedra tiverem sua maior dimensão na empena ou paralela a esta, diz-se que estão assentados à soga e aflorados. Quando o bloco de pedra estiver colocado à soga, simultaneamente pelas duas faces do muro, diz que a pedra é de “perpianho”, como ocorre na Casa de Câmara e Cadeia de Ouro Preto (Figura 37).



Capítulo 2 - Figura 37: Pedras de Perpianho, Casa da Câmara e Cadeia - Ouro Preto, M. G.

(foto do autor).

Se os blocos de pedra tiverem sua maior dimensão perpendicular à empena ou paramento, diz-se que são tições. Portanto, o tição é sempre assentado de topo, em relação ao paramento. Mas, se esta maior dimensão coincidir com a espessura do muro ou parede, o tição passa então a se denominar “tranca” ou com menor frequência, “tição-chave”.

2.1.1 – Muros (ou paredes) Retos:

Assim se denominam os assentamentos de pedra, nos quais os planos de suas empenas são verticais e paralelos entre si. Nestas paredes, a seção transversal é sempre retangular e tem dimensões contínuas em toda sua extensão (Figura 38).

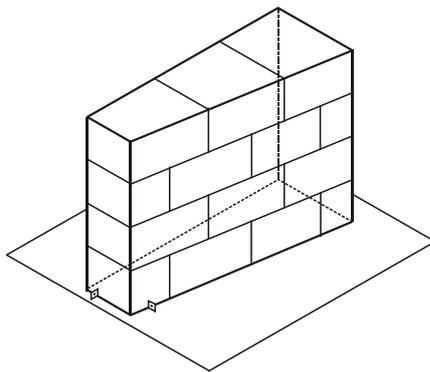


Capítulo 2 – Figura 38: Paredes ou Muros, retos – Castelo da Torre de Garcia D'Ávila, Tatauapara, Ba.

(foto do autor).

2.1.2 – Muros em Viés (Figura 39):

Os muros podem também ser enviesados, quando suas empenas (ou seja os paramentos), forem planas, verticais, mas não forem paralelas. Neste caso a seção transversal na parede aumenta ou diminui, em função da posição em que o plano de secção for passado.



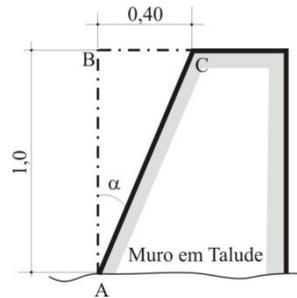
Capítulo 2 – Figura 39: Perspectiva de Muro Reto em Viés (desenho do autor).

2.1.3 - Muros em Talude:

São aqueles que apresentam uma empena plana e outra inclinada, em ao menos uma das faces. Logo sua seção plana vertical-reta será um trapézio retângulo. As seções retas perpendiculares ao paramento vertical podem ser passadas em quaisquer dos pontos do muro em talude que sempre serão iguais. Como demonstra a trigonometria, o talude será igual à tangente do ângulo que a empena forma com um plano vertical, traçado na base.



Capítulo 2 – Figura 40: Muro em Talude - Forte Orange em Igarassú, PE. (foto do autor).

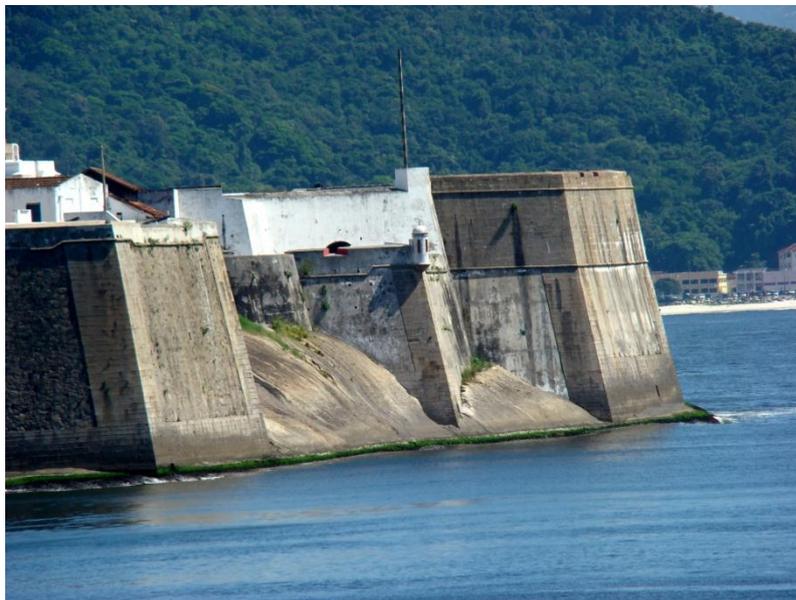


Capítulo 2 – Figura 41: Ilustração de um muro em talude (desenho do autor)

A figura 41 denota e exemplifica um muro em talude, representado por seu corte transversal, no qual foram estipulados a altura normal de 1,0 metro e o recuo superior de 0,40m. Daí se constata: $AB = 1,0m$ e $BC = 0,40m$.

$$BC = AB \operatorname{tg} \alpha \text{ ou seja, } \operatorname{tg} \alpha = 2/5$$

A Figura 42 da empena externa de cortinas ou alambores da Fortaleza de Santa Cruz de Jurujuba, em Niterói, demonstra algumas paredes em talude.



Capítulo 2 – Figura 42: - Muro em talude - Fortaleza de Santa Cruz, R.J. (foto do autor).

2.1.4 - Muros em Talude e Enviesados:

São aqueles que têm empenas planas, sendo uma vertical e outra inclinada em talude; mas, a seção reta transversal varia em função do local onde esteja sendo praticada.

2.1.5 - Paredes coroadas em Declive ou em Rampa:

São muros cujo coroamento superior não seja pertencente a plano horizontal. Neste caso, a seção plana e reta demonstrará que a face superior ocorre em desnível, como nas muradas circulares do Forte São Marcelo (Figuras 43 e 44) de Salvador, também denominado “Forte do Mar”; apesar das sucessivas obras sofridas ao longo dos anos, não perdeu esta característica após a instalação da capa protetora contra a erosão. Via de regra, as edificações militares apresentam coroamento de seus muros em rampa.



Capítulo 2 – Figura 43: Coroamento com Declive - Forte São Marcelo, Ba. (foto do autor).

Quando a empena for parte de uma superfície cilíndrica ou cônica, retos ou oblíquos (figura 44), os muros ou paredes receberão denominações correspondentes, mas com freqüência denominam-se “encurvados”.



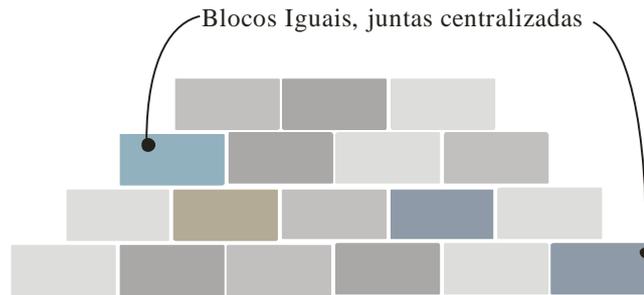
Capítulo 2 – Figura 44: Empenas, cilíndrica e cônica, Forte São Marcelo, BA. (foto do autor).

2.2 – Montagens e lavras:

O aparelhamento e o preparo dos componentes dos muros (ou paredes) é feito após a consideração das cargas que eles deverão suportar e o conseqüente dimensionamento dos blocos, uma vez que existem diversas maneiras de se prever e preparar uma montagem. As mais comuns são:

2.2.1 - Montagem com Blocos Regulares ou Isógonos (Figura 45):

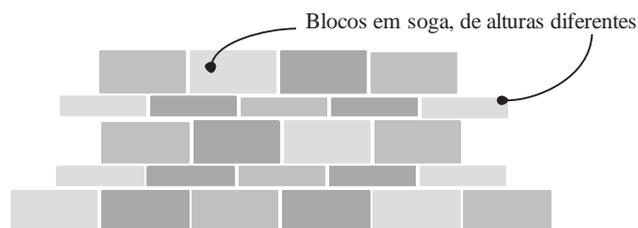
As paredes constituídas com este tipo de blocos têm todos os elementos absolutamente iguais, de modo que as juntas estejam centralizadas em relação aos blocos, e os blocos estejam colocados à soga, ou seja com a maior dimensão no sentido da empena. Plasticamente este assentamento gera uma repetição estável e anunciada, com um reticulado um tanto quanto monótono, cuja variação decorrerá tão somente da exploração da cromaticidade ou da textura de bloco.



Capítulo 2 – Figura 45: Assentamento regular ou isógono (desenho do autor).

2.2.2. - Pseudo (ou Falso) Regular (Figura 46):

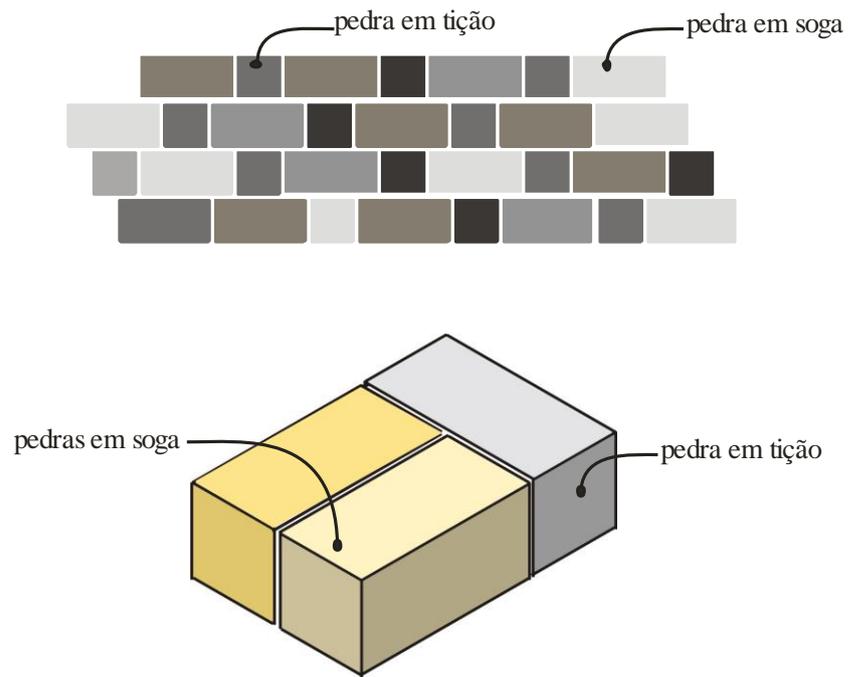
Compõe-se de blocos colocados também à soga, alternando fileiras de alturas de dimensões diferentes. Sua plasticidade insinua-se como mais interessante, gerando alguns ritmos possuidores de mais dinamismo, principalmente se comparado ao Regular.



Capítulo 2 – Figura 46: Assentamento pseudo-regular (desenho do autor)

2.2.3 - Diatônico ou à “Soga e Tição” (Figuras 47, 48 e 49):

Neste assentamento, intercalam-se os blocos, colocando-os à soga e a tição, ou seja, variando o assentamento, um a um, em suas duas dimensões.



Capítulo 2 – Figuras 47 e 48: Soga e tição e perspectiva ilustrativa (desenho do autor).

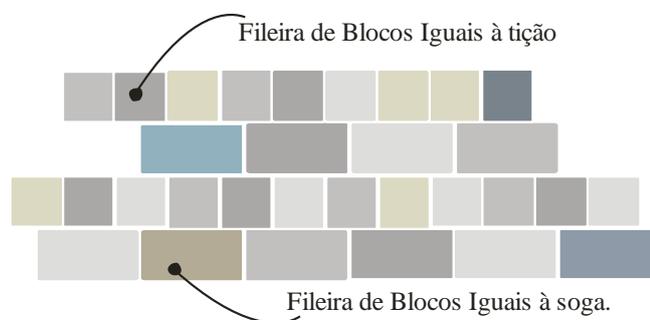


Capítulo 2 – Figura 49: Assentamento irregular à soga e tição, Puerta de La Ciudadela, Montevideo, Uy.

(foto do autor).

2.2.4 - Parede ou Muro Misto (Figura 50):

Também se podem dispor todos os blocos de uma fileira em soga e já em outra fileira, assentá-los em tição, em sucessivas camadas que geram um ritmo diferenciado e que aliado à coloração das pedras poderá criar um resultado plástico de grande dinamismo.

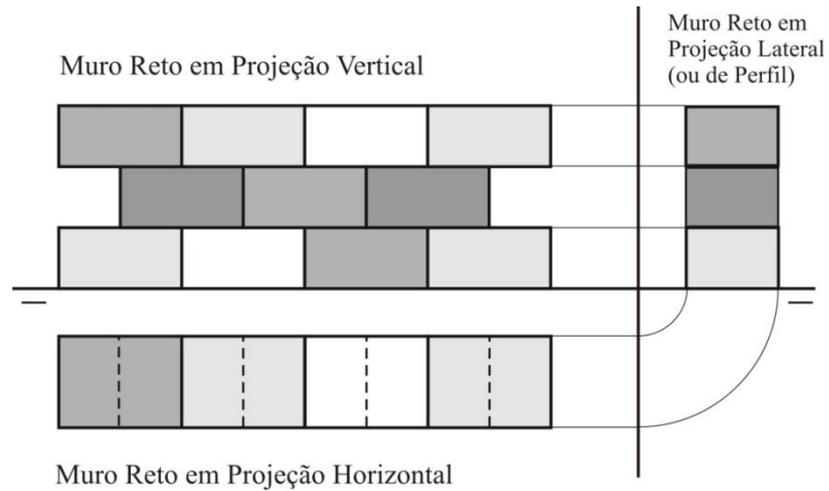


Capítulo 2 – Figura 50: Assentamento Misto (desenho do autor).

Este tipo de aparelhamento é muito empregado, quando a espessura da parede coincide com o comprimento do tição.

2.2.5 - Aparelhamento de uma parede reta (Figura 51).

O conteúdo das definições, já exposto neste capítulo sobre a esterotomia da pedra, remete à percepção de que as primeiras dificuldades para a execução de uma parede de pedra devam se circunscrever às questões relativas à sua lavra.

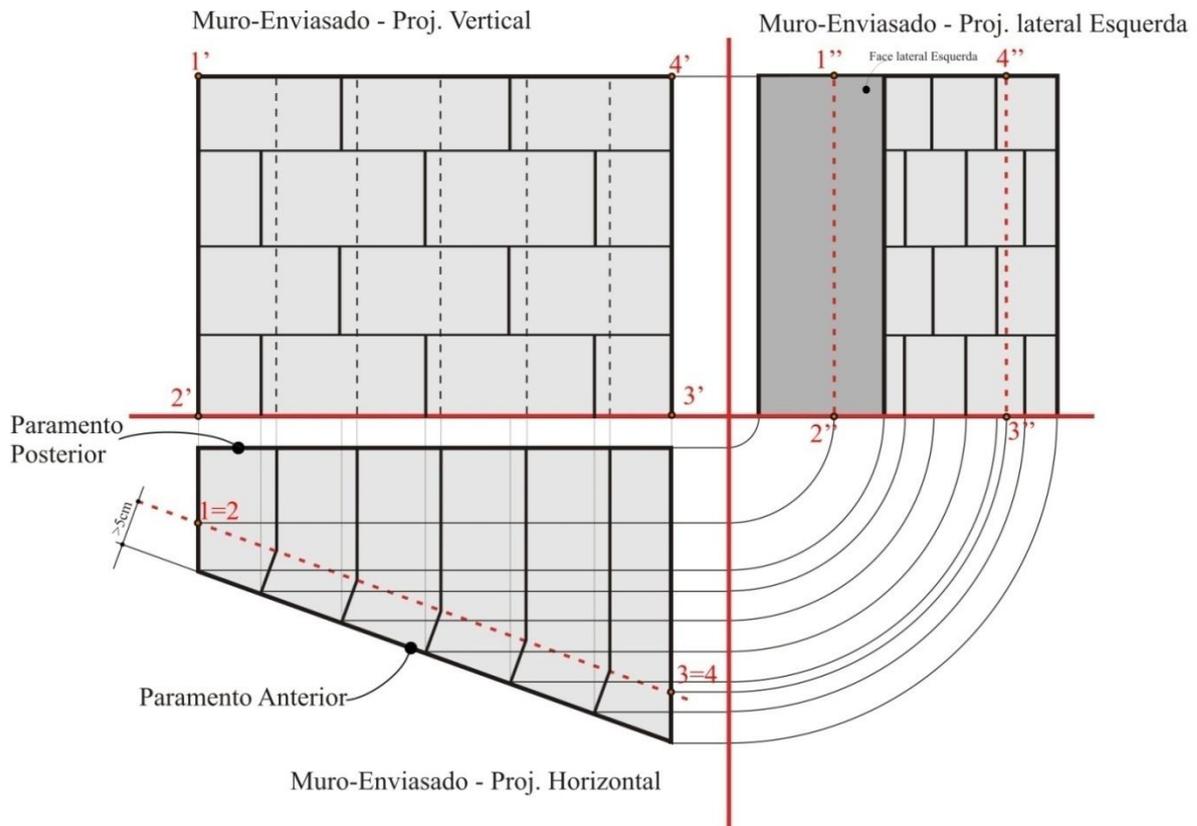


Capítulo 2 – Figura 51/Épura 1: Projeto de um Muro Reto (desenho do autor).

As faces das fileiras (leito e sobre-leito) são horizontais e são perpendiculares às faces que constituirão a empena ou paramento, determinando as linhas das fileiras, sempre horizontais. Os planos que contêm as juntas são verticais perpendiculares aos planos do paramento. As juntas se distribuirão nas sucessivas fileiras, de maneira que duas juntas consecutivas estejam sempre alternadas, em relação àquela da fileira inferior ou superior à sua própria fileira. Logicamente que isso ocorrerá em qualquer dos sistemas de paredes até aqui relatados.

As condições de representação do muro reto são excepcionais. Em suas três projeções, vertical, horizontal e lateral esquerda (de perfil), todos os segmentos representados estarão, em alguma das projeções em Verdadeira Grandeza, como se observa na Figura 51/Épura 1.

2.2.6 - Aparelhamento de um muro enviesado (figura 52):



Observação:
Com a finalidade de tornar a representação do Muro-Enviado mais legível, foram supressas da épura, as representações dos níveis, em projeção horizontal.

Capítulo 2 – Figura 52/Épura 2: Projeto de um muro enviesado (desenho do autor)

A divisão da altura pretendida para o muro-enviado em número de partes iguais estará em relação tanto com a grandeza da altura de cada bloco, bem como com as condições de resistência do material empregado. Essa divisão proporcionará o posicionamento dos planos horizontais que determinarão os níveis das diversas fileiras.

Já em relação às superfícies de junta, utilizam-se cortes planos verticais. Como os planos dos paramentos não são paralelos, resulta que os planos de junta devam ser traçados perpendicularmente a um dos dois parâmetros e conseqüentemente não serão perpendiculares ao outro parâmetro. Um dos princípios básicos da estereotomia, acima enunciado, reza que se deva evitar o surgimento de ângulos agudos nos blocos e nas junções; deve-se estar atento, mesmo que ainda em fase projetual, para evitar tais ângulos. A situação se resolve, desviando-se o plano de junta que é perpendicular a um dos parâmetros, para que, ao chegar ao outro paramento, passe a formar com este uma superfície plana-perpendicular. Segundo a tradição oral apontada por Rondelet e por Frezier, este desvio deve ocorrer de cinco a oito centímetros do paramento em questão e se denomina “distância segura”. Este limite mínimo é respaldado pela sugestão de Monduit⁴⁰.

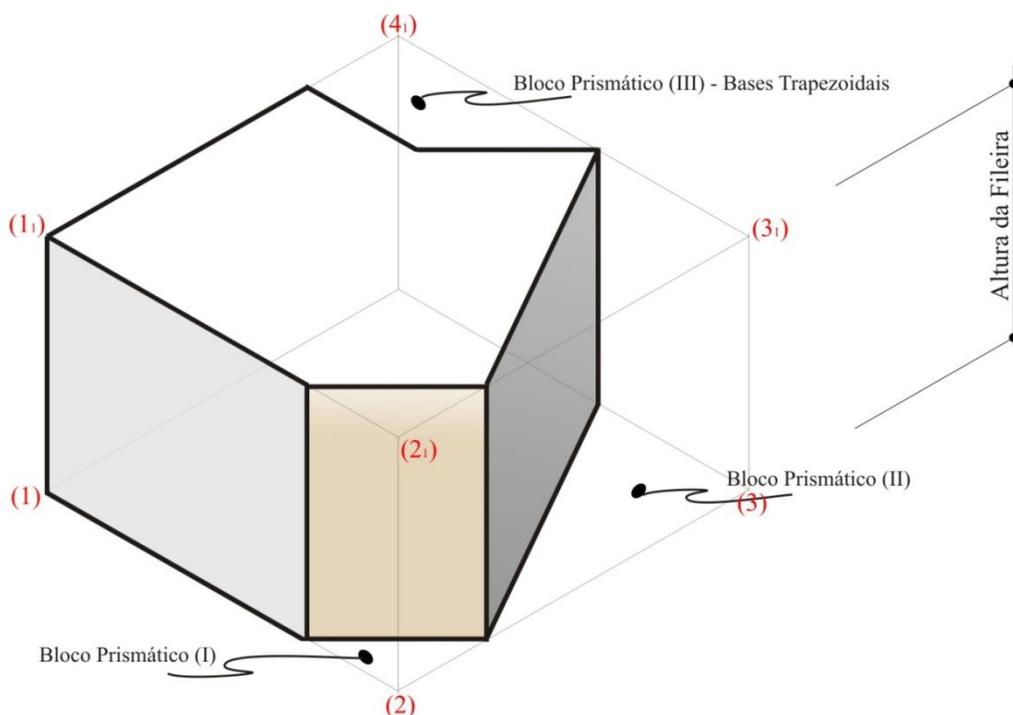
⁴⁰ MONDUIT, Louis. *Traité Théorique ET Pratique de Stéréotomie*. Éditions H. Vial. Paris, re-edition 2002.

Como se nota na Figura 52/Épura 2, o paramento posterior é pertencente a um plano frontal. Já o paramento anterior é pertencente a um plano projetante e particular denominado vertical. Assim ocorrendo, um plano vertical, que na figura é designado pelo retângulo [(1)(2)(3)(4)] e que deve distar no mínimo cinco centímetros da face (ou paramento vertical) anterior, dará a direção das juntas, que serão perpendiculares a este paramento-vertical.

2.2.6.a – Manufatura dos blocos:

O modelo para o beneficiamento das pedras será um sólido prismático-reto de bases retangulares [(1)(2)(3)(4)], dos quais se subtrairão duas porções prismáticas-retas de bases triangulares (I) e (II) e o bloco prismático-reto de bases trapezoidais (III).

Embora a lavra seja mais delicada em função do surgimento de uma concavidade e de uma convexidade, sua extração não é difícil. Geralmente os blocos são feitos com estampos ou gabaritos, que garantem sua repetição (Figura 53).



Capítulo 2 – Figura 53: Detalhe em perspectiva de um Bloco lavrado (desenho do autor).

A altura deste novo bloco que se obtém é a altura da fileira que é igual a altura da junta. Para o molde de lavra, poderão ser marcadas no leito e no sobre-leito as porções a serem retiradas, conforme se verifica na perspectiva isométrica acima.

2.2.7 - Muro ou Parede Inclinada (em Talude):

Muito utilizado em função das condições propícias à estabilidade dos seus componentes, o muro em talude pode se apresentar de duas maneiras distintas:

- Parede ou muro composto por dois taludes, um interno e outro externo.
- Parede ou muro composto por uma face vertical e outra inclinada, conforme a figura 55/Épura 3.

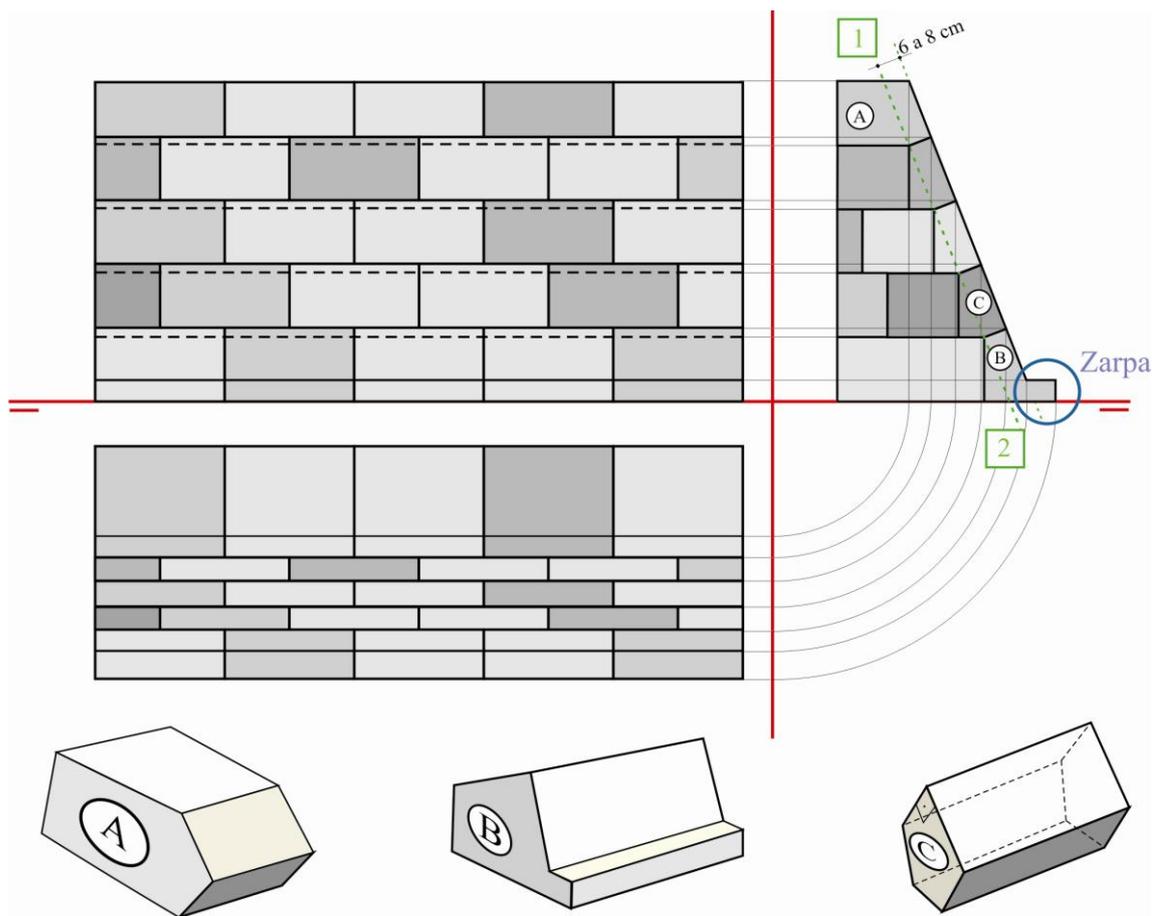
Ao se projetar uma parede que possua paramento inclinado, ou como também é conhecido, um muro em talude, em primeiro lugar e como em qualquer dos casos, deve-se dividir sua altura em número de partes iguais, de acordo com a conveniência, considerando os limites dimensionais de manipulação e transporte impostos a cada um dos blocos a serem empregados. Em cada nível assim determinado, traçam-se os planos dos leitos e dos sobreleitos de cada bloco. Cada um destes planos deverá ter como limites uma distância mínima que pode variar de cinco a oito centímetros do paramento inclinado. Essa distância é mostrada e se indica na figura 54. Na figura 55/Épura 3 a distância segura está destacada pela linha 1-2. Nesta épura, o plano inclinado é um plano paralelo à Linha de Terra.



Capítulo 2 – Figura 54: “Distância segura” no guarda corpo, Fortaleza de Santa Teresa, Uy.

(foto do autor).

A distância segura deverá ser guardada, para que não surjam ângulos agudos junto ao talude, o que seria frontalmente contrário a um dos princípios de desmonte já enunciados. A partir deste limite, sempre perpendiculares ao plano inclinado, são traçados tantos planos, quantos sejam os planos horizontais.



Capítulo 2 – Figura 55/Épura 3: Projeto de muro inclinado em talude. Perspectivas dos blocos
(desenho do autor).

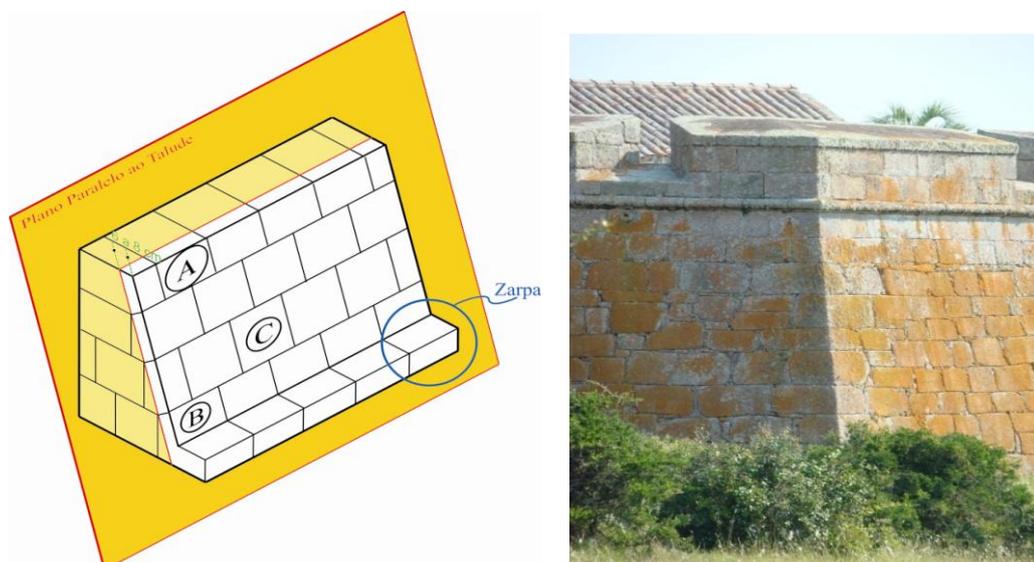
Da mesma maneira, para se evitarem mais uma vez o ângulo agudo formado entre o paramento e o plano de assento ou de base, define-se e apresenta-se um realce, denominado “Zarpa”. A zarpa é uma parte da sapata saliente, junto ao alicerce.

Quando a espessura do muro se torna maior do que o admissível para uma pedra, subdivide-se o próprio muro, através de cortes, produzidos por juntas, sempre verticais, paralelas sempre ao sentido longitudinal do muro.

Nos desenhos em perspectiva da figura 55, o bloco “A” é o elemento de coroamento do muro. Já o bloco enunciado por “B”, onde se nota a Zarpa, verifica-se um bloco de base. O bloco “C” é um bloco componente do meio do plano inclinado.

A épura 3 mostra as três vistas de um muro em talude. Os croquis em perspectiva ilustram os blocos pertencentes ao talude, utilizados na confecção deste tipo de parede. Os demais blocos são prismático-retos, os paralelepípedos, como aqueles que são encontrados no paramento posterior.

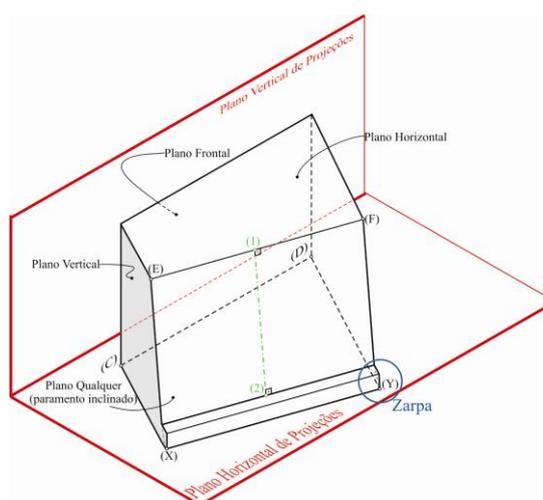
De maneira integral a perspectiva isométrica exposta na figura 56 ilustra um Muro com face em talude ou plano inclinado. O plano paralelo ao talude, afastado de 6 a oito centímetros refere-se à distância segura que anula os condenáveis ângulos agudos, o que ocorre na Fortaleza de Santa Tereza, hoje na fronteira do Uruguai com o Brasil, figura 57.



Capítulo 2 – Figuras 56 e 57: Perspectiva: “Distância segura” em muro inclinado com zarpa e detalhe de muro em talude - Fortaleza de Santa Teresa, Uy. (desenho e foto, do autor).

2.2.8 - Aparelhamento de muro em talude-enviesado:

A figura 58 ilustra um muro composto por seis planos: Os planos de base e de coroamento são horizontais.



Capítulo 2 – Figura 58: Perspectiva de Muro em talude enviesado (desenho do autor).

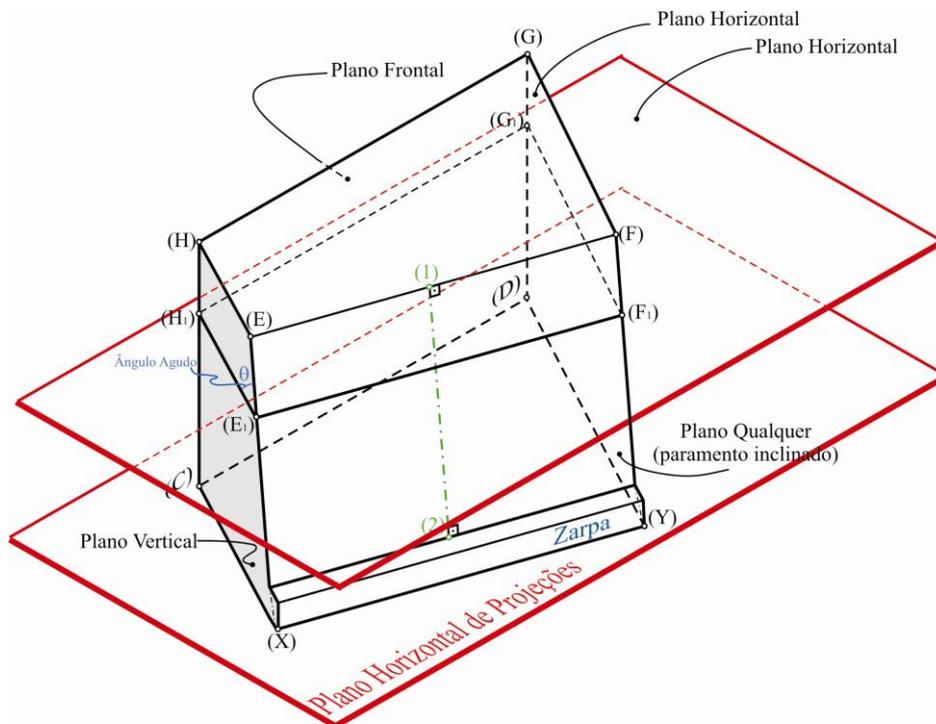
Os planos laterais são paralelos e denominados verticais. O plano da

empena posterior é um plano da família dos frontais e o plano em talude-enviesado é um plano denominado “qualquer”.

Nestas condições, o segmento (C)(D) é traço horizontal do plano ao qual pertence o paramento frontal. Suponhamos que a empena ou paramento em talude-enviesado esteja determinado pelas retas horizontais (E)(F) no coroamento do muro e o segmento (X)(Y) na sua base. Então, (X)(Y) vem a ser o traço horizontal do plano da empena inclinada (tendo sua projeção vertical na linha de terra).

Conforme já foi visto anteriormente deve-se determinar as fileiras através de planos horizontais em níveis equidistantes, definindo assim os leitos e os sobre-leitos dos blocos. Isso é feito dividindo-se a altura do paramento-frontal, cuja projeção vertical se encontra em verdadeira grandeza, em determinado número de partes iguais, que corresponderão às alturas dos blocos de pedra.

Assim estipulado, a reta (1)(2) é reta de máximo declive (Figura 59) do plano da empena inclinada e enviesada, em talude.



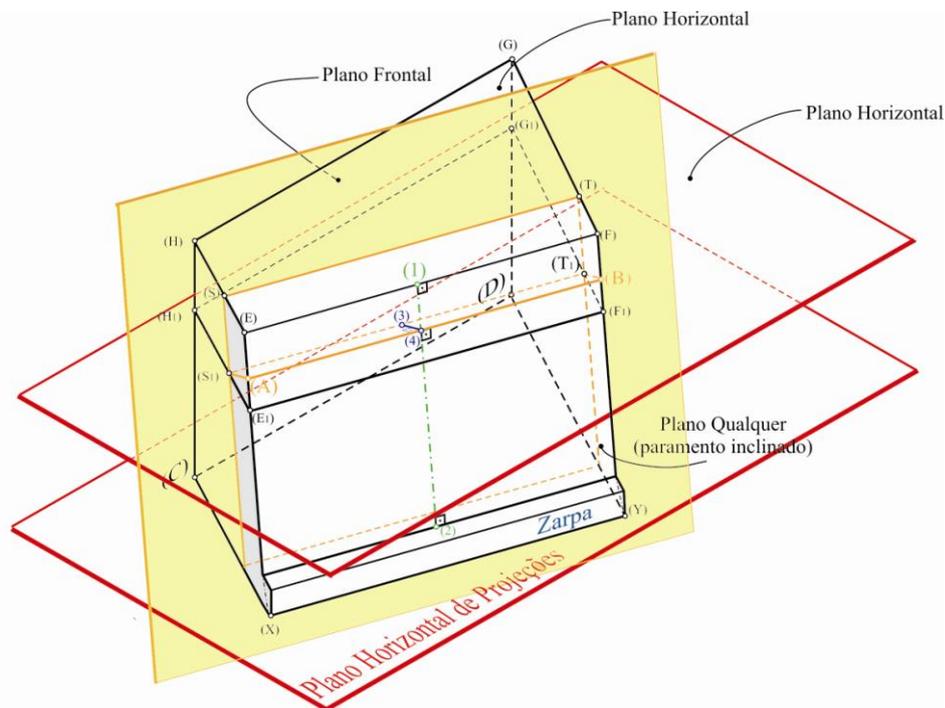
Os planos horizontais gerariam ângulos-agudos junto ao talude-enviesado.

Capítulo 2 – Figura 59: Perspectiva: Seção horizontal do muro em talude enviesado (desenho do autor).

Ao dividirmos a altura do muro em partes correspondentes às alturas das fileiras de pedras no paramento-frontal, observamos que, se pelos pontos de divisão traçamos planos horizontais, estes determinarão retas horizontais perpendiculares às retas de máximo declive do plano qualquer do talude (na figura abaixo as retas (E1)(F1)). Estes planos horizontais são perpendiculares ao paramento frontal do muro, mas não o são ao paramento inclinado e enviesado e assim sendo se observa junto a este talude, a incômoda presença do ângulo agudo, sempre deplorável em estereotomia, como é ilustrado na figura 60.

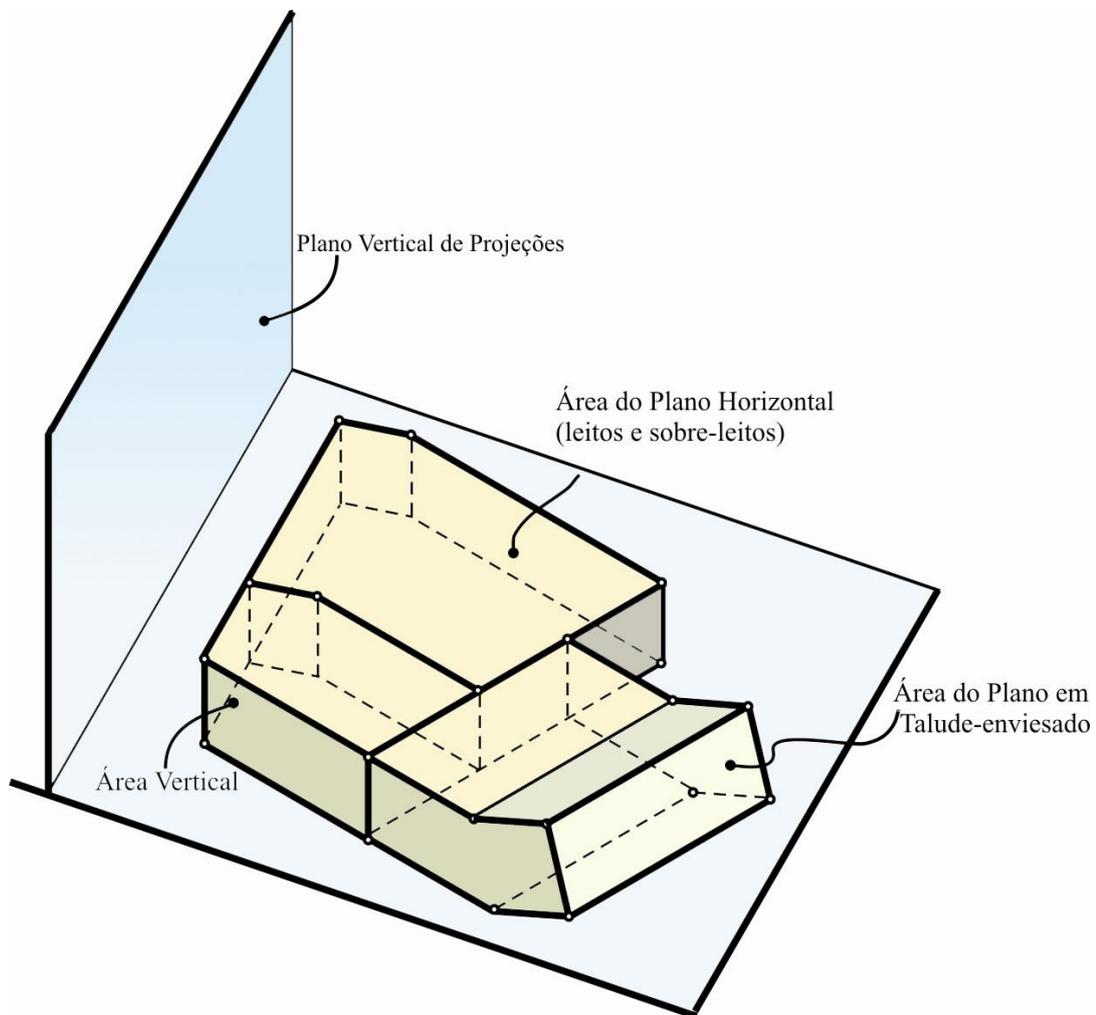
A presença deste ângulo agudo torna preciso traçar um outro plano no processo de decupagem; este outro plano será interno ao muro, afastado cerca de seis a oito centímetros da reta de máximo declive e paralelo a esta, como no caso anterior do muro em talude. Este plano estabelecerá o “quebramento”, necessário ao projeto das faces dos blocos, perpendiculares ao talude-enviesado.

Em outras palavras, as retas perpendiculares a este plano – auxiliar, o plano do quebramento, serão arestas dos blocos também perpendiculares às retas de máximo declive do plano qualquer enviesado. Na perspectiva isométrica da figura 60 é o segmento (3)(4).



Capítulo 2 – Figura 60: Perspectiva das Seções horizontais e da distância segura em muro em talude em viés (desenho do autor).

Assim, evita-se a formação de ângulos agudos nas superfícies dos leitos e dos sobre-leitos dos blocos, junto ao paramento oblíquo, bem como adjacentes ao paramento posterior, junto ao plano frontal.



Capítulo 2 – Figura 61: Perspectiva da volumetria dos blocos de pedra de um muro em talude inclinado enviesado. (desenho do autor).

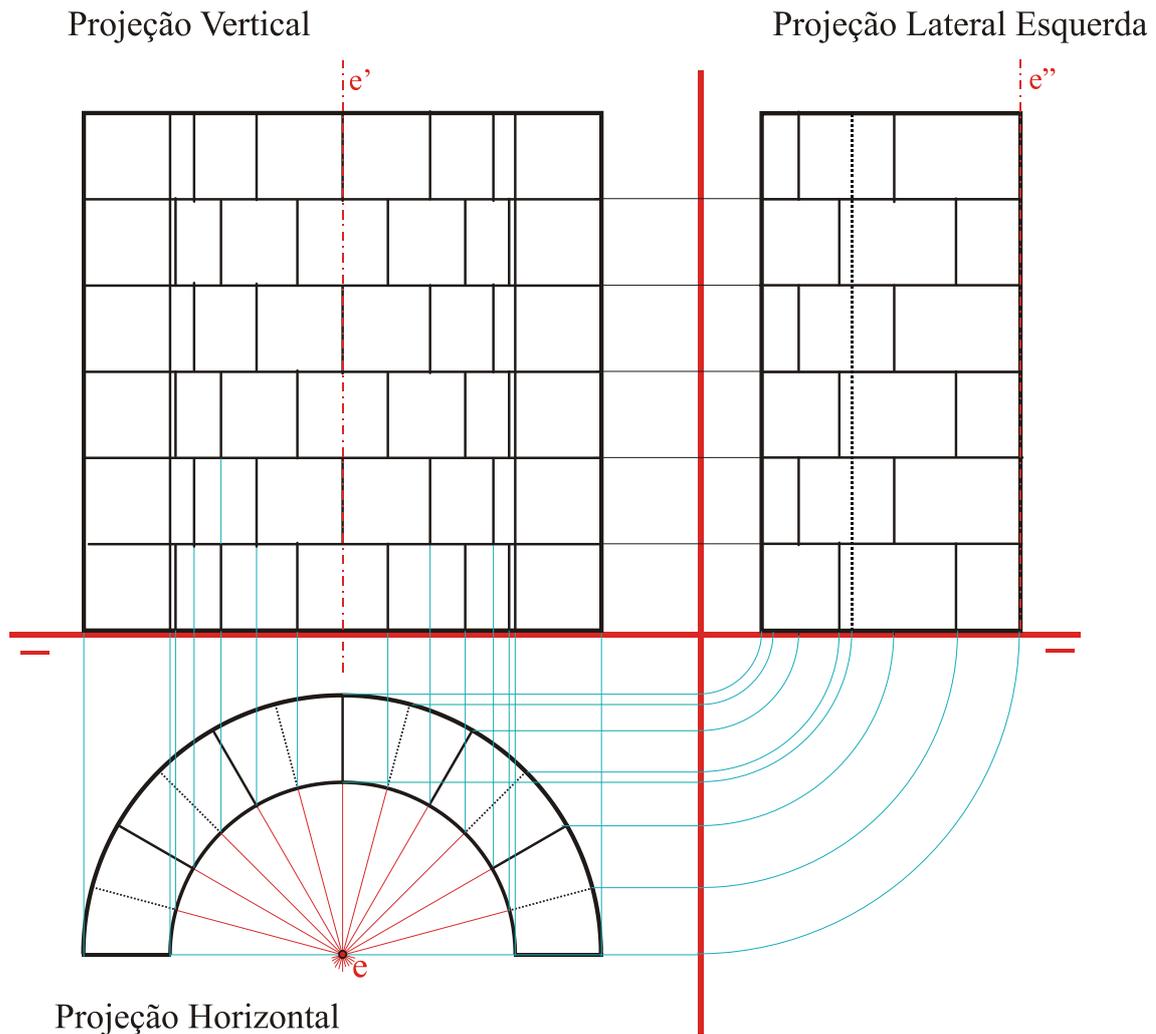
A perspectiva da figura 61 ilustra a configuração da volumetria espacial de blocos de pedra componentes de um muro em talude inclinado e enviesado.

Capítulo 3 - Muros Cilíndricos ou Cônicos, retos.

3.1 – Muro Cilíndrico Reto (figura 62):

Trata-se de um muro de pedra, em forma de uma superfície cilíndrica de diretriz semicircular-reta, de espessura constante. Nestas condições sua projeção horizontal está representada por dois arcos de circunferência concêntricos, correspondentes aos traços horizontais de seus dois paramentos, o interno e o externo, ambos curvilíneos. Estes traços serão as diretrizes curvilíneas das superfícies cilíndricas dos paramentos, cujas geratrizes serão perpendiculares ao plano horizontal de projeção, o chão.

Uma vez que o muro esteja representado, são adotados os mesmos princípios até aqui adotados, determinando as superfícies das fileiras e posteriormente, as juntas verticais.



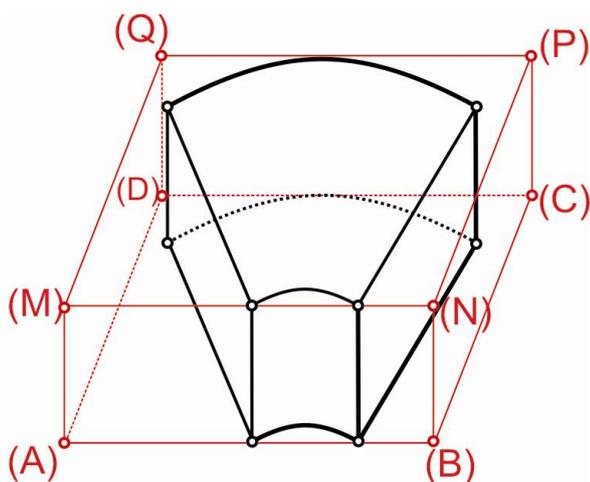
Capítulo 3 – Figura 62/Épura 4: Projeto simplificado de um muro cilíndrico (desenho do autor).

Para determinar as superfícies dos leitos e dos sobre-leitos dos blocos de pedra, divide-se a altura do muro em partes iguais, correspondendo cada uma destas divisões aos níveis das fileiras. As interseções dos planos horizontais equidistantes, com as superfícies do cilindro semicircular-reto serão curvas idênticas aos seus traços horizontais interior e exterior e assim sendo todas as linhas das fileiras terão mesma projeção horizontal, coincidentes aos traços horizontais dos paramentos do muro.

Em projeção vertical, leitos e sobre-leitos dos blocos, em cada nível, se projetam segundo segmentos de cota constante, uma vez que pertencem a planos horizontais. Todas as juntas-verticais pertencerão a planos perpendiculares ao plano horizontal de projeções. Estes planos necessariamente deverão conter o eixo vertical que contém os centros das diretrizes circulares. Criteriosamente, em cada nível, os assentamentos deverão ocorrer de maneira que o plano que contém as juntas verticais passe pelo centro dos arcos que constituem o bloco imediatamente inferior. Como estes planos verticais (das juntas) foram traçados

intencionalmente passando pelo eixo das superfícies cilíndricas, eles cortam estas superfícies segundo segmentos de retas geratrizes verticais que terão sua projeção horizontal reduzida a ponto, pertencentes às “curvas-traço” (horizontais) das superfícies, em cada nível.

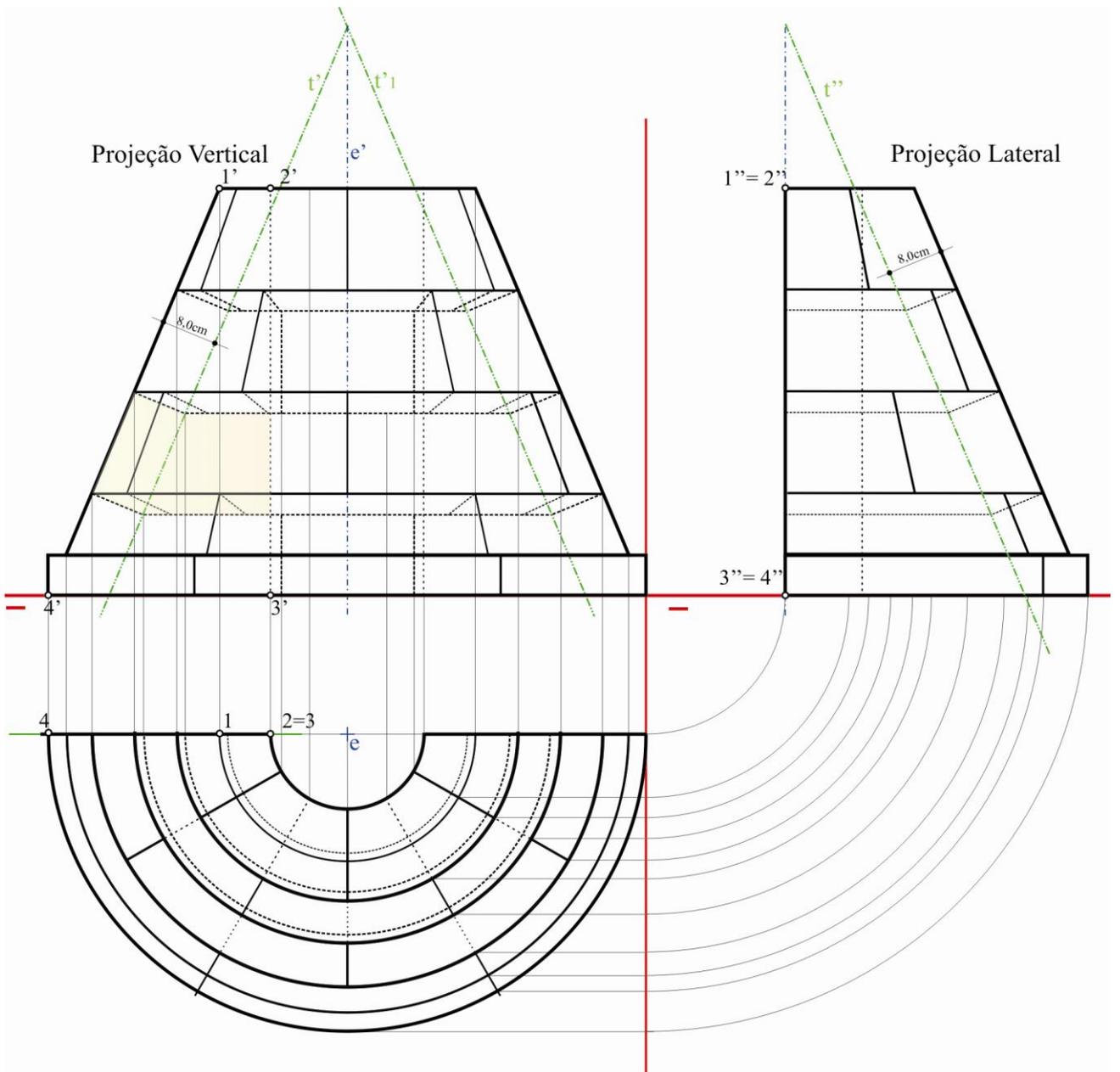
Os blocos de ensilharia serão então trapézios curvilíneos que se originam na decupagem, possuindo quatro faces planas, das quais se conhece a verdadeira grandeza, sem qualquer artifício descritivo. As outras duas faces serão setores de superfícies cilíndricas, curvilíneas, portanto. A figura 63, ilustra a extração a partir de um paralelepípedo-capaz:



Capítulo 3 – Figura 63: Perspectiva do Bloco de ensilharia de um muro cilíndrico (desenho do autor).

3.2 – Muro Cônico

Já o muro cônico exige uma atividade projetual diversificada. Como nos demais casos, determina-se os níveis das superfícies das fileiras, dividindo a altura do muro através de planos horizontais traçados em níveis equidistantes medidos sobre uma reta vertical. Em função da característica cônica da forma do muro, os blocos obtidos através dos diversos planos horizontais terão sua face curvilínea fazendo ângulo agudo com o plano horizontal de seu leito.



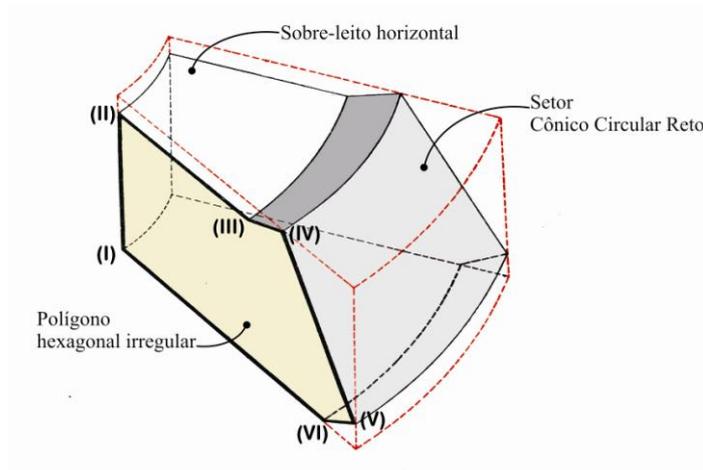
Capítulo 3 – Figura 64/Épura 5: Projeto de um muro cônico (desenho do autor).

Nas projeções do muro cônico em questão, pode-se verificar o quadrilátero (1)(2)(3)(4), representado. Traça-se uma reta auxiliar paralela distando oito centímetros da reta frontal (1)(4). Esta, é a reta (t). A intersecção da reta (t) com as retas horizontais definidas pelos planos horizontais no muro serão as retas que definem o quebramento.

Observando-se na épura 5 o trapézio (1)(2)(3)(4) verifica-se que ele é passível de rotação em torno do eixo vertical (e), gerando a superfície cônico-reta de diretriz circular. As superfícies das fileiras, leitos e sobreleitos, serão compostas por duas partes: uma plana (e horizontal) e outra cônica. As intersecções entre estas duas superfícies serão circunferências horizontais e assim sendo com projeção horizontal em

verdadeira grandeza. Estas projeções se mostrarão concêntricas e também concêntrica ao traço horizontal da superfície lateral da zarpa correspondente.

Esta decupagem se faz por níveis. Os planos laterais (que contêm as juntas) serão verticais, contendo todos eles o eixo da rotação (e também eixo das superfícies interna e externa, os paramentos). Como não poderia deixar de ser, em função da distribuição equilibrada das cargas, os planos verticais das juntas passarão sempre pelo centro dos blocos de outros níveis. A determinação das projeções horizontais ocorre de maneira direta, já que os leitos e sobre – leitos que compõem ao bloco pertencem a planos se projetam em verdadeira grandeza no plano horizontal de projeção. Na figura 65, o polígono-hexagonal irregular lateral [(I)(II)(III)(IV)(V)(VI)]de um dos blocos do muro em questão está assinalado em tonalidade amarela.



Capítulo 3 – Figura 65: Perspectiva: Bloco de pedra, setor cônico circular (desenho do autor).

Conhecendo-se de um lado as projeções horizontais dos leitos e dos sobre-leitos que projetam-se horizontalmente em verdadeira grandeza e, por outro lado o polígono hexagonal lateral (I)(II)(III)(IV)(V)(VI), pode-se estabelecer a volumetria do sólido, demonstrada na figura 65, que ilustra a extração de um bloco em uma peça de ensilharia circular, no qual pode-se observar a disposição das projeções horizontais (ou plantas baixas) e das faces curvilíneas.

Capítulo 4. Os oficiais canteiros, os cantos e as cantarias.

4.1 - Os oficiais canteiros

Do litoral do Brasil, assim como da região das Minas Gerais, nos séculos XVII, XVIII e XIX, há notícias de inúmeros Mestres Canteiros, arrolados por Martins⁴¹.

Pereira, Liccardo e Gomes da Silva⁴², também narram:

“Em Minas Gerais houve, durante os séculos XVIII e XIX, uma concentração de artífices e artistas que, com mãos hábeis e talentosas, ajudaram a constituir o acervo arquitetônico das cidades históricas. Dentre eles, destaca-se a participação dos canteiros, artesãos que executaram inúmeras e variadas peças de cantaria, utilizando principalmente o quartzito itacolomi, como pode ser observado em vários monumentos existentes nessas cidades. Entre os nomes famosos que ajudaram a edificar o acervo barroco de Ouro Preto merecem destaque: José Pereira dos Santos, arrematante da Capela do Rosário; Domingos Moreira de Oliveira, arrematante da Capela São Francisco de Assis; João Domingos Veiga, que construiu o Chafariz dos Contos; Francisco de Lima Cerqueira, responsável pelo chafariz do Alto das Cabeças e trabalhos na Capela do Carmo; José Ribeiro de Carvalhaes, que arrematou a Casa de Câmara e Cadeia; João Alves Viana, construtor da Capela do Carmo, e Manuel Francisco Lisboa e seu filho Antônio Francisco Lisboa - o Aleijadinho -, cuja contribuição envolve várias obras em Ouro Preto e outras regiões da Capitania. No final do século XIX, muitos dos canteiros já haviam falecido e, com a transferência da capital para Belo Horizonte, o ofício foi se extinguindo. Como não existiam oficinas para o ensino dos ofícios, já que os conhecimentos eram transmitidos de pai para filho ou de oficiais para escravos, a quantidade de profissionais especializados na arte da cantaria foi se escasseando. Em Ouro Preto, as obras ou reformas realizadas após esse período contaram com mão-de-obra externa, com profissionais, de fora do Estado ou do país”. (...) o canteiro, no desenvolvimento de sua obra, utiliza uma série de ferramentas de origem muito antiga e, muitas vezes desconhecidas para as pessoas comuns. Além do equipamento de entalhe, o artífice precisa realizar uma série de comprovações e controles que vão garantir a qualidade do trabalho, ajustando-se à forma e às medidas desejadas. O uso de instrumentos de medida e a verificação do paralelismo, alinhamento e perpendicularidade das peças é constante. Os principais instrumentos presentes na oficina são (Figuras 66 e 67):

⁴¹MARTINS, Judith. Dicionário de Artistas e Artífices dos Séculos XVIII e XIX em Minas Gerais. 2 volumes, Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Rio de Janeiro, 1974.

⁴²PEREIRA, Carlos A., LICCARDO, Antonio e SILVA, Fabiano Gomes da. A Arte da Cantaria. Editora com Arte. Belo Horizonte, 2007.

- **Cinzel** - ferramenta de aço, ferro ou vídea de seção retangular e ponta em forma de cunha, utilizada para gravar, desbastar e nivelar superfícies e talhas ornamentais.
- **Gradina** - semelhante ao cinzel com o corte formado por dentes (de 2 a 20), seção retangular e trapezoidal é utilizada antes do cinzel para nivelar as superfícies, rebaixar superfícies (depois do uso do ponteiro, cinzelou bujarda).
- **Picão** - martelo pontiagudo normalmente utilizado na fase intermediária do trabalho, diminuindo as diferenças na superfície da pedra para o acabamento final com bujarda.
- **Bujarda** - ferramenta com dentes (de 5 a 11) que permite nivelar a superfície das peças e colocam a superfície de trabalho em um ângulo de 60' com a superfície horizontal.
- **Réguas Graduadas** - instrumentos de medição graduados, construídos de madeira ou de aço.
- **Régua de Comprovação** - régua de madeira com face perfeitamente plana e comprimento variável, utilizada para verificar o alinhamento da peça ou peças e a qualidade da superfície lisa.
- **Esquadro** - instrumento usado para o traçado de linhas e comprovação de superfícies perpendiculares, podendo ser de aço temperado ou madeira.
- **Compasso de Pontas (ou de Traçado)** - instrumento formado por braços de aço e utilizado para traçar circunferências, arcos, transferir medidas ou medir distância entre dois pontos.
- **Traçadores** - equipamentos utilizados para traçar linhas sobre a pedra, podendo ser metálicos (...).
- **Nível de Bolha** - instrumento usado para verificar a horizontalidade de uma superfície.
- **Maceta** - tronco de cone de madeira utilizado para percutir ferramentas de desbaste ou acabamento.
- **Marreta** - espécie de martelo com face quadrada usada para percussão, tanto no desbaste como no acabamento das obras.
- **Ponteiro** - ferramenta cilíndrica ou sextavada, com ângulos da ponta variando entre 20°, 30° e 45°, utilizada para rochas brandas e duras. As talhas produzidas

pelo ponteiro podem ser: "picada", se os pontos se distribuem de forma irregular; "com sulcos", quando ficam estrias eqüidistantes, regulares e retilíneas e "decorativas", quando se dispõem formando curvas de mesmo raio.

- **Escarificador** - ferramenta com pontas biseladas, usada para rochas brandas e duras.”



Capítulo 4 – Figura 66 e 67: Instrumentos para a lavra (foto de Antonio Liccardo⁴³) e compasso.

Todavia nem só de estruturas estereotômicas em equilíbrio tratavam os canteiros em suas oficinas. A figura 68, narra a delicadeza e o requinte se apresentam na harmoniosa estereotomia dos balcões sacados do Solar do Marquês de Pontal em Mariana.



Capítulo 4 - Figura 68: Balcões do Solar do Marquês de Pontal, Mariana, M.G.(foto do autor).

Uma vez analisadas nos capítulos antecedentes, a decupagem dos blocos, seu aparelhamento e sua aplicação em diversas estruturas e diferentes paredes, bem como a sua fabrica e

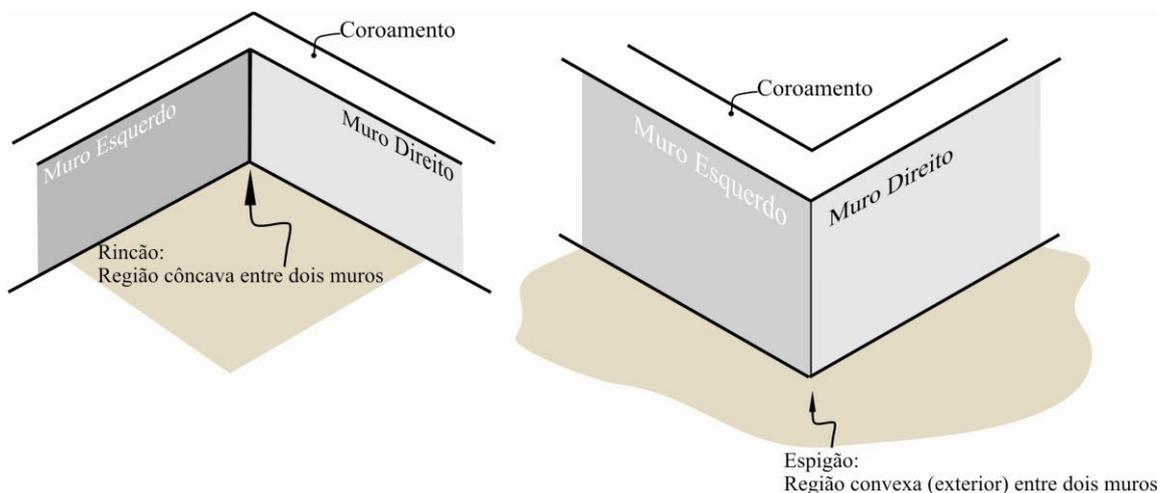
⁴³ PEREIRA, Carlos A., LICCARDO, Antonio e SILVA, Fabiano Gomes da. A Arte da Cantaria. Editora com Arte. Belo Horizonte, 2007.

ferramental, analisaremos agora as interseções entre planos distintos de muros, o tipo de despeçamento que se torna necessário.

4.2 – Os cantos

Definimos como Canto (engra ou esquina), o encontro de dois muros, que formando uma superfície contínua possam gerar aresta viva nesta interseção (Figura 69). Estas interseções entre Planos de paredes diferentes podem ser classificadas como:

- a. **Rincões:** Parte côncava (interior) da interseção entre dois muros planos. Evidentemente os rincões estão limitados à parte interior do ângulo formado pelos dois planos.
- b. **Espigões:** Parte convexa (exterior) da interseção entre dois muros planos, constituída pela parte exterior do ângulo formado entre eles.



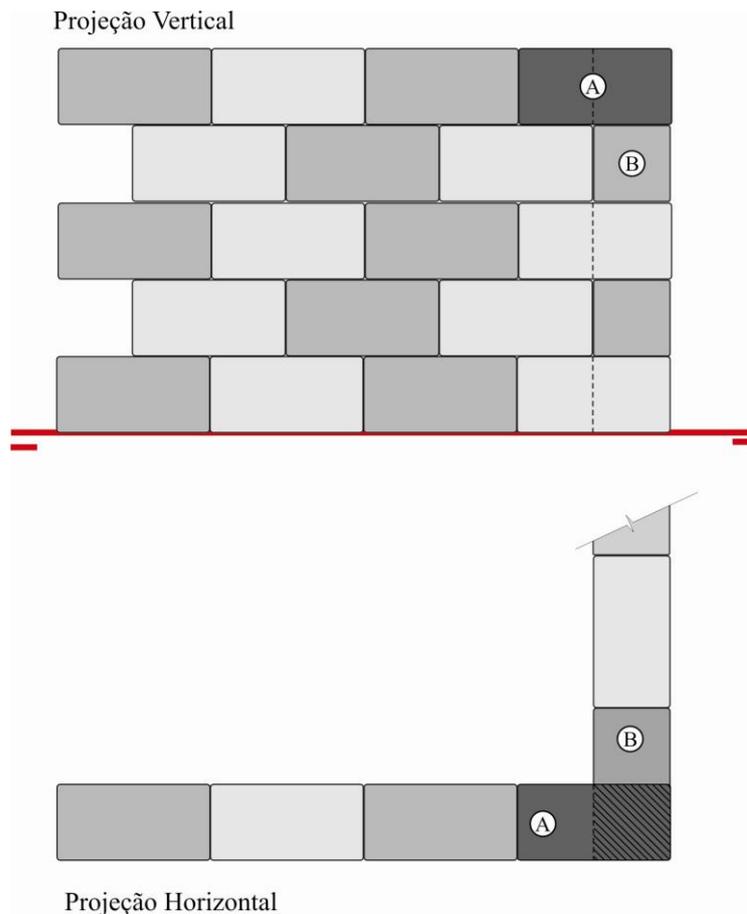
Capítulo 4 - Figura 69: Perspectivas de Rincão e Espigão (desenho do autor).

Em Arquitetura, as interseções de telhado tomam ainda hoje, contemporaneamente, estas mesmas denominações oriundas da estereotomia do encaixe entre paredes verticais ou muros.

Os cantos de pedra podem ser arrematados em arestas vivas ou ainda arredondados. Quaisquer dos dois arremates poderão ser verticais ou inclinados, neste caso se oblíquos em relação ao plano horizontal de referência ou até mesmo, ao chão. Qualquer que seja o canto é necessário buscar o enlace dos muros, para o qual será necessário fazer aparelhamentos especiais nos blocos de pedra, exatamente nas proximidades de constituição do canto. Para esta manufatura o arquiteto pode optar por uma das configurações que se seguem:

4.2.1 - Drapeado ou intercalado (Figura 70):

Consiste em intercalar blocos de pedra de maneira particular. Este sistema se reduz a utilizar uma série de blocos prismáticos retangulares superpostos sucessivamente de modo que aqueles que correspondam às fileiras, por exemplo ímpares, sejam blocos inteiros, de modo que a sua “soga” seja igual ao dobro do tição (ou topo). Sucessivamente, nas fileiras pares se assentam de maneira invertida, provocando que o canto seja gerado por um entremeado de blocos de pedra.



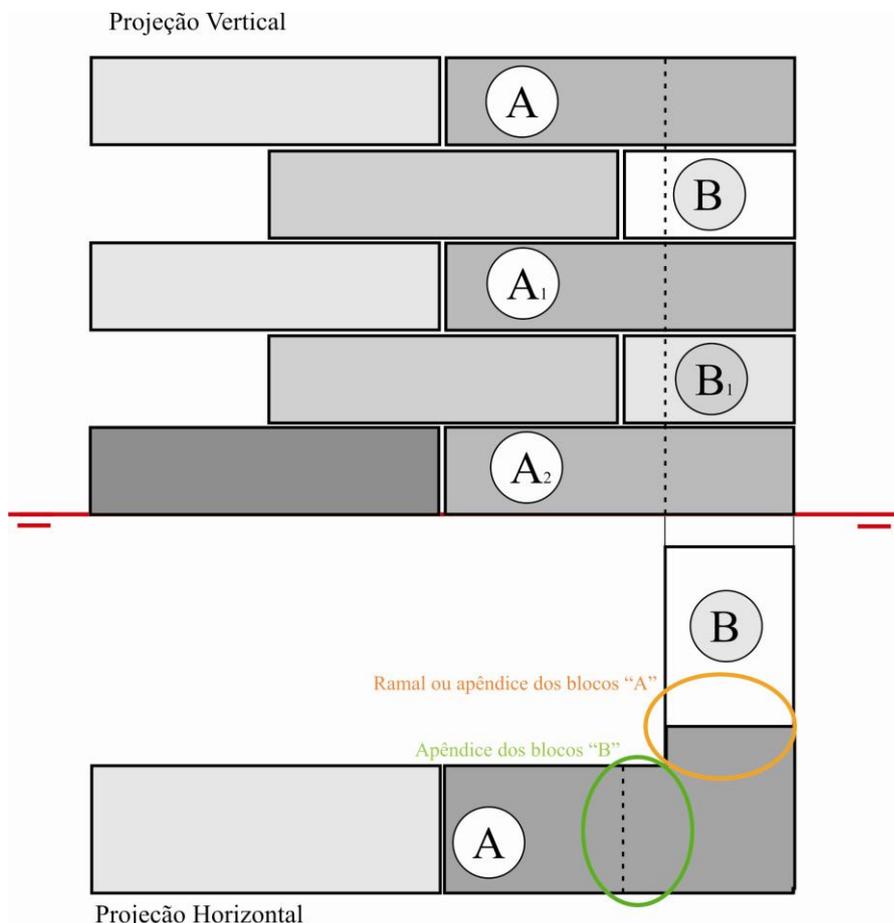
Capítulo 4 – Figura 70/Épura 6: Canto intercalado ou drapeado (desenho do autor).

4.2.2 - Sistema de ramais (Figura 71):

Neste sistema, os blocos do canto também fazem parte dos muros de pedra, de maneira que correspondam alternadamente os apêndices prolongados de cada bloco, assentados diretamente sobre os lados menores do bloco de pedra imediatamente superior ou inferior. Os apêndices são iguais em todas as fileiras.

Na figura nº71, a pedra “A” apresenta um transpasse maior no sentido paralelo ao plano vertical de projeções, enquanto a pedra “B” (e todas aquelas de mesma posição relativa), apresenta o apêndice mais largo na projeção de perfil. Este sistema apresenta um inconveniente em relação ao primeiro, apresentado

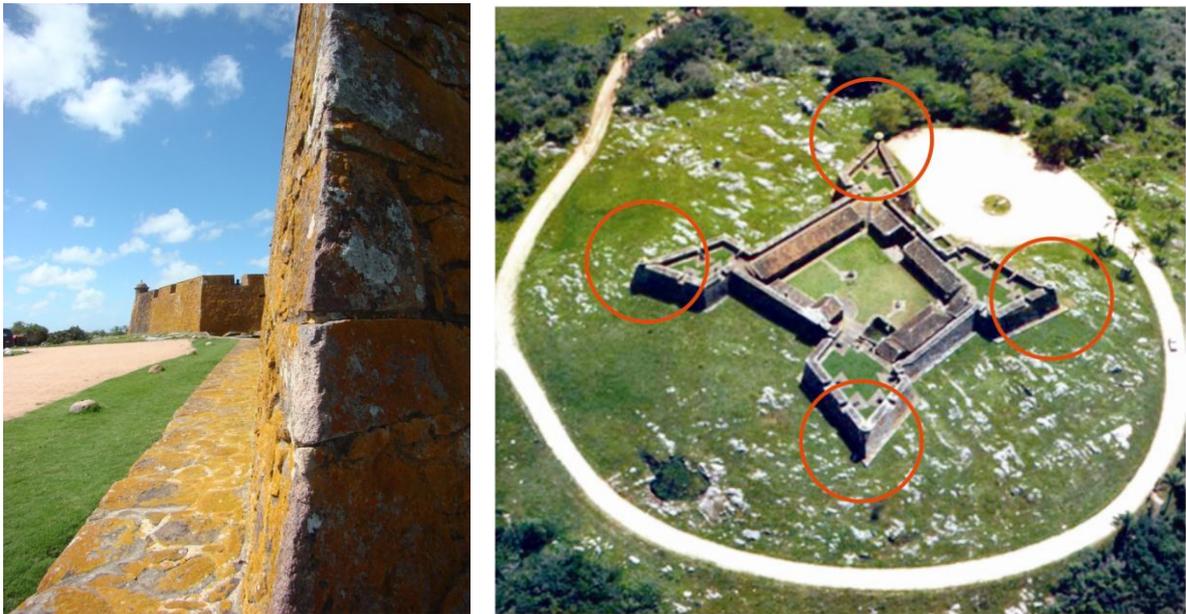
acima, além de ser uma lavra mais elaborada e portanto mais cara: é uma forma conjugada, que causa grande desperdício de material.



Capítulo 4 – Figura 71/Épura 7: Canto com ramais (desenho do autor).

Qualquer dos dois sistemas apresenta uma dificuldade de solução quando os planos das paredes se encontram segundo ângulos agudos. Como se sabe, para que a estereotomia da pedra se faça saudável e sem perigos, estes ângulos devem ser evitados sempre que possível. As exceções mais contundentes a este princípio ocorrem nas fortalezas coloniais, cujo partido arquitetônico sempre exigiu e prescreveu os ângulos agudos (figura 72), dentro das características da poligonalidade exigida, com baluartes e baterias, desde que Vauban⁴⁴ estabeleceu o modelo (Figura 73).

⁴⁴BARROS, Relié de Martin. Vauban L'Intelligence Du Terroire. Service historique de la defense.



Capítulo 4 - Figura 72 e 73: Angulação aguda exigida nos fortes e fortalezas (foto 72 do autor e 73 de domínio público).

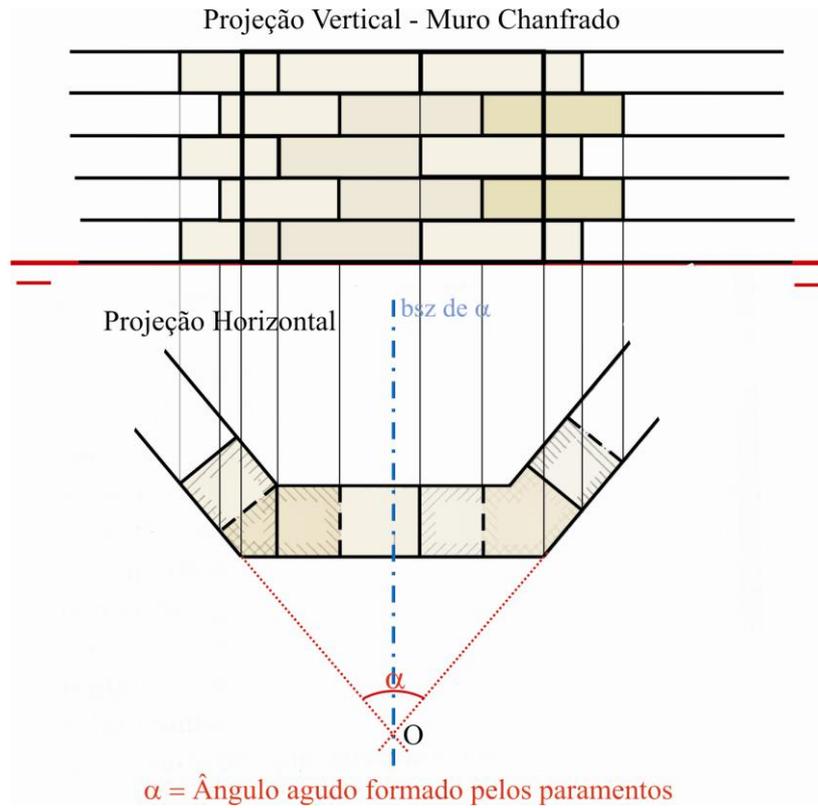
4.2.3- Cantos Chanfrados (Figura 74, 75, 76 e 76-A).

Há contudo solução para esta questão referente ao ângulo agudo. O procedimento que resolve o problema é uma fácil solução de desenho geométrico bidimensional. Os chamados chanfrados são muros que seccionam os dois muros que formam o ângulo agudo e que por questões estéticas devem ser perpendiculares à bissetriz do ângulo formados pelos muros, pois assim garantem acabamento homogêneo nos paramentos das três faces em questão.

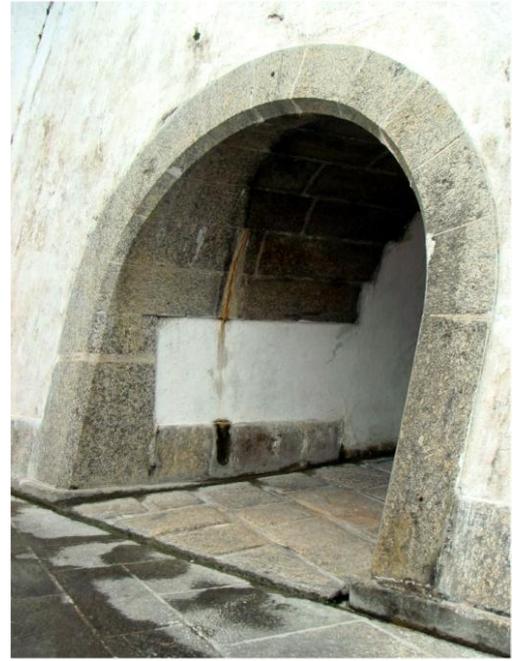
Todavia apesar desta eficácia estética, os muros chanfrados foram pouco utilizados na nossa Arquitetura, onde pela tradição os modelos de fortalezas se impunham desde a corte. Rotineiramente, estes chanfros se denominavam cortinas.

Segundo Oliveira⁴⁵, tais muros chanfrados se dividiam em flancos, nas laterais e cortinas ao centro dos baluartes de defesa das fortificações.

⁴⁵ OLIVEIRA, Mário Mendonça de. As fortificações portuguesas de Salvador. Fundação Gregório de Mattos, 2004



Capítulo 4 – Figura 74/Épura 8: Projeto de chanfro em muro reto (desenho do autor).



Capítulo 4 – Figuras 75 e 76: Cortina com chanfro em grande escala, Forte Monte Serrat, Salvador, Ba. Detalhe de chanfro em pequena escala, nas aduelas, um refinamento na Fortaleza de Santa Cruz, R.J. (fotos de Mário Oliveira e do autor).



Capítulo 4 – Figura 76A: Chanfro evitando o ângulo agudo no nártex da capela de N. Sra. Rosário dos Negros de Ouro Preto, M.G., (foto do autor).

A foto 76-A, também demonstra a questão do chanfro utilizado para evitar o indesejável ângulo agudo numa formação de ensilharia.

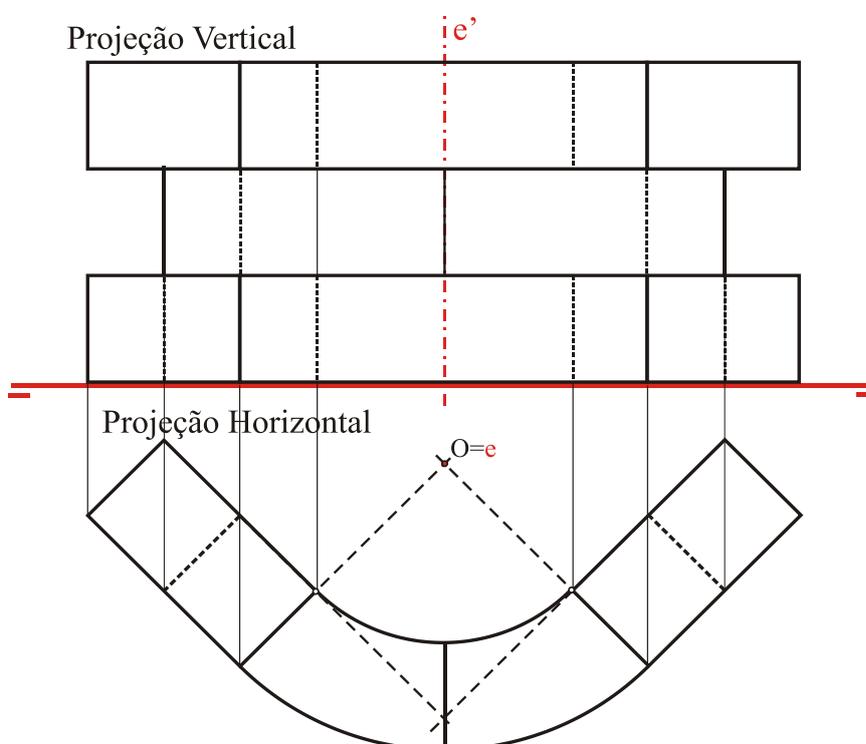
Capítulo 5. Concordâncias em paredes retas e cilíndricas.

Antes de verificar o aparelhamento dos blocos integrantes de muros que utilizem concordâncias, convém que se defina e se examine sua procedência.

Já foi enunciado que quando as paredes de pedra se encontram segundo ângulo agudo é possível se recorrer aos planos chanfrados para formar a união, o encontro entre os dois muros; todavia, os ângulos agudos e os chanfros podem ser substituídos com grande ganho de qualidade por segmentos de parede curvilíneas, que tangenciem os paramentos, os quais fazem concordar. Em outras palavras, a concordância dos paramentos consiste em um enlace que ocorrerá por meio de uma superfície tangente aos dois muros. Esta superfície não portará dissolução de continuidade, arestas ou rupturas, como rincões ou espigões.

5.1 – Concordância de muros retos, seção reta invariável (Figura 77):

Neste caso, as superfícies de junta serão normais às curvas que promovem a concordância entre os muros, tanto interiores quanto exteriores. Assim sendo basta que se estipule os raios, interior e exterior das superfícies e os pontos de contato, para que se possa vislumbrar o segmento de superfície cilíndrica.



Capítulo 5 – Figura 77/Épura 9: Concordância entre muros retos, de seção reta invariável (desenho do autor).

A parte cilíndrica terá espessura constante, o que acarreta que os eixos de ambas as superfícies cilíndricas sejam coincidentes (figura 78).



Capítulo 5 – Figura 78: Concordância de muros retos, de seção reta invariável, Forte de São Miguel, Uy.

(foto do autor)

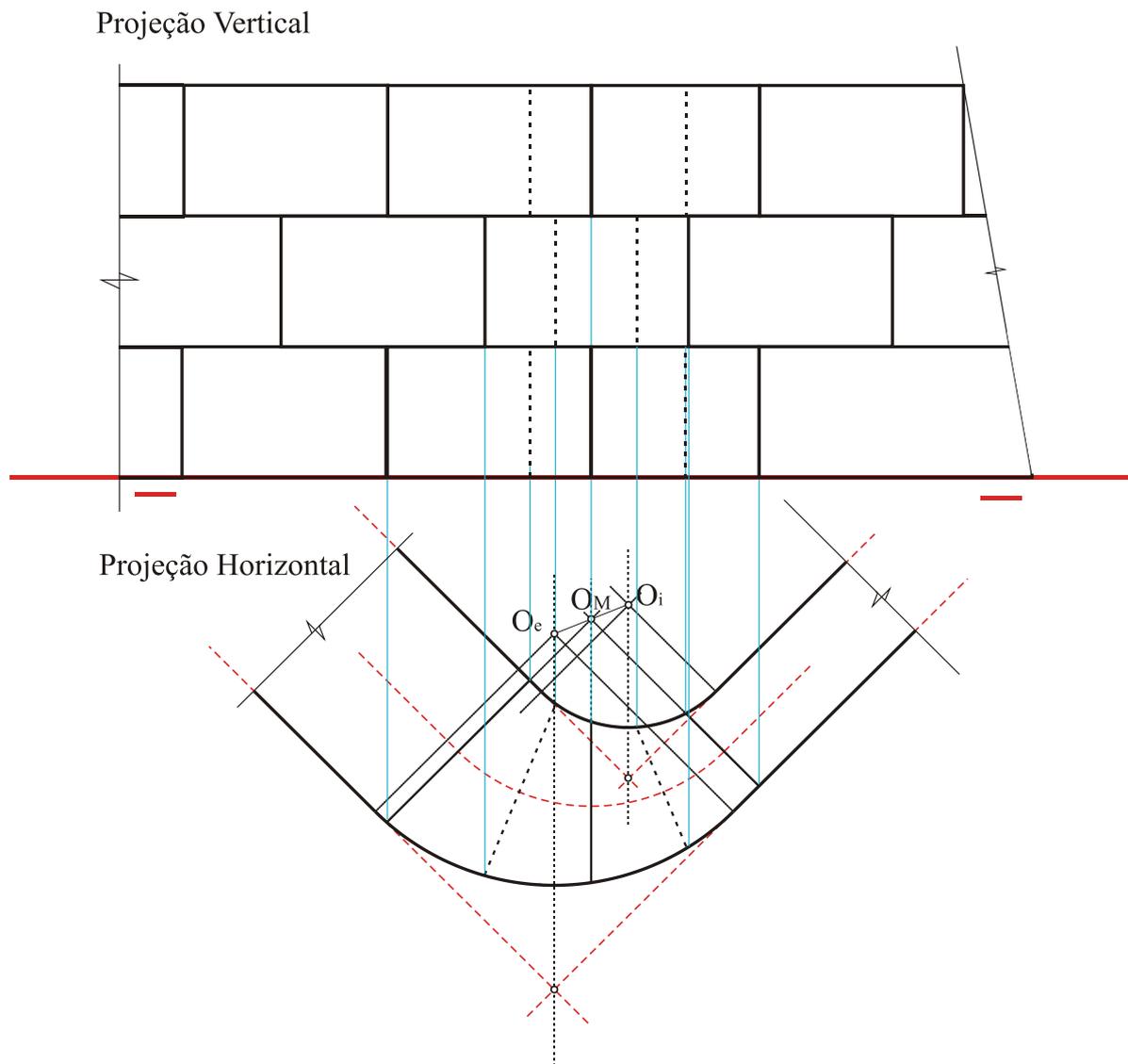
Resolvido o problema de desenho geométrico básico, pode-se passar a decupagem do muro que envolverá, caso os raios sejam pequenos, blocos curvilíneos. Já em caso de grandes raios, os segmentos circulares internos e externos podem degenerar em segmentos de reta, o que levaria evidentemente a superfícies cilíndricas de grandes proporções. A Figura 79 apresenta uma arquitetura na qual não se objetivou concordância.



Capítulo 5 – Figura 79: Contra-exemplo: paramentos sem concordância no Castelo de Itaipava, R.J. (foto do autor).

5.2 – Concordância entre muros retos de espessura (seção reta) diferente (figura 80).

No caso dos muros retos, que apresentem seção reta diferentes entre si, a concordância ocorrerá por meio de um muro cilíndrico de paramentos excêntricos e neste caso a superfície de junta será perpendicular à curva média. De qualquer maneira, a decupagem é a mesma, padrão.



Capítulo 5 – Figura 80/Épura 10: Concordância entre muros retos de espessuras diferentes (desenho do autor).

5.3 - Concordar muros em talude de mesma inclinação (figura 81).

Partindo do pressuposto que os muros possuem mesma inclinação, para se proceder a esta decupagem, deve-se proceder da maneira habitual, uma vez que o resultado da concordância entre dois muros inclinados em talude terá aspecto de cone reto circular, já analisada no capítulo 3, item 3.2.

Se a concordância se der entre planos inclinados que façam entre si ângulo agudo, o enlace poderá ser um pouco mais trabalhoso. Para que concordem, prolongam-se os traços horizontais dos planos em talude dos paramentos e se traça a bissetriz do ângulo obtido desta forma. Analogamente se determinam os centros das circunferências tangentes aos traços horizontais dos planos dos paramentos, tanto anterior quanto posterior, em ambas as paredes de pedra. Os paramentos internos são perpendiculares ao plano horizontal de

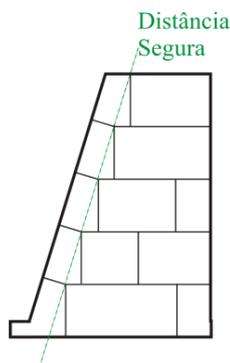
referência, o que gera concordância cilíndrico-reta. Ou seja: são paramentos interiores verticais, que concordam através de cilindro circular reto., cuja direção será o traço horizontal (L1)(K1)(R1). Este traço horizontal terá centro no ponto (O) cuja determinação veremos a seguir.

Com relação à concordância dos paramentos externos de um muro em talude, na figura abaixo sejam os muros [(1)(2)(3)(4)(5)(6)] e [(I)(II)(III)(IV)(V)(VI)] assinalados é pura 11, cujos paramentos se encontrariam em ângulo agudo externo no ponto (6)=(VI) e interno no ponto (2)=(II). A partir do ponto de concorrência (6)=(VI), marca-se duas medidas iguais (6)(E) e (VI)(D).

Os pontos (E) e (D), são os pontos de concordância, respectivamente da esquerda e da direita, equidistantes portanto de (6)=(VI). Dos pontos (E) e (D) traçam-se as perpendiculares (E)(O) e (D)(O), que concorrem sobre a bissetriz do ângulo agudo proposto. Esta bissetriz é portanto a reta suporte do ponto (O), o centro dos arcos de concordância.

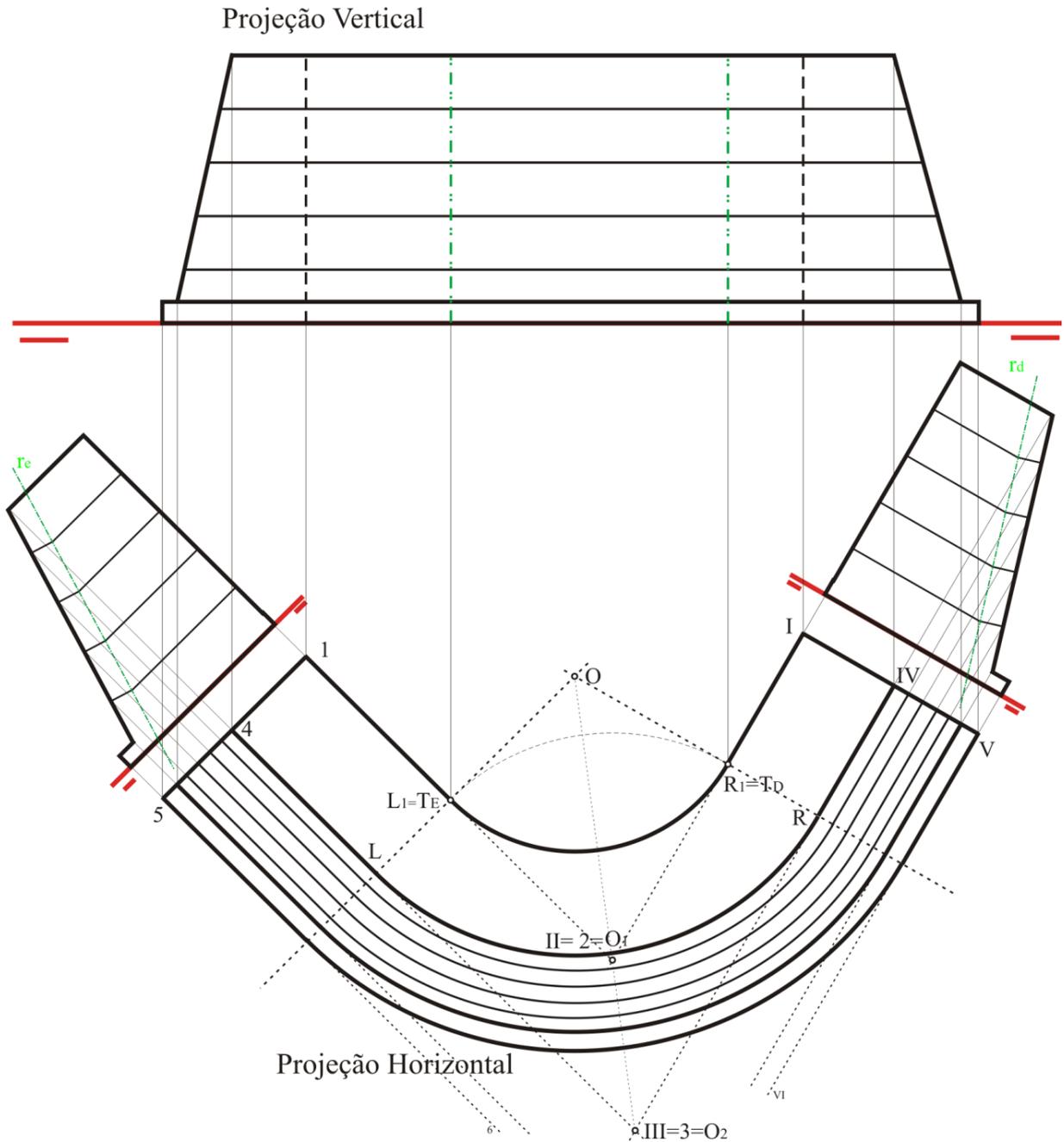
O arco (E)(T)(D) de raio (OE)=(O)(D) será a diretriz circular da superfície cônica reta, cujo eixo é uma reta vertical que passa pelo ponto (O).

A superfície será tangente aos paramentos exteriores dos muros em talude, segundo as geratrizes de contato (E)(L) e (D)(R). O paramento exterior é interrompido pelo plano horizontal do coroamento em (L)(L1)(R1)(R).



Capítulo 5 – Figura 81/Elevação lateral: Muro em Talude constante (desenho do autor).

A figura 82 traz a é pura 11, projeto de um Muro em Talude constante, ou seja, de inclinação invariável.



Capítulo 5 – Figura 82/Épura 11: Concordância de muros em talude de mesma inclinação (desenho do autor).

Desta maneira a parede terá um paramento cônico e outro cilíndrico, ambos de diretriz circular e retas, apoiados no plano horizontal, de acordo com os paramentos respectivamente anteriores e posteriores da parede de pedra. A decupagem deste muro em talude também é simples, uma vez que os muros têm mesmos, declive e inclinação. A decupagem que se aplica é a padrão estabelecida para o muro cônico circular reto, anteriormente no capítulo 3, item 3.2.

Resta-nos ainda um problema para se resolver: o contato de cada um dos muros em talude com o cone circular reto gerado. Para este enlace, deve-se considerar o princípio da estereotomia da pedra, segundo o qual se devem evitar superfícies de junta em prolongamentos. Como cada um dos muros em talude deverá estar em contato com o cone reto, será preciso que estas superfícies de junta não coincidam com as geratrizes de contato de ambas as superfícies; ou que de mesma maneira, no enlace de cada muro em talude com o cone reto, todos os blocos de pedra participem, tanto do talude, quanto do cone, de um tipo de aparelhamento semelhante ao intercalado do drapeado. Ou seja, devem-se usar blocos com soga no paramento reto, segundo as fileiras ímpares, por exemplo, e nas pares buscar o maior comprimento da soga, agora no paramento curvilíneo (cilíndrico, se interior, ou cônico se exterior), o que fatalmente ocorrerá em função das propriedades geométricas dos arcos de circunferência (figura 83).



Capítulo 5 - Figura 83: Muros em Talude de inclinação constante, na Fortaleza de Santa Cruz, Niterói, R.J. (foto do autor-poster).

5.4 - Concordância de muros em talude de inclinações diferentes.

O caso mais complicado é o da concordância entre dois muros que possuam inclinações e espessuras diferentes. Esses muros, na figura 85/épura 12, são [(A)(B)(G)(H)] e [(C)(B)(H)(I)], cujos planos inclinados são do tipo “quaisquer” e apresentam os traços horizontais (1)(2) e (I)(II); apresentam também, mais acima no coroamento, as horizontais (5)(6) e (V)(VI). Seus paramentos posteriores são representados pelos seus traços horizontais (4)(3) e (IV)(III). Suponha-se que os muros em talude de inclinações diferentes, apresentem seção reta pelos planos (α) e (β). Para se conhecer o talude dos dois muros, deve-se aplicar, por exemplo, o método das Mudanças de Planos, reposicionando o plano vertical de projeções, obtendo-se assim a verdadeira grandeza desta seção reta.

O enlace dos dois muros ocorrerá por meio de um muro cilíndrico - oblíquo de base circular, o que sem qualquer sombra de dúvida confere uma maior simplicidade à concordância.

Os muros em questão deverão ter seus paramentos posteriores concordados por um muro cilíndrico-circular-reto. Os paramentos são planos verticais, o que remete à mais simples das concordâncias, já examinada e aplicada anteriormente. Com relação aos paramentos anteriores dos muros serão enlaçados por uma superfície que ainda não se conhece, senão suas diretrizes, que deverão ser circulares. Todavia, observe-se que:

- Os traços horizontais dos paramentos deverão ser tangentes ao traço horizontal do paramento cilíndrico no enlace.
- O centro do arco que representa este traço (em projeção horizontal) deverá equidistar dos traços dos paramentos inclinados, (A)(B) e (C)(B); este centro se encontra sobre a bissetriz do ângulo formado pelos traços.
- Qualquer ponto desta bissetriz servirá de centro e conforme o ponto adotado a concordância poderá acontecer mais próxima ou mais afastada de (B).
- Supondo-se a opção pelo ponto (O), traça-se a partir deste as perpendiculares às retas (A)(B) e (C)(B), que serão os segmentos (O)(P) e (O)(M), visualizados na projeção horizontal. O arco (P)(M) será o traço horizontal do paramento curvilíneo anterior do muro concordado, junto à zarpa.
- Como os taludes devem ser tangentes ao cilindro oblíquo, é necessário que se determinem as geratrizes de contato dos taludes com o cilindro.
- Como o plano de coroamento é horizontal (paralelo ao plano da base), este plano corta o cilindro envolvente segundo um arco de círculo igual ao traço horizontal curvilíneo (P)(M).
- Para a determinação do centro deste arco, a partir do vértice imaginário (E), determinado pelo prolongamento das projeções horizontais das bordas do coroamento (e paralelo ao traço horizontal) se traça (E)(O1), que será paralela a (B)(O).
- O ponto (O) é o centro do arco de circunferência de base e o ponto (O2) é o centro do arco paralelo àquele no nível do coroamento. Quando traçarmos os raios (O2)(Q) e (O2)(N) do coroamento, ambos serão obviamente perpendiculares a (D)(E) e a (F)(E). É traçado então, o arco de círculo (Q)(N) do coroamento.

- Deste modo fica determinada a superfície lateral de concordância entre muros de inclinações e espessuras diferentes. Frezier⁴⁶ afirma que a superfície é Cônica porém Monduit⁴⁷ afirma que é cilíndrica.
- Ao se determinarem os pontos (Q) e (N), se traçarmos os segmentos (Q)(P) e (N)(M), teremos determinado as geratrizes de contato e enlace da superfície com os muros inclinados.

Uma vez obtida a representação da parede cilíndrica de concordância entre taludes de inclinações e espessuras diferentes, passa-se à decupagem de todo o sistema estabilizado da parede de pedras.

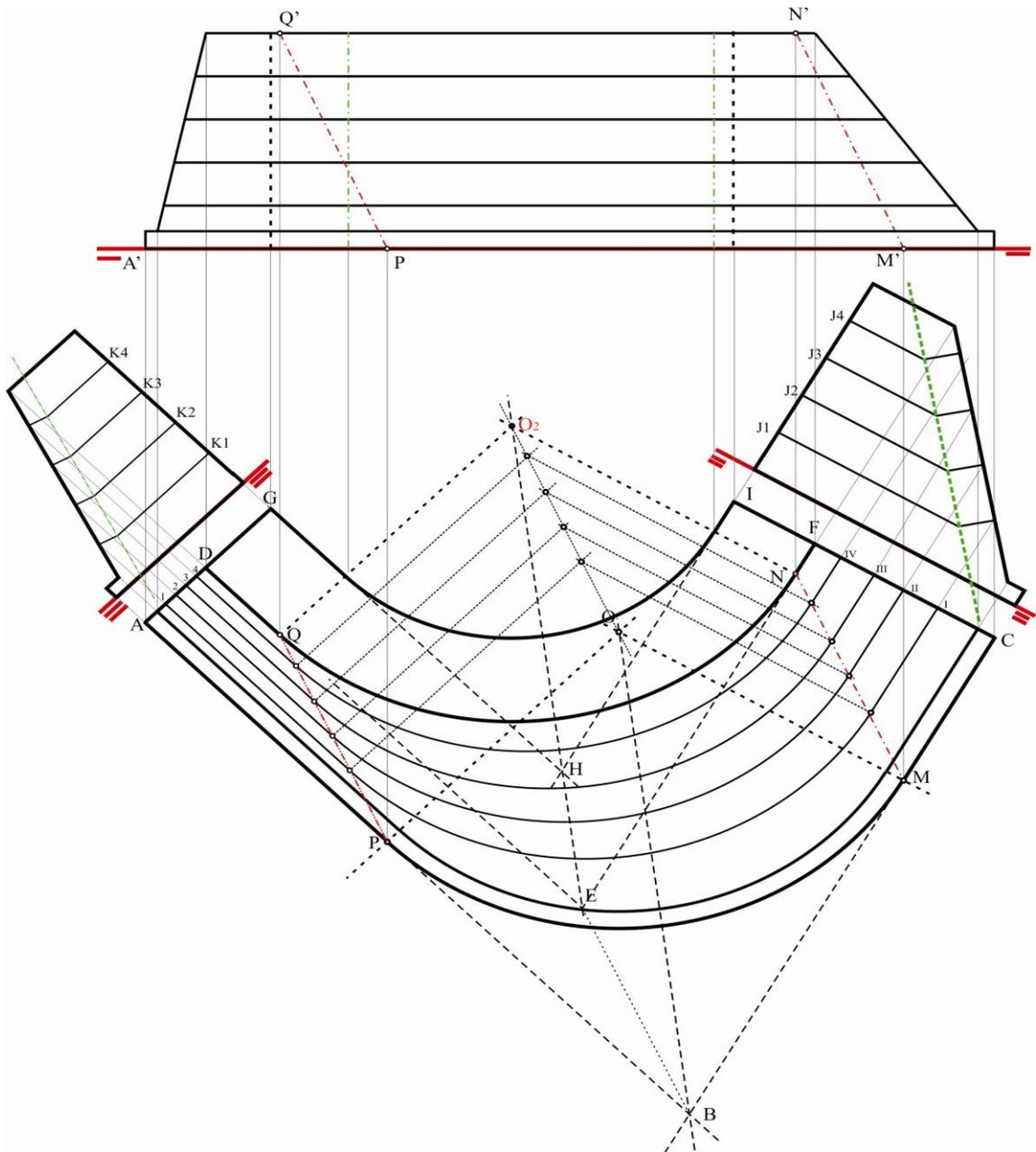
As linhas das fileiras que passam pelos pontos (1)(2)(3)(4) do muro em talude da esquerda e aquelas que passam por (I)(II)(III)(IV) no muro em talude da direita limitam-se e têm seus pontos de contato em (P)(Q) e (M)(N) – (figuras 84 e 85).



Capítulo 5 - Figura 84: Efeito informatizado ilustrativo - Muro com talude variável (foto e efeito do autor)

⁴⁶ FREZIER, M.. *La Theorie et la pratique de la Coupe des Pierres e des Bois, pour la construction de voutes et autres parties des bâtimens Civils & Militaires, ou Traité de Stéréotomie* a l'usage de l'Architecture, Tome II.

⁴⁷ MONDUIT, Louis. *Traité Théorique et Pratique de Stéréotomie*. Éditions H. Vial. Paris, re-edition 2002.



Capítulo 5 – Figura 85/Épura 12: Concordância de muros em talude de inclinações diferentes

(desenho do autor).

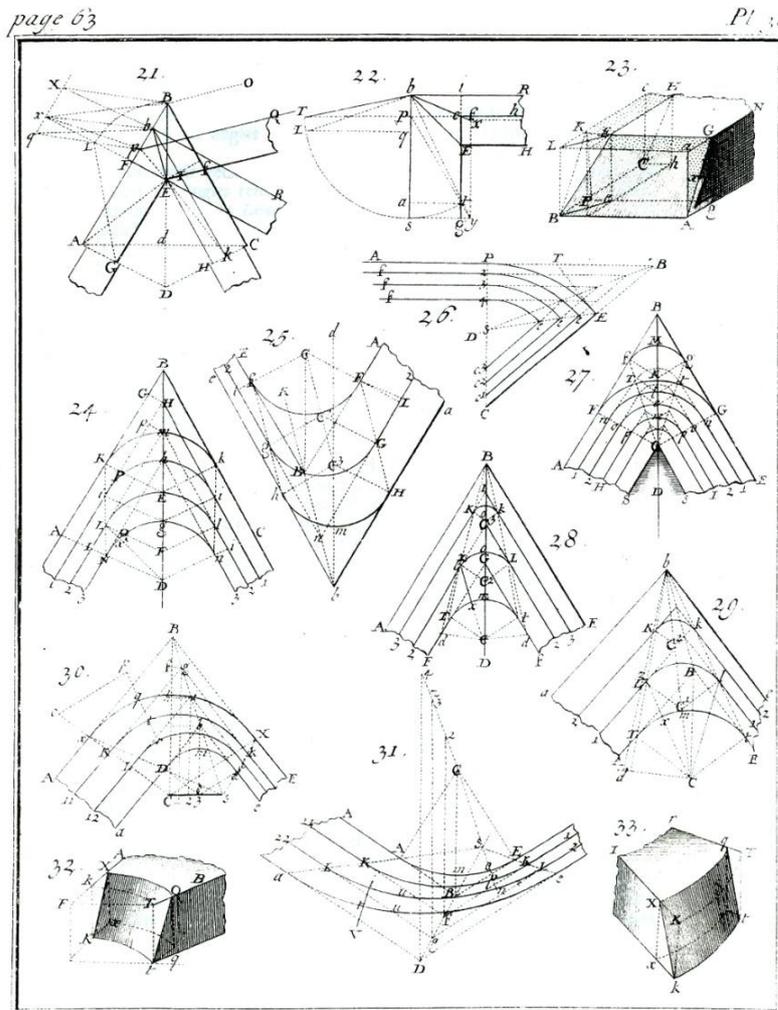
5.4.1 - Os centros de todas as circunferências estarão alocados no eixo do cilindro oblíquo que em projeção horizontal será a reta OO_2 , que também será reta suporte dos centros das bases superior e inferior.

5.4.2 - A determinação de cada um dos centros de todos os arcos de concordância que se estabelecem em cada nível resume-se à aplicação da solução da

concordância entre duas retas concorrentes, das quais se conhece o centro, um dos casos fundamentais do assunto, como diz Carvalho⁴⁸.

5.4.3 - Nos muros em talude, as superfícies das fileiras são formadas por planos que se submetem a “quebramento” para a distância segura. As superfícies quebradas, serão perpendiculares a cada um dos paramentos. A figura 86, mostra originais de Frézier.

5.4.4 - É necessário que as superfícies quebradas das fileiras não se desencontrem ao passarem de um muro para outro e para isso devem manter o mesmo nível, através da concordância. Esta determinação ocorre simultaneamente nas seções retas dos muros, às quais se dividem igualmente a altura, através do paramento posterior vertical, conforme os níveis indicados em (K1), (K2), (K3), (K4), (J1), (J2), (J3) e (J4). Estes pontos devem corresponder em altura (nível) em ambos os muros.



Capítulo 5 – Figura 86: Modelos de concordâncias entre diferentes tipos de muros, em Frézier.

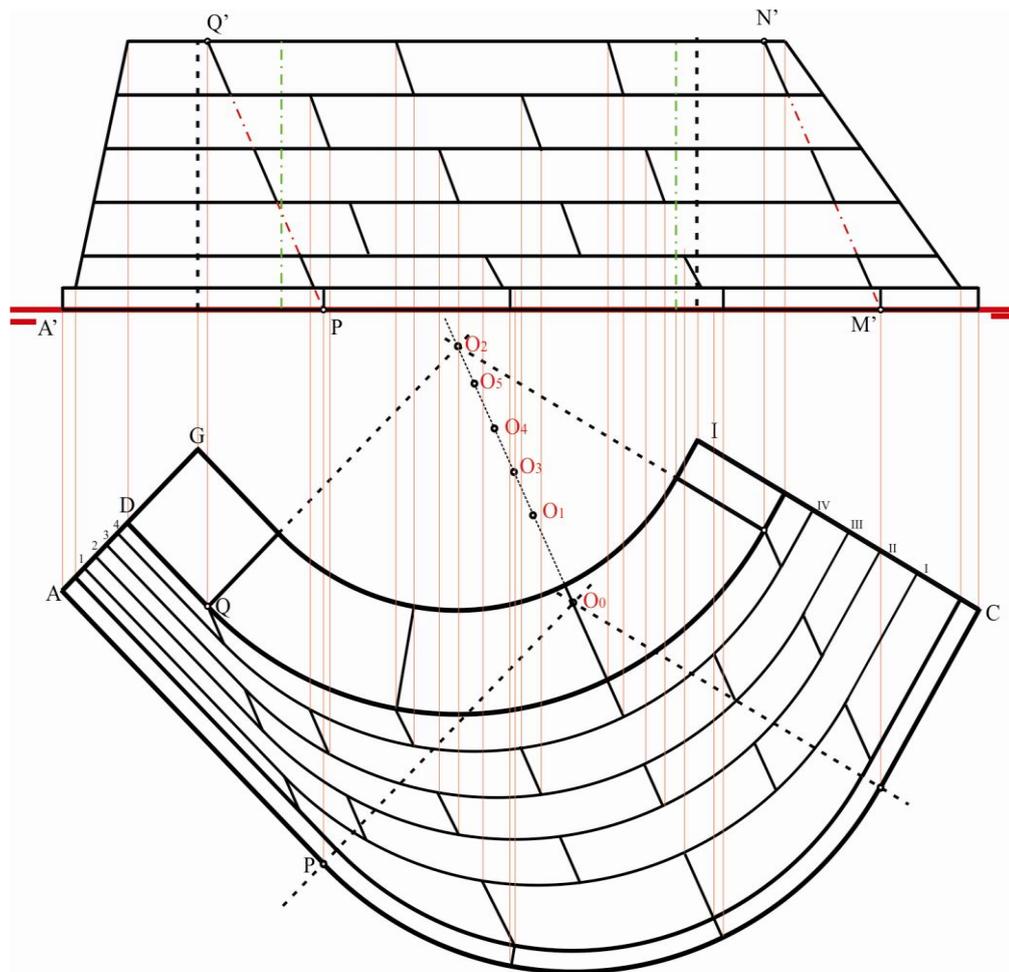
⁴⁸ CARVALHO, Benjamin de A. Desenho Geométrico. Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro, 3ªEd.1989.

A faceta curva gerada na superfície envolvente de geratriz variável poderá não ser normalmente perpendicular à superfície cilíndrica. Contudo, ela se aproximará muito deste perpendicularismo, o que para efeito da lavra da pedra, não determina nenhuma transformação, desde que não imponha pressões pontuais.

A projeção vertical é bastante simples. Todas as retas e superfícies geradas na divisão dos muros em talude serão horizontais e assim sendo terão cotas invariáveis. Os diversos níveis determinados pela divisão se mantêm.

Com relação às geratrizes de contato serão determinadas pelas projeções vertical e horizontal das retas (P)(Q) e (M)(N), normalmente.

As juntas da superfície curva serão resultantes da interseção de planos verticais, perpendiculares às tangentes traçadas à curva que demonstra a projeção horizontal da superfície de concordância, traçada no ponto médio de cada bloco. Este plano cortará o cilindro segundo uma elipse que será determinada por pontos obtidos na interseção do respectivo plano vertical adotado e os planos horizontais auxiliares (figura 87).



Capítulo 5 – Figura 87/Épura 13: Muro em talude com inclinações diferentes (desenho do autor)

Capítulo 6. Estereotomia dos vãos em paredes de pedra.

Todas as construções necessitam de vãos. Seja para a circulação de pessoas, ou para as funções de circulação de ar e de luz, estes espaços abertos e vazados devem estar presentes na arquitetura e podem ser sinônimo de enfraquecimento das paredes, sobretudo naquelas construídas em alvenaria de pedras.

Portanto, segundo as funções que desempenham, os vãos podem ser classificados em vãos de passagem, ou portas, e vãos de aeração, iluminação e observação, as janelas. Para Machado⁴⁹, de acordo com sua posição na arquitetura ou ainda com sua função, podem receber as denominações:

- a) Óculo: vão circular, elíptico ou até em forma floral ou estilizada, geralmente nas fachadas das edificações religiosas ou oficiais (figura 88).



Capítulo 6 – Figura 88: Óculo floral - Capela de Nossa Senhora da Glória do Outeiro, R.J. (foto do autor).

- b) Seteiras: Pequenas aberturas, estreitas e verticais, geralmente em campanários, escadarias, torres e porões. A particularidade é que de modo geral são piramidais, com o vão maior aberto para o interior (figura 89).



Capítulo 6 – Figura 89: Seteira, Forte Orange, Igarassú, PE (foto do autor).

⁴⁹ MACHADO, Reinaldo Guedes et al. Barroco Mineiro – Glossário de Arquitetura. Fundação João Pinheiro, 1980.

Com a finalidade de registrar as condições de estabilidade e de execução, serão enunciadas a seguir as diversas composições estereotômicas dos vãos:

6.1 - Elementos de um vão:

Suponha-se um vão de passagem, representado por suas projeções e pelas seções paralelas ao plano horizontal de projeções. Neste vão se distinguem:

6.1.1 - O **batente**: um rebaixo no qual se encaixam as folhas das portas que vedam os vãos; muitas vezes, ainda no século XVIII, o batente possuía um pequeno ressalto horizontal, um desnível junto ao chão.

6.1.2 - As **ombreiras**: são partes verticais das paredes que circundam ao vão, propriamente as laterais do vão, que sustentam as padieiras ou vergas.

6.1.3 - O **dintel** (lintel, padieira, verga ou arco): É o fechamento superior de um vão; a denominação varia conforme o feitio que assuma a parte superior do vão.

Também se usa a denominação “arco adintelado”, quando apesar de retilínea, a parte superior de fechamento do vão for construída utilizando-se a técnica de estabilidade que é comumente usada na construção dos arcos.

Nos vãos das janelas, os parapeitos se resumem a uma mureta construída que faz a vedação hermética da parte baixa do vão, em altura que pode variar de acordo com sua função complementar de apoio ou anteparo. Os parapeitos poderão ser classificados em entalados ou sacados, conforme esta carpintaria seja instalada respectivamente no intradorso do vão ou sobreposto à face externa do vão (figura 90).



Capítulo 6 – Figura 90: Gelosia aplicada sobre o vão (foto do autor).

Normalmente os vãos alojam as esquadrias, as portas e outros elementos de vedação, destinados a separar o ambiente do exterior ou mesmo de outros recintos.

Quando o vazado do vão não possui carpintaria anexada, os umbrais ou ombreiras apresentam a face plana e geralmente perpendicular às empenas interior e exterior da parede. Todavia, muitas vezes, para que se adaptassem e pudessem receber a caixilharia de maneira entalada em seu intradorso, as ombreiras eram estereotômicamente recortadas em encaixes precisos.

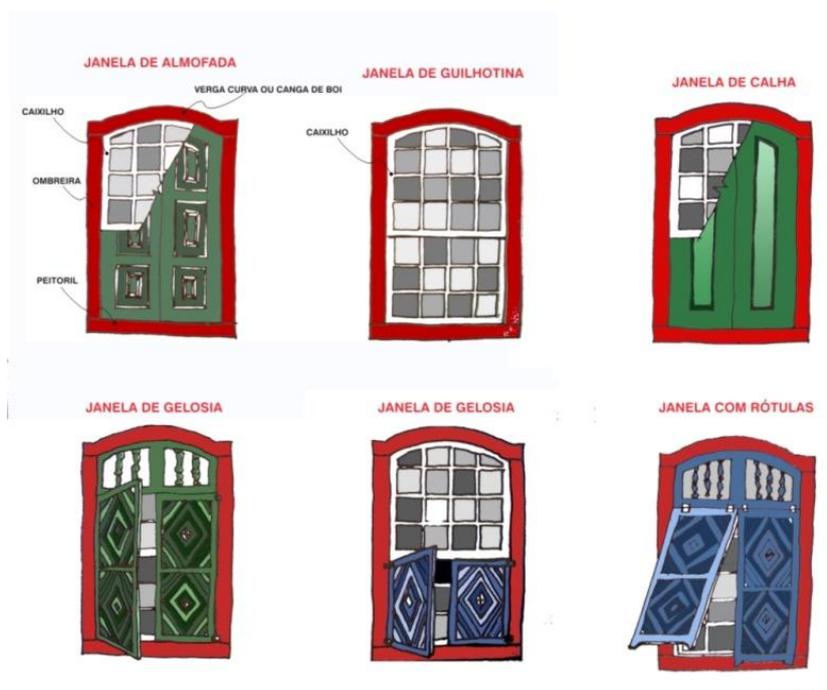
O desenho do perfil dos vãos, sejam portas ou janelas, apresenta também:

- **Intradorso:** Face interna do vão, nas ombreiras ou no dintel.
- 1. **Mainel:** Pequeno pilar que divide dois vãos conjugados.
- 2. **Alizar:** Plano da parede ou sobreposto paralelamente a esta, compondo a moldura de um vão. Também se usa para peça de madeira que recobre a junta entre as pedras da ombreira e a madeira de sustentação do caixilho.
- 3. **Alizar de Orelhas:** Assim se denominam os alizares que possuem ressaltos nos cantos.
- 4. **Chanfro de derrama:** Face inclinada em relação às empenas da parede de pedra, que faz a passagem de um vão exterior menor, para um vão interior maior. Também denominado capialçado (foto 91).
- 5. **Derrama:** Também utilizado para plano inclinado no chão, no interior do vão, com caimento em desnível.
- 6. **Face:** Qualquer plano perpendicular às empenas, no intradorso.



Capítulo 6 – Figura 91: Chanfro e derrama, Casa de Câmara e Cadeia de Ouro Preto, M.G (foto do autor).

A figura 92 mostra alguns tipos de fechamento entalados e sacados utilizados desde o século XVI, no Brasil:



Capítulo 6 – Figura 92: Fechamentos dos vãos (cores do autor, sobre o desenho de Reinaldo Machado⁵⁰).

Antes de verificar as possíveis maneiras de se decupar os vãos que se podem vazar as paredes, observo que as ombreiras, se monolíticas (figura 93), participam como uma continuidade das paredes de pedra, e não se faz necessário decupá-las isoladamente, mas antes, como parte do conjunto estabelecido da parede.

⁵⁰ MACHADO, Reinaldo Guedes et al. Glossário do Barroco Mineiro.



Capítulo 6 – Figura 93: Ombreiras monolíticas, Colonia del Sacramento, Uy (foto do autor).

Todavia, se as ombreiras forem segmentadas como na foto 94, feitas de pedras de ensilharia e a parede em si esteja executada em outra conformação (ou material), o aparelhamento deverá ser executado segundo projeto e decupagem prévios, constituídos de blocos de pedra de maior e menor soga que terão a missão de enlaçar e travar à parede; estas pedras intercaladas são os denominados “blocos de espera”. Repare-se ainda na mesma foto 92, que arcos possuem espessura aparente quase sempre concêntrica, que deverá sempre ser considerada na decupagem. O vão demonstrado na figura 94 apresenta inclusive capialçado.

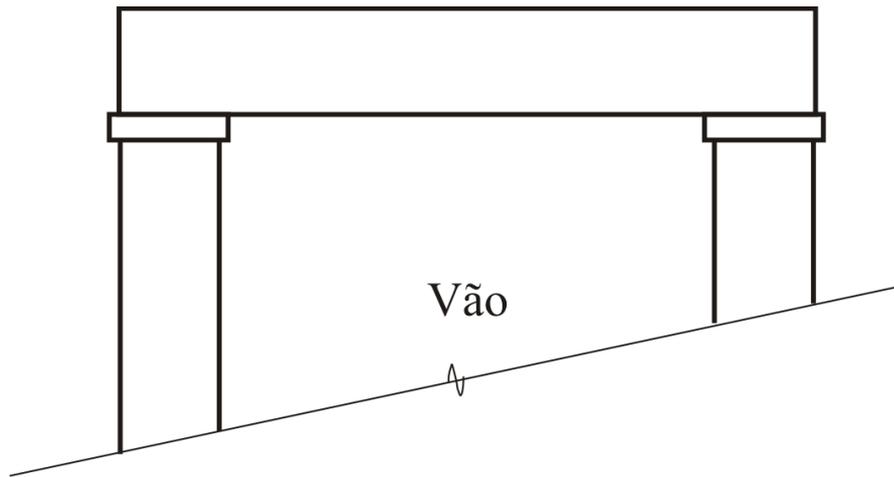


Capítulo 6 – Figura 94: Ombreiras segmentadas ou fracionadas, Cuartel de Dragones, Maldonado, Uy
(foto do autor).

6.2 – Vãos e Arcos:

Para que através de efeito didático, se compreendam as maneiras e procedimentos pelos quais se pode executar o fechamento superior de um vão, objetivando a decupagem projetual dos blocos, classificam-se essas maneiras como:

6.2.1 - Fechamento simples, quando executado com um único dintel monolítico aparelhado, cujo intradorso (face inferior) será sempre uma superfície plana e reta, paralela ao plano horizontal. Ainda que este vão não apresente arquitetura na forma arqueada, participa da classificação, pois estabiliza paredes de pedra (figuras 95 e 96).

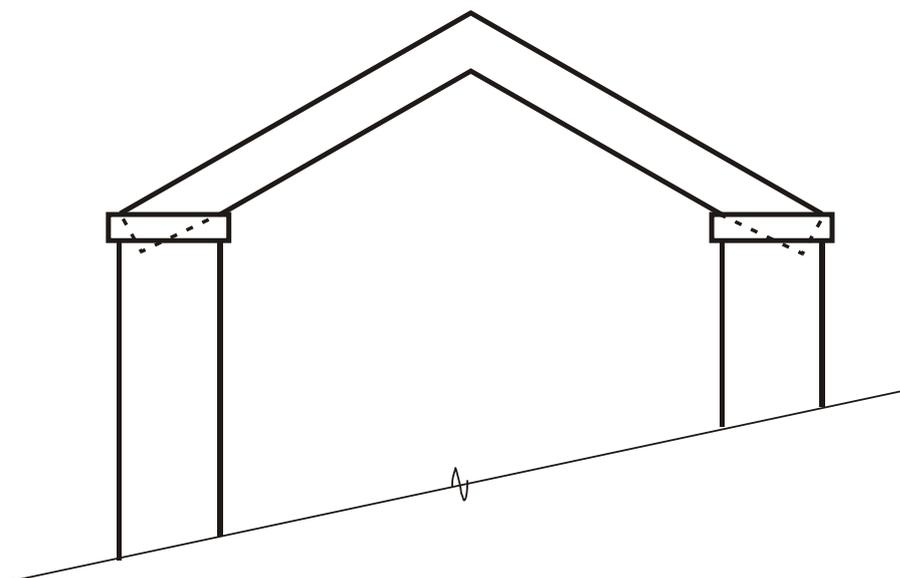


Capítulo 6 – Figura 95: Dintel monolítico (desenho do autor).



Capítulo 6 – Figura 96: Dintel Monolítico, Convento de Santo Antônio em Igarassú, PE (foto do autor).

6.2.2 - Fechamento com dintel apontado: É composto por bloco único: Quando o dintel acompanha o ritmo do frontão ou das águas do telhado (figura 97).



Capítulo 6 – Figura 97: Dintel apontado (desenho do autor).

6.2.3 - Circulares: É assim denominados o arco que apresente traçado curvilíneo, não necessariamente composto apenas de arcos de circunferência. A denominação se mantém em função do primeiro arco que assim se estabeleceu ainda na antiguidade. Afirma Robertson⁵¹, uma autoridade em História das Técnicas, em seu pormenor da Arquitetura: *“Foram os romanos os primeiros construtores da Europa, talvez do mundo a reconhecer completamente as vantagens do arco, da abóbada e da cúpula. Tanto o arco quanto a abóbada cilíndrica já eram utilizados de longa data no Egito e na Mesopotâmia e foram empregados com grande arrojo e com legítimo conhecimento de seus valores estruturais e estéticos”*.

Na foto abaixo, do interior da Capela de Nossa Senhora da Glória do Outeiro no Rio de Janeiro (figura 98), apresento a priori algumas arcadas de farta utilização arquitetônica:

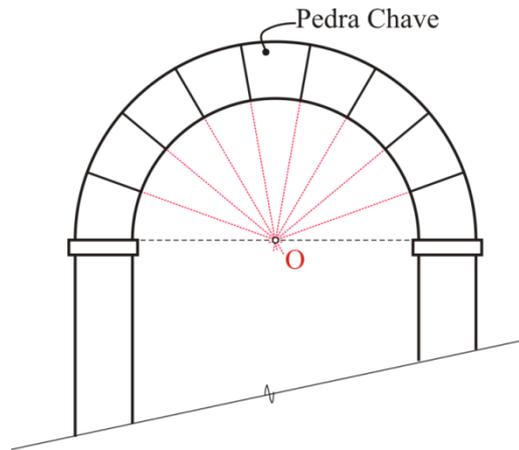
- No pórtico, um arco circular rebaixado.
- Sobre o coro, arco pleno ou romano.
- Sobre a cimalha alta, arco pleno alteado.
- Na junção das abóbadas cônica e cilíndrica, arco abatido.

⁵¹ ROBERTSON, D.S.. Arquitetura Grega e Romana. Martins Fontes, São Paulo, 1997.



Capítulo 6 – Figura 98: Arcadas de quatro espécies distintas: Rebaixadas, Plenas, Alteadas e Abatidas; Capela de Nossa Senhora da Glória do Outeiro, R.J. (foto do autor).

6.2.3.1 - Arco de Meio Ponto, Arco Romano ou **Arco Pleno**: o centro do arco estará no centro da distância entre (e no mesmo nível das) pedras impostas. A decupagem dos blocos deverá considerar a angulação para a colocação da pedra chave que estabilizará o sistema. O fracionamento da semicircunferência deverá portanto considerar obrigatoriamente um número ímpar de ângulos centrais (figura99).



Capítulo 6 – Figura 99: Arco Pleno, Romano ou de meio ponto (desenho do autor)

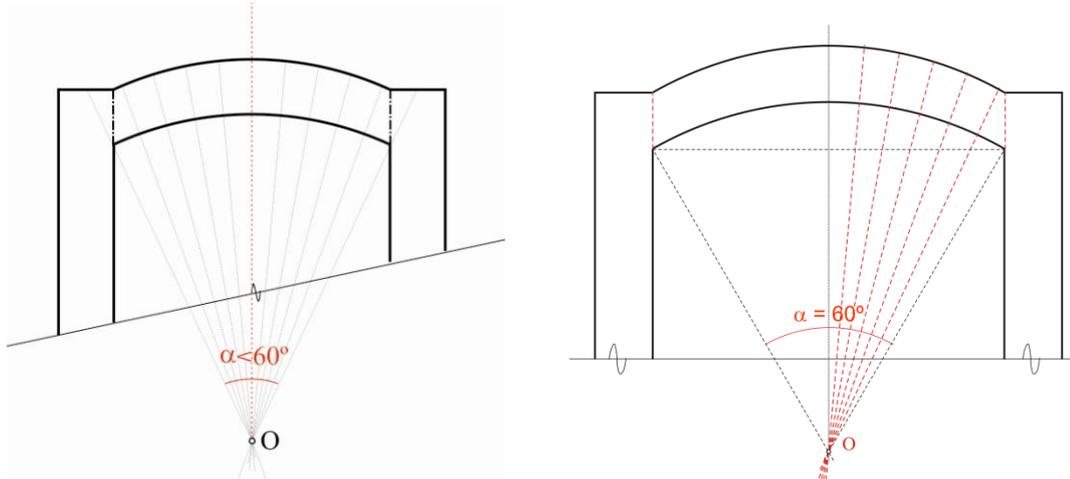
De construção imediata em função da rotina simples, os arcos plenos se identificam com as linguagens arquitetônicas executadas à maneira clássica. Em particular no Brasil foram utilizados no século XIX, quando do gosto neoclássico (figura 100).



Capítulo 6 – Figura 100: Fazenda de Café Neoclássica -Vale do Paraíba, R.J. (foto do autor)

6.2.3.2 - Arcos rebaixados são aqueles nos quais, o centro do arco estará sempre abaixo das pedras impostas ou dos arranques. Podem ser classificados em Simples ou Equiláteros, conforme sua morfologia.

- i. **Simples** (figura 101) – quando for fechado com arco referente a ângulo central de qualquer amplitude aguda, menor que 60° . Quando fracionado, este arco é construído por blocos de pedra de traçado particular, estabilizado tanto pelos esteiros, quanto pelas paredes laterais.



Capítulo 6 – Figura 101 e 101A: Arcos rebaixados, simples e equilátero (desenho do autor).

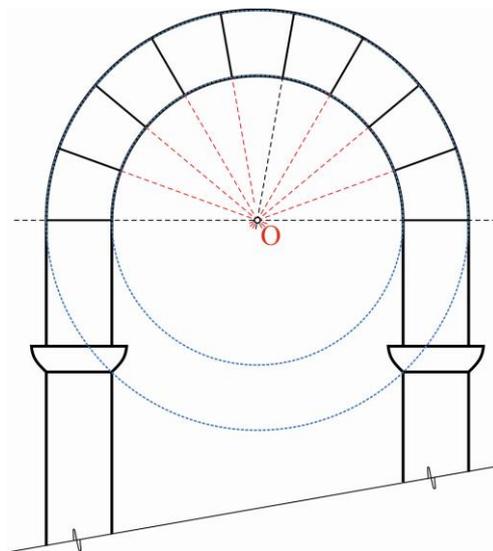


Capítulo 6 - Figura 102: Palácio dos Governadores de Ouro Preto, projeto José Fernandes P. Alpoim (foto do autor).

ii. **Arco Rebaixado Equilátero** (figura 101A) – O arco recebe esta denominação, quando é formado por arco referente a ângulo central de 60° . Sobre ambos, reza uma tradição na História das Técnicas da Arquitetura no Brasil, que são herança de José Fernandes Pinto Alpoim, hábil arquiteto militar, que os utilizou, por exemplo, no projeto do Palácio dos Governadores de Ouro Preto (figura 102).

6.2.3.3. - Arcos alteados: Recebem esta denominação os arcos plenos que possuam seu centro sempre acima do nível das impostas. Classificam-se em Simples e Falso Arco de Ferradura, também denominado Arco Árabe.

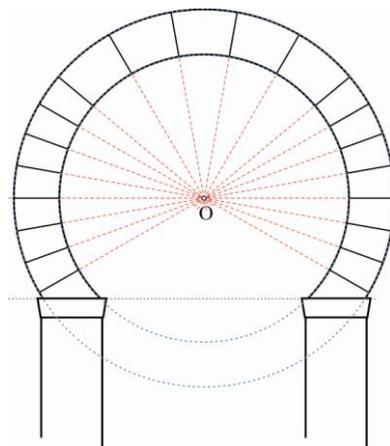
i. **Simples** (figuras 103 e 103A) – quando acima da pedra imposta se alteiam as ombreiras de maneira a elevar o arco, simulando abertura mais alta. Para a sua construção, procede-se à decupagem como no caso do Arco Romano.



Capítulo 6 – Figuras 103 e 103A: Arco alteado. Capela de N. Sra. da Glória do Outeiro, R.J.

(desenho e foto do autor).

ii. **Falso Arco de Ferradura ou Árabe** (figura 104) – é traçado com diâmetro maior que a largura do vão, o que leva a que o ângulo central deste arco seja maior que 180° . Rotineiramente se utilizam este arco, para imitar o Arco Mourisco em Ferradura.



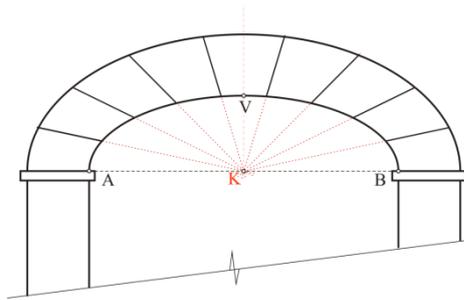
Capítulo 6 – Figuras 104: Arco Ferradura ou Falso árabe (desenho do autor).

A construção deste arco exige que as pedras impostas e as pedras de arranque do arco estejam muito bem engastadas no interior das paredes laterais, uma vez que o conjunto de forças atuantes no sistema atua na direção do ponto extremo inferior do diâmetro vertical do arco.

6.3 - Arcos Compostos por curvas cônicas (elipses, parábolas ou hipérbolas):

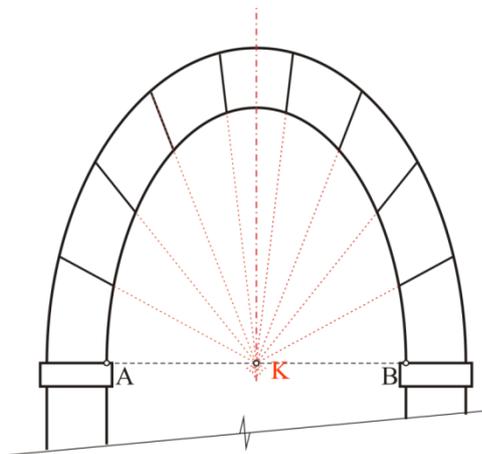
6.3.1 - Elípticos: São aqueles cuja elevação é definida por esta curva cônica. Podem ser classificados em rebaixados e alteados. A decupagem para a construção dos arcos elípticos poderá ser desenvolvida através dos focos da elipse ou ainda, em caso mais intrincado, através do centro do vão, no nível das impostas.

i. **Elípticos Rebaixados** (figura 105): Quando a forma elíptica é explorada de maneira que seu eixo maior coincida com a distância entre as ombreiras do vão.



Capítulo 6 – Figuras 105: Arco Elíptico rebaixado (desenho do autor).

ii. Elípticos Alteados (figura 106): Quando a forma elíptica é utilizada de maneira a possibilitar um vão mais longilíneo, de sentido predominantemente vertical, caracterizado por flecha maior que o vão.

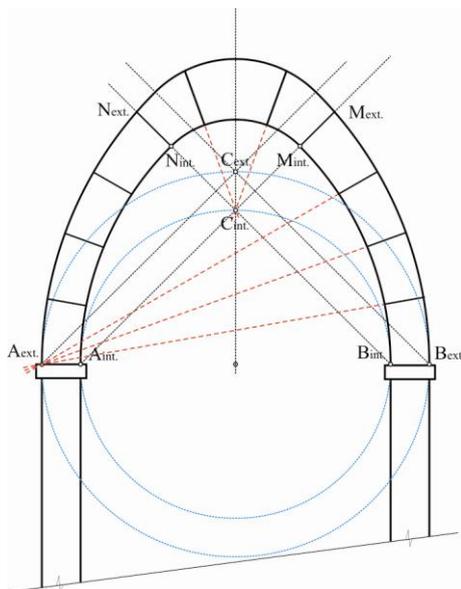


Capítulo 6 – Figura 106 - Arco Elíptico alteado (desenho do autor).

6.3.2 – Parabólicos (figura 107): Assim se denominam os arcos constituídos nesta curva cônica. Assemelham-se aos arcos elípticos alteados, todavia o apuro visual pode demonstrar as sutilezas das diferenças entre ambos. Via de regra, utiliza-se o processo construtivo da falsa parábola (também denominada de Arco Super Elevado), como descrevem Carvalho⁵² e Calfa⁵³, para a sua construção.

⁵² CARVALHO, Benjamin de A. Desenho Geométrico. Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro, 1989.

⁵³ CALFA, Humberto Giovanni. Desenho Geométrico Plano. Biblioteca do Exército Editora. Rio de Janeiro, 1997.

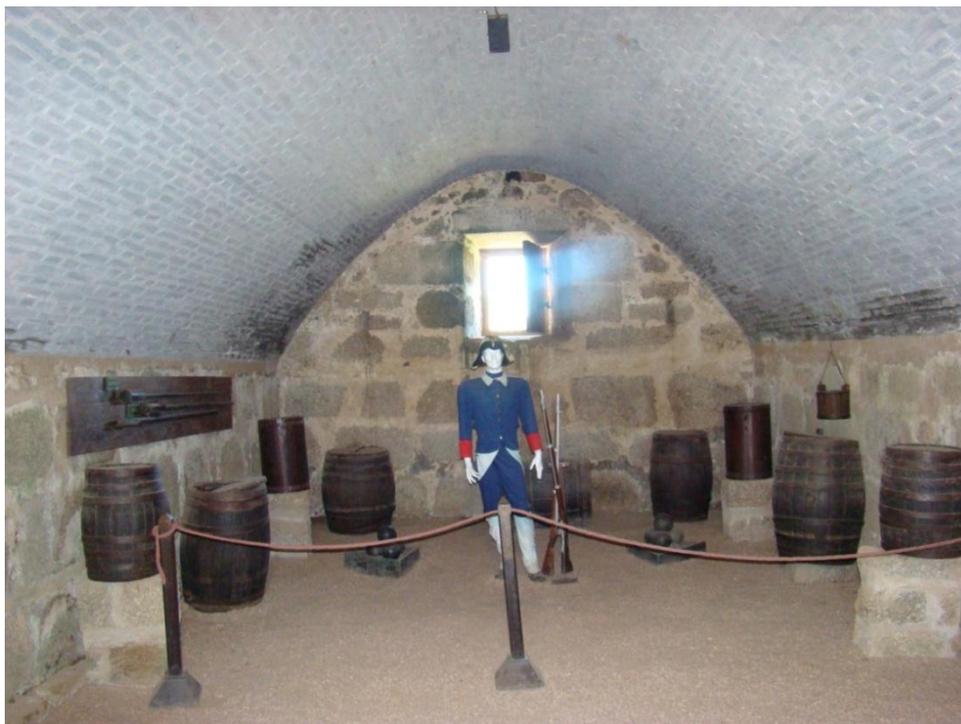


Capítulo 6 – Figura 107: Arco falso-parabólico (desenho do autor).

Segundo Carvalho afirma em seu livro supracitado, a rotina de construção para a decupagem deste arco é simplificada:

- I - Constrói-se uma semicircunferência cujo diâmetro seja igual à abertura do vão.
- II - Traçam-se OC, perpendicular ao diâmetro AB.
- III - Traçam-se as retas que passem por A e por B e destes pontos alcancem C, prolongando-as.
- IV - Com centro no ponto A e raio AB, traça-se o arco maior deste B até encontrar a reta que passe por AC no ponto de enlace M.
- V - Repetir esta operação com centro em B e mesmo raio, até o enlace N.
- VI - O arco de circunferência de centro C e raio CM complementa a falsa parábola.

6.3.5 - Hiperbólicos: São arcos nos quais em sua decupagem se utiliza a elevação hiperbólica. No século XVIII, os traçados hiperbólicos foram utilizados para estabilizar paióis de munição e pólvora, como se observa na Fortaleza de Santa Teresa, hoje em território uruguaio (foto 108). Embora a foto 108 empregada seja alusiva a uma abóbada hiperbólica, torna-se imperativa para a visualização destas arcadas.



Capítulo 6 – Figura 108: Cúpula em berço hiperbólico, Fortaleza de Santa Teresa, Uy (foto do autor).

6.4 - Arcos compostos por curvas especiais definidas: São aqueles arcos, que envolvem várias concordâncias em seu traçado. Sempre que se executa uma concordância, utiliza-se o ponto comum, que se denomina ponto de enlace. Os arcos compostos se subdividem em Abatidos e Aviajados ou Esconsos.

6.4.1 - Arcos abatidos ou Sarapaneis: São arcos de elevação baixa cujo número de centros sempre será ímpar, mas variável conforme o projeto. Para o fracionamento e projeto há que ser considerada a distância AB, largura do vão e a flecha MC (figura 108).

Rotina de traçado para a Decupagem:

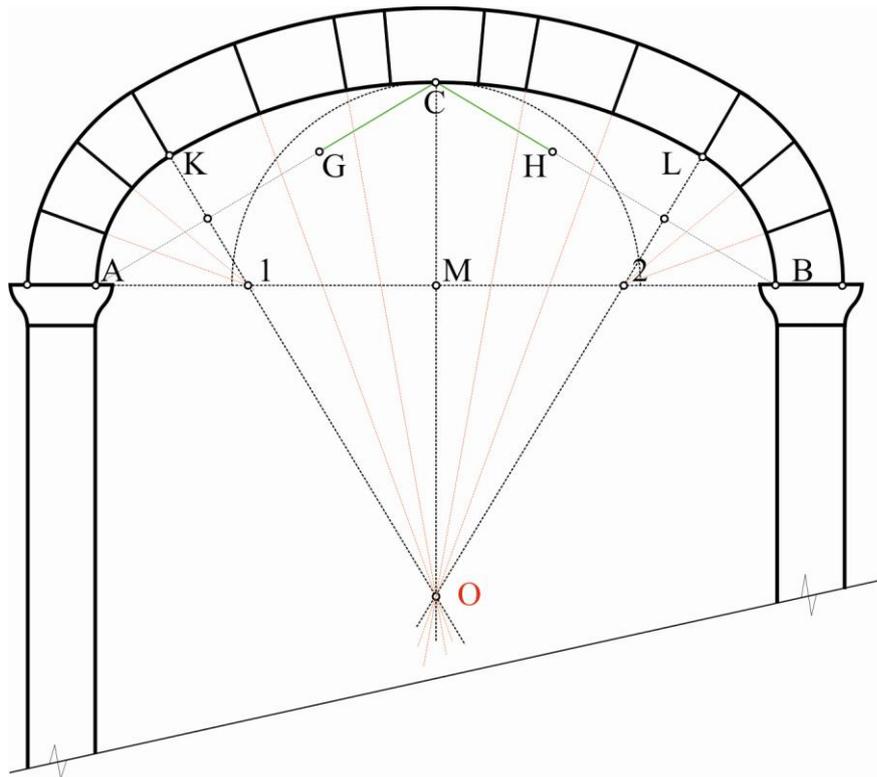
I - Com centro em M e raio MC, traça-se semicircunferência auxiliar.

II - Traçam-se os segmentos AC e BC.

III - Marcam-se CG e CH, iguais à distância de A ao ponto de interseção da semicircunferência com AB.

IV – Constroem-se as mediatrizes de AG e HB, que se encontrarão em O, centro do arco que passa em C.

V - Os pontos K e L são os pontos de enlace da primeira curva, com as curvas de centro 1 e 2, e raio igual às distâncias A1 ou B2, que complementam o Arco Abatido (figuras 109 e 109A).



Capítulo 6 – Figura 109: Arco Abatido de Três centros (desenho do autor).



Capítulo 6 – Figura 109A: Arco Abatido, Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro (foto do autor).

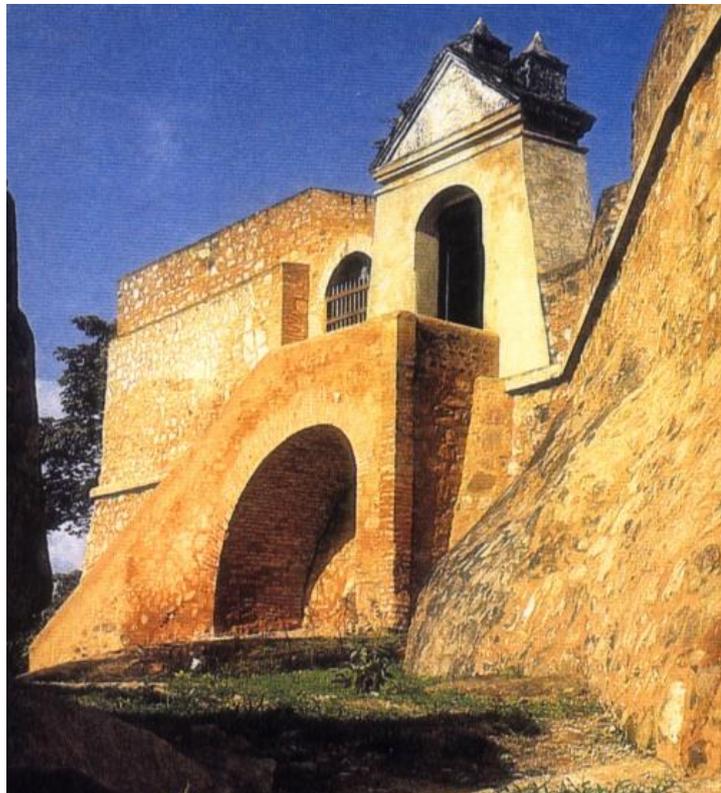
Os arcos abatidos foram utilizados desde o Brasil - Colônia. Na escolha por seu emprego, os arquitetos visavam, sobretudo, diminuir a flecha que existiria se usassem o arco pleno (semicircunferência) para vencer vãos largos. A opção pelo arco abatido ocorria portanto para que a altura do vão (ou flecha - medida desde o centro do arco pleno até seu ponto limite vertical) interferisse, forçando e elevando para cima o pé direito da edificação. A foto 109A mostra o acesso à galeria de celas do Mosteiro de São Bento, ilustra a questão do emprego do arco abatido.

Já a figura 110, mostra que se invés de arco abatido (que aliás possui dupla curvatura), o autor do projeto Antonio Pereira de Souza Calheiros e o arrematante José Pereira Arouca houvessem utilizado um arco pleno sobre o coro da Igreja de São Pedro dos Clérigos de Mariana, esta solução ultrapassaria em muito os limites da cimalha-real em função da flecha inerente ao arco pleno. Ao ultrapassar estes limites seriam forçados a elevar muito o pé direito (junto à cimalha) da edificação, causando além efeito plástico duvidoso. Ocorreriam também demandas estruturais para as quais, ainda não se conheciam soluções e que poderiam implicar em mudanças e modificações do projeto que alterariam a volumetria pretendida e conseguida. A mesma figura 110 mostra também um arco rebaixado equilátero, abaixo do coro.



Capítulo 6 – Figura 110: Arco abatido no coro de São Pedro dos Clérigos, Mariana, M. G. (foto do autor).

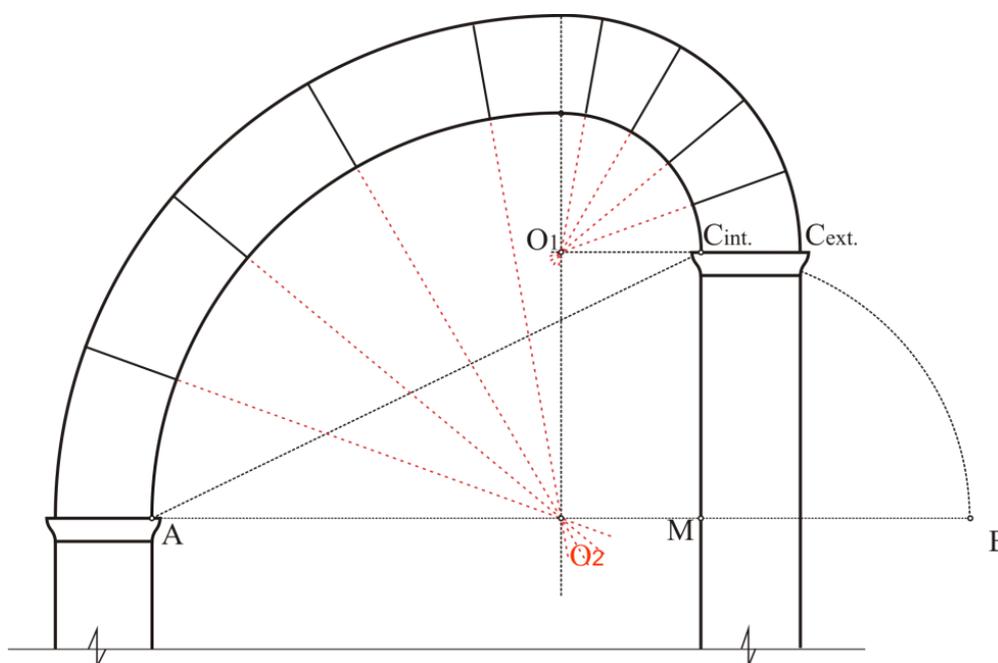
6.4.2 - Arcos aviajados: São arcos esconsos, que apresentam diversas construções baseadas em concordâncias. Um dos mais utilizados é o de dois centros.



Capítulo 6 – Figura 111: Arco Aviajado, sustentação de escada (autor desconhecido).

A rotina para a sua construção e fracionamento dos blocos que o constituem, dados o vão e a diferença dos níveis das impostas, impõe:

- I. Traçar AC, sendo A e C os pontos situados sobre as ombreiras do vão.
- II. A partir do ponto A, traçar uma perpendicular ao esteio direito no ponto M, suporte de C. Esta perpendicular AM, será suporte do ponto O2.
- III. Prolongar a reta AM, de uma unidade igual a diferença dos níveis de C e de A, após o esteio da direita, de modo que $MC=ME$.
- IV. Construir a mediatriz do segmento AE, que determina na reta sorte destes pontos o centro O2.
- V. Pelo ponto C, traçar CO1, paralelo a AM, que na interseção com a mediatriz traçada define o ponto O1. A mediatriz de AE será suporte dos dois centros (figura 112).



Capítulo 6 – Figura 112: Elevação com traçado do Arco Aviajado (desenho do autor).

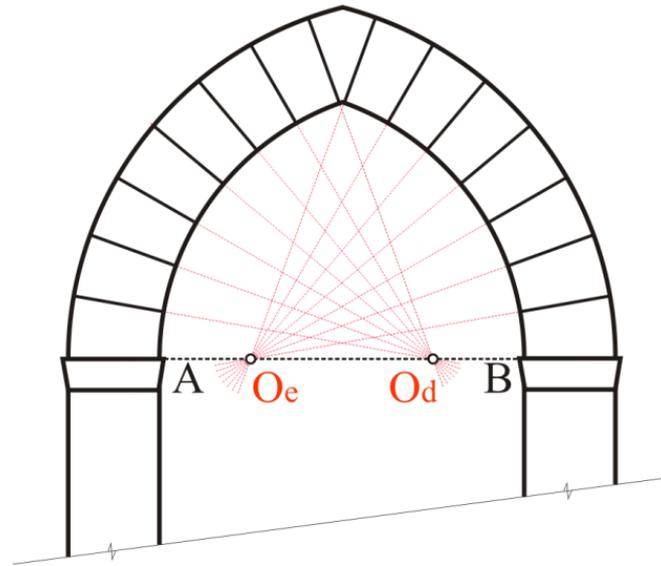
Os arcos aviajados são muito utilizados em arcadas e vãos suportes de escadarias, como demonstra a foto 111. Na complementar figura 113 mostra-se um exemplo de seu emprego no repertório da arquitetura em estilo art-nouveau, do final do século XIX e início do século XX; neste estilo em que esta geometria foi muito utilizada.



Capítulo 6 – Figura 113: Arco Aviajado - Manifestação Art Nouveau, R.J (foto do autor).

6.5 - Arcos de Ogiva: Característicos na arquitetura européia desde a Idade Média, Os arcos ogivais aparecem no Brasil com a romântica Arquitetura Neogótica. Classificam-se em Rebaixados, Equiláteros e Alteados, em função de sua morfologia.

6.5.1 – Rebaixados (figura 114): apresentam dois centros deslocados simetricamente sobre a linha das impostas. Quanto mais se aproximam estes centros do centro do vão, mais se abaixa o arco, aproximando-se do arco romano pleno.

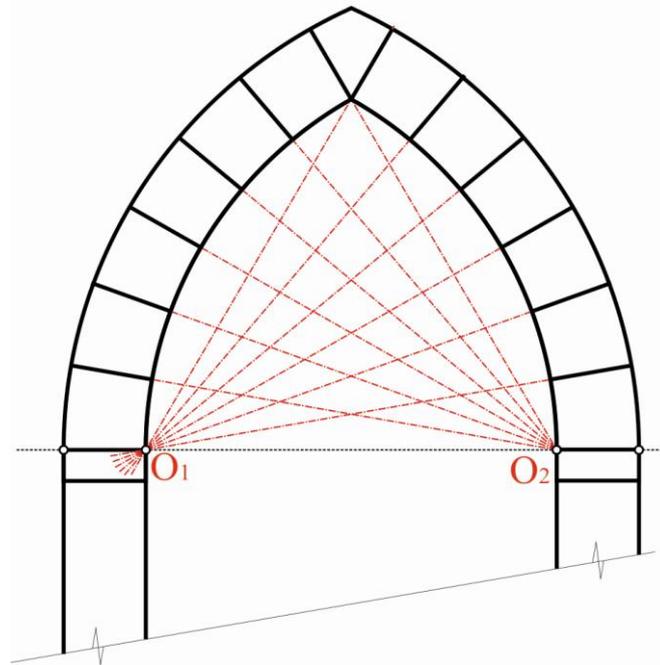


Capítulo 6 – Figura 114: Arco de Ogiva rebaixado (desenho do autor).

A construção dos Arcos de Ogiva Rebaixados apresentam a seguinte rotina:

- I. Sobre a linha das impostas AB, equidistantes destes dois pontos definir os pontos Oe e Od.
- II. De Od, com raio até o ponto A que se situa na pedra imposta esquerda, descrever o arco interno da esquerda.
- III. Com mesmo raio, repetir a operação a partir do ponto Oe.

6.5.2 - **Equiláteros:** Estes Arcos de Ogiva possuem elevações definidas a partir das propriedades dos ângulos centrais de 60° . Sua rotina construtiva considera que os centros se encontram nas laterais do vão, exatamente na quina das impostas (figura 115).



Capítulo 6 – Figura 115: Arco de Ogiva Equilátero (desenho do autor).

A figura 115A é do pórtico principal da igreja de Nossa Senhora Mãe dos Homens no Colégio do Caraça em Minas Gerais e demonstra a utilização da ogiva equilátera em monumento Neogótico no Brasil. Aqui, a concepção da decupagem foi considerada e nesta ermida procurou-se se aproximar da maneira Gótica. Alguns outros exemplos, como o Neogótico de Aphonso José Del Vecchio na Ilha Fiscal (figura 115B), no Rio de Janeiro, trazem-nos uma arquitetura que somente se assemelha à plástica utilizada na Idade Média, porém com a utilização de técnicas mais modernas de estereotomia do século XIX, onde as ogivas são apenas plásticas, sem função estrutural como arco, mas antes, suportando as cargas como um monolito vazado.

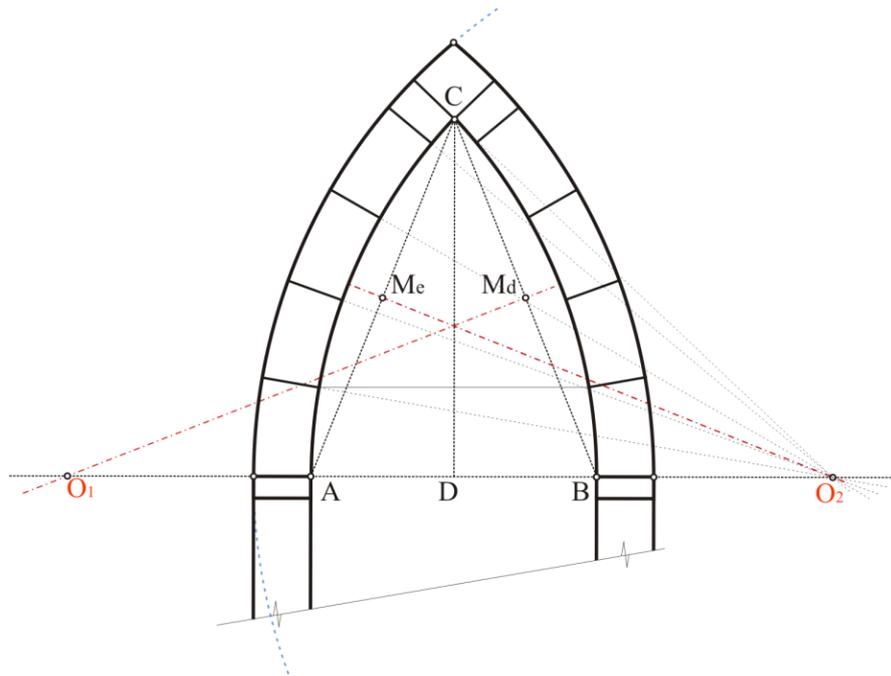


Capítulo 6 – Figura 115A e 115B: Arcos de Ogiva, de feitió variado (fotos do autor).

6.5.3 – Arco de Ogiva Alteado (figuras 116 e 116A): Arco de verticalidade muito acentuada, esta ogiva apresenta seu vértice mais distante da linha das impostas do arco. Na figura 116, verificar a curiosa pedra chave que na temática romântica da arquitetura Neogótica se insere como um pingente, ao tempo que estabiliza o arco.



Capítulo 6 – Figura 116: Arco de Ogiva Alteado, Vassouras, R.J. (foto do autor)



Capítulo 6 – Figura 116A: Elevação e decupagem de Arco de Ogiva Alteado (desenho do autor).

A rotina estabelecida por Penteadó⁵⁴ considera dois centros exteriores e equidistantes, em relação ao centro do vão:

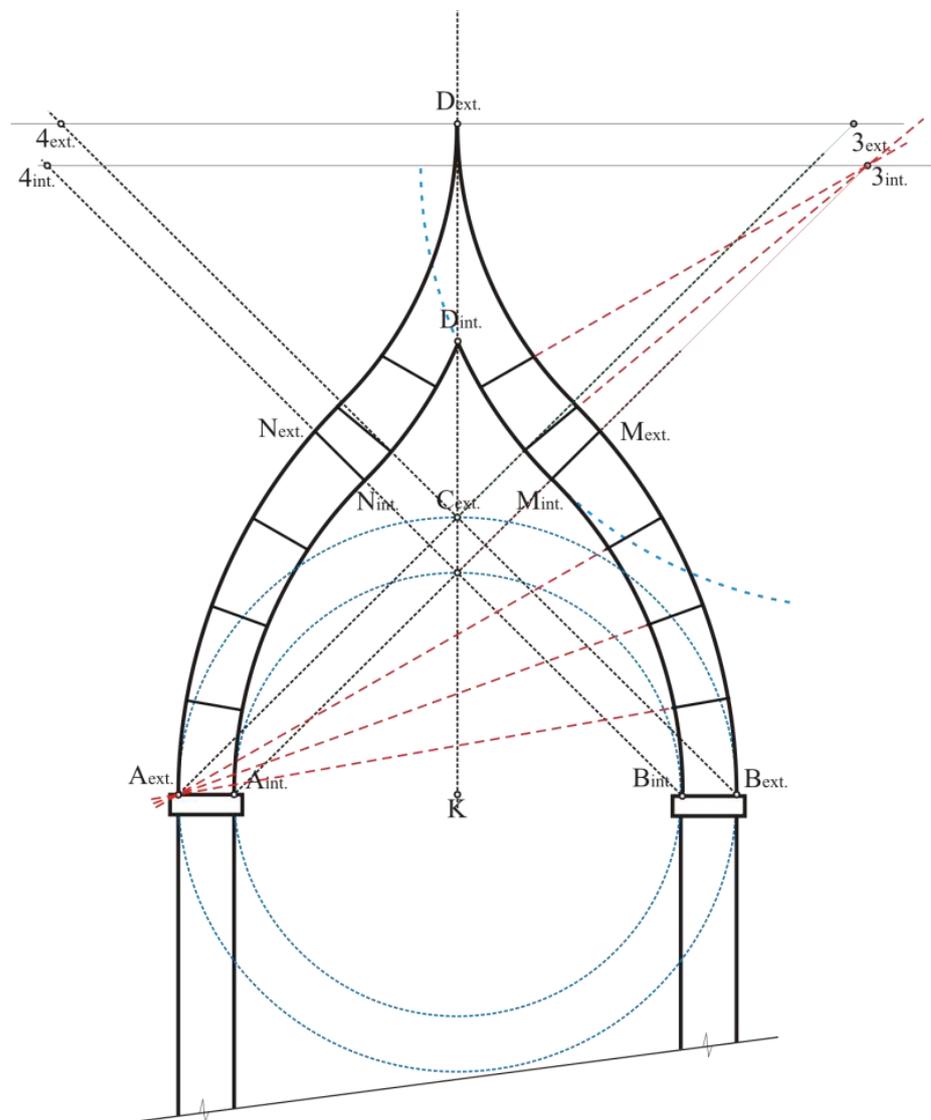
- I. Conhecendo-se o vão e a flexa, traçar AB com a mesma medida do vão.
- II. Após determinar o ponto D, médio do vão, traçar a perpendicular sobre a qual estará localizado o ponto C. Portanto CD é igual à flexa dada.
- III. Traçar AC e BC e construir as mediatrizes destes segmentos.
- IV. Os centros O1 e O2 se determinam na interseção dos prolongamentos de AB com as retas MeO2 e MdO1.

6.5.4 - Arco Gótico (Flamejante): Pouco encontrado em exemplos característicos do século XIX brasileiro, Penteadó também o denomina Arco de Ogiva Lanceolada. Para a sua construção, a medida do vão é determinante (figura 117).

- I. Construir a mediatriz de AB, a distância entre impostas, achando o ponto médio de AB, denominado na figura, K.
- II. Traçar a circunferência que tem centro neste médio e raio igual a metade do vão.

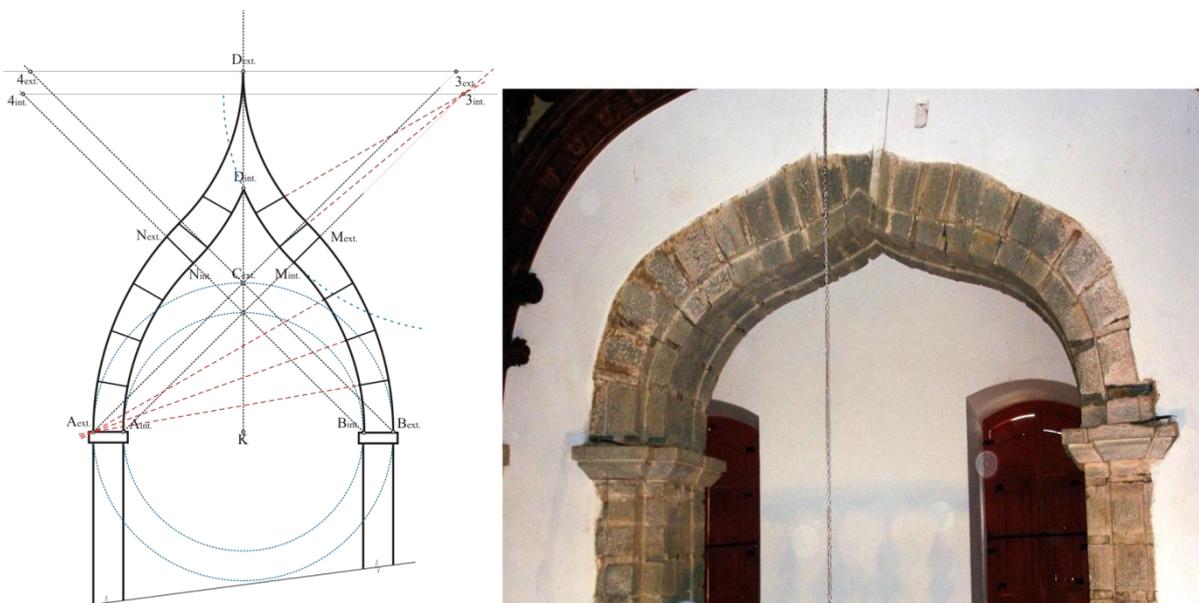
⁵⁴ PENTEADO, José de Arruda. Curso de Desenho. São Paulo Editora, 1972.

- III. Traçar as retas que partindo dos pontos A e B, atingem o ponto C e prolonga-las.
- IV. Traçar os arcos de centro A e B, ambos com raio AB, que determinam sobre as retas AC e BC prolongadas os Pontos M e N, de enlace e de mudança de sentido da curva da ogiva lanceolada.
- V. Determinar os pontos 3 e 4, respectivamente sobre as retas AM e BN, que distem AM de M, sobre seu prolongamento.
- VI. Os pontos 3 e 4 são os centros dos arcos de inflexão na parte mais elevada do arco.



Capítulo 6 – Figura 117: Elevação do Arco Flamejante (desenho do autor).

A estabilidade deste arco se mantém apesar da aparente fragilidade. Para este fim, a pedra chave pode ser decupada em diversas formas de mesmo contorno. Carvalho (1989) apresenta um traçado para este arco bastante simplificado, no qual suprime algumas construções enunciadas por Penteado (1972).



Capítulo 6 – Figura 117A e 118: Arco Gótico Flamejante, com largura maior que a flecha, São Pedro dos Clérigos, Mariana, M. G. (foto do autor).

O Arco Gótico Flamejante evidenciado na figura 118 apresenta largura maior que a flecha, ao contrário daquele da figura 117A. Sua estereotomia é impressionante, uma vez que sustenta imenso volume sobre o vão da capela mor da ermida. Este arco foi lavrado e montado na metade do século XVIII; o paramento no qual se instala é uma superfície cilíndrico-reta, de diretriz circular o que lhe confere a característica de arco de dupla curvatura.

6.6 - Arco Bulbiforme: Este arco, embora pouco utilizado nos pórticos, foi muito usado para coberturas de torres sineiras (figuras 119 e 120).

Para Penteado (1972), a rotina de construção se impõe da seguinte maneira, uma vez dados o vão e a flecha:

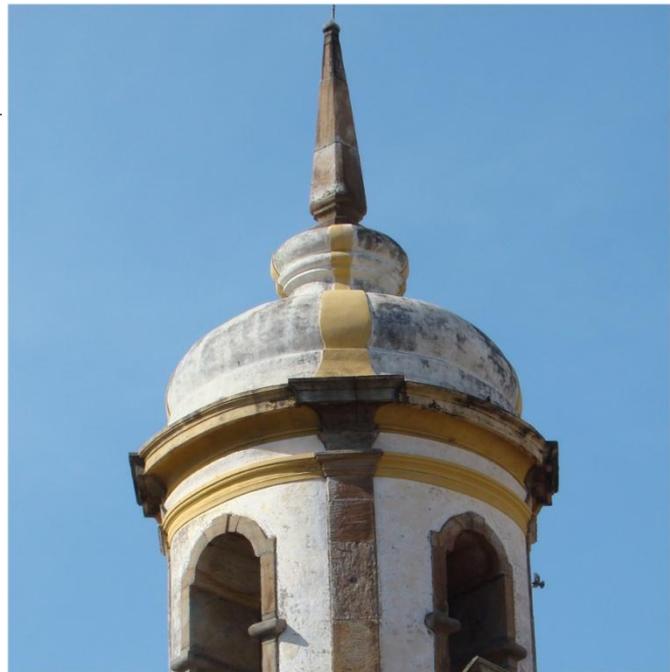
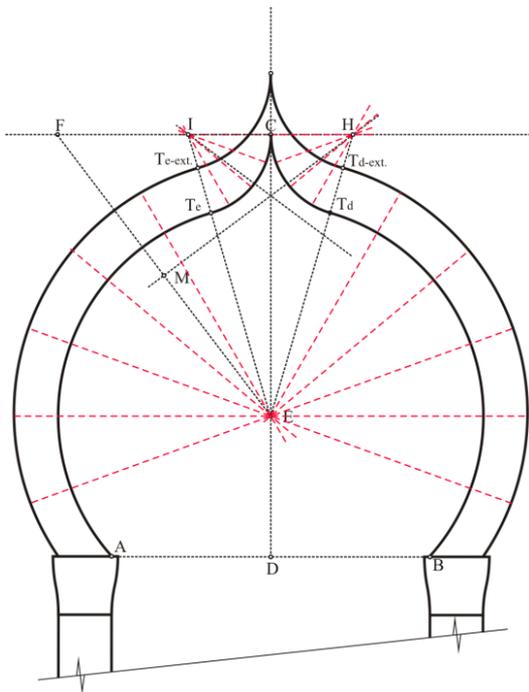
- I. Uma vez marcada a flecha no ponto médio do vão AB, dividir esta flecha em três segmentos iguais. No primeiro terço, considerar o ponto E.
- II. Marcar a distância EB, paralelamente ao vão, determinando o ponto F.
- III. Traçar EF e sua mediatriz, que determina o ponto médio M. Esta mediatriz cortará CF em H.

IV. Simetricamente ao ponto H, marcar o ponto I.

V. Os arcos de centro E e raio EB e de centro E e raio EA constituem a parte mais inflada do bulbo.

VI. Os arcos de centro H e I, e raio HC = HT, complementam o bulbo.

Convém salientar que assim como no Falso Arco de Ferradura, a construção exige que as pedras impostas e as pedras de arranque do arco estejam muito bem engastadas no interior das paredes laterais, uma vez que o conjunto de forças atuantes no sistema atuam na direção do ponto extremo inferior do diâmetro vertical do arco.



Capítulo 6 – Figuras 119 e 120: Arco Bulbiforme - Elevação para decupagem e Campanário Bulbiforme na Igreja da Ordem Terceira de S. Francisco, Ouro Preto, M. G. (desenho e foto do autor).

6.7 - Arco Inflexo - também denominado Arco Cangalha de Boi: O Arco Inflexo foi utilizado com frequência em vãos, fachadas e como estrutura de sustentação.

A rotina de marcação desta estrutura também é definida por Penteadó (1972):

I. Dados o vão AB e a flecha, determinar D, o ponto médio de AB.

II. Em A e em B, Traçar perpendiculares a AB.

- III. Traçar as retas AC e BC, sendo C o ponto máximo da flecha vertical.
- IV. Determinar as mediatrizes e os pontos médios de AC e de BC na figura, Ed e Ee.
- V. Determinar as mediatrizes de EeC e EdC.
- VI. A interseção destas mediatrizes com a flecha vertical DC determina o ponto F, centro da parte superior do arco.
- VII. Os pontos Oe e Od, determinados pelo prolongamento de FEe e de FEe, são centros das inflexões que nominam este arco (figura 123).



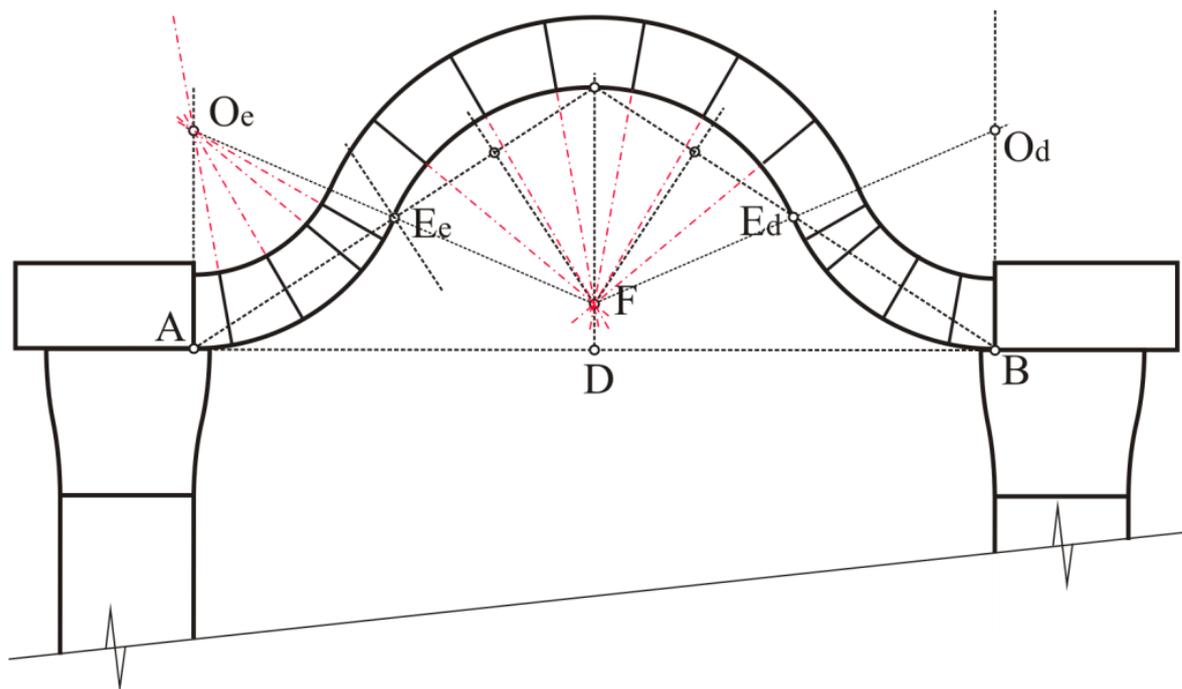
Capítulo 6 – Figura 121: Arco Inflexo; derivação na Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto, M.G.

(foto do autor).



Capítulo 6 – Figura 122: Arco Inflexo; derivação na Capela de N. Sra. do Rosário, Tiradentes, M.G. (foto do autor)

Seus exemplos mais eloqüentes são as aplicações como suporte do coro da Igreja de São Francisco de Assis de Ouro Preto (figura 121), de Antônio Francisco Lisboa, o Aleijadinho e na fachada da Capela da irmandade de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos de Tiradentes, ambas em Minas Gerais (figura 122). Em ambos os projetos os autores reinterpretaram a inflexão, mantendo a estrutura geométrica intocada.



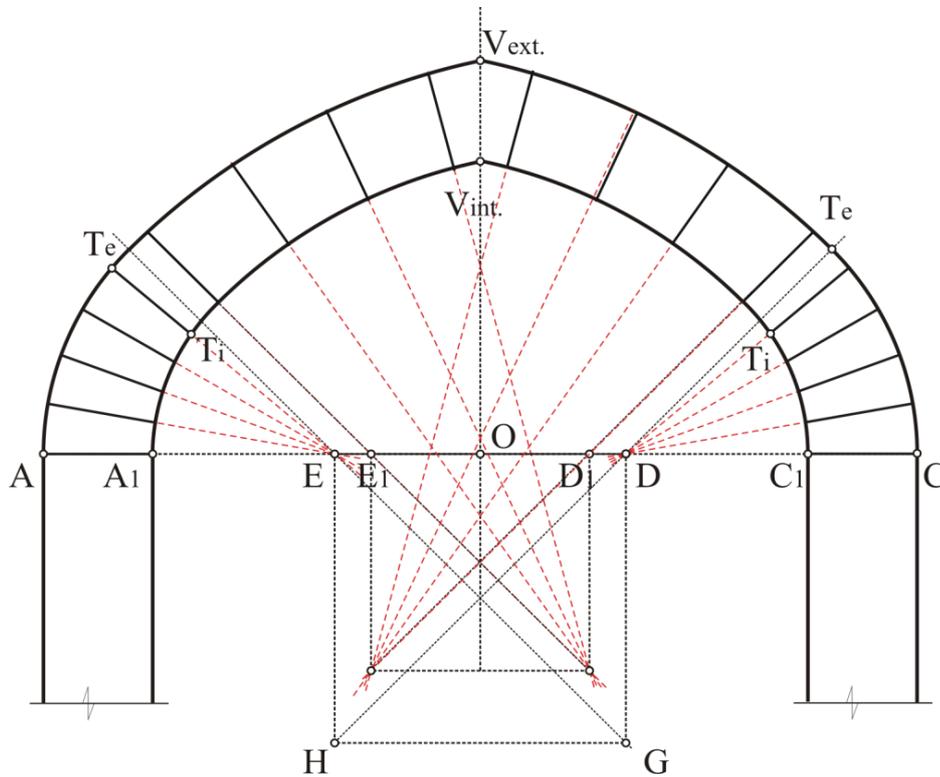
Capítulo 6 – Figura 123: Arco Inflexo (desenho do autor).

6.8 – Arcos de origem diversa: Arrolo aqui os arcos arquitetônicos que eventualmente puderam ter sido empregados em nossa arquitetura, porém como manifestações isoladas, sem reconhecimento de conjunto.

6.8.1 - Arco Tudor (Figura 124): embora seja muito utilizado em repertórios decorativos, os Arcos Tudor não foram integrados ao repertório plástico formal no Brasil até o final do século XIX. Seu nome é alusivo à dinastia que se estabeleceu na Grã Bretanha, em finais da Idade Média, perdurando de 1457 a 1603. A rotina para sua construção para a lavra em pedra é sugerida, baseada em Carvalho (1989):

- I. Dado o vão AC, construir a sua mediatriz, que será a referência vertical de traçado do arco. O ponto médio é o ponto O.
- II. Dividir AC em terços, definindo os pontos E e D.
- III. Para baixo de AC, construir o quadrado EHGD, cujo lado é igual ao terço determinado.
- IV. Traçar as diagonais do quadrado, prolongando-as para cima.
- V. Os arcos de centros E e F, de raios EA definem o traçado do arranque da curva, junto às impostas.

VI. Os arcos de centros G e H e raios GT1 e HT1, descreverão e complementarão o Arco Tudor.

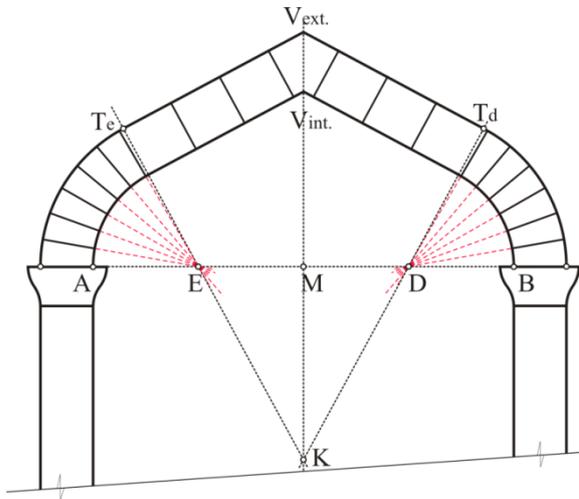


Capítulo 6 – Figura 124: Arco Tudor – Elevação para decupagem (desenho do autor).

6.8.2 - Arco Otomano (Figuras 125 e 126), também conhecido como Arco Tudor Reto): Para a construção deste arco, se faz necessário o prévio estabelecimento e conhecimento da distância AB e da Flecha MV. Eis a rotina de construção da elevação deste arco:

- I. Dividir AC em quatro segmentos de grandezas iguais.
- II. A partir dos pontos E e D, construir um triângulo equilátero cujos lados devem encontrar a mediatriz de AB, no ponto K.
- III. Estes lados do triângulo equilátero auxiliar, KE e KD devem ser prolongados, em sentido do exterior.
- IV. E e D, serão centros dos arcos de raio EA, arranques do arco otomano, junto às impostas.

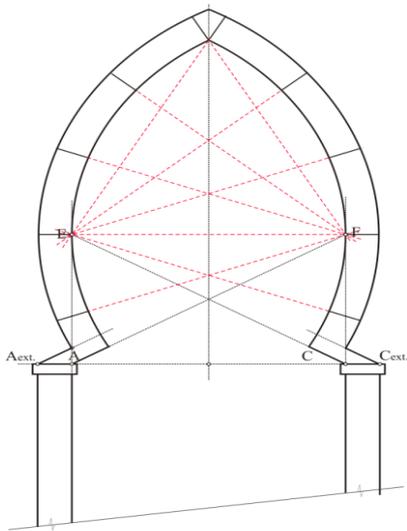
V. Nos pontos de enlace T_e e T_d , traçar perpendiculares às retas TE_e e TdD .
Estas perpendiculares complementam ao Arco Otomano.



Capítulo 6 – Figuras 125 e 126: Arco Otomano – Elevação para decupagem (foto e desenho do autor).

A figura 126 mostra a portada do Castelo do barão de Itaipava, em Petrópolis no Rio de Janeiro, construído em 1920, na qual se utilizou o Arco Tudor Retilíneo ou Arco Otomano.

6.8.3 - Arco Mourisco (figuras 127 e 128): A estereotomia arquitetônica também se aplica à decupagem do Arco Mourisco cuja precedência nos foi legada através da herança legada por via da península ibérica. Sua rotina envolve, segundo Carvalho (1989):



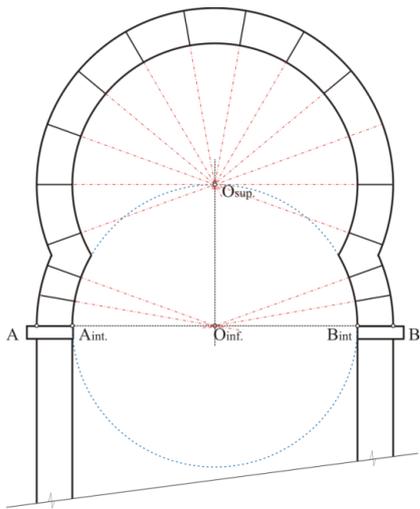
Capítulo 6 – Figura 127 e 128: Arco denominado Mourisco (desenho do autor) e foto da Plaza de Toros de Colonia del Sacramento, Uruguay (foto do autor)

A rotina para a decupagem foi estabelecida por Carvalho⁵⁵:

- I. Seja o vão caracterizado abaixo pelo segmento AC.
- II. Prolongar as perpendiculares a AC, nos pontos A e C.
- III. Nos vértices A e C, construir ângulos de 30° , de modo que o lado superior ira interceptar a vertical oposta, nos pontos E e F.
- IV. Com centro em E e em F e traçar os arcos cujos limites são as retas que fazem 30° com AC.

6.8.4 - Arco Mourisco em Ferradura (figuras 129 e 130): Para a construção do Arco Mourisco em ferradura é imperativa a decupagem dos blocos de pedra segundo o procedimento abaixo:

⁵⁵ CARVALHO, Benjamin. Desenho Geométrico. Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro, 1989.

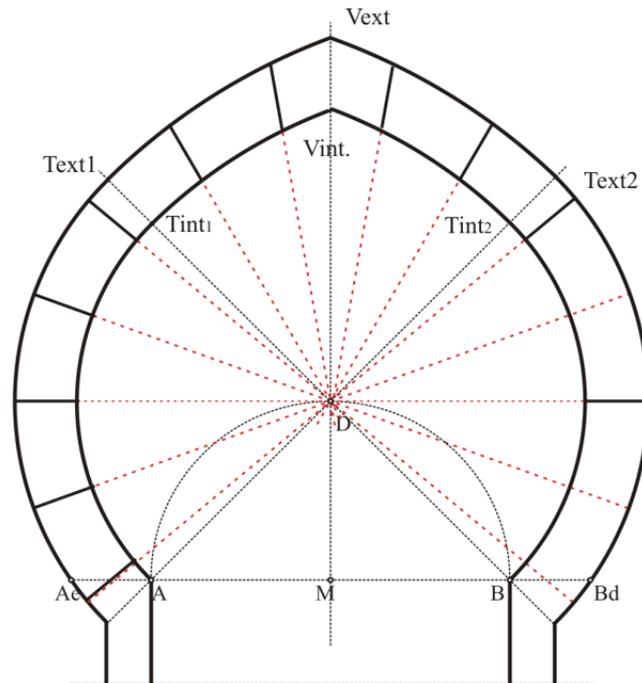


Capítulo 6 – Figuras 129 e 130: Arco Mourisco em Ferradura , Plaza de Toros, Colonia del Sacramento, Uy.

desenho e foto do autor)

- I. Traçar o vão AB e através de seu ponto médio a reta perpendicular que passará contera os centros O_{sup.} e O_{inf.}
- II. Traçar a circunferência de centro O_{inf.} , cujo diâmetro seja AB.
- III. Transladar verticalmente o ponto O, de maneira que se aloje sobre a circunferência anteriormente traçada, em seu ponto vertical máximo.
- IV. Este ponto será o centro da segunda circunferência, superior que formata o arco.

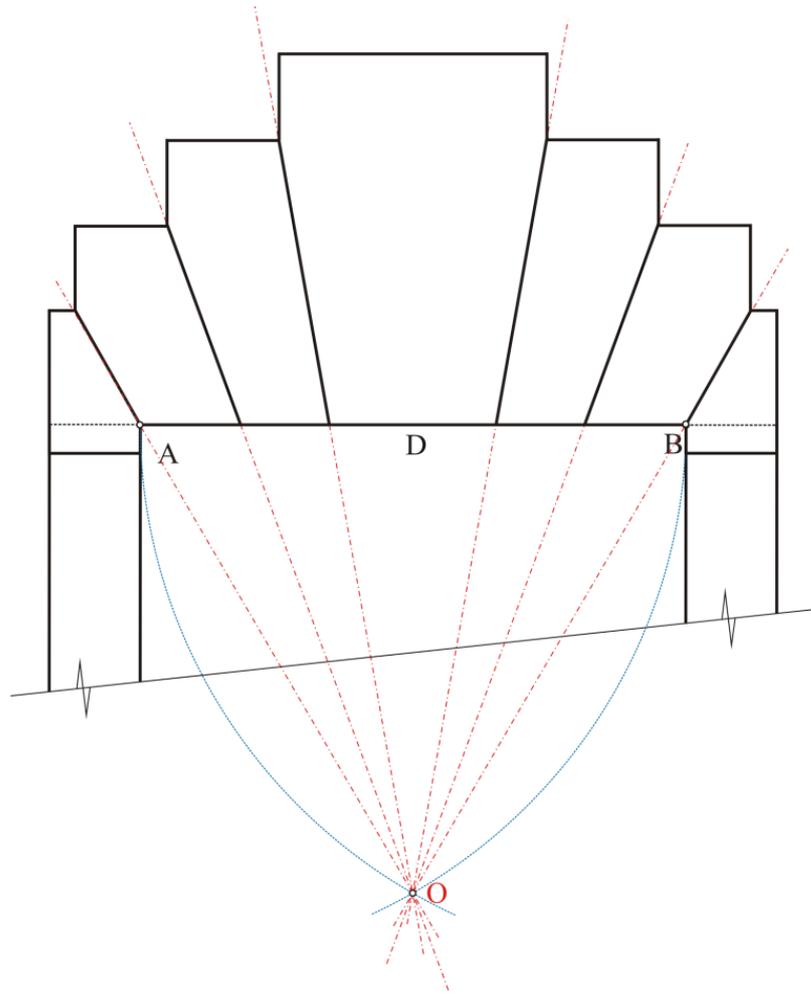
6.8.5 - Arco de Ferradura: Para Penteadó (1972) o desmonte e a lavra para o arco ogival de ferradura obedecem ao critério que se segue após a figura 131:



Capítulo 6 – Figura 131: Arco Ogival em Ferradura (desenho do autor).

- I. Traçar o segmento AB igual ao vão e sua mediatriz.
- II. Descrever a semicircunferência de centro M e raio MA, que corta a mediatriz de AB em D.
- III. Traçar e prolongar AD e BD.
- IV. Com centro em D e raio AD, descrever os arcos AT e BT.
- v. Com centro em A e em B e raio $AT = BT$, descrever as curvas superiores do arco ogival em ferradura.

6.9 - Arco de Dintel Fracionado ou falso retilíneo (figura 132): esta solução de estabilidade vem se assemelhar plasticamente ao arco de dintel único retilíneo. Todavia o Arco de Dintel Fracionado é aduelado, ou seja, é composto de diversas pedras estereotomicamente esculpidas para habitar tão somente seu lugar na estrutura. Este arco tem seu comportamento em termos de estabilidade semelhante ao de todos os arcos. Embora se possa verificar seu desenho na figura abaixo, suas condições de estabilidade e de decupagem serão objeto de análise no capítulo 7.



Capítulo 6 – Figura 132: Arco de dintel fracionado (desenho do autor).



Capítulo 6 - Figura 133: Arco de Dintel Fracionado, Missão Jesuítica de Trinidad, Py. (foto do autor)

Para a lavra das aduelas (ou simplesmente duelas), procede-se da seguinte maneira:

- I. Divide-se o vão AB em número ímpar de partes iguais; o motivo para essa opção é que ao centro deve se constituir a pedra chave. Para um vão normal, não muito extenso, a divisão em cinco é harmoniosa.
- II. De A e de B, traçam-se arcos que se interceptem no ponto O, o que remete a ângulo central de 60° .
- III. A partir deste centro O se traçam retas que passarão pelos pontos de divisão, determinando as junções das aduelas.
- IV. Convém salientar que apesar do comportamento semelhante aos demais arcos, o Arco de Dintel Fracionado apresenta flecha nula.

Os procedimentos técnicos voltados para a decupagem projetual dos arcos, ficam assim determinados e classificados. Estão conhecidos e associados ao estilo arquitetônico em que foram utilizados pelo homem. Mas, antes de discorrer sobre a decupagem dos vãos, convém salientar após a análise exposta no Capítulo 6, que os vãos sempre foram denominados em função do aspecto e da forma de sua projeção vertical (ou elevação), buscando-se sempre nesta projeção uma representação em verdadeira grandeza.

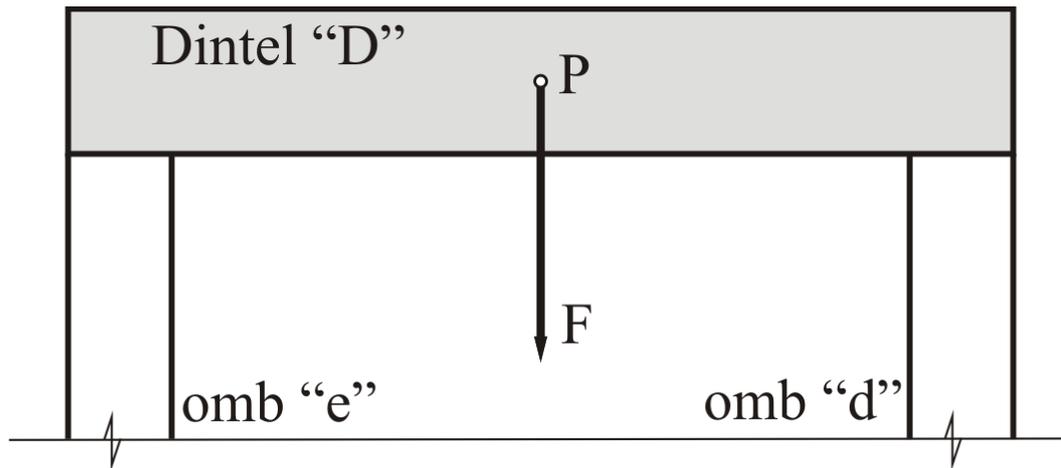
Passo então ao capítulo 7 para examinar detalhadamente a decupagem para aparelhamento dos arcos que se podem verificar na Arquitetura do Brasil, até o século XIX. Com o conhecimento das técnicas mais comuns, mais freqüentes em nossa arquitetura, também se distinguirão a técnica e os princípios fundamentais da estereotomia arquitetônica e o conseqüente fracionamento aplicável para a estabilidade de arcos, abóbadas e cúpulas.

Capítulo 7 - Decupar objetivando a estabilidade dos vãos.

7. 1 - Dintéis Fracionados

Antes de discorrer sobre a decupagem dos vãos, convém salientar após a análise exposta no Capítulo 6, que os vãos sempre foram denominados em função do aspecto e da forma de sua projeção vertical (ou elevação), buscando-se sempre nesta projeção uma representação em verdadeira grandeza.

Seja a peça prismática de pedra suportada pelas ombreiras “omb E” e “omb D” e sobre estas ombreiras, o dintel “D” conforme a figura 134. Sobre este dintel atua uma força representada pelo vetor PF, cuja intensidade varia aumentando. Se esta força continuar aumentando, o dintel poderá quebrar-se, pois a pedra apresenta pouca resistência, como já analisado na introdução desta tese, a esforços de flexão. A ruptura do bloco não é anunciada, uma vez que a pedra, ao contrário da madeira, não empena encurvando-se, mas antes se estilhaça quebrando-se repentinamente.



Capítulo 7 - Figura 134: Força atuante em dintel monolítico

Quanto maior a dimensão do vão, maiores serão as cargas a que o dintel estará se sujeitando, o que teoricamente torna a ruptura mais fácil e iminente.

Antes que este limite aconteça é inteligente empregar peças particionadas para compor o dintel à maneira de um arco de flecha igual a zero, que em perfeita simbiose entre os dois sistemas se denominará arco adintelado (figura 135).

Uma máxima em estereotomia afirma que assim como a pedra resiste pessimamente a aos esforços de flexão, por outro lado é um material que resiste de maneira excelente à compressão. De posse desta certeza é possível se re-equacionar a questão do dintel comprido de outra maneira: comprimido.

Na figura 136, o vão (A)(B) é formado pelos apoios laterais nas ombreiras omb"e" e omb"d". Se por definição as dimensões do vão não aceitarem peça prismática única torna-se imperativo recorrer à divisão do dintel, para que após a segmentação cada parte trabalhe isoladamente por si, transformando o sistema. Esta transformação provoca a mudança do esforço altamente prejudicial de flexão, em esforço benéfico de compressão.



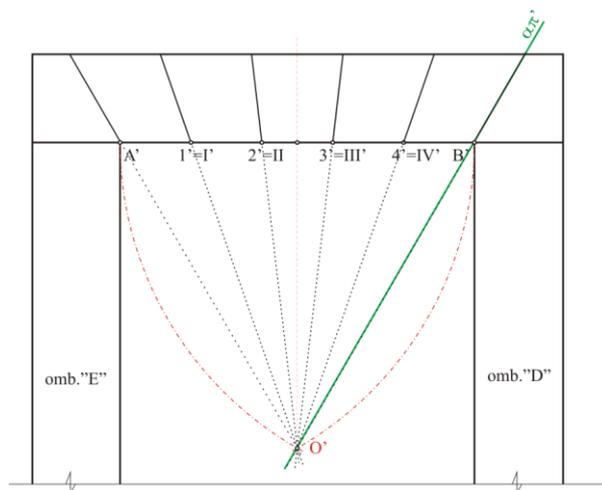
Capítulo 7 - Figura 135: Arco adintelado, Forte San Miguel, Uy (foto do autor).

7.2 - A decupagem de um dintel retilíneo.

No procedimento de decupagem do vão de largura igual a AB , por conforto, considerarei este vão AB , fronto-horizontal.

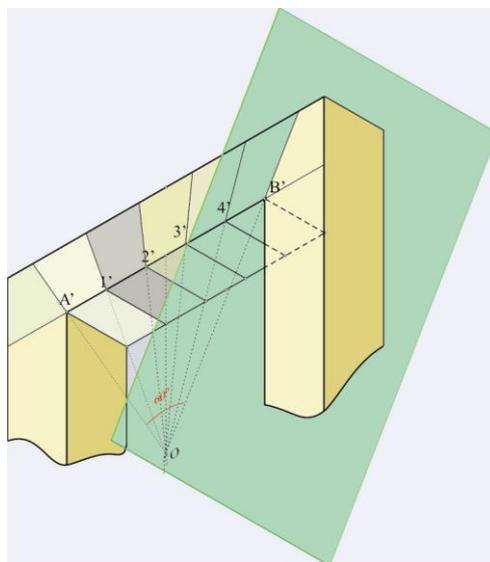
- I. Dividir o segmento AB em número ímpar de partes iguais. A divisão do segmento AB também divide o plano horizontal do intradorso do arco adintelado no mesmo número de partes, definindo na figura 135 os segmentos (1)(I),(2)(II),(3)(III) e (4)(IV), todos de topo.
- II. Fazer centro nos extremos A e B e determinar o ponto O , que vê AB sob ângulo central de 60° .
- III. Do ponto O , dirigir retas auxiliares que passem pelos pontos de divisão de AB , A_1, A_2, A_3, A_4 , e B .

- IV. Em verdade estas retas AO, O1, O2, O3, O4, e OB, são traços verticais de planos de topo (como o traço vertical $\alpha\pi'$, da figura 136) que passam pelos segmentos de topo resultantes da divisão do intradorso do dintel.



Capítulo 7 - Figura 136: Decupagem de um dintel - elevação (desenho do autor).

Assim sendo, utiliza-se “n” planos de topo, sendo “n” um número ímpar, que definirão no dintel horizontal os blocos prismático-trapezoidais (em forma de cunha) para a decupagem. Na figura 137, apresento uma perspectiva isométrica ilustrativa desta análise.

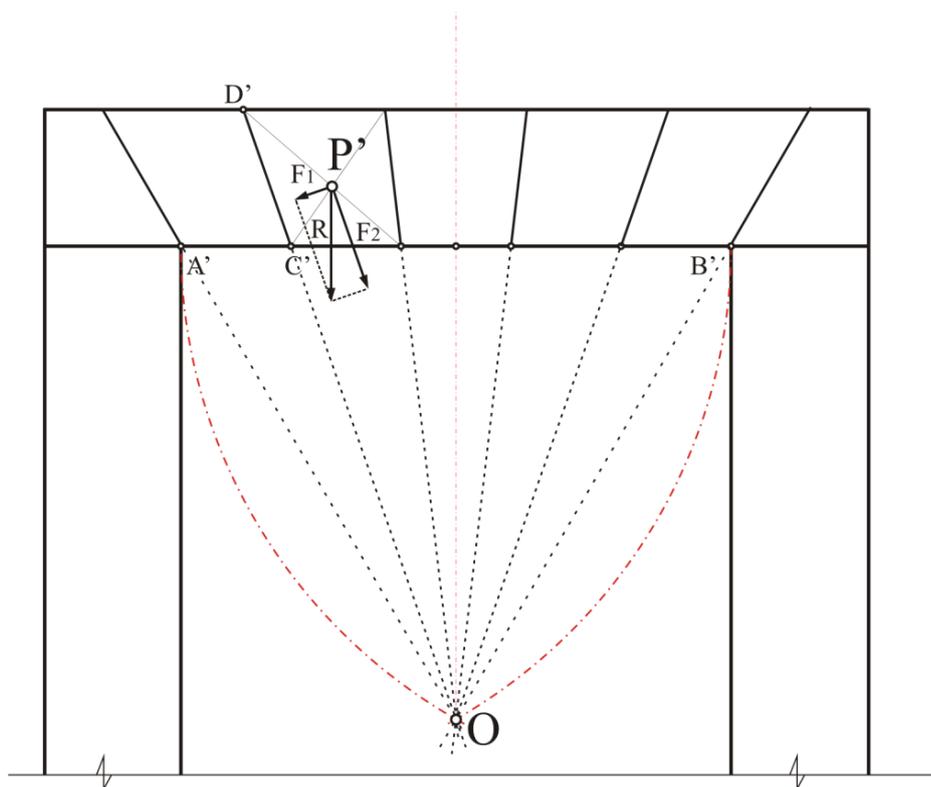


Capítulo 7 - Figura 137: Perspectiva da decupagem em dintel (desenho do autor).

Na figura 138, o ponto P' é o ponto de aplicação da força F, resultante do peso que atua sobre esta aduela do dintel. Esta resultante é decomposta nas forças F1 e F2, que são respectivamente, a primeira perpendicular e a segunda, paralela à junta C'D'. Se estiverem escoradas na parede de ambos os lados do dintel, o conjunto estará estável.

A força F_1 será um vetor “frontal”, perpendicular ao plano de topo que secciona o dintel. Sendo perpendicular ao plano da junta, F_1 faz a pedra trabalhar a compressão. Desta maneira este trabalho é favorável e é anulado pela própria resistência da pedra.

Quanto à força F_2 , ela também é frontal mas pertencente ao plano de topo que determina a junta na pedra e assim sendo faz com que a pedra tenda a escorregar, tendo a vocação natural da descida resvalada através da sua superfície lateral, com propensão a abandonar o local a ela destinado; porém a forma de cunha torna esta tendência impossível, sendo impedida pela pedra vizinha, transformando o esforço de deslizamento em outro tipo de ação, de pressão sobre a pedra imediata. Assim sucessivamente as pressões laterais se dissipam através da pedra-saimel. A resultante de todas estas forças de empuxo na pedra saimel pode ser decomposta em uma força vertical que comprimirá a ombreira e outra horizontal que comprimirá a salmer (ou saimel) contra a parede na qual o vão está vazado.



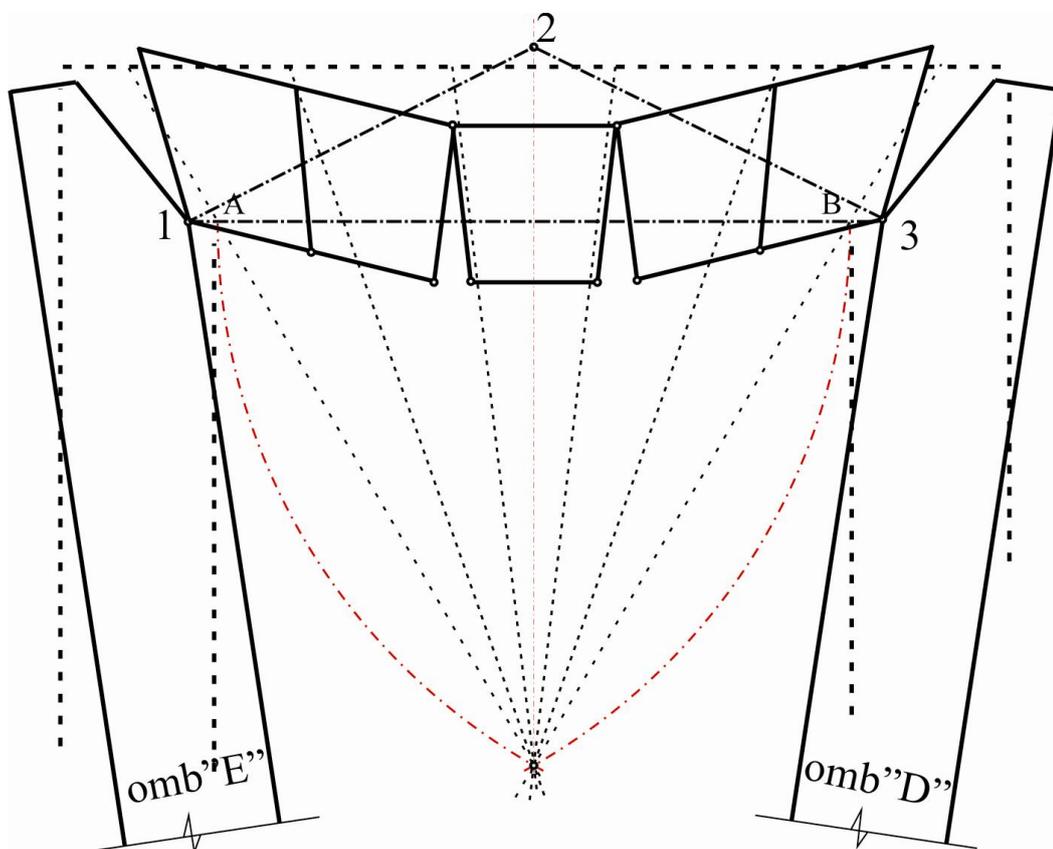
Capítulo 7 – Figura 138: Elevação - Forças que atuam em cada aduela de um dintel fracionado (desenho do autor).

Todavia, é possível que ocorra um desmantelamento ou uma fragmentação se as ombreiras ou as pedras-salmer não forem robustas o suficiente para suportar o empuxo transmitido através das peças do dintel.

Para Frezier⁵⁶, quando as ombreiras e as salmer (ou saiméis) não estão previstas para apoiar o empuxo lateral, estas ombreiras deslocam-se lateralmente, tendendo ao exterior. O movimento causa

⁴² FREZIER, M. La Theorie et La pratique de La Coupe dès Pierres. Paris,

deformação do dintel, cujas peças se desagregam movendo-se, até que o sistema inteiro entre em colapso e comece a ruir. As pedras compreendidas entre a salmer e a chave do sistema, permanecerão unidas, mas a junta entre a chave e as suas vizinhas se abrirá. O descenso da chave levará o sistema ao total colapso e o dintel ruirá, por falta de compressão.



Capítulo 7 – Figura 139: Sistema de dintel fracionado em colapso (desenho do autor).

Quanto maior for o ângulo 123 manifestado na figura 139, maior será a probabilidade de que a falência da estrutura ocorra; O ponto 2, na figura acima, é o ponto de aplicação das forças de empuxo 2-1 e 2-3. Assim sendo, convém que este ângulo seja o menor possível, dentro dos limites tolerados pela resistência da pedra.

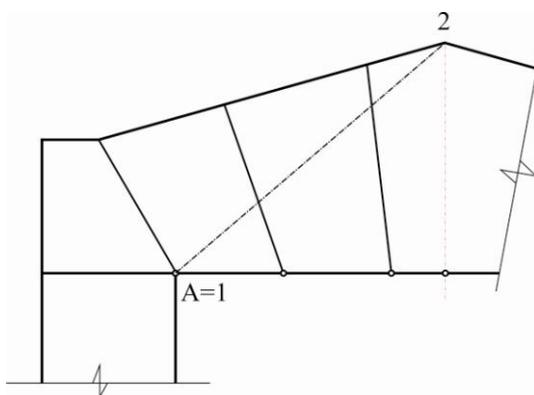


Capítulo 7 – Figura 140: Dintel decupado em 13 partes, Missão Jesuítica de Jesús Tavarengué, Py (foto do autor).

Observe-se que na figura 140, em Jesús Tavarengué, não se utilizaram ombreiras. O dintel aduelado repousa diretamente sobre pedras de arenito lavradas, e apesar disso, o vão possui eloquente capialçado.

7.3 – Dintel fracionado com juntas maiores:

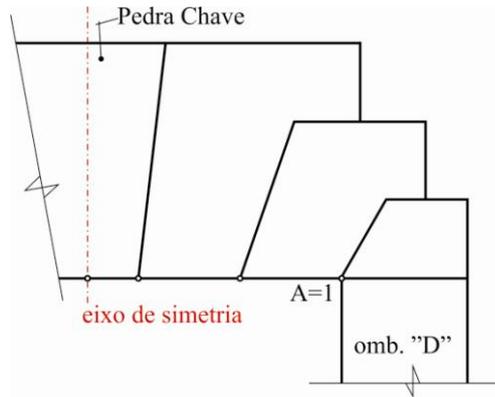
Com a finalidade de tornar o sistema mais confiável pode-se decupar as pedras de maneira a buscar maior estabilidade nos vãos, aumentando paulatinamente as juntas laterais (pertencentes a planos de topo), o que evidentemente torna as áreas de contato, também chamadas de planos de juntas, maiores. Aumentando as juntas, desde os arranques até a chave, pode-se encontrar maior estabilidade como se observa na figura 141.



Capítulo 7 – Figura 141: Acréscimo nas juntas laterais da Aduela de um dintel fracionado (desenho do autor).

7.4 – O sistema Monta cavalo:

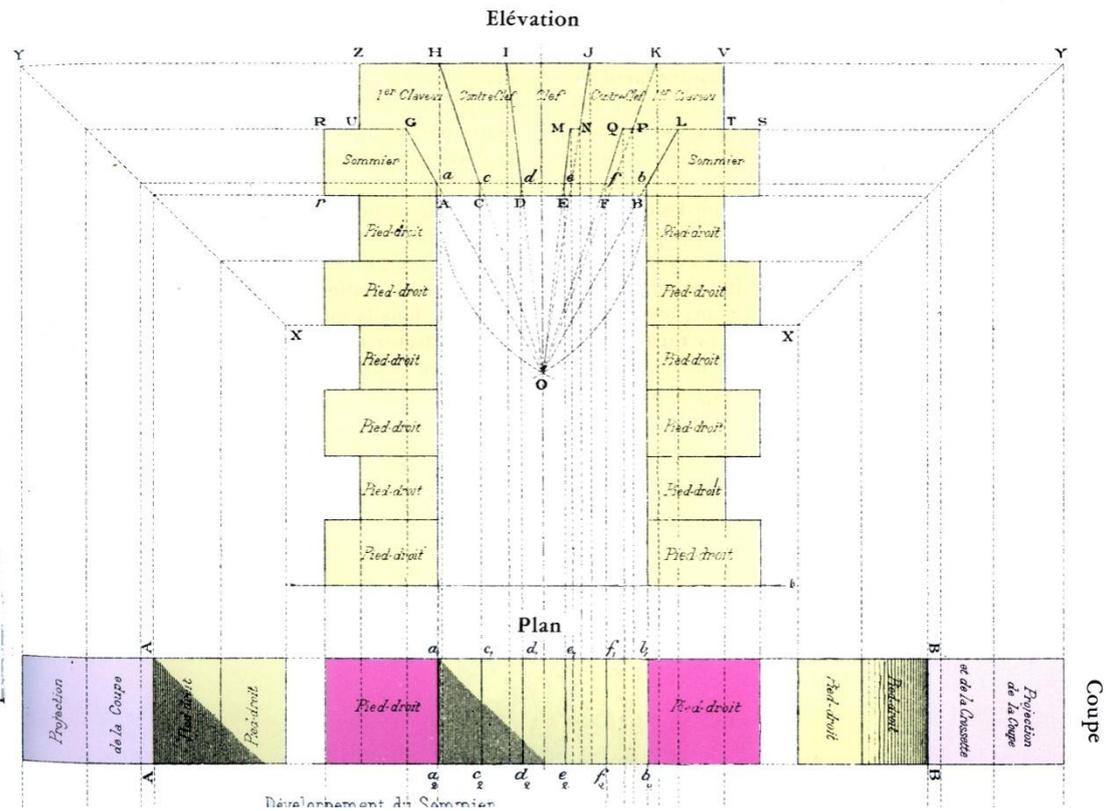
O inconveniente destes sistemas é a geração de ângulos agudos, sempre condenáveis quando se processam volumes estereotômicos. Para evitar tais ângulos pode-se recorrer ao “Monta cavalo”, um sistema no qual uma pedra “monta” sobre a sua vizinha, sempre em sentido dirigido da pedra chave no centro para a pedra saimel na lateral, como se vê na figura 142. Desta maneira se usa uma concavidade em ângulo obtuso nas aduelas centrais, excetuando-se precisamente as salmer e a chave. Cada aduela se apóia então sobre sua vizinha, através da concavidade igual ao ângulo obtuso da convexidade do bloco contíguo, como que montando sobre este.



Capítulo 7 – Figura 142: Sistema de Aduelas denominado Monta-a-Cavalo (desenho do autor).

A figura abaixo, de Monduit⁵⁷, demonstra em verdade um sistema misto, no qual as pedras centrais montam nas pedras salmer, mas sem que porém todo o sistema seja monta cavalo.

PLATE-BANDE DANS UN MUR À PLOMB

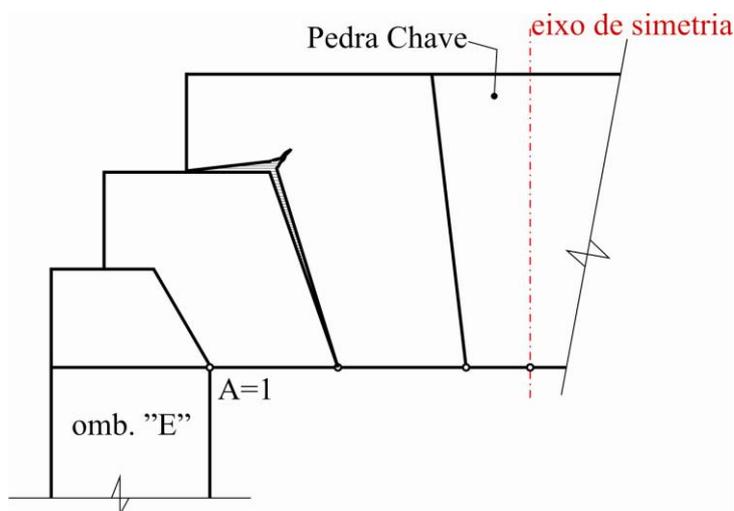


Capítulo 7 – Figura 143: Sistema Monta-Cavalo de dintel sobre muro a prumo (desenho de Monduit).

⁵⁷ MONDUIT, Louis. *Traité Theorique e Pratique de Stéréotomie*. Édition H. Vial. Paris, 2002.

Através do sistema “Monta cavalo” se consegue que distintas peças solicitem-se umas às outras, bem como ao eixo geral de todas juntas. A consequência mais imediata é que o peso de cada pedra é depositado em sua vizinha, traduzindo-se assim em uma resultante vertical que atua sobre a ombreira, compondo com o empuxo lateral e fazendo com que haja uma tendência vertical.

Apesar de o sistema ser satisfatório, há uma contrapartida negativa: sua difícil lavra. Se a escultura particular de cada bloco não for muito esmerada, sobretudo nas partes em que as faces estão montadas, o ajuste e a divisão das pressões não estará acontecendo de maneira distribuída homogêneamente por toda a superfície de contato, acumulando-se todo o esforço nos pontos de contato, o que produz ruptura.



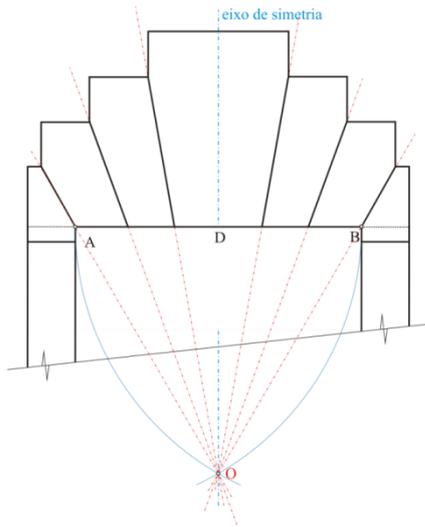
Capítulo 7 – Figura 144: Possibilidade de fratura por lavra mal executada ou assentamento indevido

(desenho do autor).

7.5 – O Sistema Pentagonal:

Monduit⁵⁸ denomina “Pentagonal” (em função das faces aparentes dos blocos não centrais), ao sistema que pode evitar o inconveniente da exímia lavratura exigida pelo “Monta cavalo”. Este sistema chamado Pentagonal apresenta as vantagens do sistema precedente evitando a existência dos ângulos côncavos e obtusos. É um sistema mais elástico e por isso mesmo suporta melhor o assentamento geral do vão. A figuras 145 e 145A demonstram o Sistema Pentagonal aplicado em verga fracionada retilínea e em arco com Abóbada de Berço.

⁵⁸ MONDUIT, Louis. *Traité Theorique e Pratique de Stéréotomie*. Édition H. Vial. Paris, 2002.



Capítulo 7 – Figura 145 e 145A: Sistema Pentagonal em dintel e em arcada, Rua Venâncio Flores, R.J.

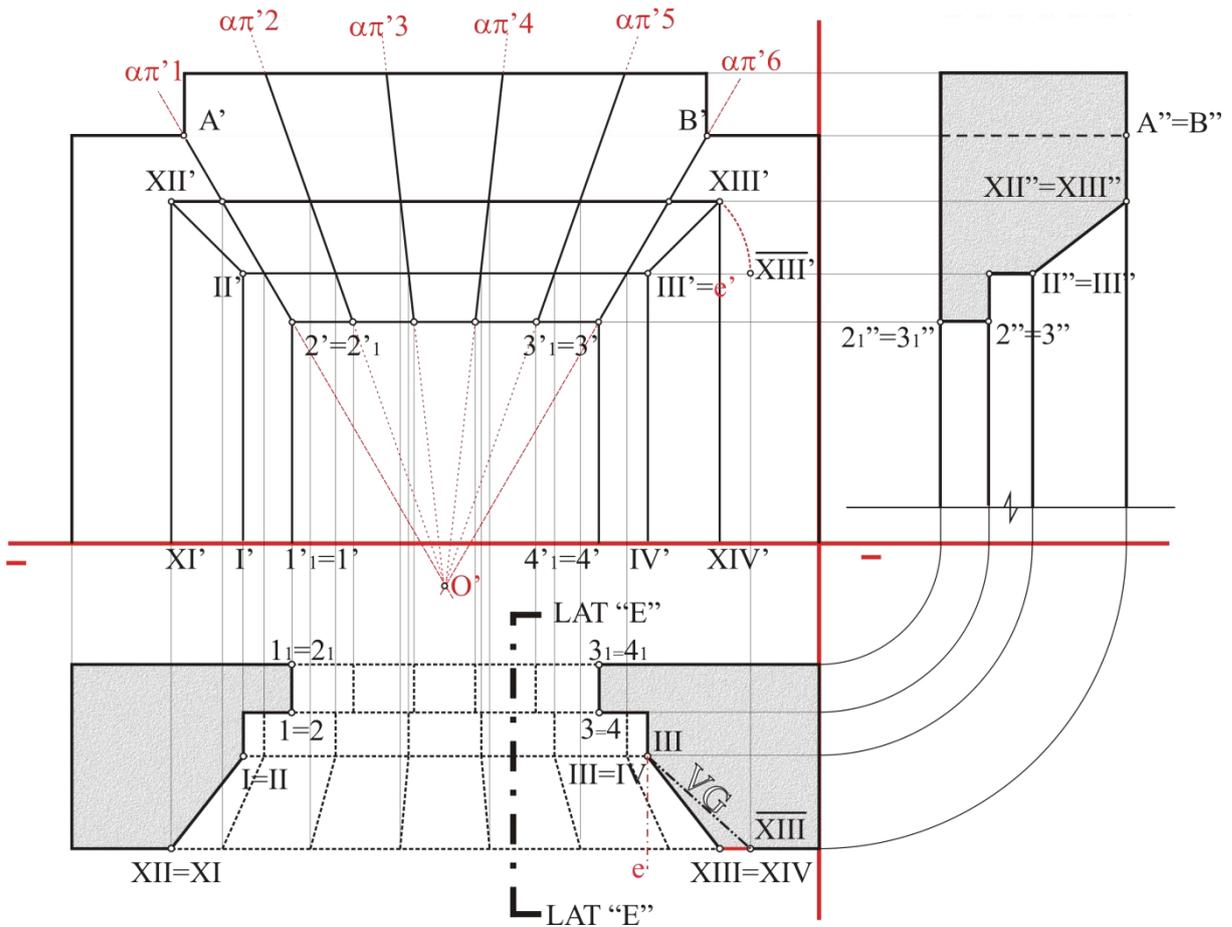
(desenho e foto do autor).

7.6 – O projeto e os enlces dos dinteis aduelados:

Com relação ao enlace de qualquer dos sistemas decupados acima com uma parede reta, Monduit⁵⁹ recomenda a análise da figura 146 abaixo, na qual se identificam a seguinte nomenclatura:

- a) O vão da porta está representado pelos polígonos interno e externo, respectivamente (1)(2)(3)(4)/(11)(21)(31)(41).
- b) O rebaixo (I)(II)(III)(IV). Sobre este rebaixo se abatem as folhas das portas.
- c) Os capialçados verticais, o plano do caimento do vão, representado pelos quadriláteros (I)(II)(XI)(XII) e (III)(IV)(XIII)(XIV).
- d) O capialçado superior, um quadrilátero pertencente ao plano paralelo à Linha de Terra (II)(III)(XIII)(XII).

⁵⁹ MONDUIT, Louis. *Traité Theorique e Pratique de Stéréotomie*. Édition H. Vial. Paris, 2002.



Capítulo 7 – Figura 146/Épura 14: Projeto de vão com dintel fracionado e com rebaiços-capialçados

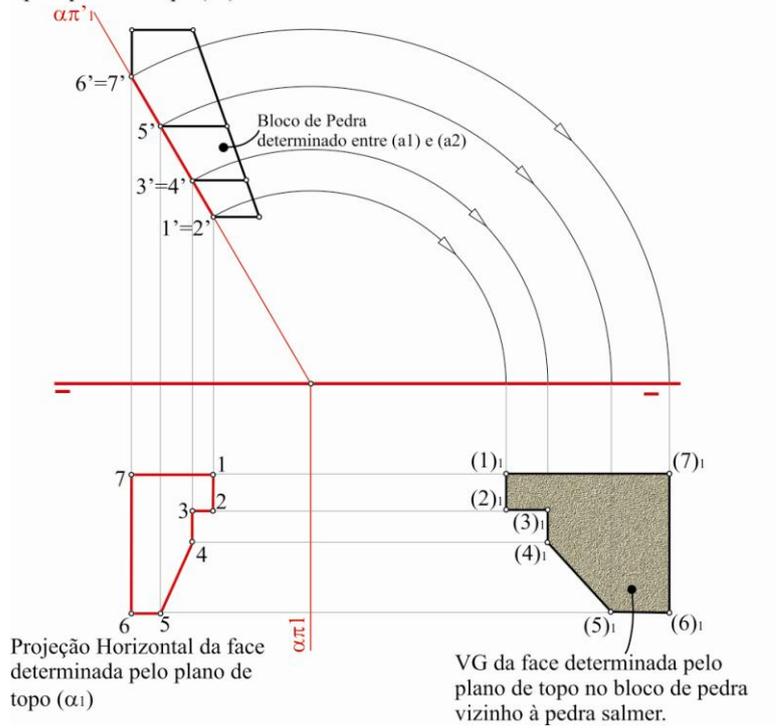
(desenho do autor).

Uma vez que os elementos do vão agora se encontrem identificados, procede-se à divisão do segmento (2)(3) em número ímpar de partes iguais. Este procedimento é semelhante ao dintel fracionado (exposto no item 7.1), e em verdade o que se divide é um plano horizontal (do intradorso) que contém, além dos dois pontos (2)(3), os pontos (21)(31) na face posterior. A divisão será o resultado da interseção de um plano horizontal com vários planos de topo que concorrem na reta de topo que contém o ponto (O), o que resulta vários segmentos de topo, no nível do intradorso horizontal do dintel. A divisão mais uma vez deverá ser em número ímpar (no caso cinco), equidistantes entre si. Como descrito anteriormente isto se faz através do ponto (O), que vê ao segmento (1)(2) sob ângulo central de 60° .

Posteriormente ao projeto, para a lavra torna-se necessário que além da decupagem que possibilite estabilidade, se determine a verdadeira grandeza de todas as faces heptagonais pertencentes, neste caso da épura 14, aos seis planos de topo.

Da figura anterior, para efeito de simplificação visual e compreensão, extraio este rebatimento (efetuado sobre o plano horizontal de projeções), aplicado para a primeira seção que foi então, determinada pelo plano ($\alpha 1$), na Figura 147.

Projeção Vertical do bloco vizinho à pedra Salmer, com a face heptagonal $1'2'3'4'5'6'7'$, determinada pelo plano de topo (α_1)



Capítulo 7 – Figura 147/Épura 15: Determinação da verdadeira grandeza de uma face de uma aduela de dintel fracionado com capialçado (desenho do autor).

Este processo que foi utilizado para a determinação da verdadeira grandeza desta face deve ser aplicado a todas as demais faces, para que a lavra seja possível.



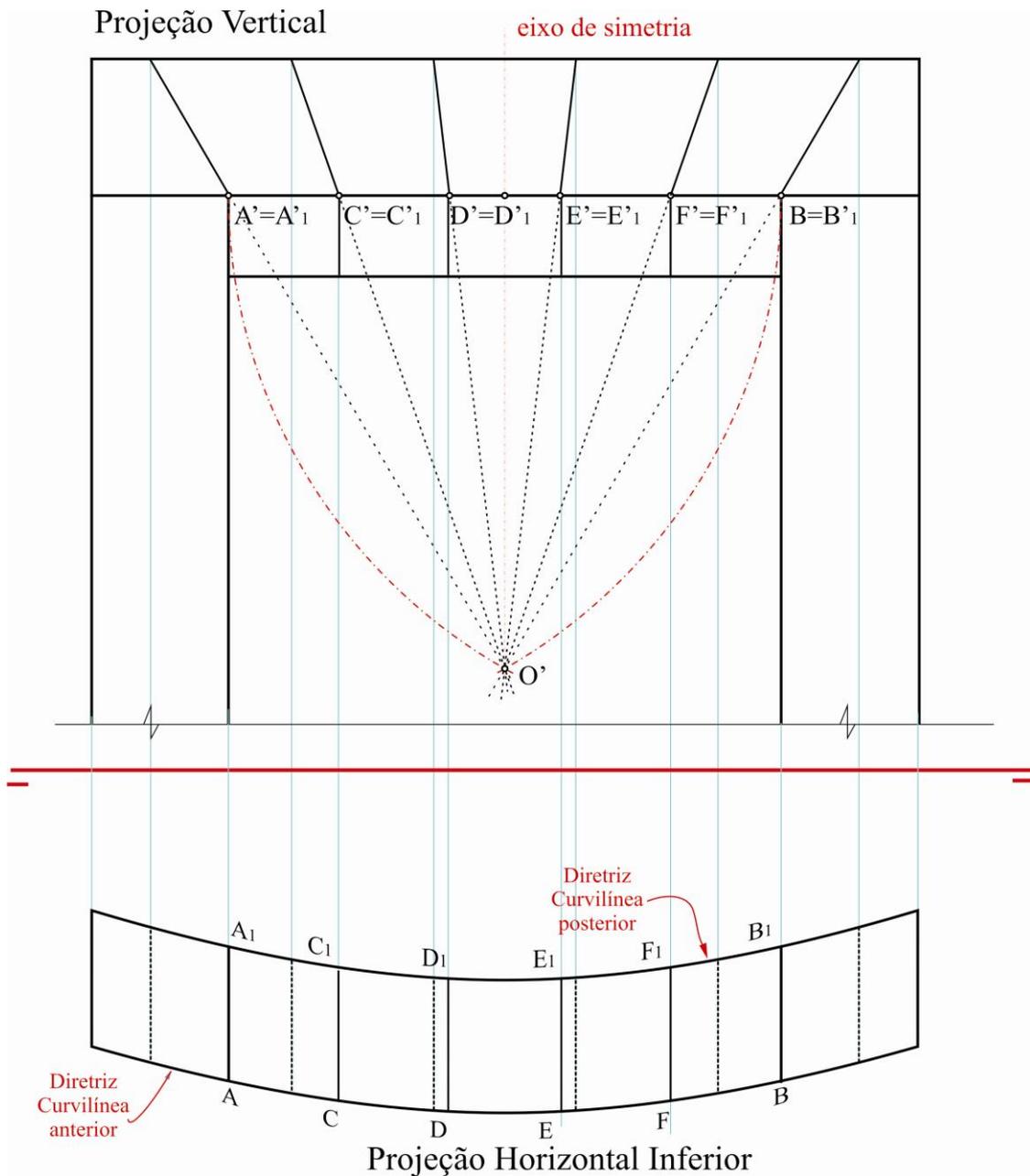
Capítulo 7 – Figura 148 e 149: Espectaculares dinteis fracionados em 7 e em 17 partes; a foto 148 é o Cuartel de Dragones de Maldonado e a foto 149 Santíssima Trinidad, Py (fotos do autor).

7.7 – A Decupagem de um Sistema pertencente a uma Superfície Cilíndrico-Reta (Figura 150).

O dintel do muro que devemos decupar é representado na é pura 16 que se segue, pelos traços horizontais definidos pelas suas diretrizes curvilíneas, posterior e anterior, que obviamente também se apresentam curvilíneas. O vão está representado nas projeções vertical e horizontal e seu intradorso pertence ao plano horizontal que contém os segmentos (A)(A1), (B)(B1), (C)(C1), (D)(D1), (E)(E1) e (F)(F1), todos de topo. A projeção horizontal apresenta-se segundo um quadrilátero-curvilíneo, limitado pelas diretrizes.

I. Como em nos casos antecedentes, divide-se ao segmento (A)(B) em número ímpar de segmentos iguais, como se retilínea fosse, através do ponto (O), que vê (A)(B) sob ângulo de 60° , em projeção vertical.

II. O eixo geral das juntas também é de topo e passa pelo ponto (O).



Capítulo 7 – Figura 150/Épura 16: Projeto de aduela em muro cilíndrico-reto (desenho do autor).

III. Pelos pontos de divisão de (A)(B), traçam-se os planos de perfil, paralelos às faces internas das ombreiras do vão. Estes planos devem ser traçados até que tornem possível a “distância segura” horizontal na face do dintel. Assim se evita o surgimento de ângulos agudos, fazendo surgir um quebramento.

IV. Caso se note no processo de decupagem que as juntas das pedras aproximam-se muito da vertical, é necessário utilizar o processo monta-cavalo examinado anteriormente. Todavia,

se o processo sugerido não for pertinente e não se aplicar é viável o processo do sistema pentagonal.

V. Como os paramentos do muro em que o vão se apresenta são superfícies cilíndrico-retas, os segmentos das juntas (ou de contato) não serão retilíneos, mas segmentos curvilíneos de arcos de elipse.

Convém salientar, que neste último caso estudado, o vão não é normal aos paramentos interior ou exterior, em função das características da superfície.

Para a determinação da verdadeira grandeza das faces de contato, torna-se imperativo que se aplique um dos Métodos Descritivos, como se procedeu na éपुरa¹⁵.



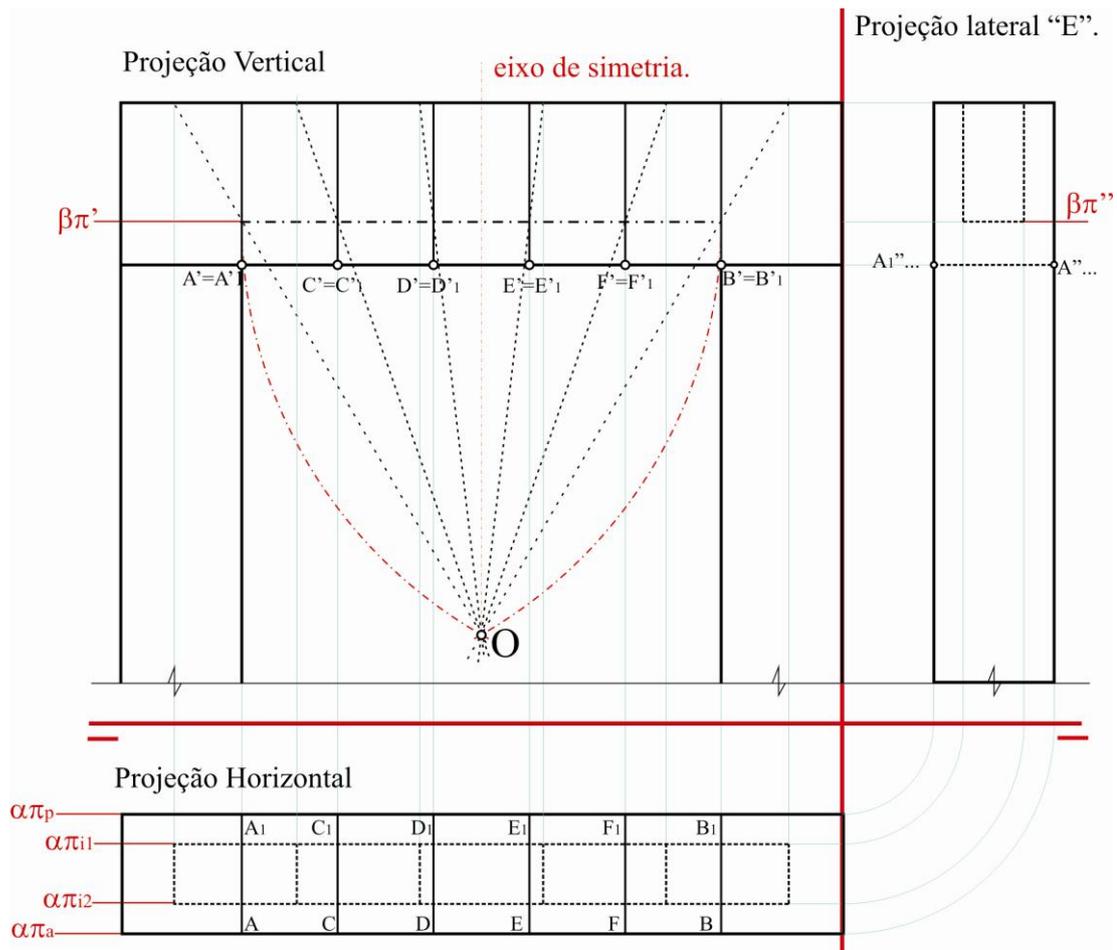
Capítulo 7 – Figura 151 e 151A: Dintel fracionado Mercado Modelo, Salvador, Ba.
(fotos de José Oldgard Lopes).

7.7.1 - Juntas verticais externas, em empenas planas (Figura 152):

Monduit⁶⁰ apresenta no seu tratado reeditado em Paris (2002), um sistema que se constitui de aduelas com juntas verticais externas falsas, que pode ser aplicado às empenas planas ou até aos paramentos circulares retos.

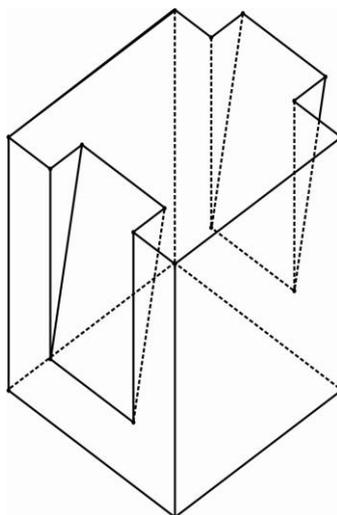
Neste sistema é possível afirmar que as juntas aparentes são absolutamente plásticas e a divisão do dintel foge à paginação tradicional de um arco adintelado. Ou seja, através da aparência pode-se notar na diagramação o surgimento de um grafismo diferente, uma vez que todas as juntas são verticais. Porém a grande dissimilitude está no fracionamento do plano das juntas. Aqueles planos de topo citados no item 7.5, para a obtenção dos dintéis fracionados, aqui são substituídos por planos de perfil. Os planos de topo só serão utilizados internamente aos blocos.

⁶⁰ MONDUIT, Louis. *Traité Theorique e Pratique de Stéréotomie*. Édition H. Vial. Paris, 2002.



Capítulo 7 – Figura 152/Épura 17: Juntas verticais externas falsas, em empenas planas (desenho do autor).

O sistema de falsas juntas produz juntas verticais nas faces aparentes do dintel. A decupagem que gera encaixe e enlace ocorre no interior dos blocos de pedra, sem manifestar-se nas faces laterais externas do paramento.



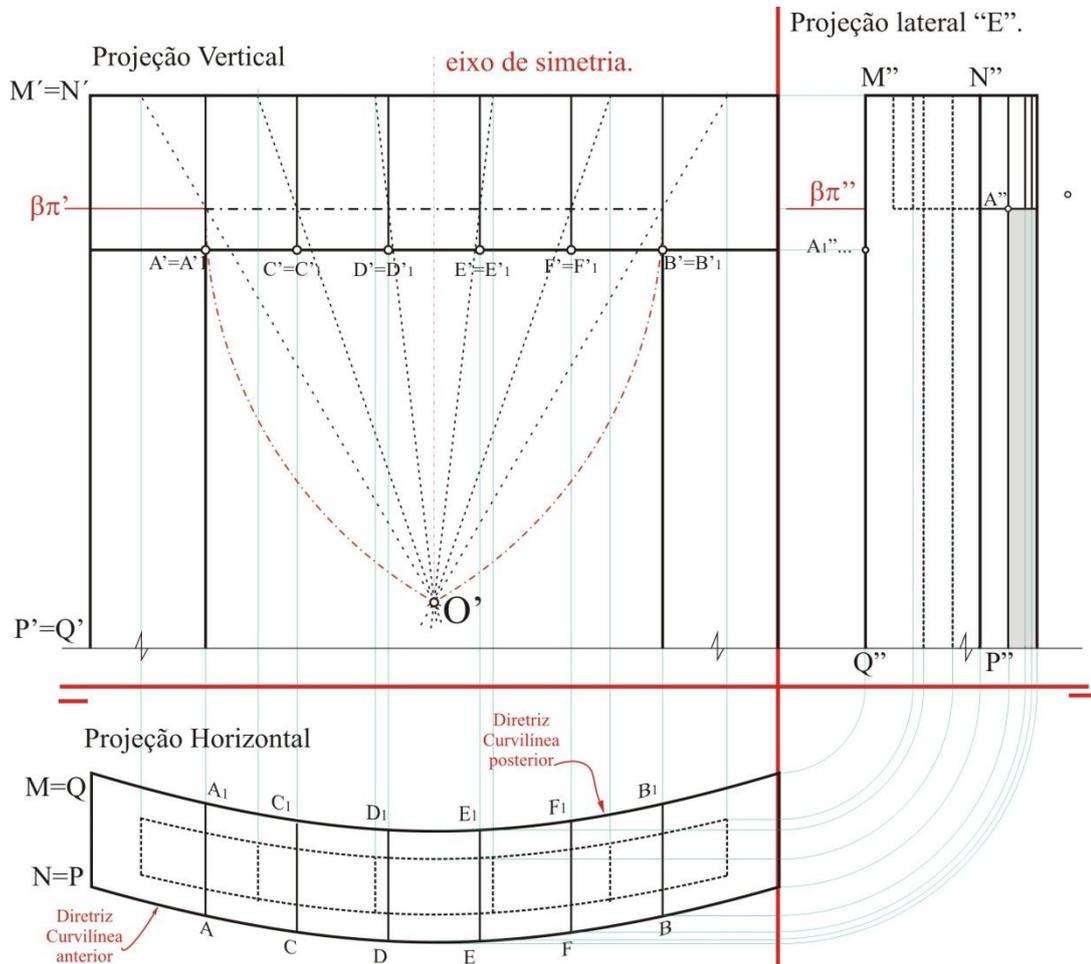
Capítulo 7 - Figura 152A: Perspectiva de uma aduela com falsa junta (desenho do autor).

Para a decupagem, considera-se:

- I. O muro reto representado na *épura* 17 acima, limitado pelos traços horizontais dos planos (α ant.) e (α post.).
- II. O plano do intradorso do dintel é um plano horizontal e deve ser dividido por um feixe de retas de topo equidistantes, no caso (A)(A₁), (B)(B₁), (C)(C₁), (D)(D₁), (E)(E₁), e (F)(F₁), resultantes da ação dos planos de perfil.
- III. Para decupar o dintel, utilizaremos mais três planos; dois deles, que são frontais, são paralelos aos paramentos à estereotômica “distância segura” de cada face; aqui estes planos são denominados (α int1) e (α int2). O terceiro, um plano horizontal, paralelo ao intradorso, (β); assim como os planos frontais, o plano (β) também é afastado a mesma “distância segura” do intradorso.
- IV. Para definir o sistema verifica-se o sólido comum definido pelas interseções destes planos com os planos de topo que dividem ao plano horizontal afastado a “distância segura” do intradorso do dintel. Por fora, nos paramentos as juntas são verticais, resultantes da interseção dos planos frontais (supressos da *épura*, para comunicabilidade do desenho) com planos de perfil, que contêm as retas de topo (A)(A₁), (B)(B₁), (C)(C₁), (D)(D₁), (E)(E₁), e (F)(F₁).
- V. Para a lavra, neste caso, não são necessárias operações complementares para a determinação de verdadeiras grandezas. Todos os segmentos envolvidos já apresentam alguma projeção em V.G., por frontais, de topo, fronto-horizontais que sejam.

7.7.2 - Juntas verticais externas falsas, em empenas cilíndricas retas

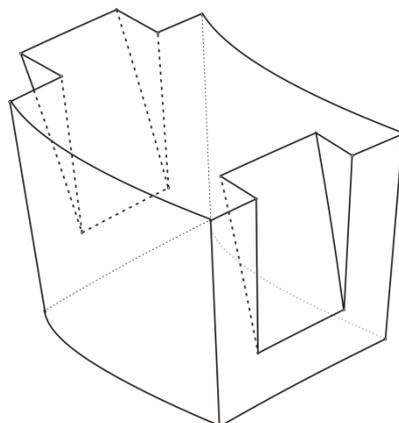
O procedimento de decupagem para juntas externas falsas em superfícies cilíndricas é análogo ao aplicado ao dintel fracionado em vãos abertos em paramentos planos.



Capítulo 7 – Figura 152/Épura 18: Projeto de um vão em muro cilíndrico com sistema de falsa junta

(desenho do autor).

Todavia, embora a operação de partição se repita analogamente há que se salientar, que internamente, as falsas juntas podem se manter retilíneas, desde que respeitem a distância segura (figura 153), ou acompanhar o desenho geral curvilíneo, por requinte projetual.



Capítulo 7 – Figura 153: Perspectiva realçada do bloco em sistema de falsas juntas (desenho do autor).

Neste caso, lembram Frezier⁶¹ e Monduit⁶², o encaixe somente ocorrerá através da face superior do dintel, o extradorso; lembram também que quanto menos acentuada a curva diretriz, melhor será para a montagem da estrutura.

7.8 – Despeçamento ou decupagem de um vão em uma parede que possua uma face em talude:

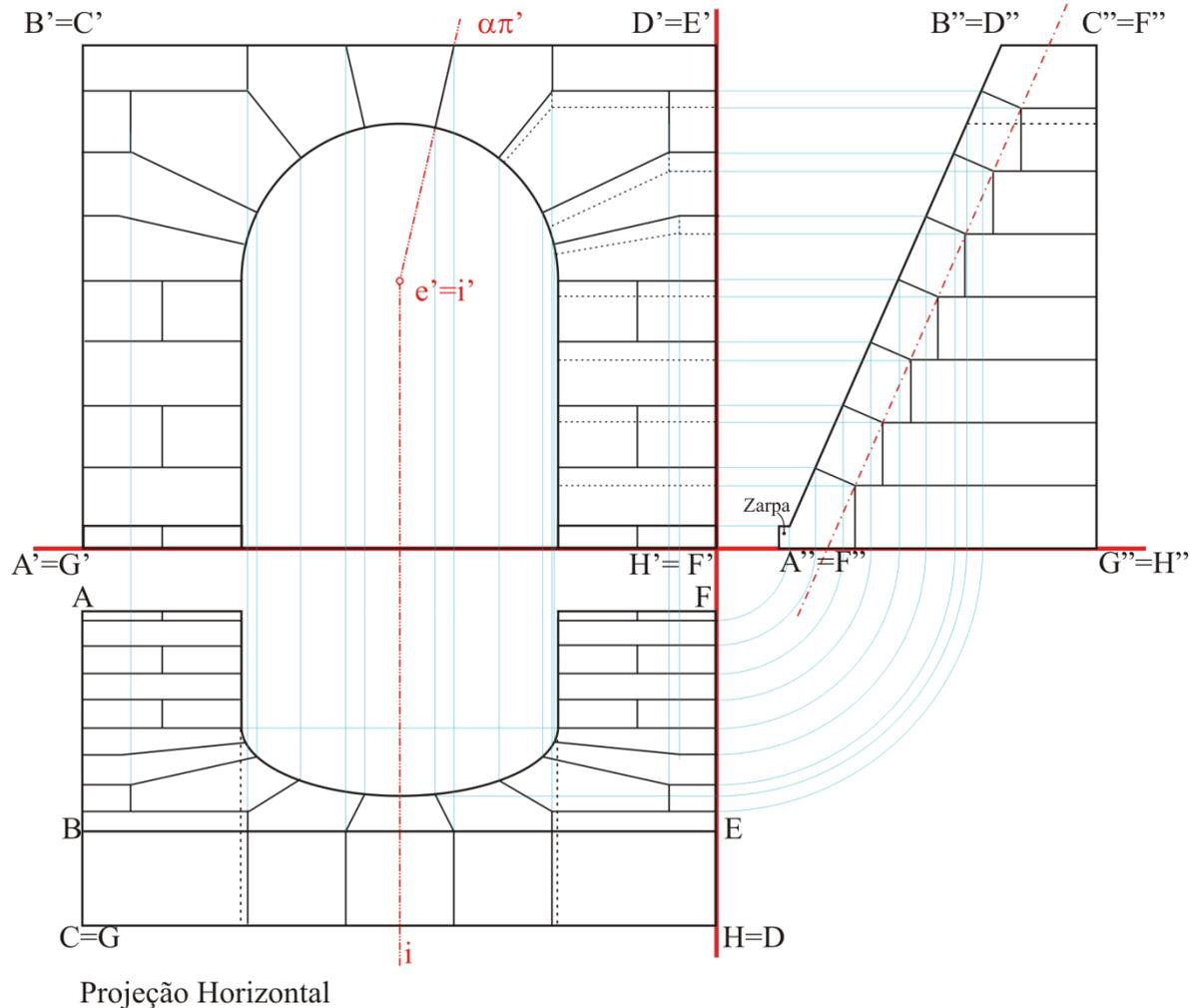
Uma vez analisados os vãos adintelados, plano e cilíndrico-reto, objetivaremos agora a decupagem de um vão em Arco Pleno que vaze uma parede em talude interior e reta exteriormente.

⁶¹ FREZIER, M. La Theorie et La pratique de La Coupe des Pierres. Paris,

⁶² MONDUIT, Louis. Traité Theorique e Pratique de Stéréotomie. Édition H. Vial. Paris, 2002.

Projeção Vertical

Projeção Lateral Esquerda



Capítulo 7 – Figura 154/Épura 19: Arco Pleno em um muro em talude (desenho do autor).

Para a análise deste transpasse, considerarei o Muro em Talude (A)(B)(C)(D)(E)(F)(G)(H) cujo projeto se verifica na épura 19. O vão que vazará este muro terá a configuração de Arco Pleno⁶³ transpassando o volume da parede nos moldes especificados na mesma épura 19; nesta épura se nota que a face externa é pertencente a um plano frontal (que apresenta projeções em verdadeira grandeza) e a face interna, pertencente a plano paralelo à Linha de Terra.

I - Após a pré-localização do Arco Peno na projeção vertical, deve-se proceder à divisão da altura da parede, através de um de seus segmentos verticais.

II - Após a divisão dos níveis (no caso em oito partes iguais) proceder-se ao estabelecimento da “distância segura” para a face interna em talude, o que pode ser verificado na projeção lateral.

⁶³ Nota do Autor: Aqui considerado como caso geral.

III – Através do conjunto de linhas de chamada dirigidas da verdadeira grandeza da semicircunferência (projeção vertical) sobre as projeções, lateral esquerda e de perfil do volume parietal estabelecer-se primeiro a projeção lateral da curva inclinada, que será um segmento e depois a projeção horizontal, que será elíptica.

IV – Quanto maior o número (ímpar) de pontos atribuídos em projeção vertical (que inclusive podem ser os pontos de divisão da semicircunferência), maior será a precisão da construção geométrica desta projeção elíptica.

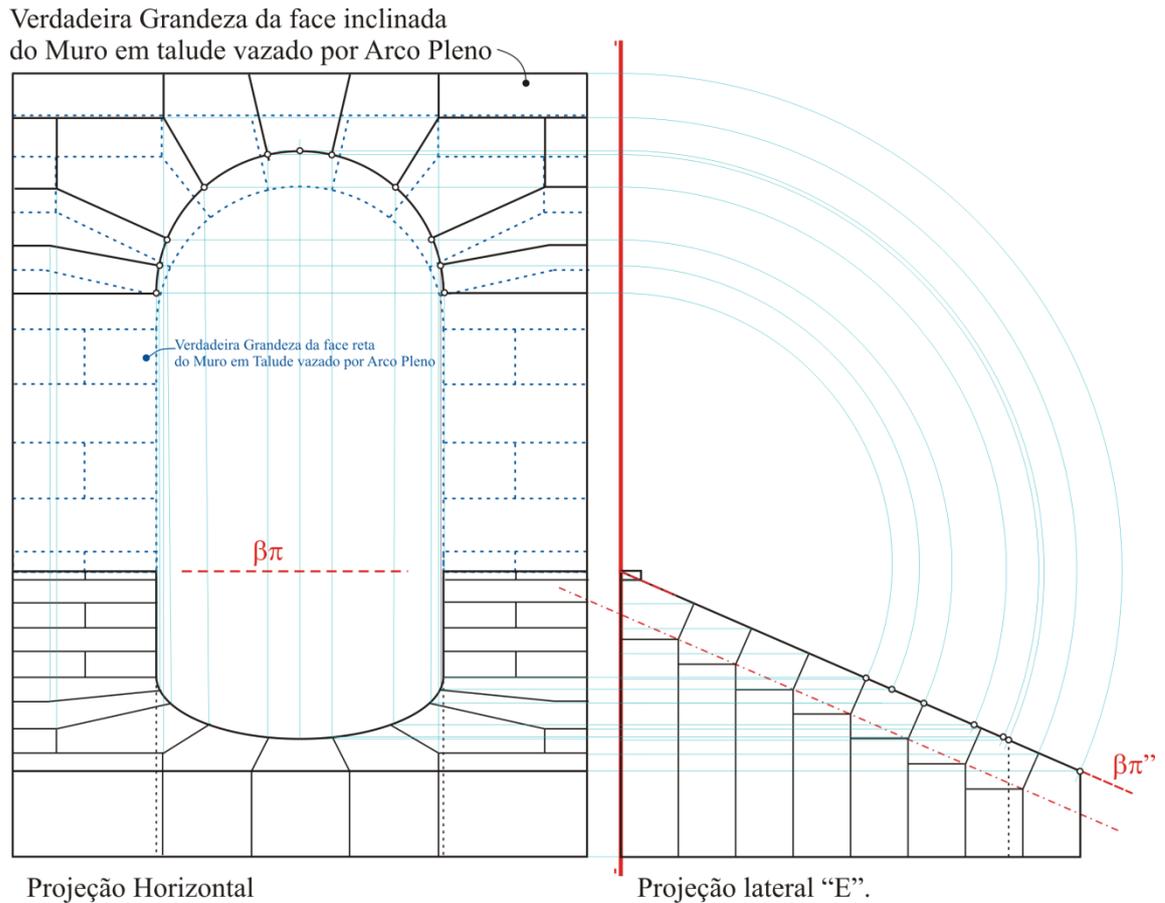
V – Uma vez determinadas as três projeções do vão, passam-se planos de topo que contenham o eixo do semicilindro da arcada, em número igual ao utilizado no item IV.

VI – Estes planos de topo contém as juntas oblíquas, que na face externa, serão frontais e fronto-horizontais, junto às impostas.

VII – Para a determinação das faces das juntas, utiliza-se um dos métodos descritivos.

A écura 20 apresenta um rebatimento do plano (β), paralelo à Linha de Terra, em um segundo sistema, trabalhado a partir da écura 19 por Mudança de Plano de Projeção. Este rebatimento demonstra a face interna da parede pertencente ao Plano em Talude, que em função da declividade do plano tem a verdadeira grandeza “alongada”, se comparada à projeção da face que se encontra em plano frontal. As projeções horizontal e de perfil “E”, são comuns aos dois sistemas.

Nesta écura 20, na cor azul (tracejada), se superpõe a projeção da face frontal para que se estabeleça comparação entre as duas faces do muro.



Capítulo 7 – Figura 155/Épura 20: Determinação da V.G. da face em declive do Muro em Talude (desenho do autor)

Evidentemente para o projeto e decupagem de qualquer um dos arcos estudados no capítulo 6, o procedimento correlato se imporá considerando os atributos do arco adotado, como se verifica nas figuras 156 e 157 em relação à aplicação de um arco rebaixado.

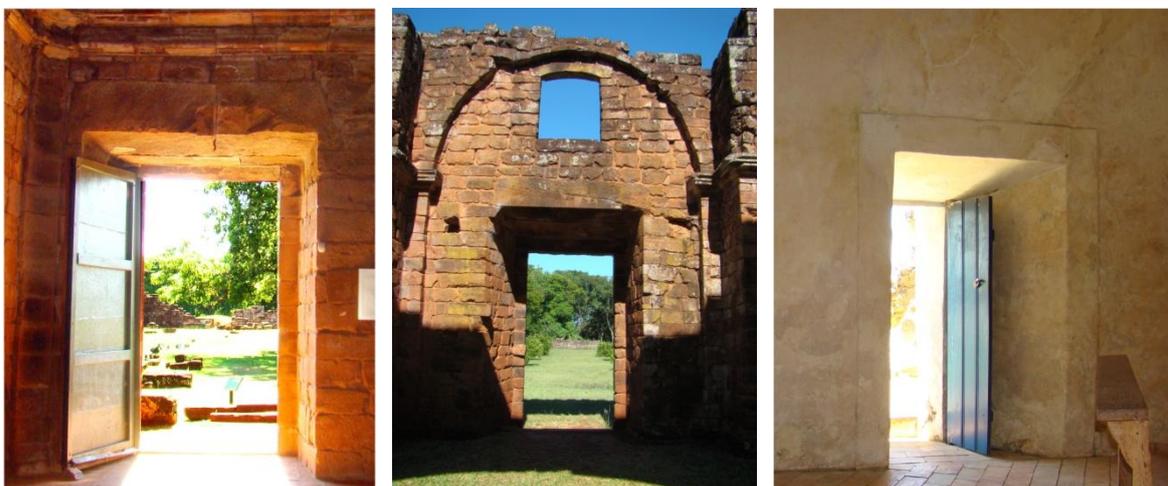


Capítulo 7 - Figuras 156 e 157: Arco rebaixado vazando Muro em Talude, Fortaleza S. Teresa, Uy. (foto do autor).

7.9 - O fracionamento dos chanfros denominados Capialçados:

Segundo Lima e Albernaz⁶⁴, capialçado é a “atribuição dada principalmente a sobrearcos e contrapadieiras inclinados. A inclinação dos elementos capialçados é chamada vôo, voamento ou capialço. Nas antigas construções, em geral sobrearcos ou contrapadieiras capialçados eram utilizados por uma preocupação estética. Acompanhavam as inclinações laterais dos rasgos, que inversamente tinham aspecto funcional, permitir uma maior entrada de luz nos edifícios.”

Portanto, capialçado é a superfície de intradorso correspondente à parte um vão, no qual o exterior tem dimensionamento diferente do interior. Quando se verifica a existência do capialçado, geralmente as embocaduras do vão pelo seu lado exterior são menores que pelo lado interior. As fotos 158, 159 mostram respectivamente os capialçados, no acesso da sacristia e em um vão secundário na nave principal da Igreja da Redução de São Miguel, projeto de 1735⁶⁵, do irmão jesuíta João Baptista Prímoli, embora a Missão seja de 1687⁶⁶. Já a foto 160 mostra o Capiacado no vão da Capela de Nossa Senhora da Conceição, na torre do Castelo de Garcia D’Ávila.



Capítulo 7 - Figuras 158, 159 e 160: Capialçados na Missão Jesuítica de São Miguel, RS, e na Capela de Nossa Senhora da Conceição do Castelo da Torre de Garcia D’Ávila, BA. (fotos do autor).

Quando recebem esquadrias de portadas ou de janelas, os capialços (como também chamados os capialçados) permitem um giro das folhas de carpintaria das portas, maior do que noventa graus, abatendo-se sobre os chanfros. Há diversas maneiras de se preparar um capialçado, cada uma delas correspondente a uma natureza distinta das superfícies arqueadas. Face ao caráter genérico e pioneiro sempre associado ao arco pleno, analisarei o traçado para a decupagem em relação a este arco. A forma do capialçado, cria uma verga-adintelada cônica, como se verifica na figura 161, na composição de um arco abatido

⁶⁴ LIMA, Cecília Modesto e ALBERNAZ, Maria Paula. Dicionário Ilustrado de Arquitetura, vol I, Pro Editores. São Paulo, 1998.

⁶⁵ SIMON, Mário. Os Sete Povos das Missões. Martins Livreiro Editor. Porto Alegre, 1939.

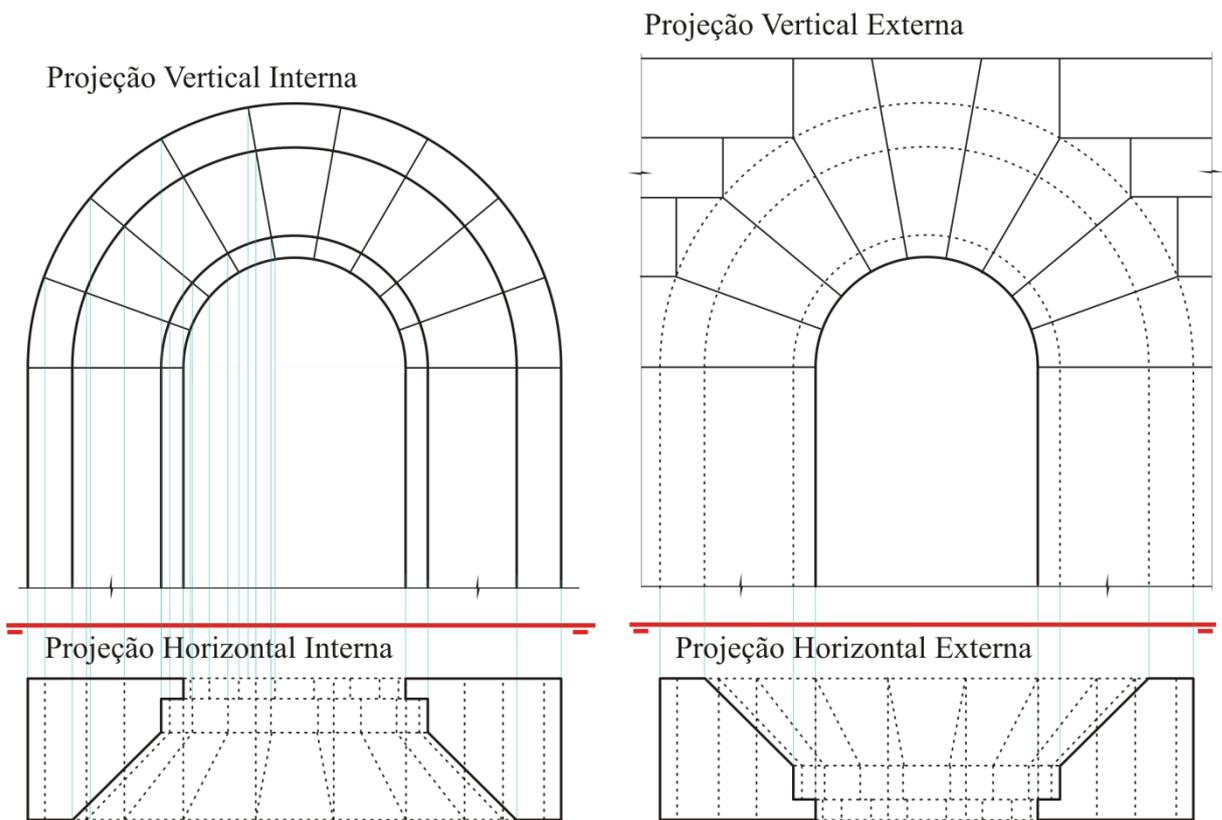
⁶⁶ MARTINS, Nestor Torelly et al. O Legado Arquitetônico. Unisinos. São Leopoldo, 2002.



Capítulo 7 - Figura 161: Capialçado em Arco Abatido na Missão jesuítica de Trinidad, Py. (foto do autor).

Este capialçado é determinado pela superfície cônica, cujas bases são a semicircunferência de base no plano frontal interno e a sua paralela, a semicircunferência pertencente ao plano frontal externo. As épuras 21 e 22 demonstram estas semicircunferências, cada uma em seu paramento.

Para se obter o despeçamento, deve-se dividir o intradorso em número ímpar de partes iguais, passando por estes pontos planos de topo que contêm o centro do arco pleno; posteriormente pode-se determinar a verdadeira grandeza das faces laterais de cada bloco, aplicando um dos Métodos Descritivos.



Capítulo 7 – Figura 162/Épuras 21 e 22: Decupagem para capialçado em Arco Pleno (desenho do autor).

Denomina-se Abóbada o elemento utilizado para se cobrir uma área ou um espaço, utilizando-se um conglomerado de pedras decupadas. Assim, em última análise, as Abóbadas podem ser consideradas arcos de maior área e a classificação estudada no capítulo 6 se aplica indistintamente também a estes elementos arquitetônicos. Portanto é possível a construção de Abóbadas baseadas nos Arcos Pleno, Abatido, Aviajado, Rebaixados, bem como a qualquer outro.

Serão objetos considerados no espectro desta tese as Abóbadas mais comuns na Arquitetura no Brasil, sem que esta frequência se indique pela facilidade construtiva, opção local por um material ou adaptações regionais. O importante, na amplitude da tese “Estereotomia (...)” é trabalhar com análises, com as quais se possam orientar e deduzir as condições para o despeçamento das demais.

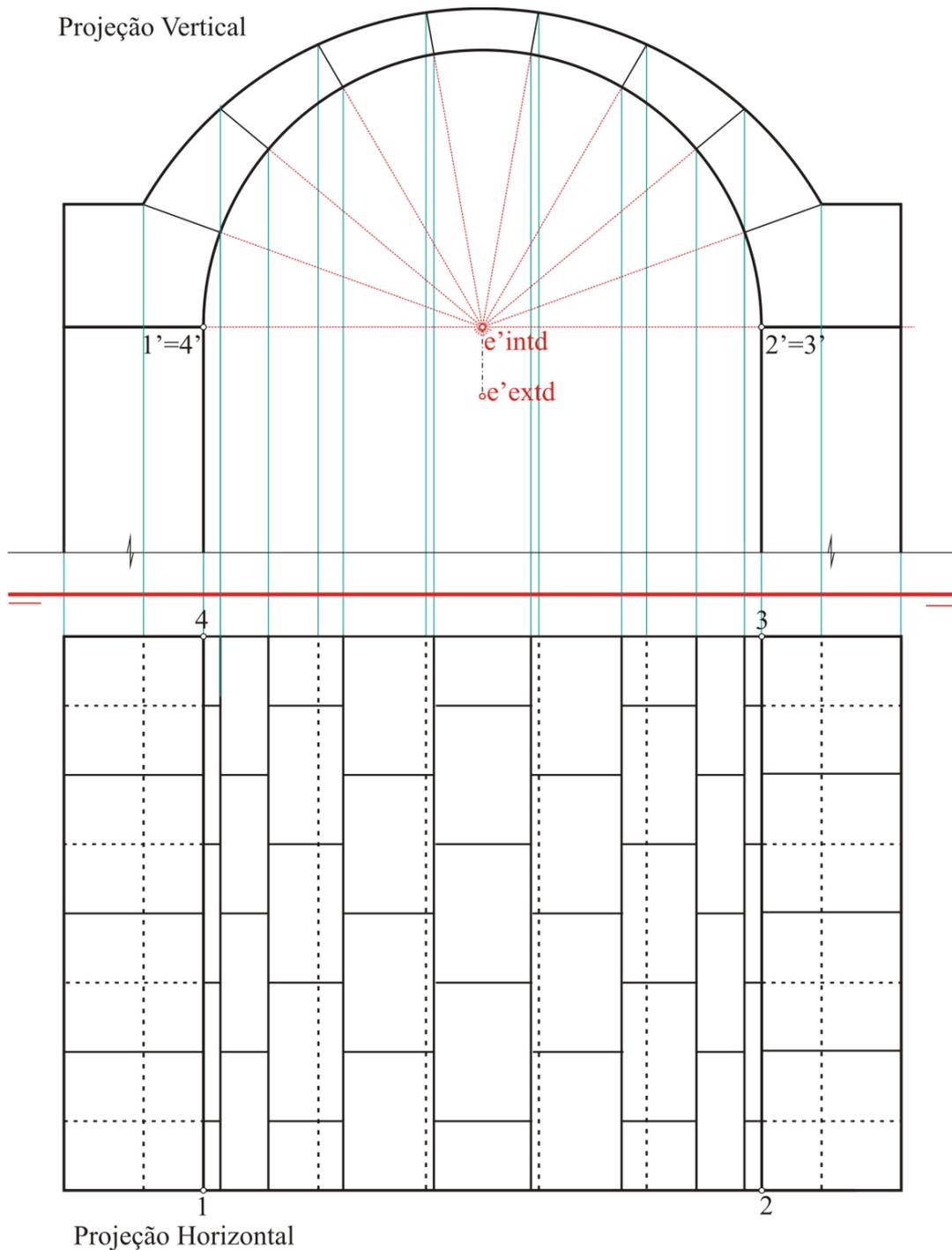
8.1 – Abóbadas de Berço.

Abóbada de Berço é a superfície cilíndrica gerada por reta geratriz que se apóie em uma diretriz curvilínea. As diretrizes curvilíneas mais utilizadas para este fim são aquelas que são capazes de gerar intradorso côncavo e simples, tais como os arcos plenos e abatidos.

A Abóbada de Berço é, portanto uma superfície cilíndrica formada por um cilindro reto de eixo horizontal destinada a cobrir uma área retangular. Em função da facilidade construtiva é a Abóbada mais antiga e primária de que se tem notícia.

Para cobrir uma área retangular como a área (1)(2)(3)(4) da figura 163, através de uma Abóbada de Berço deve-se observar que os “berços” repousam sobre paredes laterais, cuja decupagem já foi verificada no capítulo 3. Por isso, estabeleço que o plano horizontal de projeções é paralelo às impostas (ou pedras de arranque) da Abóbada e o plano vertical de projeções por sua vez é paralelo às bases semi-circulares do cilindro que constitui o berço.

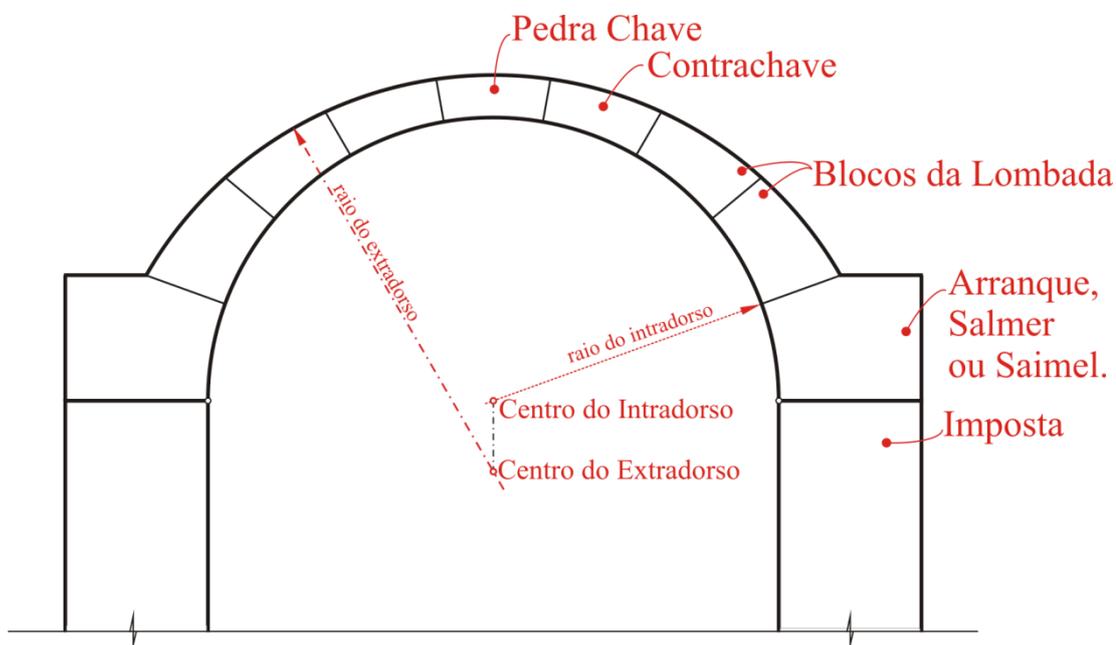
O intradorso da Abóbada, em projeção vertical é uma semicircunferência, que corresponde à seção reta neste semicilindro. Já o extradorso pode assumir diversas formas, tais com um plano horizontal, um arco variado ou a forma mais comum, em arco pleno, também. Aliás, desta maneira se satisfaz da melhor maneira possível as condições de equilíbrio e resistência, quando os dorsos da Abóbada não forem concêntricos. Para isso é necessário que o eixo do extradorso tenha menor cota que o eixo do intradorso, se situando abaixo da linha das impostas.



Capítulo 8 – Figura 163/Épura 23: Abóbadas de Berço (desenho do autor)

O raio do extradorso, sempre marcado do centro da curvatura do arco ao centro da chave, deverá ser igual ao raio interno majorado, ao menos, de três quartos do vão mais a espessura da própria pedra chave. Esta configuração, como mostra a figura 163 propicia uma Abóbada de Berço de espessura variável, que ao menos em primeira análise demonstra ser mais leve na chave e mais robusta nos apoios, nos arranques e nas impostas.

Algumas Abóbadas de Berço possuem espessura constante. Estas Abóbadas se denominam “Extradorsadas em nível”. A constância é gerada sempre que intradorso e extradorso forem concêntricos, variando-se exclusivamente o raio.



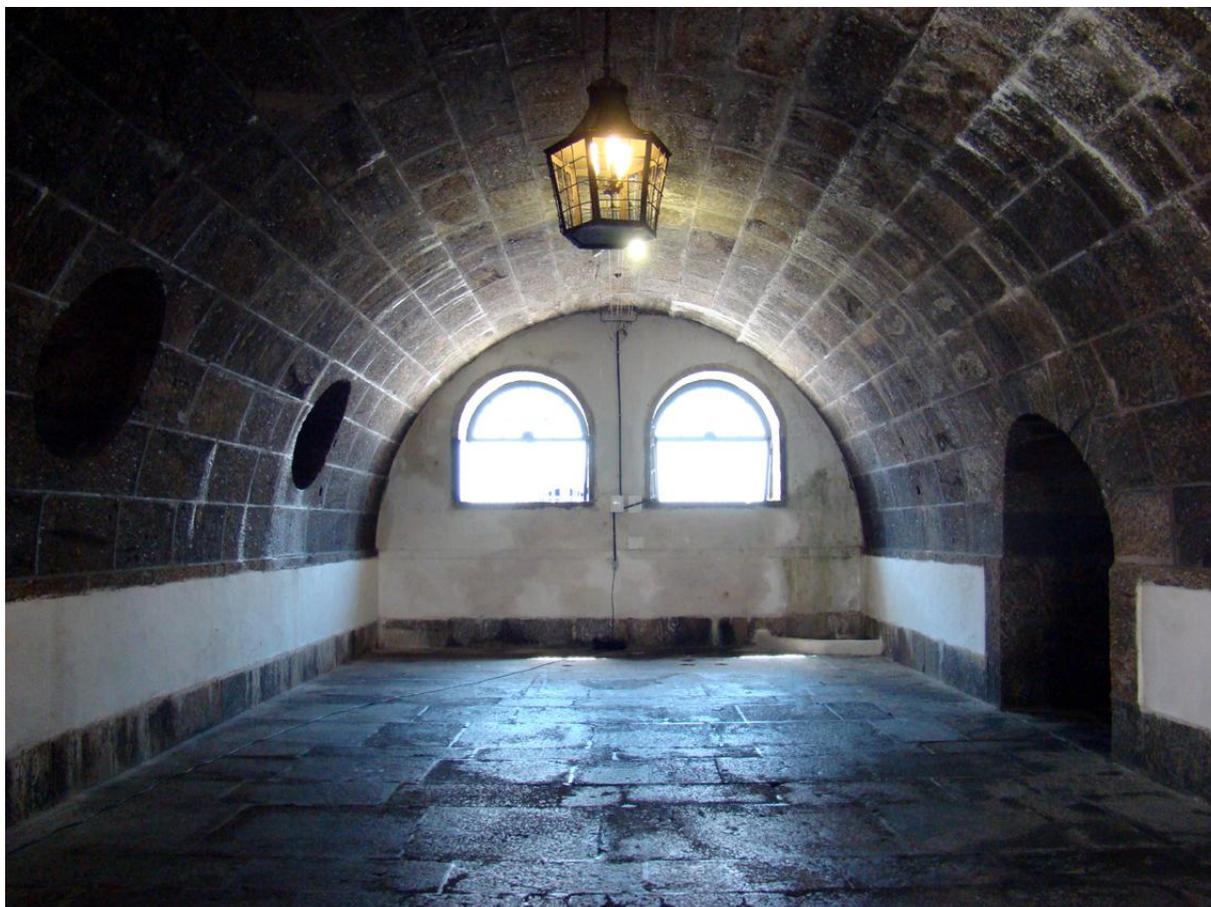
Capítulo 8 – Figura 164 – Elevação: Nomenclatura nas Abóbadas de Berço

Compõem, como se nota na figura 164, uma Abóbada de Aresta:

- Pedra Chave: Pedra que fecha o sistema estrutural, estabilizando todo o conjunto.
- Contrachaves: Blocos de pedra que se avizinham às pedras chave.
- Arranques, Salmers ou Saiméis: Blocos que apóiam a Abóbada nas impostas da parede.
- Blocos da Lombada: Todos os blocos intermediários que se situem entre os blocos de arranque e as contrachaves.
- Centros e raios: Elementos de projeto da Abóbada, que atendem aos requisitos da geometria e propriedades características.

Para a decupagem de uma Abóbada de berço, deve-se considerá-la como um arco de maior comprimento, gerado pelo engendramento ou enlace de arcos que deslizam sobre o eixo de topo que passa pelo ponto (O), como na figura 163; com movimentos similares, as curvas do intradorso e do extradorso geram a Abóbada e as juntas são geradas pela decupagem que se estabelece a partir dos blocos de arranque ou saiméis. Considerada desta maneira, a Abóbada de Berço é a continuidade das paredes, através da sucessão constante do

despeçamento dos blocos. Para que as superfícies de junta sejam contínuas, basta dividir o intradorso desta Abóbada em número ímpar de partes iguais, referentes a ângulos centrais iguais, que em última análise são os pontos de divisão do arco de intradorso.



Capítulo 8 – Figura 165: Abóbada de Berço – Fortaleza de Santa Cruz, Rio de Janeiro (foto do autor).

Por estes pontos de divisão passam planos de topo (ainda considerando como referência a *épura* da figura 163), que contêm o eixo do cilindro de intradorso. Como são cilindros excêntricos, os planos das juntas, que são normais ao cilindro interior, serão oblíquos ao extradorso, o que não raro, gera ângulos menores que os retos. O artifício para minimizar os ângulos agudos recorrentes que possam surgir no extradorso é trabalhar, na decupagem, com planos normais à circunferência média da Abóbada de Berço. Todavia, o primeiro procedimento sugerido é preferível, desde que os ângulos junto ao extradorso não sejam muito agudos. Como são internos, estes ângulos ficam ocultos e não mostram prováveis lascas ou fissuras. Por outro lado o acabamento do intradorso fica bem melhor, plasticamente considerando, com o perfeito perpendicularismo aparente (Figura 165).

A Abóbada, portanto, fica decupada em uma série de fileiras paralelas tanto ao eixo quanto às geratrizes dos cilindros de intradorso e de extradorso, restando para terminar o fracionamento dividir as fileiras por meio dos planos de junta descontínuos, que são escolhidos, segundo seções retas nos cilindros, isto é, por planos normais às geratrizes das duas superfícies do intradorso e do extradorso. As interseções destes

planos com as superfícies cilíndricas resultarão em segmentos curvilíneos de máxima curvatura e são traçados de maneira intercalada e equidistantes em cada fileira.

Como estes planos das juntas são perpendiculares aos eixos dos cilindros e como premissa básica, supus que estes eixos são ambos de topo (figura 163), os planos que contém as juntas serão frontais, paralelos ao plano vertical de projeções.

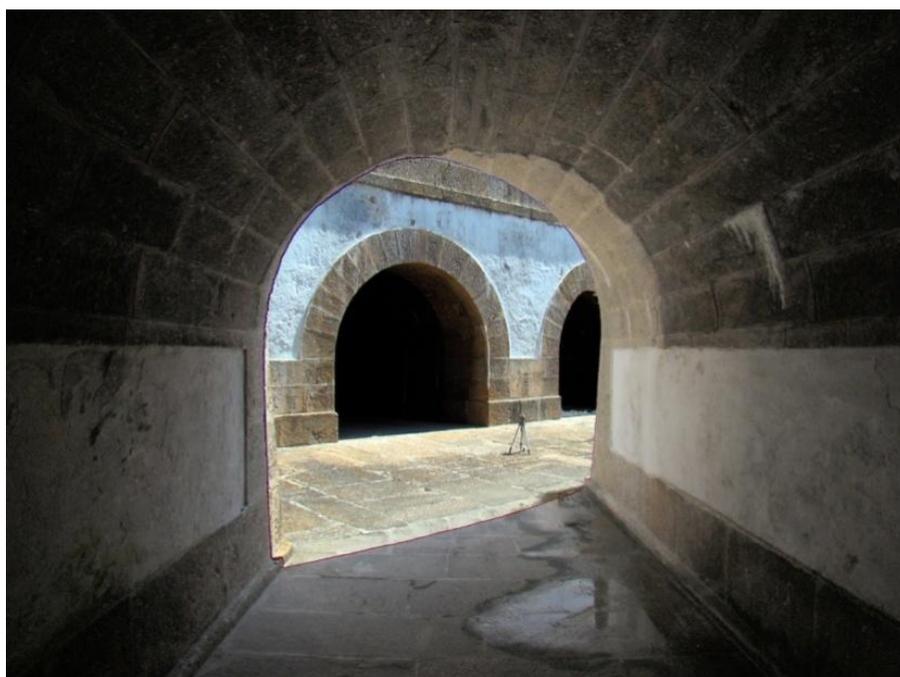
Para a determinação das faces não cilíndricas, não é necessário que se proceda a qualquer operação descritiva, uma vez que todos os elementos estão em verdadeira grandeza, em alguma das projeções:

- Os planos da junta contínua (pela qual os blocos de pedra se apóiam) serão retangulares em todos os blocos. O lado menor tem projeção vertical em verdadeira grandeza, pois nestas circunstâncias, todos serão frontais.
- As faces arqueadas que possuem lados pertencentes aos dois semicírculos, também terão projeção vertical em verdadeira grandeza.
- Todos os demais segmentos serão de topo e assim sendo cada um deles terá projeção horizontal em verdadeira grandeza.

Abóbadas de Berço, com freqüência não nascem diretamente do encabeçamento do arco e neste caso possuem então em sua embocadura um muro reto que pode ser normal ou oblíquo ao eixo do cilindro. As figuras 166 e 167 demonstram uma Abobadilha de Berço de face esconsa, que perfura um muro inclinado em viés encimado por terraço.

Nestes casos é necessário que se proceda a meticolosos enlaces perfeitos entre muro e Abóbada, de maneira a propiciar o travamento e a conseqüente estabilidade entre estes dois elementos: a parede ou muro e a Abóbada de Berço. O travamento é obtido então, fazendo-se com que as aduelas pertencentes ao muro tenham parte correspondente na Abóbada. Este é o caso que está demonstrado na figura 165, pela parede que contém as janelas, devidamente enlaçadas à Abóbada.

Uma variação mais complexa do travamento destas Abóbadas de Berço ocorre com a Abóbada Enviesada ou Esconsa. Para analisar esta nova configuração de Abóbada, seguirei considerando a Abóbada cilíndrica de eixo de topo; todavia agora, a cobertura resguarda uma área trapezoidal, representada na figura 167 – Épura 24 pelas projeções de (1)(2)(3)(4). A parede do encabeçamento é um muro reto, oblíquo, pertencente a um plano vertical ou qualquer (δ), no caso do plano em viés inclinado da figura 166.



Capítulo 8 - Figuras 166 e 167: Abóbadas de Berço em viés – Fortaleza de Santa Cruz, Rio de Janeiro (fotos do autor)

Como limite superior, desta feita adotarei um acabamento plano, em “açoteia” ou terraço (Figura 168), na qual apliquei o sistema pentagonal. O despeçamento de todas as peças da Abóbada é normal e já conhecido; o despeçamento dos blocos pertencentes ao arco do encabeçamento é diferenciado.

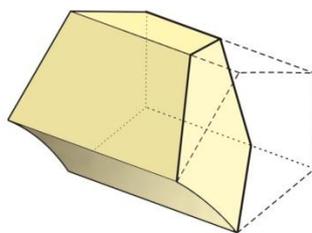
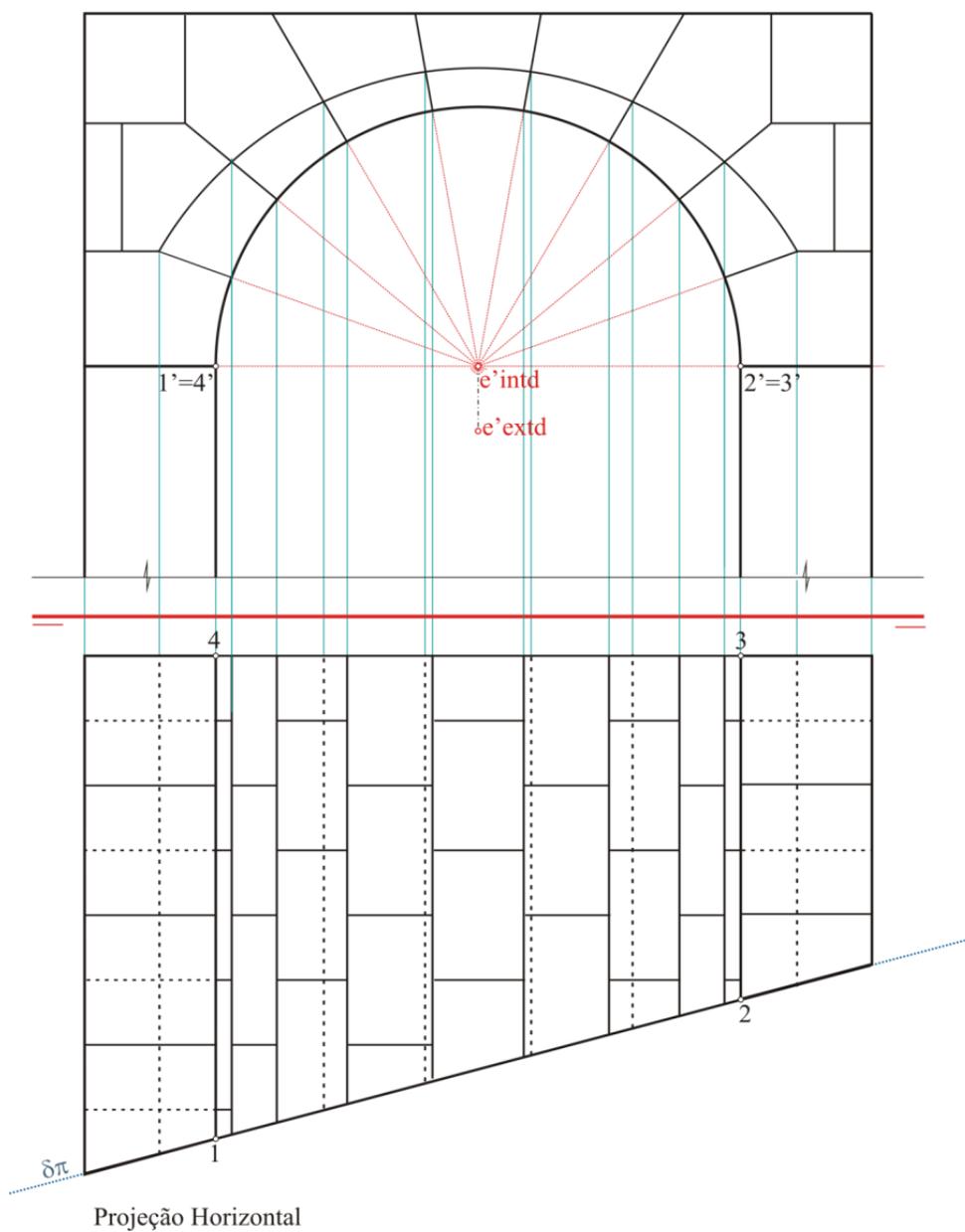


Capítulo 8 – Figura 168: Açoteia na Fortaleza de Santa Cruz, R. J. (foto do autor).

Para se determinar a verdadeira grandeza de qualquer dos planos de junta dos blocos pertencentes simultaneamente à Abóbada e à circunferência de encabeçamento, pode-se submeter este polígono a qualquer dos Métodos Descritivos, por exemplo ao processo dos rebatimentos, levando assim o plano da junta, por conveniência, ao plano horizontal de projeções, ou a plano paralelo a este, como já executado em casos análogos.

No rebatimento sugerido, cada vértice do polígono da face descreverá arcos de circunferência paralelos ao plano vertical de projeção, uma vez que o eixo é de topo e a trajetória descrita tem projeção vertical em verdadeira grandeza

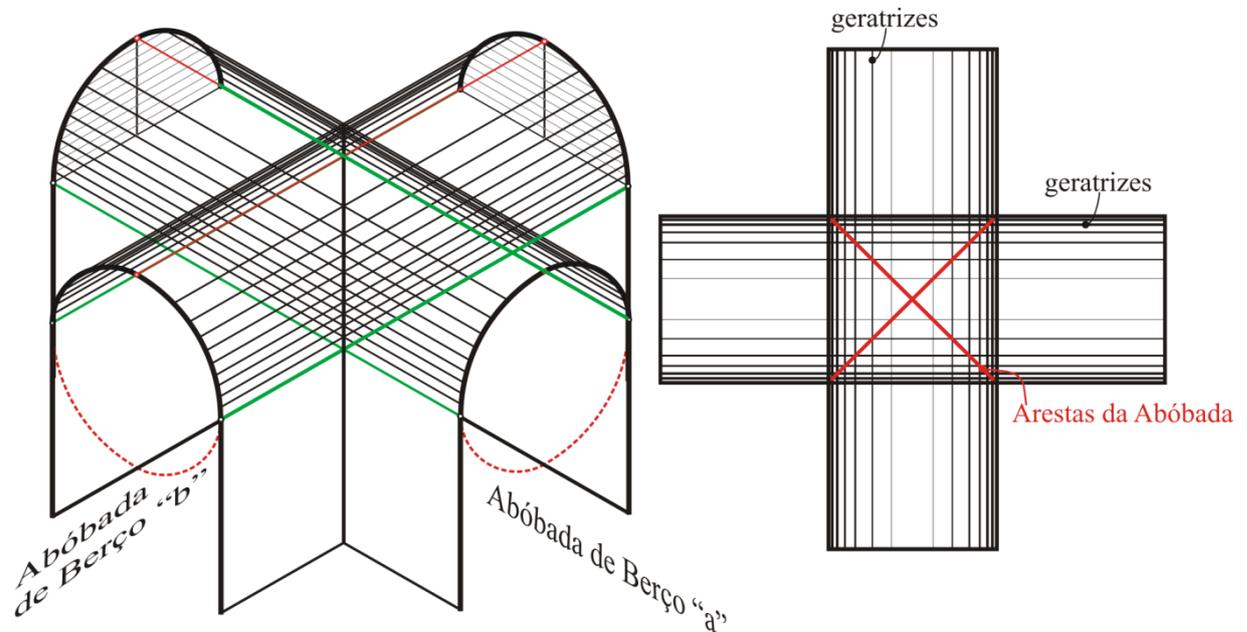
Projeção Vertical



Capítulo 8 - Figura 169/ Épura 24 e Figura 170: Abóbada de Berço em viés e perspectiva do bloco do encabeçamento (desenho do autor)

8.2 – Abóbadas de Aresta:

Após o estudo da abóbada de berço, também conhecida como Abóbada Simples, analisarei a decupagem no caso das Abóbadas de Arestas e posteriormente das Abóbadas “Barrete de Clérigo”, ambas conhecidas como Abóbadas Compostas que em última análise são geradas pela interseção de dois ou mais berços.



Capítulo 8 – Figuras 171 e 172: Perspectiva isométrica e Planta esquemática de Forro – Interseção dos cilindros e geração de Abóbada de Arestas (desenho do autor)

Na perspectiva ilustrativa e na planta de forro (figuras 171 e 172) considero que os dois berços são constituídos em Arco Pleno e que cobrem vãos de mesma luz; em outras palavras, ambas as Abóbadas possuem o mesmo diâmetro.

Ao traçar as geratrizes dos cilindros se deve considerar geratrizes que sempre apresentem, duas a duas, mesmo nível, ou seja, tenham mesma cota. Caso se prefira, pode-se optar pela interseção de “n” planos horizontais com os cilindros, cada um deles em seu nível. O resultado prático é o mesmo.

A interseção de todas as geratrizes (figura 171), ou dos dois berços, na área central comum aos dois cilindros, define as duas arestas da abóbada.

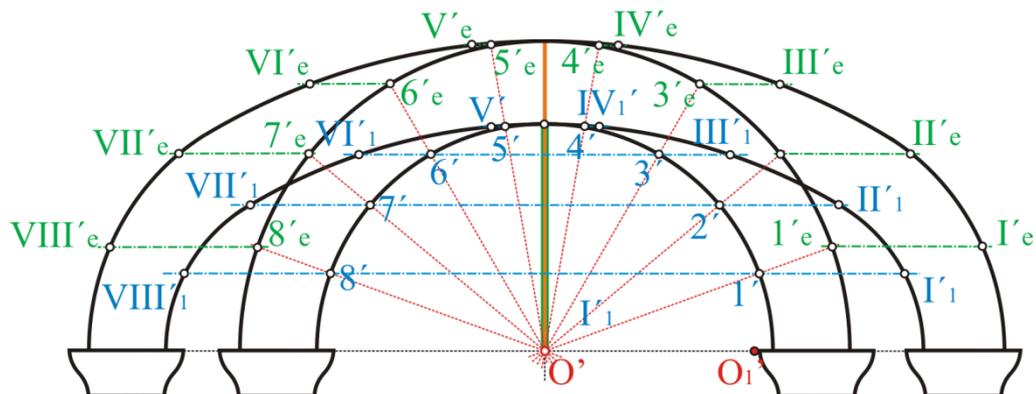


Capítulo 8 – Figura 173: Abóbada de Aresta, Claustro do Mosteiro de São Bento, Rio de Janeiro R.J. (foto do autor)

8.3 – Abóbadas de Aresta cobrindo vãos de dimensões diferentes.

Uma vez estabelecida a geração das Abóbadas de Aresta, será analisada a interseção de dois berços de mesma altura sendo que cada um destes berços vencerá o vão de medida diferente da outra. Para que os vãos mantenham a mesma altura, uma das abóbadas de aresta não poderá ser cilíndrico-circular, mas deverá ser cilíndrico-abatida com no mínimo três centros. A interseção entre os dois becos se produzirá segundo dois arcos de elipses, que se projetam horizontalmente segundo as diagonais do retângulo determinado pelo encontro das retas que se encontram no nível do arranque em ambos os berços.

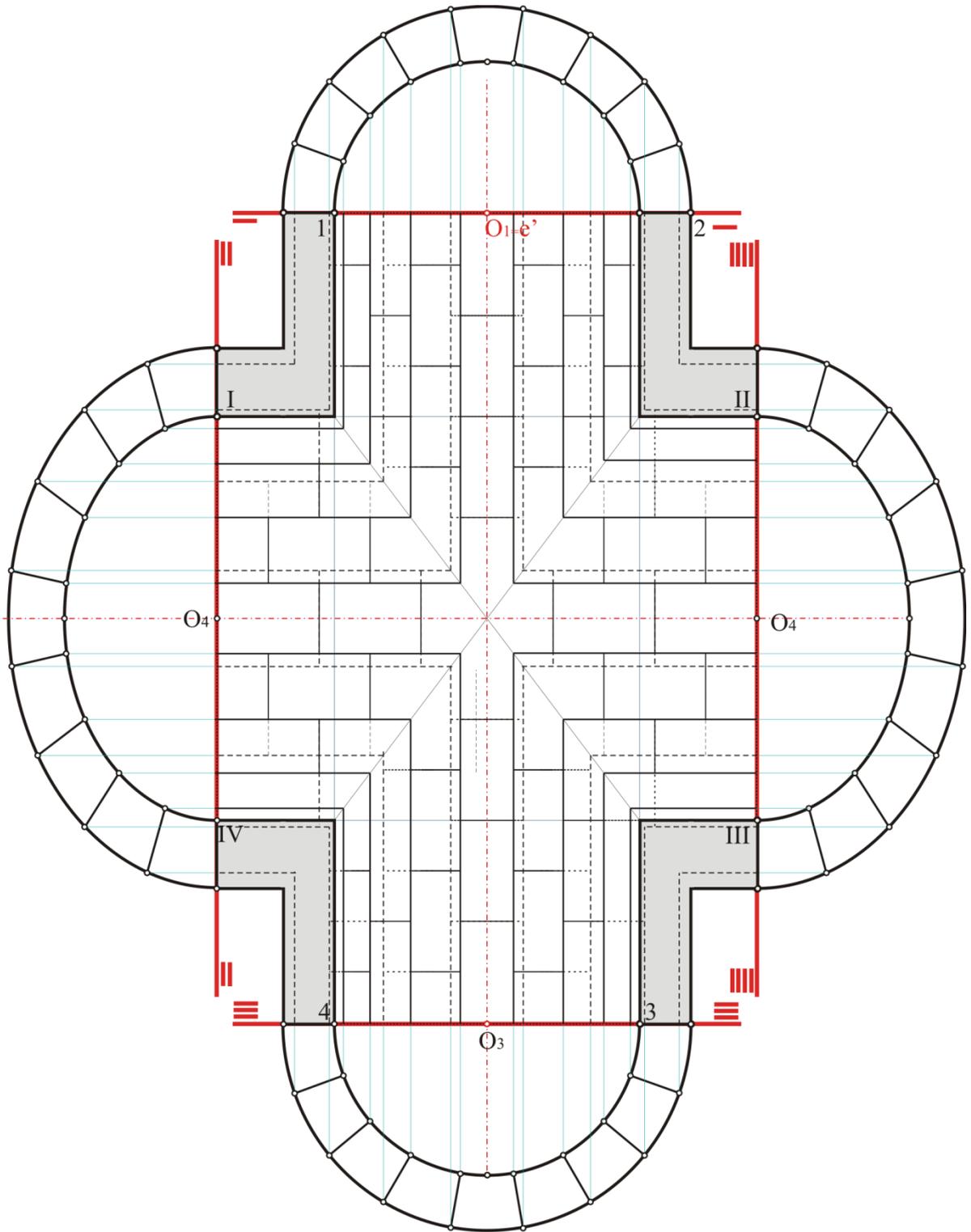
Antes da decupagem deve-se estabelecer, ainda quando em nível de projeto, relações entre os níveis das pedras de arranque, pedras de lombada, contrachaves e chaves dos dois arcos. Esta divisão pré projetual auxiliará, no estabelecimento dos blocos da Abóbada em Arco abatido de três Centros. Na figura 174, estabeleço esta relação superpondo os dois arcos de mesma altura, mas que vencem vãos diferentes, que serão os modelos para a decupagem que se seguirá.



Capítulo 8 – Figura 174 – Elevação: Relação entre pontos de mesmo nível nos dois arcos (desenho do autor).

A decupagem que se seguirá, estabelecerá a Abóbada de Aresta que no exemplo enunciado na figura 175 cobrirá duas áreas retangulares: a área (1)(2)(3)(4) – cujo eixo é (O₁)(O₃) e a área (I)(II)(III)(IV), cujo eixo é (O₂)(O₄). Relacionadas que foram (figura 174), as duas Abóbadas deverão apresentar mesmas “testadas” (ou encabeçamentos) e mesma altura. Quanto à dimensão dos vãos, este é um dado irrelevante; os vãos poderão ter dimensões iguais ou diferentes como, aliás, é o exemplo da figura 174. O que importa, é a equivalência das geratrizes dos dois berços.

- Divide-se o arco do encabeçamento em número ímpar de partes e o despeçamento começará então pela pedra chave de ambas as Abóbadas, na interseção dos berços.
- A decupagem continuará então, pelas fileiras das pedras chaves em ambas as Abóbadas. Em sequência continuarão, pelas contra chaves, intercaladamente, pelas pedras lombares até a união com os muros nos saiméis.
- As juntas da Abóbada abatida pertencerão às geratrizes do intradorso do berço que se encontram no mesmo nível, no berço semicircular. As superfícies de junta correspondentes a estas juntas serão determinadas por estas linhas e pelos planos normais ao arco abatido de intradorso do berço.



Capítulo 8 – Figura 175/Épura 25: Abóbada de Aresta, interseção entre berços cilíndrico e abatido.

(desenho do autor).

Na figura 175, através do artifício descritivo das mudanças de plano (vertical) de projeção, apresenta-se comum a quatro sistemas, uma mesma projeção horizontal que é uma planta alta, de forro.

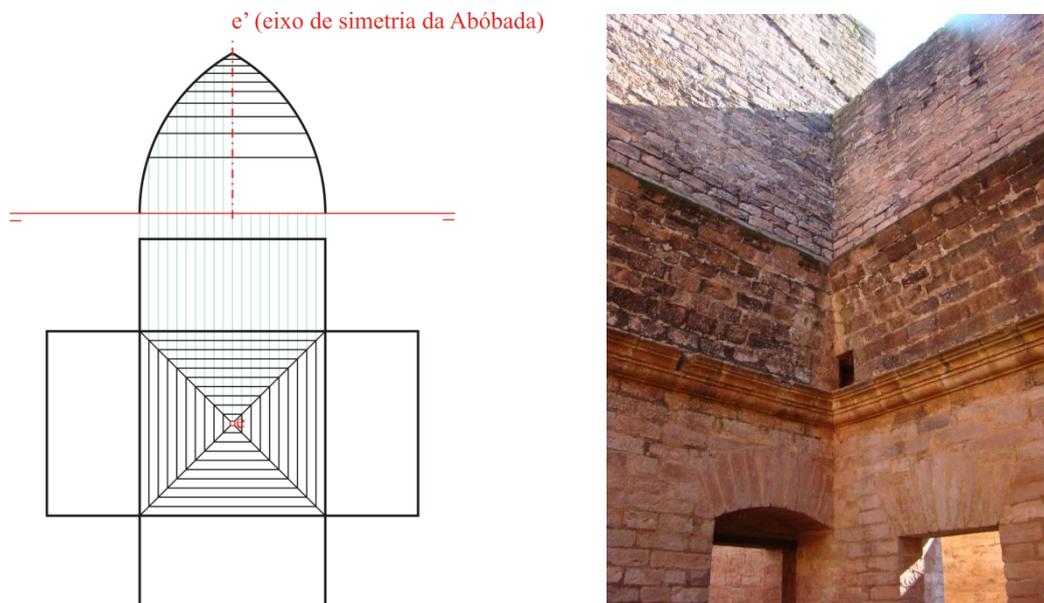
Nas curvas da interseção dos dois berços, os blocos pertencem igualmente e por igual a ambos os berços. Todavia, em função do partido arquitetônico adotado, na Abóbada de aresta da figura 175, optou-se por pedra chave em forma de cruz, de dimensões diferentes, em função de que o Berço cilíndrico é maior do que o Berço abatido. Esta diferença de dimensões, obviamente só é possível quando se emprega material pétreo compatível.



Capítulo 8 – Figura 176: Abóbadas de Arestas Abatidas – Mosteiro de São Bento, R. J. (foto do autor).

8.4 – Abóbadas Barrete de Clérigo

Agora, será tratado o assunto das Abóbadas de Claustro ou como são mais conhecidas desde o Brasil Colônia, as Abóbadas Barrete de Clérigo. Sejam dois berços, na mesma posição de interseção das Abóbadas de Aresta, mas da qual se aproveita a porção volumétrica complementar, nos moldes da figura 173.



Capítulo 8 – Figura 177 – Épura 26 e figura 177a: Geração e arranque de uma Abóbada Barrete de Clérigo na Missão Jesuítica de Jesús Tavarengué, Py (desenho e foto do autor)

As chamadas Abóbadas Barrete de Clérigo recebem esta denominação em função da forma peculiar que assume a interseção dos berços cilíndricos. Na figura 175, uma aplicação prática promovida nos Passos da Paixão do Santuário Bom Jesus do Matozinhos em Congonhas do Campo (M. G.), como estudou Oliveira⁶⁷.

Para Machado ⁶⁸, Abóbada Barrete de Clérigo é a “cobertura resultante da interseção de dois cilindros cujas geratrizes são paralelas ao lado do quadrado a ser coberto. Se a área a ser coberta fosse um octógono, resultariam oito superfícies deste tipo (...). O número de divisão tendendo ao infinito, o limite desta superfície será uma superfície cônica.”

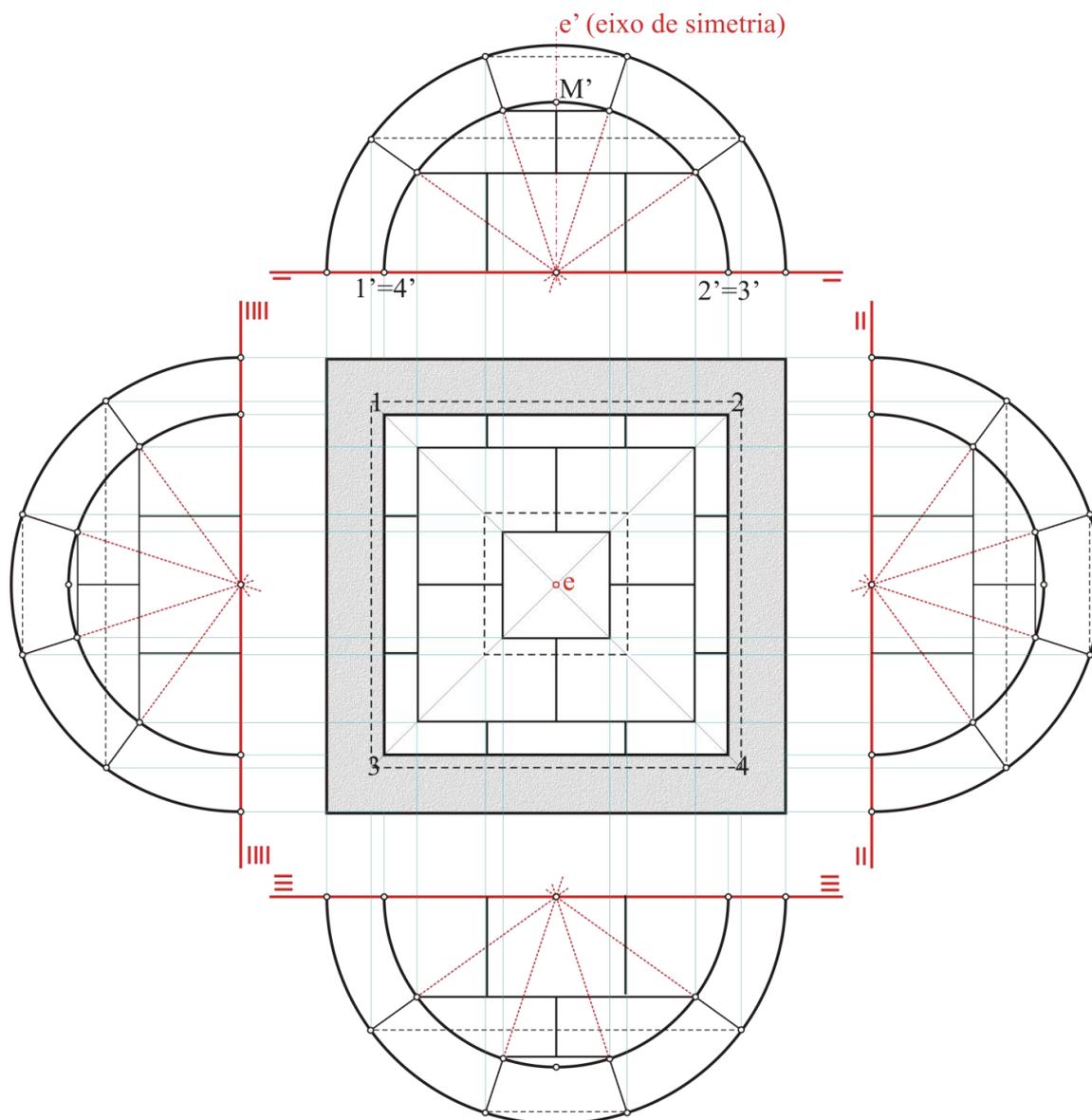
⁶⁷ OLIVEIRA, Myriam Andrade Ribeiro de. Aleijadinho Passos e Profetas. Ed Itatiaia Ltda. USP, 1985)

⁶⁸ MACHADO, Ardevan. Desenho na Engenharia e Arquitetura. Edição do Autor, São Paulo. 3ª Edição, 1981.



Capítulo 8 – Figura 178: Abóbada Barrete de Clérigo, Congonhas do Campo, M.G. (foto do autor)

Definidas que foram anteriormente, a geração e a forma das Abóbadas Barrete de Clérigo, analisarei sua decupagem. Para isso suporei a figura 179, na qual a área a ser coberta pela Abóbada está definida na projeção horizontal pelo quadrilátero (1)(2)(3)(4).



Capítulo 8 – Figura 179/Épura 27: Abóbada Barrete de Clérigo ou de Claustro (desenho do autor).

Divide-se o intradorso das superfícies cilíndricas em número ímpar de partes iguais. No caso da figura 176, foi utilizado o número cinco. Obviamente, em todas as épuras a cota dos pontos se mantém. Assim como nas Abóbadas de Aresta determinam-se os planos perpendiculares, que passando pelos pontos de divisão dos encabeçamentos fornecerão os planos de junta, normais às geratrizes de cada cilindro.

Cada anel ou fileira, uma vez fechado se sustentará, o que permitirá a supressão da pedra chave. Não raro, suprime-se uma ou mais pedras, visando iluminação interior, como se pode observar na figura

181. Particularmente, o acabamento do Campanário da Capela de Nossa Senhora da Glória do Outeiro apresenta aspecto externo de uma Abóbada Barrete de Clérigo octogonal; internamente se apresenta como uma pequena cúpula, o que será analisado no Capítulo 9.



Capítulo 8 – Figuras 180 e 181: Aspecto externo em Barrete de Clérigo – Campanário da Capela de N. S. da Glória do Outeiro, R.J. (foto do autor).

Uma Abóbada Barrete de Clérigo pode, em lugar da chave e das contrachaves, apresentar acabamento plano. Neste caso se denominará Abóbada aparelhada.



Capítulo 8 – Figura 182: Abóbada de Aresta em composição laminar – Castelo da Torre de Garcia D' Ávila, Tatauapara (BA) (foto do autor).

Devo salientar que as Abóbadas de Berço, de Aresta ou Barrete de Clérigo, podem ser executadas em material mais leve, como no caso da Torre do Castelo de Garcia D' Ávila, cujas Abóbadas de

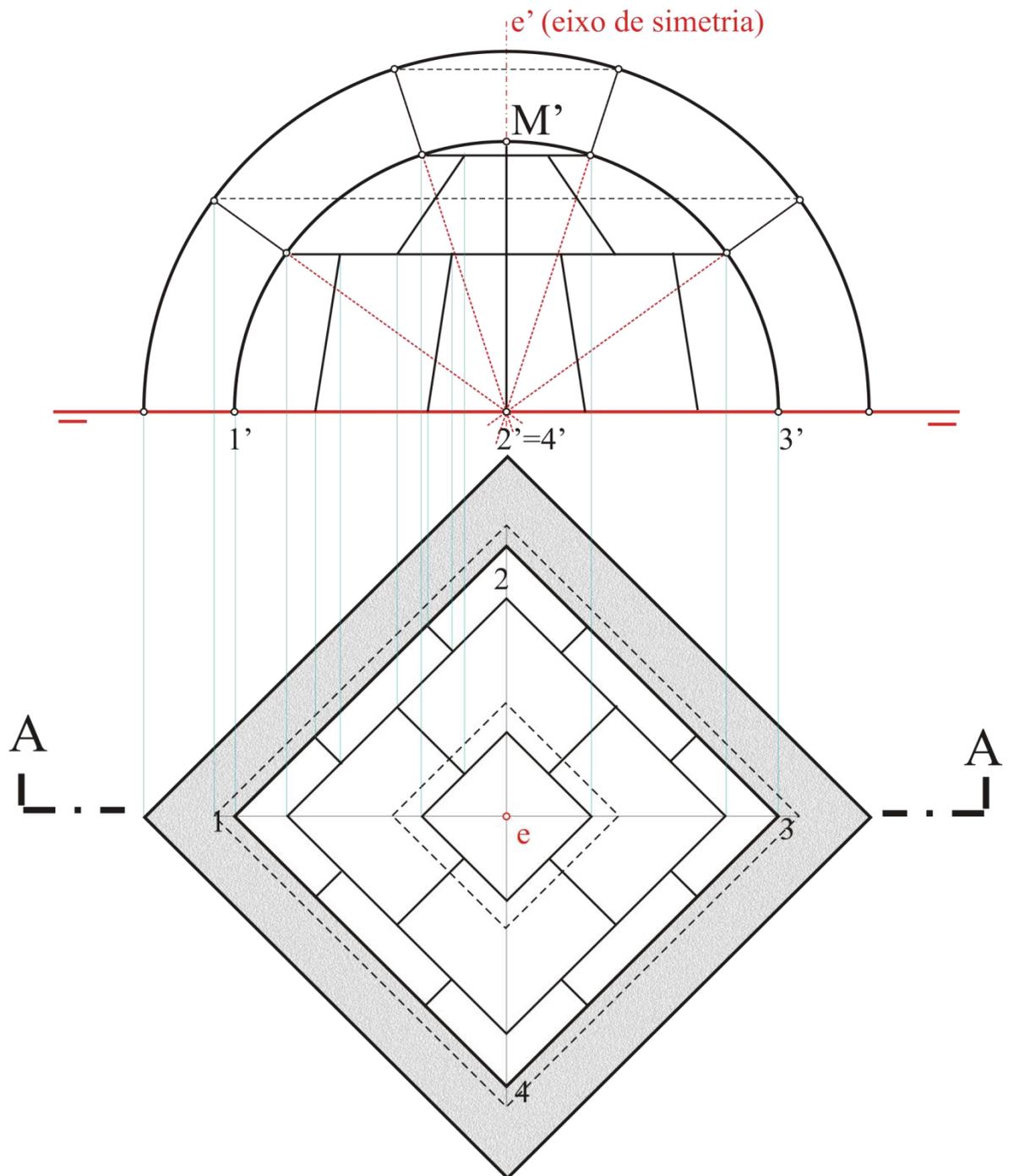
Aresta são executadas em argila cozida e pedras laminares (figura182). Este não é o caso do Claustro do Mosteiro de São Bento, no Rio de Janeiro (figura183).



Capítulo 8 – Figura 183: Galeria de Abóbadas de Aresta do Claustro do Mosteiro de São Bento, R. J. (foto do autor).

Observação: Com relação às Abóbadas Barrete de Clérigo, estas estruturas portantes assumem a tradicional forma que lhes denomina, quando a curva gerada pela interseção que se estabelece na diagonal da área é circular, conforme a épura 28 , abaixo:

Corte Diametral A-A

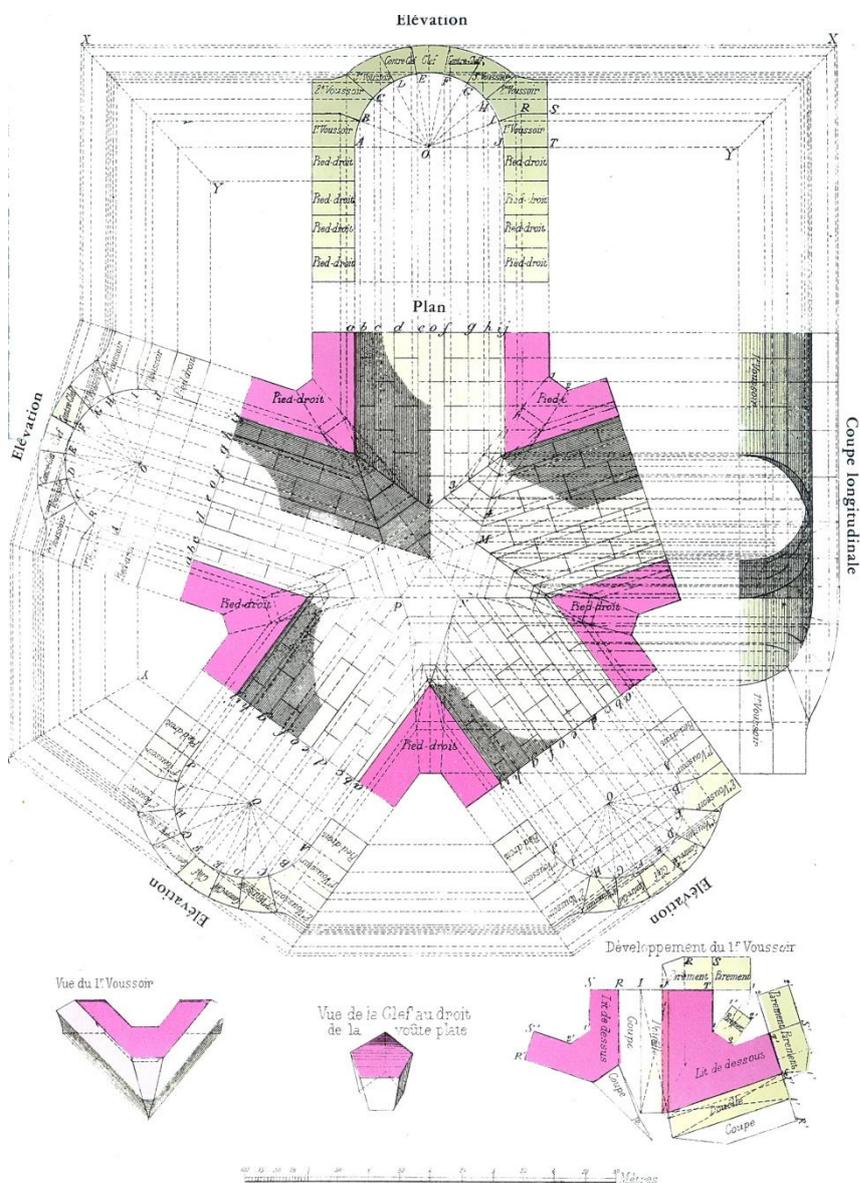


Projeção Horizontal - Planta de forro

Capítulo 8 – Figura 183 A/Épura 28: Abóbada Barrete de Clérigo convencional (desenho do Autor)

8.5 – Abóbadas de Aresta incomuns (pela especificidade, quase um estudo de caso).

Algumas soluções arquitetônicas geradas das atenções às necessidades impostas pela particularidade da edificação conduzem à estereotomias inusitadas, complexas e belíssimas, como o projeto de Monduit⁶⁹ para a Abóbada de Arestas em “estrela” pentagonal (figura 184).



Capítulo 8 – Figura 184/Épura 29: Abóbada de Arestas em estrela pentagonal. (épura de Monduit).

Na Fortaleza de Santa Cruz em Niterói, Rio de Janeiro encontram-se, não uma, mas duas Abóbadas de Aresta sobrepostas, uma em cada nível, absolutamente incomuns, que sustentam à carga do terraço superior e a pesados canhões. Estas Abóbadas se destacam e se diferenciam, não só pelo efeito plástico e pela esmeradíssima técnica de aparelhamento da pedra, mas, sobretudo pelas superlativas Estereotomia e Geometrias

⁶⁹ MONDUIT, Louis. *Traité Théorique ET Pratique de Stéréotomie*. Édition H. Viel. Paris, sem data.

Descritiva e das Construções que detém apresentando um magnífico espetáculo volumétrico ao espectador (figura 185).



Capítulo 8 – Figura 185: Abóbada tripartite – Fortaleza de Santa Cruz, R.J. (foto do autor).

Em cada nível, estas Abóbadas tripartites unem três arcadas que incrivelmente apresentam dimensões diferentes. Uma delas, a maior é oriunda do acesso do pátio de manobras e da caserna e as duas outras, unem duas casamatas distintas.



Capítulo 8 – Figuras 186 e 187: Arcada maior de acesso do pátio. Fortaleza de Santa Cruz, R. J. (fotos do autor)

Não bastasse a complexidade que este problema geométrico já oferece, as Abóbadas estão situadas em uma região em que a arquitetura militar exigiu uma mudança de direção das galerias (figuras 186, 187 e 188). O arco maior então é dotado de dupla curvatura, uma inusitada solução extremamente complexa, ainda em nossos dias; abatido (provavelmente executado em 5 centros), este arco nasce em uma face da edificação, se contorce virando-se no espaço e desce já pertencendo à outra face, não coplanar à primeira.

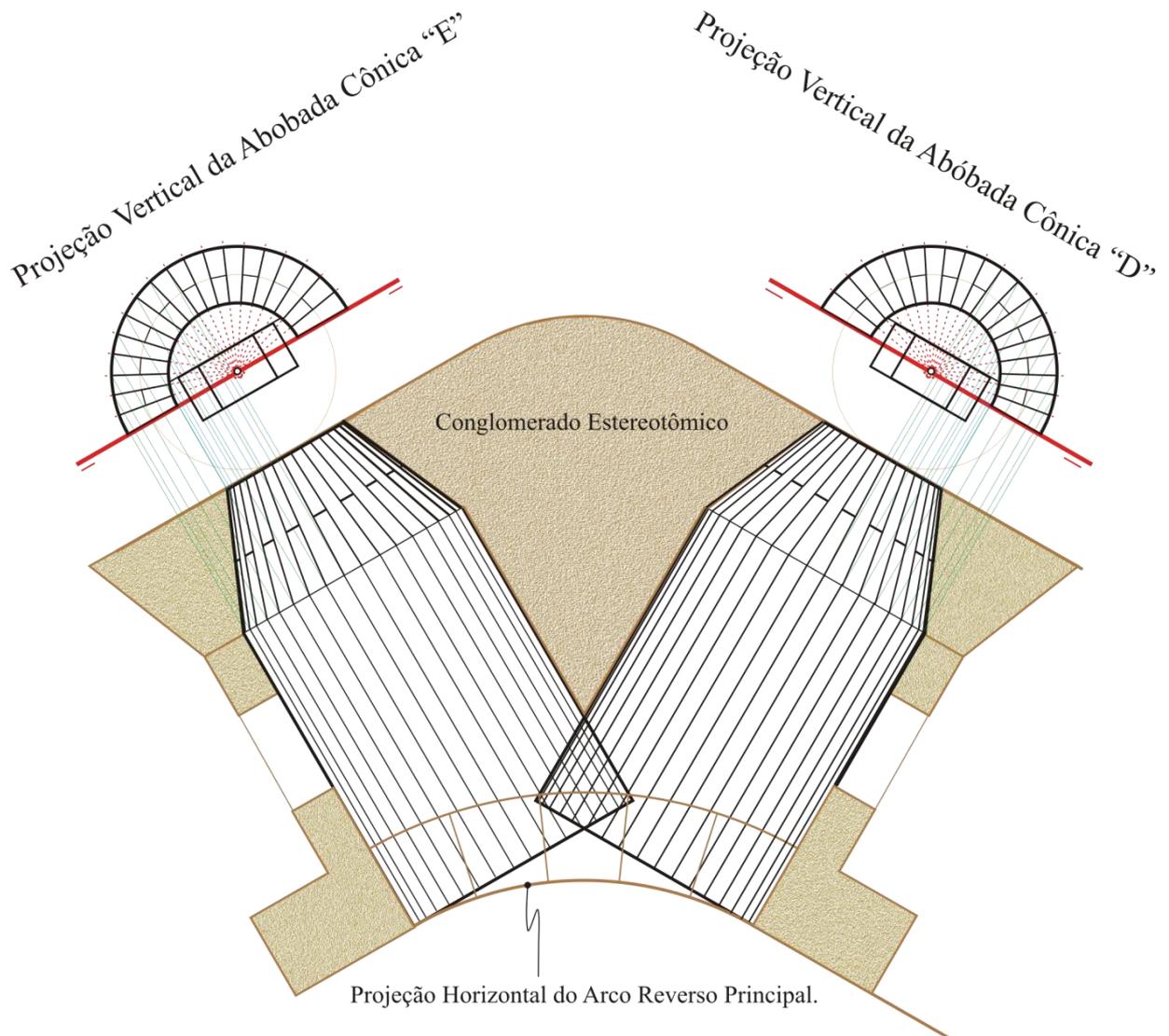


Capítulo 8 – Figura 188 – Arcadas e passadiço botaréu, Fortaleza de Santa Cruz, R. J.

(foto de Cristina Larreta)

Convém salientar que este arco apresenta-se abatido para que, mesmo sendo referente a maior corda, não apresentasse flecha maior que os demais arcos, o que interferiria no ritmo arquitetônico do conjunto (Figura 188).

Todo este conjunto é anteparado por um arco de botaréu abatido (figura 188), que em dupla função também sustenta o passadiço superior.



Projeção Horizontal Esquemática do Conjunto Abobadado Tripartite.

Capítulo 8 – Figura 189/Épura 29: Esquema do Conjunto Abobadado tripartite - Planta de Teto (desenho do autor).

A figura 190 mostra o conjunto de arestas formados pelas interseções dos berço abobadados do piso inferior, onde não raro a cheia da maré deixa as galerias molhadas e a figura 191 mostra a pedra chave do sistema, situada no nível superior.



Capítulo 8 – Figuras 190 e 191: Respectivamente a Abóbada tripartite e sua pedra chave, Fortaleza de Santa Cruz, R. J.

(fotos do autor)

A particularíssima estereotomia apresentada neste conjunto de Abóbadas de Arestas apresenta soluções diferenciadas em cada um dos pisos. No piso inferior (figura 190) traz um sistema que se apresenta em blocos maiores, assemelhando-se a uma “espinha de peixe”, cujos tições não são perpendiculares ou normais às sogas. O conjunto possui arestas abobadais extremamente definidas. Já a Abóbada superior é composta de um maior número de blocos e suas arestas se diluem na interseção, integrando aos três berços (figura 192) de maneira harmoniosa, em relação aos três cilindros.



Capítulo 8 – Figura 192: Abóbada de arestas Superior Fortaleza de Santa Cruz, R.J. (foto do autor)

Cada um dos berços menores é subdividido em duas Abóbadas diferentes. De maneira muito inteligente, para que a proximidade do paramento externo não apresentasse vulnerabilidade, as casamatas de pedra que contém as baterias da Fortaleza de Santa Cruz, aumentam de seção e assim sendo transformam a cada Abóbada de berço em duas abóbadas, sendo a segunda, uma abóbada cônica (figura 193).



Capítulo 8 – Figura 193: Abobadilha cônica e Abóbada de berço, Casamata na Fortaleza de Santa Cruz, R. J. (foto do autor).

A figura 193 além de demonstrar os dois tipos de Abóbadas, também demonstra uma particular estereotomia que em função da conicidade da superfície apresenta blocos de pedra de soga trapezoidal, alguns pentagonais e também hexagonais. Considerando-se que o número de berços ultrapassa em muito a dezena, pode-se imaginar o elevado rigor de execução, para que nenhum bloco fissurasse em função do aparecimento natural de ângulos obtusos.

A conjugação dos Arcos recebe uma meritória volumetria arquitetônica auxiliada pela conjugação espacial próxima de outros berços, que geram junto ao arco de botaréu um curioso e ímpar ambiente de circulação, garantido em termos de estabilidade pela estereotomia. Na figura 194, pode-se verificar que em função do paramento inclinado e da seção não perpendicular às geratrizes do berço cilíndrico, surge na área externa um diferente arco aviajado, cujas laterais não são paralelas.



Capítulo 8 – Figura 194: Interseção da Abóbada de Arestas com o botaréu, arco aviajado ao fundo.

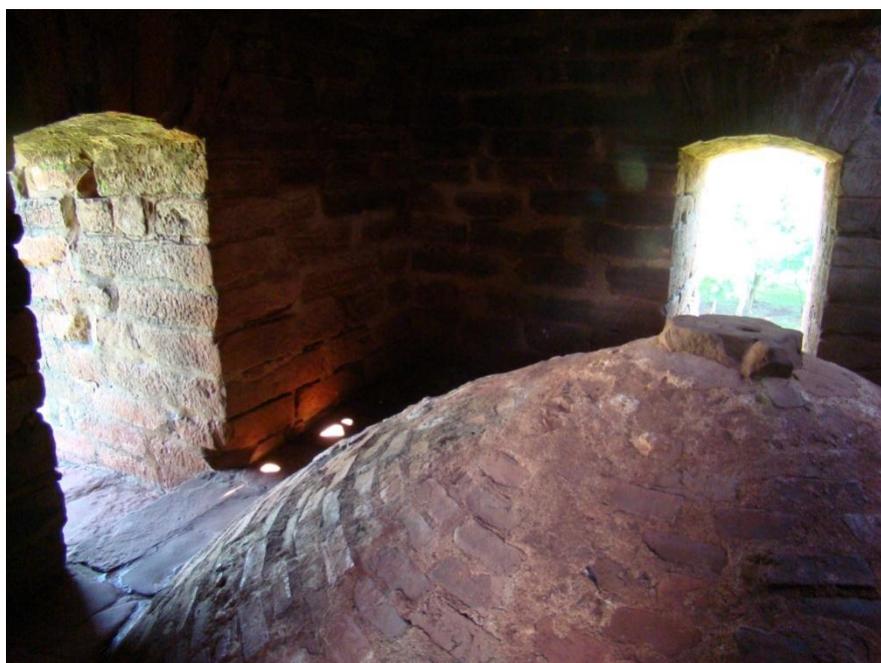
Fortaleza de Santa Cruz, R. J. (foto do autor)

Segundo Sakarovitch⁷⁰, o que possibilitou o estudo de uma Abóbada que seja resultada da interseção de mais de dois berços foram as aplicações avançadas da Geometria Descritiva. Os projetos pedagógicos de Monge, que incluíam desde as escolas secundárias eram decorrentes da revolucionária disciplina escolar, sobretudo na “*L’Ecole du génie de Mezières*”, onde se desenvolveu ainda mais, a partir de 1764, a milenar técnica esterotômica da edificação da arquitetura com as pedras.

Capítulo 9 – Cúpulas ou Abóbadas Esféricas

Uma vez analisado o processo de decupagem das Abóbadas de Aresta, verifica-se que a decupagem das Cúpulas ou Abóbadas Esféricas é um procedimento projetual simples que envolve a cobertura de uma área circular ou poligonal, estudada por Rondelet⁷¹.

Partirei do pressuposto de que a curva do intradorso desejada é uma circunferência, nos moldes já analisados das Abóbadas de Berço e a curva do extradorso (Figura 195) é outra circunferência, porém de centro rebaixado para não ser concêntrica à primeira, tão somente deslocada para que possa gerar maior leveza junto à chave.



Capítulo 9 – Figura 195: Extradorso e Chave da Cúpula – Missão Jesuítica de Jesús Tavarengué, Py (foto do autor).

⁷⁰ SAKAROVITCH, Joel, *Épures d’Architecture. De La Coupe de Pierres à La Géometrie Descritive XVIe-XIXe siècles*. Historical Studies-Science Networks. Bierkäuser Edictors. Deutch Bibliothecque. Basel Switzerland, 1998.

⁷¹ RONDELET, Giovanni. *Trattato teórico e pratico dell’arte di edificare*. Nova edição, Editrice Librerie Dedalo, Roma, 2003.

Em função do rebaixamento do centro e conforme se aproxima das saiméis, a Cúpula aumentará de seção, gerando maior estabilidade. Assim, no projeto utilizam-se duas geratrizes, uma para cada dorso da Cúpula. O intradorso da Cúpula é igual à meia esfera que tem por eixo uma reta vertical que contém o centro da pedra chave. Na figura 202– Épura 30, a semicircunferência que gera a semiesfera do intradorso contém os pontos (1)(2)(3)...(14)(15) e (16) – cujas marcações foram intencionalmente omitidos em projeção horizontal.

Sendo a Cúpula sustentada por uma parede de pedra, cujo processo de decupagem já é conhecido, represento na épura 30 somente a esfericidade apoiada nas impostas. Portanto, segundo Cramb⁷² para o projeto da Cúpula considero as impostas apoiadas no plano horizontal de projeções. A espessura do muro está texturizada e em sua representação se demonstra a planta de teto, ou de forro.

A decupagem, como sempre se precedeu até aqui, se inicia pela divisão do arco de intradorso, na épura 30 considerado e representado pelo corte diametral AA, em número ímpar de partes iguais. Nesta épura foi utilizada a divisão em quinze partes iguais, correspondendo então à divisão do intradorso da Cúpula (Figura 196).



Capítulo 9 – Figura 196: Intradorso e Chave da Cúpula– Missão Jesuítica de Jesús Tavarengué, Py.(foto do autor).

Os pontos de divisão do arco de semicircunferência (ou semicircunfero) serão suportes de planos horizontais que geram seções na Cúpula. Estas seções, na épura 30 são caracterizadas pelos planos (α 1) a (α 7), que apresentam como projeções verticais os traços correspondentes e apresentam projeções horizontais, segundo circunferências concêntricas que são o resultado da interseção dos planos com a semiesfera.

Estas circunferências concêntricas, em verdade são as diversas bases das fileiras dos leitos e dos sobreleitos dos blocos de pedra. Portanto, os planos das fileiras cortam o intradorso da Cúpula, segundo

⁷² CRAMB, Iam. The art of the stonemason. Allan C. Hood & Co, Batterway Books. Chambersbourg, 1992.

circunferências de projeção vertical paralelas à Linha de Terra e de projeção horizontal concêntricas, que conforme se aproximam das impostas tendem ao diâmetro máximo e conforme se afastam das impostas diminuem de diâmetro, até a pedra chave, que apresenta o diâmetro mínimo.

Para completar a decupagem, deve-se utilizar planos perpendiculares ao plano horizontal de projeção (frontais, verticais ou de perfil), todos concorrentes no centro da Pedra Chave, que segundo intervalos de amplitudes iguais determinarão os Meridianos. Estes por sua vez, conterão as juntas verticais descontinuas.

Na época 30, estes planos perpendiculares ao plano horizontal foram omitidos, em favor da legibilidade da figura, mantendo-se apenas o plano vertical (β), cujo traço no plano horizontal de projeções é $\beta\pi$.

Assegura Mahan⁷³, que os planos de juntas descontinuas, pelos princípios da Estereotomia da Pedra, deverão ser normais aos dois paramentos, interno e externo. Como o próprio nome indica, estas juntas deverão ser intercaladas em cada fileira, jamais coincidindo, seja com a fileira inferior ou com a fileira superior.



Capítulo 9 – Figura 197: Cúpula da Capela – Torre de Garcia D’ Ávila-Tatauapara, BA. (foto do autor).

A figura 197 apresenta uma pintura de forro na Cúpula Esférica, que corretamente mostra as circunferências geradas pelos planos paralelos ao plano horizontal, mas demonstra de maneira equivocada aos planos de juntas, não sendo esta a sua intencionalidade. Obviamente aqui se trata apenas de uma ilusão pictórica, tanto quanto a forma conchóide da meia cúpula sobre o Altar Mor, que se vê ao fundo nas figuras 198 e 198A.

⁷³ MAHAN, D.H.. Descriptive Geometry as applied to the drawing of fortification and stereotomy. John Wiley & Son. New York, 1872. Fac Simile by University of Michigan, 2006.



Capítulo 9 – Figura 198 e 198A: Nave e Altar Mor da Capela do Castelo de Garcia D'Ávila – Tatauapara, BA.

(fotos de Cristina Larreta e do autor)

As circunferências da projeção horizontal, que apresentam verdadeira grandeza, poderão ser divididas em qualquer número de partes iguais, contanto que se “descase” a junta da fileira imediatamente consecutiva (figura 202-Épura 30).

Determinados os pontos que serão suportes das juntas descontinuadas, por estes pontos se traçam os meridianos, também descontinuados. Na cúpula mostrada na figura 197, foram utilizados para esse traçado segmentos retilíneos, com a finalidade de demonstrar que em função do número de planos horizontais e de planos verticais utilizados, a Cúpula pode apresentar a forma facetada, poliédrica. Quanto maior o número de juntas descontinuadas, e de planos horizontais utilizados, mais a Cúpula se aproxima da esfericidade total e mais se aproximam os meridianos da projeção elíptica.

Planos verticais e horizontais determinarão inclusive as características e as possibilidades de manipulação das pedras utilizadas na edificação daquela estrutura. Os planos de juntas das fileiras ímpares formarão ângulos em projeção horizontal e as juntas das fileiras pares estarão, necessariamente, sobre as bissetrizes desses ângulos. Em função da forma de cunha das aduelas de uma Abóbada Esférica, muitas vezes se torna possível a supressão de elementos, tais como a Pedra Chave, ou alguns blocos, visando a aeração e a iluminação do ambiente.

Além das Cúpulas Esféricas, são possíveis a decupagem de Cúpulas Parabólicas, como na Igreja de Nossa Senhora da Candelária no Rio de Janeiro.



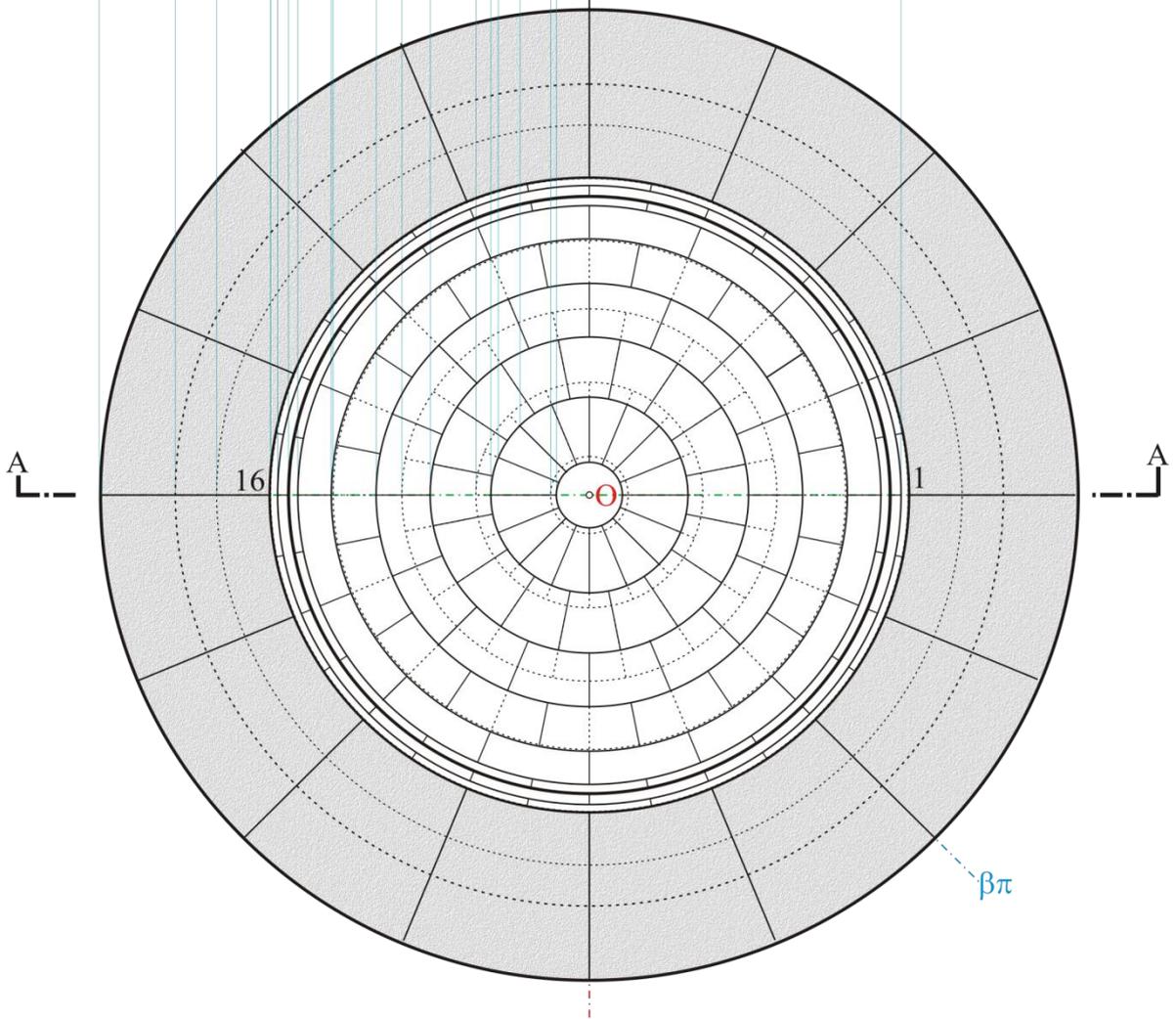
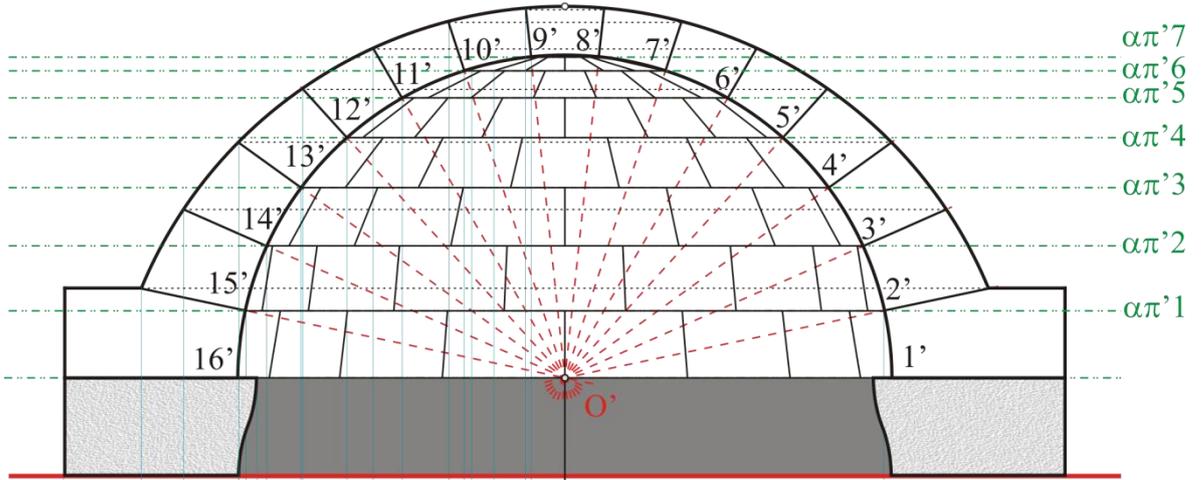
Capítulo 9 – Figura 199: Nossa Senhora da Candelária, R.J. (foto do autor).

Também são possíveis Cúpulas Planas, caso que infelizmente não se apresenta na América portuguesa. As figuras 199 e 200 apresentam curiosa e rudimentar Cúpula Piramidal, uma inusitada solução.



Capítulo 9 – Figuras 200 e 201: Cúpula piramidal – Capela Mor Nossa Senhora de Nazaré, Cabo de Santo Agostinho, PE. (foto do autor).

Projeção Vertical: Seção Diametral A-A



Projeção Horizontal: Planta de Forro ou de Teto.

Capítulo 10 – Finis

Os antigos construtores e os planejadores da arquitetura empregavam regulações oriundas do experimento, totalmente empíricas na decupagem e no dimensionamento dos elementos estruturais de seus edifícios de alvenaria de pedra. Estes cânones implícitos na sabedoria popular sem dúvida foram uma herança do antigo regime das corporações de ofício e tiveram grande difusão tanto cronológica, quanto geograficamente tendo chegado ao Brasil e ao novo mundo em geral, no começo do século XVI. Este “*modus operandi*” empírico na estereotomia arquitetônica antecedeu inclusive à Antiguidade Clássica, sendo utilizado com grande frequência até a sua chegada à América, onde se alastrou entre nós, até o último quartel do século XIX.

No velho mundo, o divisor de águas que demonstra o abandono deste empirismo é a Teoria da Elasticidade e o subsequente desenvolvimento da Resistência dos Materiais. Até então, as regras estereotômicas e projetuais não estavam baseadas em nenhum tipo de cálculo e muitas vezes, após o seu surgimento, se verifica uma tendência a considerar as regras empíricas inúteis.

De fato, o enfoque elástico não é de grande ajuda para a análise das estruturas estereotômicas. Um marco teórico mais adequado para abastecer as análises modernas foi desenvolvido por Heyman⁷⁴ na sua proposta fundamental, a atenção ao equilíbrio. Sem dúvida, na Europa, as análises e observações sobre o equilíbrio das estruturas estereotômicas ocorreram a partir do final do século XVI e se desenvolveram desde até o século XX. O advento de novos materiais como o concreto armado e o aço favoreceu o esquecimento destas análises de equilíbrio.

Para Huerta⁷⁵, tanto quanto para Terrin⁷⁶, uma das obras que mais influenciaram o desenvolvimento da análise das Abóbadas foi o tratado de Estereotomia de Frézier de 1737. Neste tratado, particularmente no terceiro e último volume, Frézier dedica um capítulo completo ao empuxo das Abóbadas, classificando-as segundo a sua Estereotomia, em Abóbadas Simples e Compostas. Como diz o próprio Frézier, esta foi a primeira vez que se abordou este problema. Frézier não analisou exemplos concretos, mas antes a maneira pela qual a geometria dos blocos tornava a estrutura estável, indicando o aparelhamento a ser executado. Portanto, seus resultados são de ordem qualitativa e o emprego sistemático do método estereotômico abre caminhos para outros projetos e análises estruturais.

Precursor da sistematização de Monge quando sistematizou a Estereotomia arquitetônica, Frézier já nos acenava com as integridades da Geometria Descritiva e das Construções Geométricas, que lamentável, precoce e estranhamente foram abandonadas, no cenário educacional do Brasil.

⁷⁴ HEYMAN, Jacques. *The Stone Skeleton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.

⁷⁵ HUERTA, Santiago. *Arcos Bóvedas y Cupulas*. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 2004.

⁷⁶ TERRIN, Jean Jacques. *Coupoles*. Editions Hazan, Paris, 2006.

A aplicação prática e a observação das análises nas arquiteturas de pedra confirmam que a condição mais restritiva para o projeto estereoarquitetônico não é a resistência, mas a estabilidade. Para que um conjunto estereotômico seja estável, seus elementos estruturais devem ter dimensionamento e proporcionalidades corretos, o que depende fundamentalmente da forma pensada para a estrutura. Ou seja, da maneira como se pretendeu a arquitetura de pedra. Obviamente, ao longo dos tempos, assim nasceram e proliferaram muitas teorias de arquiteturas que apontaram para diversas construções geométricas cada uma delas provida de proporções válidas para o projeto de arcos, abóbadas ou ainda dos variados elementos arquitetônicos.

As regras empíricas geométricas forneceram meios para que fossem arbitradas proporções válidas mediante parâmetros que não consideravam as dimensões em si, exceto por questões de manipulação. Este foi o processo racional no projeto enquanto na arquitetura se tratou de equilíbrio estático e não havia a preocupação em ornamentar. Estas considerações já foram feitas por alguns autores do século XIX e mais recentemente no século XX por Heyman⁷⁷; segundo Huerta⁷⁸, Heyman não recebeu atenção ou destaque por parte dos historiadores da arquitetura.

É sabido, porém que, alguns problemas de projeto envolveram a alvenaria de pedra considerando soluções dependentes do dimensionamento. Este é o caso das pedras chave das Abóbadas, cuja máxima leveza é desejável, bem como das torres de pedra, estruturas que se tornaram mais estáveis quando se utilizaram blocos estruturais que fossem proporcionalmente mais finos e delgados.

⁷⁷ HEYMAN, Jacques. *The Stone Skeleton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.

⁷⁸ HUERTA, Santiago. *Arcos Bóvedas y Cupulas*. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 2004.



Finis – Figura 203: Torre na Missão Jesuítica de Santíssima Trindade, Py, (foto do autor)

Os dimensionamentos das regulações eram considerados, uma vez que apresentavam um limite de piso mínimo razoável para o projeto. Estes cânones demonstraram também que grandes tamanhos geravam gastos excessivo de material e de mão de obra.

No antigo continente, estudaram o equilíbrio das estruturas estereotômicas: Robert Hooke (1670) - que propôs a catenária como perfil ideal dos arcos, Stirling (1717), Philippe de la Hire (1695), Bélidor (1725), Perronet (1750), Couplet (1729), Boistard (1810), Garidel (1835), Michon (1840), Navier (1826), Poncelet (1852), Gaudi (cerca de 1900), entre outros.

Ainda que a atitude destes e de outros cientistas que desenvolveram as teorias das estabilidades considerassem as regras empíricas negativamente, o estudo do desenvolvimento destas teorias, bem como a durabilidade da estereotomia arquitetônica demonstram como válidas as formas geométricas empíricas, deduzidas da própria natureza do problema de equilíbrio resolvido pelos antigos.

O fato é que as teorias hoje existentes se desenvolveram sempre após a prática, como que se adaptando para atender a formulações que por sua vez atendessem às demandas plásticas e de equilíbrios ideais.

Realço o caráter essencialmente geométrico do problema projetual-estereotômico, que permitiu realizar do desenho geométrico a comprovação tridimensional da estabilidade, fosse de um arco, de uma abóbada ou da decupagem estereotômica de um edifício. Estas sempre foram atividades nas quais o desenho foi o meio mais importante de expressão e transmissão do conhecimento.

Um desenho e um conjunto “*archi-tectonico*” ainda hoje estável contém uma série de regulações que somente o olhar aguçado e experiente poderá deduzir sem dificuldade. Infelizmente, o abandono da Geometria Descritiva, das Construções Geométricas da Arquitetura Analítica e o desmazelo e a negligência com a História das Técnicas faz com que não se preparem mais os olhares.

Por isso, esta tese não esgota o assunto do projeto tradicional das estruturas de pedra estereotomicamente tratadas e trabalhadas na História das Técnicas, no Brasil ou na América Portuguesa. A historicidade implícita ao assunto sempre remeterá a novas considerações que exigirão não só novas pesquisas, mas também novas épuras, novas visualizações e novas perspectivas.

O estudo da existência e da aplicação desta geometria na arquitetura no Brasil está por ser verticalmente aprofundado. Mestres construtores proliferaram vindos da corte e da região litorânea em sentido do interior deixando manuscritos e arquivos nas irmandades, posturas nas Casas das Câmaras, nos bispados, nos arquivos portugueses. Tais documentos ainda deverão ser inventariados e analisados, como fizeram Filgueiras⁷⁹ (com relação à História das Técnicas em Minas Gerais), Ribeiro⁸⁰ (com relação imaginária), Alvim⁸¹, Trindade⁸² ou mesmo Santos⁸³, (com relação às especificações arquitetônicas e nelas buscando um maior conhecimento sobre a prática e sobre a técnica construtiva). Nigri⁸⁴ por exemplo, evidencia que “*em 1743, o operoso e dinamico Frei Francisco de São José, amigo e conterrâneo de Alpoim, resolveu dar princípio a hum Claustro todo de Cantaria excelente. Este edifício he o mais nobre que tem a província toda*”. Nigri discorre então sobre o Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro, em muitos aspectos, deixando a questão da estereotomia ali aplicada tão somente para a observação do leitor.

Já o Mestre Antônio Calheiros nos legou a fabulosa arquitetura estereotômica da Capela de Nossa Senhora do Rosário dos Negros de Ouro Preto, cuja plástica geometria está por ser desvendada a exemplo de tantos outros monumentos no país.

⁷⁹ FILGUEIRAS, Carlos Alberto Lombardi. A Ciência e as Minas Gerais do Setecentos. In História de Minas Gerais-As Minas Setecentistas. Autentica Editora. Belo Horizonte, 2007.

⁸⁰ OLIVEIRA, Myriam Andrade Ribeiro de. O Aleijadinho e sua oficina. Editora Capivara. São Paulo, 2002.

⁸¹ ALVIM, Sandra Poleschuck. Arquitetura Religiosa Colonial no Rio de Janeiro. Editora UFRJ, Rio de Janeiro 1999.

⁸² TRINDADE, Cônego Raymundo Trindade. Igreja de São Francisco de Assis de Ouro Preto, Imprensa Oficial de Minas Gerais, 1950.

⁸³ SANTOS, Paulo. Subsídios para estudo da Arquitetura religiosa em Ouro Preto. Livraria Kosmos, 1951.

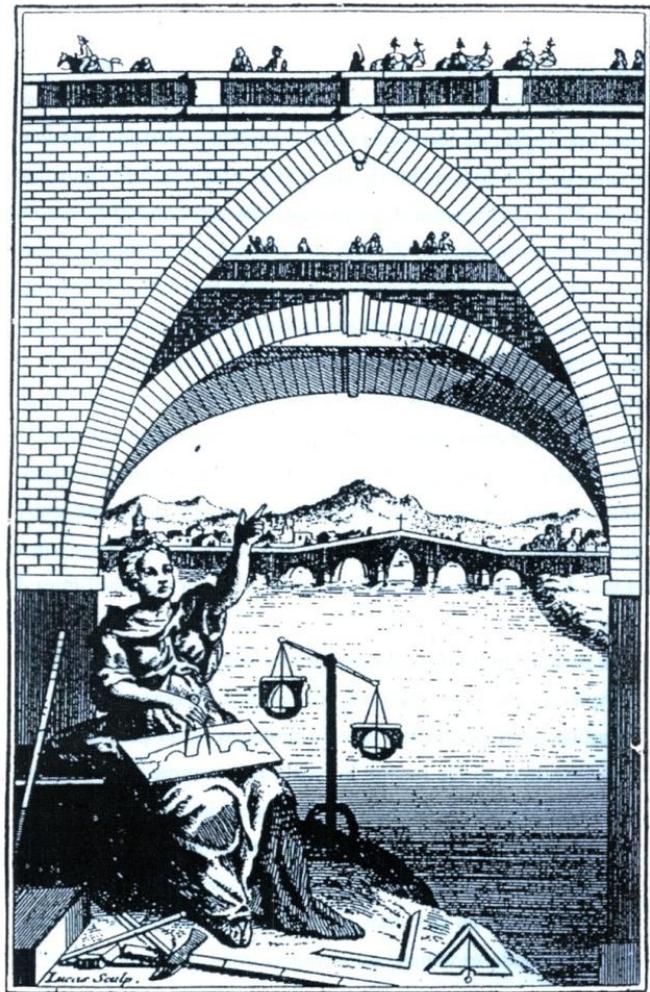
⁸⁴ NIGRI, D. Clemente Maria da Silva. Construtores e Artistas do Mosteiro de São Bento. Tipografia Beneditina, Salvador, 1950.



Finis – Figura 204: Capela de Nossa Senhora do Rosário, Ouro Preto, M.G. (foto do autor).

Sem dúvida, a realização de estudos deste tipo será um importante marco da História das Técnicas aplicadas na Arquitetura no Brasil que levarão ao maior conhecimento e a uma melhor compreensão da forma de edificar e das obras dos antigos construtores.

O tratado sobre pontes de Gaultier (1716) apresenta um frontispício onde se lê, logo abaixo de três arcos (abatido, pleno e de ogiva), uma frase que resume a essência do problema estereotomico: Do mesmo modo que se pesa em uma balança, assim se constrói em arquitetura.



UT, PONDERA LIBRA, SIC ÆDIFICIA ARCHITECTURA.

Finis – Figura 205: Frontispício do livro de Gaultier

Bibliografia

1. ABECCHI, Antonio, FOCE, Federico. Degli archi e delle volte – Arte del Costruire tra meccanica e stereotomia. Marsilio Editori. Venezia, 2001.

2. ALBERNAZ, Maria Paula e LIMA, Cecília Modesto, Dicionário Ilustrado de Arquitetura. Pro Editores.São Paulo, 1998.
3. ALVIM, Sandra Poleschuck. Arquitetura Religiosa Colonial no Rio de Janeiro. Editora UFRJ, Rio de Janeiro 1999.
4. ANONIMO. Sommaire du Cours du Stéréotomie de L'École Imperiale Polytechnique. Paris 1865
5. ASENSI, Fernando Isquierdo. Geometria Descriptiva Superior y Aplicada. Dossat. Madrid, 1975.
6. BALDESSARINI, Sônia Rincon. A Arquitetura da Casa da Torre de Garcia D'Ávila. EGBA. Salvador, 2001.
7. BARROS, Relié de Martin. Vauban L'Intelligence Du Terroire. Service historique de la defense.
8. BENEVOLO, Leonardo. História da Arquitetura Moderna. Perspectiva. São Paulo,1976.
9. BITTAR, William ET AL. Arquitetura no Brasil, de Cabral a D. JoãoVI. Ao Livro Técnico, 2007.
10. BURY, John. Arquitetura e Arte no Brasil Colonial. Organização de Myrian Andrade Ribeiro de Oliveira. IPHAN/Monumenta. Brasília, 2006.
11. CALFA, Humberto Giovanni. Desenho Geométrico Plano. Biblioteca do Exército Editora. Rio de Janeiro,1997.
12. CAMPBELL, James W. P.. Ladrillo, História Universal.Art Bluma. Barcelona, 2004.
13. CARVALHO, Benjamin de A. Desenho Geométrico. Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro, 3ªEd.1989.
14. COPPLESTONE, Trewin et al. World Architecture.The Ramlyn Publishing Group Limited. London 1963.
15. COSTA, Lúcio. Arquitetura. MEC/FINAME/BLOCH. Rio de Janeiro, 1980.

16. CRAMB, Iam. The art of the stonemason. Allan C. Hood & Co, Batterway Books. Chambersbourg, 1992.
17. DÍAZ, Enrique Rabasa. Guia práctica de Le estereotomia de La piedra. Centro de los Ofícios. Leon,2007.
18. DIAZ, Henrique Rabasa. Estereotomia de la Piedra – Guia Pratica.Ed. Celarayn, Léon, 2007.
19. FILGUEIRAS, Carlos Alberto Lombardi. A Ciência e as Minas Gerais do Setecentos. In História de Minas Gerais - As Minas Setecentistas. Autentica Editora. Belo Horizonte, 2007.
20. FITCHEN, John. The construction of Gothic Catedrals. The University of Chicago Press. Chicago, 1961.
21. FITCHEN, John. The Constrution of Gothic Cathedrals. The University of Chicago Press, 1961.
22. FRÉZIER, M.. La Theorie et la pratique de la Coupe des Pierres e des Bois, pour la constrution de voutes et outres parties des bâtimens Civils & Militaires, ou Traité de Stéréotomie a l’usage de l’Architecture, Tomes I, II et III.
23. HEYMAN, Jacques. The Stone Skeleton. Strutural engineering of masonry architecture. Cambridge University Press, 1997
24. HIDALGO, Joaquim Del Soto. Geometria Descritiva, Perspectiva, Sombras y Estereotomia. Edição do autor. Madrid,1959.
25. HOLLANDA, Aurélio Buarque. Dicionário da Língua Portuguesa do Século XXI. Edição Eletrônica, Rio de Janeiro, 2000.
26. HUERTA, Santiago. Arcos Bóvedas y Cupulas. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 2004.
27. LIMA, Cecília Modesto e ALBERNAZ, Maria Paula. Dicionário Ilustrado de Arquitetura. Pro Editores, São Paulo, 1998.

28. MACAULAY, David. Castle. Houghton Mifflin Company Boston. Boston, 1977.
29. MACHADO, Ardevan. Desenho na Engenharia e Arquitetura. Edição do Autor, São Paulo. 3ª Edição, 1981.
30. MACHADO, Reinaldo Guedes et al. Barroco Mineiro – Glossário de Arquitetura. Fundação João Pinheiro, 1980.
31. MAHAN, D.H.. Descriptive Geometry as applied to the drawing of fortification and stereotomy. John Wiley & Son. New York, 1872. Fac Simile by University of Michigan, 2006.
32. MARTINS, Judith. Dicionário de Artistas e Artífices dos Séculos XVIII e XIX em Minas Gerais. 2 volumes, Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Rio de Janeiro, 1974.
33. MARTINS, Nestor Torelly et al. O Legado Arquitetônico. Unisinos. São Leopoldo, 2002.
34. MELLO, Suzy. Arquitetura no Brasil. Sistemas Construtivos. UFMG. Belo Horizonte, 1979.
35. MONDUIT, Louis. Traité Théorique et Pratique de Stéréotomie. Éditions H. Vial. Paris, re-edition 2002.
36. MOREUX, Jean-Charles. Histoire de L'Architecture, Presses Universitaires de France, 1941
37. NIGRI, D. Clemente Maria da Silva. Construtores e Artistas do Mosteiro de São Bento. Tipografia Beneditina, Salvador, 1950.
38. OLIVEIRA, Mário Mendonça de. As fortificações portuguesas de Salvador. Fundação Gregório de Mattos, 2004
39. OLIVEIRA, Myriam Andrade Ribeiro de. Aleijadinho Passos e Profetas. Ed Itatiaia Ltda. USP, 1985)
40. OLIVEIRA, Myriam Andrade Ribeiro de. O Aleijadinho e sua oficina. Editora Capivara. São Paulo, 2002.

41. PANOFSKY, Erwin. *Arquitetura Gótica e Escolástica*. Martins Fontes, São Paulo, 2001.
42. PENTEADO, José de Arruda. *Curso de Desenho*. São Paulo Editora, 1972.
43. PEREIRA, Carlos A., LICCARDO, Antonio e SILVA, Fabiano Gomes da. *A Arte da Cantaria*. Editora com Arte. Belo Horizonte, 2007.
44. PEVSNER, Nikolaus et al. *Dictionary of Architecture and Landscape Architecture*. Penguin Books. London 1991.
45. PINHEIRO, Virgílio de Athayde. *Noções de Geometria Descritiva*. Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro, 1971.
46. ROBERTSON, D.S.. *Arquitetura Grega e Romana*. Martins Fontes, São Paulo, 1997.
47. RONDELET, Giovanni. *Tratado Teorico e pratico dell' Arte di Edificare*. Paris, 1802.
48. SAKAROVITCH, Joel, *Épures d'Architecture. De La Coupe de Pierres à La Géometrie Descritive XVIe-XIXe siecles*. Historical Studies-Science Networks. Bierkäuser Edictors. Deutch Bibliothecque. Basel Switzerland, 1998.
49. SANTOS, Paulo. *Subsídios para estudo da Arquitetura religiosa em Ouro Preto*. Livraria Kosmos, 1951.
50. SCHULTZE, Petra Lamers. *Teoria da Arquitetura*. Taschen. Colonia, 2003.
51. SIMON, Mário. *Os Sete Povos das Missões*. Martins Livreiro Editor. Porto Alegre, 1939.
52. TELLES, Augusto Carlos da Silva. *Nossa Senhora da Gloria do Outeiro*. Agir. Rio de Janeiro, 1999.
53. TERRIN, Jean Jacques. *Coupoles*. Editions Hazan, Paris, 2006.
54. TRINDADE, Cônego Raymundo Trindade. *Igreja de São Francisco de Assis de Ouro Preto*, Imprensa Oficial de Minas Gerais , 1950.

55. VASCONCELLOS, Sylvio. Arquitetura Dois Estudos.
MEC/SESU/PIMEG/UCG. Goiania, 1983.
56. VIGNOLA, Jacques Barozio de. Tratado Pratico elementar de Architectura.
Briguiet Editores. Rio de Janeiro, s/data.
57. VILLELA, Clarisse Martins. Critérios para a seleção de Rochas na Restauração
da Cantaria. Tese de Mestrado. UFOP. Ouro Preto, 2003.
58. VIOLLET-LE- DUC, Éugene Emmanuel, Pensamentos sobre a Arquitetura,
Paris, 1872.
59. VITRUVIO, Marco Polião. Dez livros de Arquitetura. Ed. Ingrid Rowland.
Cambridge Univeristy. 1999.
60. WARREN, Edward C.E.. Stereotomy - Problems in Stone Cutting, for students
of Engineering and Architecture. John Wiley & Sons. New York, 1911.