

ARGAMASSA ARMADA

VOLUME 2

PROJETO ESTRUTURAL E
DIMENSIONAMENTO
COM TELAS SOLDADAS



ibts

PROJETO ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO DE ARGAMASSA ARMADA COM TELAS SOLDADAS

Eng. João Bento de Hanai*

* Professor Titular do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Engenheiro Civil (1972), Mestre em Engenharia de Estruturas (1977), Doutor em Engenharia de Estruturas (1982), Professor Livre-Docente (1987), Professor Titular (1991), Pesquisador e consultor técnico da área de Estruturas de Concreto e Argamassa.

Agradecimentos

Expresso aqui meus sinceros agradecimentos ao IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, não somente pelo convite à participação neste louvável empreendimento de divulgação tecnológica, como também por todo o apoio que tem dado aos nossos trabalhos de pesquisa e desenvolvimento na área de argamassa armada e estruturas de concreto em geral.

Quero também agradecer de público e por escrito aos amigos que incentivaram e ofereceram várias sugestões a este trabalho, eng^o Luiz Rodolfo Moraes Rêgo, eng^o João Batista Rodrigues da Silva e arq. Paulo Eduardo Fonseca de Campos.

Ao eng^o Pedro Wellington Gonçalves do Nascimento Teixeira e ao sr. Francisco Carlos Guete de Brito, expressei meu reconhecimento e gratidão pelos desenhos elaborados.

Eng^o João Bento de Hanai

Conteúdo

	Apresentação	4
1	Projeto de estruturas de argamassa armada	5
	1.1 - Conceituação do material	
	1.2 - Desempenho estrutural	
	1.3 - Formas estruturais	
	1.4 - Muito pouco, quase nada sobre o tema	
2	Materiais usualmente empregados	18
3	Fixação de dimensões e arranjo de armaduras	24
	3.1 - Cobrimento da armadura	
	3.2 - Tolerâncias dimensionais	
	3.3 - Limitações geométricas relativas às telas de aço	
	3.4 - Arranjos típicos de armadura	
	3.5 - Outras disposições construtivas sobre armadura	
	3.6 - Ancoragem	
	3.7 - Emendas de telas, fios e barras de aço	
	3.8 - União de elementos pré-moldados	
4	Metodologia de cálculo	28
	4.1 - Dimensionamento e esforços resistentes	
	4.2 - Estado Limite Último - Solicitações Normais	
	4.3 - Estado Limite Último - Solicitações Tangenciais	
	4.4 - Estado Limite de Utilização - Formação de Fissuras	
	4.5 - Estado Limite de Utilização - Fissuração Inaceitável	
	4.6 - Estado Limite de Utilização - Deformação Excessiva	
5	Exemplos de dimensionamento	33
6	Comentários finais	
	Bibliografia	49
	Tabelas	50

Apresentação

A argamassa armada é um material que - de tempos em tempos - se distingue no cenário da Construção Civil com um extraordinário potencial inovador. Basta observar a sua trajetória histórica para selecionar fatos significativos como:

- na década de 1850, o material - chamado de *fer-ciment* pelo seu idealizador, Joseph-Louis Lambot - foi patenteado na França, sendo hoje considerado como o precursor do atual concreto armado;
- em 1922, a argamassa armada foi utilizada na construção da primeira cúpula geodésica do mundo, na fábrica Carl Zeiss, na Alemanha, que serviria para o teste de um invento importante, o projetor planetário de Walter Bauersfeld. Esta estrutura é considerada também a primeira estrutura em casca executada com concreto.
- sobretudo a partir dos anos 40 deste século, passou a ser utilizado na Construção Naval, viabilizando a construção de diversos tipos de estruturas flutuantes, como barcos, chatas e plataformas;
- a partir de 1946, Pier Luigi Nervi, engenheiro italiano, produziria obras antológicas da Engenharia e Arquitetura mundial, utilizando a argamassa armada em elementos pré-moldados que confeririam notável leveza às estruturas;
- no Brasil, o material foi desenvolvido e adaptado às nossas condições pelos professores Martinelli e Schiel, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, nos anos 60,

resultando em elementos pré-moldados de cobertura que precederam atuais elementos de concreto protendido pré-fabricado e as telhas estruturais de fibrocimento;

- A partir do final dos anos 70, o arquiteto João Filgueiras Lima desenvolveu inúmeros trabalhos com argamassa armada que assombraram engenheiros e arquitetos, pela sua qualidade arquitetônica e construtiva e pela sua grande versatilidade.

Como se vê, a Tecnologia da Argamassa Armada tem mostrado uma vocação incomum para a inovação tecnológica. Todavia, tal desenvolvimento de novas aplicações não tem sido devidamente acompanhado de uma disseminação mais organizada dos conhecimentos ao público profissional. Mais ainda, certos mitos sobre o material e as técnicas a ele associadas, acabaram deixando essa tecnologia cercada de conceitos prós e contras, prejudicando o seu desenvolvimento.

Esta publicação, juntamente com a elaborada pelo arquiteto Paulo Eduardo Fonseca de Campos (*Argamassa Armada: Industrialização, Aplicações e Processos de Produção*), numa iniciativa muito importante do Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, vem para dar sua contribuição à divulgação da Tecnologia da Argamassa Armada e à sua desmitificação.

O enfoque aqui é dado ao projeto estrutural e ao dimensionamento das estruturas e componentes de argamassa armada, buscando demonstrar os procedimentos técnicos necessários ao desenvolvimento de produtos para a Construção Civil.

1. Projeto de estruturas de argamassa armada

Projetar estruturas e componentes de argamassa armada não é mais fácil nem mais difícil que fazê-lo com outros materiais, como concreto, aço, madeira, etc.

Assim como cantava Noel Rosa – *ninguém aprende samba no colégio* –, a arte de projetar não pode simplesmente ser ensinada e aprendida apenas por meio de leis, regras ou teoremas.

Não é fácil definir um caminho para se chegar a um bom projeto, uma vez que entram em jogo tantas variáveis, muitas delas conflitantes entre si, a serem analisadas em atividades que não são executadas de modo linear – as atividades de projeto na verdade acontecem em sucessivas idas e vindas, de desenho e redesenho.

A melhor maneira de aperfeiçoar a própria arte e capacidade de projetar é analisar projetos e obras realizadas por mestres e procurar entender a harmonia alcançada nas relações entre espaço, funcionalidade, estrutura, materiais, construtividade, etc. Neste sentido recomendamos a consulta às referências bibliográficas apresentadas ao final deste texto e a observação atenta e crítica de trabalhos já realizados no campo da argamassa armada.

O que se pode fazer neste capítulo é oferecer dados para a compreensão de algumas particularidades da argamassa armada, numa tentativa de se relacionar o que o material pode intrinsecamente oferecer (propriedades de *hardware*), com o modo tecnologicamente correto de sua aplicação (potencial de *software*). Ou seja, devemos procurar entender como o material se comporta e como ele pode ser aplicado na Construção Civil de modo tecnologicamente adequado.

1.1- Conceituação do material

O que é *argamassa armada*, e como ela deve ser vista na análise do comportamento estrutural de elementos, componentes e sistemas construtivos?

Outras publicações^[1 e 2] apresentam com mais

detalhes o histórico e a evolução do material, e as sutilezas que levam especialistas a considerá-lo ora como um tipo de *ferrocimento*, ora como um tipo de concreto armado.

Neste trabalho estaremos tratando a argamassa armada como um tipo particular de concreto armado, aplicável a elementos e componentes construtivos de *pequena espessura*, da ordem de 20 mm a 60 mm.

Assumindo-se a pequena espessura dos componentes de uma estrutura de argamassa armada como um fator de diferenciação dos similares em concreto armado, observamos que em decorrência disto:

- é necessário limitar a dimensão dos agregados;
- a espessura do cobrimento da armadura é relativamente menor;
- é necessária uma armadura de distribuição, ou uma *armadura difusa*, em todas as partes do componente.

A limitação do tamanho dos agregados faz com que, ao invés de concreto, trabalhem com uma *argamassa ou um microconcreto* – aqui entendido como um concreto com agregados de diâmetro máximo característico igual a 9,5 mm.

A redução da espessura do cobrimento a valores entre 6 mm e 12 mm diminui, em princípio, a sua capacidade de proteger a armadura contra a corrosão. Por isso, torna-se de grande importância a utilização de uma argamassa ou microconcreto de muito boa qualidade, para se restituir à armadura um nível satisfatório de proteção. Por outro lado, como veremos a seguir, as fissuras que podem surgir na argamassa armada são muito finas, em decorrência da presença da armadura difusa.

A *armadura difusa*, geralmente constituída por telas soldadas de fios finos e pouco espaçados, é exigida para que não haja fragilização do elemento ou componente. As peças de pequena espessura, sujeitas a ações mecânicas externas e a deformações por retração da

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento

argamassa e por variações de temperatura, poderiam se tornar muito frágeis sem essa armadura distribuída. Essa armadura de telas soldadas, além de absorver esforços de tração, propicia um eficiente controle da fissuração.

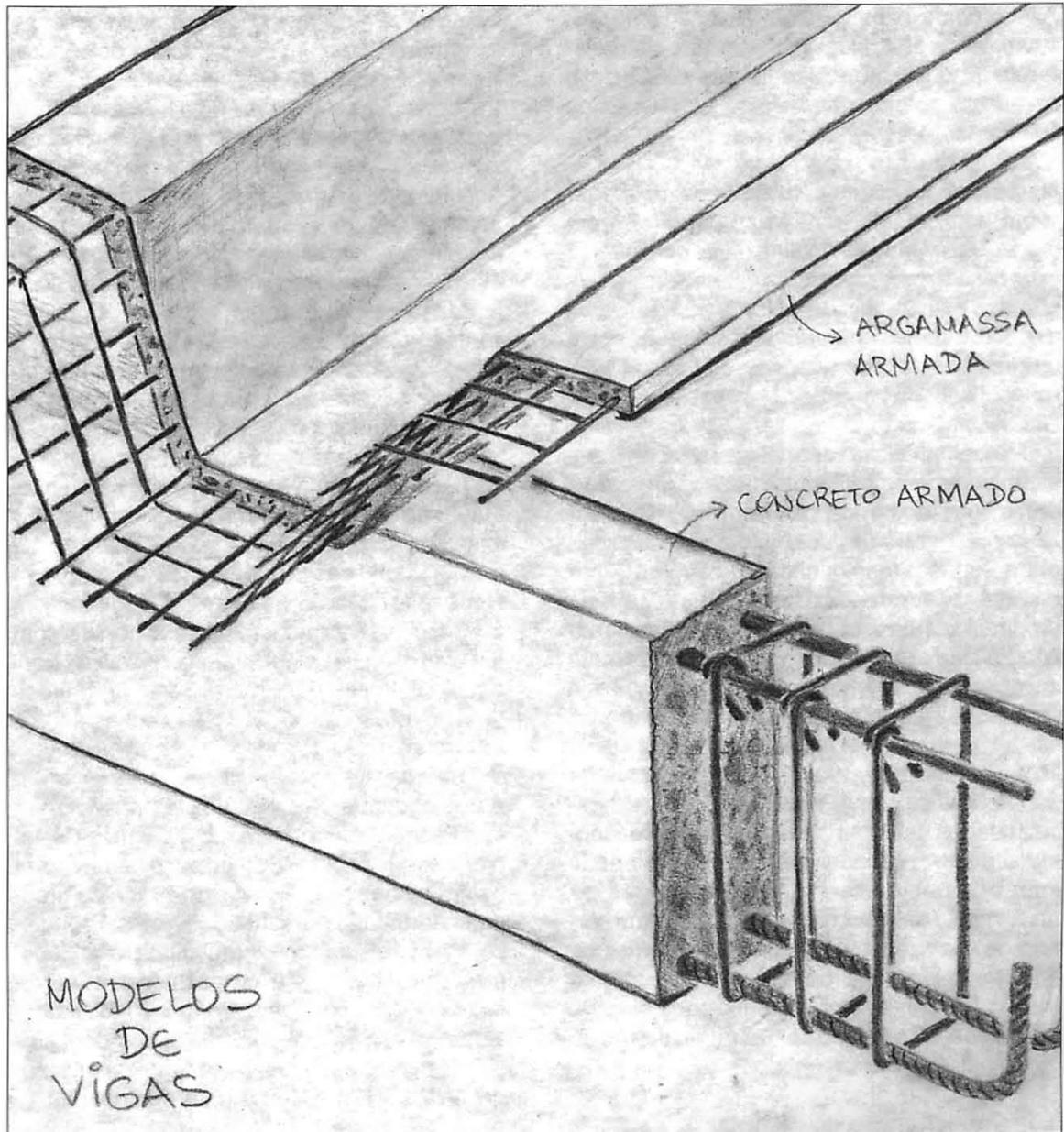


Fig.1- Arranjos típicos de armadura em vigas de concreto armado e de argamassa armada

Em vigas de concreto armado, por exemplo, a armadura principal de tração é constituída de barras de aço concentradas na região tracionada. Além delas, geralmente são dispostas barras construtivas na região comprimida (porta-estribos) e os estribos que constituem a armadura transversal. Em vigas de argamassa armada, como por exemplo uma telha de seção transversal W de cobertura, é disposta uma armadura difusa, constituída por telas soldadas, distribuída em toda a seção. Havendo necessidade, determinada pelo cálculo, podem ser colocadas barras suplementares na região tracionada. Os fios transversais das telas soldadas cumprem também a função de armadura transversal de cisalhamento.



Fig.2 - Edifício de uma fábrica de laticínios

O edifício, da Cooperativa de Laticínios de São Carlos, foi construído em 1974, e tem a cobertura de vigas pré-moldadas de argamassa armada com 21 m de vão central, mais balanços de 5,5 m e 2,5 m.



Fig. 3 - Vigas pré-moldadas de argamassa armada no canteiro

As vigas de cobertura têm seção transversal tipo W, sendo que as espessuras variam entre 24 mm e 40 mm. A armadura é constituída por telas de aço soldadas de malha quadrada 50 mm x 50 mm, e fios de diâmetro 2,7 mm.



Fig. 4- Edifício escolar de elementos pré-fabricados de argamassa armada

O sistema construtivo foi projetado pelo Arquiteto João Filgueiras Lima e utiliza diversos tipos de elementos pré-fabricados de argamassa armada com telas soldadas. A espessura dos elementos ou de suas partes varia, em geral, entre 20 mm e 45 mm.

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento



Fig. 5 - Armadura pré-montada de uma viga-calha

As armaduras de todos os elementos são pré-montadas sobre gabaritos, e depois posicionadas dentro de fôrmas de aço de alta precisão. A argamassa é introduzida dentro da fôrma e adensada com auxílio de equipamentos de vibração adequados para cada tipo de elemento.



Fig. 6 - Vigas-calhas pré-fabricadas no pátio de estocagem

Depois de moldados, os elementos passam por um processo de cura cuidadosa, em geral por imersão em tanques de água.

Como se vê, simplesmente partindo da idéia de se fazer *uma peça de pequena espessura com material à base de cimento portland*, chegamos a uma conceituação de argamassa armada:

um material composto de argamassa de cimento e areia (ou microconcreto, composto de cimento, areia, e frações mais finas de agregados graúdos), e armadura de telas de aço de abertura limitada, distribuída em toda a seção transversal, com a finalidade de absorver esforços de tração e propiciar uma configuração de fissuras finas e pouco espaçadas.

Neste sentido, podemos dizer que a Tecnologia da Argamassa Armada é a que trata das construções de concreto estrutural, constituídas de peças de pequena espessura, a qual pode, portanto, ser entendida como uma extensão da Tecnologia do Concreto Armado e Protendido. Essa tecnologia reúne os conhecimentos específicos para a produção dessas construções, os quais estão intimamente relacionados com a tecnologia do concreto estrutural, porém voltados às particularidades de projeto, execução e uso, decorrentes da diminuição ao extremo da espessura dos elementos e componentes.

1.2- Desempenho estrutural

Já sabemos da Teoria do Concreto Armado que quando diminuimos o diâmetro das barras da armadura – melhorando as condições de sua aderência com o concreto – e além disso aumentamos a taxa de armadura – diminuindo a deformação do aço –, conseguimos um melhor controle da fissuração, reduzindo a abertura de fissuras e o espaçamento entre elas.

Portanto, é de se esperar que, no caso de argamassa armada, utilizando-se uma armadura difusa de telas soldadas, consiga-se um efetivo controle da fissuração. Entretanto, *o que poderia acontecer se empregássemos uma quantidade muito grande de telas de aço de fios muito finos, por exemplo um consumo de aço da ordem de 450 kg/m³?*

O engenheiro italiano Pier Luigi Nervi já constatava em experiências, realizadas em meados dos anos 40, que a argamassa armada – que ele chamava de *ferro-cemento* – com uma densa armadura de telas de aço apresentava maior alongabilidade sem o aparecimento de fissuras visíveis. Afirmava então que “*as duas qualidades mais importantes e de maior fecundidade construtiva, evidenciadas por essas experiências, foram a grande alongabilidade e infissurabilidade adquirida pela argamassa em consequência da extrema subdivisão e distribuição da armadura metálica, e o fato de que a argamassa pode ser aplicada sem a necessidade de fôrmas...*” (ver dados sobre as obras de Nervi nas referências bibliográficas 1 a 4).

De fato, a argamassa armada com tal densidade de armadura tem propriedades mecânicas que permitem a construção, por exemplo, de barcos e chatas de transporte fluvial e marítimo, que são estruturas complexas, sujeitas a ações dinâmicas, impactos localizados, etc. Em muitos casos, essas estruturas são construídas sem fôrmas, sendo a argamassa aplicada manualmente, por pressão, ou projetadas com auxílio de equipamentos.

A “infissurabilidade” da argamassa observada por Nervi pode ser explicada pela análise da estrutura interna da argamassa e o efeito da presença de armadura. A *fratura* de qualquer elemento de concreto ou argamassa, submetido a forças de tração ou de compressão, se dá por um processo de *microfissuração interna*. A presença de elementos de reforço, muito próximos uns dos outros, obstrui a microfissuração e assim torna-se necessária uma maior quantidade de energia para provocar o aparecimento de fissuras visíveis na superfície do elemento.

Portanto, para obtermos uma argamassa armada de alto desempenho, capaz de resistir a impactos localizados e grandes deformações sem fissuras macroscópicas, é necessária uma armadura densa (consumo de aço superior a 300 kg/m³), extremamente subdividida e distribuída.

Uma argamassa armada com essas características tem custo elevado e sua aplicação na



Fig. 7- Barcaça de transporte marítimo e fluvial, de dimensões 30 m x 9 m x 3 m, construída em Cuba
A barcaça foi construída por segmentos pré-moldados de argamassa armada, os quais foram posteriormente solidarizados com empregos de protensão.



Fig. 8 - Transporte e montagem dos segmentos pré-moldados da barcaça em dique seco
Os segmentos pré-moldados foram transportados na seqüência de montagem, que foi efetuada em posição invertida. Depois de concluída a montagem, a barcaça, já flutuando na água, foi virada para a posição normal de uso.

Construção Civil é, de modo geral, economicamente inviável. Entretanto, experiências bem-sucedidas têm mostrado que aplicações da argamassa armada com menores taxas de armadura podem atender plenamente aos requisitos de desempenho estrutural exigido. Exemplos neste sentido podem ser vistos nos trabalhos do arquiteto João Filgueiras Lima [1, 2 e 5].



Fig. 9 - Produção de elementos para construção de canais de drenagem: aspecto da montagem da armadura de telas soldadas na fôrma

Na urbanização de favelas, o Arq. João Filgueiras Lima utilizou diversos sistemas construtivos para construção de canais de drenagem. Os elementos eram produzidos em fábrica, para posterior montagem no local.



Fig. 10 - Montagem dos elementos de canal de drenagem

Os elementos de argamassa armada, de peso unitário relativamente pequeno, podiam ser transportados e montados manualmente, com auxílio de dispositivos simples. Era feita no local a concretagem de uma cinta no topo da parede, solidarizando os elementos na direção longitudinal.

Estruturas e componentes estruturais de argamassa armada têm sido executados com consumos de aço da ordem de 100 – 180 kg/m³, em alguns casos chegando a valores tão baixos quanto 50 kg/m³.

Podemos concluir portanto que o *desempenho estrutural da argamassa armada deve ser dimensionado de acordo com as necessidades*, podendo-se trabalhar desde um nível de desempenho equivalente ao do concreto armado de uso corrente, até um nível de alto desempenho, capaz de atender a exigências tão rigorosas quanto as da construção naval.

1.3- Formas estruturais

No desenho de uma estrutura ou de um componente estrutural de argamassa armada, é de grande importância a definição de uma forma estrutural que proporcione condições adequadas tanto de *resistência* como de *rigidez*.

Nervi já afirmava que as estruturas deviam ser concebidas para *resistir pela forma, e não pela força*. Em termos práticos, isto significa que uma estrutura de forma bem concebida tem melhores condições de transmitir as forças gravitacionais e outras forças que nela atuam, permitindo a redução do volume de materiais e favorecendo que o material trabalhe em pleno acordo com a sua potencialidade.

Para ilustrar o conceito de *projeto pela forma, e não pela força*, vamos recorrer a dois tipos de analogias clássicas, muito empregadas no estudo de formas estruturais: *as membranas e as folhas dobradas*.

...

A argamassa armada tem demonstrado uma grande afinidade com as estruturas em casca (basta lembrar das suas aplicações em barcos), e sua aplicação nesse campo está sendo mais potencializada pelo desenvolvimento de novos materiais complementares e aditivos para concreto, de técnicas de projeção e pré-moldagem, da tecnologia de fôrmas, etc.

A *analogia de membrana* é empregada usualmente na definição da forma de estruturas em casca.

Por exemplo, se quiséssemos projetar uma *cobertura em casca delgada*, de concreto ou de argamassa, poderíamos fazer uso da técnica do *"lenço molhado"*, empregada por Isler para definir a forma de muitas obras por ele construídas. Experimente:

- a) Tome um lenço (ou até melhor, um tecido deformável como gaze) e encharque-o em água.
- b) Suspenda-o por alguns pontos, que corresponderiam aos pontos de apoio.
- c) O tecido molhado, submetido ao peso próprio, assume uma forma de membrana tal que os esforços são sempre forças normais de tração.
- d) Agora pulverize pó de gesso no tecido molhado, "congelando" a forma.
- e) Uma vez endurecido o gesso, inverta o modelo, procurando manter as mesmas condições de apoio, porém agora comprimidos.
- f) A estrutura resultante é uma casca em que os esforços produzidos pelo peso próprio são somente forças normais de compressão

Vamos lembrar que este estado de solicitação – somente forças normais de compressão – é ideal para um material como concreto ou argamassa, que tem na resistência à compressão seu melhor potencial, mas ele está levando em conta somente as ações distribuídas como o peso próprio. É preciso considerar também outras ações, como o vento, assim como esforços causados por recalques de apoio, deformação da estrutura por fluência e retração do concreto e variação de temperatura, etc.

Como se pode antever, esse tipo de estrutura exigirá espessuras relativamente pequenas, podendo ser executada em concreto ou argamassa armada, dependendo evidentemente das dimensões gerais da obra a ser executada. O cálculo de esforços poderá ser mais complicado ou menos complicado, dependendo da forma a que se chegar. Métodos numéricos, como o dos Elementos Finitos, podem oferecer um bom retrato dos esforços atuantes, o que não dispensa, entretanto, uma interpretação física criteriosa dos números obtidos e o cuidadoso detalhamento da armadura.

Todavia, nem sempre precisaremos perseguir as cascas essencialmente comprimidas. Há inúmeras possibilidades de aplicação de formas estruturais como as esféricas, cilíndricas ou em parabolóide elíptico ou hiperbólico, apenas para citar algumas. Os esforços de tração



Fig. 11- Edifício escolar construído em Salvador - BA
Projeto e execução de João Filgueiras Lima, em versão de 1986, com uso intenso de argamassa armada com telas soldadas



Fig. 12- Creche com cobertura de abóbadas pré-fabricadas
Este sistema construtivo também foi projetado e aplicado na construção de várias creches, escolas, postos de saúde, etc.

e compressão distribuídos na superfície laminar podem ser muito bem controlados no projeto estrutural, resultando igualmente em estruturas de espessura relativamente pequena.

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento

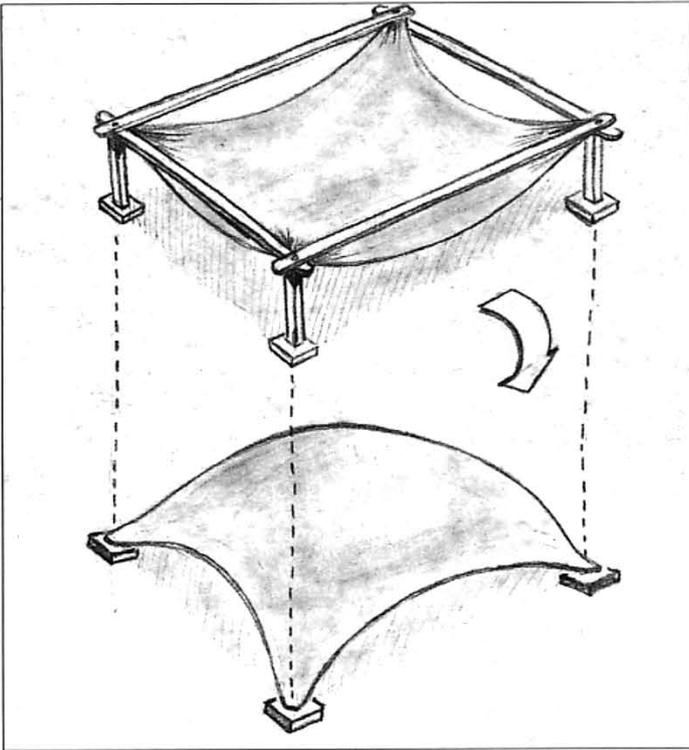


Fig. 13 - Exemplo de analogia de membrana

Este experimento ilustrativo da analogia de membrana pode ser feito pelo leitor. Um tecido molhado com água, suspenso por quatro pontos, por exemplo, e submetido ao seu peso próprio, fica essencialmente tracionado. Se a mesma forma geométrica, em posição invertida, for adotada para ser executada com um material resistente à compressão, então pela analogia de membrana os esforços serão predominantemente de compressão.

A argamassa armada tem sido muito empregada na construção de pequenos reservatórios, silos agrícolas e biodigestores – comumente, em casca de revolução como as cilíndricas e tronco-cônicas.

No capítulo de exemplos de dimensionamento, mostra-se a seqüência de cálculo de um reservatório cilíndrico para armazenar cerca de 40 m³ de água.

Como se poderá constatar, a análise estrutural feita no exemplo permite concluir que, apesar dos esforços serem predominantemente de tração na parede, esse tipo de estrutura mostra-se adequado à construção de reservatórios, silos e biodigestores de pequeno porte, porque a forma adotada acarreta espessuras e esforços compatíveis com a idéia e as condições de resistência e rigidez oferecidas por elementos delgados de argamassa armada.

A analogia de membrana, particularizada para o caso de uma só dimensão, leva à *analogia do funicular* (ou da corda ou do cabo flexível). Neste caso, por exemplo, pendurando-se uma corda pelas extremidades, o seu peso próprio faz com que ela assuma a forma de uma catenária, havendo equilíbrio apenas com esforços de tração.

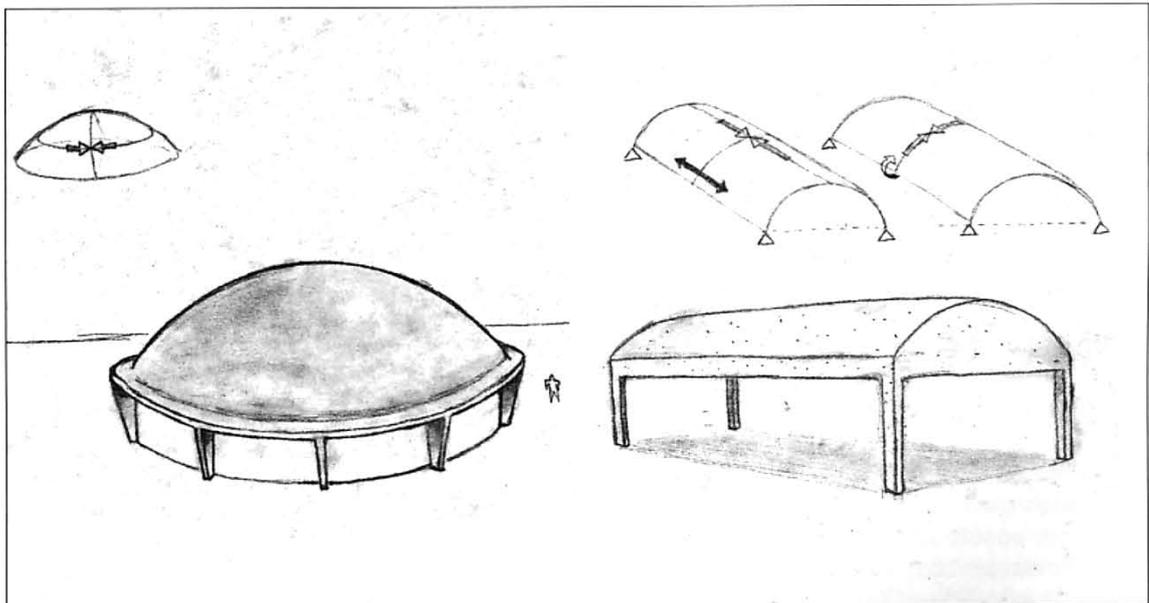


Fig. 14- Exemplos de aplicação em casca esférica e cobertura cilíndrica

Nervi empregou o conceito de funicular no projeto da cobertura do Palácio de Exposições de Turim, construído em 1946. Essa cobertura, com cerca de 95 m de vão total, é constituída por uma sucessão de arcos formados por elementos pré-moldados de argamassa armada.

Sobre as *folhas dobradas ou encurvadas*, vamos raciocinar a partir de uma folha de papel.

É fácil perceber que uma folha de papel apresenta resistência suficiente para vencer vãos como membrana, seja de modo suspenso ou em arco. Porém, como apresenta uma rigidez muito pequena à flexão no seu próprio plano, não poderia vencer vãos significativos na sua forma plana. Ou seja, não se utilizaria uma laje de argamassa armada, com espessura da ordem de 3 cm, para se cobrir um vão de 3m.

No entanto, se introduzirmos dobras ou curvas adequadas na folha de papel, ganharemos rigidez até para vencer grandes vãos. Neste caso, devemos tomar o cuidado de garantir a estabilidade das formas e das seções transversais, seja com a própria rigidez das placas, seja com elementos complementares

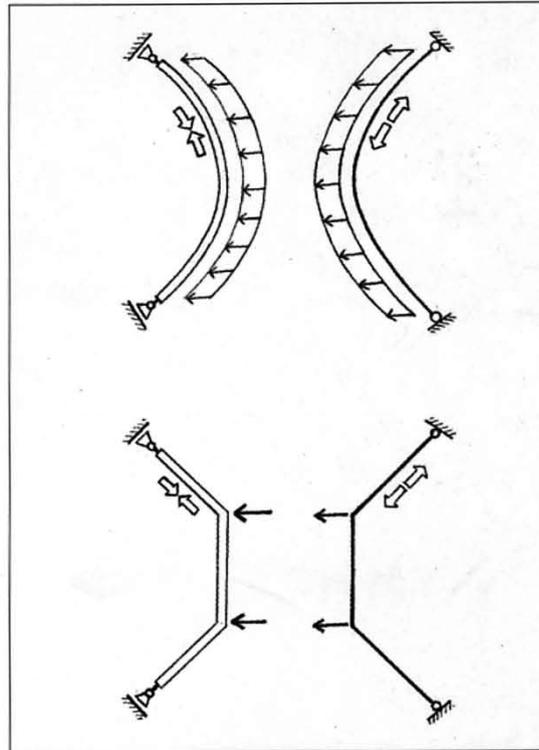


Fig. 15 - Particularização da analogia de membrana para o caso de funiculares

O mesmo conceito da analogia de membrana pode ser aplicado ao caso de funiculares, ou seja, as formas geradas por cordas ou cabos flexíveis submetidos a carregamentos diversos podem ser empregadas para projeto de estruturas lineares essencialmente comprimidas.

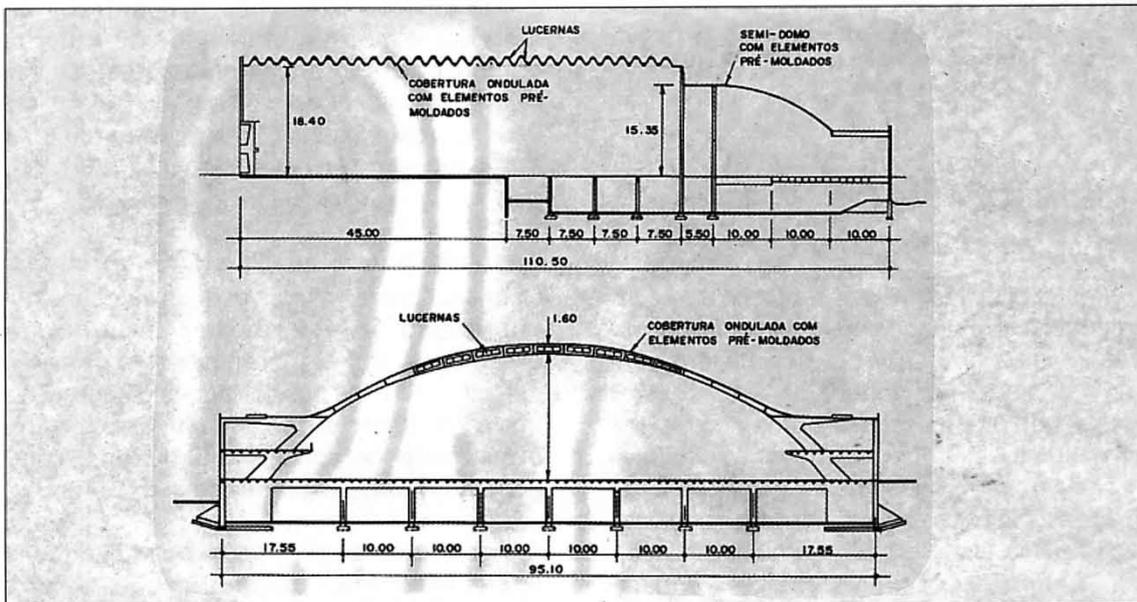


Fig. 16 - Esquema longitudinal e transversal do Palácio de Exposições de Turim

A cobertura do Palácio de Exposições de Turim, projetado e executado por Nervi, foi feita com elementos pré-moldados de argamassa armada, com espessuras da ordem de 38 mm, solidarizados por meio de concretagem das juntas no local.



Fig. 17 - Vista interna do Palácio de Exposições de Turim

Como se vê, os elementos da cobertura são vazados, permitindo a iluminação zenital e conferindo à estrutura um aspecto de leveza ainda maior.

como diafragmas, tímpanos, tirantes, etc.

Outras formas estruturais empregadas com argamassa armada, como os perfis em estruturas lineares, podem ser assimilados aos perfis dobrados e soldados de aço. É claro que, sendo argamassa armada e aço materiais diferentes entre si, as respectivas estruturas devem ser projetadas de acordo com linguagens próprias e mais adequadas às características e modos de produção de cada um. Entretanto, como a argamassa armada viabiliza o projeto e a construção de estruturas delgadas, em muitos casos pode se identificar uma certa semelhança de linguagem.

Para se obter diversos tipos de componentes podemos raciocinar de modo análogo àquilo que é feito na Construção Metálica, trabalhando com a composição de chapas, chegando então aos perfis de seção transversal em forma de T, duplo-T, Y, U, etc., assim como a elementos tridimensionais de formas das mais variadas.

Obviamente, se por um lado o fato de estarmos trabalhando com um material que é moldado traz algumas vantagens no desenho de componentes, como a maior liberdade de formas, por outro lado isto traz outras dificuldades, como é o caso da execução de fôrmas para a produção de pré-moldados.

A argamassa armada muitas vezes tem sido empregada na confecção de fôrmas pré-moldadas para estruturas de concreto armado. Havendo adequada armadura de costura entre pré-moldado de argamassa e concreto moldado no local, pode-se contar com a colaboração mútua entre os materiais, que constituem uma estrutura composta.

Esse tipo de aplicação da argamassa armada pode favorecer a racionalização do processo construtivo, permitindo a redução dos prazos e dos custos, eliminando desperdícios de material e mão-de-obra, etc. Estruturas complexas, como algumas projetadas e construídas por Nervi, só se viabilizaram pelo uso da argamassa armada, alcançando uma qualidade técnica e estética do mais alto nível.

1.4- Muito pouco, quase nada sobre o tema

Com esta breve – e com certeza incompleta – introdução ao projeto de estruturas de argamassa armada, pretendeu-se dar uma primeira idéia das possibilidades de aplicação deste tipo especial de concreto armado, com o qual se pode construir estruturas e componentes muito delgados e leves.

Os capítulos seguintes são dedicados à explicação – ou desmitificação? – dos procedimentos técnicos de projeto, começando com algo mais sobre os materiais constituintes, passando depois ao arranjo das armaduras e

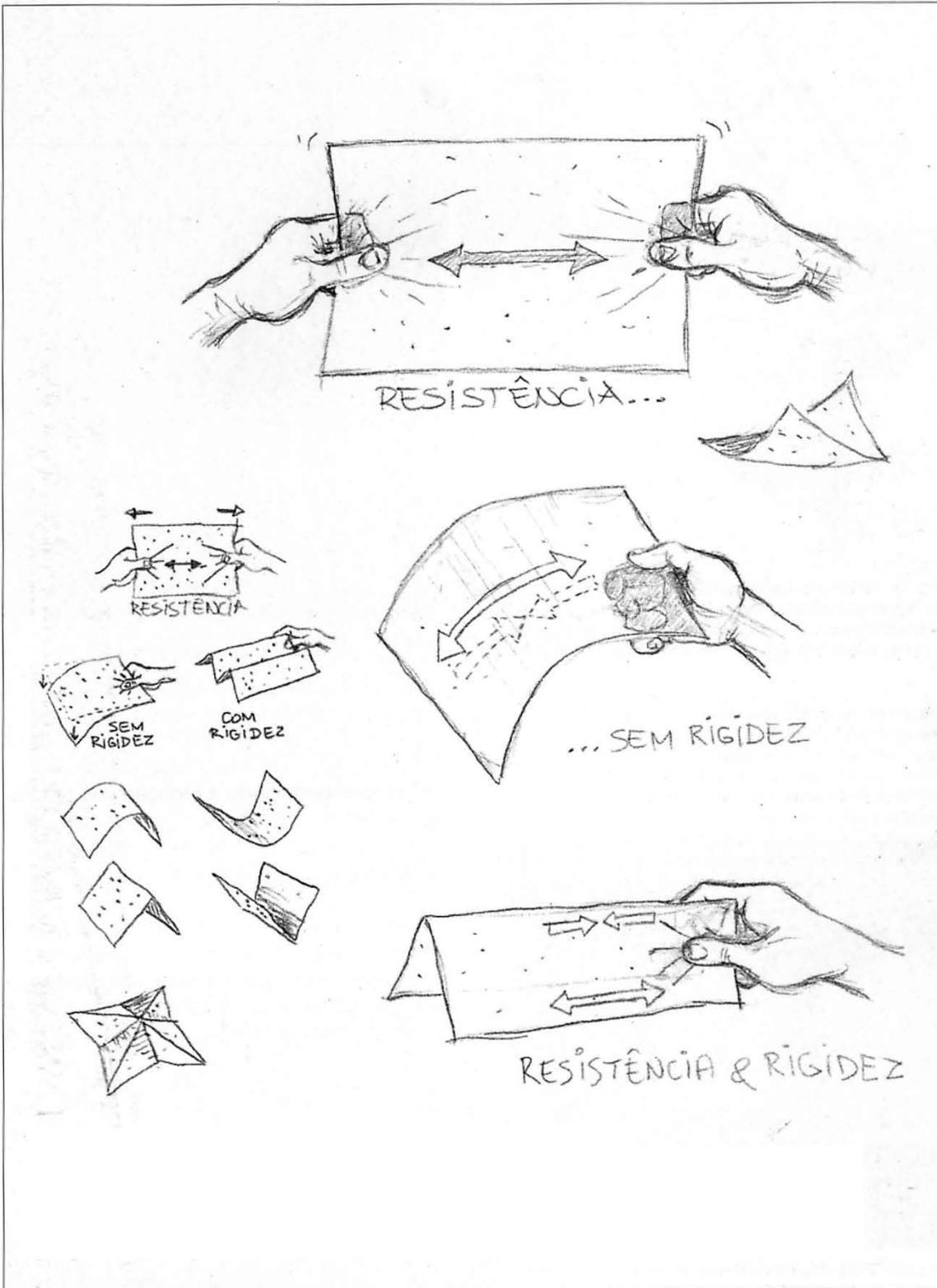


Fig. 18 - Analogia com folhas de papel

Uma folha de papel apresenta suficiente resistência para ser manipulada, sem rasgar. Entretanto, não tem rigidez suficiente para suportar cargas perpendiculares ao seu plano. Para ganhar rigidez, ela deve ser dobrada ou encurvada, e além disso receber a ajuda de elementos de travamento ou de limitação de deformações que possam alterar sua forma.

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento

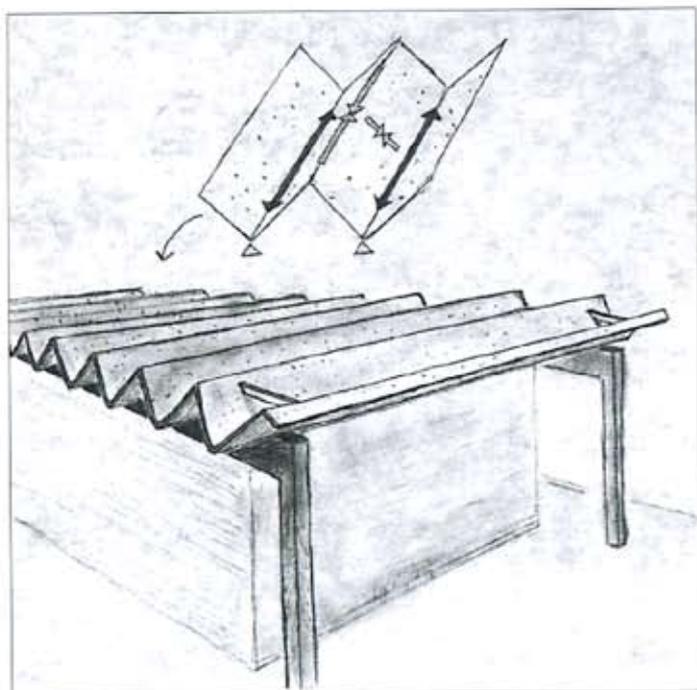


Fig. 19 - Analogia das folhas dobradas

As folhas dobradas ganham rigidez e podem sugerir formas estruturais a serem aplicadas, por exemplo em coberturas de elementos delgados de argamassa armada.



Fig. 20 - Reservatório de parede ondulada, para 900 m³ de água

O reservatório tem a parede composta por abóbadas pré-moldadas de argamassa armada com telas soldadas, espessura de 35 mm, que são montadas e unidas entre si e à fundação por meio de concretagem no local.



Fig. 21 - Vista interna de um reservatório de parede ondulada, para 2.700 m³ de água

A pressão da água no interior do reservatório provoca nas abóbadas esforços que são predominantemente de compressão. No caso deste reservatório, a cobertura também foi feita com vigas pré-moldadas de argamassa armada.

aos cálculos de dimensionamento e verificação.

Parodiando Noel Rosa, se não se aprende a projetar argamassa armada na escola, podemos tentar desenvolver um repertório técnico mínimo para se aprender a projetar – projetando e executando.



Fig. 22 - Cobertura de um ginásio de esportes

O ginásio de esportes faz parte do sistema construtivo projetado pelo Arq. João Filgueiras Lima. Sua cobertura é composta por elementos pré-moldados de argamassa armada, de seção transversal W, que não deixa de ser um perfil derivado de uma folha dobrada.



Fig. 23 - Palacete de Esportes de Roma

O Palacete de Esportes de Roma foi projetado e construído em 1960 por Pier Luigi Nervi. A cobertura é uma cúpula esférica de 60 m de diâmetro, executada pela disposição de elementos pré-moldados de argamassa armada que serviram como fôrma e foram incorporados à estrutura pela concretagem das nervuras.



Fig. 24 - Vista dos elementos pré-moldados já posicionados para concretagem das nervuras

Depois de posicionados os elementos de argamassa armada, foi efetuada a concretagem das nervuras e de uma capa de concreto sobre toda a cobertura.



Fig. 25- Vista interna do Palacete de Esportes de Roma

2. Materiais, propriedades e funções

Como nas primeiras aplicações do material no Brasil se empregava somente o agregado miúdo – areia, frequentemente de origem fluvial –, o que se obtinha era uma argamassa de cimento e areia. Ora, reforçando-se essa argamassa com armaduras, chegava-se a uma *argamassa armada*, razão pela qual os professores Martinelli e Schiel, da EESC-USP, adotaram esse nome.

Hoje, além do agregado miúdo (formalmente aquele com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm), utiliza-se com frequência agregados classificados como graúdos, porém somente a fração com dimensão máxima em geral menor que 9,5 mm. Misturas como essas

têm sido chamadas de *microconcreto*, embora o prefixo “micro” também não pareça adequado.

Para não complicar ainda mais esta questão semântica, estaremos utilizando a denominação *argamassa armada*, já consolidada no Brasil, ainda que ela possa conter frações de agregado classificado como graúdo.

Numa primeira divisão dos materiais componentes da argamassa armada, podemos distinguir *argamassa* e *armadura*. Estas, por sua vez, podem ter a seguinte constituição:

• Argamassa:

Cimento – além do cimento portland comum, podem ser empregados outros cimentos especiais como o pozolânico, o de alta resistência inicial, o de alto-forno, o branco, etc.

Agregados – podem ser empregadas areias naturais e britadas, pedrisco britado, seixos rolados, areia de argila expandida, etc.

Água – como no caso de concreto, utiliza-se água potável.

Adições minerais – podem ser empregadas adições como microssilica e outras pozolanas, visando a economia de cimento ou a obtenção de argamassas de alto desempenho

Aditivos – podem ser empregados os diversos aditivos disponíveis para concreto, como os plastificantes e superplastificantes, etc. (evitando-se porém aqueles que possam favorecer a corrosão das armaduras), assim como polímeros como o estireno-butadieno, que adicionados à mistura podem tornar a argamassa mais impermeável e resistente a agentes agressivos.

• Armadura

Telas soldadas de aço – As telas soldadas são compostas por fios retilíneos, dispostos de maneira a formar malhas quadradas ou retangulares, soldados por contato entre si nos cruzamentos. No Brasil, as telas soldadas mais utilizadas são aquelas com malhas de 50mm x 50mm, 25mm x 50mm e fios de aço CA-60 de diâmetro entre 2 mm e 3 mm.

Fios e barras de aço – fios e barras de aço para concreto armado são empregadas juntamente com as telas de aço, para complementação das seções transversais necessárias de armadura e também como armadura construtiva.

Telas soldadas para argamassa armada são telas produzidas especificamente para esse tipo de aplicação (ver tabela a seguir).

Além desses materiais básicos, podem ser necessários nas construções de argamassa armada outros materiais e componentes, como *espaçadores e distanciadores* de plástico (para manutenção da espessura de cobertura, da distância entre elementos da armadura ou da

**Tabela de Telas Soldadas para Argamassa Armada
Aço CA 60**

ORDEM	DESIGNAÇÃO	ESPAÇAMENTO ENTRE FIOS		DIÂMETRO DOS FIOS		SEÇÃO DOS FIOS		PESO kgf/m ²
		LONG. TRANSV. cm	LONG. TRANSV. cm	LONG. TRANSV. cm	LONG. TRANSV. cm	LONG. TRANSV. cm	LONG. TRANSV. cm	
01	EQ98	5,0	5,0	2,5	2,5	0,98	0,98	1,54
02	EQ120	5,0	5,0	2,76	2,76	1,20	1,20	1,89
03	EL126	2,5	5,0	2,0	2,0	1,26	0,63	1,48

Nos projetos em argamassa armada a tela soldada mais utilizada é a EQ-98, fornecida em rolo com 60 metros de comprimento e 1,20 metros de largura.

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento

distância entre faces da fôrma), *tintas e vernizes* de acabamento e proteção, *impermeabilizantes* na forma de películas formadas no local ou mantas pré-fabricadas, *conectores e insertos* em elementos pré-moldados, *materiais e componentes de isolamento térmico e acústico* como o poliestireno expandido ("isopor"), etc.

A argamassa (ou microconcreto) tem sido empregada no Brasil com parâmetros de dosagem e características físicas e mecânicas nos intervalos mostrados a seguir.

Composição em massa

- Relação agregado/cimento: 2 – 3,2
- Relação água/cimento: 0,35 – 0,45
- Consumo de cimento: 500 – 680 kg/m³

Consistência

- Índice "flow-table" (mesa de espalhamento): 160 – 250 mm

Resistência aos 28 dias

- Compressão simples: 30 – 60 MPa
- Tração simples: 3 – 5 MPa

Módulo de deformação longitudinal inicial

- E = 30 – 45 MPa

Permeabilidade e absorção

- Coeficiente de permeabilidade: inferior a 10⁻¹¹ cm/s
- Absorção: inferior a 8%

Massa específica

- Argamassa sem armadura: 2.200 – 2.400 kg/m³

Não cabe aqui entrarmos em detalhes sobre a composição, propriedades físicas, químicas e mecânicas dos materiais constituintes, dosagem, propriedades da mistura fresca e endurecida, etc.

O conhecimento mais aprofundado possível dos materiais é sem dúvida de grande importância, mas no momento estaremos procurando nos fixar nas propriedades gerais que esses materiais devem ter para cumprir as funções estruturais que sejam requeridas. A argamassa endurecida dá corpo, forma,

componente ou estrutura, uma vez que a armadura ocupa no máximo 3,5% do volume total. Suas características devem ser, em geral, tais que ela tenha:

- resistência mecânica suficiente para suportar os esforços atuantes;
- rigidez suficiente para evitar deformações excessivas;
- estabilidade física, química e dimensional, para se manter acima dos limites mínimos durante sua vida útil, incluindo-se aqui também os aspectos relativos a deformações volumétricas (retração, fluência, temperatura, etc.) e a resistência ao desgaste superficial;
- elevada compacidade e baixa permeabilidade para funcionar como uma barreira eficiente à passagem de líquidos e gases no seu interior, que possam prejudicar a proteção da armadura ou as próprias condições de utilização do componente ou estrutura.

Sabemos da Tecnologia do Concreto Armado que a argamassa, assim como o concreto, tem condições de atender a todos esses requisitos. Mais uma vez, o que devemos lembrar no caso de argamassa armada é a pequena espessura das peças e sobretudo do cobrimento da armadura.

A *resistência mecânica* da argamassa em si mesma não tem sido a principal preocupação ao longo da experiência até agora acumulada. Ela acaba sendo satisfatória na maioria dos casos, em conseqüência de cuidados que são tomados na garantia de outras qualidades importantes, como baixa permeabilidade, trabalhabilidade adequada, etc., razão pela qual se recomenda uma baixa relação água/cimento e se mantém o consumo de cimento em patamares relativamente elevados. Como já se mencionou, resistências à compressão da ordem de 30 – 60 MPa são facilmente obtidas com as dosagens usuais na argamassa armada.

A *rigidez*, no que se refere ao material, assim como no concreto armado, é obtida com o uso de agregados rígidos, baixa relação água/cimento e maior porcentagem de agregados.

Neste caso, como as argamassas normalmente são mais ricas em cimento do que os concreto de mesma resistência, é de se esperar que o módulo de deformação longitudinal das argamassas seja um pouco menor do que no concreto. Por esta razão, a norma brasileira NBR 11173 Projeto e execução de argamassa armada^[6] indica, para estimativa teórica do módulo de deformação da argamassa, tomar 80% do valor calculado de acordo com a expressão estabelecida para o concreto na NBR 6118 Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado^[7].

A análise da *estabilidade física, química e dimensional* de um corpo de argamassa armada abrange um grande conjunto de fenômenos. Entretanto, podemos dizer que de modo geral o comportamento previsível da argamassa é essencialmente o mesmo do concreto. Neste sentido, todos os aspectos relativos à retração e fluência do concreto, ao coeficiente de dilatação térmica, etc., assim como aqueles relativos à permeabilidade a líquidos e gases, lixiviação, resistência a agentes químicos, resistência à abrasão, etc. – podem ser criteriosamente estendidos à argamassa. Em suma, todo o conhecimento existente sobre o comportamento físico, químico e mecânico do concreto pode ser aplicado à argamassa, observando-se que nesta há particularidades como a utilização apenas da fração miúda de agregados e de elevado consumo de cimento.

A *elevada compactidade e a baixa permeabilidade* da argamassa sem dúvida são as propriedades que devem ser enfaticamente requeridas nas construções de argamassa armada. Isto se deve não somente nas aplicações em barcos, reservatórios e coberturas, mas em todos os componentes e estruturas em geral, porque a argamassa deve cumprir a função, de modo mais crucial do que nas construções de concreto, de proteger a armadura contra a corrosão e proporcionar outras condições favoráveis à durabilidade. Mesmo no caso em que possamos contar com a aplicação de revestimentos protetores, como as pinturas ou camadas de resina epoxi, é fundamental que se disponha de uma argamassa de boa qualidade.

O *cuidado especial* a se tomar, portanto, no projeto e dimensionamento de componentes e estruturas de argamassa armada refere-se à *estratégia de durabilidade*, que deve ser capaz de atender aos requisitos mínimos de vida útil da obra. Isto significa, entre outros aspectos igualmente importantes que são destacados a seguir, que a argamassa deve ter um nível de qualidade superior que o do concreto de uso corrente, para que se possa compensar os efeitos da diminuição da espessura do revestimento.

É claro que não se pode contar com nenhum milagre que permita que um revestimento de menos de uma dezena de milímetros, de uma argamassa de qualidade apenas razoável, ofereça a mesma proteção que um revestimento de 30 ou 40 mm de um bom concreto. Neste sentido é que a estratégia de durabilidade versus vida útil deve ser repensada no caso de estruturas extremamente delgadas.

Por outro lado, pode-se recorrer às *argamassas de alto desempenho* (como as com adição de microssilica ou de polímeros) para se conseguir grande durabilidade.

* * *

Sobre as armaduras, pouco há que se acrescentar àquilo que normalmente se aplica no concreto armado.

As telas soldadas para argamassa armada cumprem o papel da armadura difusa. Como já vimos anteriormente, suas funções são de resistir aos esforços de tração, controlar a fissuração e evitar a fragilização do componente ou da estrutura.

Constituem um insumo de grande importância, pois permitem a disposição da necessária armadura difusa de modo mais prático e eficiente. Embora não impossível, seria inconcebível montarmos uma armadura difusa, de fios finos e pouco espaçados, tecendo à mão toda uma armadura de uma estrutura.

As telas soldadas são empregadas pelo Grupo de São Carlos desde 1966, quando no Laboratório de Estruturas da EESC-USP, sob direção de Martinelli, estudava-se estruturas em casca piramidal para a cobertura do Centro

de Pesquisas do Cacau, em Itabuna-BA. Nessa época foram feitas as primeiras aplicações das telas de malhas de abertura relativamente grande na argamassa armada, uma vez que até então, o material mais empregado eram as telas tecidas de arame recozido (telas para manufatura de peneiras).

Desde então o uso das telas soldadas na argamassa armada só cresceu, podendo-se dizer que hoje elas respondem pela totalidade da produção formal de obras no Brasil.

São disponíveis no mercado brasileiro telas soldadas regularmente produzidas para argamassa armada. As mais utilizadas são aquelas com malhas de 50mm x 50mm ou de 25mm x 50mm, feitas com fios de aço CA-60 (resistência mínima de escoamento igual a 600 MPa) de diâmetro entre 2 mm e 3 mm (ver tabela no Anexo).

Em outros países há também o predomínio do uso das telas soldadas na argamassa armada, a não ser em situações mais específicas como por exemplo na construção de barcos, em que são necessárias telas mais maleáveis e de malhas de menor abertura. Nas pequenas construções rurais, executadas pelo próprio usuário, eventualmente podem ser usadas as "telas de peneira" e as "telas de galinheiro".

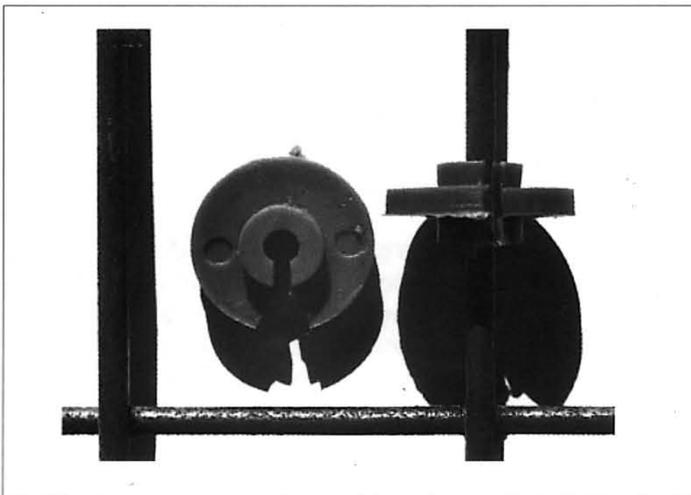


Fig. 26 - Espaçadores de cobertura

Para auxiliar o correto posicionamento da armadura dentro da fôrma, garantindo-se uma espessura mínima de cobertura, podem ser utilizados espaçadores de plástico como o mostrado na foto.

A experiência desenvolvida no Brasil de uso de telas soldadas de malhas de grande abertura e de redução do consumo de armadura tem sido divulgada no exterior, e tem provocado uma revisão dos conceitos de argamassa armada, pelo menos no que se refere às aplicações na Construção Civil.

Os *fios e barras de aço* destinam-se a suprir, de forma concentrada, as necessidades de área de seção transversal de armadura, para cumprimento principalmente dos requisitos de segurança à ruptura e de limitação de deformações na armadura.

As barras e fios, usualmente de diâmetro entre 3 mm e 8 mm, são empregados também com função construtiva, ou seja, de enrijecer e facilitar a montagem da armadura.

Os *espaçadores de cobertura* são utilizados para garantir a posição da armadura, evitando-se que ela encoste na fôrma. Dada a pequena espessura do revestimento, da ordem de 6 a 12 mm, os espaçadores normalmente fornecidos para concreto não servem. Entretanto, já existem no Brasil diversos fabricantes que produzem espaçadores específicos para argamassa, como o mostrado na figura.

A utilização de *produtos de acabamento superficial* das peças de argamassa armada pode ser efetuada por razões estéticas, de proteção contra umidade, abrasão ou corrosão, ou de impermeabilização.

Em alguns casos, a exemplo da aplicação da argamassa armada na construção de barcos, utilizam-se camadas finas de pasta de resina epoxi, para obtenção de uma camada de revestimento resistente às ações mecânicas e aos agentes agressivos do ambiente.

De acordo com a função a ser cumprida, podem ser utilizados desde simples produtos hidrofugantes, tintas e vernizes que proporcionam ligeira proteção superficial, até produtos resistentes ao ataque químico de agentes mais freqüentes como ácidos, álcalis, sais minerais, cloro, gasolina, querosene e óleos minerais. Para proteção mais efetiva, costuma-se utilizar revestimentos de alto

desempenho, como pinturas à base de resina epoxi ou de borracha clorada.

Mesmo a utilização de revestimentos menos nobres e mais baratos, como tintas à base de PVA ou resina acrílica, pode propiciar à construção a vida útil requerida. No caso de obras de argamassa aparente, ainda que a argamassa tenha boa resistência e acabamento superficial, recomenda-se em geral a aplicação de pintura de proteção, para se evitar a deterioração por fungos e eventuais chuvas ácidas.

O uso de *telas, fios e barras de aço galvanizado ou banhado em epoxi* pode fazer parte de uma estratégia de durabilidade, ainda que essa providência por si só em geral não seja eficiente para garantir a integridade da armadura por um período muito longo.

Em muitos casos é necessário dispor nos elementos de argamassa armada *conectores metálicos*, destinados à união de elementos pré-moldados ou à fixação de equipamentos. Esses conectores geralmente são soldados a elementos de armadura – barras e fios de aço, por meio de solda de contato (solda a ponto) ou solda de arco, dependendo dos elementos a serem unidos. A norma russa SN 366/77 ^[8] não recomenda o uso de solda de arco em telas de aço, uma vez que os fios são de pequeno diâmetro.

É possível também a utilização de elementos de conexão feitos de materiais como ferro fundido, solidarizados à armadura por meio de ligas metálicas ou poliméricas especiais.

Em muitos casos são empregados simplesmente conectores externos, não inseridos no elemento pré-moldado ou moldado no local, como parafusos zincados ou de liga inoxidável, sempre com uso de arruelas ou chapas de aço na região de aperto.

Em geral ocorre concentração de esforços nas proximidades do conector. Deve-se, portanto, tomar cuidados especiais no cálculo e no desenho das peças, no arranjo das armaduras e na execução das peças, para se evitar fendilhamento e lascamento da argamassa, prejudicando, assim, a proteção das armaduras.

É recomendável que os conectores ferrosos recebam previamente um tratamento contra corrosão – por exemplo galvanização – , uma vez que, depois de executada a peça, é difícil garantir, com pintura posterior, a proteção de partes não mais acessíveis, como na interface entre argamassa e conector.

No caso de conectores galvanizados deve-se verificar a possibilidade de sacrifício da camada de zinco e posterior corrosão do aço, quando houver contato elétrico entre partes galvanizadas e não-galvanizadas.

3. Fixação de dimensões e arranjo de armaduras

Obviamente, a fixação das dimensões gerais das peças de argamassa armada depende do tipo de estrutura, das ações, dos esforços solicitantes e demais parâmetros referentes ao dimensionamento estrutural.

Algumas regras simples podem, entretanto, auxiliar na elaboração de estudos preliminares e anteprojetos, principalmente no que se refere à *definição das espessuras*, que no caso de argamassa armada estão intimamente vinculadas ao arranjo das armaduras.

A espessura de qualquer parte de uma estrutura ou elemento estrutural de argamassa armada depende basicamente:

- a) da espessura do revestimento da armadura;
- b) do tipo e do número de telas de aço;
- c) da presença de fios, barras ou cordoalhas de armadura discreta;
- d) de particularidades do arranjo da armadura, como dobras de fios, barras e telas, de armaduras construtivas, da possibilidade de ocorrência de fendilhamento, etc.;
- e) das tolerâncias de execução admitidas para a espessura das peças e para o posicionamento da armadura.

3.1- Cobrimento da armadura

Já se destacou a importância do revestimento das armaduras na durabilidade das construções de argamassa armada, sobretudo quanto à possibilidade de corrosão.

A NBR 11173^[6] especifica as seguintes condições:

- a) *em ambientes protegidos*, como no interior de edifícios em locais ventilados e não sujeitos à condensação de água, a *espessura nominal do revestimento não deve ser inferior a 4 mm*;
- b) *em ambientes pouco ou medianamente agressivos*, como em locais sujeitos a intempéries e condensação de água, em

atmosfera limpa com baixos teores de agentes químicos agressivos, a *espessura nominal do revestimento não deve ser inferior a 6 mm*;

- c) *em ambientes agressivos*, como em ambientes marinhos, em caso de peças em contato com o solo, em atmosferas que propiciem chuvas ácidas, o emprego da argamassa armada fica sujeito à utilização de *meios especiais de proteção da armadura*, como aplicação de pinturas externas, revestimento da armadura, ou utilização de argamassas especiais.

Além disso, pressupõe-se que a argamassa utilizada é cuidadosamente preparada, lançada e adensada, com relação água/cimento inferior a 0,45 e consumo de cimento superior a 500 kg/m³.

A NBR 11173 estabelece também que a tolerância de posicionamento da armadura, principalmente no que se refere ao revestimento, é de ± 2 mm, o que conduziria a espessuras de revestimento, em alguns locais, com valores limites de 2 e 4 mm – no caso de espessura de nominal de revestimento igual a 4mm – e 4 e 8 mm, no caso de espessura nominal de 6 mm.

Todavia, a prática tem mostrado que este valor de tolerância especificado pela norma é muito rigoroso e dificilmente é alcançado. Outros comentários sobre tolerâncias são apresentados mais adiante.

O que se recomenda hoje é que sejam adotadas *espessuras de revestimento maiores que os valores mínimos especificados pela NBR 11173*, melhorando-se assim a proteção da armadura e permitindo uma folga um pouco maior no controle de qualidade da execução. Observe-se que pode ser adotado um revestimento, por exemplo, de até 12 mm, *mas o controle de qualidade na execução deve continuar rigoroso*, permitindo-se um desvio na espessura do revestimento de no máximo 3 ou 4 mm.

A fixação de uma espessura do revestimento maior que o valor mínimo estabelecido pela

⁶ Código de registro do INMETRO. Norma publicada pela ABNT com o código NB-1.

norma vai depender do tipo de obra, do nível de proteção requerido e das condições de execução. A adoção de um cobrimento maior pode fazer parte da estratégia de durabilidade de uma construção situada em meio agressivo (juntamente com outros cuidados especiais), permitindo assim o uso da argamassa armada nessa situação.

Espessuras de cobrimento maiores acabam levando ao engrossamento das peças e também a uma redução da capacidade das telas de aço controlarem a fissuração. No caso de espessuras de cobrimento maiores que 10 mm, recomenda-se a utilização conjunta de fibras curtas de aço ou de plástico.

Essas recomendações não são válidas para o caso de barcos e de outras estruturas em que se queira melhor desempenho da argamassa armada com relação à resistência à tração e fissuração macroscópica retardada. Nesses casos, a espessura do cobrimento deve ser pequena, da ordem de 3 mm, e a proteção especial contra corrosão é obrigatória.

3.2 - Tolerâncias dimensionais

Já se pôde observar que as *tolerâncias dimensionais* no projeto e na execução de argamassa armada são bem menores que as usuais no concreto armado e protendido, principalmente no que se refere às espessuras.

Entretanto, com o domínio das técnicas logo a partir das primeiras experiências, ver-se-á que o rigor exigido não é assim tão exagerado.

Tratando-se de dimensões gerais das peças é possível conseguir precisão igual ou superior às especificadas na NBR 9062 - Estruturas de Concreto Pré-Moldado [9]:

- a) ± 10 mm nas dimensões longitudinais até 5m;
- b) ± 15 mm nas dimensões entre 5 e 15 m;
- c) ± 20 mm nas dimensões superiores a 15 m.

Além da tolerância de ± 2 mm para a espessura do cobrimento da armadura, já comentada, pode-se indicar $\pm 10\%$ da espessura da peça, não superando ± 3 mm, como tolerância para a espessura das próprias peças.

Tolerâncias dessa ordem de grandeza já são respeitadas nas fábricas de componentes de concreto pré-moldado, sobretudo nas peças de pequena espessura, da ordem de 35 mm.

É claro que nas obras de argamassa armada executadas sem fôrmas torna-se mais difícil controlar as espessuras. Nesse caso, é preferível, dentro dos limites do razoável, priorizar o *controle de cobrimento*, ou seja, em geral é menos pior ter peças com ondulações e espessuras totais variáveis do que ter cobrimentos muito grandes ou muito pequenos.

3.3 - Limitações geométricas relativas às telas de aço

A NBR 11173 estabelece limitações geométricas sobre as telas de aço a serem empregadas em argamassa armada.

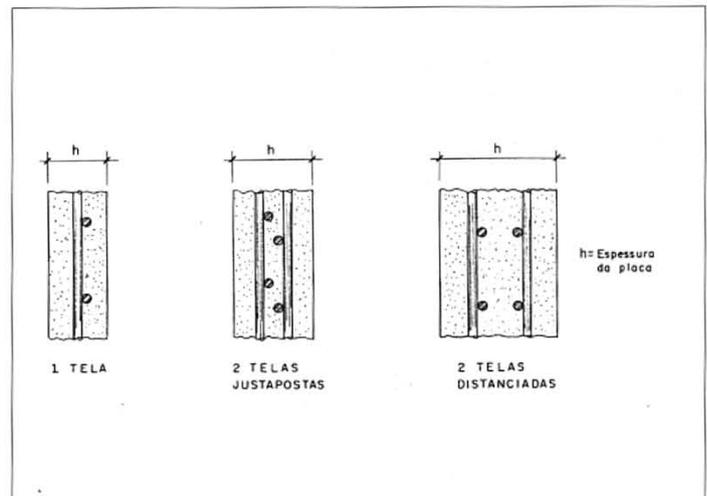


Fig. 27- Arranjos típicos de telas soldadas

No caso de telas de aço soldadas, o diâmetro dos fios não deve ser inferior a 0,56 mm nem superior a 3,0 mm. Além disso, o maior espaçamento entre os fios das telas de aço não deve ser superior a 50 mm.

Essas especificações foram baseadas na experiência até hoje acumulada sobre o uso dos diversos tipos de tela de aço e visam, juntamente com outras disposições construtivas, evitar que se utilizem quantidades e arranjos de armadura inadequados para

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento

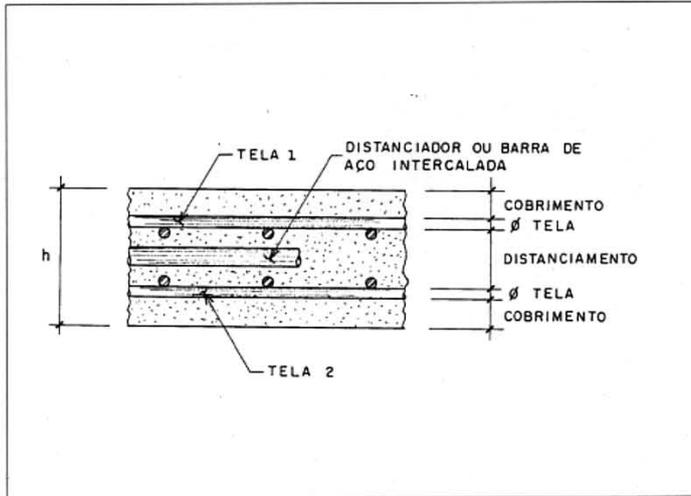


Fig. 26- Croqui para estimativa da espessura necessária

argamassa armada.

3.4 - Arranjos típicos de armadura

Os arranjos típicos de armadura mais freqüentemente utilizados com telas soldadas (Fig.27), que cobrem razoavelmente a faixa de variação de espessuras das peças de argamassa armada são os seguintes:

- arranjo com uma única tela;
- arranjo com duas telas justapostas, isto é, com malhas intercaladas e fios internos contidos (virtualmente) no mesmo plano;
- arranjo com duas telas, situadas em planos paralelos, eventualmente com fios ou barras posicionados entre elas.

As espessuras virtuais das peças são obtidas somando-se:

- os cobrimentos;
- os diâmetros dos fios das telas e dos fios ou barras de aço, conforme os esquemas de superposição;
- a tolerância de execução admitida na espessura da peça.

3.5 - Outras disposições construtivas sobre a armadura

Recomenda-se que, em qualquer parte da

seção transversal de uma peça, haja no mínimo uma tela de aço.

A NBR 11173*[6] especifica que para *espessuras maiores que 20 mm* haja pelo menos *duas telas de aço*. Essa recomendação está relacionada com o cuidado de se evitar espessuras de cobrimento muito elevadas, onde não haveria armadura difusa para controle da fissuração. Entretanto, há experiências bem-sucedidas de utilização de uma única tela de aço em peças de espessura maior que 20 mm, em alguns casos com emprego de fibras curtas como armadura secundária para controle da fissuração por retração.

Em qualquer caso, segundo a NBR 11173, a *taxa geométrica de armadura* correspondente à fração constituída pelas *telas de aço* deve ser *maior ou igual a 0,30%*, em cada direção analisada.

O *diâmetro das barras e fios* da armadura discreta, destinada à complementação da área da seção transversal de armadura, *não deve ser superior a 1/4 da espessura da peça, nem maior que 8 mm*. Esta recomendação tem por objetivo evitar o uso de barras muito grossas e portanto a alta concentração de esforços numa peça delgada. Contudo, em muitos casos na prática têm sido empregadas barras de até 12 mm, em regiões de maior espessura.

As barras ou fios devem ser dispostos de maneira uniforme na seção transversal, sendo em geral preferível colocar uma grande quantidade de fios de menor diâmetro possível, mantendo-se um espaçamento entre eles não inferior a 10 mm, nem a três vezes o seu diâmetro.

Em geral, deve-se colocar um fio de aço com diâmetro mínimo de 3 mm, com função construtiva, ao longo das linhas de dobramento das telas de aço.

* Código de registro do INMETRO. Norma publicada pela ABNT com o código NB-1259.

3.6 - Ancoragem

Para barras e fios de aço da armadura discreta, aplicam-se as recomendações correntes da tecnologia do concreto armado e o disposto na NBR 6118* [7].

Nos apoios livres de peças submetidas à flexão, para se garantir a ancoragem das telas de aço que chegam aos apoios, é necessário que:

- a) o comprimento do trecho de apoio não seja inferior a $3h_t$ (sendo h_t a espessura da lâmina, isto é, da parte da peça que fica em contato com o apoio) nem menor que 40 mm;
- b) o comprimento da armadura de telas a partir da face do apoio não seja menor que $20d$ para telas soldadas, sendo " d " o diâmetro dos fios das telas de aço;
- c) haja pelo menos uma malha no trecho ancoragem.

A armadura de telas de aço também pode ser escalonada, em função da diminuição dos esforços de tração nela atuantes, sendo o comprimento de ancoragem igual a $20d$ no caso de telas soldadas. Também nesta situação deve haver pelo menos uma malha no trecho de ancoragem.

A norma da ex-União Soviética de 1977 [8] indica também o emprego de ancoragens especiais, como por exemplo fios e barras soldadas a placas de aço, e ancoragem em laço, quando não houver espaço suficiente para a ancoragem por aderência.

3.7- Emenda de telas, fios e barras de aço

A emenda por traspasse de telas de aço pode ser executada nas regiões tracionadas onde não esteja sendo utilizada toda a sua capacidade resistente, observando-se que o

trecho de superposição, no caso de telas soldadas, *deve compreender pelo menos quatro nós transversais soldados* em cada uma das telas emendadas, e ter *comprimento igual ou superior a 60 mm*.

No caso de telas de aço com função apenas construtiva, esses valores podem ser reduzidos à metade, mantendo-se o comprimento mínimo de 60 mm.

As emendas por traspasse devem ser defasadas umas em relação às outras, não se emendendo mais que 50% da seção transversal de armadura de telas numa mesma seção transversal da peça.

3.8- União de elementos pré-moldados

De acordo com a norma soviética de 1977, no projeto de ligações de elementos pré-moldados deve-se levar em conta os esforços solicitantes de cálculo e possíveis excentricidades de montagem.

Nos casos em que a transmissão de esforços nas uniões se realiza através de dispositivos especiais, as barras de ancoragem destes devem ser igualmente resistentes às barras, fios e telas interrompidos na união dos elementos.

Outras informações para este tópico específico podem ser vistas nos manuais de ligações de concreto pré-moldado e nas normas técnicas específicas como a NBR 9062 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado [9].

* Código de registro do INMETRO. Norma publicada pela ABNT com o código NB-1.

4. Metodologia de cálculo

O cálculo de uma estrutura de argamassa armada, como em qualquer outra estrutura executada com outro material, deve ser efetuado levando-se em conta as características físicas e mecânicas dessa estrutura e o correspondente modelo de cálculo (esquema estático), e as ações que nela provocarão esforços e deformações. Ou seja, tais esforços e deformações devem ser calculados com base na Teoria de Estruturas, do mesmo modo que se faz numa estrutura de concreto, aço ou madeira.

A NBR 6118 (Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado)^[7], a NBR-9062 (Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado)^[9], a NBR-7197 (Projeto de Estruturas de Concreto Protendido)^[10] e outras normas técnicas existentes, além da própria NBR 11173 (Projeto e Execução de Argamassa Armada)^[6], são documentos que fornecem os principais subsídios para o projeto de estruturas de argamassa armada.

Afinal, como já vimos anteriormente, a argamassa armada nada mais é do que um tipo particular de concreto armado aplicado em peças de pequena espessura. Portanto, a maior parte do conhecimento existente sobre o comportamento estrutural do concreto armado e protendido também pode ser aplicado à argamassa armada, com as devidas adaptações decorrentes das peculiaridades deste último material. As diferenças entre argamassa armada e concreto armado, no que se refere ao cálculo, estão relacionadas fundamentalmente:

- a) com a fixação de dimensões, sobretudo do cobrimento das armaduras, uma vez que as peças de argamassa armada são de pequena espessura, por definição;
- b) com a verificação do Estado Limite de Fissuração Inaceitável, uma vez que na argamassa armada os arranjos peculiares de armadura podem levar a diferentes padrões de fissuração;
- c) com as disposições construtivas, sobretudo no que se refere ao arranjo das armaduras.

4.1 - Dimensionamento e esforços resistentes

De acordo com a metodologia de uso corrente nas estruturas de concreto, devem ser considerados os estados limites últimos e de utilização.

Conforme o exposto na NBR-8681 (Ações e Segurança nas Estruturas)^[11], os estados limites últimos são caracterizados por:

- perda de equilíbrio, global ou parcial, admitida a estrutura como corpo rígido;
- ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais;
- transformação da estrutura, no todo ou em parte, em sistema hipostático;
- instabilidade por deformação;
- instabilidade dinâmica.

Ainda conforme a NBR 8681, os estados limites de utilização a serem usualmente considerados são os caracterizados por:

- danos ligeiros ou localizados, que comprometam o aspecto estético da construção ou a durabilidade da estrutura;
- deformações excessivas, que afetem a utilização normal da construção ou seu aspecto estético;
- vibrações de amplitude excessiva.

A seguir apresentam-se indicações para o cálculo de estruturas de argamassa armada, tomando como referências básicas a NBR 11173 e a NBR 6118.

4.2 - Estado Limite Último - Solicitações Normais

O estado limite último correspondente à ruptura, deformação plástica excessiva e instabilidade pode ser efetuado na argamassa armada, conforme admite a NBR 11173, seguindo-se exatamente o estabelecido para concreto armado.

Desse modo, de acordo com a citada norma e a NBR 6118, as hipóteses para o cálculo no

estado limite último nos casos de flexão simples ou composta, normal ou oblíqua, e de compressão ou tração uniforme, são as seguintes:

- a) as seções transversais permanecem planas;
- b) para o encurtamento de ruptura da argamassa não inteiramente comprimidas, admite-se que o encurtamento da borda mais comprimida, na ocasião da ruptura, varie de 0,35% a 0,2%, mantendo-se inalterada e igual a 0,2% a deformação a $\frac{3}{7}$ da altura total da seção, a partir da borda mais comprimida;
- c) o alongamento máximo permitido ao longo da armadura de tração é de 1%, a fim de prevenir deformação plástica excessiva;
- d) a distribuição das tensões da argamassa na seção se faz de acordo com o diagrama parábola-retângulo. Permite-se a substituição desse diagrama pelo retângulo de altura $0,8x$, com a tensão $0,85 f_{cd}$ ou $0,80 f_{cd}$, conforme a largura da seção, medida paralelamente à linha neutra, não diminua ou diminua a partir desta para a borda mais comprimida, respectivamente; despreza-se a resistência à tração da argamassa;
- e) a tensão na armadura é a correspondente à deformação determinada de acordo com as alíneas anteriores e obtida no diagrama tensão-deformação do aço.

Os casos possíveis de deformação são ilustrados na Fig. 29, e a distribuição de tensões na argamassa, de acordo com as hipóteses de cálculo formuladas, é apresentada na Fig. 30.

Na argamassa armada, como existem telas de aço distribuídas em toda a seção transversal, estas podem ser consideradas no cálculo dos esforços resistentes. Por exemplo (ver Fig. 31), a contribuição dos fios longitudinais das telas de aço existentes na alma e nos talões de uma viga de argamassa armada, pode ser calculada tomando para cada fio ou conjunto de fios a tensão correspondente à deformação do aço na altura da seção em que eles estiverem localizados.

A consideração dos fios longitudinais das telas na resistência aos esforços de compressão deve ser considerada com algumas

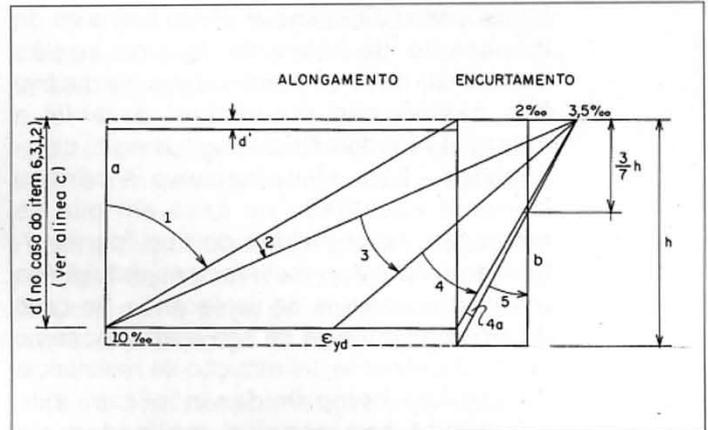


Fig. 29 - Casos possíveis de deformação, conforme a NBR 6118 [7]

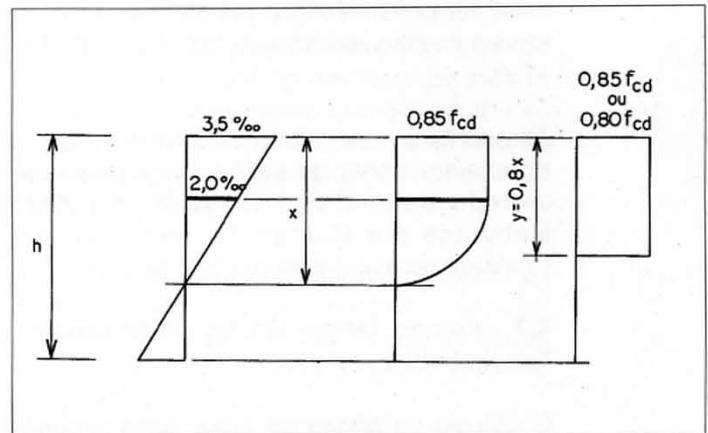


Fig. 30 - Distribuição de tensões na argamassa, conforme a NBR 6118 [7]

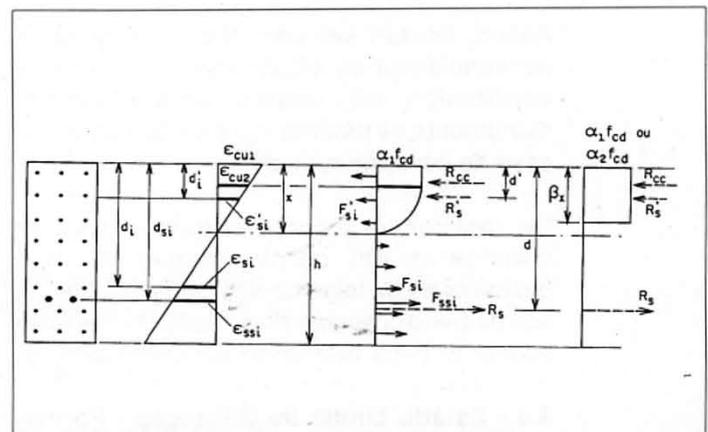


Fig. 31 - Esquema para consideração dos fios longitudinais das telas soldadas na resistência às solicitações normais

precauções. O eventual efeito negativo da disposição de telas de aço na região comprimida deve-se ao fato de que, na maioria dos casos, não é possível garantir a estabilidade dos fios longitudinais comprimidos. Este efeito negativo é particularmente acentuado no caso em que se empregam telas tecidas do tipo “peneira”, quando se chega a observar uma redução da resistência ao invés de acréscimo. No caso de emprego de telas de aço soldadas, como se faz usualmente, tal redução da resistência de regiões comprimidas não tem sido observada nos ensaios realizados em laboratório.

No caso de aplicação de protensão, valem as mesmas hipóteses, acrescentando-se que deve ser considerado o pré-alongamento da armadura ativa, como se estabelece na NBR 7197.

Apresenta-se em anexo uma tabela para o dimensionamento de seções de argamassa armada submetidas à flexão simples, elaborada por Giongo^[12] com base em similares apresentadas por Pinheiro^[13].

4.3 - Estado Limite Último - Solicitações Tangenciais

O cálculo de peças de argamassa armada submetidas a solicitações tangenciais pode ser efetuado de acordo com a NBR 11173, que também neste caso se baseia nas prescrições da NBR 6118.

Assim, devem ser calculadas as tensões convencionais de cisalhamento e torção e verificados os limites estabelecidos, exatamente da mesma maneira que se faz no caso de concreto armado.

Na resistência à força cortante, deve-se considerar em conta apenas os fios transversais das telas de aço, isto é, os fios de aço perpendiculares ou inclinados com relação ao eixo da peça, que funcionam como estribos.

4.4 - Estado Limite de Utilização - Formação de Fissuras

De acordo com os conceitos básicos inicial-

mente apresentados, a formação de fissuras macroscópicas na argamassa armada pode ser retardada, em função das características e da quantidade de armadura difusa.

Todavia, com a redução das taxas de armaduras (comparativamente às taxas empregadas por Nervi no *ferro-cimento*) para se diminuir os custos e aumentar a produtividade, a argamassa armada passa a ter comportamento semelhante ao concreto armado, também no que se refere à sua resistência à formação da primeira fissura.

De acordo com a NBR 6118, em indicação também adotada na NBR 11173, a solicitação resistente com a qual há grande probabilidade de iniciar-se a formação de fissuras normais à armadura longitudinal pode ser calculada com as seguintes hipóteses:

- a) a deformação de ruptura à tração do concreto é igual a $2,7 f_{tk}/E_c$;
- b) na flexão, o diagrama de tensões de compressão no concreto é triangular (regime elástico); a tensão na zona tracionada é uniforme e igual a f_{tk} , multiplicando-se a deformação de ruptura da alínea a) por 1,5;
- c) as seções transversais planas permanecem planas.

Deve ser sempre levado em conta o efeito da retração. Como simplificação, nas condições correntes, este efeito pode ser considerado supondo-se a tensão de tração igual a $0,75 f_{tk}$ e desprezando-se a armadura.

No caso de flexão, pode-se também aplicar um critério de cálculo ainda mais simples, determinando-se o momento fletor de fissuração no Estádio I, adotando-se tensão máxima de tração igual a $1,5 f_{tk}$, no caso de seção retangular, e $1,2 f_{tk}$, no caso de seção T ou similar. Este procedimento já é preconizado no Anexo da NBR 7197^[10], para cálculo de concreto armado e protendido.

4.5 - Estado Limite de Utilização - Fissuração Inaceitável

A dificuldade de verificação do Estado Limite de Fissuração Inaceitável em peças de argamassa armada começa no próprio

juízo do que vem a ser inaceitável.

Não existem dados suficientes para se estabelecer correlações mais precisas entre abertura de fissuras e durabilidade das construções de argamassa armada; aliás, não há consenso sobre tais dados nem mesmo no concreto armado. Contudo, deve-se reconhecer que as fissuras são caminhos abertos para o ataque das armaduras, e assim procura-se evitar aberturas exageradas.

No caso específico da argamassa armada, o Comitê 549 do ACI - American Concrete Institute^[14] sugere que a abertura de fissuras seja menor que 0,1 mm, no caso de ambientes protegidos, e menor que 0,05 mm no caso de ambientes agressivos (textualmente, o documento fala em ambientes corrosivos) ou estruturas destinadas ao armazenamento de água. Já a norma russa SN-366/77^[8] estabelece condições que levam em conta o grau de exposição da estrutura e a tipologia das ações e das armaduras, sendo que a abertura máxima é limitada entre 0,05 mm e 0,12 mm.

Conforme a NBR 11173, considera-se que a fissuração é nociva quando a abertura característica das fissuras na superfície da argamassa ultrapassa os seguintes valores

(lembra-se que a norma brasileira exige medidas especiais de proteção no caso de ambientes agressivos):

- a) 0,10 mm no caso de ambientes expostos;
- b) 0,15 mm no caso de ambientes protegidos.

Há uma outra dificuldade, que é a de estimar por meio de modelos teóricos a abertura das fissuras numa peça de argamassa armada sujeita a solicitações de diversos tipos.

Embora haja características incomuns no comportamento estrutural da argamassa armada, como fissuras finas e pouco espaçadas, a previsão quantitativa desse fenômeno depende de vários fatores, e mesmo assim está sujeita a grande variabilidade.

Na NBR 11173, tendo em vista o largo emprego das telas de aço soldadas de malhas de abertura relativamente grande, adotou-se um critério de avaliação da abertura de fissuras semelhante ao empregado em peças de concreto armado.

Assim, para o cálculo da abertura de fissuras devidas a solicitações normais, especificamente no caso de telas de aço soldadas com fios paralelos ao eixo da peça, utiliza-se a seguinte expressão:

$$w = 1,658 \cdot s \cdot \epsilon_s$$

onde:

$$s = s_1 \quad \text{se} \quad s_1 \geq e$$

$$s = 1,8 s_1 \quad \text{se} \quad 1,8 s_1 < e$$

$$s = e \quad \text{se} \quad 1,8 s_1 > e \quad \text{e} \quad s_1 < e$$

$$\text{sendo } s_1 = 1,5 \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16 \frac{\phi}{\rho_r}$$

- s = espaçamento entre fissuras
- s₁ = espaçamento de referência entre fissuras
- e = espaçamento entre os fios transversais da tela ao eixo da peça
- ε_s = deformação média da armadura mais tracionada da seção = σ_s / E_s
- σ_s = tensão em serviço da armadura
- f_{tk} = resistência característica da argamassa à tração
- ρ_r = $\frac{A_s}{A_c}$ = taxa geométrica da armadura de acordo com a NBR 6118
- c = cobrimento da armadura

Esta expressão corresponde ao modelo atualmente adotado pela NBR 6118, adaptado para as condições de uso de telas de aço soldadas em concreto armado, conforme trabalho apresentado por Mollica Júnior [15].

Alguns testes efetuados na Escola de Engenharia de São Carlos mostraram que esse critério fornece indicações razoáveis da abertura de fissuras no caso de telas soldadas de abertura relativamente grande (malhas de 25 mm a 50 mm). Os ensaios mostraram também, com muita regularidade, que nos casos de fissuração sistemática a abertura de fissuras varia entre 0,05 mm, por ocasião do aparecimento das primeiras fissuras, até 0,30 mm, nas proximidades da ruptura.

Pode-se dizer que no caso de argamassa armada, pelo fato de se dispor telas de aço soldadas (com espaçamento entre fios limitado a um valor mínimo) em toda a seção transversal, já existe um arranjo de armadura previamente determinado capaz de controlar a fissuração. No caso de fissuração assistemática ou de necessidade de redução do valor da abertura máxima de fissuras, deve-se dispor uma quantidade maior de telas de aço de fios finos e pouco espaçados (malhas de abertura menor que 50 mm), o que acaba também reduzindo o valor da tensão na armadura.

4.6 - Estado Limite de Utilização - Deformação Excessiva

A verificação do Estado Limite de Deformação Excessiva, na situação de utilização, tem por finalidade prevenir conseqüências prejudiciais à estrutura ou outras partes da construção, além de efeitos estéticos desagradáveis.

De modo geral, o cálculo de deslocamentos pode ser efetuado como no caso de estruturas de concreto, considerando-se Estádio I ou II para as peças fletidas, caso tenha ou não sido ultrapassada a solicitação de formação de fissuras. Isto significa que no cálculo de deslocamentos deve-se empregar produtos de rigidez EI de acordo com a situação de cada trecho do elemento estrutural. Os modelos de cálculo que consideram rigidez variável ao longo da peça têm fornecido bons resultados.

A NB-1279 recomenda tomar, no cálculo dos deslocamentos, os seguintes valores para o módulo de deformação da argamassa, na falta de dados mais específicos:

- **módulo tangente na origem:**

$$E_{\text{tangente}} = 0,80 \cdot 6600 \sqrt{f_{ck} + 3,5} \text{ (em MPa)}$$

- **módulo secante**

$$E_{\text{secante}} = 0,85 \cdot E_{\text{tangente}}$$

Para o cálculo do efeito de ações de longa duração, a norma russa recomenda tomar coeficientes de fluência cujos valores são apresentados na tabela a seguir, em função da umidade relativa média do ambiente e do tipo de cura da argamassa.

Valores do coeficiente de fluência ϕ_{cc}		
Umidade Ambiental Média	Cura Normal	Cura a Vapor
superior a 40%	2,6	3,0
inferior a 40%	3,9	4,5

Para consideração de rigidez variável ao longo da peça, pode-se utilizar também expressões como a apresentada a seguir, para cálculo do momento de inércia equivalente, de acordo com as recomendações do ACI-318.

$$I_{eq} = I_r + \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 (I_h - I_r) \leq I_h$$

onde:

M_a = momento fletor total das ações de curta e longa duração;

M_r = momento fletor de fissuração;

I_h = momento de inércia no Estádio I;

I_r = momento de inércia no Estádio II.

Como valores limites de deslocamentos (relações flecha/vão), as referências básicas são as da NBR 6118, da NBR 9062 e de outras normas brasileiras.

5. Exemplos de dimensionamento

5.1- Exemplo 1: Viga de cobertura de seção V

Neste primeiro exemplo, a idéia é mostrar algumas indicações de projeto e a seqüência de cálculo de uma viga de cobertura, de seção transversal em forma de V, simplesmente apoiada, para um vão de 12m.

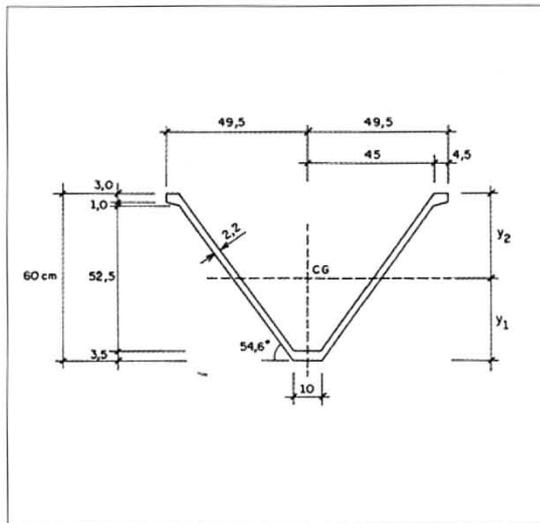


Fig. 32- Dados da seção transversal da viga do Exemplo 1

Além do peso próprio, considera-se uma carga variável uniformemente distribuída de 0,80 kN/m² (sobrecarga acidental, instalações elétricas leves, efeito do vento, etc.)

Supõe-se que as vigas de cobertura serão pré-moldadas em canteiro, transportadas e colocadas sobre apoios de neoprene em vigas-calhas de concreto, também pré-moldadas. Serão conectadas entre si transversalmente por meio de conectores de aço embutidos nas flanges superiores. A junta será vedada com manta butílica de impermeabilização.

Admite-se que a cobertura está exposta a intempéries, porém em ambiente pouco agressivo.

5.1.1- Materiais a empregar

• Telas de aço soldadas (aço CA-60B):

EQ-98 (fios ϕ 2,5 mm, espaçamento 50 mm x 50 mm), ou
EQ-120 (fios ϕ 2,76 mm, espaçamento 50 mm x 50 mm)

• Argamassa ou microconcreto (concreto de pedrisco):

$f_{ck} = 30$ MPa
 $f_{tk} = 0,06 f_{ck} + 0,7 = 2,5$ MPa (valor estimado de projeto)

• Pintura de proteção externa: verniz acrílico ou epoxi

5.1.2- Características geométricas e mecânicas da seção transversal

Determinando-se as características geométricas e mecânicas da seção transversal:

- Área bruta da seção transversal de argamassa $A_c = 370$ cm²
- Posição do centro de gravidade em relação à borda inferior $y_1 = 29,7$ cm
- Momento de inércia da seção não fissurada (Estádio I) $I_c = 133.284$ cm⁴

5.1.3- Cálculo dos esforços solicitantes

$g = 25 \cdot 0,0370 = 0,925$ kN/m
 $q = 0,80$ kN/m

Calculando os esforços máximos na viga (momento fletor e força cortante):

$M_{g,max} = 1.665$ kN.cm $V_{g,max} = 5,55$ kN
 $M_{q,max} = 1.440$ kN.cm $V_{q,max} = 4,80$ kN

**5.1.4- Dimensionamento da armadura longitudinal no Estádio III
(Estado Limite Último - Solicitações Normais)**

Considerando que as flanges superiores do perfil são pequenas e podem ser enfraquecidas pelos conectores de aço para ligação transversal, despreza-se a contribuição dessas flanges no Estádio Limite Último.

$$b = 2 \cdot \frac{2,2}{\text{sen } 54,6^\circ} = 5,4 \text{ cm (largura da seção, considerada como retangular)}$$

$d = 58,5 \text{ cm}$ (altura útil da seção)

$$\text{Momento fletor de cálculo: } M_d = 1,4 \cdot (M_{g,\max} + M_{q,\max}) = 4.347 \text{ kN.cm}$$

Calculando-se o coeficiente k_c :

$$k_c = \frac{b \cdot d^2}{M_d} = \frac{5,4 \cdot 58^2}{4.347} = 4,2 \text{ (cm}^2/\text{kN)}$$

Consultando-se a Tabela 1 do Anexo, na coluna correspondente a C-30, encontra-se o valor de k_c mais próximo ao valor calculado, podendo-se então obter os correspondentes valores de β_x e k_s :

$$\beta_x = 0,18 \text{ (que resulta em caso de domínio 2)}$$

$$k_s = 0,025 \text{ (para aço CA-50)}$$

A armadura necessária é calculada por:

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_d}{d} = 0,025 \cdot \frac{4.347}{58} = 1,87 \text{ cm}^2$$

Desconsiderando-se a contribuição dos fios longitudinais das telas a serem dispostas em conjunto com as barras, pode-se adotar:

$$A_s = 2,0 \text{ cm}^2 \text{ (4 } \phi \text{ 8 mm), que pode ser alojada sem problemas na flange inferior.}$$

**5.1.5- Verificação do cisalhamento
(Estado Limite Último - Solicitações Tangenciais)**

Tomando-se os valores já calculados:

$$V_{g,\max} = 5,55 \text{ kN}$$

$$V_{q,\max} = 4,80 \text{ kN}$$

Determina-se o esforço cortante máximo de cálculo:

$$V_{d,\max} = 1,4 (5,55 + 4,80) = 14,49 \text{ kN}$$

Do mesmo modo que se faz no caso de concreto armado, calcula-se:

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{b_w \cdot d} = \frac{14,49}{2 \cdot 2,2 \cdot 58} = 0,0568 \text{ kN/cm}^2 = 0,568 \text{ MPa} < \tau_{wu} = 4,5 \text{ MPa}$$

O valor de b_w foi tomado como a soma das espessuras das duas almas do perfil, e o valor da tensão última de cálculo foi considerado de acordo com a NBR 6118.

Determinando-se agora o valor da tensão de cisalhamento de cálculo:

$$\tau_d = 1,15 \tau_{wd} - \tau_c$$

com τ_c calculado por $\tau_c = \psi_1 \sqrt{f_{ck}}$

Para o caso de flexão simples, $\psi_1 = 0,15$.

Resulta então:

$$\tau_d = 1,15 \cdot 0,568 - 0,822 = - 0,169 < 0$$

Portanto, deve-se dispor armadura transversal mínima, tal que se tenha em cada alma do perfil:

$$A_{sw,min} \text{ (em cada alma)} = 0,14\% \cdot b_w \cdot s = \frac{0,14}{100} \cdot 2,2 \cdot 100 = 0,308 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Dispondo-se 1 tela de aço soldada EQ-98 em cada alma, pode-se contar com 0.98 cm²/m como armadura transversal, quantidade mais que suficiente para a resistência ao cisalhamento.

5.1.6- Verificação da abertura de fissuras (Estado Limite de Fissuração Inaceitável)

Como já se explicou anteriormente, a verificação da abertura de fissuras no caso de telas soldadas pode ser feita pela expressão:

$$w = 1,658 \cdot s \cdot \epsilon_s$$

sendo que no caso particular deste exemplo, o valor característico da abertura de fissuras não deve ser superior a 0,1 mm.

Em primeiro lugar, calcula-se o valor de s_1 :

$$s_1 = 1,5 \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16 \frac{\phi}{\rho_r}$$

sendo c = cobrimento da armadura = 8 mm (valor adotado neste exemplo);

ϕ = diâmetro dos fios das telas (neste caso adotado o diâmetro das barras da armadura complementar) = 8 mm;

ρ_r = taxa de armadura, relativa à área interessada à fissuração, neste caso tomada igual a $\rho_r = 2 \text{ cm}^2 / 10 \text{ cm} \cdot 3,5 \text{ cm} = 0,0571$.

Substituindo os valores, resulta:

$$s_1 \cong 40 \text{ mm e}$$

$$1,8 \cdot s_1 \cong 72 \text{ mm}$$

Sendo $e = 50 \text{ mm}$ (espaçamento entre fios das telas soldadas), observa-se que:

$$1,8 \cdot s_1 > e$$

$$s_1 < e$$

Portanto, de acordo com os intervalos de variação dados para s_1 , deve-se tomar

$$s = e$$

O passo seguinte agora é calcular o valor de ϵ_s , ou seja, a deformação da armadura tracionada no Estádio II, quando se tem esforços correspondentes à combinação quase-permanente de ações de utilização.

Para a determinação dos esforços, em combinação quase-permanente de utilização, adota-se, para o caso particular deste exemplo, o valor do fator de combinação $\psi_2 = 0,2$. Assim:

$$M_{d,uti} = M_g + \psi_2 \cdot M_q = 1.665 + 0,2 \cdot 1.440 = 1.953 \text{ kN.cm}$$

Para o cálculo da tensão na armadura no Estádio II (e posteriormente o valor da deformação), deve-se determinar o momento de inércia da seção fissurada. Isto deve ser feito do mesmo modo empregado no cálculo de concreto armado, ou seja, determinando-se a posição da linha neutra pela igualdade dos momentos estáticos da seção comprimida de concreto e da seção transversal da armadura, esta última devidamente multiplicada pelo coeficiente $\alpha_e = E_s/E_c$.

Assumindo o valor $\alpha_e = 15$, como recomenda a NBR 6118 para esta verificação, determina-se para este exemplo:

$$x = 18,02 \text{ cm (posição da linha neutra da seção transversal no Estádio II)}$$

$$I_r = 63.867 \text{ cm}^4 \text{ (momento de inércia da seção transversal no Estádio II)}$$

Calculando a tensão na armadura:

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_{d,uti}}{I_r} (d - x) = 15 \frac{1.953}{63.867} (58 - 18,02) = 18,34 \text{ kN/cm}^2 = 183,4 \text{ MPa}$$

Finalmente, pode-se calcular a abertura característica de fissuras:

$$w = 1,658 \cdot s \cdot \epsilon_s = 1,658 \cdot 50 \cdot \frac{183,4}{210.000} = 0,07 \text{ mm}$$

Como a abertura de fissuras calculada é menor que o valor limite estabelecido pela NBR 11173, está satisfeita a condição do Estado Limite de Fissuração Inaceitável.

Observa-se neste caso que as características das telas soldadas não foram consideradas no cálculo, uma vez que se levou em conta apenas a existência das barras $\phi 8$ mm na zona tracionada.

Com o objetivo de se ilustrar melhor este exemplo de cálculo, no que se refere à estimativa da abertura de fissuras, vamos calcular essa abertura utilizando as duas expressões indicadas pela NBR 6118 para concreto armado.

$$\frac{\phi}{2\eta_b - 0,75} \frac{\sigma_s}{E_s} \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right) = \frac{8}{2,1 - 0,75} \frac{183,4}{210.000} \left(\frac{4}{0,0571} + 45 \right) = 0,6$$

$$\frac{\phi}{2\eta_b - 0,75} \frac{\sigma_s}{E_s} \frac{3\sigma_s}{f_{tk}} = \frac{8}{2,1 - 0,75} \frac{183,4}{210.000} \frac{3 \cdot 183,4}{2,5} = 1,2$$

Para satisfazer à condição de abertura de fissuras menor que 0,1 mm, os valores obtidos pelas duas expressões deveriam, simultaneamente, ser menores que 1. O segundo valor resultou ligeiramente superior a 1, indicando que se deveria reformular o arranjo da armadura. Entretanto, como temos fios longitudinais das telas que não foram considerados no cálculo, esta condição poderia ser também admitida como satisfeita.

Note-se que a utilização das fórmulas de cálculo estabelecidas para concreto armado, em casos como este (em que existe preponderância da área de seção transversal de armadura de barras sobre a de telas de aço) faz algum sentido, oferecendo mais um parâmetro para as decisões do calculista. Deve-se salientar também que na experiência de laboratório, tem se observado em situações semelhantes que a presença das telas acaba provocando uma distribuição mais regular de fissuras, ou seja, a presença de telas soldadas, mesmo com área relativamente pequena, favorece um melhor controle da fissuração.

5.1.7- Verificação da flecha (Estado Limite de Deformação Excessiva)

Para o cálculo da flecha imediata, pode-se empregar a expressão do momento de inércia equivalente (fórmula de Branson, adotada pelo ACI e recomendada também pela NBR 11173):

$$I_{eq} = I_r + \left(\frac{M_r}{M_{d,uti}} \right)^3 (I_h - I_r) \leq I_h$$

O momento fletor de fissuração M_r pode ser calculado de acordo com as hipóteses da NBR 6118, também aceitas pela NBR 11173, ou então, de modo simplificado, adotando-se cálculo no Estádio I com:

$$\begin{aligned} \sigma_{ct,max} &= 1,5 f_{tk} \text{ (tensão máxima de tração, para seção retangular)} \\ \sigma_{ct,max} &= 1,2 f_{tk} \text{ (tensão máxima de tração, para seção T ou assemelhada)} \end{aligned}$$

Tomando-se o valor do momento de inércia da seção bruta de argamassa (no lugar do momento de inércia da seção homogeneizada) e adotando-se $\sigma_{ct,max} = 1,2 f_{tk}$ para este exemplo, resulta:

$$M_r \cong \frac{I_c}{y_{max}} \sigma_{ct,max} = \frac{133.284}{29,7} 1,2 \cdot 0,25 = 1.328 \text{ kN.cm}$$

Substituindo os correspondentes valores na fórmula de I_{eq} :

$$I_{eq} = 63.867 + \left(\frac{1.328}{1.953} \right)^3 (133.284 - 63.867) = 85.692 \text{ cm}^4$$

Estimando o valor de E_c conforme a fórmula abaixo:

$$E_c = 0,85 (0,8 \cdot 6.600 \sqrt{f_{ck} + 3,5}) = 25.976 \text{ MPa} = 2.597,6 \text{ kN/cm}^2$$

Pode-se então calcular o valor da flecha imediata, para a combinação quase-permanente de ações:

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento

$$a_{\max} = \frac{5 (g + 0,2 q) \ell^4}{384 E_c I_{eq}} = \frac{5 (0,925 \cdot 10^{-2} + 0,2 \cdot 0,80 \cdot 10^{-2}) 1200^4}{384 \cdot 2597,6 \cdot 85692} = 1,32 \text{ cm}$$

Para se considerar o efeito de ações de longa duração (fluência do concreto), pode-se tomar os coeficientes dados pela NBR 11173. Admitindo cura normal e umidade relativa do ar superior a 40%, o coeficiente ϕ_{cc} a adotar vale 2,6. Resulta então a flecha total (imediate + lenta):

$$a_{\max, t\infty} = a_{ime} (1 + \phi_{cc}) = 1,32 \cdot 3,6 = 4,75 \text{ cm}$$

A relação flecha/vão é igual a:

$$\frac{a_{\max, t\infty}}{\ell} = \frac{4,75}{1.200} = \frac{1}{253}$$

Como a flecha é superior a 1/300 e além disso trata-se de viga de cobertura, é conveniente adotar-se contraflecha adequada. Deve-se prever também a necessária inclinação para escoamento das águas pluviais.

5.1.8 - Detalhes construtivos

Na figura a seguir mostra-se a seção transversal do elemento, com indicações sobre o arranjo das armaduras.

Os índices de consumo de materiais são os seguintes:

- Tela EQ-98 (20 m²/viga): 30,5 kg/viga
- Aço CA-50B (fios e barras): 26 kg/viga
- Argamassa ou microconcreto $f_{ck} = 30$ MPa: 0,444 m³/viga
- Consumo relativo de aço: 127 kg/m³
- Espessura média: 3,7 cm
- Peso de cada viga: 11,10 kN (1110 kgf)

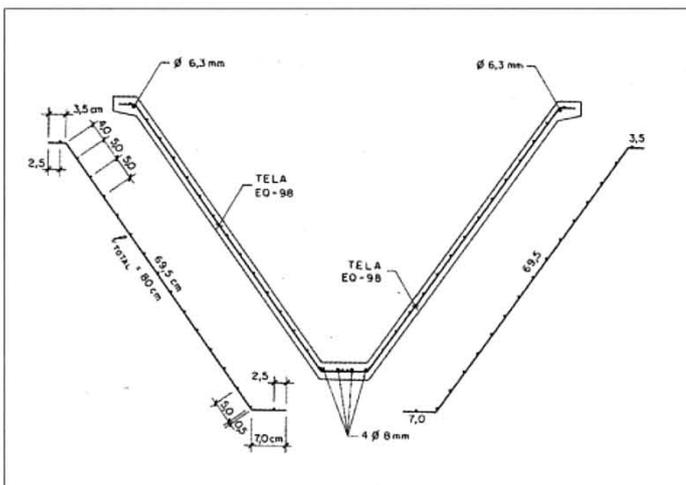


Fig. 33 - Esquema da armadura da viga do Exemplo 1 (seção transversal)

5.2- Exemplo 2: Painel nervurado de forro ou vedação

Neste segundo exemplo, apresenta-se a seqüência de cálculo de um painel de face simples, nervurado, o qual poderia eventualmente ser utilizado em paredes divisórias ou de vedação, em forros de habitações populares, em prateleiras, etc.

Admite-se uma situação hipotética de painel com largura de 62,5 cm, comprimento de 3 m e sobrecarga acidental de 0,5 kN/m², a ser utilizado em ambiente protegido. O valor adotado para a sobrecarga é um valor de referência, que pode ser entendido como uma sobrecarga acidental que poderia ocorrer durante o transporte ou durante a utilização.

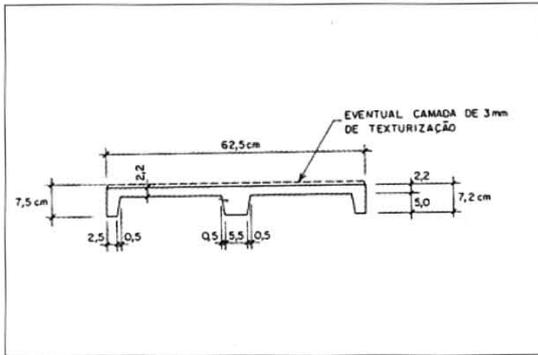


Fig. 34 - Dados da seção transversal do painel nervurado do Exemplo 2

Supõe-se que os painéis sejam pré-moldados em fôrmas individuais ou em pista de produção em que fios de aço CA-60B possam ser ligeiramente estirados para facilitar o posicionamento das telas de aço. Não se trata neste caso de uso da protensão, a qual poderia também ser empregada, com cordoalhas finas de aço de protensão.

Em qualquer caso, as peças poderiam ser moldadas com a face plana voltada para cima, a qual receberia acabamento com desempenadeira de aço. Como outra alternativa de acabamento, essa face poderia receber uma camada adicional de argamassa de texturização, eventualmente colorida, com agregado exposto (concreto lavado).

5.2.1- Materiais a empregar

- Telas de aço soldadas (aço CA-60B): EQ-98 (fios ϕ 2,5 mm, espaçamento 50 mm x 50 mm), ou EQ-120 (fios ϕ 2,76 mm, espaçamento 50 mm x 50 mm)
- Argamassa ou microconcreto (concreto de pedrisco):
 $f_{ck} = 30$ MPa
 $f_{tk} = 0,06 f_{ck} + 0,7 = 2,5$ MPa (valor estimado de projeto)

5.2.2- Características geométricas e mecânicas da seção transversal

Determinando-se as características geométricas e mecânicas da seção transversal:

- Área bruta da seção transversal de argamassa $A_c = 195$ cm²
- Posição do centro de gravidade em relação à borda inferior (nervura) $y_1 = 5,06$ cm
- Momento de inércia da seção não fissurada (Estádio I) $I_c = 677$ cm⁴

5.2.3- Cálculo dos esforços solicitantes

- $g_1 = 25 \cdot 0,01950 = 0,4875$ kN/m (peso próprio do painel, sem texturização)
- $g_2 = 25 \cdot 0,625 \cdot 0,003 = 0,047$ kN/m (peso da eventual camada de texturização)
- $\cdot g = 0,535$ kN/m (peso próprio total do painel, inclusive eventual camada de texturização)
- $q = 0,50 \cdot 0,625 = 31,25$ kN/m

Calculando os esforços máximos na viga (momento fletor e força cortante):

$$M_{g,max} = 60,2 \text{ kN.cm} \quad V_{g,max} = 0,803 \text{ kN}$$

$$M_{q,max} = 35,2 \text{ kN.cm} \quad V_{q,max} = 0,469 \text{ kN}$$

5.2.4- Dimensionamento da armadura longitudinal no Estádio III (Estado Limite Último - Solicitações Normais)

Admitindo-se a possibilidade do painel ser posicionado com as nervuras voltadas para baixo (nervura tracionada) ou para cima

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento

(nervura comprimida), são verificadas as duas situações.

a) Nervuras voltadas para baixo
 $b = 62,5$ cm (largura da seção, considerada como retangular)
 $d = 6,0$ cm (altura útil da seção)

Momento fletor de cálculo:
 $M_d = 1,4 \cdot (M_{g,max} + M_{q,max}) = 133,6$ kN.cm

Calculando-se o coeficiente k_c :

$$k_c = \frac{b \cdot d^2}{M_d} = \frac{62,5 \cdot 6^2}{133,6} = 16,8 \text{ (cm}^2/\text{kN)}$$

Consultando-se a Tabela 1 do Anexo, na coluna correspondente a C-30, encontra-se o valor de k_c mais próximo ao valor calculado, podendo-se então obter os correspondentes valores de β_x e k_s (valores aproximados, a favor da segurança):

$\beta_x = 0,05$ (que resulta em caso de domínio 2)
 $k_s = 0,020$ (aço CA-60)

A armadura necessária é calculada por:

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_d}{d} = 0,020 \cdot \frac{133,6}{6} = 0,45 \text{ cm}^2$$

$A_s = 0,6$ cm² (3 ϕ 5 mm, um fio em cada nervura).

b) Nervuras voltadas para cima
 $b = 10,5$ cm (soma das larguras mínimas das nervuras, a favor da segurança)
 $d = 6,0$ cm (altura útil da seção)

Calculando-se o coeficiente k_c :

$$k_c = \frac{b \cdot d^2}{M_d} = \frac{10,5 \cdot 6^2}{133,6} = 2,8 \text{ (cm}^2/\text{kN)}$$

Encontra-se na tabela os valores de k_c , β_x e k_s :

$\beta_x = 0,28$ (domínio 3)
 $k_s = 0,022$ (aço CA-60)

A armadura necessária é calculada por:

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_d}{d} = 0,022 \cdot \frac{133,6}{6} = 0,49 \text{ cm}^2$$

Dispondo-se uma tela EQ-98 (0,98 cm²/m), encontra-se na placa:

$A_s = 0,98 \cdot 0,60 = 0,588$ cm², quantidade superior à calculada.

5.2.5- Verificação do cisalhamento (Estado Limite Último - Solicitações Tangenciais)

Tomando-se os valores já calculados:

$$V_{g,max} = 0,803 \text{ kN}$$

$$V_{q,max} = 0,469 \text{ kN}$$

Determina-se o esforço cortante máximo de cálculo:

$$V_{d,max} = 1,4 (0,803 + 0,469) = 1,78 \text{ kN}$$

Calculando-se a tensão de referência:

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{b_w \cdot d} = \frac{1,78}{10,5 \cdot 6} = 0,028 \text{ kN/cm}^2 = 0,28 \text{ MPa} < \tau_{wu} = 4,5 \text{ MPa}$$

O painel não tem o comportamento de laje, mas considerando-se que o valor da tensão τ_{wd} é muito pequeno, e que a tela soldada será dobrada nas nervuras externas, pode-se dispensar qualquer outra armadura transversal.

5.2.6- Verificação da abertura de fissuras (Estado Limite de Fissuração Inaceitável)

Como no exemplo anterior, a verificação da abertura de fissuras no caso de telas soldadas pode ser feita pela expressão:

$$w = 1,658 \cdot s \cdot \epsilon_s$$

sendo que no caso particular deste exemplo (ambiente protegido), o valor característico da abertura de fissuras não deve ser superior a 0,15 mm, de acordo com a NB -1259.

Consideraremos as duas situações, de nervura tracionada e de nervura comprimida.

a) Nervura voltada para baixo

Calculando-se o valor de s_1 :

$$s_1 = 1,5 \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16 \frac{\phi}{\rho_r}$$

sendo c = cobrimento da armadura = 8 mm (valor adotado neste exemplo);

ϕ = diâmetro dos fios das telas (neste caso adotado o diâmetro dos fios da armadura complementar) = 5 mm;

ρ_r = taxa de armadura, relativa à área interessada à fissuração, neste caso tomada igual a $\rho_r = 0,6 \text{ cm}^2 / 57,5 \text{ cm}^2 = 0,0104$.

Substituindo os valores, resulta $s_1 = 93 \text{ mm}$. Sendo $e = 50 \text{ mm}$ (espaçamento entre fios das telas soldadas), então $s_1 > e$. Portanto, deve-se tomar $s = s_1$.

O passo seguinte agora é calcular o valor de ϵ_s , ou seja, a deformação da armadura tracionada no Estádio II, correspondente à combinação quase-permanente de ações de utilização.

Adota-se, para o caso particular deste exemplo, o valor do fator de combinação $\psi_2 = 0,2$. Assim:

$$M_{d,uti} = M_g + \psi_2 \cdot M_q = 60,2 + 0,2 \cdot 35,2 = 67,2 \text{ kN.cm}$$

Como já se mostrou no Exemplo 1, para o cálculo da tensão na armadura no Estádio II, deve-se determinar o momento de inércia da seção fissurada. Obtém-se então:

$x = 1,24 \text{ cm}$ (posição da linha neutra da seção transversal no Estádio II)

$I_r = 273,2 \text{ cm}^4$ (momento de inércia da seção transversal no Estádio II)

Calculando a tensão na armadura:

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_{d,uti}}{I_r} (d - x) = 15 \frac{67,2}{273,2} (6 - 1,24) = 17,56 \text{ kN/cm}^2 = 175,6 \text{ MPa}$$

Calcula-se a abertura característica de fissuras:

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento

$$w = 1,658 \cdot s \cdot \varepsilon_s = 1,658 \cdot 93 \cdot \frac{175,6}{210.000} = 0,13 \text{ mm} < 0,15 \text{ mm}$$

Portanto, está satisfeita a condição do Estado Limite de Fissuração Inaceitável.

Entretanto, do mesmo modo que no Exemplo 1, as características das telas soldadas não foram consideradas no cálculo, uma vez que se levou em conta apenas a existência dos fios $\phi 5$ mm na zona tracionada.

Calculando-se a abertura de fissuras utilizando as duas expressões indicadas pela NBR 6118 para concreto armado, para obter parâmetros adicionais de referência:

$$\frac{\phi}{2\eta_b - 0,75} \frac{\sigma_s}{E_s} \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right) = \frac{5}{2,1 - 0,75} \frac{175,6}{210.000} \left(\frac{4}{0,0104} + 45 \right) = 1,4 < 1,5$$

$$\frac{\phi}{2\eta_b - 0,75} \frac{\sigma_s}{E_s} \frac{3\sigma_s}{f_{tk}} = \frac{5}{2,1 - 0,75} \frac{175,6}{210.000} \frac{3 \cdot 175,6}{2,5} = 0,70 < 1,5$$

Portanto, mesmo utilizando as expressões estabelecidas para concreto armado, está satisfeita a condição de limitação de abertura de fissuras.

b) Nervura voltada para cima

Novamente, calculando-se o valor de s_1 :

$$s_1 = 1,5 \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16 \frac{\phi}{\rho_r}$$

com c = cobrimento da armadura = 8 mm;

ϕ = diâmetro dos fios das telas = 2,5 mm;

ρ_r = taxa de armadura, relativa à área interessada à fissuração, tomada igual a

$$\rho_r = 0,588 \text{ cm}^2 / 2,2 \cdot 62,5 \text{ cm}^2 = 0,043.$$

Substituindo os valores, resulta $s_1 = 107$ mm. Também neste caso deve-se tomar $s = s_1$.

Determinando-se o momento de inércia da seção fissurada:

$x = 2,36$ cm (posição da linha neutra da seção transversal no Estádio II)

$I_r = 205,1$ cm⁴ (momento de inércia da seção transversal no Estádio II)

Calculando a tensão na armadura:

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_{d,uti}}{I_r} (d - x) = 15 \frac{67,2}{205,1} (6 - 2,36) = 17,87 \text{ kN/cm}^2 = 178,7 \text{ MPa}$$

Calcula-se então a abertura característica de fissuras para esta situação:

$$w = 1,658 \cdot s \cdot \varepsilon_s = 1,658 \cdot 107 \cdot \frac{178,7}{210.000} = 0,15 \text{ mm}$$

Portanto, também neste caso está satisfeita a condição do Estado Limite de Fissuração Inaceitável.

**5.2.7- Verificação da flecha
(Estado Limite de Deformação Excessiva)**

Analogamente ao Exemplo 1, para o cálculo da flecha imediata emprega-se a expressão do momento de inércia equivalente:

$$I_{eq} = I_r + \left(\frac{M_r}{M_{d,uti}} \right)^3 (I_h - I_r) \leq I_h$$

a) Nervura voltada para baixo

Calcula-se o momento fletor de fissuração M_r de modo simplificado no Estádio I com:

$$\sigma_{ct,max} = 1,2 f_{tk} \text{ (tensão máxima de tração, para seção T ou assemelhada)}$$

Tomando-se o valor do momento de inércia da seção bruta de argamassa, resulta:

$$M_r \cong \frac{I_c}{y_{max}} \sigma_{ct,max} = \frac{677}{5,06} 1,2 \cdot 0,25 = 40,1 \text{ kN.cm}$$

Substituindo os correspondentes valores na fórmula de I_{eq} :

$$I_{eq} = 273,2 + \left(\frac{40,1}{67,2} \right)^3 (677 - 273,2) = 359 \text{ cm}^4$$

Tomando o valor de $E_c = 3.438 \text{ kN/cm}^2$, calcula-se a flecha imediata para a combinação quase-permanente de ações:

$$a_{max} = \frac{5 (g + 0,2 q) \ell^4}{384 E_c I_{eq}} = \frac{5 (0,535 \cdot 10^{-2} + 0,2 \cdot 0,3125 \cdot 10^{-2}) 300^4}{384 \cdot 3438 \cdot 359} = 0,51 \text{ cm} = 5,1 \text{ mm}$$

De modo análogo ao do Exemplo 1, para se considerar o efeito de ações de longa duração, pode-se tomar os coeficientes dados pela NBR 11173. Para cura normal e umidade relativa do ar superior a 40%, o coeficiente ϕ_{cc} vale 2,6. Resulta então a flecha total (imediate + lenta):

$$a_{max, toc} = a_{ime} (1 + \phi_{cc}) = 0,51 \cdot 3,6 = 1,84 \text{ cm}$$

A relação flecha/vão é igual a:

$$\frac{a_{max, toc}}{\ell} = \frac{1,84}{300} = \frac{1}{163}$$

Caso o painel seja utilizado na posição horizontal (forro, prateleira, etc.), com a flecha é superior a $1/300$, é conveniente adotar-se contraflecha adequada, a ser definida conforme a situação.

b) Nervura voltada para cima

Calculando-se o momento fletor de fissuração M_r com $\sigma_{ct,max} = 1,2 f_{tk}$, resulta:

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento

$$M_r \cong \frac{I_c}{y_{\max}} \sigma_{ct,\max} = \frac{677}{2,14} 1,2 \cdot 0,25 = 94,9 \text{ kNcm}$$

Nota-se que neste caso $M_{d,\text{uti}} = 67,2 \text{ kN.cm}$ é menor que o momento de fissuração. Portanto, pode-se empregar o valor do momento de inércia da seção não fissurada para o cálculo da flecha:

$$a_{\max} = \frac{5 (g + 0,2 q) \ell^4}{384 E_c I_{eq}} = \frac{5 (0,535 \cdot 10^{-2} + 0,2 \cdot 0,3125 \cdot 10^{-2}) 300^4}{384 \cdot 3438 \cdot 677} = 0,27 \text{ cm}$$

Adotando-se o coeficiente ϕ_{cc} igual a 2,6, resulta a flecha total (imediate + lenta):

$$a_{\max, \text{tec}} = a_{\text{ime}} (1 + \phi_{cc}) = 0,27 \cdot 3,6 = 0,97 \text{ cm}$$

A relação flecha/vão é igual a:

$$\frac{a_{\max, \text{tec}}}{\ell} = \frac{0,97}{300} = \frac{1}{309}$$

Neste caso, com o painel posicionado com a placa voltada para baixo, ele poderia ser empregado, por exemplo em forros.

5.2.8 - Detalhes construtivos

Na figura a seguir mostra-se a seção transversal com detalhes das armaduras.

Os índices de consumo de materiais são os seguintes:

- Tela EQ-98 (2,4 m²/painel): 3,7 kg/painel
- Aço CA-50B (fios e barras): 2 kg/painel
- Argamassa ou microconcreto $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$: 0,0585 m³/viga
- Consumo relativo de aço: 97 kg/m³
- Espessura média: 3,12 cm
- Peso de cada painel de 3 m: 1,46 kN (146 kgf)

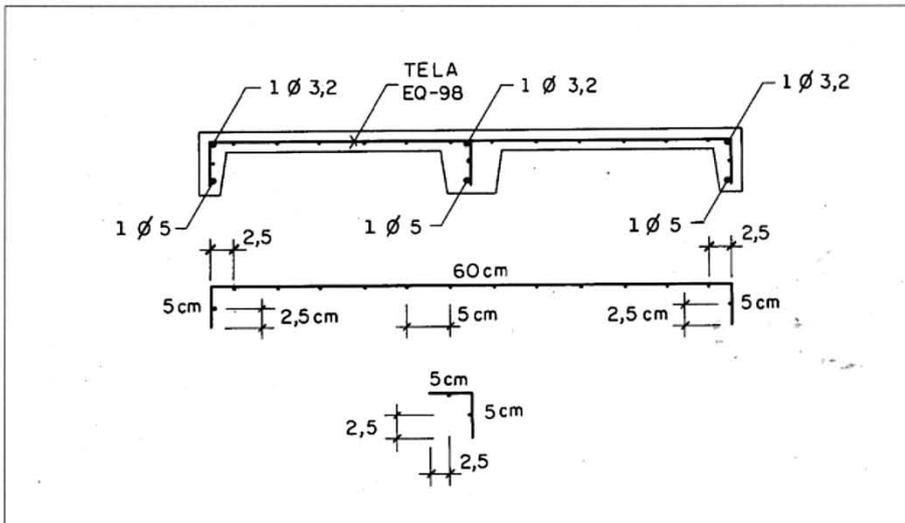


Fig. 35 - Esquema da armadura do painel nervurado do Exemplo 2 (seção transversal)

5.3 - Exemplo 3: Reservatório de água

Neste exemplo de cálculo, apresenta-se um reservatório com parede cilíndrica de 4 m de diâmetro e altura de 3 m, que pode acumular cerca de 38 m³ de água. A cobertura é feita com uma casca cônica, com abertura no topo para inspeção.

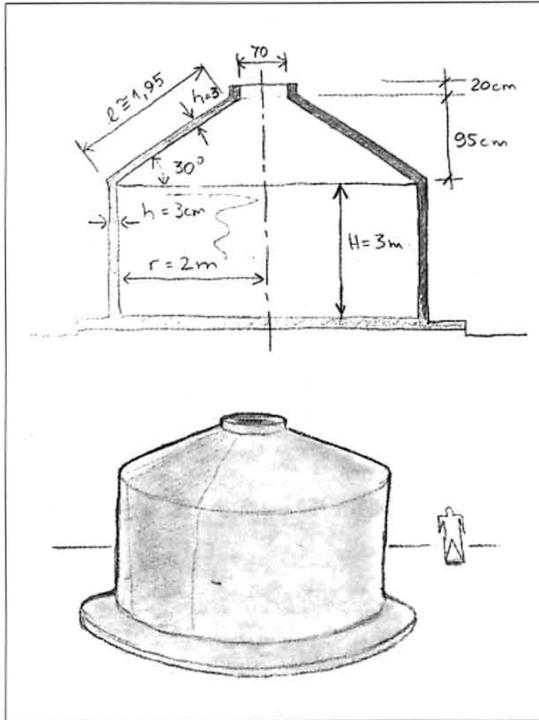


Fig. 36- Corte vertical e perspectiva do reservatório de água do Exemplo 3

Neste exemplo, em particular, será demonstrado apenas o dimensionamento da parede. O dimensionamento da laje de fundo e da cobertura não é apresentado, podendo-se no entanto adiantar que essas partes podem perfeitamente ser executadas com elementos de pequena espessura.

A parede isolada tem o comportamento de um tubo de parede fina submetido a pressão hidrostática interna, e portanto os esforços principais são esforços anelares de tração. Como se poderá constatar, mesmo com esses esforços de tração, uma parede de argamassa armada com espessura de apenas 3 cm é suficiente para atender às condições de segurança e utilização.

Admite-se que este reservatório será construído por moldagem no local, lançando-se a argamassa manualmente (ou com auxílio

de dispositivos simples de argamassagem) sobre a armadura, sem uso de fôrmas. Este procedimento tem sido adotado com sucesso em todo o mundo, principalmente na execução de obras no meio rural.

Admite-se que a construção está exposta a intempéries, porém em ambiente pouco agressivo.

5.3.1- Materiais a empregar

• Telas de aço soldadas (aço CA-60B):
EQ-98 (fios ϕ 2,5 mm, espaçamento 50 mm x 50 mm), ou
EQ-120 (fios ϕ 2,76 mm, espaçamento 50 mm x 50 mm)

• Argamassa ou microconcreto (concreto de pedrisco):

$f_{ck} = 24$ MPa (valor relativamente baixo em função das condições de execução)

$f_{tk} = 0,06 f_{ck} + 0,7 = 2,14$ MPa (valor estimado de projeto)

• Pintura de proteção: nenhuma.

5.3.2- Cálculo dos esforços solicitantes

Os esforços solicitantes são calculados utilizando-se a Teoria das Cascas, segundo metodologia que não cabe detalhar aqui. Como já se salientou, os esforços principais são esforços anelares de tração, devidos à pressão da água, que na parede isolada podem ser calculados simplesmente por:

$$N_{\theta} = p \cdot r$$

isto é, numa seção anelar situada a uma determinada altura, a força atuante nesse anel é igual à pressão naquela altura multiplicada pelo raio.

Esses esforços de tração correspondem aos chamados esforços de membrana, que ocorreriam na parede isolada. Como na realidade a parede é engastada na laje de fundo e na cobertura, ali surgem esforços de flexão que se propagam na parede, porém com rápido amortecimento.

O cálculo de esforços devidos à pressão da água, levando em conta as vinculações da parede com o fundo e com a cobertura fornece os resultados mostrados a seguir.

a) Esforço anelar máximo de tração devido à pressão da água, que ocorre a cerca de 0,5 m de altura a partir do fundo:

$$N_{\theta q, \max} = 54 \text{ kN/m}$$

ARGAMASSA ARMADA

Projeto estrutural e dimensionamento

b) Momento fletor máximo devido à pressão da água, decorrente do engastamento da parede com a laje de fundo:

$$M_{yq,max} = 0,5 \text{ kN.m/m}$$

c) Força cortante máxima na parede devida à pressão de água, na ligação da parede com a laje de fundo:

$$V_{yq,max} = 5,5 \text{ kN/m}$$

O peso próprio da parede e da cobertura causam esforços muito pequenos, que não são considerados neste cálculo.

5.3.3- Dimensionamento da armadura no Estádio III (Estado Limite Último - Solicitações Normais)

a) Esforço de tração na parede

$$N_{\theta qd,max} = 1,4 \cdot 54 = 75,6 \text{ kN/m}$$

Como no Estado Limite Último se desconsidera a resistência do concreto na tração, a armadura para resistir a esse esforço máximo é:

$$A_{s\theta} = \frac{N_{\theta qd,max}}{f_{yd}} = \frac{75,6 \cdot 10^{-3}}{600/1,15} = 1,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} = 1,45 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Dispondo-se duas telas de aço EQ-98, dispõe-se de área de armadura igual a 1,96 cm²/m, portanto suficiente para resistir aos esforços em toda a parede. Em princípio, não parece conveniente reduzir a armadura em regiões de esforços menores, pois as duas telas são necessárias para sustentação da argamassa lançada manualmente.

b) Esforço de flexão junto ao engastamento da parede com o fundo

$$M_{yqd,max} = 1,4 \cdot 0,5 = 0,70 \text{ kNm/m} = 70 \text{ kNcm/m}$$

Calculando-se o coeficiente k_c :

$$k_c = \frac{b \cdot d^2}{M_d} = \frac{100 \cdot 1,9^2}{70} = 5,2 \text{ (cm}^2/\text{kN)}$$

Consultando-se a Tabela 1 do Anexo, na coluna correspondente a C-24, encontra-se o valor de k_c mais próximo ao valor calculado e os correspondentes valores de β_x e k_s :

$$\beta_x = 0,18 \text{ (que resulta em caso de domínio 2)}$$

$$k_s = 0,021 \text{ (aço CA-60)}$$

A armadura necessária é calculada por:

$$A_s = K_s \cdot \frac{M_d}{d} = 0,021 \cdot \frac{70}{1,9} = 0,77 \text{ cm}^2$$

Como se vê, as telas EQ-98 previstas para resistir aos esforços anelares de tração são suficientes para resistir também aos esforços de flexão.

5.3.4- Verificação do cisalhamento (Estado Limite Último - Solicitações Tangenciais)

Tomando-se o valor já calculado, determina-se o esforço cortante máximo de cálculo:

$$V_{yqd,max} = 1,4 \cdot 5,5 = 7,7 \text{ kN/m}$$

Calcula-se a tensão de referência:

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{B_w \cdot d} = \frac{7,7}{100 \cdot 1,9} = 0,041 \text{ kN/cm}^2 = 0,41 \text{ MPa} < \tau_{wu} = 4,5 \text{ MPa}$$

Comparando agora essa tensão com o valor último para lajes sem armadura transversal:

$$\tau_{wu1} = \psi_4 \sqrt{f_{ck}}$$

$$\text{sendo } \psi_4 = 0,12 \frac{\alpha k}{1 - 3d/L}$$

Tomando aproximadamente:

$$\psi_4 = 0,12 \alpha k$$

$$k = 1,6 - d = 1,6 - 0,019 = 1,58$$

$$\alpha = 1 + 50 \rho_1 = 1 + 50 \frac{0,98}{100 \cdot 1,9} = 1,258$$

Sendo $\alpha k = 1,58 \cdot 1,258 = 1,988 > 1,75$, de acordo com o Anexo da NBR 7197 toma-se:
 $\alpha k = 1,75$.

Resulta então:

$$\tau_{wu1} = \psi_4 \sqrt{f_{ck}} = 0,12 \cdot 1,75 \sqrt{24} = 1,03 \text{ MPa}$$

Logo, sendo $\tau_{wd} < \tau_{wu1}$, não é necessária armadura transversal.

5.3.5- Verificação da abertura de fissuras (Estado Limite de Fissuração Inaceitável)

Antes de verificar o Estado Limite de Fissuração Inaceitável, verifiquemos o Estado Limite de Formação de Fissuras.

Tomando-se o esforço máximo de tração na parede, podemos calcular a tensão:

$$\sigma_{\theta q, max} = \frac{N_{\theta q, max}}{h} = \frac{54}{100 \cdot 3} = 0,18 \text{ kN/cm}^2 = 1,8 \text{ MPa}$$

Este valor máximo encontrado é inferior à resistência à tração da argamassa ($f_{tk} = 2,14 \text{ MPa}$),

porém é superior ao valor reduzido para se levar em conta simplificadamente o efeito da retração ($0,75 f_{tk} = 1,6 \text{ MPa}$). Portanto, a fissuração poderia eventualmente ocorrer na região de esforços máximos de tração.

Efetuando-se a verificação da abertura de fissuras, como nos exemplos anteriores, pela expressão:

$$w = 1,658 \cdot s \cdot \varepsilon_s$$

deve-se limitar o valor característico da abertura de fissuras a 0,1 mm.

Calculando-se em primeiro lugar o valor de s_1 :

$$s_1 = 1,5 \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16 \frac{\phi}{\rho_r}$$

sendo c = cobrimento da armadura = 8 mm;

ϕ = diâmetro dos fios das telas = 2,5 mm;

ρ_r = taxa de armadura, relativa à área interessada à fissuração, neste caso tomada igual a $\rho_r = 1,96 \text{ cm}^2 / 100 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm} = 0,0065$.

Substituindo os valores, resulta $s_1 = 75 \text{ mm}$. Portanto, deve-se tomar $s = s_1$.

Tomando-se para ε_s o valor correspondente ao esforço máximo de tração:

$$\sigma_s = \frac{N_{\theta q, \max}}{A_s} = \frac{54}{1,96} = 27,55 \text{ kN/cm}^2 = 275,5 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{275,5}{210.000} = 0,001312$$

Calcula-se então a abertura característica de fissuras:

$$w = 1,658 \cdot 75 \cdot 0,001312 = 0,16 \text{ mm} > 0,1 \text{ mm}$$

Como o valor estimado resultou maior que o limite permitido, deve-se procurar reduzir a tensão (e conseqüentemente a deformação) na armadura.

Prevendo a colocação de no mínimo 6 fios adicionais $\phi 5 \text{ mm}$ na região de máxima sollicitação, aumenta-se o valor da área de armadura para $A_s = 3,16 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Resulta então (mantendo-se simplificadamente o mesmo valor de s_1) um novo valor da abertura de fissuras:

$$w = 1,658 \cdot 75 \cdot \frac{54 \cdot 10}{3,16 \cdot 210000} = 0,1 \text{ mm}$$

5.3.6 - Outros aspectos construtivos

Para se chegar ao projeto final deste reservatório, deve-se efetuar o cálculo da cobertura e da laje do fundo, e depois o detalhamento do conjunto completo das armaduras.

No caso particular da parede, pode-se notar que bastam 2 telas de aço soldadas muito leves, com alguns fios adicionais na região de máximo esforço de tração (a 0,5 m de altura a partir do fundo). Para tornar a armadura da parede mais rígida durante a sua montagem e a posterior aplicação da argamassa, pode-se dispor algumas barras verticais e mais algumas barras anelares.

Para a aplicação da argamassa, que deve ser aplicada manualmente (segundo a hipótese formulada inicialmente), pode-se fixar em uma das telas de aço uma tela de plástico de malhas de menor abertura, para que a argamassa tenha melhor apoio enquanto fresca.

No caso da cobertura cônica, as telas deverão ser recortadas na forma de trapézios alongados, de modo a se aproximar à forma curva.

A experiência tem demonstrado que reservatórios deste tipo apresentam ótimo desempenho e baixo custo, sendo recomendado especialmente para uso nas zonas rurais.

Bibliografia

- Hanai, J.B. de. Construções de argamassa armada: fundamentos tecnológicos para projeto e execução. São Paulo: Pini, 1992.
- Campos, P.E.F. Argamassa armada: industrialização, aplicações e processos de produção. São Paulo: IBTS, 1995.
- Nervi, P.L. Costruire correttamente: caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate. Milano: Ulrico Hoepli, 1955.
- Nervi, P.L. Nuevas estructuras. Barcelona: G.Gili, 1963.
- Lima, J.F. Escola Transitória: modelo rural. Brasília: MEC-CEDATE, 1984.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto e execução de argamassa armada. NB 1259. Rio de Janeiro, 1989. Registro no INMETRO: NBR 11173.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto e execução de obras de concreto armado. NB 1. Rio de Janeiro, 1982. Registro no INMETRO: NBR 6118.
- União Soviética. Instruções para projeto de estruturas de armocimento - SN 366/77. Moscou, Stroizdat, 1978. Traduzido para o Português.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. NBR 9062. Rio de Janeiro, 1985.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de estruturas de concreto protendido. NBR 7197. Rio de Janeiro, 1989.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ações e segurança nas estruturas. NBR 8681. Rio de Janeiro, 1984.
- Giongo, J.S. Argamassa armada: exemplo de cálculo de uma viga-calha. São Paulo: ABCP, 1991.
- Pinheiro, L.M. Concreto Armado: tabelas e ábacos. São Carlos: EESC-USP, 1986.
- American Concrete Institute. Guide for the design, construction and repair of ferrocement. ACI Structural Journal, May-June, 1988. Relatório do Comitê ACI-549.
- Mollica Júnior, S. O uso da tela soldada no combate à fissuração. São Paulo: IBTS, 1986.

6. Comentários finais

Acredita-se que o leitor teve oportunidade de constatar que o projeto de estruturas e componentes de argamassa armada não apresenta nenhum mistério em especial.

Se existe algum segredo, é o de considerar criteriosamente esse material como um tipo particular de concreto armado, o qual pode ser aplicado a elementos de pequena espessura, tomando-se cuidado especial com a estratégia de durabilidade e vida útil.

De modo geral, a mesma metodologia já consagrada no concreto armado pode ser empregada no cálculo da argamassa armada, sobretudo tendo em vista as taxas de armadura usualmente empregadas na Construção Civil, as quais têm se mostrado próximas às do concreto armado.

Nossos estudos sobre as aplicações da argamassa armada no mundo, assim como a experiência própria, têm demonstrado que há um campo muito grande a ser explorado. Alternativas criativas, inovadoras, técnica e economicamente competitivas podem ser desenvolvidas, sem aquele otimismo exacerbado nem sempre conduz a soluções tecnologicamente adequadas na Engenharia e na Arquitetura.

Tabela 1
Flexão simples em seção retangular - Armadura simples

$\beta_x = \frac{x}{d}$	$k_c = \frac{b d^2}{M_d} \text{ (cm}^2 / \text{kN)}$						$k_s = \frac{A_s d}{M_d} \text{ (cm}^2 / \text{kN)}$				Dom
	C-24	C-25	C-27	C-30	C-35	C-40	CA-25	CA-50A	CA-50B	CA-60	
0,02	43,2	41,5	38,4	34,6	29,6	25,9	0,046	0,023	0,023	0,019	2
0,04	21,8	20,9	19,4	17,4	14,9	13,1	0,047	0,023	0,023	0,019	
0,06	14,6	14,1	13,0	11,7	10,0	8,8	0,047	0,024	0,024	0,020	
0,08	11,1	10,6	9,8	8,9	7,6	6,6	0,048	0,024	0,024	0,020	
0,10	8,9	8,6	7,9	7,1	6,1	5,4	0,048	0,024	0,024	0,020	
0,12	7,5	7,2	6,7	6,0	5,1	4,5	0,048	0,024	0,024	0,020	
0,14	6,5	6,2	5,8	5,2	4,5	3,9	0,049	0,024	0,024	0,020	
0,16	5,7	5,5	5,1	4,6	3,9	3,4	0,049	0,025	0,025	0,020	
0,18	5,1	4,9	4,6	4,1	3,5	3,1	0,050	0,025	0,025	0,021	
0,20	4,7	4,5	4,1	3,7	3,2	2,8	0,050	0,025	0,025	0,021	
0,22	4,3	4,1	3,8	3,4	2,9	2,6	0,050	0,025	0,025	0,021	
0,24	4,0	3,8	3,5	3,2	2,7	2,4	0,051	0,025	0,025	0,021	
0,26	3,7	3,5	3,3	2,9	2,5	2,2	0,051	0,026	0,026	0,021	
0,28	3,5	3,3	3,1	2,8	2,4	2,1	0,052	0,026	0,026	0,022	
0,30	3,2	3,1	2,9	2,6	2,2	1,9	0,052	0,026	0,026	0,022	
0,32	3,1	2,9	2,7	2,5	2,1	1,8	0,053	0,026	0,026	0,022	
0,34	2,9	2,8	2,6	2,3	2,0	1,8	0,053	0,027	0,027	0,022	
0,36	2,8	2,7	2,5	2,2	1,9	1,7	0,054	0,027	0,027	0,022	
0,38	2,7	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	0,054	0,027	0,027	0,023	
0,40	2,6	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5	0,055	0,027	0,027	0,023	
0,438	2,4	2,3	2,1	1,9	1,6	1,4	0,056	0,028	0,028	0,023	
0,44	2,4	2,3	2,1	1,9	1,6	1,4	0,056	0,028	0,028	0,023	
0,462	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	0,056	0,028	0,028	0,024	
0,48	2,2	2,1	2,0	1,8	1,5	1,3	0,057	0,028	0,029	0,025	
0,52	2,1	2,0	1,9	1,7	1,4	1,2	0,058	0,029	0,031	0,027	
0,56	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	0,059	0,030	0,033	0,029	
0,60	1,9	1,8	1,7	1,5	1,3	1,1	0,061	0,030	0,035	-	
0,628	1,8	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1	0,061	0,031	0,037	-	
0,64	1,8	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1	0,062	-	-	-	
0,68	1,7	1,7	1,5	1,4	1,2	1,0	0,063	-	-	-	
0,72	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	1,0	0,065	-	-	-	
0,76	1,6	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	0,066	-	-	-	
0,772	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1	1,0	0,067	-	-	-	
Unidades Quilonewton (kN) e centímetro (cm)											
Coeficientes de segurança: $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$ Para $\gamma_c \neq 1,4$ multiplicar b por $1,4 / \gamma_c$ antes de utilizar a tabela.											
C-25: Classe não especificada na NBR 8953											
Baseada em tabelas apresentadas por FUSCO, P.B. (Estruturas de Concreto: Solitações Normais. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981) e por PINHEIRO, L.M. (Concreto Armado: Tabelas e Ábacos. São Carlos: EESC-USP, 1986)											

Tabela 2
Área de seção transversal de telas soldadas (aço CA-60 B)

Desig- nação	Bitola dos fios		Massa superficial (kg/m ²)	Seção transversal dos fios		Espaçamento entre fios	
	longitudinal	transversal		longitudinal	transversal	longitudinal	transversal
	mm	mm		cm ² /m	cm ² /m	cm	cm
EQ-98	2,5	2,5	1,54	0,98	0,98	5	5
EQ-120	2,76	2,76	1,89	1,20	1,20	5	5
EQ-141	3	3	2,22	1,41	1,41	5	5
EL-126/63	2	2	1,48	1,26	0,63	2,5	5

Tabela 3
Área de seção transversal de armadura (cm²)

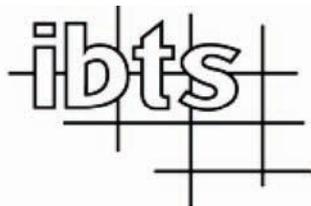
Bitola nominal (mm)	Massa linear (kg/m)	Número de fios ou barras									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,2	0,063	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72	0,80
3,4	0,071	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,64	0,73	0,82	0,91
4	0,100	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00	1,13	1,25
4,2	0,109	0,14	0,28	0,42	0,55	0,69	0,83	0,97	1,11	1,25	1,39
4,6	0,130	0,17	0,33	0,50	0,66	0,83	1,00	1,16	1,33	1,50	1,66
5	0,160	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
6,3	0,250	0,32	0,63	0,95	1,26	1,58	1,89	2,21	2,52	2,84	3,15
8	0,400	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
10	0,630	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,00
12,5	1,000	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50

Massa específica do aço: 7,58 Kg/dm³

Bitolas 3,4 mm, 4,2 mm e 4,6 mm não especificadas pela NB 7480

Tabela elaborada por Pinheiro, L.M.

(Concreto Armado: Tabelas e Ábacos. São Carlos: EESC-USP, 1986)



IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas

Rua Cardoso de Almeida, 313 conj. 123

CEP 05013-000 - São Paulo - SP

Tel: 11 3826-5954 - 3826-9804

www.ibts.org.br

