

2

QUALIDADE DA ESTRUTURA CONFORMIDADE DO PROJETO DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS CRITÉRIOS DE PROJETO VISANDO A DURABILIDADE

2.1 Requisitos gerais de qualidade da estrutura e avaliação da conformidade do projeto¹

2.1.1 Requisitos da qualidade da estrutura

As estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade, durante sua construção e serviço, e aos requisitos adicionais estabelecidos em conjunto entre o autor do projeto estrutural e o contratante.

2.1.1.1 Capacidade resistente

Consiste basicamente na segurança à ruptura.

2.1.1.2 Desempenho em serviço

Consiste na capacidade da estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada.

2.1.1.3 Durabilidade

Consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

2.1.2 Requisitos da qualidade do projeto

2.1.2.1 Qualidade da solução adotada

A solução estrutural adotada em projeto deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura.

A qualidade da solução adotada deve ainda considerar as condições arquitetônicas, funcionais, construtivas (ver ABNT NBR 14931), estruturais, e de integração com os demais projetos (elétrico, hidráulico, ar-condicionado e outros), explicitadas pelos responsáveis técnicos de cada especialidade, com a anuência do contratante.

2.1.2.2 Condições impostas ao projeto

Todas as condições impostas ao projeto devem ser estabelecidas previamente e em comum acordo entre o autor do projeto estrutural e o contratante.

Para atender aos requisitos de qualidade impostos às estruturas de concreto, o projeto deve atender a todos os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 6118 e em outras complementares e específicas, conforme o caso.

As exigências relativas à capacidade resistente e ao desempenho em serviço deixam de ser satisfeitas quando são ultrapassados os respectivos estados limites.

As exigências de durabilidade deixam de ser atendidas quando não são observados os critérios de projeto definidos na ABNT NBR 6118 - 7.

¹ Como apresentados na ABNT NBR 6118 - 5.

Para tipos especiais de estruturas, devem ser atendidas exigências particulares estabelecidas em Normas Brasileiras específicas. Exigências particulares podem, por exemplo, consistir em resistência a explosões, ao impacto, aos sismos, ou ainda relativas à estanqueidade, ao isolamento térmico ou acústico

Exigências suplementares podem ser fixadas em projeto.

2.1.2.3 Documentação da solução adotada

O produto final do projeto estrutural é constituído por desenhos, especificações e critérios de projeto. As especificações e os critérios de projeto podem constar nos próprios desenhos ou constituir documento separado.

Os documentos relacionados devem conter informações claras, corretas, consistentes entre si e com as exigências estabelecidas na ABNT NBR 6118.

O projeto estrutural deve proporcionar as informações necessárias para a execução da estrutura. São necessários projetos complementares de escoramento e fôrmas, que não fazem parte do projeto estrutural.

2.1.3 Avaliação da conformidade do projeto

A avaliação da conformidade do projeto deve ser realizada por profissional habilitado, independente e diferente do projetista, requerida e contratada pelo contratante, e registrada em documento específico, que acompanhará a documentação do projeto como citada em 2.1.2.3.

Entende-se que o contratante pode ser o proprietário da obra, em uma primeira instância, desde que este tenha condições de compreender o que está se propondo e acertado neste contrato, cujo conteúdo pode versa sobre termos técnicos, específicos da linguagem do engenheiro. Nesse caso, entende-se que o proprietário tenha conhecimentos técnicos e compreenda todo o teor do contrato e o autorize. O contratante pode ser também um representante ou preposto do proprietário, respondendo tecnicamente pelo eu há de cunho técnico neste contrato, substituindo este último nas questões exigidas, ou seja, nas responsabilidades próprias e definidas pela ABNT NBR 6118.

O contratante também definirá em comum acordo com o projetista, as demais prerrogativas, exigências e necessidades para o atendimento a ABNT NBR 6118, sempre que alguma tomada de decisão resultar em responsabilidades presentes e futuras de ambas as partes.

A avaliação da conformidade do projeto deve ser realizada antes da fase de construção e, de preferência, simultaneamente com a fase de projeto.

A ABNT NBR 6118 - 5 estabelece os critérios do projeto, do recebimento do concreto e aço e da confecção do manual de utilização, inspeção e manutenção.

2.2 Diretrizes para durabilidade das estruturas de concreto²

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

2.2.1 Vida útil do projeto

Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme 7.8 e 25.3 da ABNT NBR 6118, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

O conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes. Desta forma, determinadas partes das estruturas podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo, com, por exemplo, aparelhos de apoio e juntas de movimentação.

A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e atitudes coordenadas de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização, devendo, como mínimo, ser seguido o que estabelece a ABNT NBR 12655, sendo também obedecidas as disposições da ABNT NBR 6118 - 25.3 com relação às condições de uso, inspeção e manutenção.

² Como apresentadas na ABNT NBR 6118 - 6.

2.2.2 Mecanismos de envelhecimento e deterioração

Os mecanismos de envelhecimento e deterioração são referentes ao concreto, a armadura e a estrutura propriamente dita.

2.2.2.1 Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto

2.2.2.1.1 Lixiviação

É o mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras. Para prevenir a ocorrência, recomenda-se restringir a fissuração, de forma a minimizar a infiltração de água, e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como hidrófugos.

2.2.2.1.2 Expansão por sulfato

É a expansão por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado. A prevenção pode ser feita pelo uso de cimento resistente a sulfatos, conforme ABNT NBR 5737.

2.2.2.1.3 Reação álcali-agregado

É a expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos. O projetista deve identificar no projeto o tipo de elemento estrutural e sua situação quanto à presença de água, bem como deve recomendar as medidas preventivas, quando necessárias, de acordo com a ABNT NBR 15577-1.

2.2.2.2 Mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura

2.2.2.2.1 Despassivação por carbonatação

É a despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura. As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O revestimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável um concreto de baixa porosidade.

2.2.2.2.2 Despassivação por ação de cloretos

Consiste na ruptura local da camada de passivação, causada por elevado Téo de íon-cloro. As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso de agentes agressivos ao interior do concreto. O revestimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável um concreto de pequena porosidade. O uso de cimento composto com adição de escória ou material pozzolânico é também recomendável nestes casos.

2.2.2.3 Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita

São todos aqueles relacionados às ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, bem como as diversas ações que atuam sobre a estrutura. Sua prevenção requer medidas específicas, que devem ser observadas em projeto, de acordo com a ABNT NBR 6118 e Normas Brasileiras específicas. Alguns exemplos de medidas preventivas são:

- barreiras protetoras em pilares (de viadutos, pontes e outros) sujeitos a choques mecânicos;
- período de cura após a concretagem (para estruturas correntes, ver ABNT NBR 14931);
- juntas de dilatação em estruturas sujeitas a variações volumétricas; e
- isolamentos térmicos, em casos específicos, para prevenir patologias devidas a variações térmicas.

2.2.3 Agressividade do ambiente

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

Nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Tabela 2.1 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito Forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Tabela 2.1 - Classes de agressividade ambiental

O responsável pelo projeto estrutural, de posse de dados relativos ao ambiente em que será construída a estrutura, pode considerar classificação mais agressiva que a estabelecida na Tabela 2.1.

2.3 Critérios de projeto visando a durabilidade³

2.3.1 Drenagem

Deve ser evitada a presença ou acumulação de água proveniente de chuva ou decorrente de água de limpeza e lavagem, sobre as superfícies das estruturas de concreto.

As superfícies expostas horizontais, como coberturas, pátios, garagens, estacionamentos e outras, devem ser convenientemente drenadas, com disposição de ralos e condutores.

Todas as juntas de movimento ou de dilatação, em superfícies sujeitas à ação de água, devem ser convenientemente seladas, de forma a tornarem-se estanques à passagem (percolação) de água.

Todos os topos de platibandas e paredes devem ser protegidos. Todos os beirais devem ter pingadeiras e os encontros em diferentes níveis devem ser protegidos por rufos.

2.3.2 Formas arquitetônicas e estruturais

Disposições arquitetônicas ou construtivas que possam reduzir a durabilidade da estrutura devem ser evitadas.

Deve ser previsto em projeto o acesso para inspeção e manutenção de partes da estrutura com vida útil inferior ao todo, como aparelhos de apoio, caixões, insertos, impermeabilizações e outros. Devem ser previstas aberturas para drenagem e ventilação em elementos estruturais onde há possibilidade de acúmulo de água.

2.3.3 Qualidade do concreto de cobrimento

A durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura.

Ensaio comprobatórios de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação

³ Como apresentados na ABNT NBR 6118 - 7.

água/cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se que sejam adotados os requisitos mínimos expressos na Tabela 2.2⁴.

Concreto ^a	Classe de agressividade (Tabela 2.1)			
	I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.				

Tabela 2.2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Não é permitido o uso de aditivos à base de cloreto em estruturas de concreto, devendo ser obedecidos os limites estabelecidos na ABNT NBR 12655.

O cobrimento mínimo da armadura é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado. Isto constitui num critério de aceitação.

Para garantir o cobrimento mínimo (c_{min}) o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal (c_{nom}), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc). Assim, as dimensões das armaduras e os espaçadores devem respeitar os cobrimentos nominais, estabelecidos na Tabela 2.3⁵ para $\Delta c = 10$ mm. Nas obras correntes o valor de Δc deve ser maior ou igual a 10 mm.

Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 2.1)			
	I	II	III	IV ^c
	Cobrimento nominal (c_{nom})			
Laje ^b	20 mm	25 mm	35 mm	45 mm
Viga / Pilar	25 mm	30 mm	40 mm	50 mm
Contato com o solo ^d	30 mm	30 mm	40 mm	50 mm
^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta tabela podem ser substituídas pelo cobrimento nominal referente à barra ou feixe ($c_{nom} \geq \phi_{barra}$ OU $c_{nom} \geq \phi_{feixe}$), respeitado um cobrimento nominal maior ou igual a 15 mm ($c_{nom} \geq 15$ mm). ^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV. ^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal maior ou igual a 45 mm ($c_{nom} \geq 45$ mm).				

Tabela 2.3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Os requisitos das Tabela 2.2 e Tabela 2.3 são válidos para concretos executados com cimento Portland que atenda, conforme seu tipo e classe, às especificações das ABNT NBR 5732, ABNT NBR 5733, ABNT NBR 5735, ABNT NBR 5736, ABNT NBR 5737, ABNT NBR 11578, ABNT NBR 12989 ou ABNT NBR 13116, com consumos mínimos de cimento por metro cúbico de concreto de acordo com a ABNT NBR 12655.

⁴ Tabela válida somente para estruturas de concreto armado.

⁵ Tabela válida somente para estruturas de concreto armado.

Quando houver um controle adequado de qualidade e limites rígidos de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução, pode ser adotado o valor $\Delta c = 5$ mm, mas a exigência de controle rigoroso deve ser explicitada nos desenhos de projeto. Permite-se, então, a redução dos cobrimentos nominais prescritos na Tabela 2.3, em 5 mm.

Os cobrimentos nominais e mínimos estão sempre referidos à superfície da armadura externa, em geral à face externa do estribo (Figura 2.1).

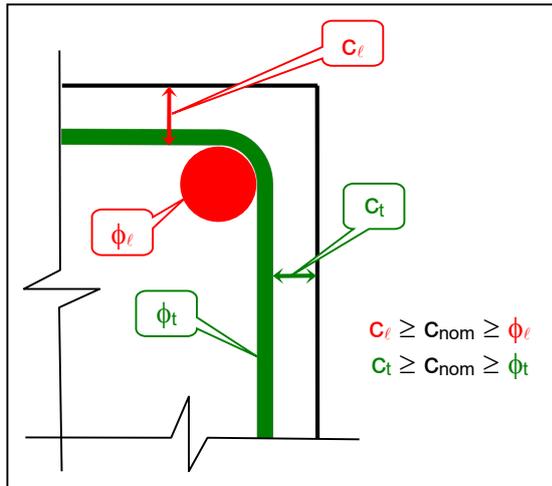


Figura 2.1 - Cobrimentos de barras longitudinais e transversais

O cobrimento nominal de uma determinada barra (ϕ_l ou ϕ_t da Figura 2.1) ou de um feixe de barras (Figura 2.2) deve sempre ser:

$$\begin{aligned} c_{nom} &\geq \phi_{barra} \\ c_{nom} &\geq \phi_{feixe} = \phi_n = \phi \sqrt{n} \end{aligned}$$

Equação 2.1

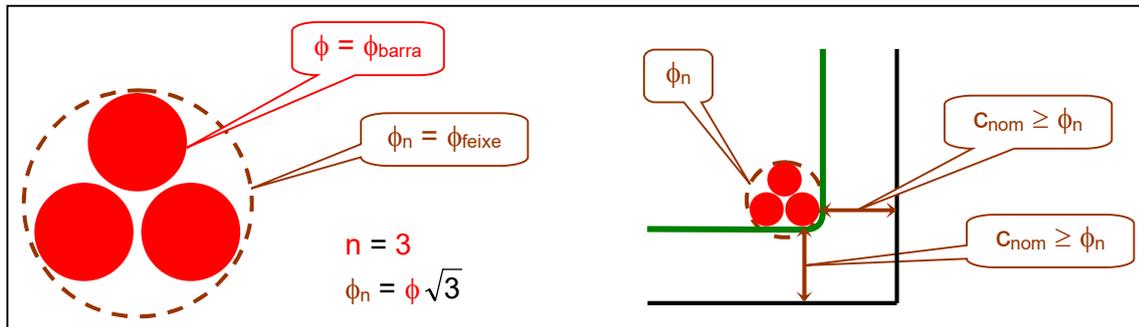
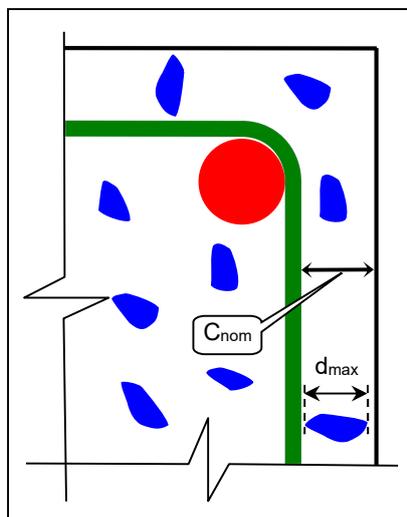


Figura 2.2 - Feixe de barras

A dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado no concreto não pode superar em 20% a espessura nominal do cobrimento (Figura 2.3).



$$d_{max} \leq 1,2 c_{nom}$$

Equação 2.2

Figura 2.3 - Dimensão máxima do agregado

No caso de elementos estruturais pré-fabricados, os valores relativos ao cobrimento das armaduras (Tabela 2.3, página 2-4) devem seguir o disposto na ABNT NBR 9062.

2.3.4 Detalhamento da armadura

As barras devem ser dispostas dentro do componente ou elemento estrutural, de modo a permitir e facilitar a boa qualidade das operações de lançamento e adensamento do concreto.

Para garantir bom adensamento, é necessário prever no detalhamento da disposição das armaduras espaço suficiente para entrada da agulha do vibrador.

2.3.5 Controle da fissuração

O risco e a evolução da corrosão do aço na região das fissuras de flexão transversais à armadura principal dependem essencialmente da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento da armadura. Aberturas características limites de fissuras na superfície do concreto, dadas na ABNT NBR 6118 - 13.4.2, em componentes ou elementos de concreto armado, são satisfatórias para as exigências de durabilidade.

2.3.6 Medidas especiais

Em condições de exposição adversas, devem ser tomadas medidas especiais de proteção e conservação do tipo: aplicação de revestimentos hidrofugantes e pinturas impermeabilizantes sobre as superfícies de concreto, revestimentos de argamassas, de cerâmicas ou outros sobre a superfície do concreto, galvanização da armadura, proteção catódica da armadura e outros.

2.3.7 Inspeção e manutenção preventiva

O conjunto de projetos relativos a uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da construção.

O manual de utilização, inspeção e manutenção deve ser produzido conforme consta na ABNT NBR 6118 - 25.3.

2.4 Simbologia específica

2.4.1 Símbolos base

C_r	cobrimento de barra de armadura longitudinal
C_{min}	cobrimento mínimo de armadura
C_{nom}	cobrimento nominal de armadura (cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução)
C_t	cobrimento de barra de armadura transversal (estribo)
d_{max}	dimensão máxima característica do agregado graúdo
n	número de barras que constituem um feixe
ϕ	diâmetro das barras que constituem um feixe
ϕ_{barra}	diâmetro da barra
ϕ_{feixe}	diâmetro equivalente de um feixe de barras
ϕ_r	diâmetro da barra de armadura longitudinal
ϕ_n	diâmetro equivalente de um feixe de barras (diâmetro nominal)
ϕ_t	diâmetro da barra de armadura transversal (estribo)
ΔC	tolerância de execução para o cobrimento da armadura

2.5 Exercícios

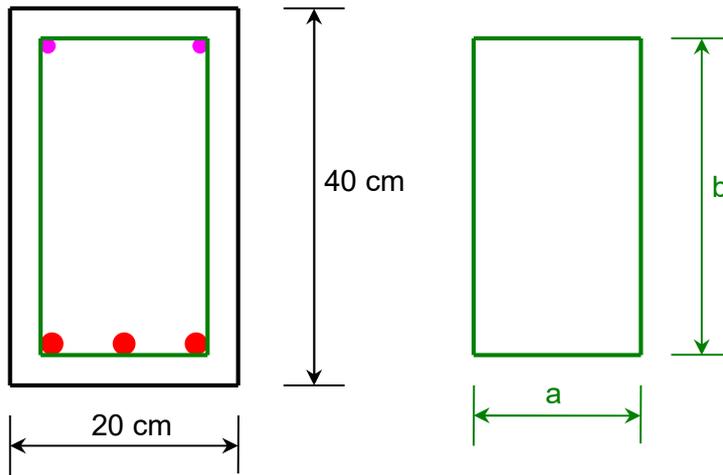
Ex. 2.1: Determinar a menor classe possível de concreto (menor f_{ck}), bem como o maior fator possível água/cimento (maior A/C) para as seguintes construções:

- construção urbana, ambiente interno seco;
- construção industrial, ambiente externo seco; e
- construção marinha, ambiente externo.

Ex. 2.2: Determinar o cobrimento nominal a ser adotado para as barras das vigas e pilares das seguintes construções:

- construção urbana, ambiente interno seco;
- construção industrial, ambiente externo seco; e
- construção marinha, ambiente externo.

Ex. 2.3: Determinar os valores de a e b do estribo abaixo representado. A viga será construída em local de classe de agressividade ambiental II, as barras longitudinais superiores tem diâmetro 10 mm, as barras longitudinais inferiores tem diâmetro 16 mm e o estribo será constituído por barras de 6,3 mm. Considerar valores inteiros (em centímetros) para as dimensões a e b , barras mais próximas possível das faces e ignorar as curvaturas dos cantos do estribo.



Considerar valores inteiros (em centímetros) para as dimensões a e b , barras mais próximas possível das faces e ignorar as curvaturas dos cantos do estribo.

Ex. 2.4: Determinar as coordenadas dos eixos das barras longitudinais mostradas na figura abaixo. A viga será construída em local de classe de agressividade ambiental I, as barras longitudinais superiores tem diâmetro 16 mm, as barras longitudinais inferiores tem diâmetro 25 mm e o estribo será constituído por barras de 8 mm. Considerar as barras mais próximas possível das faces.

