

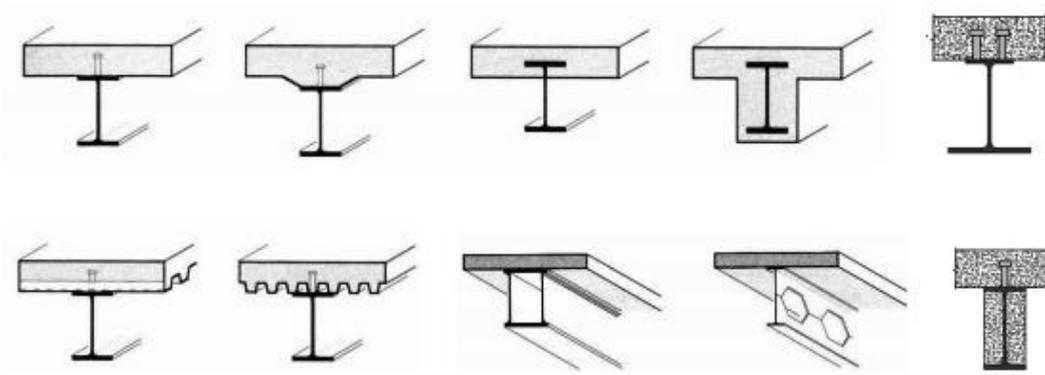
## 2 Estudo da Arte

Neste capítulo serão apresentados os conceitos gerais sobre as vigas mistas de aço e concreto, suas propriedades e comportamento estrutural. Também é feita uma abordagem sobre vigas mistas parcialmente revestidas com abertura na alma, em termos de conceitos, tipologia e interação aço-concreto. Dentro dessa abordagem são apresentados alguns sistemas mistos usuais de mercado, e se discutem formas de realizar a ligação entre o aço e o concreto e o comportamento de vigas mistas com abertura na alma. Por fim, é apresentada a revisão bibliográfica dentro dos objetivos deste trabalho, onde são citados alguns trabalhos experimentais.

### 2.1. Propriedade das Vigas Mistas

As vigas mistas de aço-concreto constituem elementos formados pela associação de perfis de aço, que resistem à tração e ao cisalhamento vertical, e laje de concreto, que atua resistindo a tensões de compressão. Desta forma, este sistema apresenta melhorias no comportamento em regiões de momento fletor positivo, em relação a vigas de aço isoladas, visto que a flambagem local da mesa e da alma e a flambagem lateral por torção são impedidas ou atenuadas. Outras vantagens no uso das vigas mistas são a diminuição da altura dos perfis metálicos, economia de material e conseqüente redução nos custos. A principal desvantagem é a necessidade de conectores de cisalhamento na interface aço-concreto.

Para os elementos metálicos são utilizados normalmente perfis I, enquanto as lajes podem ser moldadas in loco, maciças ou com fôrma de aço incorporada, ou ainda, com elementos pré-moldados. Na Figura 2.1 são mostrados alguns tipos de seções de vigas mistas.



**Figura 2.1 - Tipos de vigas mistas (Fonte: Universidade de Coimbra)**

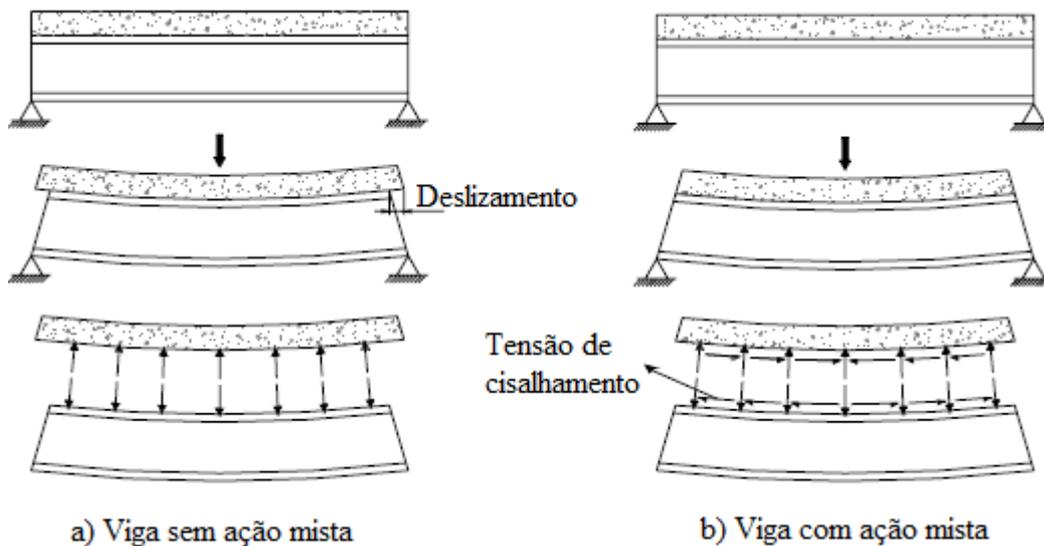
## 2.2. Comportamento Estrutural

As vigas mistas são usualmente projetadas como elementos que trabalham à flexão, podendo ser simplesmente apoiadas ou contínuas. As vigas simplesmente apoiadas, consideradas rotuladas nos apoios, apresentam melhor eficiência em comparação com as vigas contínuas, devido a estarem submetidas exclusivamente a momentos fletores positivos. Desta forma, o aço trabalha principalmente à tração e o concreto à compressão.

Por outro lado, as vigas contínuas, onde o perfil de aço e as armaduras da laje têm continuidade total nos apoios, apresentam outras vantagens, como a diminuição dos esforços e deslocamentos, e a melhoria na estabilidade global da estrutura.

As vigas mistas podem ser escoradas ou não escoradas durante a construção. Em construções não escoradas, antes de o sistema trabalhar como misto (concreto ainda não endurecido), a viga de aço deve suportar todo o carregamento da fase de construção, juntamente com o peso próprio da laje.

O comportamento estrutural das vigas mistas irá depender das características de interação aço-concreto. Essa ação mista se desenvolve nos dois materiais de tal maneira que eles passam a se comportar de maneira integrada (Figura 2.2 b). Entretanto, caso não exista qualquer ligação na interface, cada material passa a deformar-se independentemente, Figura 2.2 a.

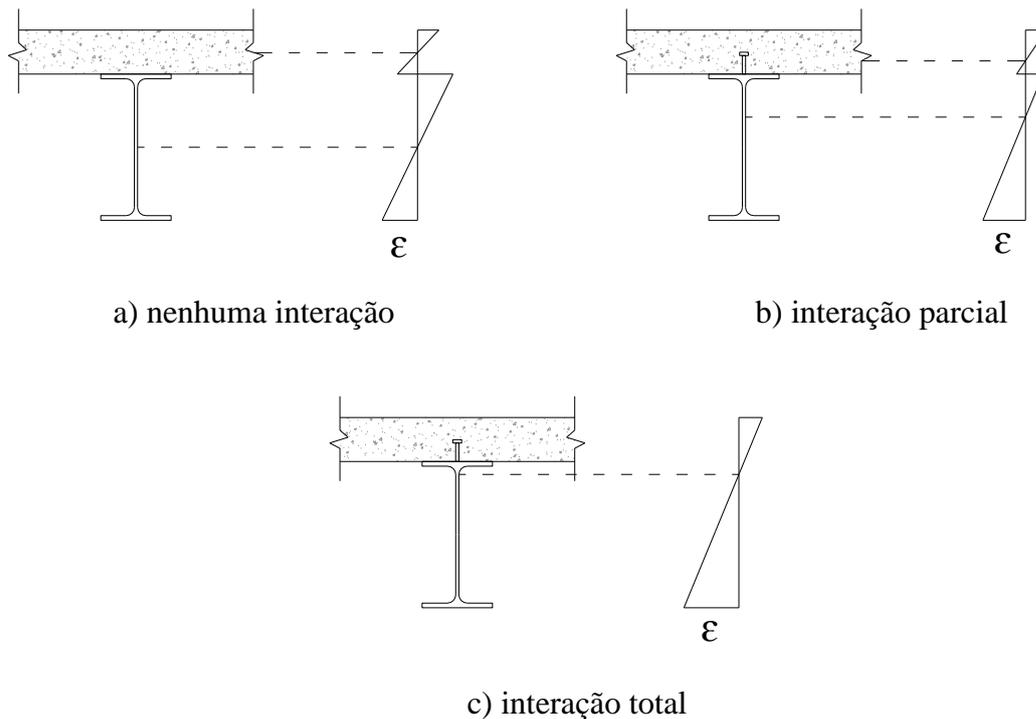


**Figura 2.2 - Interação aço-concreto em vigas mistas, David (2007).**

Normalmente, a ação mista é realizada por meio de conectores de cisalhamento. Eles são responsáveis pela transmissão dos esforços, e impedem o deslizamento vertical entre a viga de aço e a laje de concreto. Também, surgem outras forças, como a aderência natural e as forças de atrito na interface desses materiais, entretanto, não são consideradas no dimensionamento por serem de pequena magnitude. Dependendo do nível de transmissão dos esforços, esta ligação pode ser denominada de interação completa ou parcial.

A interação é considerada completa quando os conectores posicionados na região de momento fletor positivo tiverem resistência igual ou maior que a resistência de compressão da laje de concreto ou de tração da viga de aço. Dessa forma, não haverá deslocamento longitudinal relativo entre o aço e o concreto.

O caso de interação parcial é caracterizado pelo escorregamento na interface entre os dois elementos. Isto faz com que o diagrama de deformações apresente uma descontinuidade, devido ao afastamento entre as linhas neutras da seção de aço e do concreto. Na Figura 2.3 é apresentado o diagrama de deformação de uma viga mista sob três condições (a) nenhuma interação (b) interação parcial e (c) interação total.



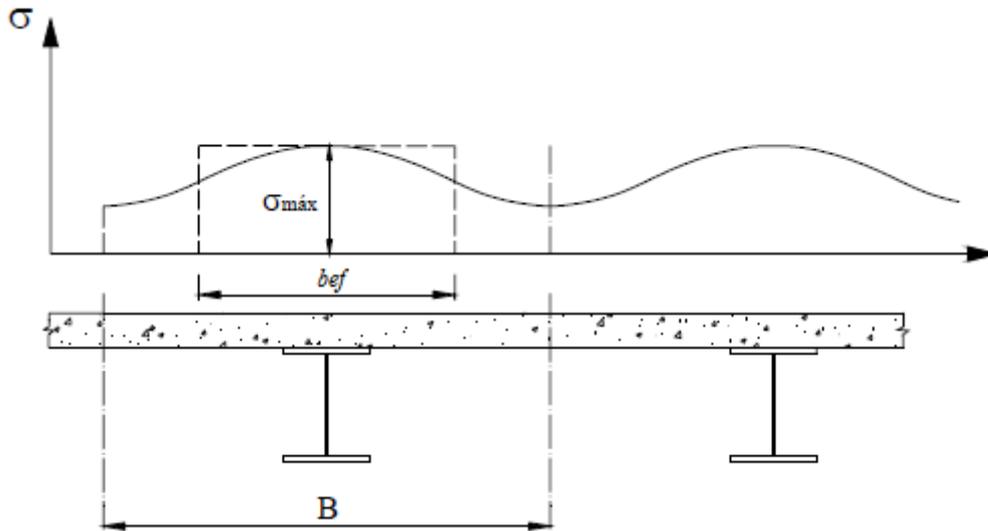
**Figura 2.3 - Classificação do tipo de vigas mistas quanto a interação aço-concreto, figura adaptada de Pfeil (2009).**

Na análise de vigas mistas pela teoria elementar da flexão, leva-se em conta que as tensões axiais têm uma distribuição ao longo da largura da laje. Porém, na verdade, as tensões são máximas sobre as vigas e diminuem a medida que vão se distanciando, chamado efeito shear lag.

Para larguras muito grandes, algumas partes da laje não trabalham inteiramente ao momento fletor. Desta forma, para o cálculo de uma viga mista admitindo que as seções permaneçam planas após a flexão, é necessário que se calcule uma largura efetiva,  $b_{ef}$ , que, multiplicada pela tensão máxima, forneça a mesma resultante dada pela distribuição não uniforme das tensões.

Segundo a NBR 8800:2008 a largura efetiva de uma viga mista biapoiada deve ser igual ao menor dos seguintes valores:

- 1/8 do vão da viga mista, considerado entre linhas de centro dos apoios;
- Metade da distância entre a linha de centro da viga analisada e a linha de centro da viga adjacente;
- Distância da linha de centro da viga à borda de uma laje em balanço.



**Figura 2.4 - Distribuição de tensões longitudinais na laje considerando o efeito shear lag, (Alva & Malite, 2005).**

### 2.3. Estado Limite de Serviço

Quando os procedimentos de cálculo garantem um nível aceitável de segurança contra a ruptura, deve-se passar a considerar o comportamento estrutural do sistema nas várias condições de serviço. Os estados limites de serviço para projeto de uma viga mista incluem:

- o cálculo dos deslocamentos verticais para cargas de curta e longa duração;
- estimativa das deformações na fase de construção, e avaliação da necessidade de contraflecha no caso de construção não escorada;
- cálculo das deformações na viga causadas pela retração do concreto da laje;
- estudo da vibração para o sistema misto;
- controle da fissuração do concreto.

Para o cálculo dos deslocamentos em vigas mistas deve-se levar em conta a sequência construtiva, o efeito da retração e fluência do concreto e o comportamento da seção (interação completa ou parcial).

Para construção não escorada, o peso próprio é suportado exclusivamente pela viga de aço, logo as flechas deveriam ser calculadas com o momento de inércia do perfil metálico. No caso do uso de escoras, a carga permanente é

resistida pela seção mista e a flecha é calculada com base nas propriedades geométricas da seção mista em regime elástico.

A estrutura mista também pode ser levada a deformações maiores com o transcorrer do tempo devido aos efeitos da retração e fluência. A fluência é normalmente vinculada com a redução do módulo de elasticidade do concreto em função do tempo. Como consequência, ocorre um aumento progressivo na relação entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto.

Com relação à retração, a deformação resultante da redução do volume de concreto provoca deformações adicionais no elemento misto. Devido à este efeito na seção mista, a laje de concreto pode encurtar, mas o perfil de aço não, fazendo com que a retração do concreto seja parcialmente impedida pela ligação com o perfil metálico.

Em vigas mistas com interação completa na interface aço-concreto quando submetidas a cargas de serviço, os deslocamentos podem ser calculados com as propriedades da seção mista homogeneizada. Para vigas com interação parcial, o valor do momento de inércia é reduzido devido à perda de rigidez da seção com o deslizamento na interface aço-concreto. Assim, a norma canadense, CAN/CSA-S16-10, fornece uma fórmula para o cálculo do momento de inércia efetivo,  $I_e$ .

$$I_e = I_s + 0,85p^{0,25} (I_t - I_s) \quad (2.1)$$

Onde:

$I_s$  = momento de inércia do perfil metálico

$I_t$  = momento de inércia da viga mista

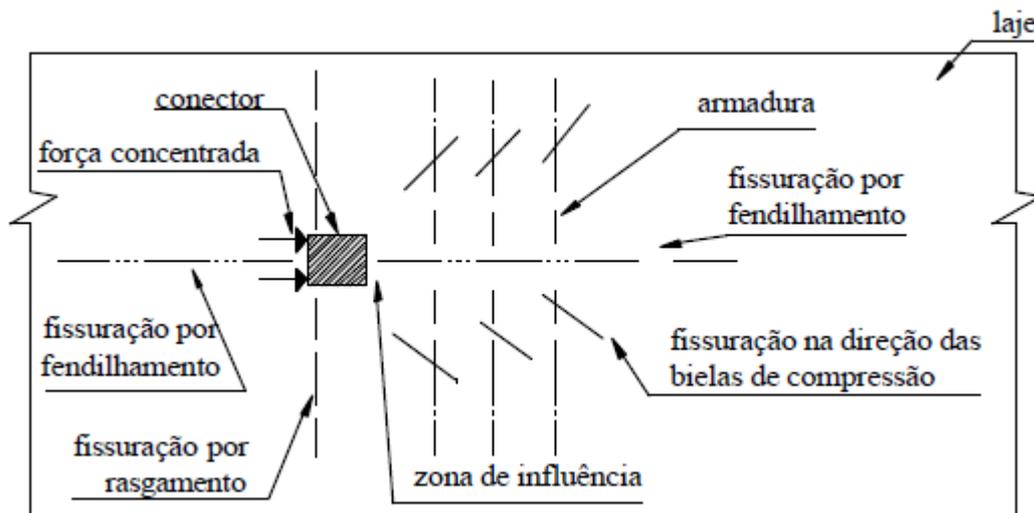
$p$  = fator de interação da seção mista (usar  $p = 1$  para interação completa)

Deformações excessivas na estrutura podem comprometer outras partes, como forros, portas e janelas, além de produzir desconforto estético, empoçamento de água, etc. Estes deslocamentos provocados por cargas permanentes são limitados por norma e podem ser controlados aplicando-se contraflecha ao perfil metálico ou escorando-se a estrutura. As flechas produzidas por sobrecargas também podem ser limitadas evitando vibrações indesejadas. Segundo a NBR 8800: 2008 o valor máximo de deslocamento vertical para vigas é igual à  $L/350$ , onde  $L$  é o vão da viga.

Segundo Oehlers (1989), as tensões de cisalhamento longitudinal são transmitidas através da interface aço-concreto em um número restrito de pontos (conectores). As cargas concentradas, produzidas pelos conectores no concreto, induzem forças de tração na laje, podendo ocasionar fissuras e uma perda de interação aço-concreto.

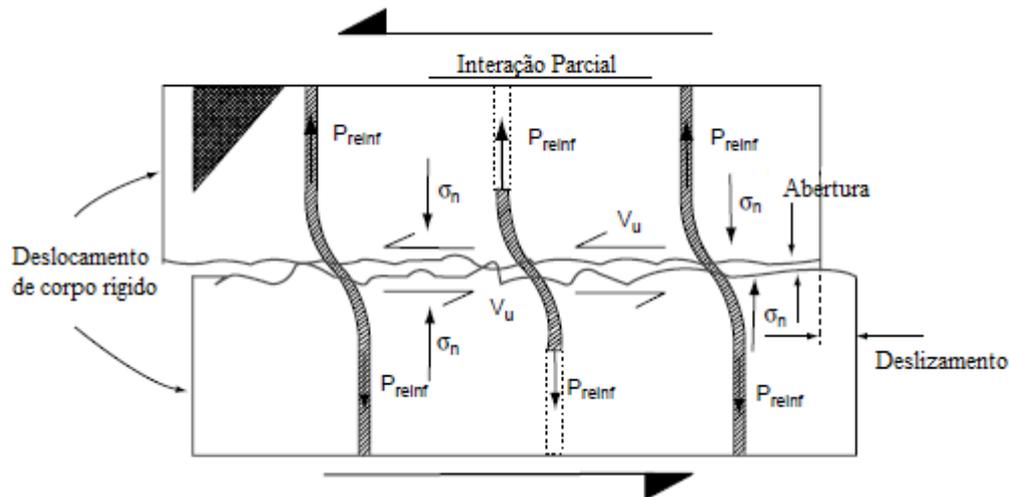
A ruptura devida ao cisalhamento longitudinal ocorre quando o concreto localizado à frente do conector, zona de influência, sofre uma redução gradual na resistência e rigidez. Fissuras na laje de concreto podem levar a uma redução do efeito de confinamento do concreto na zona de influência e consequentemente uma diminuição da resistência do conector.

Algumas configurações de fissuras na laje originadas por tais efeitos estão mostradas na Figura 2.5. Fissuras laterais que se estendem ao longo da seção dos conectores ocorrem devido à força concentrada. Também podem ocorrer fissuras por fendilhamento produzidas por tensões de cisalhamento longitudinal, e fissuras na direção das bielas de compressão.



**Figura 2.5 - Tipos de Fissuras na laje de estruturas mistas, figura adaptada de Oehlers (1989).**

Oehlers (1989) destaca que as armaduras transversais não evitam o fendilhamento, mas auxiliam limitando a propagação de fissuras por meio do confinamento do concreto. Na Figura 2.6 é mostrado um mecanismo de ruptura devido ao cisalhamento longitudinal na região da laje com armaduras transversais.



**Figura 2.6 - Mecanismo de ruptura por cisalhamento longitudinal, Oehlers (2010).**

De acordo com a NBR 8800: 2008, a fissuração da laje causada por cisalhamento na região paralela ao perfil de aço deve ser controlada por armadura adicional, transversal ao perfil, a não ser que se demonstre que as armaduras necessárias para outros fins, devidamente ancoradas, sejam suficientes para esta finalidade. Esta armadura de costura deve ser espaçada uniformemente ao longo do comprimento  $L_m$  (distância entre as seções de momento fletor máximo positivo e momento fletor nulo em vigas biapoiadas). Para lajes maciças ou lajes mistas com nervuras longitudinais ao perfil, a área da seção da armadura,  $A_s$ , não pode ser inferior a 0,2% da área da seção de concreto, no caso de lajes mistas com nervuras transversais 0,1%. Em nenhum caso poderá ser inferior a  $150 \text{ mm}^2/\text{m}$ , devendo atender a condição:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (2.2)$$

Onde  $V_{Sd}$  é a força cortante solicitante e  $V_{Rd}$  é a força cortante resistente de cálculo.

#### 2.4. Vigas Mistas Parcialmente Revestidas com Abertura na Alma

A combinação entre diferentes tipos de vigas e lajes tem dado origem a uma gama de sistemas construtivos para pisos mistos de pequena altura. A principal característica da sua aparência compacta é devida o embutimento de parte da viga de aço no concreto, de onde surgem as vigas total ou parcialmente revestidas.

O mercado atualmente oferece alguns tipos de vigas metálicas com aberturas parcialmente embutidas no concreto como os sistemas Slimline<sup>®</sup>, Deltabeam<sup>®</sup> e Slimdek<sup>®</sup>, demonstrados na Figura 2.7.

a) Slimline<sup>®</sup>b) Deltabeam<sup>®</sup>c) Slimdek<sup>®</sup>

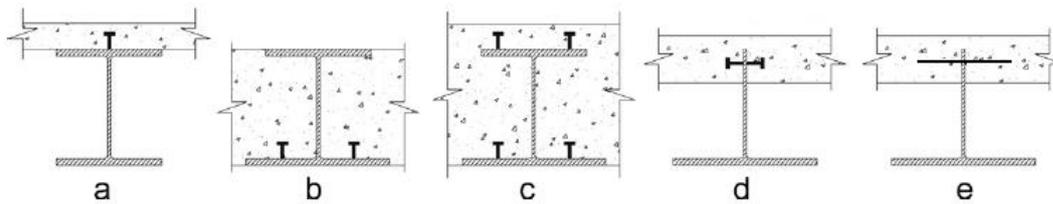
**Figura 2.7 - Sistemas mistos utilizando perfis celulares incorporados à laje de concreto.**

Slimline<sup>®</sup> é um produto criado pela empresa Slimline floor system. Ele consiste em um sistema misto pré-fabricado, formado por perfil celular parcialmente embutido na laje de concreto. Estas vigas são utilizadas de forma invertida, com o concreto na região inferior. Para o piso são utilizadas placas apoiadas sobre a mesa das vigas metálicas.

Deltabeam<sup>®</sup> é um sistema de vigas mistas, oferecido pela empresa Peikko, as vigas são compostas por um perfil celular com formato em delta, incorporado a diversos tipos de laje, como: lajes alveolares, lajes de painéis treliçados, lajes mistas de steel deck e lajes maciças de concreto armado. Após as lajes terem sido apoiadas no perfil, a viga é completamente preenchida com concreto no local.

A empresa britânica Tata Steel, após anos desenvolvendo tecnologia na laminação de perfis, apresenta um novo sistema construtivo, Slimdek<sup>®</sup>. Composto basicamente por um perfil laminado assimétrico, denominado Asymmetric Slimflor<sup>®</sup> Beam (ASB), assim como no Deltabeam<sup>®</sup>, nele pode ser apoiado diversos tipos de laje.

Em vigas mistas parcialmente embutidas no concreto, o maior interesse do estudo é em como realizar a ligação entre o aço e o concreto. Para isso, buscaram-se novas alternativas para a ligação ou a melhor forma de dispor conectores já conhecidos como o stud bolt.



**Figura 2.8 - Tipos de conexão entre aço-concreto para vigas mistas parcialmente embutidas, adaptada de Nardin et al. (2009).**

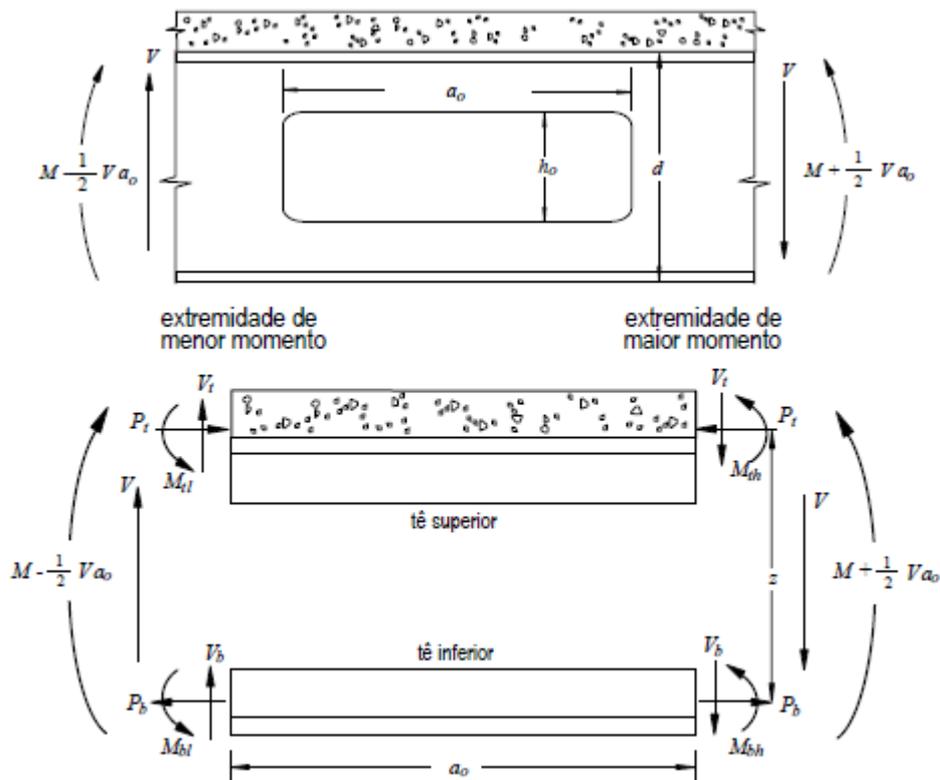
A Figura 2.8 descreve algumas formas de realizar a conexão entre o aço e concreto em vigas mistas parcialmente embutidas. A Figura 2.8a mostra a forma convencional de ligação entre o perfil e a laje. Em vigas mistas com perfis metálicos assimétricos e forma de aço apoiada na mesa inferior, como mostrado na Figura 2.8b e c, o conector poderá ser fixado na mesa inferior ou em ambas as mesas. O stud bolt também pode ser soldado horizontalmente nas faces da alma da viga de aço, Figura 2.8d.

Na Figura 2.8e, Klaiber e Wipf (2000) descrevem um caso em que é possível eliminar a mesa superior do perfil metálico, e assim, os esforços à compressão são resistidos somente pelo concreto. Leonhardt apud Klaiber e Wipf (2000) demonstrou que a ação mista entre o concreto e o aço pode ser desenvolvida por meio de aberturas na alma do perfil metálico. Com isso, possibilita o preenchimento desses espaços com o concreto, produzindo o chamado efeito “dowel”. A resistência ao cisalhamento horizontal aumenta na interface aço-concreto, além de prevenir a separação vertical entre os dois materiais. A adição de armadura transversal nessas aberturas auxilia no confinamento do concreto ao aço aumentando a resistência.

Entretanto, devem-se ter alguns cuidados ao adicionar aberturas à alma do perfil, pois elas podem comprometer o comportamento estrutural do elemento. Os efeitos causados variam de acordo com o tamanho da abertura, e influenciam diretamente na resistência última, na estabilidade da alma e na deformação. Em uma intensidade menor, a resistência à flambagem por torção e a estabilidade da mesa comprimida também podem ser afetadas. Outro fator, como a capacidade da viga suportar cargas concentradas próximas à abertura, também deve ser avaliada.

Darwin (1990) mostra o comportamento de elementos mistos com abertura na alma. As forças que atuam em torno de uma abertura de alma em uma viga mista submetida a momento fletor positivo são mostradas na Figura 2.9. O efeito de flexão é resistido por força de tração na seção do tê inferior, e por força de

compressão na laje de concreto. A compressão é controlada pelo cisalhamento longitudinal, desenvolvido nos conectores do apoio ao ponto analisado.



**Figura 2.9 - Forças que atuam na abertura de uma alma sob momento fletor positivo, adaptada de Darwin (1990).**

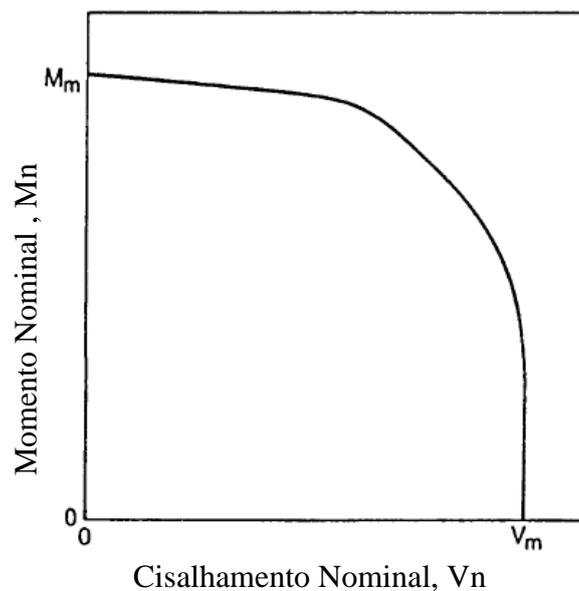
A região da viga abaixo da abertura, tê inferior, está submetida à força de tração,  $P_b$ , ao cisalhamento,  $V_b$ , e aos momentos secundários,  $M_{bt}$  e  $M_{bh}$ , que surgem devido ao mecanismo de Vierendeel. A região acima da abertura, tê superior, está submetida à força de compressão  $P_t$ , ao cisalhamento,  $V_t$ , e aos momentos secundários  $M_{ti}$  e  $M_{th}$ .

Em geral a força de cisalhamento é resistida pelo tê superior, pois a seção do tê inferior é normalmente submetida a altas tensões de tração. A laje de concreto também participa resistindo ao esforço cortante.

O mecanismo de Vierendeel mostra a formação de rotulas plástica nos tês, oriundos da transferência de cisalhamento ao longo da abertura na alma. Este sistema produz momentos fletores secundários e atingem valor máximo na extremidade dos tês. O efeito desses momentos se soma às tensões causadas pelo momento fletor aplicado à viga. As tensões de flexão total são resistidas pelos tês superior e inferior.

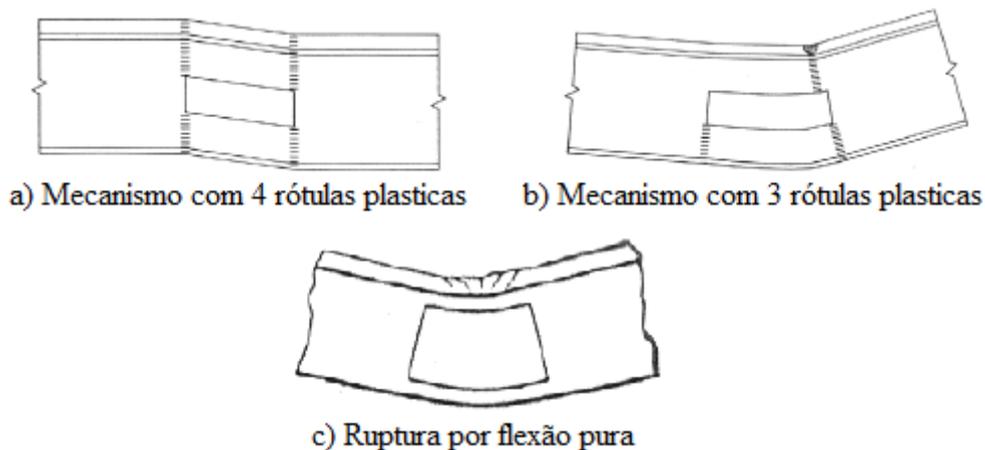
A resistência local ao momento fletor nos tês pode ser melhorada adicionando-se enrijecedores acima e abaixo da abertura. Além do mais, na extremidade da abertura de maior momento, a ação mista ocorre entre o tê superior e a laje de concreto. A magnitude do binário, tração-compressão, depende do número de conectores de cisalhamento fornecida acima da abertura. Em geral, esta ação mista aumenta dramaticamente a resistência da viga contra o mecanismo de Vierendeel, e conseqüentemente, contribui para o uso de aberturas maiores em vigas mistas do que em vigas de aço.

Em torno de uma abertura na alma, a distribuição de tensões depende da geometria e tamanho da abertura, além da relação momento-cortante. O diagrama de interação momento-cortante (Figura 2.10) é uma representação gráfica entre o cisalhamento e o momento fletor no centro da abertura, (Fahmy & Hassanein, 2002).



**Figura 2.10 - Diagrama de Interação momento-cisalhamento, adaptado de Darwin (1990).**

Segundo Fahmy e Hassanein (2002), as vigas mistas apresentam quatro modos de ruptura dependendo das dimensões e localização das aberturas, e levando em conta a relação momento-cortante. Esses modos são:



**Figura 2.11 - Modos de ruptura de vigas mistas com abertura na alma, Fahmy e Hassanein (2002).**

a) Ruptura por cisalhamento

A viga mista rompe por cisalhamento quando a laje de concreto atinge sua capacidade máxima ao cortante e a alma do perfil metálico escoou devido o equivalente às tensões de plastificação segundo o critério de Von Misses. Quando uma abertura com grande altura é posicionada próxima à extremidade da viga (baixa relação  $M/V$ ), o cisalhamento vertical é a principal causa da ruptura da viga mista. Para aberturas pequenas, a diferença de tensão de cisalhamento em ambos os lados da abertura é muito pequena, dessa forma, a região da alma em torno da abertura entra em escoamento formando um mecanismo de ruptura com quatro rótulas plásticas, Figura 2.11a.

b) Mecanismo com 3 rótulas plásticas

Com a abertura movendo-se em direção ao ponto de momento fletor máximo (relação  $M/V$  elevada), o momento aplicado no local da abertura aumenta enquanto o cisalhamento diminui. Para este caso, a mesa inferior da viga atinge a tensão de escoamento nas extremidades de maior e menor momento fletor. Ao mesmo tempo, uma tensão equivalente atinge o limite de escoamento na alma do perfil metálico na região de maior momento fletor e na parte inferior da alma próxima ao furo com menor momento. Um mecanismo com três rótulas plásticas se forma na região da alma próxima à abertura, Figura 2.11b.

c) Ruptura por flexão pura na abertura

Quando a abertura está localizada no meio do vão (relação  $M/V$  máxima), onde o cisalhamento é próximo de zero, a ruptura ocorre devido o escoamento da viga metálica acima e abaixo do furo e esmagamento da laje de concreto, Figura 2.11c.

d) Ruptura por flexão pura na seção de alma cheia no meio do vão

À medida que a abertura se move em direção ao meio do vão, a força de cisalhamento diminui enquanto o momento fletor solicitante aumenta no local da abertura. Para algumas dimensões de aberturas, as tensões equivalentes na abertura não atingem a tensão de escoamento do material. Entretanto, a ruptura ocorre no meio do vão, onde a viga possui seção com alma cheia, por flexão pura. Neste caso, a capacidade de carga da viga não é afetada pela presença da abertura.

#### **2.4.1. Critérios de Projeto**

Darwin (1990) descreve alguns critérios que devem ser seguidos no projeto de vigas mistas com abertura na alma.

##### **- Resistência ao Cisalhamento**

A resistência ao cisalhamento da seção mista com abertura de alma deve ser suficiente para resistir ao esforço cortante aplicado nas aberturas. Em geral, a laje de concreto também resiste ao cisalhamento, de forma eficaz. No entanto, a força de cisalhamento é desenvolvida nos conectores e não deve exceder sua resistência. A resistência ao cisalhamento da seção mista com abertura de alma deve ser suficiente para suportar a força cortante restante que atua neste ponto.

##### **- Resistência ao Momento Fletor**

A resistência à flexão da seção mista com abertura de alma deverá ser suficiente para suportar o momento fletor aplicado, levando em consideração o nível da ligação aço-concreto na posição da abertura da alma. Por esta razão, as aberturas não devem ser posicionadas muito próximas dos apoios em que o grau da ligação é menor. A seção de aço com abertura deve ter resistência à flexão suficiente para suportar as cargas na fase de construção.

### **- Mecanismo de Vierendeel**

O mecanismo de Vierendeel ocorre na viga mista com abertura na alma devido à transferência de forças de cisalhamento através da abertura. A resistência à flexão de Vierendeel depende da resistência local a flexão das seções dos tês e poderá aumentar significativamente pela ação mista eficaz entre o tê superior e a laje de concreto. A resistência total a flexão de Vierendeel deve exceder a força cortante ao longo do comprimento da abertura (ou sua largura efetiva para aberturas não retangulares). Muitas vezes, reforços horizontais soldados são necessários em cima e abaixo das aberturas para aumentar a resistência à flexão de Vierendeel.

### **- Flambagem Local**

A borda não reforçada da alma acima da abertura pode flambar localmente em compressão sob ação de flexão global. A instabilidade local deverá ser levada em consideração através da redução nas propriedades da seção para avaliar as propriedades da seção dos tês. A flambagem local nas mesas é impedida utilizando seções I das classes 1 e 2.

### **- Flambagem na Alma**

A transferência de forças em torno da abertura leva à compressão vertical local na alma, o que pode causar flambagem se a relação altura- espessura da alma for alta. Flambagem da alma em vigas mistas com aberturas pouco espaçadas também pode ocorrer quando sujeita a grandes forças de cisalhamento horizontais próximo dos apoios.

### **- Deformação Adicional**

Cada abertura na alma leva a deslocamentos adicionais no meio do vão devido ao cisalhamento e aos efeitos de flexão. Muitas vezes, as deformações devido a uma abertura são pequenas (normalmente 2% maiores do que vigas mistas sem aberturas), mas podem ser significativas quando somadas ao longo de uma série de grandes aberturas.

### - Espaçamento Mínimo entre Aberturas

Quando uma viga possuir mais de uma abertura, o espaçamento mínimo entre as bordas de duas aberturas adjacentes segundo o critério para evitar a interação entre aberturas, deverá ser:

Para aberturas retangulares:

$$S \geq \left\{ \begin{array}{l} h_0 \\ a_0 \left( \frac{V_u}{\phi V_p - V_u} \right) \end{array} \right\} \quad (2.3)$$

Onde  $V_p$  é a força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento na viga sem aberturas;  $V_u$  é a maior força cortante solicitante de cálculo no trecho entre os centros de duas aberturas adjacentes.  $\phi$  é o fator de resistência, igual à 0,9 para vigas de aço e 0,85 para vigas mistas.

### - Cantos das Aberturas

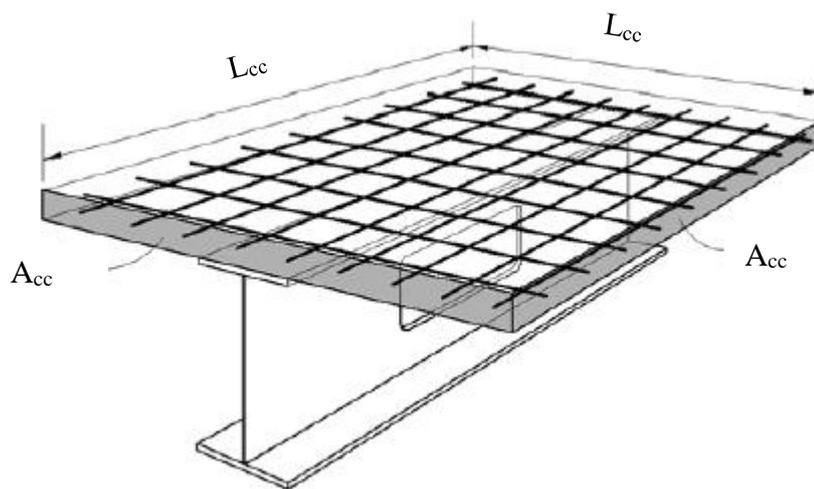
De acordo com Veríssimo et al. (2012), os cantos das aberturas quadradas e retangulares devem ter um raio mínimo de duas vezes a espessura da alma do perfil I ( $2.t_w$ ) ou 16 mm, o que for maior, para evitar problemas de fadiga, em função de concentração de tensões.

### - Armadura de Reforço

As lajes tendem a apresentar fissuras nas vizinhanças de uma abertura na alma de uma viga. Essas fissuras devem ser controladas por armaduras adicionais, longitudinal e transversal ao eixo da viga, dispostas em um quadrado centrado na abertura, com lados de comprimento igual à  $L_{cc}$  (comprimento de cisalhamento da laje – ver Figura 2.12), (Veríssimo et al., 2012).

$$L_{cc} \geq \left\{ \begin{array}{l} 2.d + L_0 \\ 3.L_0 \end{array} \right\} \quad (2.4)$$

Onde  $L_0$  é o comprimento da abertura, ou seja, igual a  $a_0$  nas aberturas quadradas e retangulares e  $D_0$  nas aberturas circulares.



**Figura 2.12 - Armadura de reforço sobre uma abertura em viga mista, Veríssimo et al. (2012).**

A taxa geométrica das armaduras longitudinal e transversal deve ser de 0,25% da área de cisalhamento da laje, dada por:

$$A_{cc} = L_{cc} \cdot t_c \quad (2.5)$$

Onde  $t_c$  é a espessura efetiva da laje de concreto.