

2

Revisão Bibliográfica

2.1. Aberturas em Vigas de Aço

Com o intuito de otimizar o espaço e custos nas construções em aço, as aberturas tornaram-se uma saída viável. Variações quanto à forma podem ser encontradas facilmente, assim como seu uso de maneira estética. Mas, como reportado por autores como Redwood [15], Chung *et al* [6], Veríssimo [24] e Rodrigues [21]; a presença da abertura pode causar uma severa penalidade na capacidade de carga em seus membros estruturais.

Um exemplo brasileiro do uso de vigas com aberturas, no caso viga celular, é o Centro de Convenções *World Trade Center* em São Paulo e que fica sobre o shopping D&D, possui distância de 47m entre pilares e uma altura máxima de 15m. As diretrizes para dimensionamento foram que estrutura deveria ser leve, seriada e modulada para permitir o transporte e a movimentação das peças numa região com alto volume de veículos, e, sobretudo, de baixo custo. A solução utilizada foram vigas celulares obtidas a partir do corte de vigas laminadas de alma cheia com altura de 600 mm. Após a soldagem das partes, passaram a ter 900 mm de altura, aumentando assim a inércia e conseqüentemente a resistência à flexão, com o mesmo peso linear. A Figura 2.1 ilustra esta obra citada.

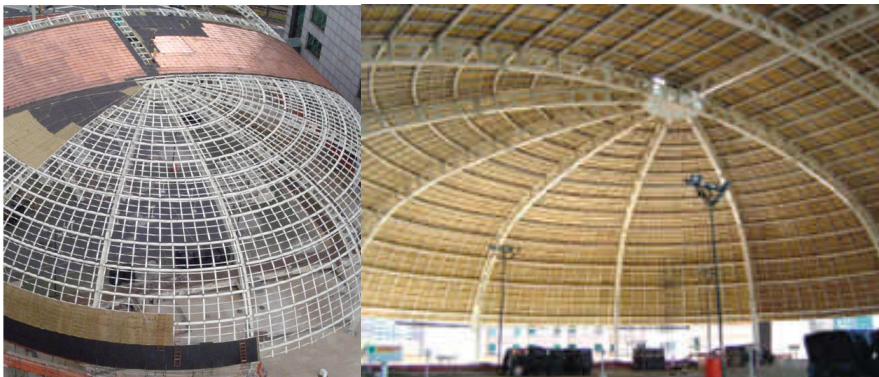


Figura 2.1 - Centro de Convenções World Trade Center, São Paulo [18]

O uso do sistema de vigas casteladas é antigo, porém, em sua maioria o sentido é arquitetônico. A Gerdau Açoaminas oferece pórticos simples utilizando para as vigas inclinadas os perfis laminados formando vigas casteladas ou celulares. Onde os perfis podem aumentar a altura em aproximadamente 50%, sem aumentar a massa linear, vencendo-se vãos de até 60m. A Figura 2.2 mostra uma opção de pórtico que esta empresa fornece.

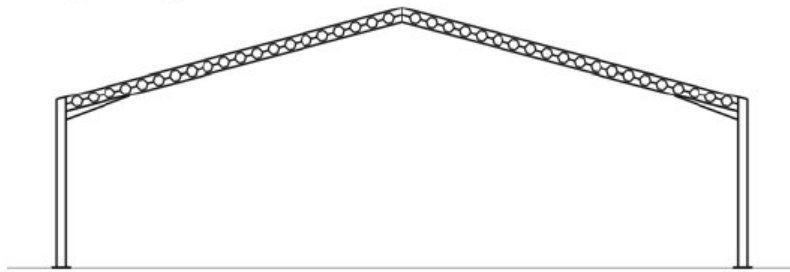


Figura 2.2 - Pórtico de Catálogo da Gerdau Açoaminas [12]

Dentre os aços estruturais existentes atualmente, o mais utilizado e conhecido é o ASTM A36, que é classificado como um aço carbono de média resistência mecânica, segundo a CBCA [4]. Entretanto, a tendência moderna no sentido de se utilizar estruturas cada vez maiores tem levado os engenheiros, projetistas e construtores a utilizar aços de maior resistência, os chamados aços de alta resistência e baixa liga, de modo a evitar estruturas cada vez mais pesadas. Outra forma desta redução de peso é o uso de soluções geométricas, especificamente com aberturas na alma de forma controlada. O aço modelado na presente dissertação possui o limite de escoamento deste tipo de aço, ou seja, entre 290 a 345 MPa.

Os aços de alta resistência e baixa liga são utilizados toda vez que se deseja:

- Aumentar a resistência mecânica permitindo um acréscimo da carga unitária da estrutura ou tornando possível uma diminuição proporcional da seção, ou seja, o emprego de seções mais leves;
- Melhorar a resistência à corrosão atmosférica;
- Melhorar a resistência ao choque e o limite de fadiga;
- Elevar a relação do limite de escoamento para o limite de resistência à tração, sem perda apreciável da ductilidade.

2.1.1. Formas e Variações

A magnitude dos esforços nas aberturas depende da forma, tamanho e localização, o que torna essas variáveis extremamente necessárias no cálculo de dimensionamento.

2.1.1.1. Tipos

Algumas formas básicas tornaram-se comuns quando se fala de aberturas em vigas de aço, como mostra a Figura 2.3.

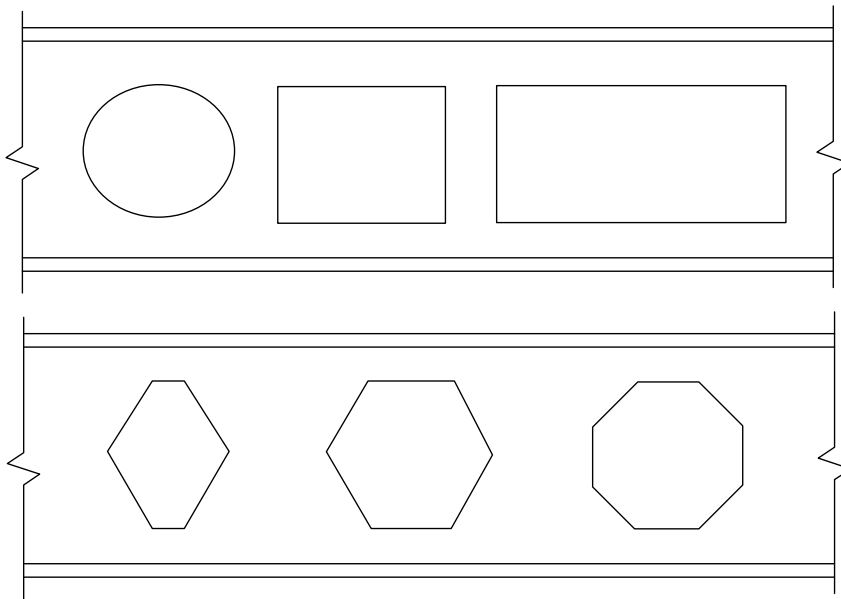


Figura 2.3 - Configurações geométricas mais comuns de aberturas na alma

Para fins de cálculo, diversos autores computam aberturas circulares e outras proporcionalmente a uma abertura retangular, deixando assim a capacidade de carga subestimada.

As aberturas podem ser criadas por cortes de soldas, ou até mesmo por punção, criando assim aberturas isoladas em qualquer posição desejável na alma do perfil de aço.

2.1.1.2. Aberturas Alongadas

No caso de vigas casteladas, se uma abertura maior é necessária, pode-se recortar a alma entre duas aberturas adjacentes, criando assim uma abertura alongada, ou durante o próprio processo de fabricação pode-se alterar o corte, resultando numa abertura de maior comprimento. As Figura 2.4 e Figura 2.5 demonstram aberturas alongadas.

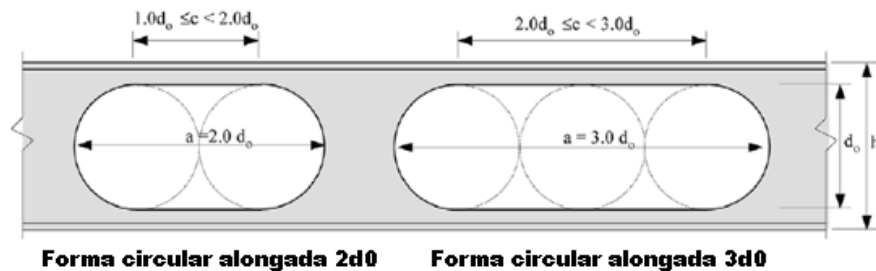


Figura 2.4 - Abertura alongada e sua flexibilidade [5]



Figura 2.5 - Abertura circular alongada aparelhada para ensaio [19]

Não somente a forma circular, mas todas as demais podem usufruir destas técnicas. Contudo, devem-se sempre considerar as penalidades de resistências que são envolvidas, penalidades estas que serão discutidas no próximo capítulo.

2.1.1.3. Excentricidade

Muitas vezes os tubos e dutos de instalações devem ser levemente inclinados, para proporcionar um escoamento apropriado. Concomitantemente, as aberturas de alma não podem estar todas centradas no eixo baricêntrico da viga. Essa situação exigiu a elaboração de formulações que considerassem a excentricidade das aberturas em relação ao eixo da viga (Douglas & Gambrell 1974). A Figura 2.6 ilustra uma excentricidade em uma viga celular.

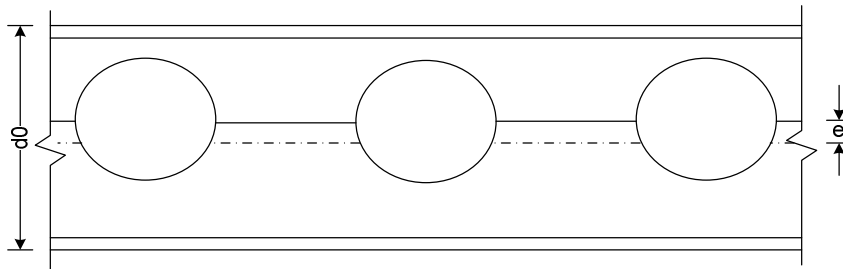


Figura 2.6 - Representação de viga celular com excentricidade

2.1.2. Viga Castelada

A viga castelada consiste no recorte da alma do perfil original de aço e posterior soldagem de modo intercalado, criando aberturas na própria alma, aumentando deste modo a altura e a inércia da viga. Várias formas geométricas podem ser adotadas dentro deste processo: quadrada, retangular, hexagonal, octogonal e circular. A viga celular (aberturas arredondadas) é a versão moderna da viga castelada, que se diferencia por utilizar duas linhas de corte na alma durante o processo. A viga ou coluna castelada resulta em aproximadamente 40 a 60% de acréscimo na altura de sua seção original. As Figura 2.7 e Figura 2.8 demonstram a fabricação de uma viga castelada clássica.

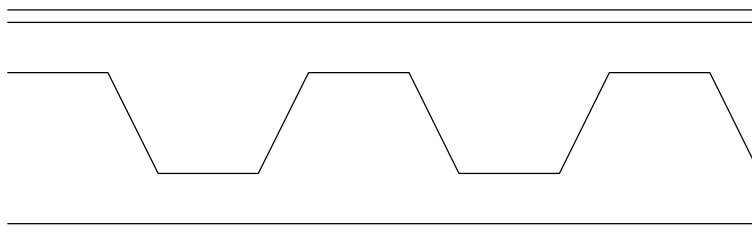


Figura 2.7 - Corte na alma em padrão trapezoidal

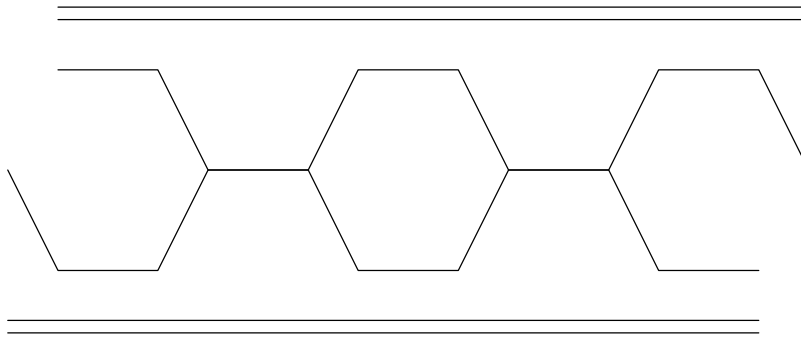


Figura 2.8 – Resultado final do transpasse e solda

Na fabricação perde-se uma pequena parte do material (sucata) nas extremidades da viga, após o transpasse das duas peças geradas.

Na Figura 2.9 tem-se uma viga castelada em escala real sendo ensaiada.



Figura 2.9 Ensaio de viga castelada [21]

Neste caso a viga castelada é composta de aberturas hexagonais, a qual será a principal forma aqui estudada.

2.1.2.1. Viga Litzka (Peiner)

A viga Peiner-Schnittführung também é conhecida como Litzka-Schnittführung, e é uma viga castelada com dimensões proporcionalmente determinadas, como ilustrado na Figura 2.10.

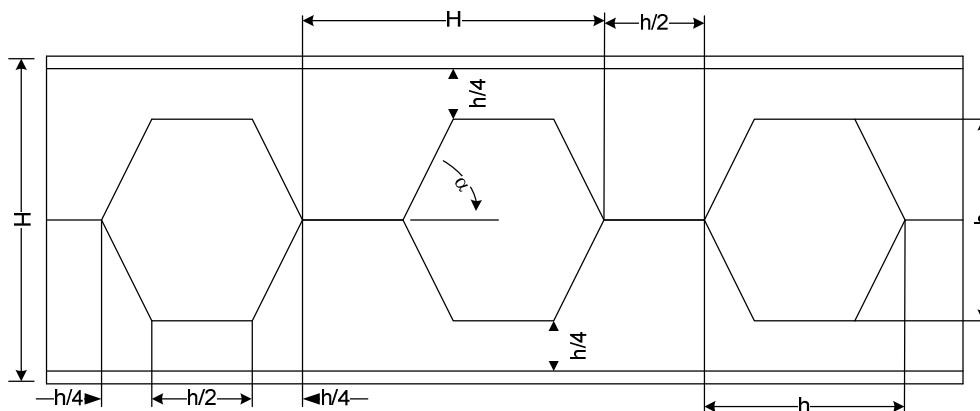


Figura 2.10 - Ilustração do dimensionamento de uma viga Litzka [11]

Grünbauer [11] cita várias escolhas de dimensões devem ser feitas ao se fabricar uma viga castelada. Esta viga é caracterizada pelas três seguintes suposições:

- A taxa de altura $\frac{H}{h}$ é ajustada para 1,5 (a altura H da viga castelada é uma vez e meia a altura do perfil original antes do corte);
- O “passo” é assumido sendo igual à altura H da viga castelada;
- O ângulo α é ajustado para 63.43° (sendo preciso, $\tan \alpha = 2$).

Essas três suposições definem as vigas casteladas. O comprimento da solda no topo do dente é $\frac{h}{2}$; a maior largura da abertura da alma é h . A profundidade da abertura é também h .

Na Inglaterra, Américas e Canadá o dimensionamento tradicional é diferente. Nas Américas o ângulo α tem sido configurado em 60° . A taxa $\frac{H}{h}$ das dimensões nominais é tomada como sendo 1,5; e o passo é tomado como sendo 1,08 vezes a altura da abertura da alma. A altura da abertura é escolhida como na viga Peiner-Schnittführung, a saber, igual à profundidade nominal h do perfil antes de cortar. Estas suposições conduzem a um perfil com dentes mais curtos. Na viga Peiner-Schnittführung, o comprimento de solda em um dente é igual a $1/3$ do passo; na tradição anglo-saxônica, o comprimento de solda em um dente é igual à somente $1/4$ do passo. Já que o comprimento de solda pode determinar a resistência da viga, a viga castelada anglo-saxônica está conseqüentemente em desvantagem neste aspecto.

Um exemplo de viga castelada é feito com o perfil UB-914x419. Nos países anglo-saxônicos diferentes seções laminadas são usadas em relação ao continente europeu, em polegadas. UB significa "*universal beam*" (viga universal) e as dimensões atuais da viga original UB-914x419 são as seguintes: a altura nominal é 914,4 mm; a altura atual h é 921 mm; largura das mesas 420,5 mm; espessura da alma 21,5 mm e espessura das mesas 36,6 mm; raio de 24,1 mm. O peso é 388 kg/m. A viga castelada padrão feita através da UB-914x419 é chamada de "Viga Castelada Universal" 1371x419. A altura nominal desta viga é 1371 mm; a altura atual H é 1377,7 mm.

Esses padrões de corte se tornaram obsoletos a partir do momento que a condução do corte é computadorizada. Atualmente é possível selecionar padrões de corte e taxas $\frac{H}{h}$, tais que as vigas casteladas somem os requisitos técnicos desejados (como resistência ao momento, deflexão, cortante transversal, e flambagem da alma). Antigamente, o superdimensionamento de vigas era inevitável, o que não é mais necessário quando se dispõe de tecnologia. Atualmente otimiza-se as vigas casteladas de acordo com o critério econômico. Precisamente fabricada ao serviço a ela designado.

2.1.2.2. Viga Celular

No caso da viga celular, além da perda nas extremidades durante o processo de fabricação, ainda há uma perda adicional devido à diferença entre as duas linhas de corte, como ilustrado nas Figura 2.11 a Figura 2.13.

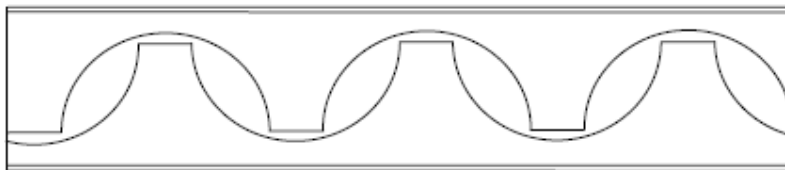


Figura 2.11 - Fabricação de viga celular (duas linhas de corte)

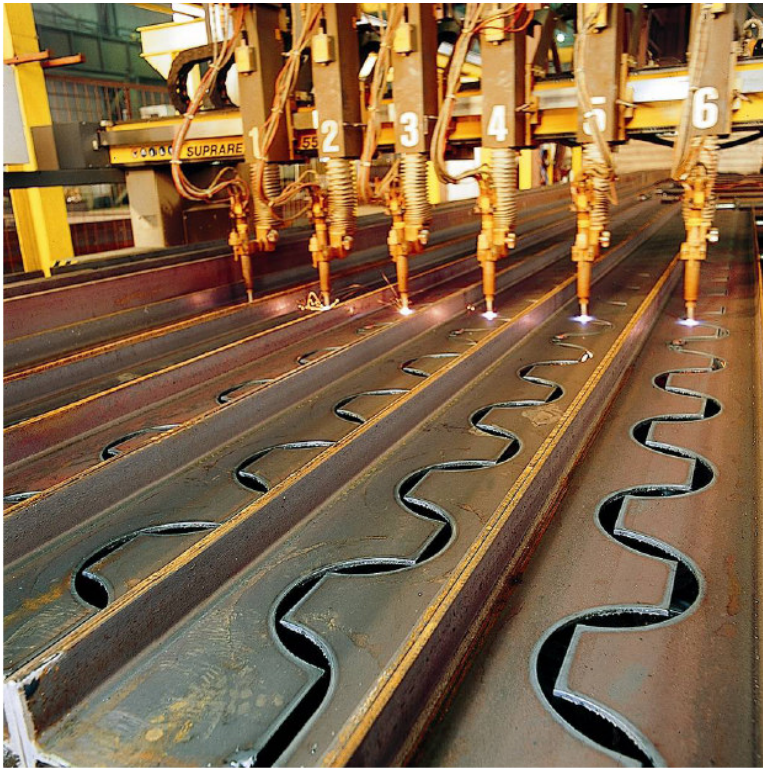


Figura 2.12 - Fabricação automatizada da viga celular [19]

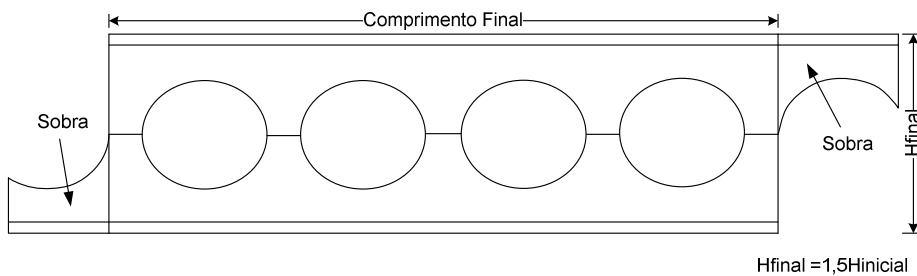


Figura 2.13 - Transpasse, solda e sobra (*scrap*)

As sobras nas extremidades são também recortadas, como mostra a Figura 2.13, mas não representam perda percentual significativa caso o comprimento total da viga seja grande.

2.1.2.2.1. Vigas de Inércia Variável

Utilizando este método de fabricação que resulta em uma viga com inércia variável, pode-se aumentar a resistência ao cisalhamento onde este esforço é mais solicitante, supondo um carregamento distribuído sem cargas locais de importância.

As duas linhas de corte da viga celular são processadas de forma inclinada e anterior ao transpasse e solda, efetua-se um giro de 180° em relação ao eixo do peso próprio em uma das partes resultantes ao corte, como mostra a Figura 2.14.

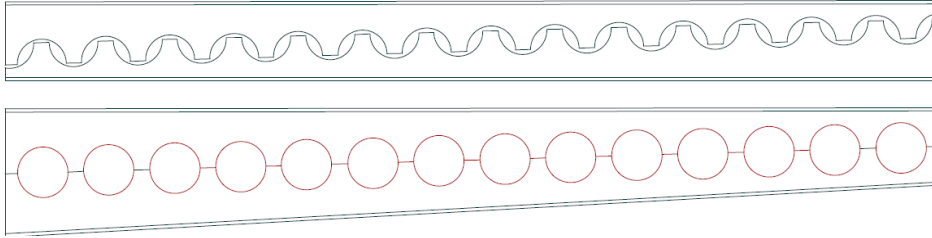


Figura 2.14 - Tapered ACB Beam [19]

Este tipo de corte exige maior precisão, sendo necessário o auxílio da automatização computacional.

2.1.2.3. Viga Angelina

A viga Angelina é um lançamento da ArcelorMittal [2]. Sendo uma nova idéia na área das vigas casteladas, mantendo a flexibilidade com menos perdas. Um bom exemplo dos possíveis padrões de corte dos dias atuais.

Esta viga é feita com apenas uma linha de corte, reduz perdas de material substancialmente se comparada com a viga celular que possui duas linhas de corte, e outra vantagem também são suas extremidades que simulam uma mísula. Tornando-a, em determinados casos, uma opção econômica. A Figura 2.15 ilustra esta novidade em termos de viga castelada.



Figura 2.15 - Viga Angelina [2]

2.1.3. Viga Expandida

Pode-se ainda cortar o perfil de aço e acrescentar chapas entre as duas almas seccionadas, aumentando-se assim a inércia e de acordo com a geometria do corte destas chapas, regular a forma das aberturas. As Figura 2.16 e Figura 2.17 demonstram esta idéia.

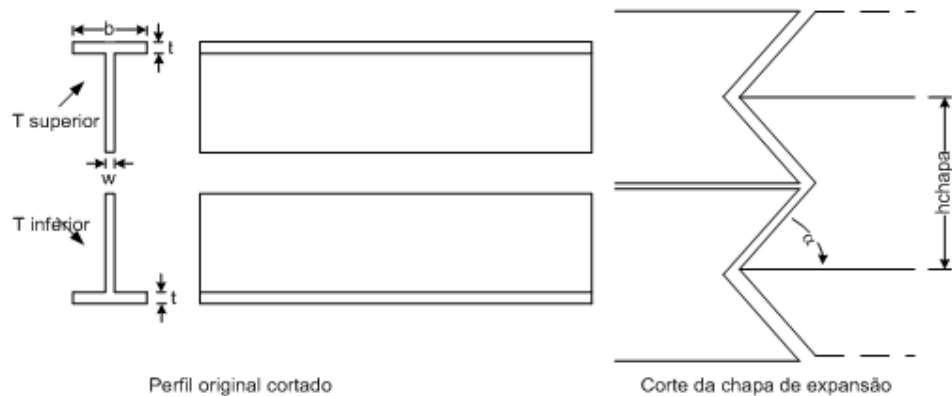


Figura 2.16 - Corte da viga original e da chapa de expansão

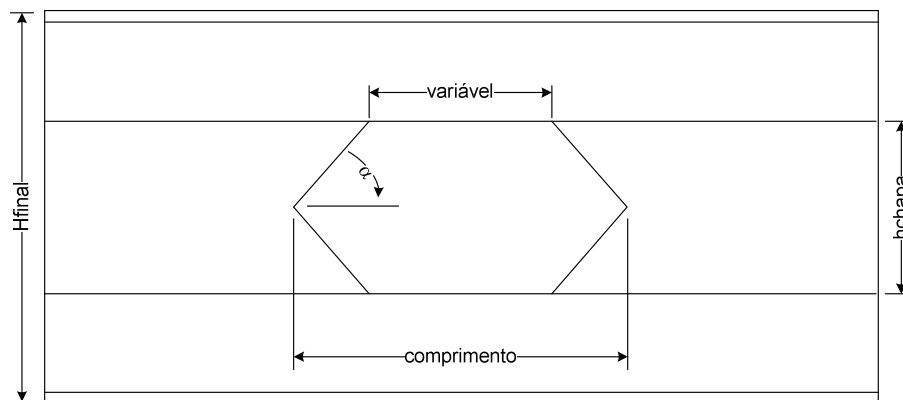


Figura 2.17 - Resultado da viga expandida

Desta forma tem-se o controle do comprimento total da abertura, seu ângulo α de corte, sua altura (altura h da chapa de expansão) e também sua posição ao longo da extensão da viga.

O mesmo princípio ainda pode ser utilizado para ampliar uma viga castelada. No caso seguinte, utilizando um ângulo reto na fabricação da chapa de

expansão, resultando em abertura com formato octogonal, como mostrado na Figura 2.18.

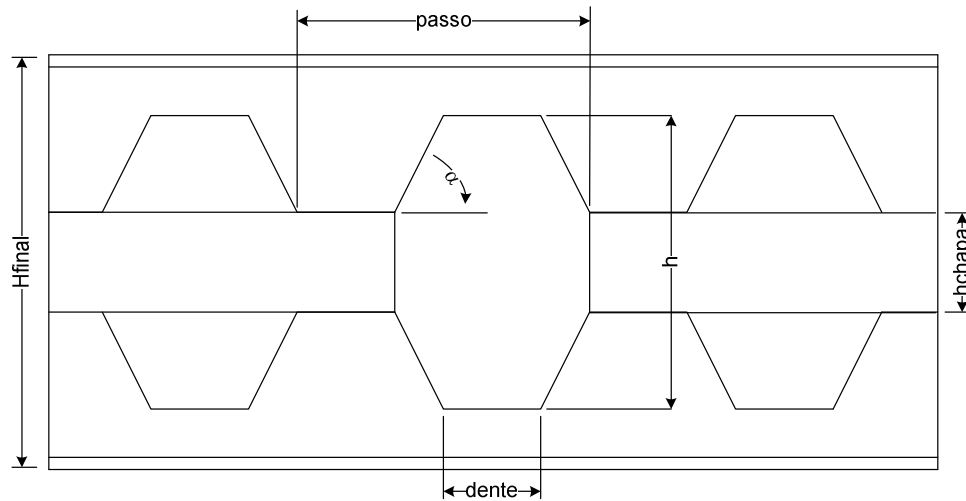


Figura 2.18 - Viga Castelada expandida

Esta configuração torna-se complexa, em matéria do cálculo de resistência, pela criação de aberturas trapezoidais excêntricas, simétricas e próximas umas as outras.

Neste caso as aberturas octogonais criadas, com altura maior devido à chapa, podem ser utilizadas para passagem de tubulações de diâmetro mais elevado, enquanto as trapezoidais têm a vantagem de permitir uma inclinação em tubulações de menor diâmetro, por possuírem dois níveis de altura.

2.1.4. Comparações entre aberturas

Para uma melhor compreensão entre aberturas a Figura 2.19 ilustra a comparação entre os principais métodos de fabricação das aberturas em vigas de aço.

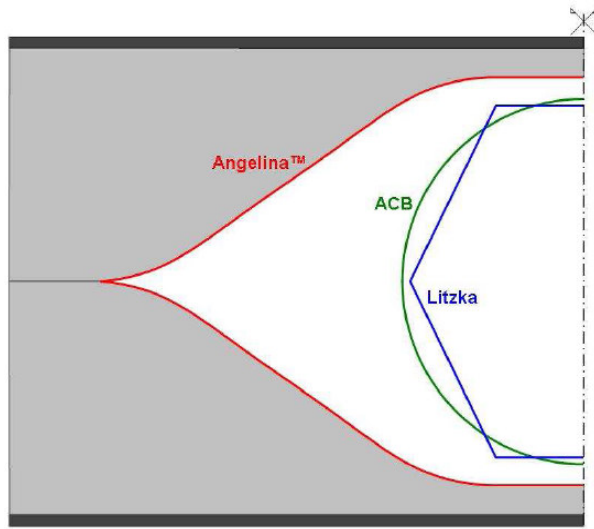


Figura 2.19 - Comparativo de seções de aberturas [1]

Nesta figura comparam-se as seções cortadas da viga Litzka, viga celular (ACB) e a Angelina, nota-se claramente a diferença de quantidade de material em cada tipo de corte, o que influencia no peso linear das vigas e em suas respectivas resistências.