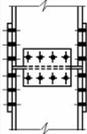


## Projeto Econômico de Ligações



PGECIV

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
 PGECIV - Mestrado Acadêmico  
 Faculdade de Engenharia – FEN/UERJ  
 Disciplina: Ligações em Estruturas de Aço e Mistas  
 Professor: Luciano Rodrigues Ornelas de Lima







# 1. Introdução

- Incertezas → L. S. D. (Limit States Design)
- Laboratório x Teoria
  - ✓ 12 % Deslocamentos (16%)
  - ✓ 20 % Tensões (11%)
- Ligações → Efeito de alavanca → 100% → Falta de Alinhamento

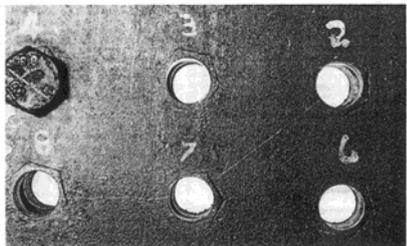
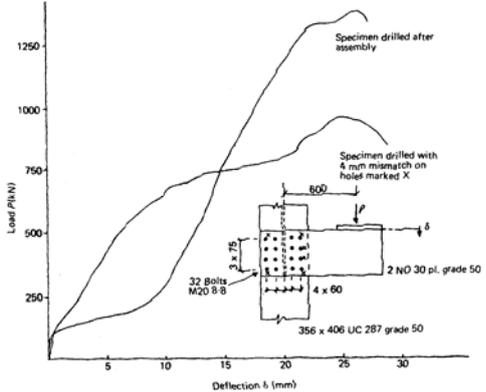
Theoretical positions of centres of rotation  
 E.A. – Elastic analysis  
 P.A. – Plastic analysis

L.H.S. - E.A.    L.H.S. - P.A.    R.H.S. - P.A.    R.H.S. - E.A.




# 1. Introdução

- Elástico
- Plástico
  - ✓ Furação desalinhada → mais carga por parafuso
  - ✓ Tensões Residuais
  - ✓ Imperfeições
- Geometria Complexa
  - ✓ Concentração de Tensões
  - ✓ 20 x Tubos



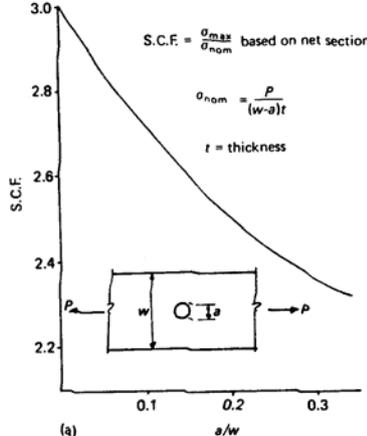

# 1. Introdução

- Concentração de Tensões

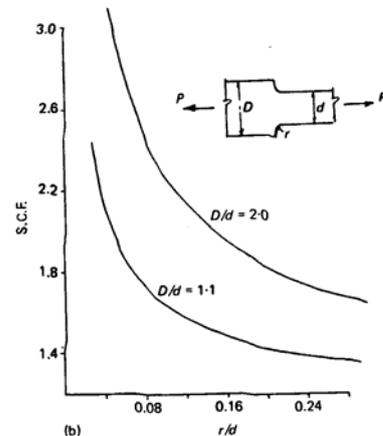
S.C.F. =  $\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}}$  based on net section

$\sigma_{nom} = \frac{P}{(w-g)t}$

$t$  = thickness



(a)



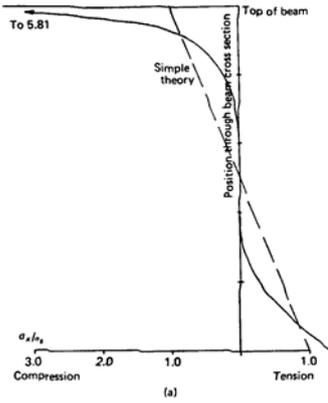
(b)




## 2. Distribuição Real de Tensões

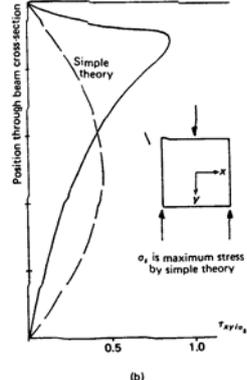
- Vigas altas, Chapas de Gusset, Enrijecedores

Tensões Normais



(a)

Tensões de Cisalhamento



(b)




## 3. Deformações

- Deformações / Rigidez das Peças (Placa de Extremidade)

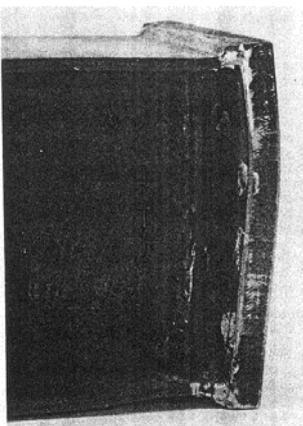
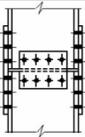


Figure 1.6 Short end-plate connection for an I-beam where yielding of beam web has permitted overall bending of end plate

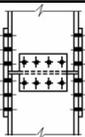




## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

**Análise Detalhada** × **Análise Simplificada**  
**Pequenos Coeficientes de Segurança** × **Coeficientes de Segurança Médios**

- O método das trajetórias de forças, proposto por Owens baseia-se em uma análise simplificada
- Os esforços atuantes são substituídos por sistemas de forças equivalentes atribuídos a trajetórias específicas na ligação
- Deve-se levar em conta a complexidade e a variabilidade do comportamento dos elementos estruturais envolvidos



## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

As quatro fases do método são:

**1) Determinação da Distribuição de Forças Atuantes na Ligação**

- ✓ Estabelece-se o caminho por onde os esforços de flexão, cisalhamento e axial seguem de um elemento estrutural (viga, coluna, etc.) para o outro
- ✓ As excentricidades destes esforços são consideradas, gerando binários que atuarão nas mesas, almas dos perfis e nos elementos de ligação (soldas e parafusos) de acordo com a ligação

**PGECIV**

**IBEN**

## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

- ✓ Análise seja consistente durante todo o processo
- ✓ Evitar separar a análise da distribuição das forças nos parafusos da distribuição de tensão normal na alma da viga, pois estes elementos interagem
- ✓ A solução está na redistribuição dos esforços na solda que une a chapa de extremidade à viga gerada pela ação do grupo de parafusos
- ✓ A flexibilidade dos componentes da ligação também deve ser assegurada pois os elementos mais flexíveis da ligação governam o seu dimensionamento

Linha de ação dos parafusos à tração      Centróide das forças de compressão

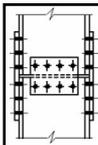
**PGECIV**

**IBEN**

## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

### 2) Dimensionamento de Cada Componente Presente nas Trajetórias de Força Estabelecidas.

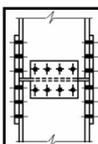
- ✓ Garantir que cada elemento da trajetória do sistema de forças equivalentes tenha resistência suficiente.
- ✓ Deve-se verificar individualmente a capacidade de cada componente:
  - mesas e a alma da viga
  - elementos conectores (soldas, parafusos e placas)
  - até a coluna, que deve ser verificada localmente.



## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

### 3) Garantia do Comportamento Dúctil dos Componentes Determinados Anteriormente

- ✓ Os itens anteriores garantem que a ligação possui resistência adequada
- ✓ Deve-se garantir as condições anteriores antes que haja ruína ou flambagem de um de seus componentes
- ✓ Um modelo simplificado pode ser adotado, desde que se garanta a ductilidade dos elementos



## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

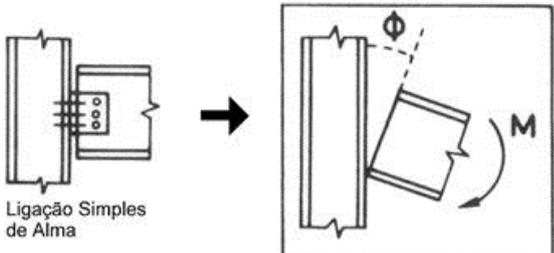
- ✓ A ductilidade da ligação viabiliza a hipótese de duas linhas neutras, uma para a solda e outra para os parafusos
- ✓ Devido ao ajuste das peças de uma ligação após o início do seu carregamento, ou em função de simplificações no modelo adotado, é necessário assegurar que estas possuam suficiente ductilidade, evitando um colapso prematuro
- ✓ Isto leva a uma redistribuição das forças até que se atinja à configuração adotada no dimensionamento

PGECIV



## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

- ✓ A ligação quando dimensionada como flexível, deve permitir uma rotação na extremidade da viga
- ✓ Isto gera deformações nas cantoneiras, mesa da coluna e alma da viga que devem acomodar e redistribuir estes esforços
- ✓ Este fato está diretamente ligado a capacidade necessária de rotação de uma ligação



Ligação Simples de Alma

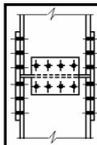
PGECIV



## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

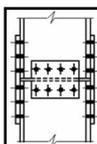
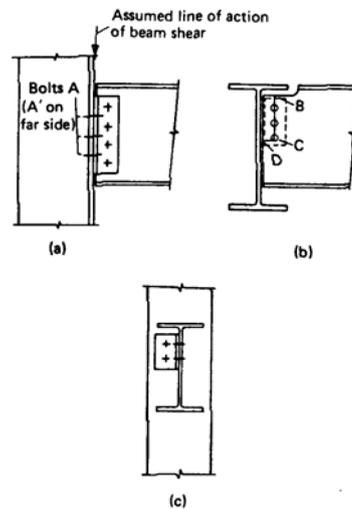
### 4) Garantia de Aceitação de Todos os Estados Limites Anteriormente Utilizados

- Os critérios de dimensionamento usados nas fases anteriores só atendem aos estados limites últimos
- Ainda é necessário verificar os estados limites de utilização
- Para ligações dimensionadas por aproximações elásticas tradicionais, este passo pode ser omitido, exceto:
  - ✓ Se o dimensionamento de um componente da ligação foi baseado em uma hipótese rígido-plástica simplificada, onde deve-se garantir um limite para as deformações plásticas
  - ✓ Se a ligação é sujeita à fadiga, que requer uma verificação detalhada do seu comportamento elástico e dos fatores de concentração de tensões em pontos críticos



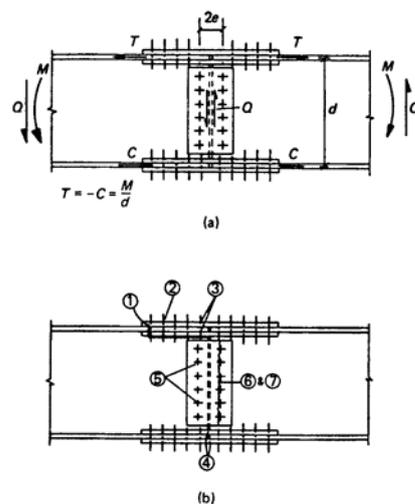
## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

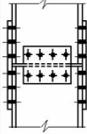
- Cantoneiras e Chapas → Rasgamento
- Parafuso
  - ✓ Corte
  - ✓ Tração
- A x A' → Simetria x Excentricidade
- Outras Verificações → Distâncias mínimas
- Ductilidade Suficiente
- (b) block Shear
- (c) Momento devido a excentricidade deve ser considerado



## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

- Forças T, C, Q x M, Q
- 1- Mesa a tração
  - ✓ Seção crítica → seção vertical líquida na 1ª linha de parafusos
  - ✓ Seção efetiva da mesa na 1ª linha de parafusos sob a tensão resultante na mesa (redução de W)
- 2- Parafusos nas mesas → Atrito → T
- 3- Placas de cobrejunta → T/2
- 4- Resistência a compressão das placas de ligação x flambagem vertical
- 5- Parafusos da alma → Atrito → Q, excentricidade "e"
- 6/7- Capacidade da seção líquida da alma x placa de ligação



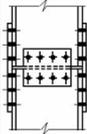


**PGECIV**



## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

- Viga x coluna sujeita a um momento e cortante
- O procedimento é apropriado para um momento inferior a 70% da capacidade plástica da viga à flexão
- Acima disto, deve-se mobilizar parte da alma para resistir ao binário gerado por esta solicitação, para não sobrecarregar as mesas do perfil

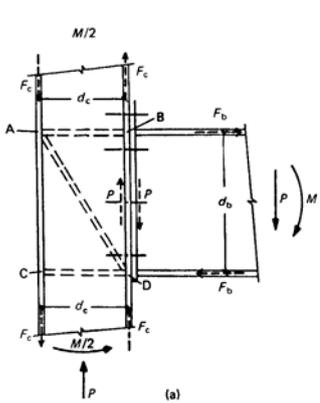
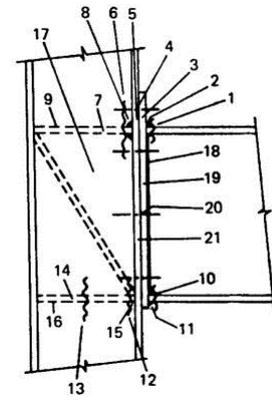


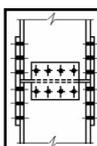
**PGECIV**



## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

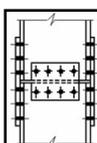
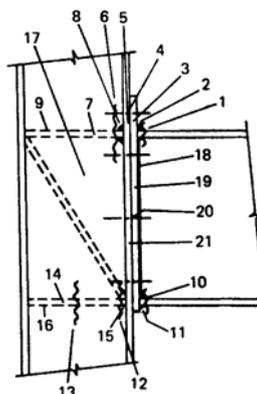
- Com a configuração do sistema de forças equivalentes a serem utilizadas determinam-se três trajetórias de força (tração, compressão e cisalhamento)
- Com o sistema de forças equivalentes verifica-se as componentes estruturais nas várias trajetórias.



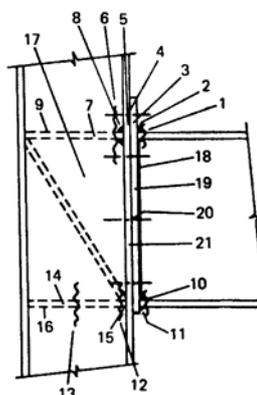
## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

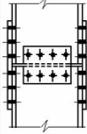
- a) Trajetória de Tração:
- 1 - mesa da viga à tração;
- 2 - Solda unindo a mesa da viga à chapa de extremidade;
- 3 - Flexão da chapa de extremidade;
- 4 - Tração nos parafusos;
- 5 - Flexão na mesa da coluna (pode ser necessário o uso de enrijecedores);
- 6 - Tração na alma da coluna;
- 7 - Enrijecedor, caso seja necessário devido aos itens cinco ou seis;
- 8 - Tração na solda da mesa da coluna ao enrijecedor;
- 9 - Cisalhamento na solda da alma da coluna ao enrijecedor;



## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

- b) Trajetória de Compressão:
- 10 - Compressão na mesa da viga;
- 11 - Solda da mesa à placa de extremidade;
- 12 - Ruptura local na alma da coluna por plastificação;
- 13 - Flambagem na alma da coluna;
- 14 - Compressão no enrijecedor, caso seja necessário devido aos itens 10, 12 ou 13;
- 15 - Compressão na solda do enrijecedor à mesa da coluna;
- 16 - Cisalhamento da solda do enrijecedor à alma da coluna;

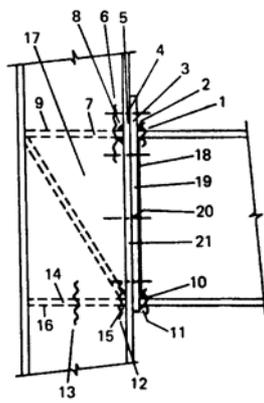


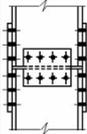





## 5. Filosofia de Projeto de Ligações

- c) Trajetória de Cisalhamento:
- 17 - Esforço cortante no painel ABCD;
- 18 - Cisalhamento na solda da alma da viga à placa de extremidade;
- 19 - Esforço cortante e esmagamento na chapa de extremidade;
- 20 - Corte nos parafusos;
- 21 - Esmagamento da mesa da coluna.
  
- Interação entre os passos ou seja:
  - ✓ Se for necessário o uso de enrijecedor entre os pontos A e D, torna-se desnecessário o uso entre os pontos C e D.
  - ✓ Esta alteração afeta a trajetória de forças e implica em sua revisão.
- Trabalhosas 3, 4, 5, 13, 17, 20
- Fáceis 1, 6, 7, 10, 11, 12, 14
- Resto → Ductilidade

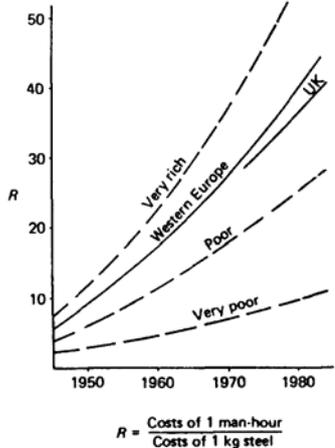






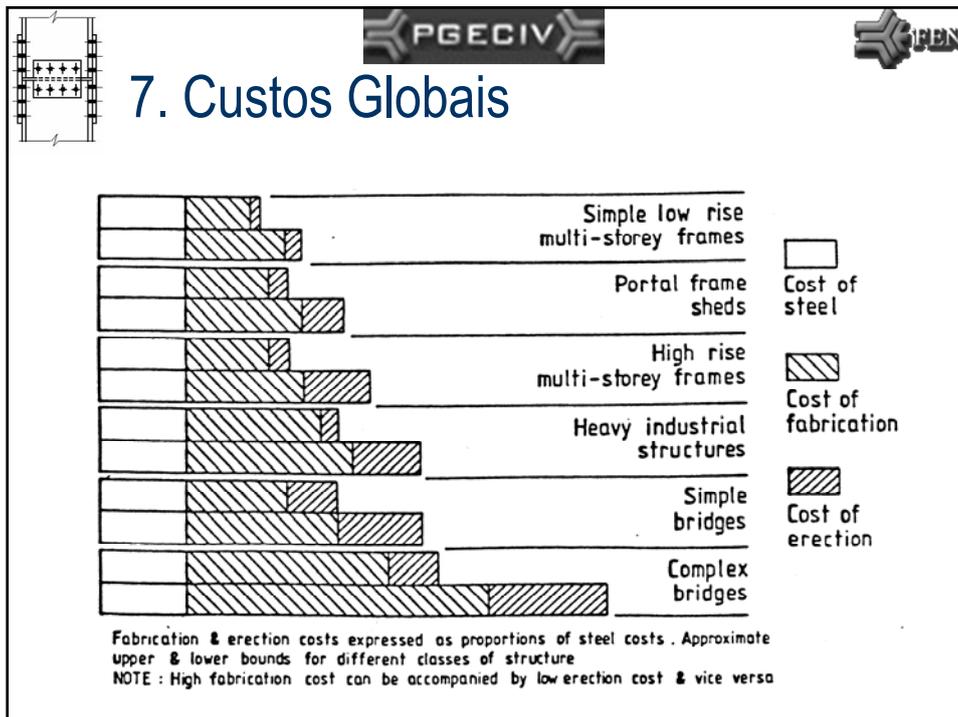

## 6. Recomendações Práticas - Eficiência e Economia

- Custo → Trabalho → Ligações
- Corte Oblíquo ou Ajuste Preciso → 10 hs/ton
- Falta de Parafusos de Montagem → Dobra Custos de Montagem
- Ligações → 50% Custo Global



$R = \frac{\text{Costs of 1 man-hour}}{\text{Costs of 1 kg steel}}$

**Figure 9.1** Cost ratio between labour and material



- 
- 8. Parafusos X Soldas**
- Fábrica
    - Soldas (Tração ou cisalhamento)
    - Linha de firação/vazia soldagem/sobrecarregada → parafusos
  - UK → Parafusos
  - 1- Mais acesso para solda/soldador
  - 2- Proteção chuva → Preaquecimento difícil no campo
  - 3- soldador → + caros e especializados que montadores
  - 4- Parafusos → trabalho menos especializado
  - 5- Certificação/Qualificação de soldadores e soldas no campo → + caro
  - 6- Inspeção de parafusos é + fácil

## 9. Filete x Entalhe

- Filete + barato
- 6mm é a maior perna possível com solda manual em 1 passe
- Multipasso vantagem diminui
- + 12mm ou 15mm de perna → Arco Submerso
- Entalhe
  - ✓ Maior resistência a fadiga
  - ✓ Melhor acabamento/ aparência final
  - ✓ Chapas de ligação com filete → Pontos de ferrugem

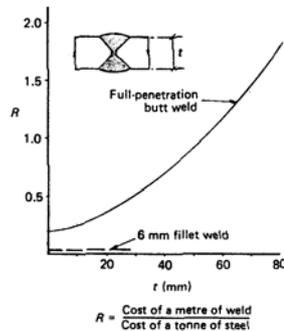
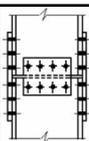


Figure 9.2 Comparative costs of butt and fillet welds

Table 9.1 Relationship between fillet weld size and number of passes for manual metal arc welding in the downhand position

Leg size	<6	8-10	11-13	14-16	19	22	25
Number of runs	1	2	3	4	5	7	10



## 10. Parafusos comuns x alta resistência

- Tração → HFSG
- Dif. montagem → Aperto
- Comuns → Deslizamento
- Emendas → HFSG → Fadiga
- 8.8 ≠ A407

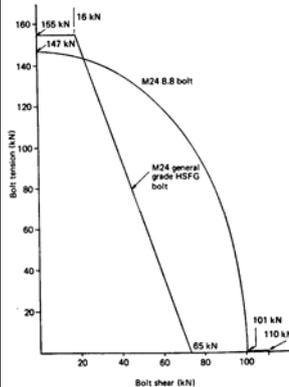


Figure 9.3 Design strengths of HSG and Grade 8.8 bolts to BS 5400: Part 3

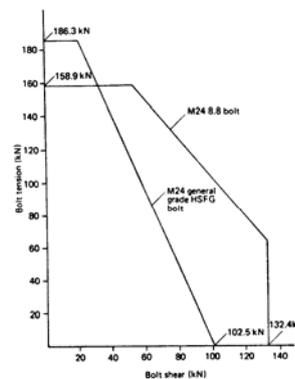


Figure 9.4 Design strengths of HSG and Grade 8.8 bolts to BS 5950: Part 1

**PGECIV**

**REN**

## 11. Acesso para soldas e parafusos

- Soldas
  - ✓ Máscaras pesadas
  - ✓ Espelhos
  - ✓ Eletrodos pequenos ou dobrados
  - ✓ Atenção na produtividade e qualidade

Figure 9.5 Access requirements for manual welding. (a) Fillet weld; (b) corner butt weld; (c) planar butt weld

■ Inspeção → Raio X → 2 Faces

**PGECIV**

**REN**

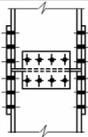
## 12. Soldas

- Reparos em soldas
  - ✓ Chipping → Martelo c/ ponta arredondada
  - ✓ Grinding → Discos abrasivos
  - ✓ Air Gouging → Goivagem → corte por arco elétrico → chanfro
- Preparação para superfície de solda
- Entalhe
  - ✓ 1- Execução econômica
  - ✓ 2- Minimizar o volume de solda
  - ✓ 3- Raiz bem executada
  - ✓ 4- Acesso
  - ✓ 5- Limpeza entre 2 passos

■ Filete

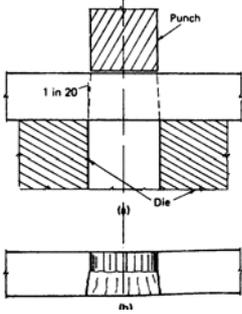
Figure 9.7 Welding detail for reinforcing plate on column web or vertical leg of wide seating angle

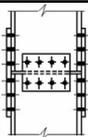




## 13. Furação por punção x brocas

- Puncionados
  - ✓ Qualidade do equipamento
  - ✓ Resíduos de material
  - ✓ Fragilização da região do furo ( $\pm 1\text{mm}$ ) fissuras
  - ✓ Limitar deformação na região do furo a 2mm em parafusos sob tração
  - ✓ Mais suscetível ao operador



## 14. Tipo de Corte da Chapa

- Guilhotinagem
  - ✓ Contato ruim  $\rightarrow$  superfícies irregulares
  - ✓ Fragilização do material  $\rightarrow$  fadiga
  - ✓ Mais fácil e rápida
- Serragem
  - ✓ Contato bom
- Maçarico
  - ✓ Automática e manual
  - ✓ Fragilização do material  $\rightarrow$  3mm
  - ✓ Abrasão (grinding) para regularização de superfície

**PGECIV**

**IBEN**

## 15. Detalhamento

- 3 x tempo
- Padronização
- Evitar:
  - Cortes Precisos
  - Cortes com ângulos
  - Enrijecedores
  - Pequenos filetes

Figure 9.9 Examples of economic detailing to minimize fabrication

**PGECIV**

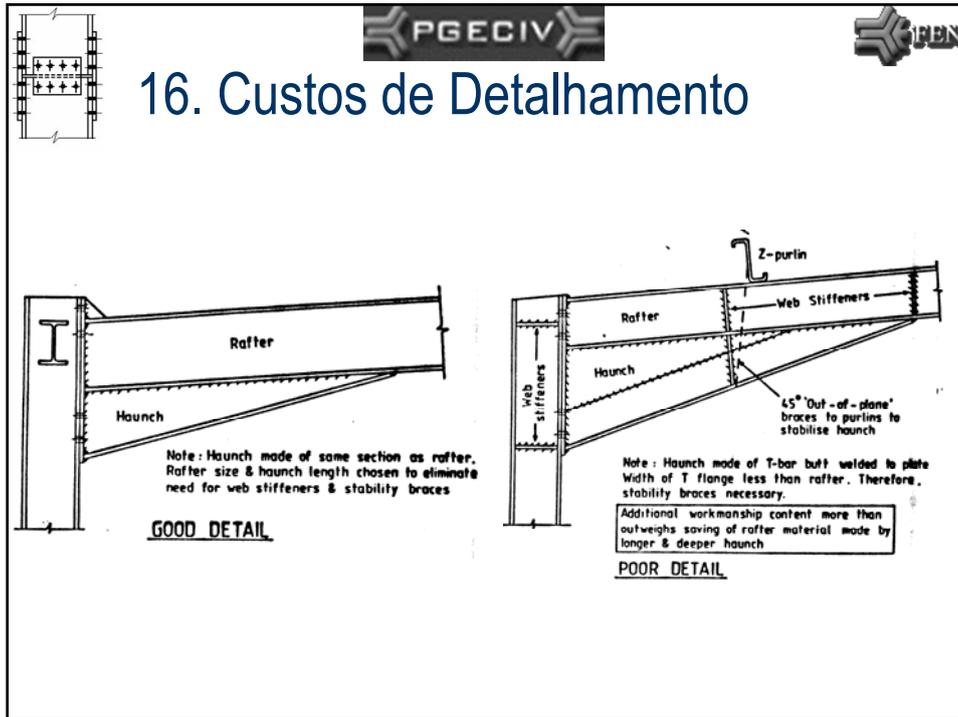
**IBEN**

## 16. Custos de Detalhamento

(a) 1.0     (b) 1.1     (c) 1.8  
(d) 1.3     (e) 1.5

**Figure 9.10** Costs comparisons for eaves connection in portal frames. (a) Welded knee joint detail where stiffeners are not required (cost ratio 1.0 (base)); (b) welded knee joint detail with division plate – square butt weld (cost ratio 1.1); (c) bolted knee joint (cost ratio 1.8); (d) diagonal bolted knee joint (cost ratio 1.3 but more difficult to erect); (e) typical knee joint with haunch stiffener (cost ratio 1.5)

## 16. Custos de Detalhamento



## 17. Montagem Econômica

- Parafusos de montagem
- Espaço para montagem
- Imperfeições de fábrica

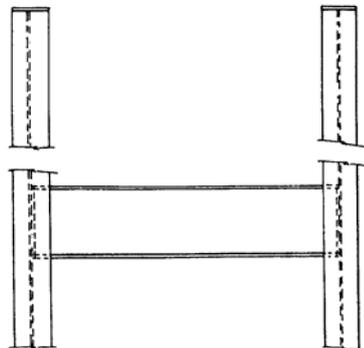


Figure 9.11 Beam framing into minor axis of columns that will create difficulties in erection

