833®
QUALITY MOUNTING SYSTEMS

# ESTUDO DE CARGAS

## 833 K7 - MINI RAIL 150X45MM ARQUEADO PARA 4 MÓDULOS


**SUNCONNECTION WORLDWIDE SLU**

- **Tel.:** +34 868 076 098
- **e-mail**: ingenieria@833solar.com
- **Web**: www.833solar.com

**2025**

# 1.ESTUDO DE CARGAS

## SELEÇÃO DE MÓDULOS

- **Comprimento: 2,278 metros**
- **Largura: 1,134 metros**
- **Espessura: 30 - 35 mm**
- **Peso: 32,5kg**

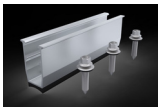
## COLOCAÇÃO DE MÓDULOS

- **Tipo de superfície:** cobertura INCLINADA

## CONFIGURAÇÃO BÁSICA

- **Seleção do sistema:** 833-K7
- **Zonas de ventos: 1, 2, 3 e 4:** 35 m/s
- **Altura de instalação:** 15 metros
- **Grau de aspereza do ambiente:** III

# 2.LISTA DE PEÇAS DO SISTEMA

| PEÇAS | | |
|---|---|---|
| 833 MR150-45-ARC | Mini Rail em «U» de 150 x 45 mm para chapa ondulada, com EPDM arqueado e parafusos |  |
| 833 GF-50MM | Universal, ajustável (25-35 mm), com placa condutora e grampo finale, L50 mm | |
| 833 GI-50MM | Universal e ajustável (28-35 mm), com placa condutora e mola, e grampo intermédio. Comprimento: 50 mm | |

# 3.BASES DO DESIGN

## NORMATIVA

| SUPOSIÇÃO DE CARGA | NOME | DATA |
|---|---|---|
| BS EN 1990 | Eurocódigo – Fundamentos do projeto estrutural | 01.01.2005 |
| BS EN 1990/NA | Anexo. Nacional do Eurocódigo - Bases do projeto estrutural | 04.06.2009 |
| BS EN 1990/NA | Eurocódigo - Fundamentos do projeto estrutural | 30.06.2009 |
| BS EN 1991-1-3 | Eurocódigo 1 - Ações sobre estruturas - Parte 1-3: Ações gerais, Cargas de neve | 01.08.2005 |
| BS EN 1991-1-3/NA | Anexo Nacional do Eurocódigo 1 – Ações sobre estruturas – 1-3. Ações gerais, cargas de neve | 29.06.2007 |
| BS EN 1991-1-4 | Eurocódigo 1 – Ações sobre estruturas – Parte 1-4: Ações gerais, ações do vento | 15.05.2011 |
| BS EN 1991-1-4/NA | Anexo Nacional do Eurocódigo 1 – Ações sobre estruturas – Parte 1-4: Ações gerais, ações do vento | Noviembre de 2008 |
| Solicitud | Resumo dos resultados dos testes e simulações de vento | Junio de 2009 |
| BS EN 1993-1-1 | Eurocódigo 3: Projeto de estruturas de aço – Parte 1-1 | 01.10.2006 |
| BS EN 1993-1-1/NA | AAnexo Nacional do Eurocódigo 3: Projeto de estruturas de aço – Parte 1-1 | 01.12.2008 |
| BS EN 1999-1-1 | Eurocódigo 9 – Projeto de estruturas de alumínio, Parte 1-1 | 01.08.2010 |
| BS EN 1999-1-1/NA | Anexo Nacional do Eurocódigo 9 – Projeto de estruturas de alumínio, Parte 1-1. | 01.05.2010 |

## PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS

### Material de alumínio

- **Estrutura em alumínio:** AL6005-T5
- **Densidade:** 27,1 kN/m3
- **Módulo elástico: E =** 6,9×104N/mm2
- **Coeficiente de expansão linear:** α = 2,32×10-5
- **Coeficiente de Poisson:** ν = 0,33
- **Resistência à tração, compressão e flexão: f_s =** 220 N/mm2

### Ações permanentes devido ao peso próprio

- **Carga permanente:**
  - Especificações do módulo fotovoltaico:
    - ***2,278 m × 1,134m × 30 mm, peso do módulo: 32,5 kg***
  - Carga permanente do módulo fotovoltaico:
    - ***G=32,5·9,8/(2,278·1,134)/1000=0,1233 kN/m2***

# PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS

## Ações variáveis devido ao vento

- **Cálculo da velocidade básica do vento (Vb):**
  ***Vb*=Cdir·Cseason·$V_o$=1,0·1,0·35=35 m/s**

  Onde:
  - ***Cdir:*** fator direcional, valor recomendado: 1,0.
  - ***Cseason:*** fator sazonal, valor recomendado: 1,0.
  - ***Vo:*** velocidade do vento de referência, Vo = 35 m/s.

- **Cálculo da velocidade média do vento:**
  ***Vm(z): Vm(z)=Cr(z)·Co(z)·Vb***

  Onde,
  - ***Co(z):*** coeficiente topográfico, com um valor recomendado de 1,0.
  - ***Cr(z):*** fator de rugosidade, calculado através da fórmula.
  - ***Fator de rugosidade: Cr(z).***
    - ***Cr(z)=Kr·ln(Z/$Z_o$) con Zmín.≤Z≤Zmáximo***
    - ***Cr(z)=Cr(Zmín.) con Z≤Zmín.***

  Onde,
  - ***Kr:*** Fator do terreno, calculado através de uma fórmula;
  - ***Z:*** *A altura do sistema fotovoltaico é considerada como Z=15 m para este projeto.*
  - ***$Z_o$y Zmín.:*** Parâmetros do terreno;

| TERRENO | DESCRIÇÃO | $z_o$ (m) | $z_{min}$ (m) |
|---|---|---|---|
| 0 | Mar ou área costeira exposta ao mar aberto | 0,003 | 1 |
| I | Lagos ou áreas planas e horizontais com vegetação insignificante e sem obstáculos | 0,01 | 1 |
| II | Área com vegetação baixa, como relva, e obstáculos isolados, como árvores ou edifícios, com separações de, pelo menos, 20 vezes a altura dos obstáculos | 0,05 | 2 |
| III | Área com cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo, vilas, terrenos suburbanos ou florestas permanentes) | 0,3 | 5 |
| IV | Área em que pelo menos 15% da superfície está coberta por edifícios e a sua altura média excede os 15 m | 1,0 | 10 |

**NOTA:** as categorias de terreno estão ilustradas em A.1.

Zmax: Valor recomendado 200 m;
Fator do terreno Kr:
***Kr=0,19·($Z_o$/$Z_o$,II)^0,07=0,19·(0,3/0,05)^0,07=0,215***

Onde,
- ***$Z_o$:*** Comprimento da rugosidade, para a categoria de terreno III, $Z_o$=0,3 metros;
- ***$Z_o$,***II Valor da tabela 0,05 m;
- ***Zmin=5 m***

Portanto,
- ***Cr(z)=Kr·ln(Z/$Z_o$)=0,215·ln(15/0,3)=0,843***
- ***Vm(z)=Cr(z)·Co(z)·Vb=0,843·1·35=29,491 m/s***

- **Cálculo da pressão dinâmica do vento (qp);**
  ***qp=ρ·[Vm(z)] ^2≙1,25·(29,491) ^2≙1,087 kN/m2***

Onde,
- ***ρ: Densidade do ar, valor recomendado 1,25 kg/$m^3$.***

- **Cálculo da pressão máxima do vento qp (z):**
  ***qp (z)=[1+7·Iv(z)]·1/2·qp***

Onde,
- ***Iv(z):*** A intensidade da turbulência é calculada através da fórmula:
- ***Iv(z)=$K_1$/[Co(z)·ln(Z/$Z_o$)] si Zmin.≤Z≤Zmax***
- ***Iv(z)=Iv(Zmin) si Z≤Zmín.***

Onde,
- ***$K_1$:*** fator de turbulência, valor recomendado 1,0;
- ***Co(z):*** coeficiente topográfico, valor recomendado 1,0;
- ***Z:*** altura do sistema fotovoltaico, Z = 15 m;
- ***$Z_o$ y Zmín.***: Parâmetros do terreno para a respetiva categoria III, $Z_o$=0,3 m,
- ***Zmin.***= 5 m;
- ***Zmax***: Valor recomendado 200 m;

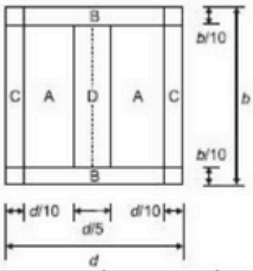
Portanto,
- ***Iv(z)=$K_1$/[Co(z)·ln(Z/$Z_o$)]=1/[1·ln(15/0,3)]=0,256***
- ***qp(z)=[1+7·Iv(z)]·1/2·qp=(1+7·0,256)·1/2·1,087=1,516 kN/m2***

- **Cálculo da pressão do vento Wp:**
  ***Pressão Wp=qp(z)·Cpe=1,516·0,4=0,6065 kN/m2***
  ***Sucção Wp'=qp(z)·Cpe=1,516·(-0,7)=-1,0614 kN/m2***

Onde,
- ***Cpe***: Coeficiente de força do vento: 0,4 para vento de sucção e -0,7 para vento de sucção com uma inclinação de 10°.
  - ***Cpe vento a pressão = 0,4***
  - ***Cpe Vento de sucção= (-0,7)***

Net pressure coefficients $c_{p,net}$

Key plan




| Roof angle α [°] | Blockage φ | Overall Force Coefficient $c_f$ | Zone A | Zone B | Zone C | Zone D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| - 20 | Maximum all φ | + 0,7 | + 0,8 | + 1,6 | + 0,6 | + 1,7 |
| | Minimum φ = 0 | - 0,7 | - 0,9 | - 1,3 | - 1,6 | - 0,6 |
| | Minimum φ = 1 | - 1,3 | - 1,5 | - 2,4 | - 2,4 | - 0,6 |
| - 15 | Maximum all φ | + 0,5 | + 0,6 | + 1,5 | + 0,7 | + 1,4 |
| | Minimum φ = 0 | - 0,6 | - 0,8 | - 1,3 | - 1,6 | - 0,6 |
| | Minimum φ = 1 | - 1,4 | - 1,6 | - 2,7 | - 2,6 | - 0,6 |
| - 10 | Maximum all φ | + 0,4 | + 0,6 | + 1,4 | + 0,8 | + 1,1 |
| | Minimum φ = 0 | - 0,6 | - 0,8 | - 1,3 | - 1,5 | - 0,6 |
| | Minimum φ = 1 | - 1,4 | - 1,6 | - 2,7 | - 2,6 | - 0,6 |
| - 5 | Maximum all φ | + 0,3 | + 0,5 | + 1,5 | + 0,8 | + 0,8 |
| | Minimum φ = 0 | - 0,5 | - 0,7 | - 1,3 | - 1,6 | - 0,6 |
| | Minimum φ = 1 | - 1,3 | - 1,5 | - 2,4 | - 2,4 | - 0,6 |
| + 5 | Maximum all φ | + 0,3 | + 0,6 | + 1,8 | + 1,3 | + 0,4 |
| | Minimum φ = 0 | - 0,6 | - 0,6 | - 1,4 | - 1,4 | - 1,1 |
| | Minimum φ = 1 | - 1,3 | - 1,3 | - 2,0 | - 1,8 | - 1,5 |
| + 10 | Maximum all φ | + 0,4 | + 0,7 | + 1,8 | + 1,4 | + 0,4 |
| | Minimum φ = 0 | - 0,7 | - 0,7 | - 1,5 | - 1,4 | - 1,4 |
| | Minimum φ = 1 | - 1,3 | - 1,3 | - 2,0 | - 1,8 | - 1,8 |
| + 15 | Maximum all φ | + 0,4 | + 0,9 | + 1,9 | + 1,4 | + 0,4 |
| | Minimum φ = 0 | - 0,8 | - 0,9 | - 1,7 | - 1,4 | - 1,8 |
| | Minimum φ = 1 | - 1,3 | - 1,3 | - 2,2 | - 1,6 | - 2,1 |
| + 20 | Maximum all φ | + 0,6 | + 1,1 | + 1,9 | + 1,5 | + 0,4 |
| | Minimum φ = 0 | - 0,9 | - 1,2 | - 1,8 | - 1,4 | - 2,0 |
| | Minimum φ = 1 | - 1,3 | - 1,4 | - 2,2 | - 1,6 | - 2,1 |

# PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS

## Ações variáveis devido à neve

- **Cálculo da pressão efetiva da neve Sk, v**
  ***Sk,v=u·Ce·Ci·Sk·cosθ***

  Onde,
  - ***u: Coeficiente de inclinação da neve, u = 0,8 com ângulo θ < 30°;***
  - ***u = 0,8 · (60 - θ) / 30 com ângulo 30° < θ < 60°.***
  - ***Ce: Coeficiente de exposição: valor recomendado 1;***
  - ***Ct: Coeficiente térmico, valor recomendado 1;***

  **Sk**: Pressão básica da neve, ***Sk=0,40 kN/m2***

  Portanto,
  ***Sk,v=u·Ce·Ct·Sk·cosθ=0,8·1·1·0,40 ·cos (10°)=0,315 kN/m2***

## Efeitos das ações a considerar

1. Carga permanente do módulo fotovoltaico G: ***0,1233 kN/m2***
2. Carga de neve Sk, v: ***0,315 kN/m²***
3. Ações do vento:
   - ***Wp: 0,6065 kN/m² Pressão***
   - ***Wp': -1,0614 kN/m² Sucção***

## Combinações de carga

Para o cálculoo de resistência no estado limite último:
- **Com carga de neve: 1,35 G + 0,9 Wp + 1,5 Sk,v**
- **Com carga de vento por pressão: *1,35 G + 1,5 Wp + 0,75 Sk,v***
- **Com carga de vento por sucção: 0,9 G + 1,5 Wp'**

***Nota*:**
- ***G***: peso próprio,
- ***Sk,v:*** carga de neve,
- ***Wp:*** representa a ação do vento por pressão,
- ***Wp':*** representa a ação do vento por sucção.

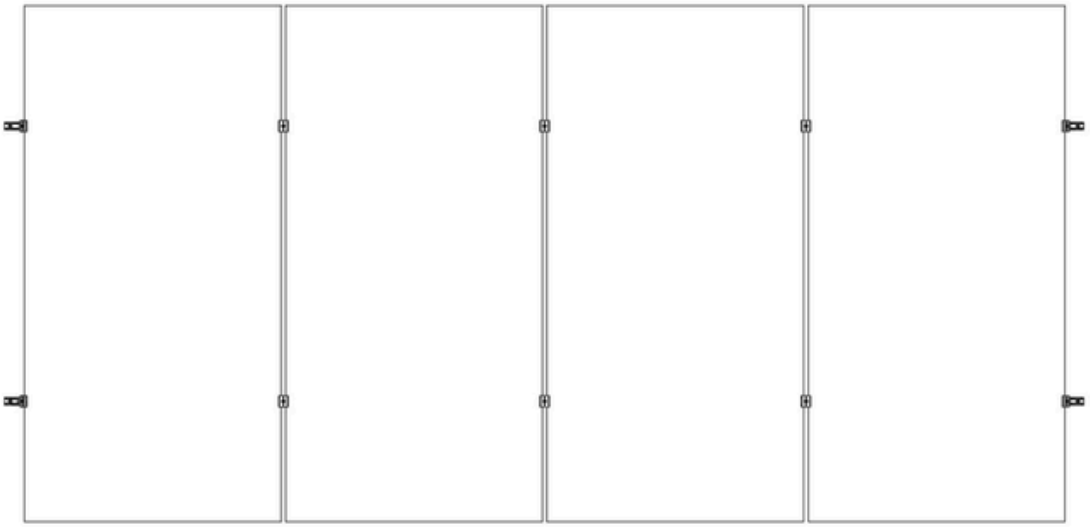
Para o cálculo da deflexão no estado limite de serviço, considere-se:
- **Com carga de neve: 1,0 G + 0,6 Wp + 1,0 Sk,v**
- **Com carga de vento por pressão: 1.0G + 1.0 Wp + 0,5 Sk,v**
- **Com carga de vento por sucção: 1.0G + 1.0 Wp'**

**Nota:**
- ***G:*** peso próprio,
- ***Sk,v:*** carga de neve,
- ***Wp:*** representa a ação do vento por pressão,
- ***Wp':*** representa a ação do vento por sucção.

# 4. CÁLCULOS DE LA ESTRUTURA

## DESCRIÇÃO ESTRUTURAL

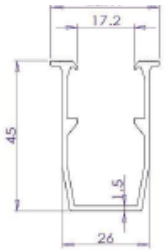
O presente projeto tem como exemplo a disposição de componentes 1x4.
A forma de pressão pontual corresponde a uma pressão média, que é partilhada por um trilho de 45U (150 mm).



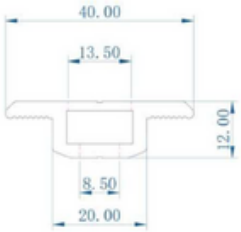
## VERIFICAÇÃO DAS PEÇAS

Verificar a resistência das peças sob ação.

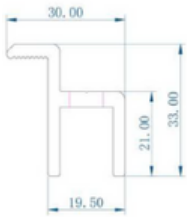
- **Propriedades do material do rail:**
  - **Material do rail: AL6005-T5.**
  - **As características geométricas da secção transversal do rail são as seguintes:**
    - ***Área da secção transversal A=163,7 mm²;***
    - ***Momento de inércia (eixo principal) I=16544,7 mm⁴;***
    - ***Módulo resistente W=1197 mm³***




- **Propriedades do material do ligador intermediário:**
  - **Material: AL6005-T5;**
  - ***Área efectiva A=199,7 mm²;***
  - ***Momento de inércia (eixo principal) I=31341,2 mm⁴;***
  - ***Módulo resistente W=1015,4 mm³***




- **Propriedades do material do ligador final:**
  - **Material: AL6005-T5;**
  - ***Área efectiva A=247,7 mm²;***
  - ***Momento de inércia (eixo principal) I=9051,2 mm⁴;***
  - ***Módulo resistente W=1330,1 mm³***



- **Cálculo de ações:**

Para o cálculo da resistência no estado limite último,

- **Cargas de neve:**(1,35 G + 0,9 Wp + 1,5 Sk,v) ·superfície pv (1,35·0,1233+ 0,9·0,6065 + 1,5·0,3151) ·2,278·1,134= **3,0612 kN**
- **Com vento descendente (pressão):** (1,35 G + 1,5 Wp + 0,75 Sk,v) ·superfície pv (1,35·0,1233 + 1,5·0,6065 + 0,75·0,3151) ·2,278·1,134= **3,3907 kN**
- **Com vento ascendente (sucção):** (0,9 G + 1,5 Wp') · superfície pv (0,9·0,1233 + 1,5·-1,0614) ·2,278·1,134= **-3,8261 kN**

A força exercida pelo vento de sucção é a mais significativa. Os cálculos baseiam-se nessa força,

- **Pressão na extremidade -3,8261 /4= -0,957 kN**
- **Pressão no meio -3,8261/2= -1,913 kN**

Para o cálculo da deflexão no estado limite de serviço:

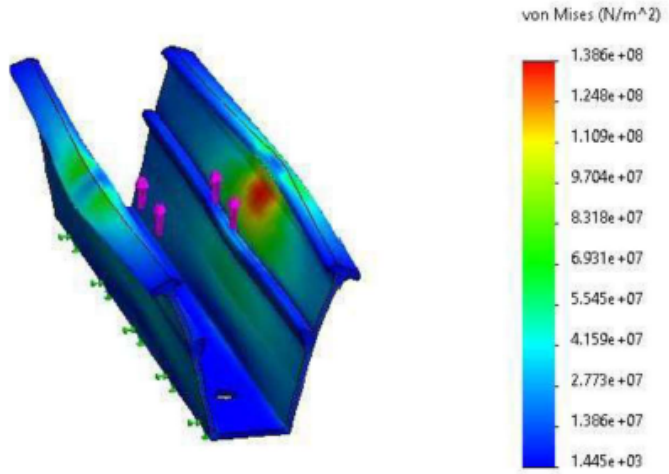
- **Cargas de neve:** (1,0 G + 0,6 Wp + 1,0 Sk,v) ·superfície pv (1,0·0,1233+ 0,6·0,6065 + 1,0·0,3151) ·2,278·1,134= **2,073 kN**
- **Com vento descendente (pressão):** (1,0 G + 1,0 Wp + 0,5 Sk,v) ·superfície pv (1,0·0,1233 + 1,0·0,6065 + 0,5·0,3151) ·2,278·1,134= **2,292 kN**
- **Com vento ascendente (sucção):**(1,0 G + 1,0 Wp') · superfície pv (1,0·0,1233 + 1,0·-1,0614) ·2,278·1,134= **-2,423 kN**

A força exercida pelo vento de sucção é a mais significativa. Os cálculos baseiam-se nessa força.

- **Pressão na extremidade -2,423/4= -0,606 kN**
- **Pressão no meio -2,423/2= -1,212 kN**

- **Análise de verificação de rail;**

1. ***Análise de modelação*** (pressão no meio)**.**

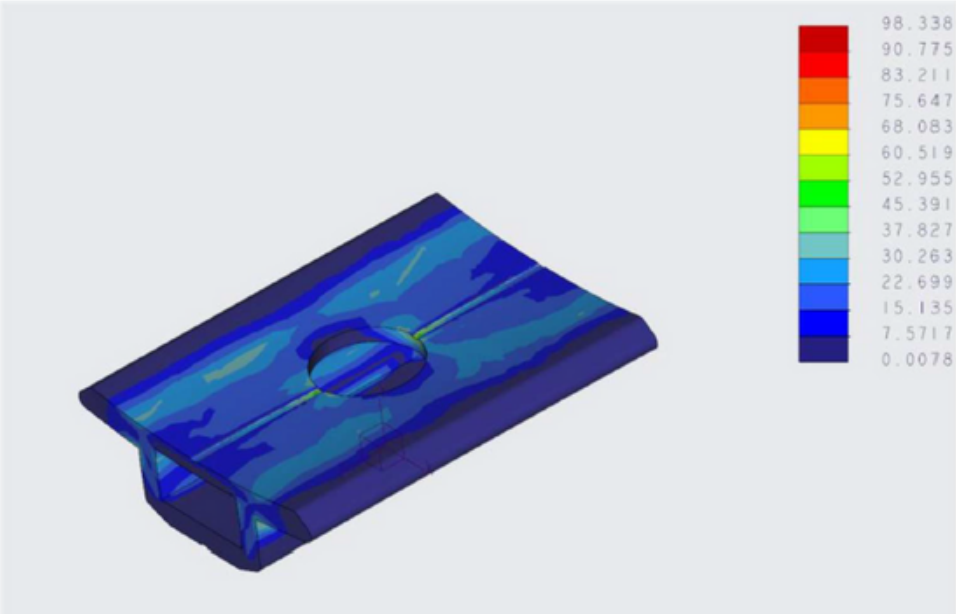


2. **Análise de verificação da tensão máxima no rail:**
   ***σ1=104,4 N/mm²<f=220 N/mm²***

**CONCLUSÃO: O trilho cumpre os requisitos**

- **Análise de verificação do ligador intermediário.**

1. ***Análise de modelação (pressão no meio).***

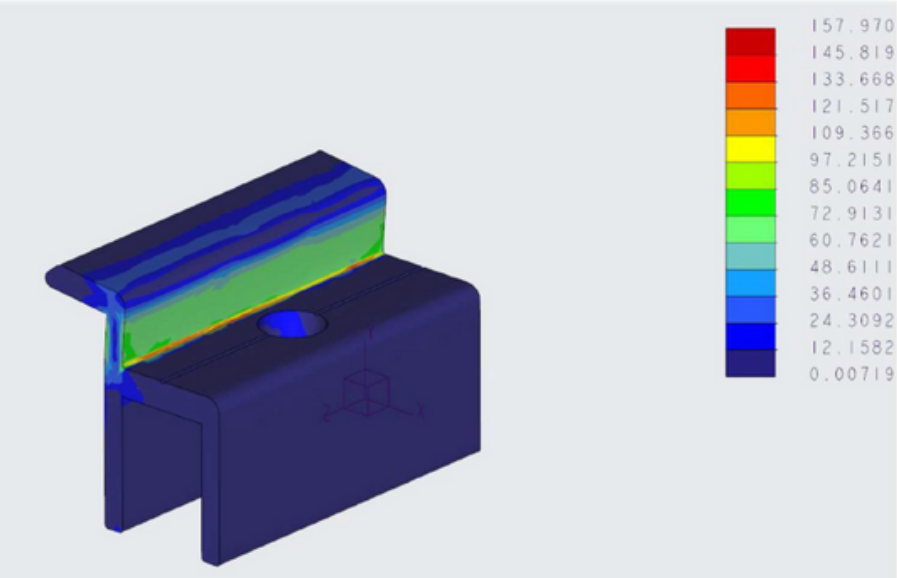



***2.Análise de verificação da tensão máxima no ligador intermediário:***
***σ1=98,3 N/mm²<f=220 N/mm²***

**CONCLUSÃO: o ligador intermédio cumpre os requisitos.**

- **Análise de verificação do ligador final**

1. ***Análise de modelação (pressão no meio).***



2. **Análise de verificação da tensão máxima no ligador final:**
   ***$\sigma 1=158\ N/mm^2<f=220\ N/mm^2$***

**CONCLUSÃO: o ligador final cumpre os requisitos.**

**CONCLUSÃO FINAL:**
**A resistência do sistema satisfaz todos os requisitos do projeto.**