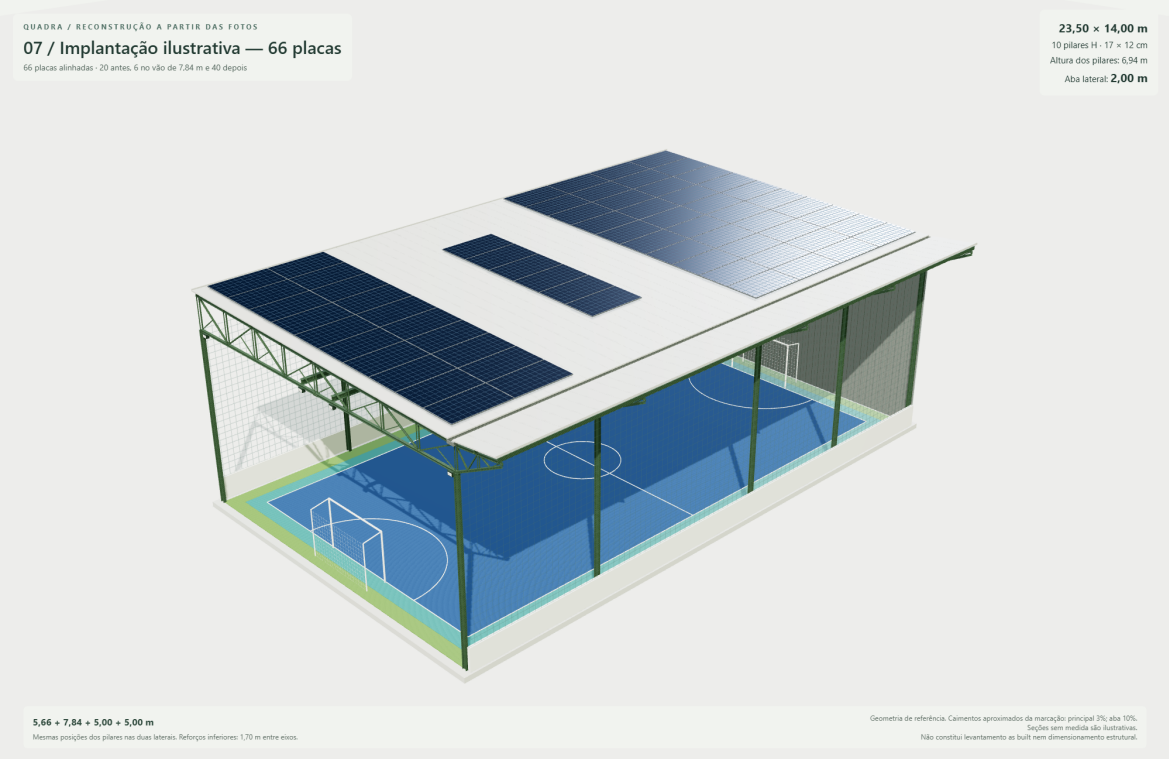
# 66 placas solares: o que a cobertura recebe

**Conclusão: ainda não é possível afirmar que a estrutura existente suporta a instalação.** O estudo quantifica o acréscimo de peso e compara soluções para orientar a vistoria e o cálculo. Não houve ensaio físico, modelo estrutural calibrado, verificação de resistência ou liberação para montagem.




| Potência nominal | Somente módulos | Com fixação hipotética |
|---|---|---|
| 47,19 kWp | 2.488,2 kg | 3.103,3 kg |

Referência autorizada: **DMEGC DM715G12T-B66HSW**, 715 W, 37,7 kg e 2.384 × 1.303 × 33 mm por módulo. O acréscimo de fixação de 3 kg/m² de módulos é uma hipótese de estudo, a substituir pelo sistema escolhido. [1]

## Direção para o estudo de solução

Verificar primeiro as terças e suas ligações no vão de **7,84 m**. Comparar a estrutura atual com tesouras adicionais: opção B, vãos até 3,92 m; opção C, vãos até 2,83 m. A opção C reduz mais a demanda por vão, porém exige mais estrutura e apoios. Nenhuma opção está dimensionada ou declarada ideal.

A altura aproximada de 1 m da tesoura foi usada apenas como referência geométrica. A indicação “chapa 14” não identifica a seção nem o aço. O espaçamento de 1,71 m foi confirmado entre terças, e não entre tesouras.

# 1. Dados e peso adicional

| Informação | Base do estudo |
|---|---|
| Local | Maple Bear Bessa, João Pessoa/PB, indicado pelo solicitante. Endereço exato e exposição a confirmar no levantamento. |
| Geometria | 23,50 × 14,00 m entre eixos; pilares com 6,94 m; aba unilateral de 2,00 m. |
| Pilares | 10 perfis H, envelope externo informado de 17 × 12 cm. Espessuras e material desconhecidos. |
| Cobertura | Tesouras nos cinco eixos do modelo: 0 / 5,66 / 13,50 / 18,50 / 23,50 m. Geometria executada ainda precisa ser medida. |
| Terças e reforços | Terças a 1,71 m, confirmado. Duas linhas de reforço inferior a 1,70 m entre eixos. |
| Chapa 14 | Em tabela comercial MSG, corresponde a 1,90 mm. Aplicação às peças, espessura efetiva, tolerâncias e corrosão não foram confirmadas. [4] |

## Cálculo auditável

66 × 715 W = **47,19 kWp** (potência elétrica, não carga mecânica).
66 × 37,7 kg = **2.488,2 kg** de módulos.
66 × 2,384 × 1,303 = **205,02 m²** de módulos.
Fixação hipotética: 3 × 205,02 = **615,1 kg**.
Peso adicional: 3.103,3 × 9,80665 / 1.000 = **30,43 kN**.

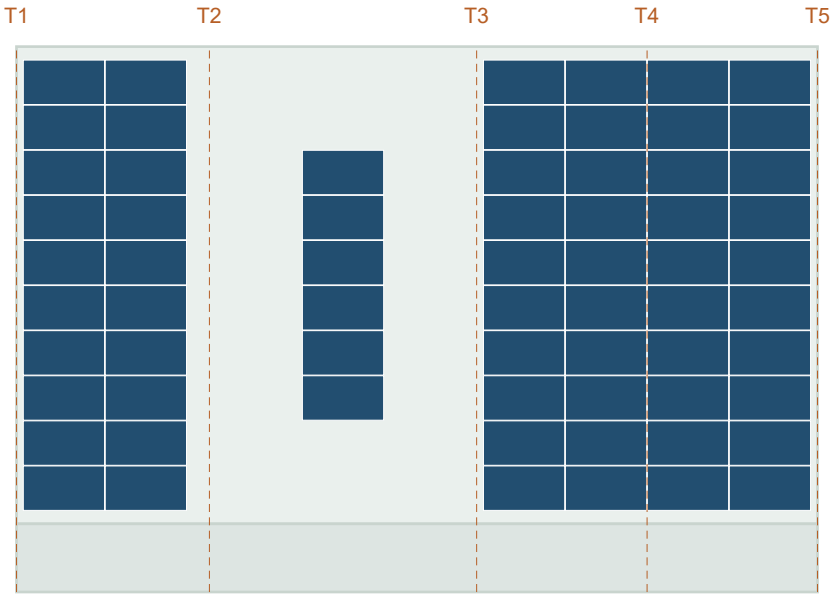
| Fixação assumida | Massa total adicional | Peso adicional |
|---|---|---|
| 1 kg/m² | 2.693,2 kg | 26,41 kN |
| 3 kg/m² | 3.103,3 kg | 30,43 kN |
| 5 kg/m² | 3.513,3 kg | 34,45 kN |

Média global sobre 329,00 m²: **0,0925 kN/m²** (9,43 kg/m²). Sobre a área dos módulos: **0,1484 kN/m²** (15,14 kg/m²). A média global não representa a carga local em cada terça ou grampo.

Não incluídos: telhas e aço existentes, passarelas, inversores/equipamentos, cabos além da hipótese de fixação, manutenção, vento, água acumulada e etapas de montagem. Não é a carga total de projeto.

# 2. Ocupação e distribuição do peso

Implantação revisada: 66 módulos em dez fileiras alinhadas, com **20 antes do vão de 7,84 m, 6 sobre ele e 40 depois**. Aba e calha livres. Recuos geométricos de cerca de 20 cm nas pontas e 40 cm nas laterais: adequação ao vento, ao acesso e às fixações ainda não verificada.




Aba 2,00 m sem módulos | calha no encontro y = 0

Envelope máximo: 23,096 × 13,210 m, com folga geométrica de 20 mm entre módulos. A inclinação de 3% causa diferença de projeção inferior a 0,05%, desprezada nesta planta. Trilhos e acesso podem alterar a implantação.

## Cenário global uniforme, separado da planta acima

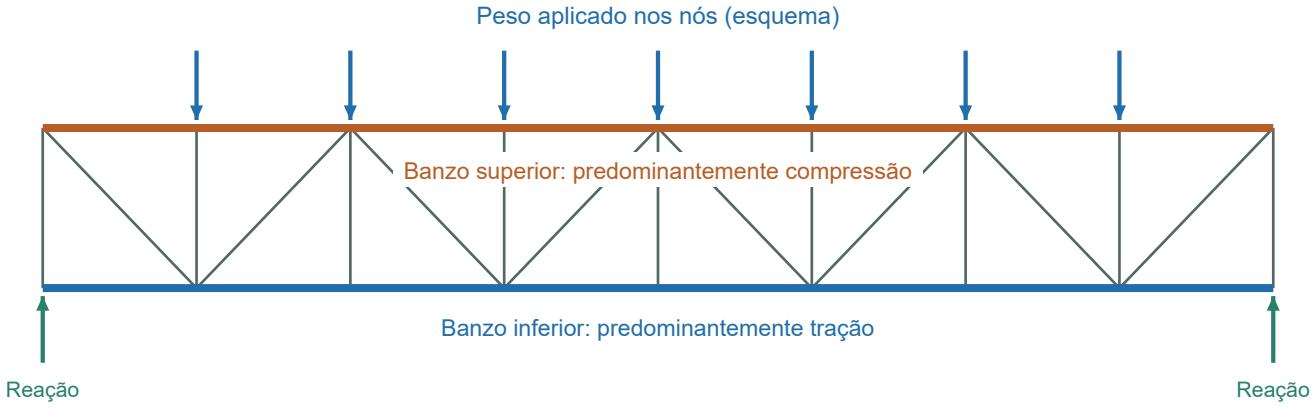
Para visualizar a transferência de carga, distribui-se o peso adicional de 30,43 kN uniformemente nos 23,50 × 14,00 m. As terças são idealizadas simplesmente apoiadas e as tesouras recebem metade de cada vão vizinho. Não são as reações exatas da implantação desenhada.

| Tesoura / eixo | Faixa tributária | Carga na tesoura | Por pilar* |
|---|---|---|---|
| T1 / 0,00 m | 2,83 m | 3,66 kN | 1,83 kN |
| T2 / 5,66 m | 6,75 m | 8,74 kN | 4,37 kN |
| T3 / 13,50 m | 6,42 m | 8,31 kN | 4,16 kN |
| T4 / 18,50 m | 5,00 m | 6,48 kN | 3,24 kN |
| T5 / 23,50 m | 2,50 m | 3,24 kN | 1,62 kN |

*Divisão simétrica entre os dois apoios. Soma das dez reações = 30,43 kN. A continuidade real, o arranjo dos trilhos, excentricidades e a ocupação parcial podem modificar e concentrar essas reações.

# 3. Como a treliça trabalha

**Caminho das cargas:** módulo → grampos → trilhos → fixações na estrutura → terças → nós das tesouras → pilares → bases, chumbadores e fundações → solo. A telha, por si só, não substitui uma ligação estrutural verificada.




Os banzos formam um par de forças que resiste à flexão; as diagonais e os montantes transferem o cortante. Isso vale para o esquema simplesmente apoiado sob peso vertical. Com sucção do vento ou ligações de pórtico, sinais e esforços podem mudar. Cargas entre os nós também produzem flexão local nos banzos. [3]

## Ordem de grandeza: apenas o acréscimo solar

No cenário uniforme da página anterior, T2 recebe faixa de 6,75 m: w = 0,0925 × 6,75 = **0,624 kN/m** ao longo dos 14 m. Para tesoura ideal simplesmente apoiada e h = 1,00 m:

| Grandeza | Relação simplificada | Resultado |
|---|---|---|
| Reação por apoio | R = w L / 2 | 4,37 kN |
| Momento equivalente máximo | M = w L² / 8 | 15,30 kN.m |
| Força aproximada de banzo | N ≈ M / h | 15,30 kN |

São demandas incrementais sem coeficientes de combinação; não são resistências disponíveis. Somar o peso existente e as demais ações antes de verificar se cada barra e ligação atende. Dividir a força pela área bruta não verifica flambagem, instabilidade lateral ou ligações.

## Peso próprio da estrutura

Calcular pela seção medida: massa ≈ 7.850 × soma(A × comprimento), com A em m². Por exemplo, 1 cm² de aço corresponde a cerca de 0,785 kg por metro. Para dois U, somar as áreas dos dois perfis; a atuação conjunta depende das soldas e dos travamentos. Não há dados para estimar com confiança o peso do aço existente.

# 4. Flecha: cenários, não previsão da quadra

**Flecha real: indeterminada com os dados atuais.** Espessura, área dos banzos, seções das diagonais, comprimentos destravados, emendas e rigidez das ligações alteram o deslocamento. O modelo 3D visual não é um modelo de elementos finitos validado.

## Sensibilidade de uma idealização elástica

Aproximação de dois banzos iguais com área A em cada banzo e distância h entre seus eixos: **$I_{eq} \approx A\,h^2 / 2$**. Para carga uniforme, **flecha de flexão $\approx 5\,w\,L^4 / (384\,E\,I_{eq})$**. Adota-se E = 200 GPa, L = 14 m e w = 0,6244 kN/m, somente do acréscimo solar uniformizado. A área é de cada banzo completo, incluindo ambos os perfis quando compostos.

| Área A por banzo | h = 0,80 m | h = 1,00 m | h = 1,20 m |
|---|---|---|---|
| 4 cm² | 12,20 mm | 7,81 mm | 5,42 mm |
| 8 cm² | 6,10 mm | 3,90 mm | 2,71 mm |
| 12 cm² | 4,07 mm | 2,60 mm | 1,81 mm |

**Esses valores são apenas a parcela de flexão dos banzos idealizados.** Não incluem deformações de diagonais/montantes, folgas, flexão local, flexibilidade de apoios, imperfeições ou efeitos de segunda ordem. Não podem ser apresentados como flecha total, margem de segurança ou aprovação da estrutura existente. As áreas da tabela foram escolhidas para comparação, não medidas na obra.

## O que significa a tesoura ter aproximadamente 1 m

Para vão de 14 m, L/h ≈ 14. A altura ajuda a separar os banzos e reduzir seus esforços, mas não determina sua resistência. Nesta idealização, mantendo a mesma área, elevar h de 1,00 para 1,20 m reduz a força de banzo em cerca de 17% e a parcela de flecha em cerca de 31%. Isso não autoriza modificar uma tesoura existente.

## Como obter o deslocamento real

Levantar a geometria de todos os nós e apoios; medir seções e perdas por corrosão; identificar ligações e travamentos; montar modelo de barras com rigidez real e flexão nos elementos carregados fora dos nós. Analisar as combinações de serviço e conferir flechas, deslocamentos relativos, rotação dos apoios e interferência com telhas, módulos e drenagem.

Os critérios de deslocamento devem vir das normas e dos fabricantes aplicáveis à configuração final. Não foi adotado um limite normativo para declarar atendimento. Aumentar a altura ou a espessura não resolve automaticamente uma ligação fraca, um apoio flexível ou um modo de flambagem.

# 5. Terças: vão, seção e chapa 14

Há três distâncias diferentes: **1,71 m entre terças**; **até 7,84 m entre tesouras** no modelo atual; e **espaçamento de trilhos/grampos** específico do módulo. Elas não são intercambiáveis. A altura de 1 m é da tesoura, não da terça.

## Por que o vão livre tem grande efeito

Para uma terça simplesmente apoiada, com mesma carga linear w e mesma rigidez EI: momento $M = w l^2 / 8$; flecha $= 5 w l^4 / (384 E I)$. Dividir 7,84 m em dois vãos de 3,92 m reduz o momento a 25% e a flecha a 6,25%, nesta idealização. A continuidade e os apoios reais precisam ser modelados.

## Triagem de rigidez para comparar alternativas

**Exemplo hipotético, não carga do Bessa:** pressão total de 1,00 kN/m², terças a 1,71 m, w = 1,71 kN/m e E = 200 GPa. Usa-se l/250 apenas como régua comparativa, sem afirmar que seja o limite normativo aplicável. Ireq abaixo é o momento de inércia necessário nessa conta de flexão simples.

| Vão da terça | M máximo | Flecha de referência | Ireq ilustrativo |
|---|---|---|---|
| 7,84 m | 13,14 kN.m | 31,36 mm | 1.341,2 cm⁴ |
| 5,66 m | 6,85 kN.m | 22,64 mm | 504,7 cm⁴ |
| 3,92 m | 3,28 kN.m | 15,68 mm | 167,6 cm⁴ |
| 2,83 m | 1,71 kN.m | 11,32 mm | 63,1 cm⁴ |
| 2,50 m | 1,34 kN.m | 10,00 mm | 43,5 cm⁴ |

Para outra carga distribuída, momento e Ireq variam proporcionalmente. Cargas pontuais dos trilhos, flexão oblíqua da cobertura, instabilidade lateral, flambagem local e distorcional, seção efetiva e esmagamento da alma nos apoios não estão verificados nessa tabela.

## Qual perfil e espessura seriam ideais?

**Não é possível especificar um perfil seguro pela bitola da chapa ou pela potência das placas.** “Chapa 14” pode corresponder nominalmente a 1,90 mm na referência comercial consultada, mas a altura, mesas, enrijecedores, aço e travamentos mudam a capacidade. [4]

Para selecionar o perfil, obter A, Ix/Iy, módulos resistentes, espessura efetiva e propriedades de torção; verificar tração, compressão, flexão, cisalhamento e interações nas combinações aplicáveis. Para perfis formados a frio, incluir a NBR 14762. A escolha final pode envolver perfis maiores, compostos, menor vão ou um sistema novo independente; não apenas chapa mais grossa.

A tabela é um filtro inicial de alternativas. Não equivale a catálogo de perfis aprovados, cálculo de resistência ou lista de compra.

# 6. Alternativas de espaçamento

As alternativas mantêm os eixos existentes e apenas subdividem os intervalos. Cada nova tesoura precisa de apoio nas duas extremidades: novos pilares e fundações ou vigas de transferência calculadas. Apoiar novas tesouras em peças longitudinais existentes sem verificá-las não cria capacidade garantida.

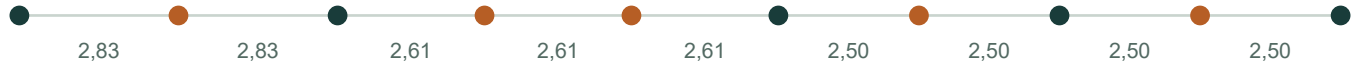
A - atual




B - subdivisao ao meio




C - vaos ate 2,83 m




Pontos escuros: tesouras atuais do modelo. Pontos laranja: tesouras adicionais. Medidas entre pontos em metros.

| Arranjo | Tesouras | Novas tesouras / apoios* | Maior vão | M / flecha relativos** |
|---|---|---|---|---|
| A | 5 | 0 / 0 | 7,84 m | 100,0% / 100,0% |
| B | 9 | 4 / 8 | 3,92 m | 25,0% / 6,2% |
| C | 10 | 5 / 10 | 2,83 m | 13,0% / 1,7% |

*Número de novas colunas, se houver apoio direto em cada extremidade. Exige verificação das fundações e interferências.
**Comparação apenas da terça no maior vão: mesma seção, mesma carga linear e apoios simples; A = 100%. Não representa redução do peso total, que aumenta com o aço novo.

## Base útil para discutir no local

**Opção B:** 9 tesouras, vãos de 2,83 / 2,83 / 3,92 / 3,92 / 2,50 / 2,50 / 2,50 / 2,50 m. É uma alternativa com menos peças novas que C.
**Opção C:** 10 tesouras, vãos de 2,83 / 2,83 / 2,61 / 2,61 / 2,61 / 2,50 / 2,50 / 2,50 / 2,50 m. Prioriza a redução dos vãos das terças.

Comparar B e C com a possibilidade de reforçar/substituir apenas as terças e ligações do arranjo atual. O “ideal” resulta do atendimento estrutural, acesso, interferências, fundações e custo. Sem essas verificações, C é uma alternativa de concepção para análise, não uma recomendação executiva.

# 7. Vento, fixações e drenagem

Local informado: Bessa, João Pessoa/PB. O estado ou a cidade não bastam para fechar vento: verificar posição da quadra, altura total, entorno, topografia, permeabilidade, aberturas e importância de uso. As fotos mostram laterais abertas; não se deve tratá-la automaticamente como galpão fechado.

## Vento pode inverter os esforços

Sob sucção, módulos e cobertura tendem a levantar; os banzos podem trocar tração por compressão. Devem ser verificados grampos, trilhos, arrancamento das fixações, terças, tesouras, contraventamentos, pilares, bases e fundações. A estabilidade fora do plano é tão relevante quanto o desenho triangular da tesoura.

| Pressão líquida hipotética | Força sobre 205,02 m² |
|---|---|
| 0,50 kPa | 102,51 kN |
| 1,00 kPa | 205,02 kN |
| 1,50 kPa | 307,53 kN |

A tabela mostra apenas sensibilidade, usando força = pressão × área. Não é o vento calculado para o local, não inclui combinações e não pode ser usada para dimensionar ancoragens. As ações nas placas e na cobertura precisam ser compatibilizadas para evitar dupla contagem.

## Resistência do módulo não é resistência do telhado

A ficha informa cargas de teste de 5.400 / 2.400 Pa e de projeto de 3.600 / 1.600 Pa, condicionadas à instalação aplicável. Isso se refere ao módulo, não à quadra. O manual diferencia métodos de fixação e valores de teste/projeto. [1, 2]

Exemplo de leitura do manual, não detalhe de montagem aprovado: no método Clamp-A para a família G12T-B66, a posição S é (L/5 ± 50 mm). Para L = 2.384 mm, são 426,8 a 526,8 mm a partir das extremidades indicadas na figura do fabricante. A distância entre linhas simétricas resulta em 1,330 a 1,530 m; portanto 1,71 m entre terças não define automaticamente onde prender o módulo. [2, p.15]

## Água, durabilidade e montagem

Manter acesso à calha e conferir a drenagem com a deformação da cobertura. Apenas 5 cm de água acumulada correspondem a cerca de 50 kg/m², cerca de 0,49 kN/m². Esse é um exemplo de acumulação, não uma previsão do local. Investigar exposição salina e corrosão em chapas, soldas, parafusos e bases; a proteção deve ser especificada para a exposição encontrada.

O armazenamento de lotes de placas durante a montagem gera cargas concentradas diferentes da carga final distribuída. O planejamento de içamento, apoio temporário e proteção da área da quadra precisa fazer parte do projeto.

# 8. Verificação que falta e referências

**Resultado deste estudo:** carga solar estimada e alternativas geométricas comparadas. **Aguenta / não aguenta, perfil ideal, resistência e flecha total permanecem sem determinação.** Esses resultados exigem levantamento e cálculo por engenheiro estrutural habilitado, com responsabilidade técnica correspondente.

| Verificação | Dados / resultado necessário |
|---|---|
| Levantamento | Perfis de todos os banzos, diagonais, montantes, terças e pilares; espessura por medição, aço, corrosão, geometria, ligações, apoios e travamentos. |
| Sistema solar | Modelo e revisão da ficha, implantação final, massa e geometria dos trilhos, grampos, fixações, excentricidades e acesso. |
| Ações e combinações | Peso próprio e equipamentos; manutenção; vento local; água acumulada quando aplicável; fase de montagem; estados limites últimos e de serviço. |
| Resistência e estabilidade | Barras, flambagens, flexão/cisalhamento, ligações, estrutura espacial, pilares, bases, chumbadores e fundações. |
| Deslocamentos | Flechas e rotações totais e incrementais; compatibilidade com módulos, telhas, grampos e calha. |
| Entrega executiva | Memorial, detalhes, quantitativos, sequência de intervenção e inspeções. Ensaio de carga, se necessário, deve ser projetado e supervisionado, não improvisado com placas. |

## Referências consultadas em 17/11/2026

1. DMEGC - ficha DM710-735G12T-B66HSW, revisão 20260107. Dimensões, massa e cargas do módulo.

2. DMEGC - manual oficial de instalação, arquivo publicado em 2026-07; família G12T-B66, páginas 14-15.

3. Steel Construction Institute / BCSA - Trusses. Comportamento de banzos, barras e estabilidade.

4. ArcelorMittal - Chapas e blanks. Correspondência comercial MSG 14 / 1,90 mm.

5. ABECE - Normas técnicas. Referências para vento, aço e combinações; confirmar as edições e erratas aplicáveis no projeto.

Normas a aplicar conforme o sistema e suas edições vigentes: NBR 6120 (ações), NBR 6123 (vento), NBR 8681 (segurança e combinações), NBR 8800 (aço), NBR 14762 (perfis formados a frio) e NBR 6122 (fundações). Este estudo não reproduz uma verificação normativa completa.

Rastreabilidade: resultados.json contém os números; calculos.py contém as fórmulas e as conferências de equilíbrio. O arquivo cargas_adicionais.csv corresponde exclusivamente ao cenário uniforme da página 3. O 3D mostra o arranjo atual com as placas, sem inserir as tesouras das alternativas B/C.