

Uni-ANHANGUERA – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA DE UM GINÁSIO EM
ESTRUTURA ESPACIAL: ESTUDO DE CASO

TAYRINE TURONIS PEREIRA FRANCO

GOIÂNIA

Novembro/2018

TAYRINE TURONIS PEREIRA FRANCO

**DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA DE UM GINÁSIO EM
ESTRUTURA ESPACIAL: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, sob orientação do Professor Me. Eduardo Mariano Cavalcante de Castro, como requisito parcial para obtenção do bacharelado em Engenharia Civil.

GOIÂNIA
Novembro/2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

TAYRINE TURONIS PEREIRA FRANCO

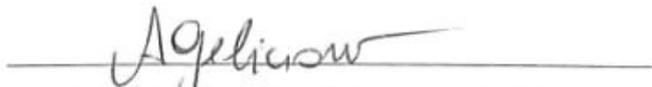
DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA DE UM GINÁSIO EM ESTRUTURA
ESPACIAL: ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para obtenção do Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, defendido e aprovado em 12 de Novembro de 2018, pela banca examinadora constituída por:



Professor Me. Eduardo Mariano Cavalcante de Castro

Orientador



Professor Esp. Aurélio Caetano Feliciano

Membro



Professor Me. Joaquim Orlando Parada

Membro

Resumo

Este artigo tem como objetivo apresentar uma nova proposta de concepção estrutural em treliça espacial, para a cobertura um ginásio, originalmente projetada em treliça plana. A substituição do sistema estrutural empregado na cobertura se justifica na obtenção de melhora no aspecto estético, bem como no aproveitamento do desempenho estrutural de treliças espaciais submetidas a grandes vãos. O estudo abrange dentre outras atribuições, as adaptações necessárias ao projeto arquitetônico devido alteração do sistema estrutural da cobertura e determinação de cargas baseadas em normas técnicas vigentes, catálogos técnicos e características dimensionais da estrutura, bem como análise estrutural dos elementos de composição da treliça espacial (tubos e perfis de aço), considerando para tal, os maiores esforços de tração, compressão, flexão e combinações derivadas desses esforços. O dimensionamento geral utilizou os softwares SAP2000 para análise estrutural e MCalcPerfis – Stabile para verificação dos perfis de aço. A estrutura se compõe em máxima por tubos industriais redondos, suporte de terças (“L”) e perfis do tipo “U” enrijecido e caixa. Embora algumas adaptações no projeto arquitetônico tenham sido estritamente necessárias, estas foram evitadas ao máximo, evidenciando um estudo de caso.

PALAVRAS-CHAVE: Estrutura metálica. Construção Civil. Grandes vãos.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de estruturas de aço é cada vez mais crescente no Brasil, isto se justifica no conjunto de vantagens obtidas na utilização do sistema, tais como, facilidade de adaptação de projeto, rapidez de montagem, processo de produção industrial, viabilidade econômica e considerável redução do peso próprio da estrutura (FREITAS, 2008).

Dentre as soluções estruturais em aço, como recurso à sustentação de coberturas com grandes vãos se destaca as treliças espaciais. São estruturas leves, geometricamente harmônicas e que apresentam notável uniformidade na distribuição das cargas sendo utilizados especialmente em grandes obras, como terminais rodoviários e aeroviários, ginásios e hangares (FURTINI, 2005).

Treliça espacial é um caso particular de estruturas espaciais, sua formação ocorre por elementos de barra, dispostos de forma não coplanar e ligadas por dispositivos denominados “nós”. Possui considerável desempenho ao vencer grandes vãos, aliado ao alto fator de segurança, em decorrência de sua maior hiperestaticidade em relação às estruturas convencionais (SOUZA; GONÇALVES, 2007).

Intrínseca leveza e a agradável estética são características relevantes em estruturas espaciais, proporcionadas pela similaridade das dimensões dos elementos que as compõe e detalhes dos nós. São estruturas que apresentam relevante desempenho estrutural, sendo empregadas especialmente em casos onde se dispõe de um número reduzido de apoios. (MAIOLA; MALITE, 2002).

O parâmetro estético é um fator significativo no aspecto visual, uma das particularidades que mais favorece a utilização de treliças espaciais em relação às estruturas convencionais (SOUZA, 2003). A versatilidade disponibilizada por este tipo de estrutura é uma propriedade importante a ser citada, pois proporciona simplificação na instalação de elementos como forros, proteção contra o fogo, dispositivos necessários à movimentação de carga em edificações industriais. (SOUZA; MALITE, 2005).

Este artigo apresenta um estudo de caso, envolvendo o dimensionamento da estrutura de cobertura de um ginásio em treliça espacial. O projeto arquitetônico prevê aplicação de treliça plana e uma área de projeção da cobertura de 3005,63 m², sendo assim, trata-se do emprego de um sistema de estrutura de cobertura alternativo, objetivando o mínimo possível de intervenções no projeto de arquitetônico, embora estas tenham sido necessárias em decorrência da alteração do sistema estrutural previsto e visando tornar a estrutura mais econômica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A estrutura da cobertura será dimensionada utilizando treliça espacial, associando características principais do projeto arquitetônico e projeto estrutural da cobertura em treliça plana. Como recurso à análise estrutural do modelo em treliça espacial foi utilizado o Software SAP 2000, com importação do unifilar moldado no software de AutoCAD. Nesta seção estão descritos todos os processos empregados na concepção da estrutura, bem como o memorial de cálculo referente ao dimensionamento da cobertura espacial e critérios considerados nestes.

2.1 Projeto original em treliça plana

O projeto inicial em treliça plana foi desenvolvido pelo engenheiro estrutural Eduardo Mariano Cavalcante de Castro e cedido para estudo e redimensionamento da cobertura em treliça espacial, como estudo de caso. Como dados relevantes para permitir um parâmetro comparativo entre os dois sistemas estruturais disponíveis, o projeto em treliça plana possui área de projeção de cobertura de 2.763,47 m², um peso total de aço de 54.670 quilogramas. Tem-se por principal objetivo identificar e adaptar possíveis incompatibilidades, provenientes da substituição do sistema inicial de cobertura o máximo aproveitamento das vantagens obtidas pelo uso de treliças espaciais.

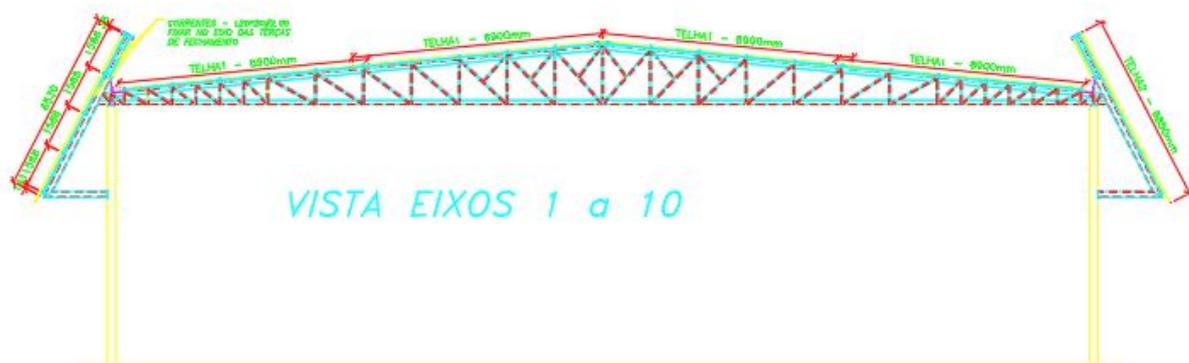


Figura 1. Treliça e projeção do fechamento lateral do projeto original em treliça plana.
Fonte: Projeto estrutural da cobertura em treliça plana (2006).

A configuração geométrica utilizada na estrutura espacial foi definida em princípio de acordo com especificações arbitradas pelo projeto arquitetônico aliado ao projeto original em treliça plana, de modo a equilibrar a locação dos elementos de sustentação com a estrutura

da cobertura em treliças espaciais, obter um sistema econômico e uma concepção geométrica com o máximo desempenho estrutural possível.

2.2 Dimensões básicas

O projeto arquitetônico prevê como elementos de apoio um total de vinte e dois pilares de concreto, dispondo de onze para cada lado, locados lateralmente à 7,02 metros de distância eixo a eixo, enquanto a distância entre os dois pilares frontais e de fundo é de 34,90 metros. Portanto a dimensão geral do ginásio quanto à arquitetura é de 34,90 metros por 70,2 metros. A figura 2 corresponde ao projeto de arquitetura do Ginásio e dispõe da localização dos elementos de apoio.

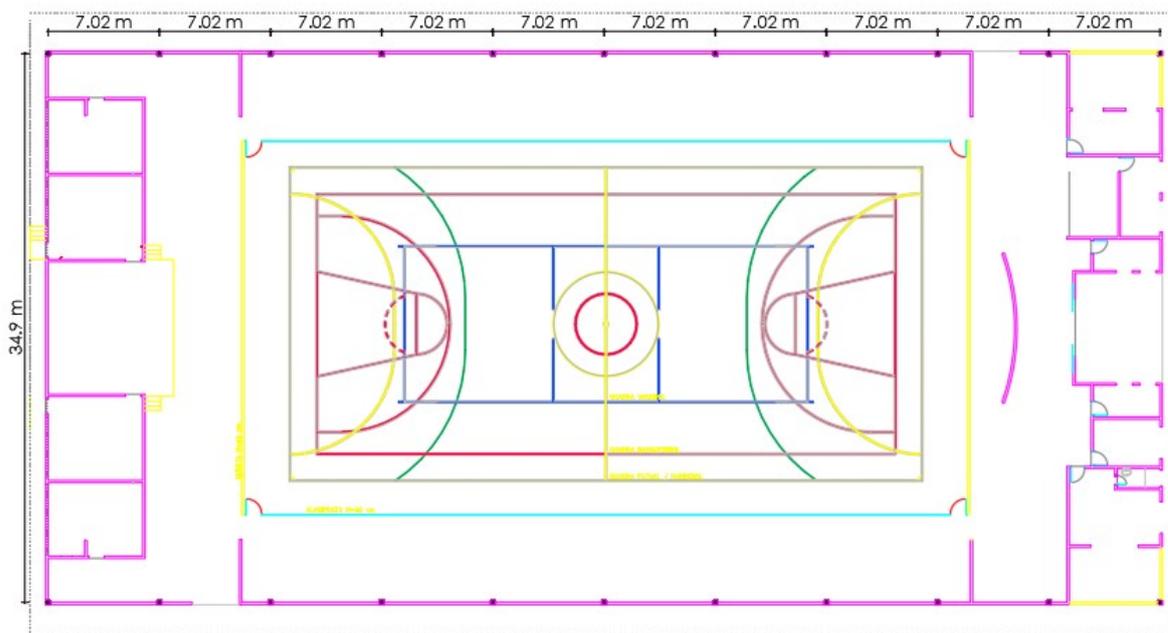


Figura 2 . Localização dos elementos de apoio – Projeto arquitetônico.
Fonte: Projeto arquitetônico do Ginásio em estudo (2006).

2.3 Adaptações e sistema geométrico adotado para a treliça espacial

Como previsto, foram necessárias algumas adaptações em relação ao projeto arquitetônico, no geral em decorrência de três fatores principais, são eles, favorecer a simetria das barras que compõe a treliça espacial, alteração da inclinação do fechamento lateral para corresponder a inclinação das novas diagonais e redução da inclinação da cobertura para reduzir a altura do telhado.

Foram adotados módulos de 3,51 metros de largura. Com uma distância entre pórticos de 7,02 metros, assim são necessários exatamente dois módulos para compor o vão, entre elementos de apoio lateral. Devido à simetria dos módulos, a distância de eixo a eixo entre pilares frontais e de fundo foi alterada de 34,90 metros para 35,1 metros, dessa forma, são necessários a quantia exata de 10 módulos para compor o vão frontal da estrutura. Portanto, as dimensões do ginásio passam a ser 35,1 por 70,2 metros. A figura 3 é uma representação da configuração geométrica da malha espacial adotada.

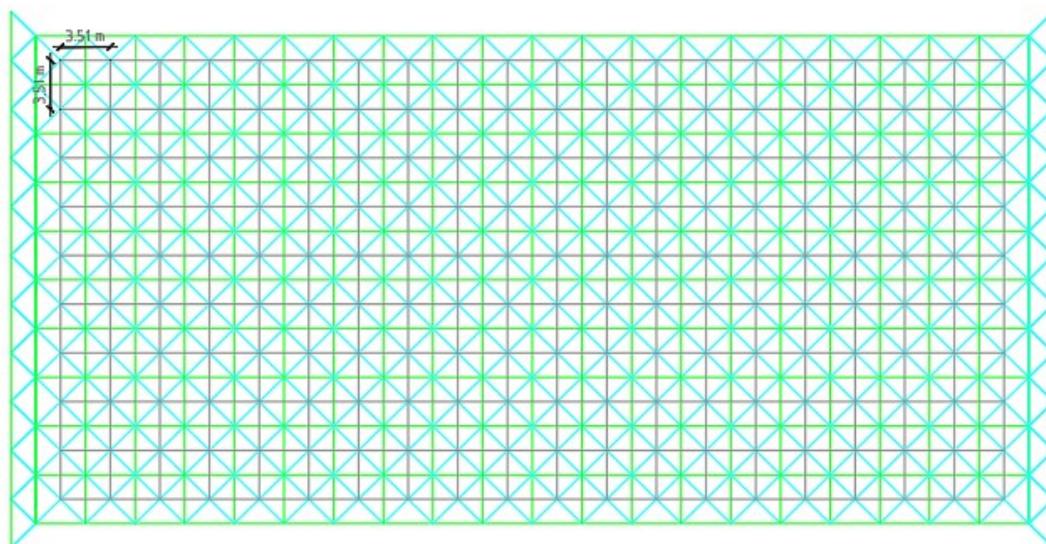


Figura 3. Vista superior – Configuração geométrica da malha adotada.
Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Os fechamentos laterais, frontal e de fundo foram moldados de forma a satisfazer o projeto arquitetônico, com projeção inclinada em todas as faces da estrutura, embora as inclinações tenham sido alteradas. O ângulo de inclinação previsto pelo projeto arquitetônico de 63° foi alterado para 55° no fechamento lateral e 62° para o fechamento frontal e de fundo.

Como recurso para tornar o projeto em estrutura espacial mais econômico, optou-se por retirar a platibanda que oculta o telhado, sendo assim, para melhor apresentação estética da estrutura, foi alterada a inclinação prevista para o telhado de 12% para 5%. Adotou-se, portanto, a telha tipo trapezoidal TP-100, com espessura de aço de 0,5 mm, que conforme catálogo do fabricante atende a nova inclinação solicitada (5%) e o vão entre terças de 3,51 metros. A figura 4 faz referência a alteração da inclinação da cobertura.

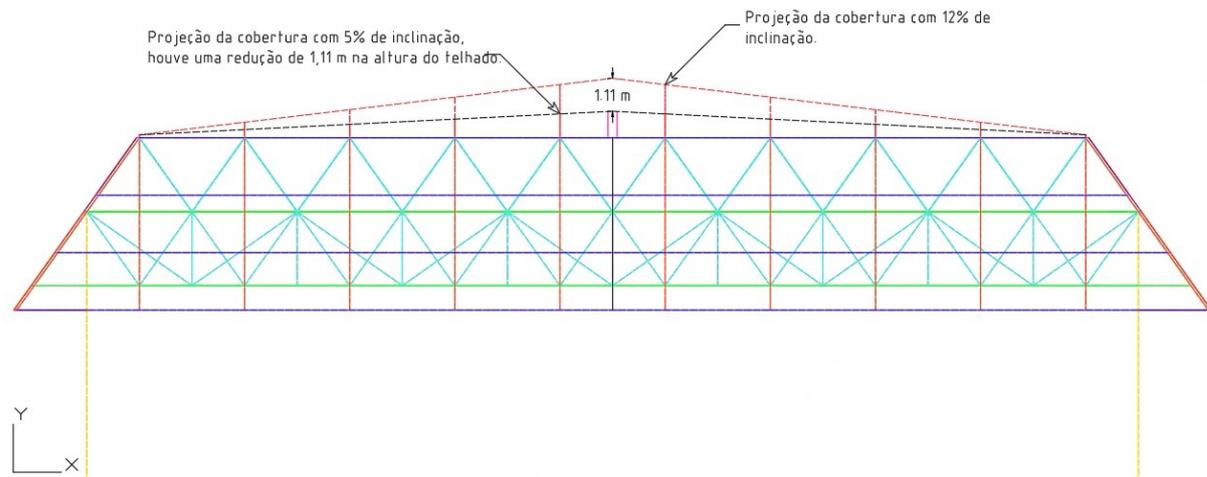


Figura 4. Vista frontal - Projeção do telhado antes e após alteração da inclinação.
 Fonte: elaborado pelo autor (2018).

O sistema geométrico foi definido de acordo com as diretrizes apontadas pelo autor Silva (200-) e baseado nas dimensões do projeto arquitetônico e respectivas adaptações. Sendo o módulo adotado de 3,51 metros, a altura construtiva será o produto do módulo pelo fator 0,707, portanto $h = 2,48$ m, desse modo o comprimento das barras que compõe os banzos e diagonais da treliça espacial são padronizados.

É possível variar a altura construtiva da estrutura em um intervalo de 0,3 a 0,4 do módulo, com altura mínima, até um máximo de 1,1 vezes o comprimento do módulo (SILVA, 200-). A tabela 1 faz uma correlação dos limites permitidos entre vão, módulo e a altura construtiva. O maior vão da estrutura em estudo é de 35,1 metros, sendo assim, de acordo com a tabela 1, módulo adotado e altura construtiva calculada satisfaz os limites propostos.

Tabela 1. Tabela de intervalos ideais para treliças espaciais

| | Vão | Módulo | Altura construtiva |
|--|---------------------|-------------|--------------------|
| | Até 15 m | 2,0 - 3,0 m | 1,0 até 1,5 m |
| | de 15,0 m - 27,50 m | 2,4 - 3,0 m | de 1,5 - 2,1 m |
| | de 27,5 m - 36,00 m | 3,0 - 3,6 m | de 2,1 - 2,5 m |
| | de 36,0 m - 50,50 m | 3,0 - 4,8 m | de 2,5 - 4,0 m |
| | de 50,5 m - 100,0 m | 4,0 - 6,0 m | de 3,6 - 4,8 m |

Fonte: SILVA (200-).

A estrutura foi moldada no software AutoCad, considerando à princípio alguns parâmetros básicos referentes a geometria adotada. As vigas laterais foram moldadas e fixadas aos elementos de apoio, para sustentação dos fechamentos, com inclinação equivalente das diagonais e comprimento de 7,08 metros. As telhas de cobertura são sustentadas por suportes,

locados nos nós dos banzos superiores, portanto com uma distância entre terças de 3,51 metros. Foram adotadas quatro terças de fechamento, locadas sobre suportes e vigas laterais, à uma equidistância de 2,36 metros. Para auxílio na sustentação do vão de 35,1 metros e do fechamento frontal e de fundo, empregou-se uma treliça a parte, na base da treliça espacial.

No fechamento lateral, foram fixadas linhas de corrente, buscando favorecer a utilização de perfis mais econômicos no processo de dimensionamento. A figura 5 apresenta uma vista isométrica do projeto unifilar da cobertura espacial, moldada no software AutoCad.

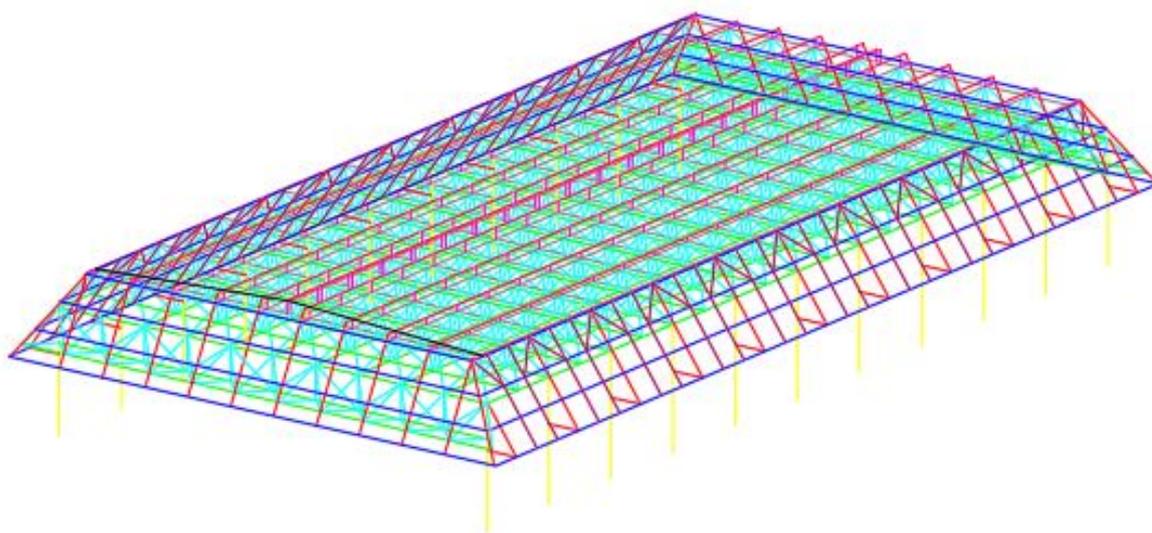


Figura 5. Projeto unifilar da cobertura em treliça espacial
Fonte: elaborado pelo autor (2018)

2.4 Memorial de cálculo

2.4.1 Pré-dimensionamento

O pré-dimensionamento é parte fundamental à fase inicial do dimensionamento estrutural e está diretamente ligada a previsão das cargas devido às ações permanentes e variáveis.

2.4.1.1 Ações permanentes

A carga permanente é “constituída pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes” (NBR 6120).

Peso próprio e elementos construtivos fixos

Segundo Souza (2002) o peso próprio dos elementos que compõe as treliças espaciais inclui o peso dos banzos, diagonais, nós e parafusos e possui uma variação a depender das dimensões da treliça. A tabela 2 contém os pesos correspondentes.

Tabela 2. Peso dos elementos estruturais para treliça espacial.

| Ações permanentes | |
|--|---|
| Peso próprio dos elementos da estrutura principal | de 0,10 kN/m ² (vãos em torno de 20 m) até 0,30 kN/m ² (vãos em torno de 60 m) |
| Peso próprio dos elementos da estrutura secundária | de 0,03 kN/m ² (módulos em torno de 3 m) até 0,08 kN/m ² (módulos > 4 m, que necessitem de terças intermediárias) |

Fonte: SOUZA (2002).

Com base nas características dimensionais da estrutura de cobertura do Ginásio em estudo e tomando como referência os dados da tabela 1, foram considerados para o peso próprio os seguintes valores: 0,1755 kN/m² para os elementos que compõe a estrutura principal e 0,0351 kN/m² para os elementos que compõem a estrutura secundária da treliça, portanto, um total de 0,2106 kN/m² ou 21,06 kgf/m².

Como elementos construtivos fixos: neste caso, será considerado apenas o peso das telhas de cobertura e fechamento, a qual representa uma carga de 4,96 kgf/m², conforme catálogo do fabricante.

2.4.1.2 Ações variáveis

“Ações variáveis são as que ocorrem com valores que apresentam variações significativas durante a vida útil da construção. [...] decorrentes de sobrecargas em pisos e coberturas” (NBR 8800).

Sobrecarga

Conforme Anexo B da NBR 8800, item B.5 Sobrecarga em coberturas – Na ausência de especificações mais rigorosas, deve-se adotar uma sobrecarga mínima de 25 kgf/m² ou 0,25 kN/m²

2.4.1.3 Carga total para pré-dimensionamento

As cargas obtidas foram submetidas aos respectivos coeficientes de segurança, atribuídos conforme NBR 8186, sob efeito desfavorável. Segue a tabela 3, referente aos pesos adotados para o pré-dimensionamento dos elementos estruturais

Tabela 3. Cargas adotadas para o pré-dimensionamento dos elementos estruturais.

| Tipo | Peso (kgf/m²) | Coef. Seg. (NBR 8681) | Peso Admitido kgf/m² |
|------------------|---------------------------------|------------------------------|--|
| Peso próprio | 21,06 | 1,25 | 26,32 |
| Carga permanente | 4,96 | 1,35 | 6,70 |
| Sobrecarga | 25 | 1,5 | 37,50 |
| Soma total | | | 70,52 kgf/m ² |

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Com uma soma total de 70,52 kgf/m² e módulo de 3,51 m tem-se que o peso por metro linear é de 247,53 kgf/m, distribuídos na direção da largura do ginásio, como representado na figura 6.

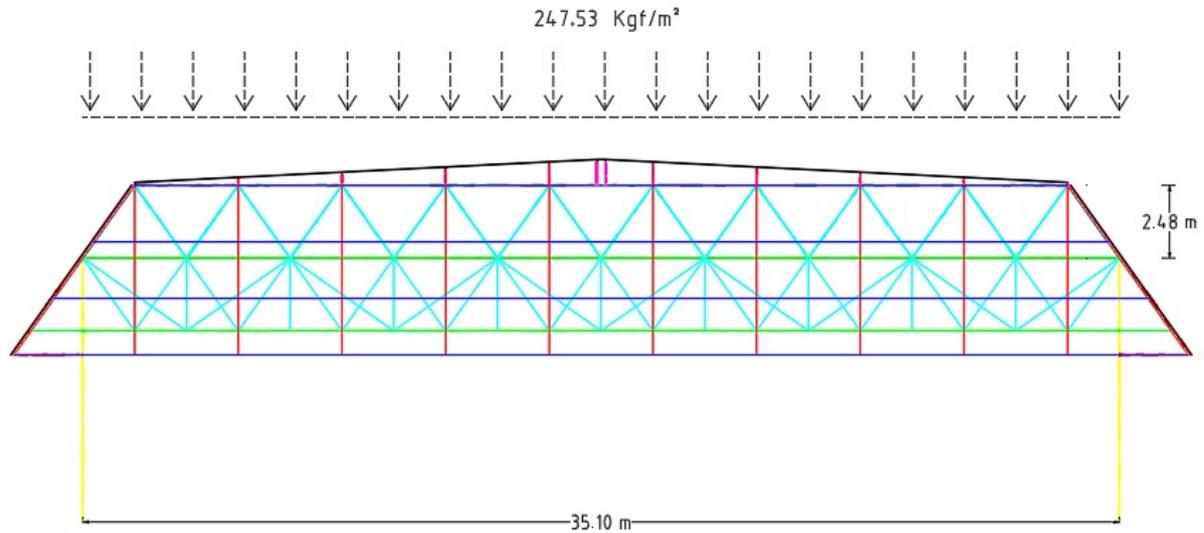


Figura 6. Vista frontal - Carregamento linear para o pré-dimensionamento.
Fonte: elaborado pelo autor (2018).

2.4.1.4 Cálculo dos esforços solicitantes

Momento máximo:

$$M_{\text{máximo}} = \frac{Q * L^2}{8} \rightarrow M_{\text{máximo}} = \frac{247,53 * 35,1^2}{8} \rightarrow M_{\text{máximo}} = 38.119,93 \text{ kgf.m (1)}$$

Força aplicada nos banzos (F_{banzos}):

$$M_{\text{máximo}} = F_{\text{banzos}} * d \rightarrow F_{\text{banzos}} = \frac{M_{\text{máximo}}}{d} \rightarrow F_{\text{banzos}} = \frac{38119,93}{2,48} \rightarrow F_{\text{banzos}} = 15.370,94 \text{ kgf (2)}$$

Força aplicada nas diagonais ($Q_{\text{máxima}}$):

$$Q_{\text{máxima}} = \frac{Q * L}{2} \rightarrow Q_{\text{máxima}} = \frac{247,53 * 35,1}{2} \rightarrow Q_{\text{máxima}} = 4.344,15 \text{ kgf (3)}$$

Terças: Será considerado para o pré-dimensionamento das terças de fechamento e cobertura, o mesmo momento máximo calculado para as pirâmides espaciais.

2.4.1.5 Definição dos perfis – Pré dimensionamento

Os valores obtidos no pré-dimensionamento foram considerados no lançamento inicial de dados para análise estrutural no software SAP2000, ao passo que verificação preliminar dos perfis metálicos que compõe a estrutura foi processada no software STABILE (MCalcPerfis). A tabela 4, contém os perfis adotados para cada elemento na fase de pré-dimensionamento, enquanto a tabela 5 apresenta as verificações dos limites de resistência para cada perfil utilizado. A tabela de verificação contempla apenas os limites de resistência menos favoráveis, ou seja, momento máximo para as terças e compressão para banzos e diagonais.

Tabela 4. Lançamento dos tubos redondos e perfis de acordo com os esforços solicitantes

| Barra | Carga | Tubo adotado (mm) |
|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Banzos | (Força axial) 15370,94 kgf | Tubo industrial redondo - 127x2,66 |
| Diagonais | (Força axial) 4344,15 kgf | Tubo industrial redondo - 76,2x2,66 |
| Linha de Corrente | Mesmo perfil do projeto original | “L” 20x20x2 |
| Suporte de Terça | Mesmo perfil das terças | “U” enrijecido – 150x60x20x2,66 |
| Terças | Momento máximo: 38.119,93 kgf.m | “U” enrijecido – 150x60x20x2,66 |
| Viga Lateral | Mesmo perfil do projeto original | 2x200x75x20x2 |

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Tabela 5. Verificação dos limites de resistência – Pré-dimensionamento

| Tubos e perfil “U” | Esforço normal – kgf | Momento fletor Máx. – kgf.m | Resist. limite Comp - kgf | Resist. limite flexão – kgf.m |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Tubo industrial redondo 127x2,66 | -15370,94 | - | -17320 | - |
| Tubo industrial redondo 76,2x2,66 | -4344,15 | - | -4871 | - |
| “U” enrijecido 150x60x20x2,25 | - | 381,2 | - | 390,6 |

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

2.5 Dimensionamento

2.5.1 Cargas de projeto

As cargas foram adotadas por meio de compatibilização entre catálogos técnicos de fabricantes de insumos de construção e normas vigentes, a saber, NBR 6120 (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações), NBR 6123 (Forças devidas ao vento em edificações) e NBR 8800 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios).

2.5.1.1 Peso próprio

O peso próprio da estrutura é calculado automaticamente pelo software de análise estrutural, neste caso SAP2000. O peso advém dos tipos de perfis estruturais adotados.

2.5.1.2 Carga permanente

Neste caso, corresponde basicamente ao peso das telhas de cobertura e fechamento, cuja distância entre terças é de 3,51 e 2,36 metros, respectivamente. A figura 7 corresponde características técnicas da telha adotada “Trapezoidal TP100”, conforme o catálogo do fabricante. De acordo com propriedades da estrutura optou-se por dois apoios, espessura de aço 0,50 milímetros e distância entre apoios de 3,5 metros. A telha em questão possui peso total de 4,96 kgf/m², portanto, carga permanente para cobertura é CP = 0,17 kN/m e para fechamento CP = 0,12 kN/m. A figura 8 dispõe das cargas permanentes aplicadas a estrutura de cobertura do ginásio em estudo.

| TRAPEZOIDAL TP-100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------|------------------------|--------------------------------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|--|--|
| Nº de Apoios | Espes. Aço (mm) | Peso kg/m ² | Distância entre apoios ou vãos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 3,00 | | 3,15 | | 3,35 | | 3,50 | | 3,75 | | 4,00 | | 4,15 | | 4,35 | | 4,50 | | 4,75 | | 5,00 | | | |
| | | | COB | FEC | COB | FEC | COB | FEC | COB | FEC | COB | FEC | COB | FEC | COB | FEC | COB | FEC | COB | FEC | COB | FEC | COB | FEC | | |
| — | 0,50 | 4,96 | 105 | 105 | 100 | 100 | 88 | 88 | 78 | 78 | 70 | 70 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,65 | 6,44 | 144 | 144 | 133 | 133 | 117 | 117 | 103 | 103 | 92 | 92 | 82 | 82 | 73 | 73 | | | | | | | | | | |
| — | 0,50 | 4,96 | 105 | 105 | 100 | 100 | 88 | 88 | 78 | 78 | 70 | 70 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,65 | 6,44 | 144 | 144 | 133 | 133 | 117 | 117 | 103 | 103 | 92 | 92 | 82 | 82 | 73 | 73 | | | | | | | | | | |
| — | 0,50 | 4,96 | 135 | 135 | 125 | 125 | 110 | 110 | 98 | 98 | 89 | 89 | 78 | 78 | 70 | 70 | | | | | | | | | | |
| | 0,65 | 6,44 | 180 | 180 | 168 | 168 | 148 | 148 | 131 | 131 | 116 | 116 | 104 | 104 | 93 | 93 | 84 | 84 | 77 | 77 | 70 | 70 | | | | |

COB - Cobertura - Racha de L/120 FEC - Fechamento - Racha de L/200
A inclinação mínima recomendada é de 5% para cobertura com comprimentos da água de no máximo 30m. Demais sob consulta.

Figura 7. Características técnicas da telha “Trapezoidal TP-100”.

Fonte: Catálogo Kingspan Isoeste (2018).

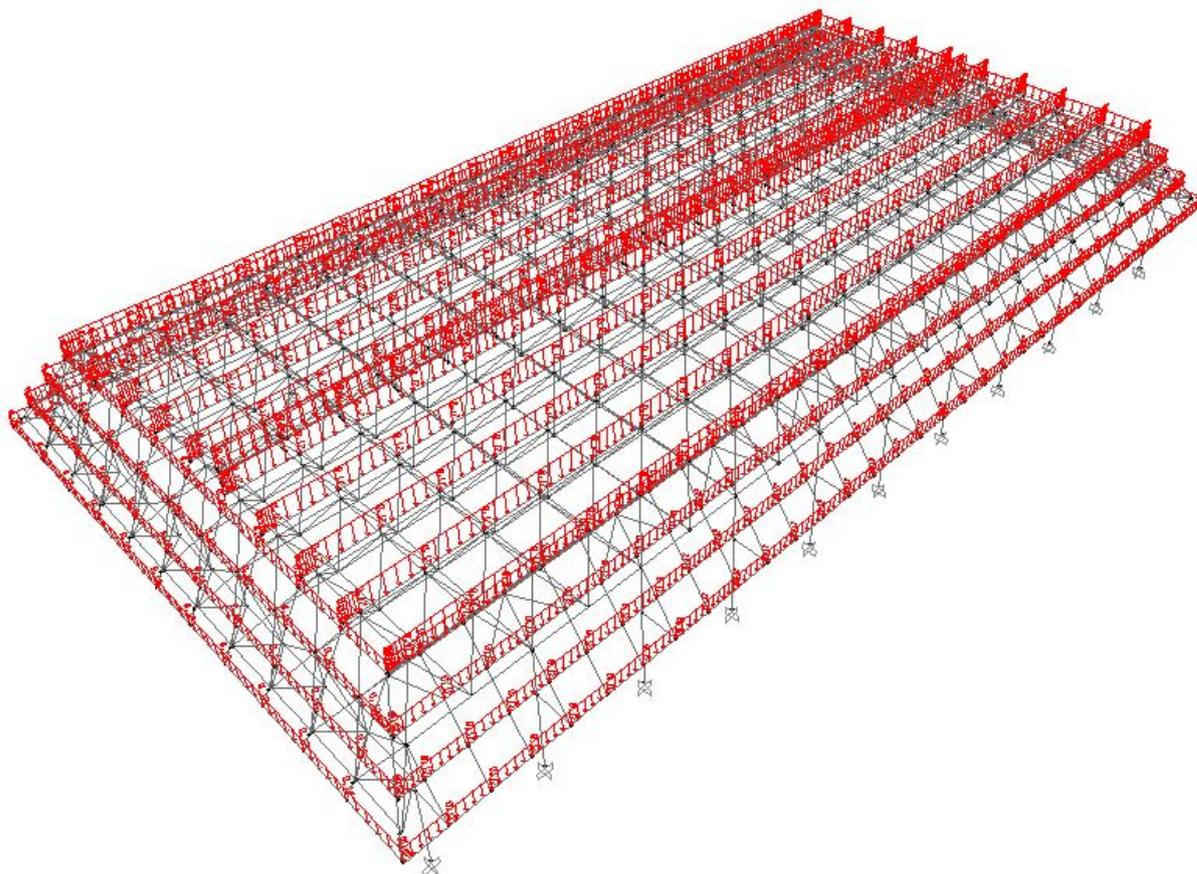


Figura 8. Detalhe do carregamento devido à carga permanente (CP)
Fonte: elaborado pelo autor (2018)

2.5.1.3 Sobrecarga

Conforme Anexo B da NBR 8800 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios), item B.5 Sobrecarga em coberturas - Na ausência de especificações mais rigorosas, deve-se adotar uma sobrecarga mínima de 25 kgf/m² ou 0,25 kN/m² admite-se, portanto, que esta sobrecarga compreenda as cargas provenientes de instalações elétricas e hidráulicas, de isolamento térmico e acústico e instalação de pequenas peças eventualmente fixadas na cobertura até um limite de 0,05 kN/m². Admitindo às distâncias entre terças mencionadas no item “cargas permanentes”, a sobrecarga para cobertura é de 0,88 kN/m e para fechamento 0,59 kN/m. A figura 9 apresenta a distribuição do carregamento devido à sobrecarga na estrutura de cobertura do ginásio em estudo.

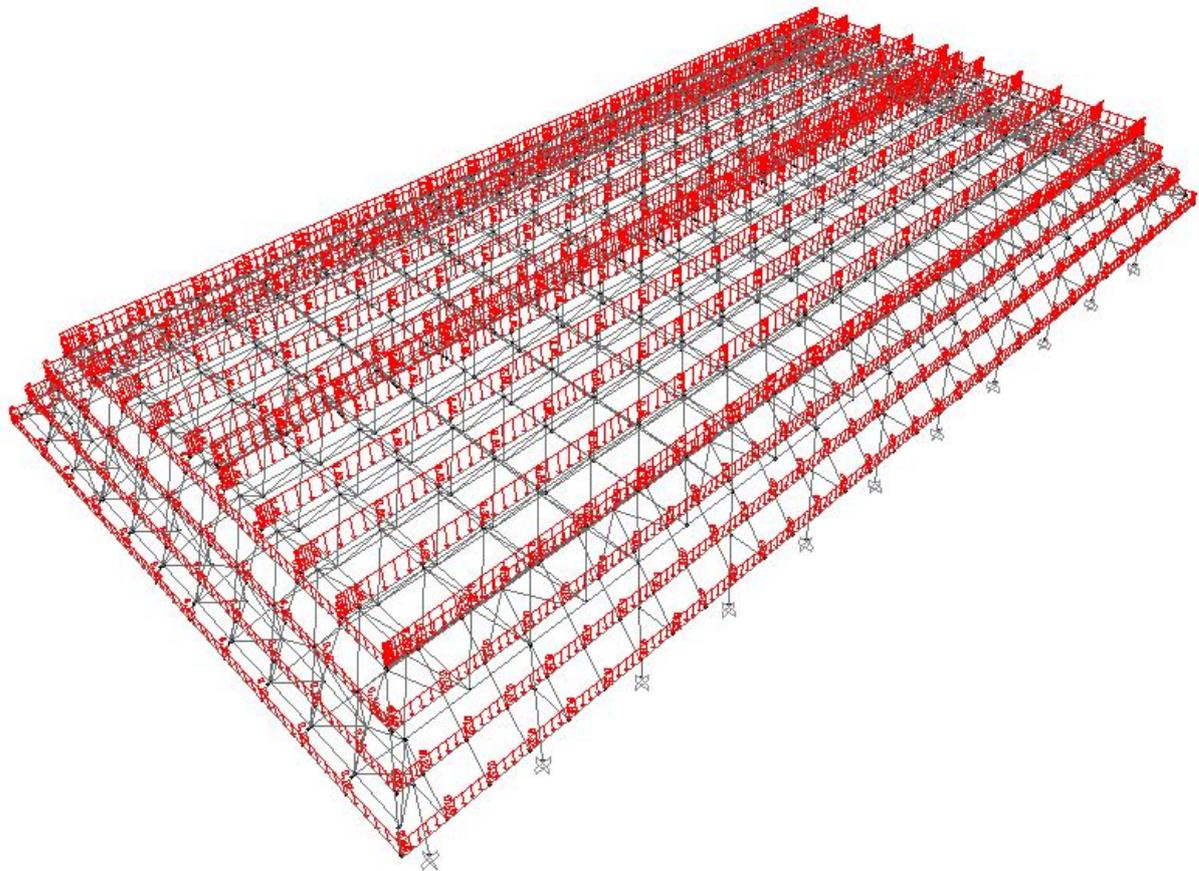


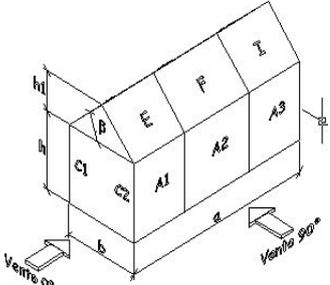
Figura 9. Detalhe do carregamento devido à sobrecarga (SC)
Fonte: elaborado pelo autor

2.5.1.4 Carga de Vento

A determinação das forças devido ao vento, para o pré-dimensionamento, foi realizada através do software Visual Ventos, que atende as prescrições da NBR 6123 (Forças devido ao vento e em edificações). A velocidade básica do vento foi definida considerando a região do estado do Tocantins, portanto 30 m/s. A determinação da pressão dinâmica e consequentemente das combinações e esforços devido ao vento, foi processada em duas etapas, a saber, para cobertura e fechamento, dado que as inclinações e características dimensionais são distintas. Por simetria as cargas de vento aplicadas a 0° e 180° , são iguais, bem como as cargas de vento aplicadas a 90° e 270° . Portanto serão descritas apenas as cargas aplicadas a 0° e a 90° .

Carga de Vento para cobertura

Tabela 6. Dados inseridos e calculados no software Visual Ventos, na seção Geometria.

| | | Dimensões | | | |
|---|---------|-----------------|----|------------------|--|
| | | Dados inseridos | | Dados calculados | |
|  | b | 35,1 m | b1 | 17,55 m | |
| | a | 70,2 m | a1 | 17,55 m | |
| | h | 11,58 m | a2 | 17,55 m | |
| | p | 7,02 m | h1 | 0,88 m | |
| | β | 2,86° | - | - | |

Fonte: Software Visual Ventos

Fator topográfico (S1): 1,00.

Fator de rugosidade (S2): 0,91.

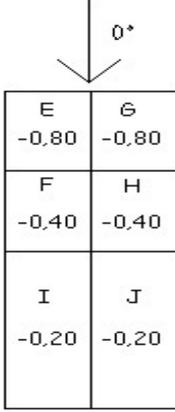
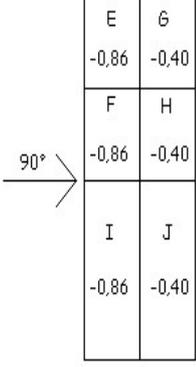
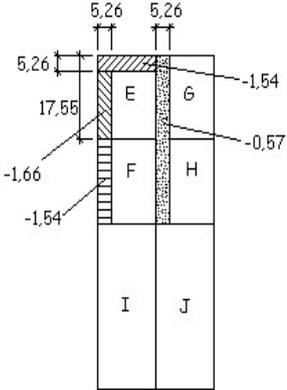
Fator estatístico (S3): 1,00

Coefficiente de pressão externa – Telhado. Ver tabela 6.

Coefficiente de pressão interna: $C_{pi} \rightarrow -0,3$ ou $0,0$.

A tabela 7 contém os dados referentes aos coeficientes de pressão externa do telhado, para a cobertura e a tabela 8, dados mais relevantes do relatório de dados gerado pelo software Visual Ventos.

Tabela 7. Coeficiente de pressão externa do telhado – Cobertura.

| Vento 0° | Vento 90° | Cpe Médio |
|---|---|---|
|  |  |  |

Fonte: Software Visual Ventos

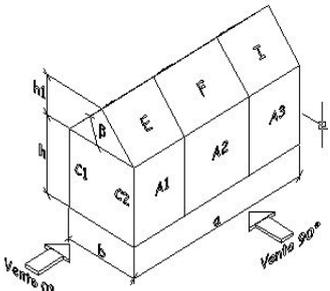
Tabela 8. Resultados do relatório final de dados do software Visual Ventos – Cobertura.

| | |
|------------------------------------|---------------------------|
| Velocidade Característica de Vento | Pressão Dinâmica |
| $V_k = V_o * S1 * S2 * S3$ | $q = 0,613 * V_k^2$ |
| $V_k = 30,00 * 1,00 * 0,91 * 1,00$ | $q = 0,613 * 27,18^2$ |
| $V_k = 27,18 \text{ m/s}$ | $q = 0,45 \text{ kN/m}^2$ |

Fonte: Software Visual Ventos

Carga de Vento para fechamento

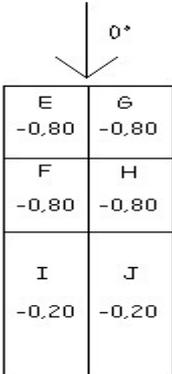
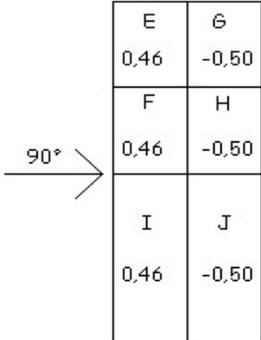
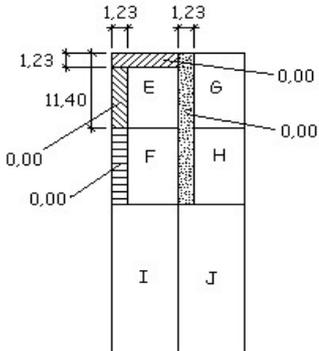
Tabela 9. Dados inseridos e calculados no software Visual Ventos, na seção Geometria.

|  | Dimensões | | | | | |
|--|-----------------|---------|--------|------------------|----|---------|
| | Dados inseridos | b | 8,18 m | Dados calculados | b1 | 4,09 m |
| | | a | 70,2 m | | a1 | 11,40 m |
| | | h | 5,70 m | | a2 | 23,70 m |
| | | p | 7,02 m | | h1 | 5,78 m |
| | | β | 54,71° | | - | - |

Fonte: Software Visual Ventos

Quanto aos dados considerados e calculados nas abas subseqüentes do software Visual Ventos para o fechamento, estes foram praticamente iguais aos tomados para a cobertura, sendo alterado apenas o “fator de rugosidade”, $S2 = 0,90$. A tabela 10 contém os dados referentes aos coeficientes de pressão externa do telhado.

Tabela 10. Coeficiente de pressão externa do telhado – Fechamento.

| Vento 0° | Vento 90° | Cpe Médio |
|---|---|---|
|  |  |  |

Fonte: Software Visual Ventos

A seguir, na tabela 11, estão descritos os dados mais relevantes, para fins de cálculo, obtidos a partir do relatório de resultados do software Visual Ventos.

Tabela 11. Resultados do relatório final de dados do software Visual Ventos – Fechamento.

| Velocidade Característica de Vento | Pressão Dinâmica |
|------------------------------------|-------------------------|
| $V_k = V_o * S1 * S2 * S3$ | $q = 0,613 * V_k^2$ |
| $V_k = 30,00 * 1,00 * 0,90 * 1,00$ | $q = 0,613 * 26,93^2$ |
| $V_k = 26,93 \text{ m/s}$ | $q = 0,44 \text{ kN/m}$ |

Fonte: Software Visual Ventos

2.5.1.4.1 Cargas de vento aplicadas na cobertura e fechamento da estrutura do ginásio

A seguir as figuras 10 e 11 apresentam a distribuição das cargas de vento na estrutura de cobertura a 0° e a 90°, respectivamente.

Vento a 0°

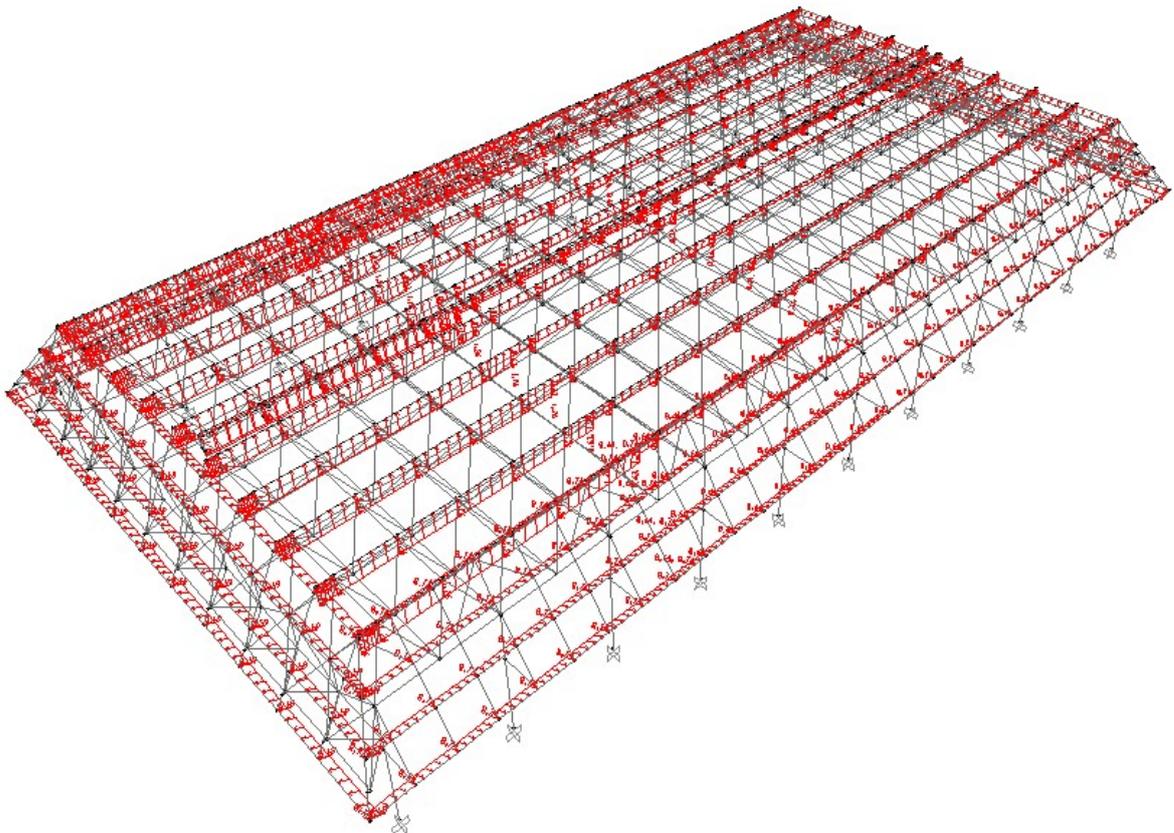


Figura 10. Detalhe do carregamento devido à carga de vento 0°.

Fonte: elaborado pelo autor

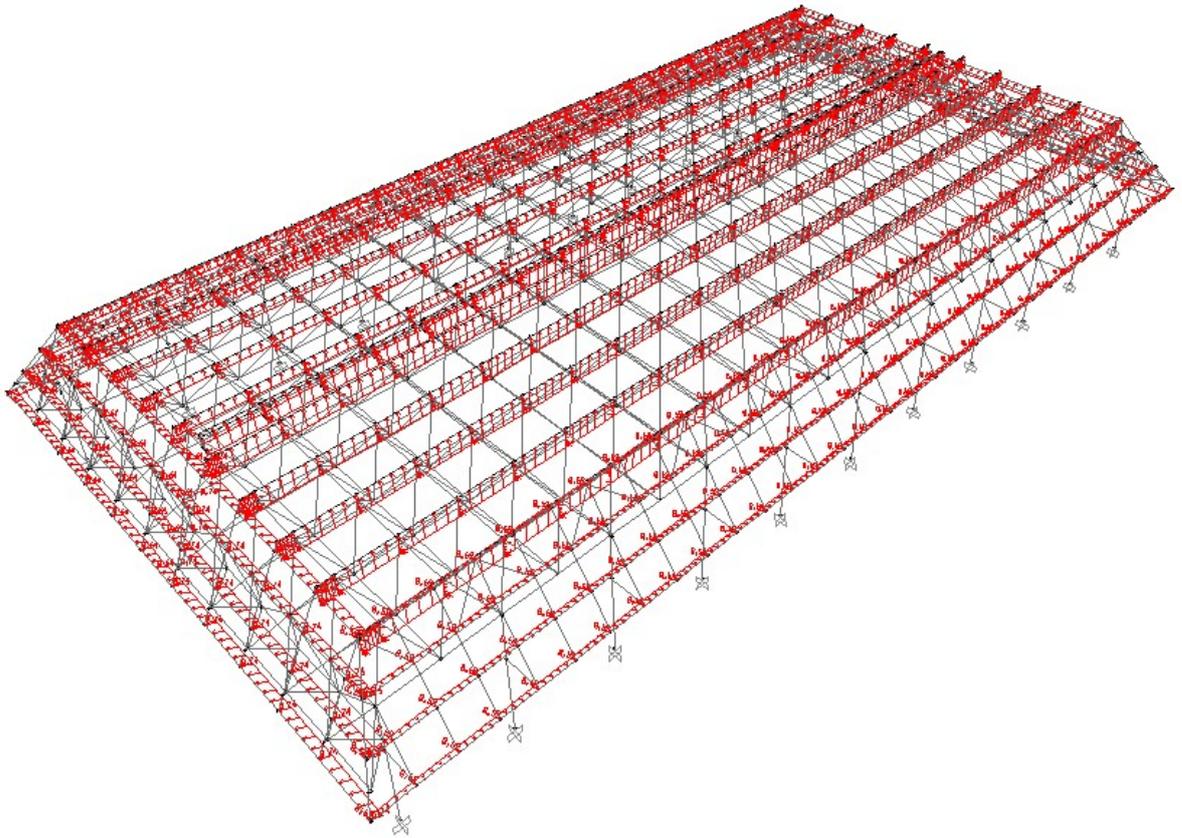


Figura 11. Detalhe do carregamento devido à carga de vento 90°.
 Fonte: elaborado pelo autor

2.5.2 Combinações de carga

As combinações de ações foram feitas conforme a norma NBR 8681 – ações e segurança nas estruturas (método dos estados limites). Cada combinação teve a sua respectiva aplicação conforme o caso analisado. As principais combinações utilizadas no dimensionamento estrutural foram:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{COMB1} \rightarrow 1,25 * \text{PP} + 1,35 * \text{CP} + 1,5 * \text{SC}; \\ \text{COMB2} \rightarrow 1 * \text{PP} + 1,0 * \text{CP} + 1,4 * \text{V0}; \\ \text{COMB3} \rightarrow 1 * \text{PP} + 1,0 * \text{CP} + 1,4 * \text{V90}; \\ \text{COMB4} \rightarrow 1 * \text{PP} + 1,0 * \text{CP} + 1,4 * \text{V180}; \\ \text{COMB5} \rightarrow 1 * \text{PP} + 1,0 * \text{CP} + 1,4 * \text{V270}; \end{array} \right.$$

Onde:

| | | | |
|---|------|---|-----------------------------------|
| { | PP | → | Peso Próprio dos perfis; |
| | CP | → | somatório das Cargas Permanentes; |
| | SC | → | Sobrecarga de cobertura; |
| | V0 | → | Vento incidindo a 0°; |
| | V90 | → | Vento incidindo a 90°; |
| | V180 | → | Vento incidindo a 180°; |
| | V270 | → | Vento incidindo a 270°; |

2.5.3 Definição dos perfis

Em princípio, os elementos de composição da estrutura foram agrupados em famílias, mais especificamente, família dos banzos superiores, banzos inferiores, diagonais, terças de cobertura, terças fechamento, vigas laterais, suporte de terças e linha de corrente. No entanto, em decorrência da variabilidade de esforços recebidos por cada seguimento de barras em particular, optou-se por um agrupamento mais restrito, fracionando cada família em pelo menos três subgrupos com valores de esforços solicitantes semelhantes ou próximos. A definição dos tubos e perfis adequados para cada seguimento foi realizada através do software MCalcPerfis (Conforme NBR 14762 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio).

Ao gerar relatório com listagem e somatório total do peso dos materiais de composição da estrutura de cobertura, após a segunda etapa, o peso total somou 55,60 toneladas de aço. Visando tornar a estrutura mais econômica, optou-se por um refinamento na análise dos esforços para definição dos perfis, cujas observações e procedimentos estão descritos na seção de “Resultados e discussão”.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como já citado, para finalização do processo de dimensionamento, adotou-se um agrupamento de barras mais específico, o que possibilitou maior refinamento definição das dimensões dos perfis adotados em etapas anteriores, contribuindo significativamente para redução do peso próprio da estrutura. As siglas utilizadas obedecem a um padrão e estão ilustrados, em parte, nas figuras 12 e 13. As tabelas, 11 e 12 disponibilizam os dados finais do processo de definição dos perfis, a saber, basicamente esforços solicitantes e dimensões adotadas para os grupos de barras.

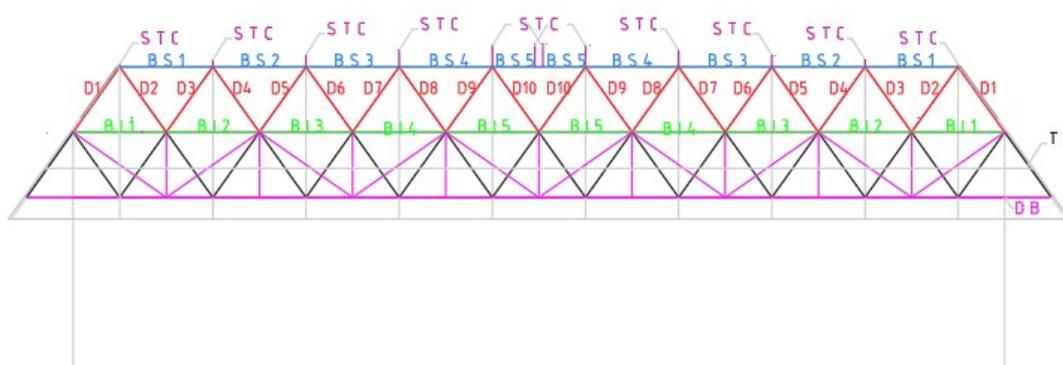


Figura 12. Localização dos agrupamentos I

Fonte: elaborado pelo autor

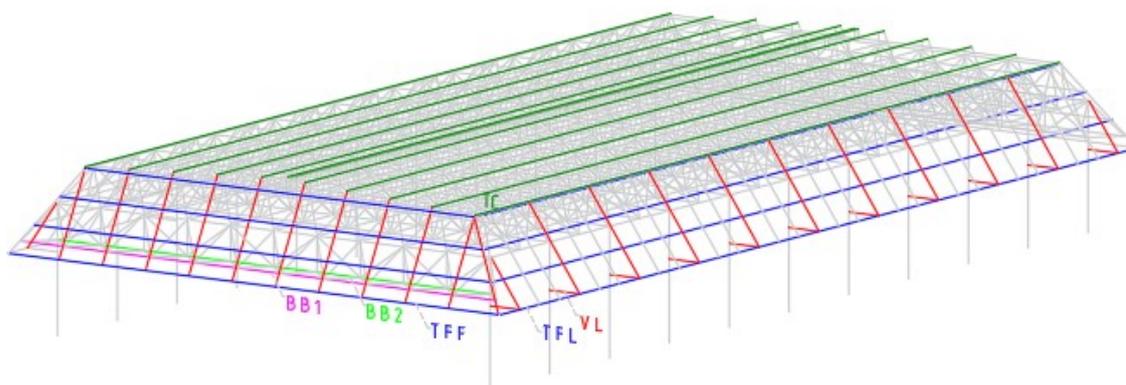


Figura 13. Localização dos agrupamentos II

Fonte: elaborado pelo autor

Legenda:

B S – Banzo Superior; B I – Banzo Inferior; D – Diagonais; S T C – Suporte de Terça;

T B – Treliza da Base; D B – Diagonal da Base; B B – Banzo da Base;

T C – Terça de Cobertura; T F F – Terça de Fechamento Frontal;

T F L – Terça de Fechamento Lateral

Tabela 12. Definição dos perfis para as barras de tubo redondo.

| Tubos industriais redondos - Banzos superiores, banzos inferiores e diagonais. | | | | | |
|---|--------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Barras | Solicitação Compressão - kN | Solicitação Tração - kN | Dimensões - kN | Resistência Limite Compressão - kN | Resistência Limite Tração - kN |
| D1 | -59,046 | 34,772 | 101,6X2 | 83,18 | 151,71 |
| D2 | -16,299 | 43,943 | 63,5X2 | 21,41 | 93,68 |
| D3 | -79,846 | 34,932 | 101,6X2 | 83,18 | 151,71 |
| D4 | -19,727 | 58,383 | 63,5X2 | 21,41 | 93,68 |
| D5 | -64,539 | 28,027 | 101,6X2 | 83,18 | 151,71 |
| D6 | -11,269 | 38,902 | 63,5X2 | 21,41 | 93,68 |
| D7 | -50,636 | 24,827 | 88,9X2 | 59,53 | 132,37 |
| D8 | -7,733 | 22,817 | 63,5X2 | 21,41 | 93,68 |
| D9 | -21,655 | 13,2223 | 73x2 | 32,78 | 104,89 |
| D10 | -8,976 | 13,164 | 63,5X2 | 21,41 | 93,68 |
| | | | | | |
| B I 1 | -23,079 | 57,294 | 73x2 | 32,78 | 104,89 |
| B I 2 | -42,275 | 93,511 | 88,9X2 | 59,53 | 132,37 |
| B I 3 | -59,543 | 126,237 | 101,6X2 | 83,18 | 151,71 |
| B I 4 | -71,796 | 152,482 | 101,6X2 | 83,18 | 151,71 |
| B I 5 | -79,028 | 172,047 | 101,6X2 | 83,18 | 151,71 |
| | | | | | |
| B S 1 | -54,227 | 31,665 | 88,9X2 | 59,53 | 132,37 |
| B S 2 | -110,644 | 55,508 | 127X2 | 127,05 | 184,67 |
| B S 3 | -156,497 | 72,281 | 139,7X2,66 | 205,06 | 277,62 |
| B S 4 | -192,992 | 83,742 | 139,7X2,66 | 205,06 | 277,62 |
| B S 5 | -196,869 | 85,539 | 139,7X2,66 | 205,06 | 277,62 |
| B S 6 | -195,712 | 84,797 | 139,7X2,66 | 205,06 | 277,62 |
| | | | | | |
| T B (L) | -32,779 | 37,147 | 73x2 | 32,78 | 104,89 |
| D B 1 | -98,681 | 86,86 | 127X2 | 127,05 | 184,67 |
| B B 1 | -16,219 | 51,628 | 63,5X2 | 21,41 | 93,68 |
| B B 2 | -55,906 | 113,129 | 88,9X2 | 59,53 | 132,37 |

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Tabela 13. Definição dos perfis para as barras tipo "U" enrijecido e caixa.

| Perfil "U" enrijecido e caixa - Terças de cobertura, terças de fechamento (Lateral e frontal), reespectivos suportes e viga lateral | | | | | | | | | |
|--|---|-------|-----------|-----------|-------------|-----------------------------|--------|-----------|-----------|
| Comprimento (KyLx 3,51 / KyLy 351 / KzLz 3,51 / Lb 3,51) | Dados das terças de cobertura e suportes | | | | Perfil (mm) | Dados limites para o perfil | | | |
| | Nc kN | V2 kN | Mx (kN.m) | My (kN.m) | | Nc kN | V2 kN | Mx (kN.m) | My (kN.m) |
| | -4,379 | 4,491 | 5,447 | 0,0924 | | UE 150x60x20x3,35 | 229,99 | 51,09 | 6,15 |
| Resistência/solicitação | -0,019 | 0,088 | 0,886 | 0,037 | | | | | |
| Comprimento (KyLx 3,51 / KyLy 351 / KzLz 3,51 / Lb 3,51) | Dados das terças de fechamento - Frontal e suportes | | | | Perfil (mm) | Dados limites para o perfil | | | |
| | Nc kN | V2 kN | Mx (kN.m) | My (kN.m) | | Nc kN | V2 kN | Mx (kN.m) | My (kN.m) |
| | 7,96 | 0,14 | 1,33 | 1,88 | | UE 150x60x20x2,66 | 43,71 | 42,97 | 4,69 |
| Resistência/solicitação | 0,182 | 0,003 | 0,284 | 0,964 | | | | | |
| Comprimento (KyLx 7,02 / KyLy 2,34 / KzLz 2,34 / Lb2,34) | Dados das terças de fechamento - Lateral e suportes | | | | Perfil (mm) | Dados limites para o perfil | | | |
| | Nc kN | V2 kN | Mx (kN.m) | My (kN.m) | | Nc kN | V2 kN | Mx (kN.m) | My (kN.m) |
| | 1,89 | 0,074 | 6,18 | 0,0085 | | UE 150x60x20x2,25 | 159,27 | 51,81 | 6,58 |
| Resistência/solicitação | 0,012 | 0,001 | 0,939 | 0,004 | | | | | |
| Comprimento (KyLx 4,04 / KyLy 2,36 / KzLz 2,36 / Lb2,36) | Viga Lateral | | | | Perfil (mm) | Dados limites para o perfil | | | |
| | Nc kN | V2 kN | Mx (kN.m) | My (kN.m) | | Nc kN | V2 kN | Mx (kN.m) | My (kN.m) |
| | 23,261 | 10,48 | 20,577 | 0,008 | | CX 200x75x20x2 | 232,95 | 68,56 | 22,89 |
| Resistência/solicitação | 0,100 | 0,153 | 0,899 | 0,001 | | | | | |

***Para as linhas de corrente (LC) foram mantidas as dimensões adotadas no projeto original em treliça plana – 20x20x2 mm – Cantoneira Civil300.

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

4 CONCLUSÕES

Partindo do princípio de que a substituição do sistema estrutural empregado na cobertura se justifica essencialmente, na obtenção de melhora no aspecto estético, bem como no aproveitamento do desempenho estrutural de treliças espaciais submetidas a grandes vãos, entre outros fatores, fica comprovado através dos resultados obtidos, que o novo sistema estrutural alternativo, correspondeu positivamente ao previsto. Como esperado a estrutura em treliça espacial, apresentou uma variação considerável no peso total de aço em relação ao cotado para o projeto original em treliça plana, devido a algumas alterações, cujo objetivo era tornar a nova estrutura mais econômica. O peso total de aço demandado para a estrutura de cobertura em treliça espacial é de 47.349 quilogramas (estando incluídos a mais 15% do peso total, relativo ao peso dos nós de ligação, não dimensionados no presente artigo), ao passo que o projeto em treliça plana apresentou um consumo de aço de 54.670 quilogramas.

Entretanto, diante da variação existente entre as áreas de projeção dos dois sistemas estruturais, foi considerada para efeito de comparação a taxa de peso de aço por metro quadrado. O projeto em treliça plana possui área de projeção de cobertura de 2.763,47 m², enquanto o projeto em treliça espacial obteve uma área de projeção de 2.994,19 m², sendo assim, considerando o peso de aço em relação à área de projeção da cobertura, tem-se uma taxa de 15,81 kg/m² para a treliça espacial e 19,78 kg/m² para o projeto em treliça plana.

A diferença entre as áreas de projeção é devido às alterações sofridas pelo projeto original em treliça plana, a saber, a retirada de um pórtico para redução de custos, enquanto o dimensionamento em treliça espacial seguiu padrões de dimensão arbitrados pelo projeto arquitetônico. Importante ressaltar que a estrutura apresentou deslocamento máximo de 0,13 metros, devido a combinação um (COMB 1). Conforme a NBR 8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, o deslocamento apresentado é permissível, visto que para o vão de 35,1 metros, admite-se um deslocamento máximo de até 0,14 metros. Ver apresentação final da estrutura em treliça espacial, em anexo A.

Por fim, conclui-se que a proposta de verificar um novo sistema estrutural para a cobertura do ginásio em estudo, embora não seja um dimensionamento integralmente fiel ao projeto arquitetônico, apresentou resultados satisfatórios, pois proporcionou a visualização de um sistema estrutural alternativo, com um custo reduzido em cerca de 20%, se consideradas as taxas de aço por metro quadrado como parâmetro de análise.

REFERÊNCIAS

AUTOCAD: Computer Aided Design. Version Student. [S.l.]: Autodesk, 2018.

FREITAS, C. A. S. Análise teórico-experimental da conexão estampada de treliça espacial de aço sob carregamentos estático e cíclico. 2008. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

FURTINI, F. M. Estudo de Cobertura para Grandes Vãos utilizando Perfis Tubulares. 2005. 204 f. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) – Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2005.

ISOESTE, Kingspan. **Catálogo de Produtos** : Telhas Standard. 30 de set. de 2018. [S.l.].

MAIOLA, C. H.; MALITE, M. Análise teórica e experimental de treliças metálicas espaciais constituídas por barras com extremidades estampadas. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, n. 20, p.105-125, 2002.

MCALCERFIS: Verificação de perfis laminados, soldados e formados a frio.. Version 3.0. [S.l.]: STABILE ENGENHARIA, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762 : Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, RJ, 2010. 53 p.

NBR 6120 : Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. 1º. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1980. 5 p.

NBR 6123 : Forças devidas ao vento em edificações. 1º. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988. 66 p.

NBR 8681 : Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. 1º. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003. 15 p.

NBR 8800 : Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2º. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008. 237 p.

PERFINASA, Catálogo Técnico. **Perfis estruturais de aço formados a frio** : Perfil "U" Enrijecido Estrutural. 2018 [S.l.].

SAP2000: Structural Analysis Program. Software para Análise Estrutural e Dinâmica, Linear e Não-Linear por Elementos Finitos. [S.l.]. 2000.

SILVA, J. B. G. F. **Estruturas Metálicas em Treliça Espacial**. Estruturas para Coberturas. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 200–. Notas de aula. 136 p.

SOUZA, A. N.; MALITE, M. Análise do projeto de estruturas metálicas espaciais: ênfase em coberturas. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 7, n. 27, p. 27-58, 2005. ISSN 1809-5860.

SOUZA, A. S. C.; GONÇALVES, R. M. Treliças Espaciais – Aspectos Gerais, Comportamento Estrutural e Informações para Projetos. *Revista Construção Metálica*, São Paulo, 81. ed. p. 21-25, 2007.

TUBONASA AÇOS LTDA., Catálogo Técnico. **Tubos de aço carbono** : Tubo Industrial redondo. 2018, [S.l.].

VISUALVENTOS: Programa para cálculo de esforço devido ao vento de edificações com planta retangular e telhado a duas águas, segundo NBR 6123. Version 1.5.0. [S.l.]: FEAR - Universidade de Passo Fundo, 2005.

ANEXO A. Apresentação final da estrutura espacial.

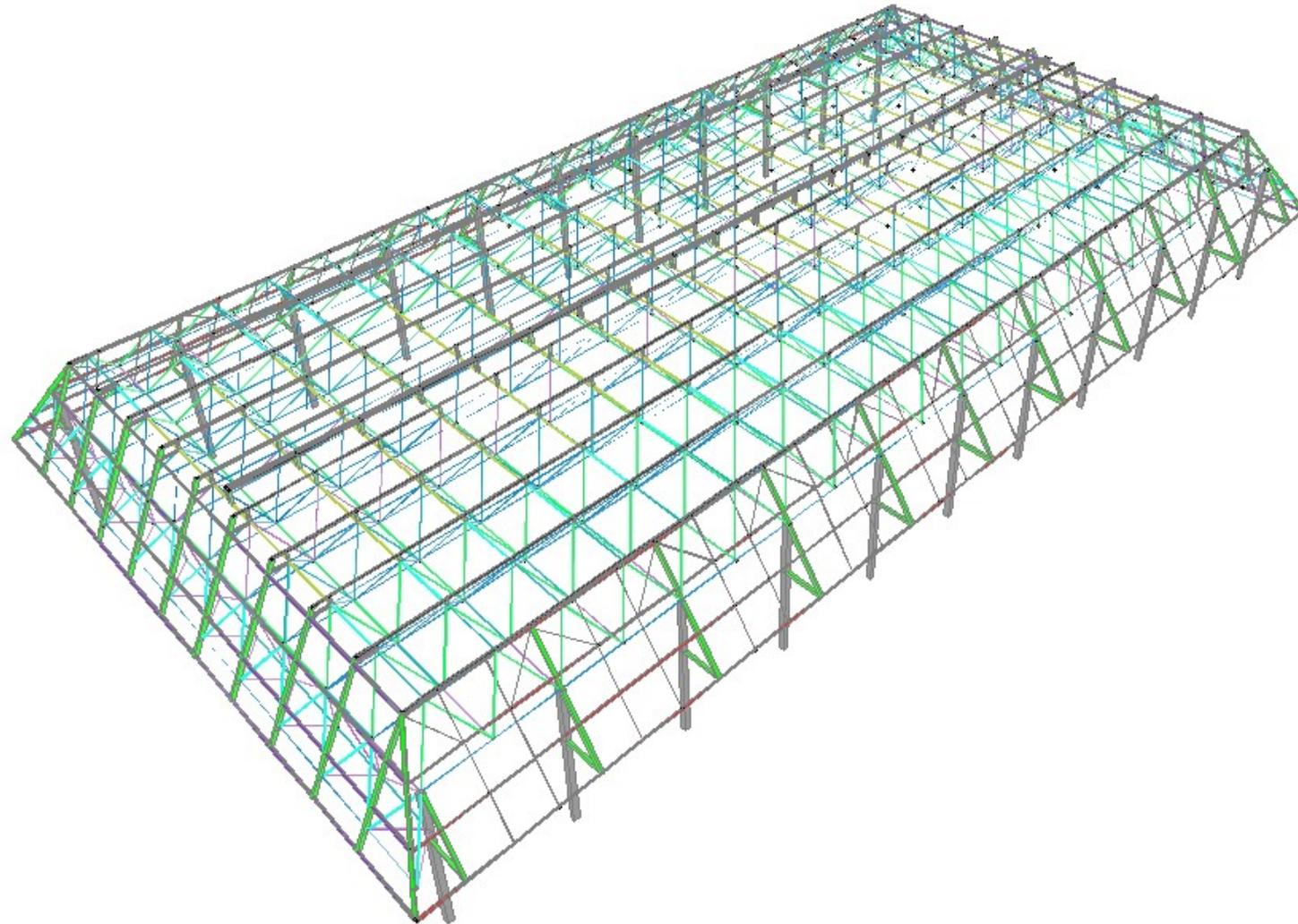


Figura 14. Vista Isométrica da cobertura do ginásio em estudo, finalizada.
Fonte: elaborado pelo autor

DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA DE UM GINÁSIO EM ESTRUTURA ESPACIAL: ESTUDO DE CASO

FRANCO, Tayrine Turonis Pereira¹; CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante²

¹Aluno do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA.

²Professor Orientador Me. do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma nova proposta de concepção estrutural em treliça espacial, para a cobertura um Ginásio de esportes, originalmente projetado em treliça plana. A substituição do sistema estrutural empregado na cobertura se justifica na obtenção de melhora no aspecto estético, bem como no aproveitamento do desempenho estrutural de treliças espaciais submetidas a grandes vãos. O estudo abrange dentre outras atribuições, as adaptações necessárias ao projeto arquitetônico em detrimento da alteração do sistema estrutural da cobertura, a determinação de cargas e combinações baseadas em normas técnicas vigentes, catálogos técnicos e características dimensionais da estrutura, bem como análise estrutural dos elementos de composição da treliça espacial (tubos e perfis metálicos), considerando para tal, os maiores esforços de tração, compressão, flexão e combinações derivadas desses esforços. O dimensionamento geral utilizou os softwares SAP2000 para análise estrutural e MCalcPerfis – Stabile para verificação dos perfis de aço. A estrutura se compõe em máxima por tubos industriais redondos, suporte de terças (“L”) e perfis do tipo “U” enrijecido e caixa. Embora algumas adaptações no projeto arquitetônico tenham sido estritamente necessárias, estas foram evitadas ao máximo, evidenciando um estudo de caso.

PALAVRAS-CHAVE: Estrutura metálica. Construção Civil. Grandes vãos