

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Gabriela Sannomiya Simões, Juliana de Godoy Moreira Moruzzi Marques, Rodrigo  
Dias de Oliveira Fernandes, Vitor Minoru Okada

**Projeto de Estrutura Metálica Multiuso para  
Aproveitamento do Espaço de eventos da Escola  
Politécnica da USP**

Trabalho de Formatura para Engenharia Civil II

São Paulo

2017





Gabriela Sannomiya Simões, Juliana de Godoy Moreira Moruzzi Marques, Rodrigo  
Dias de Oliveira Fernandes, Vitor Minoru Okada

**Projeto de Estrutura Metálica Multiuso para  
Aproveitamento do Espaço de eventos da Escola  
Politécnica da USP**

Trabalho de conclusão de curso de  
graduação apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo.

Área de Habilitação: Engenharia Civil

Orientador: Professor Doutor Henrique  
Campelo Gomes

São Paulo

2017

## Catalogação-na-publicação

Simões, Gabriela

Projeto de Estrutura Metálica Multiuso para Aproveitamento do Espaço de Eventos da Escola Politécnica de USP / G. Simões, J. Marques, R. Fernandes, V. Okada -- São Paulo, 2017.

125 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica.

1.Estruturas metálicas [projeto] {São Paulo (SP)} I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica II.t. III.Marques, Juliana IV.Fernandes, Rodrigo V.Okada, Vitor

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer, primeiramente, às nossas famílias, cujo constante e incondicional apoio foi fundamental para que chegássemos até esta etapa de nossa vida acadêmica.

Agradecemos especialmente ao nosso professor orientador Henrique Campelo Gomes, que sempre nos auxiliou na elaboração deste trabalho de maneira compreensiva e enriquecedora.

Agradecemos também a todos os nossos professores ao longo dos anos de graduação. Cada um, à sua maneira, contribuiu para nossa formação como engenheiros.



## RESUMO

O trabalho aqui apresentado consiste em uma proposta a respeito da ocupação do espaço de eventos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O grupo enxerga no local um grande potencial para melhor aproveitamento do terreno em prol dos alunos e da comunidade universitária, através da construção de uma edificação que permita sua utilização em caráter contínuo e permanente. A ideia é que a edificação possa atender a múltiplas funções, além de manter os atuais usos do terreno. Para garantir a continuidade do uso e multifuncionalidade do espaço, propõe-se que a estrutura seja concebida como um complexo poliesportivo que também possa atuar como um local para realização de grandes eventos, algo que se torna possível através de elementos do espaço interno que conferem flexibilidade ao local.

Esse texto irá tratar inicialmente de contextualizar o terreno quanto a suas atuais características e funções, bem como apresentar suas potenciais restrições e dificuldades construtivas. A seguir, apresenta-se a proposta elaborada pelo grupo quanto à utilização do terreno, além de destacar as partes envolvidas e interessadas nesse empreendimento.

Passando para a concepção do projeto em si, primeiramente são destacadas as principais estruturas utilizadas como referências arquitetônicas pelo grupo. Apresenta-se então o projeto de fato concebido, detalhando-se suas características tanto estruturais externas, quanto sua configuração planejada para o espaço interno, dando destaque também para os materiais a serem empregados.

Na sequência, são definidas as cargas atuantes na estrutura e elabora-se o dimensionamento de seus elementos estruturais metálicos.

Por fim, apresenta-se o detalhamento e dimensionamento dos principais sistemas prediais envolvidos no projeto.

**Palavras - chave:** multifuncionalidade do espaço, dimensionamento estrutural, uso do espaço

## **ABSTRACT**

This paper consists of a proposal regarding the occupation of the event space of the Polytechnic School of the University of São Paulo. The group sees in the place a great potential for better use of the land in favor of the students and the university community through the construction of a building that allows its use in a continuous and permanent character. The idea is that the building can serve multiple functions, in addition to maintaining the current land uses. To ensure a continuous use and a multifunctional space, it is proposed that the structure be conceived as a multisport complex that can also act as a venue for major events. This is made possible by elements of the internal space that will provide flexibility to the building.

This report will initially contextualize the terrain as to its current characteristics and functions, as well as present its potential constraints and constructive difficulties. Then, a proposal regarding the use of the land is presented, besides highlighting the parties involved and interested in this project.

Turning to the design of the project itself, the group first highlights the main structures that were used as architectural references during the design process. After that, the actual design is presented, detailing its external structural characteristics, as well as its planned configuration for the internal space. It is also included in the report an explanation about the materials to be used.

In the sequence, the loads acting on the structure are defined and the dimensioning of its metallic structural elements is elaborated.

Finally, the paper provides the detailing and sizing of the main building systems involved in the project.

**Key words:** multifunctional space, structural design, use of space

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1. Objetivo.....	14
1.2. Motivação.....	14
<b>2. ESPAÇO .....</b>	<b>16</b>
2.1. Características .....	16
2.1.1. Dimensões .....	16
2.1.2. Arredores.....	16
2.1.3. Solo .....	18
2.1.4. Sondagens .....	18
2.2. Contextualização .....	21
2.2.1. Usos atuais.....	21
<b>3. PROPOSTA.....</b>	<b>24</b>
3.1. Multifuncionalidade .....	24
3.2. Partes envolvidas.....	26
<b>4. CASOS DE REFERÊNCIA .....</b>	<b>28</b>
4.1. Unisys Arena.....	28
4.2. Ginásio de esportes do Colégio São Luís.....	30
4.3. Ginásio - Clube Alto de Pinheiros .....	32
<b>5. ESTRUTURA.....</b>	<b>34</b>
5.1. Arquitetura .....	34
5.1.1. Arquitetura externa.....	34
5.1.2. Espaço interno .....	43
5.2. Materiais .....	51
5.2.1. Estrutura em aço .....	51
5.2.2. Cobertura .....	52
5.2.3. Painéis solares .....	56
5.2.4. Vedação lateral .....	57
5.2.5. Piso .....	62
<b>6. SISTEMAS PREDIAIS.....</b>	<b>65</b>
6.1. Água quente e fria.....	65
6.2. Esgoto sanitário .....	68
6.3. Águas pluviais.....	70
6.4. Chuveiros automáticos .....	74
6.5. Sistema predial de segurança patrimonial .....	81
<b>7. CARGAS E CARREGAMENTOS.....</b>	<b>84</b>
7.1. Peso próprio da estrutura .....	84
7.2. Peso de todos os elementos construtivos fixos e das instalações permanentes.....	84
7.3. Sobrecargas.....	85
7.4. Carregamento devido à ação do vento .....	85
<b>8. DIMENSIONAMENTO .....</b>	<b>96</b>
8.1. Combinações de ações .....	96
8.1.1. Combinações últimas .....	99
8.1.2. Combinações de serviço .....	100
8.2. Modelo SAP2000 .....	101

8.2.1. Escolha dos perfis.....	101
8.2.2. Vinculação .....	102
8.2.3. Esforços Solicitantes.....	104
8.3. Escolha dos perfis .....	106
8.3.1. Dimensionamento à Tração .....	106
8.3.2. Dimensionamento à Compressão.....	106
8.3.3. Dimensionamento à Força Cortante .....	107
8.3.4. Dimensionamento à Flexão Simples.....	107
8.3.5. Dimensionamento à Flexocompressão.....	109
8.3.6. Resultados .....	110
<b>9. CONCLUSÃO .....</b>	<b>112</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO A - SONDAGENS.....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO B - PLANTAS.....</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do espaço de evento da POLI - USP.....	16
Figura 2 - Pontos a serem considerados nos arredores do terreno.....	18
Figura 3 - Localização do edifício Engenheiro Mário Covas Júnior em relação ao espaço de eventos da Escola Politécnica.....	19
Figura 4 - Resultado de ensaio SPT realizado no terreno do edifício Engenheiro Mario Covas Júnior .....	20
Figura 5 - Vista externa da estrutura montada para a FEBRACE 2015.....	21
Figura 6 - Espaço interno da tenda provisória da FEBRACE 2015 .....	22
Figura 7 - Entrada da tenda do 24º Workshop Integrativo .....	22
Figura 8 - Etapa de montagem da tenda provisória para o Workshop Integrativo ....	23
Figura 9 - Espaço interno do Workshop Integrativo .....	23
Figura 10 - Estrutura do complexo esportivo Unisys Arena .....	28
Figura 11 - Detalhe da cobertura curva e da vedação em vidro .....	29
Figura 12 - Espaço interno da Unisys Arena .....	29
Figura 13 - Vista externa do ginásio esportivo do Colégio São Luís.....	30
Figura 14 - Espaço interno do ginásio .....	30
Figura 15 - Arquibancada retrátil recolhida .....	31
Figura 16 - Uso do ginásio esportivo com a arquibancada retrátil aberta .....	31
Figura 17 - Ginásio do Clube Alto dos Pinheiros .....	32
Figura 18 - Aberturas triangulares laterais.....	33
Figura 19 - Detalhe do encontro dos tubos de aço .....	33
Figura 20 - Local do terreno com a definição das vistas.....	34
Figura 21 - Dimensões do complexo multiuso .....	35
Figura 22 - Vista frontal do ginásio multiuso .....	36
Figura 23 - Balanço e área de vivência.....	36
Figura 24 - Treliça de três cordas .....	37
Figura 25 - Detalhe da treliça de três cordas .....	37
Figura 26 - Detalhe do pilar treliçado .....	38
Figura 27 - Modelo da cobertura sem os pilares.....	39
Figura 28 - Tipos de vedação lateral do complexo multiuso .....	40
Figura 29 - Planta na cota 0 m, com arquibancada aberta .....	44
Figura 30 - Planta na cota 3,7 m, com arquibancada fechada.....	45
Figura 31 - Representação esquemática da arquibancada retrátil totalmente aberta .....	47
Figura 32 - Disposição esquemática dos elementos do mezanino .....	49
Figura 33 - Uso do espaço no formato Auditório .....	50
Figura 34 - Recomendações de instalação de telhas de poliuretano .....	56
Figura 35 - Componentes do painel fotovoltaico.....	56
Figura 36 - Sistema macho-fêmea em juntas horizontais .....	61
Figura 37 - Sistema de Piso Esportivo de Concreto .....	63
Figura 38 - Representação do espaço interno.....	66
Figura 39 - Traçado de água quente e fria.....	67
Figura 40 - Ramais de descarga, esgoto e coletor .....	70
Figura 41 - Áreas de influência .....	71
Figura 42 - Áreas de influência e inclinação dos condutores horizontais .....	72

Figura 43 - Posicionamento dos condutores horizontais .....	73
Figura 44 - Posicionamento dos condutores verticais .....	74
Figura 45- Curvas de densidade/área .....	77
Figura 46- Área de operação para dimensionamento do sistema de chuveiros automáticos .....	78
Figura 47 - Resultado final do dimensionamento do sistema de chuveiros automáticos .....	80
Figura 48 - Representação dos carregamentos de vento .....	86
Figura 49 - Gráfico de isopletas da velocidade básica do vento no território nacional .....	87
Figura 50 - Segmentações do espaço externo definido pela norma .....	89
Figura 51 - Definições da área da cobertura para o vento a 0° .....	89
Figura 52 - Esboço sem escala da pressão estática de corte paralelo à geratriz da cobertura em kN/m <sup>2</sup> .....	91
Figura 53 - Esboço sem escala da pressão estática dos carregamentos de vento a 0° em kN/m <sup>2</sup> .....	91
Figura 54 - Definições da área da cobertura para o vento a 90° .....	92
Figura 55 - Esboço sem escala da pressão estática dos carregamentos de vento a 90° em kN/m <sup>2</sup> .....	93
Figura 56 - Esboço sem escala da pressão estática dos carregamentos de vento a 90° em kN/m <sup>2</sup> .....	93
Figura 57 - Resultado das pressões estáticas do vento a 90 ° do modelo no Software Fluent .....	94
Figura 58 - Seção Transversal do Pilar Treliçado .....	102
Figura 59 - Ligação do pilar treliçado com os arcos .....	103
Figura 60 - Vista frontal da ligação do pilar treliçado com os arcos .....	103
Figura 61 - Ligação do pilar treliçado com o arco no balanço .....	104
Figura 62 - Modelo 3D da tesoura central .....	105

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de edifícios quanto à ocupação .....	42
Tabela 2 - Classificação das edificações quanto à altura .....	42
Tabela 3 - Definição do número de saídas de emergência.....	43
Tabela 4 - Faixas de ruído de acordo com a finalidade do espaço.....	53
Tabela 5 - Valores do coeficiente de condutividade térmica de materiais termoisolantes .....	54
Tabela 6 - Resultados de ensaio de desempenho térmico de materiais termoisolantes .....	55
Tabela 7 - Níveis de adequação lumínica para os possíveis usos do espaço interno .....	59
Tabela 8 - Vazões sugeridas .....	66
Tabela 9 - Valores de diâmetros nominais.....	67
Tabela 10 - Unidades de Hunter por aparelho sanitário .....	68
Tabela 11 - Diâmetro Nominal por Unidade de Hunter de Contribuição do ramal de descarga .....	69
Tabela 12 - Diâmetro Nominal por Unidade de Hunter de Contribuição do ramal de esgoto .....	69
Tabela 13 - Diâmetro Nominal por Unidade de Hunter de Contribuição de coletores .....	69
Tabela 14 - Valores de diâmetro da tubulação .....	70
Tabela 15 - Valores de área ( $m^2$ ) e vazão (L/min) .....	71
Tabela 16 - Valores de vazão, largura, altura dos condutores horizontais .....	73
Tabela 17 - Valores de diâmetro e vazão dos condutores verticais.....	74
Tabela 18 - Área máxima a ser protegida por um sistema de chuveiros automáticos .....	75
Tabela 19 - Área máxima de cobertura por chuveiro automático e distância máxima entre chuveiros automáticos .....	76
Tabela 20 - Demanda de hidrantes e duração do abastecimento de água para sistemas projetados por cálculo hidráulico .....	77
Tabela 21 - Resultados finais de vazão e pressão na área de operação .....	81
Tabela 22 - Pesos próprios de acordo com o tipo de estrutura .....	84
Tabela 23 - Pesos dos elementos construtivos .....	85
Tabela 24 - Resultados para face do vento $0^\circ$ .....	88
Tabela 25 - Resultados para face do vento $90^\circ$ .....	88
Tabela 26 - Coeficientes finais que serão utilizados para os carregamentos de vento a $0^\circ$ .....	90
Tabela 27 - Carregamentos de vento finais a $0^\circ$ .....	90
Tabela 28 - Coeficientes finais que serão utilizados para os carregamentos de vento a $90^\circ$ .....	92
Tabela 29 - Carregamentos de vento finais a $90^\circ$ .....	92
Tabela 30 - Valores dos coeficientes de ponderação $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$ .....	97
Tabela 31 - Valores dos fatores de combinação $\psi_0$ e de redução $\psi_1$ e $\psi_2$ para as ações variáveis .....	98
Tabela 32 - Coeficientes adotados para as Combinações últimas .....	100
Tabela 33 - Coeficientes adotados para as combinações de serviço .....	101

Tabela 34 - Perfis iniciais da cobertura (modelo) .....	102
Tabela 35 - Valores Extremos dos Esforços Solicitantes para Combinações Últimas .....	105

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Objetivo

O espaço de eventos da Escola Politécnica da USP consiste no terreno adjacente ao Prédio da Administração (Edifício Engenheiro Mario Covas Júnior), localizado entre esse e o edifício da Engenharia Elétrica.

O local é uma área de gramado aberta que se encontra atualmente desocupada e permanece inutilizada durante a maior parte do tempo, exceto em três ocasiões já estabelecidas anualmente. Entretanto, enxerga-se ali um grande potencial para uso e melhor aproveitamento do espaço, de modo que seja ocupado continuamente, através da construção de uma estrutura que possibilite a multifuncionalidade do local.

Pensando nas necessidades dos alunos e nas possíveis demandas que a estrutura poderia suprir, além de considerar o espaço físico disponível para isso, acredita-se que a melhor opção para o aproveitamento do terreno é a construção de um ginásio poliesportivo em uma edificação mista que permita a prática de variadas modalidades de esportes e que também funcione como um espaço para realização de eventos de grande porte.

A estrutura idealizada deve ser compatível com a utilização em caráter contínuo e permanente do espaço e deve ser projetada tendo em vista os interesses e necessidades das partes envolvidas. Com base nas dimensões pretendidas e nas possíveis finalidades da construção, optou-se por uma solução em edificação metálica.

O objetivo deste presente trabalho é apresentar uma proposta de um galpão multiuso, em estrutura metálica, que viabilize o uso contínuo do espaço de eventos da Escola Politécnica e atenda às demandas das partes interessadas no projeto.

### 1.2. Motivação

A falta de uso e ocupação de um espaço tão amplo dentro das dependências da Escola foi algo que levantou questionamentos e motivou a indagação sobre possíveis formas de utilização do terreno. O aprofundamento quanto a essa questão revelou um antigo desejo da diretoria política em estabelecer no local uma

estrutura permanente que proporcionasse o uso contínuo do espaço, algo que ia diretamente ao encontro daquilo que se pensava em propor.

Acredita-se que esse projeto teria enorme influência positiva tanto as para as instituições da universidade quanto para os próprios alunos, sendo esses os grandes motivadores dessa ideia. Poderão se beneficiar deste projeto a própria diretoria da Escola e suas instituições, o Grêmio Politécnico, a Associação Acadêmica Atlética Politécnica e também os centros acadêmicos. O edifício também poderá ser utilizado pela universidade de maneira geral, atendendo a demandas externas, se preciso. O intuito é fornecer um espaço que seja útil para os estudantes e que proporcione uma melhora em sua experiência acadêmica.

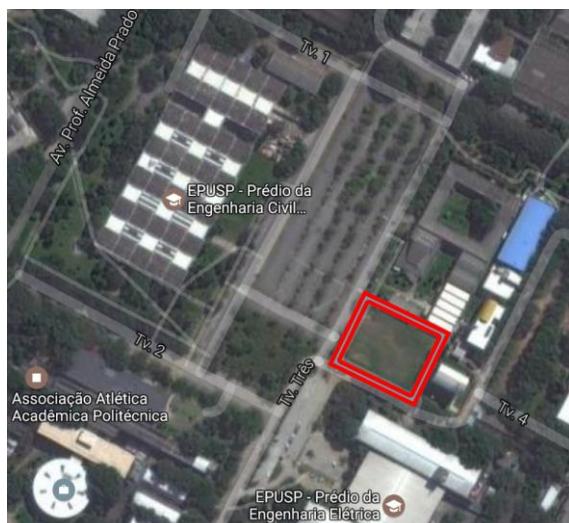
## 2. ESPAÇO

### 2.1. Características

#### 2.1.1. Dimensões

O terreno em questão tem dimensões elevadas, sendo grande o suficiente para conter uma estrutura que atenda a todos os usos planejados pelo grupo. Suas dimensões são: 50 metros de largura nos lados do terreno que beiram o estacionamento e o fundo do espaço, por 70 metros de comprimento nos lados voltados para o prédio da Administração e para o prédio da Engenharia Elétrica.

Figura 1 - Localização do espaço de evento da POLI - USP



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Para o projeto da estrutura, adotou-se um recuo de 5 metros em todo o perímetro do terreno, reduzindo, portanto, 10 metros em cada dimensão. Assim, o terreno possui 50 m x 70 m, sendo que a edificação em si terá 40 m x 60 m.

#### 2.1.2. Arredores

Um fator bastante relevante para a elaboração do projeto é o conhecimento dos arredores do terreno em que se planeja implantar a edifício, a fim de que sejam

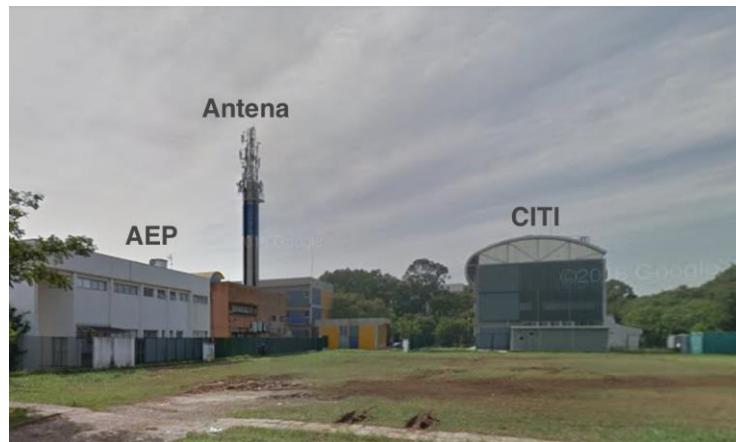
identificadas possíveis limitações ou exigências. No caso do espaço de eventos da Escola Politécnica, alguns fatores importantes devem ser ressaltados e levados em consideração para a concepção da estrutura.

Imediatamente ao lado do terreno, junto ao prédio da Administração, fica localizado o edifício da Associação dos Engenheiros Politécnicos (AEP). Essa construção é de pequeno porte, tem dimensões relativamente baixas e possui dois andares. Por estar localizada bem próxima à margem do terreno, sua integridade e estabilidade devem ser consideradas para os processos de contenção e escolha da fundação a ser adotada.

Ao fundo do terreno, fica o prédio do Centro Interdisciplinar de Tecnologias Interativas (CITI), que também possui dimensões razoavelmente pequenas, apesar de possuir três pavimentos. O principal ponto de atenção quanto a esta estrutura reside em sua grande antena parabólica, instalada no nível do gramado, junto ao prédio. A implantação de uma estrutura como a que se propõe nesse projeto certamente irá afetar o posicionamento da antena, por isso deve-se analisar sua posição e considerá-la no projeto, para que sua operação não seja inviabilizada.

Outro ponto a ser considerado é a existência de uma grande torre de antena nas proximidades do terreno. Ao lado do CITI e do prédio da Administração, encontra-se o Laboratório de Sustentabilidade da USP, junto ao qual se localiza uma antena de comunicações. Para que seu funcionamento não seja prejudicado, a altura da estrutura proposta não deve ultrapassar a altura da antena, sendo essa uma restrição do projeto.

Figura 2 - Pontos a serem considerados nos arredores do terreno



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

### 2.1.3. Solo

O conhecimento acerca das condições do solo no local do projeto é fundamental para se determinar qual o tipo de fundação mais adequada, o que terá influência direta tanto no cronograma quanto no orçamento da obra. O intuito não é aprofundar-se muito nesse aspecto, pois não é o foco do trabalho. No entanto, destacam-se aqui as informações mais relevantes e sugere-se um tipo de fundação que se enquadra nas condições apresentadas.

### 2.1.4. Sondagens

A análise das condições do solo foi feita a partir de sondagens realizadas nas proximidades do espaço de eventos da Poli. Como não há nenhum estudo realizado especificamente no terreno de interesse e que possa fornecer informações precisas e exatas, utilizou-se os resultados de sondagens realizadas no espaço do prédio da Administração para obter a descrição mais próxima possível da realidade. Essas sondagens foram fornecidas ao grupo e pertencem ao *Acervo de Obras de USP*.

A escolha da fundação da estrutura metálica proposta se baseará em um ensaio de penetração padrão conduzido em 1975 no terreno onde hoje está situado o Edifício Engenheiro Mario Covas Júnior da Escola Politécnica. Adotou-se a suposição de que as condições do solo não variam significativamente do local onde se realizaram as sondagens para o terreno em estudo no projeto, sendo possível a extração dos

resultados dos ensaios de penetração também para o terreno em estudo. A imagem a seguir ilustra a posição desse prédio em relação ao espaço de eventos, evidenciando sua proximidade:

Figura 3 - Localização do edifício Engenheiro Mário Covas Júnior em relação ao espaço de eventos da Escola Politécnica



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

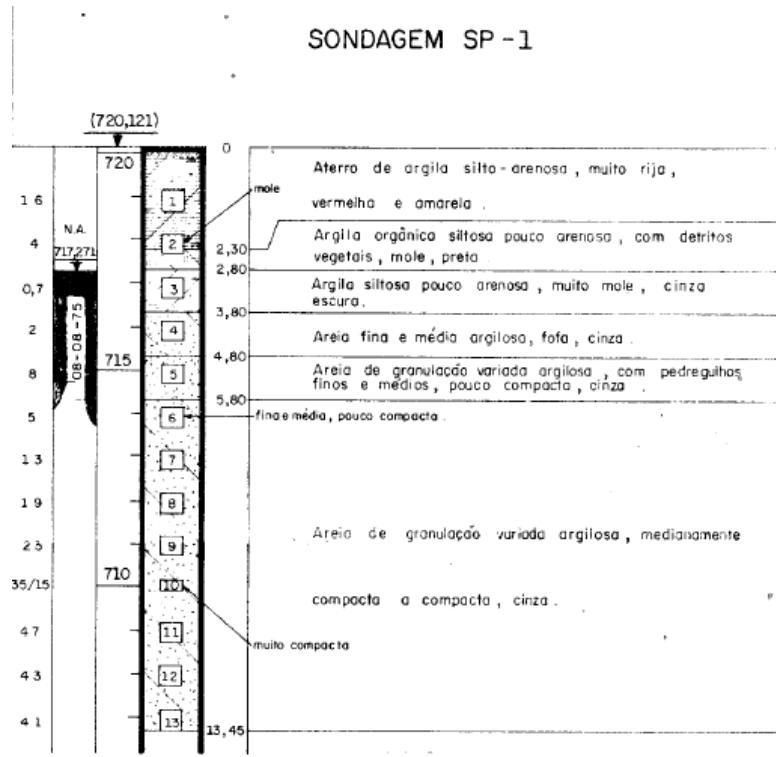
Os ensaios foram realizados pela empresa Sondasa - Engenharia Geotécnica e Fundações LTDA, que realizou 34 perfurações no terreno, das quais apenas 6 (SP-1, SP-2, SP-3, SP-4, SP-5 e SP-6) serão levadas em consideração para o estudo do solo na área do projeto. Em anexo (ANEXO A), pode-se verificar a locação dessas sondagens.

Segundo a norma *NBR 6484 - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio*, um ensaio Standard Penetration Test (SPT) deve fornecer algumas informações relevantes para a descrição do solo, tais como:

- Determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência;
- Posição do nível d'água;
- Índices de resistência à penetração (N) a cada metro.

Para exemplificação, apresenta-se a seguir os resultados da sondagem em SP-1:

Figura 4 - Resultado de ensaio SPT realizado no terreno do edifício Engenheiro Mario Covas Júnior



Fonte: (Sondasa - Engenharia Geotécnica e Fundações LTDA)

A partir da análise das seis sondagens acima mencionadas, nota-se que o nível d'água está apenas três metros abaixo do nível do solo. Além disso, verifica-se a existência de uma camada de aproximadamente 1,5 metros de argila muito mole e 2 metros de areia.

Logo, constata-se que o terreno possui algumas dificuldades, destacando-se o nível d'água elevado, o solo mole e a presença de edifícios ao redor.

Esses fatores são decisivos para a escolha da fundação e devem ser considerados para que a estrutura não seja danificada por recalques imediatos ou futuros e para que os prédios ao redor não sejam prejudicados.

Assim, propõe-se como solução o uso de Estacas Hélices para a fundação, pois são rapidamente executadas, não geram vibrações que possam danificar outras estruturas nas proximidades e não possuem restrições quanto ao nível d'água elevado. Porém, para efeito de maior precisão, sugere-se conduzir um ensaio SPT na área de interesse.

## 2.2. Contextualização

### 2.2.1. Usos atuais

Atualmente, o espaço de eventos é oficialmente utilizado apenas três vezes durante o ano: em fevereiro para o Trote Solidário, ocasião em que os veteranos recepcionam os calouros da faculdade; em março para a FEBRACE (Feira Brasileira de Ciências e Engenharia); e em agosto para o WI (Workshop Integrativo), feira de recrutamento organizada pela empresa júnior da Escola (Poli Júnior).

Com exceção do Trote Solidário, que acontece a céu aberto, os demais eventos requerem a montagem de uma tenda provisória, geralmente concebida em estrutura metálica e com vedação com lona plástica. Esse procedimento para montar e desmontar a estrutura da tenda provisória, além de onerar os custos, também demanda certo tempo para ser finalizado, afetando tanto o orçamento quanto o planejamento desses eventos.

A primeira montagem da tenda provisória ocorre no mês de março, quando o local recebe a FEBRACE, que consiste em uma grande mostra de projetos de jovens cientistas de todo o país. O evento ocorre anualmente na Universidade de São Paulo desde 2003 e recebe aproximadamente 12.000 visitantes ao longo de três dias de mostra, ou seja, cerca de 4.000 visitantes por dia, além dos expositores e seus respectivos orientadores, organizadores e equipe de apoio. A estrutura montada para sediar um evento desta magnitude deve, portanto, estar apta a receber os ocupantes de maneira confortável e lhes oferecer a infraestrutura necessária ao longo do dia.

Figura 5 - Vista externa da estrutura montada para a FEBRACE 2015



Fonte: (FEBRACE - [febrace.org.br](http://febrace.org.br))

Figura 6 - Espaço interno da tenda provisória da FEBRACE 2015



Fonte: (FEBRACE - [febrace.org.br](http://febrace.org.br))

A outra ocasião que requer a montagem de uma estrutura temporária ocorre em agosto, durante a realização do Workshop Integrativo. O evento tem como intuito promover a aproximação entre universitários e o mercado de trabalho através de um espaço no qual as empresas expõem seus programas de estágio e trainee, e os participantes podem conhecer melhor as empresas expositoras e seus ramos de atuação. O WI recebe aproximadamente 7.000 pessoas ao longo de seus dois dias de duração, o que significam cerca de 3.500 visitantes por dia. O evento tem um público diário que se aproxima do citado acima para a FEBRACE, porém, requer mais espaço pois as áreas dedicadas aos expositores são mais amplas. Além disso, o WI também conta com uma sala para palestras e oferece banheiros aos visitantes, apresentando de maneira geral uma infraestrutura mais completa do que a tenda da FEBRACE. A instalação das estruturas temporárias, dado seu tamanho, leva em torno de 20 dias a 25 dias, e sua desmontagem dura cerca de uma semana.

Figura 7 - Entrada da tenda do 24º Workshop Integrativo



Fonte: ([oitentaedois](#), 2015)

Figura 8 - Etapa de montagem da tenda provisória para o Workshop Integrativo



Fonte: (oitentaedois, 2015)

Figura 9 - Espaço interno do Workshop Integrativo



Fonte: (oitentaedois, 2015)

Dessa forma, fica claro que ambos os eventos que utilizam tendas provisórias, explicitados acima, seriam beneficiados caso houvesse uma estrutura já estabelecida no local, no qual a organização pudesse realizar seu evento.

### **3. PROPOSTA**

#### **3.1. Multifuncionalidade**

A estrutura proposta pelo grupo visa ser um espaço que agregue em si funções variadas e que mantenha os atuais papéis que já desempenha, sem prejudicar sua capacidade.

As finalidades que a edificação desempenhará podem ser sintetizadas em duas principais funções: espaço de eventos e complexo poliesportivo. A partir destas, derivam-se diversas opções de uso do local em diferentes situações no decorrer do tempo.

Como espaço de eventos, a edificação poderá abrigar ocasiões de grande porte, inclusive aquelas que antes tinham sua execução limitada por falta de um local que comportasse adequadamente o público. Além dos eventos da FEBRACE e do WI, apresentam-se a seguir possíveis usos do local para a realização de eventos:

- Palestras para grandes públicos, algo que seria de interesse de diversas instituições, como os centros acadêmicos, Grêmio Politécnico e instituições da própria diretoria. Como exemplo, pode-se citar a Aula Magna ministrada todo início de ano aos novos alunos ingressantes, na qual se atinge um público de mais de 800 pessoas. Nos últimos anos, esse evento tem sido realizado em locais externos à Escola, por falta de um ambiente que comporte uma palestra dessa magnitude.
- Debates, cujos interessados e organizadores seriam os mesmos citados no item anterior;
- Eventos e exposições culturais, que seriam de interesse não apenas das instituições e alunos da Poli, mas da USP como um todo. Como exemplo, pode-se citar a Festa do Livro, realizada anualmente pela universidade no mês de novembro. O evento já teve edições anteriores realizadas na Poli, porém de maneira espalhada entre os prédios das engenharias civil, mecânica e elétrica;

- Convenções acadêmicas, que também atenderiam à universidade de maneira geral. A possibilidade de realizar esse tipo de evento dentro da USP seria de grande vantagem até mesmo para seus participantes, pois muitos pesquisadores e interessados em comparecer à essas convenções têm a Universidade de São Paulo como um ponto focal, já estiveram lá antes ou frequentam-na usualmente;
- Matrícula dos novos estudantes ingressantes, realizada no mês de fevereiro, que poderia ter todos os seus procedimentos centralizados em um só local, pois haveria espaço suficiente para isso;
- Cerimônia de colação de grau oficial, que atualmente é realizada no anfiteatro do prédio da Administração e de maneira separada por cursos, devido à limitação de espaço. Com a estrutura proposta, a cerimônia poderia ser feita de maneira conjunta entre todos os cursos e o número de convidados por formando poderia ser maior.

Como ginásio poliesportivo, a edificação poderá ser utilizado tanto para treinos das equipes da Escola Politécnica quanto para competições esportivas oficiais entre equipes universitárias.

O uso do espaço para treinos esportivos garante o uso contínuo do local, pois há uma demanda suficiente para que eles ocorram diariamente. Para isso, a edificação contará com quadras poliesportivas que permitirão a prática de basquete, futsal, handebol, vôlei e badminton. Além disso, estão contidas no projeto áreas destinadas à prática de lutas, de tênis de mesa e de xadrez.

Para a realização de competições esportivas oficiais, o projeto inclui, além da quadra com medidas oficiais, uma arquibancada capaz de suprir um público elevado. Pensando na multifuncionalidade e com o intuito de conciliar a realização de jogos esportivos e eventos de grande escala em um mesmo espaço, adotou-se a solução das arquibancadas retráteis. Essa é uma opção bastante utilizada em outros países e se mostrou muito adequada ao projeto, pois atende à demanda de público dos jogos,

e evita que se perca área útil para a realização de outros eventos. Mais detalhes sobre essa alternativa serão apresentados ao longo do texto.

### **3.2. Partes envolvidas**

Primeiramente, destaca-se a diretoria da Escola Politécnica, que já demonstrou grande interesse em uma estrutura desse tipo no local. O grupo teve a oportunidade de conversar pessoalmente com o diretor José Roberto Castilho Piqueira, que se mostrou bastante contente com o projeto e expressou seu antigo desejo de que um complexo esportivo multifuncional fosse executado no terreno. O apoio da diretoria é fundamental, pois dela depende a aprovação do projeto.

Dado que essa construção afetaria um espaço que já é atualmente utilizado pelas organizações responsáveis pela FEBRACE e pelo Workshop Integrativo, essas também representam partes interessadas. A FEBRACE é realizada pela Universidade de São Paulo através do LSI-EPUSP (Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica), enquanto o WI, conforme mencionado anteriormente, é organizado pela Poli Júnior. Para essas instituições, a concretização desse projeto traria grandes benefícios, pois eliminaria a necessidade da montagem e desmontagem das tendas provisórias, o que se traduziria em redução de despesas para esses eventos. Deve-se enfatizar que a estrutura proposta será capaz de sediar esses eventos para um público semelhante ou até mesmo superior ao que já é registrado usualmente nessas ocasiões, além de oferecer uma infraestrutura de melhor qualidade aos participantes.

Como um espaço para realização de eventos, a estrutura multiuso também seria de interesse do Grêmio Politécnico, que poderia utilizá-lo em diversas ocasiões. Ao entrar em contato com membros da instituição, constatou-se que o espaço seria útil para workshops, eventos do Cursinho da Poli, eventos do Integrpoli, palestras ou debates que demandem um local com maior capacidade. Como um exemplo de uso anual e recorrente, pode-se citar a Semana de Arte da Poli (SAPO), organizada pelo Grêmio, que por vezes já apresentou dificuldades em encontrar locais adequados para a realização de atividades culturais que comportassem confortavelmente os alunos. Esse evento ocorre em outubro, com duração de cinco dias, e conta com apresentações musicais, oficinas artísticas variadas (dança, gastronomia, fotografia, etc.), exibições de filmes, entre outras atrações.

Como um ginásio poliesportivo, a edificação teria na AAAP (Associação Acadêmica Atlética Politécnica) seu grande interessado, sendo este o órgão responsável pela organização da prática esportiva na Escola Politécnica. Existem atualmente 29 modalidades praticadas pelos alunos, que se utilizam dos espaços oferecidos no Centro de Práticas Esportivas da USP (CEPEUSP) para realizarem suas atividades. Entretanto, o CEPEUSP atende não somente à Poli, mas a todas as faculdades da universidade, o que torna os horários e locais disponíveis para treinos bastante limitados para as equipes. Por essa razão, muitas delas recorrem a alternativas particulares e optam por alugar quadras ou campos em locais externos à universidade, sendo que as despesas são arcadas pelos próprios atletas. Dessa forma, a existência de um local dentro da própria faculdade que ofereça espaços de treinamento para os atletas seria de grande benefício para as equipes. Ao conversar com membros da AAAP sobre o projeto e lhes apresentar a possibilidade de um complexo poliesportivo dentro das dependências da Escola, a resposta foi extremamente positiva e todos demonstraram um enorme interesse, além de confirmarem a existência da demanda por uma edificação deste tipo para os atletas. Como será detalhado mais à frente (no item referente ao espaço interno), o projeto pretende atender a 16 das 29 modalidades esportivas, sendo elas: Badminton, Basquete Feminino, Basquete Masculino, Futsal Feminino, Futsal Masculino, Handebol Feminino, Handebol Masculino, Jiu Jitsu, Judô, Karatê, Kung Fu, Muay Thai, Tênis de Mesa, Vôlei Feminino, Vôlei Masculino e Xadrez.

Por fim, os centros acadêmicos também se apresentam como partes interessadas neste projeto por poderem fazer uso do mesmo como um espaço de eventos. A organização de palestras, workshops, debates e até mesmo festas universitárias poderão ser realizadas nesse local, expandindo as possibilidades existentes atualmente.

#### 4. CASOS DE REFERÊNCIA

Antes de definir a arquitetura do projeto, o grupo buscou se aprofundar na pesquisa de casos bem-sucedidos de estruturas que desempenhassem funções semelhantes ou próximas àquelas pretendidas. Esse estudo foi fundamental para melhor compreensão dos padrões, exigências e limitações de cada tipo de uso, além de fornecer bons exemplos de otimização do espaço. Outros fatores também bastante influenciados pelas estruturas analisadas foram o aspecto estético da edificação projetado e os materiais escolhidos.

Os casos apresentados a seguir foram os que mais influenciaram este projeto, sendo utilizados como referência para a estrutura proposta.

##### 4.1. Unisys Arena

O complexo esportivo Unisys Arena é uma obra de grande porte localizada em São Paulo, cuja área construída chega a 8.000 m<sup>2</sup> e sua conclusão data do ano de 2002. Consiste em um centro esportivo para prática de tênis, squash e padel, contando também com uma academia fitness e uma academia de lutas. Ademais, a infraestrutura da arena permite a realização de eventos esportivos, shows musicais, leilões e uma grande gama de atividades. A edificação atua, portanto, como um complexo multiuso.

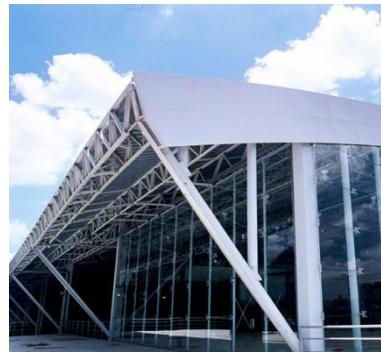
Figura 10 - Estrutura do complexo esportivo Unisys Arena



Fonte: (<http://www.cbca-acobrasil.org.br>)

A construção tem uma arquitetura arrojada, com destaque para sua cobertura em forma de casca curva que se utiliza de estruturas metálicas. Para que se garantisse um ótimo isolamento termoacústico e perfeita estanqueidade, foi utilizado sobre a estrutura metálica um conceito de fechamento de casca em camadas. A primeira delas em telha metálica galvanizada, a segunda em placas de isopor, e a terceira em placas de madeira. Colada a essa última, existe uma camada final em manta de impermeabilização. A solução estrutural adotada foi a de sistemas construtivos metálicos tradicionais sendo que, na edificação principal, foi utilizado o sistema de treliças.

Figura 11 - Detalhe da cobertura curva e da vedação em vidro



Fonte: (<http://www.cbca-acobrasil.org.br>)

Figura 12 - Espaço interno da Unisys Arena



Fonte: (<http://www.gcp.arq.br>)

A influência dessa estrutura no projeto proposto se reflete principalmente na arquitetura externa. O modelo da cobertura curva em forma de casca teve uma alta

receptividade pelos membros do grupo, servindo como inspiração para o modelo elaborado.

#### **4.2. Ginásio de esportes do Colégio São Luís**

O Colégio São Luís, localizado na cidade de São Paulo na esquina da Avenida Paulista com a Rua Haddock Lobo, possui um ginásio que apresenta uma arquitetura diferenciada elaborada em estrutura metálica e vidro. A obra, iniciada em 2010 e concluída em 2015, consiste em um complexo multiuso com infraestrutura para realização de eventos esportivos e outros espetáculos.

Figura 13 - Vista externa do ginásio esportivo do Colégio São Luís



Fonte: (<http://www.archdaily.com.br>)

Figura 14 - Espaço interno do ginásio

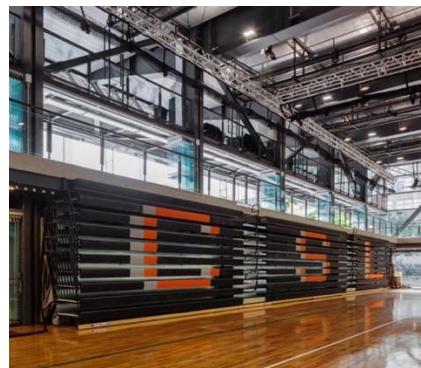


Fonte: (<http://www.archdaily.com.br>)

Um dos diferenciais desse projeto é a arquibancada retrátil instalada na quadra coberta que, quando recolhida, permite o uso do espaço para outros tipos de funções,

além de proporcionar o uso de mais uma quadra. Já nos dias de grandes eventos, nos quais se deve atender a um público relativamente alto (como exemplo, citam-se competições esportivas entre o colégio e outras escolas), a arquibancada se faz necessária, atuando, portanto, como um elemento fundamental para a multifuncionalidade do espaço.

Figura 15 - Arquibancada retrátil recolhida



Fonte: (<http://www.archdaily.com.br>)

Figura 16 - Uso do ginásio esportivo com a arquibancada retrátil aberta



Fonte: (<http://www.archdaily.com.br>)

Quanto aos materiais escolhidos para o projeto, a opção pela estrutura metálica ocorreu por questões de velocidade de construção e otimização da logística, dado que o local da obra impõe restrições e tem um impacto significativo nos arredores. Já a opção pela vedação em vidro teve como fato motivador a necessidade de combinação de bons desempenhos acústico e térmico. Para isso, desenvolveu-se para o ginásio o vidro low-e, que possui um filtro de radiação para garantir o conforto térmico e

propriedades que asseguram o conforto acústico, algo fundamental para um espaço que abriga eventos esportivos, apresentações teatrais e musicais. Esse tipo de vidro elimina a reverberação do som (algo comum em ginásios esportivos) e isola o prédio em si. Foram feitos tratamentos das juntas de vidro e outros tratamentos de absorção.

Quanto à influência desse complexo no projeto proposto, sua grande contribuição reside no uso da arquibancada retrátil e nos materiais utilizados.

#### **4.3. Ginásio - Clube Alto de Pinheiros**

O ginásio do Clube Alto dos Pinheiros, em São Paulo, foi construído em 2012 e possui uma área de 1280 m<sup>2</sup>. Sua estrutura se destaca pela cobertura em arcos treliçados cobertos por membrana translúcida.

Figura 17 - Ginásio do Clube Alto dos Pinheiros



Fonte: (<http://www.archdaily.com.br>)

A solução adotada para a cobertura foi resultado de uma tentativa de reduzir a quantidade de aço empregada na construção. A leveza da cobertura se deve à estrutura de aço tubular soldada, pintada de branco, sobre a qual são fixadas membranas translúcidas tensionadas, cujo material se assemelha a um tecido. As aberturas triangulares nas extremidades dos arcos e as membranas microperfuradas propiciam uma ventilação cruzada, dispensando sistemas de climatização adicionais.

Figura 18 - Aberturas triangulares laterais



Fonte: (<http://www.archdaily.com.br>)

Figura 19 - Detalhe do encontro dos tubos de aço



Fonte: (<http://www.archdaily.com.br>)

O aspecto de maior influência dessa estrutura reside nos seus arcos treliçados de cobertura e no modo como foram elaborados.

## 5. ESTRUTURA

### 5.1. Arquitetura

#### 5.1.1. Arquitetura externa

Conforme já mencionado anteriormente, a estrutura tem dimensões de 40 m x 60 m. Para efeito deste texto, será utilizada uma nomenclatura de acordo com o posicionamento da edificação no terreno. A fachada frontal é aquela paralela à calçada do estacionamento e tem 40 metros de comprimento, como pode ser visto na figura a seguir:

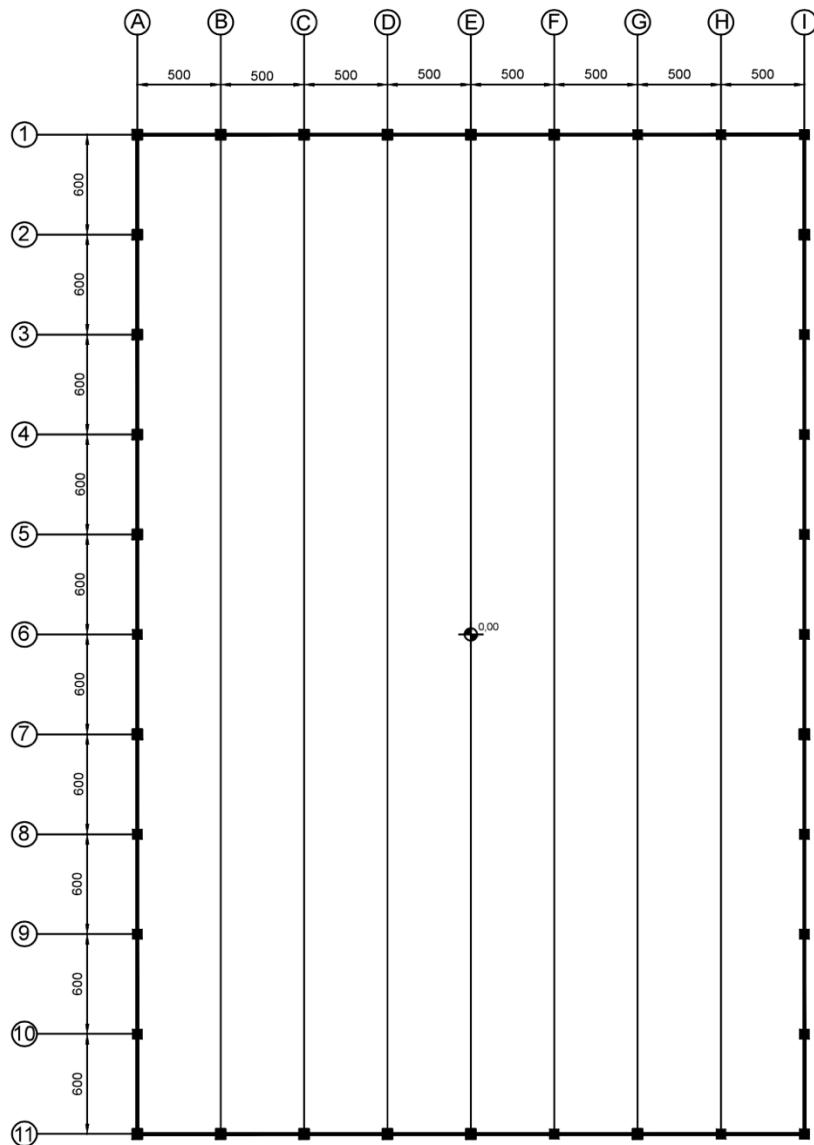
Figura 20 - Local do terreno com a definição das vistas



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Devido ao uso proposto pela edificação, torna-se necessário garantir uma área útil desobstruída. Portanto, foram utilizados pilares apenas nas fachadas, mantendo todo o espaço interno livre para uso. A figura a seguir destaca o posicionamento dos pilares, bem como a numeração dos eixos adotados como referência.

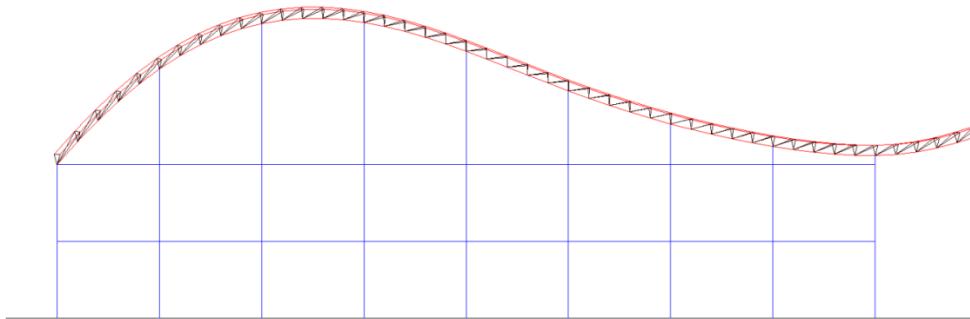
Figura 21 - Dimensões do complexo multiuso



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Para a cobertura, adotou-se um arco assimétrico, conforme pode ser observado na figura abaixo. A fachada lateral esquerda (eixo A) possui pilares treliçados de 7,5 metros de altura, enquanto a fachada lateral direita (eixo I) possui pilares com 7,94 metros de altura. A altura da edificação em seu ponto mais alto é de 15,14 metros (a 13 metros da fachada lateral esquerda).

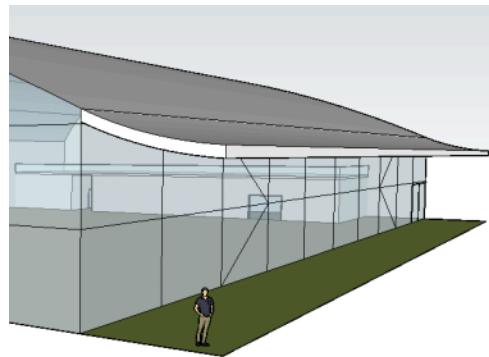
Figura 22 - Vista frontal do ginásio multiuso



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Além disso, o projeto possui uma parte da cobertura em balanço, que garante uma proteção de 5 metros na horizontal em relação à fachada. Como esse balanço se estende por toda a lateral direita, tem-se um total de 300 m<sup>2</sup> de área protegida, espaço que pode ser utilizado como área de convivência pelos alunos.

Figura 23 - Balanço e área de vivência



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

#### 5.1.1.1. Orientação espacial

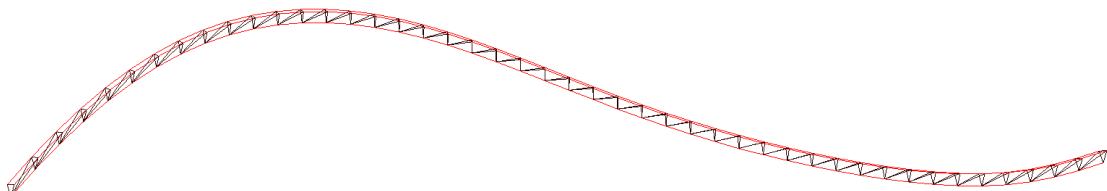
A orientação espacial é um aspecto de extrema importância. A incidência de luz solar, o horário do nascer e pôr do sol são muito relevantes para a escolha do tipo de vedação lateral que será utilizada.

O sol movimenta-se do Leste (necer-do-sol) em direção ao Oeste (pôr-do-sol), devido à rotação da Terra. Analisando o posicionamento do terreno em relação aos pontos cardinais, conclui-se que as fachadas que recebem maior incidência de raios solares são aquelas paralelas aos edifícios Engenheiro Mario Covas Junior (lateral esquerda) e ao Centro Interdisciplinar de Tecnologias Interativas - CITI (fachada traseira). Logo, deve-se ter maior cautela ao dimensioná-las para que os critérios de conforto térmico sejam cumpridos.

#### 5.1.1.2. Detalhe da cobertura

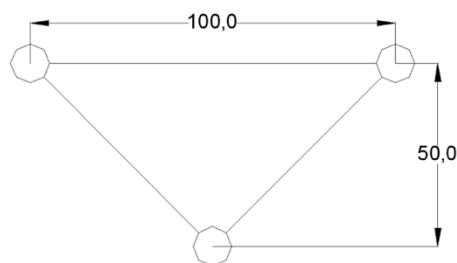
Para dar formato à curva da cobertura, optou-se por uma solução com curva em treliça de três cordas. Essa solução se assemelha ao que foi visto nos estudos de caso e foi escolhida pela facilidade construtiva para se atingir o formato esperado.

Figura 24 - Treliça de três cordas



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Figura 25 - Detalhe da treliça de três cordas



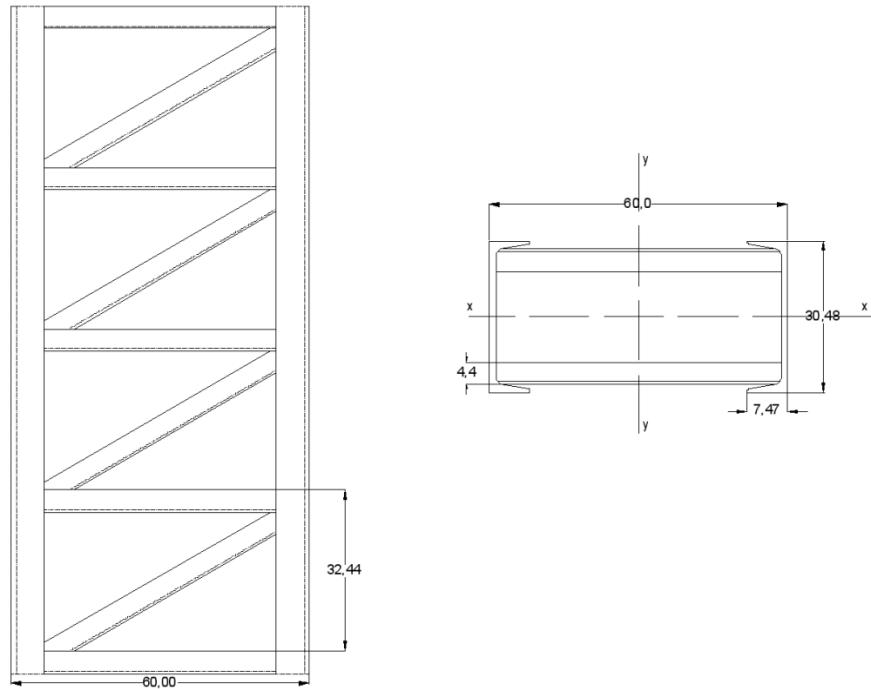
Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Outro aspecto relevante referente à cobertura reside na presença de painéis solares em seu exterior. A estrutura imaginada pelo grupo visa não somente a uma estética moderna, mas também a uma funcionalidade sustentável. Nesse sentido, a presença de painéis solares sobre a cobertura se apresenta como uma excelente alternativa para auxiliar no suprimento da energia elétrica adicional que a edificação irá necessitar.

#### 5.1.1.3.Detalhe dos Pilares

Nas fachadas laterais, optou-se por utilizar pilares treliçados para aumentar a rigidez proporcionada por este elemento, comparado com um elemento de seção I convencional, combatendo a deslocabilidade lateral de maneira efetiva. Os pilares são compostos por dois perfis C e travamentos em treliça com cantoneiras de abas iguais.

Figura 26 - Detalhe do pilar treliçado



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

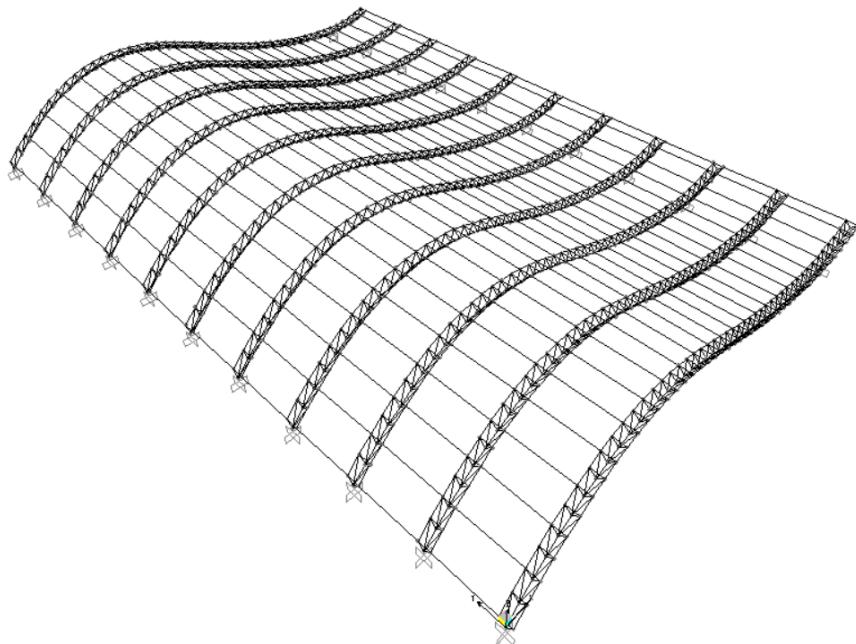
#### 5.1.1.4.Travamentos

Para garantir estabilidade, foram propostos travamentos verticais em “K” nas fachadas laterais, entre os eixos 3 e 4 e os eixos 8 e 9. Estes travamentos podem ser observados na figura acima. Dessa forma, combate-se a deslocabilidade lateral da fachada.

Na fachada frontal não foram colocados travamentos devido a questões estéticas. Porém, como o pilar treliçado está em seu eixo de maior inércia, sua rigidez à flexão contribui para a estabilidade do pórtico.

Para verificar a necessidade de travamentos na cobertura, foi utilizado um modelo 3D no software SAP 2000. Este modelo continha toda a estrutura da cobertura (arcos, treliças, terças), os carregamentos correspondentes aplicados nas terças, além do vento a 0° aplicado nos nós de conexão com os pilares I na fachada frontal. Os deslocamentos laterais não foram significativos para o tamanho do vão e, portanto, não se considerou necessário colocar travamentos adicionais na cobertura, uma vez que a própria estrutura treliçada já consegue conter os deslocamentos. A figura abaixo mostra o modelo da cobertura no software SAP 2000.

Figura 27 - Modelo da cobertura sem os pilares



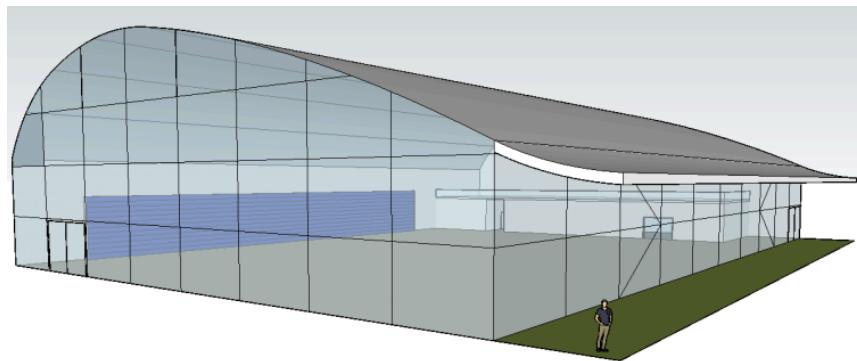
Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

### 5.1.1.5. Vedações laterais

O projeto utilizará dois tipos de vedações laterais: sistema de fachada de vidro e painéis pré-fabricados de concreto.

Na fachada frontal e na lateral direita, onde a incidência solar é menor, será utilizado o sistema de fachada de vidro. Já para a fachada do fundo e para a lateral esquerda, serão utilizados painéis pré-fabricados de concreto. Escolheu-se esse tipo de vedação devido à presença de edifícios próximos às fachadas, além da maior intensidade de incidência dos raios solares.

Figura 28 - Tipos de vedação lateral do complexo multiuso



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

### 5.1.1.6. Pontos de acesso

Haverá dois pontos de acesso, que podem ser visualizados na figura acima. O primeiro encontra-se na fachada frontal, atuando como ponto de acesso principal dos alunos e visitantes. Já o segundo será localizado na fachada lateral direita. Em ambos os casos, as dimensões serão 3,7 metros de altura e 2,5 metros de largura.

Pensando nos aspectos referentes à acessibilidade para pessoas em cadeiras de rodas, o acesso para as entradas do prédio deve ter uma pequena rampa para vencer o desnível entre a cota do terreno em questão e os arredores. Dado que esse desnível é bastante reduzido (cerca de 10 cm) e o espaço disponível para a execução da rampa corresponde ao recuo adotado de 5 metros, a inclinação das rampas

seguramente estará abaixo do limite de 5% determinado pela norma (*NBR 9050 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaço e equipamentos urbanos*). Além disso, a norma também determina que a largura mínima das portas para que a cadeira de rodas possa passar sem dificuldades é 80 cm. Visto que os pontos de acesso possuem 2,5 metros de largura, esse requisito também está atendido.

#### 5.1.1.7.Saída de emergência

De acordo com a norma *NBR 9077 - Saída de emergência em edifícios*, os acessos devem:

- ter pé-direito mínimo de 2,50 metros, com exceção de obstáculos representados por vigas, vergas de portas, e outros, cuja altura mínima livre deve ser de 2,00 metros;
- ter largura mínima de 2,20 metros, para permitir a passagem de macas, camas, e outros;
- permitir o escoamento fácil de todos os ocupantes do prédio;
- permanecer desobstruídos em todos os pavimentos;
- serem sinalizados e iluminados com indicação clara do sentido da saída, de acordo com o estabelecido nesta Norma.

Assim, garantindo esses requisitos, é preciso determinar a quantidade de saídas de emergência que a edificação terá. Para isso, é necessário classificar o projeto quanto à sua ocupação e altura. Segundo a tabela abaixo, o projeto se enquadra nas classificações F3 e F5.

Tabela 1 - Classificação de edifícios quanto à ocupação

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
<b>F</b>	Locais de reunião de público	F-3	Centros esportivos	Estádios, ginásios e piscinas cobertas com arquibancadas, arenas em geral
		F-5	Locais para produção e apresentação de artes cênicas	Teatros em geral, cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão e outros

Fonte: (NBR 9077 - Saída de emergência em edifícios)

Já para a altura, com auxílio da tabela abaixo, pode-se classificar o projeto como código K.

Tabela 2 - Classificação das edificações quanto à altura

	Tipo de edificação	Alturas contadas da soleira de entrada ao piso do último pavimento, não consideradas edículas no ático destinadas a casas de máquinas e terraços descobertos (H)
Código	Denominação	
K	Edificações térreas	Altura contada entre o terreno circundante e o piso da entrada igual ou inferior a 1,00 m
L	Edificações baixas	$H \leq 6,00\text{ m}$
M	Edificações de média altura	$6,00\text{ m} < H \leq 12,00\text{ m}$
N	Edificações medianamente altas	$12,00\text{ m} < H - 30,00\text{ m}$

Fonte: (NBR 9077 - Saída de emergência em edifícios)

A partir das classificações quanto ao uso e à altura da edificação, determina-se o número de pontos de saída necessário para atender os critérios determinados pela norma. No caso do projeto em questão, são necessários dois pontos de saída, conforme indicado na tabela abaixo.

Tabela 3 - Definição do número de saídas de emergência

Dimensão		P ( área de pavimento < 750 m <sup>2</sup> )	Q (área de pavimento > 750 m <sup>2</sup> )
Altura		N	N
Grupo	Divisão	Número de saídas	
	F	2	2
	F - 5	2	2

Fonte: (NBR 9077 - Saída de emergência em edifícios)

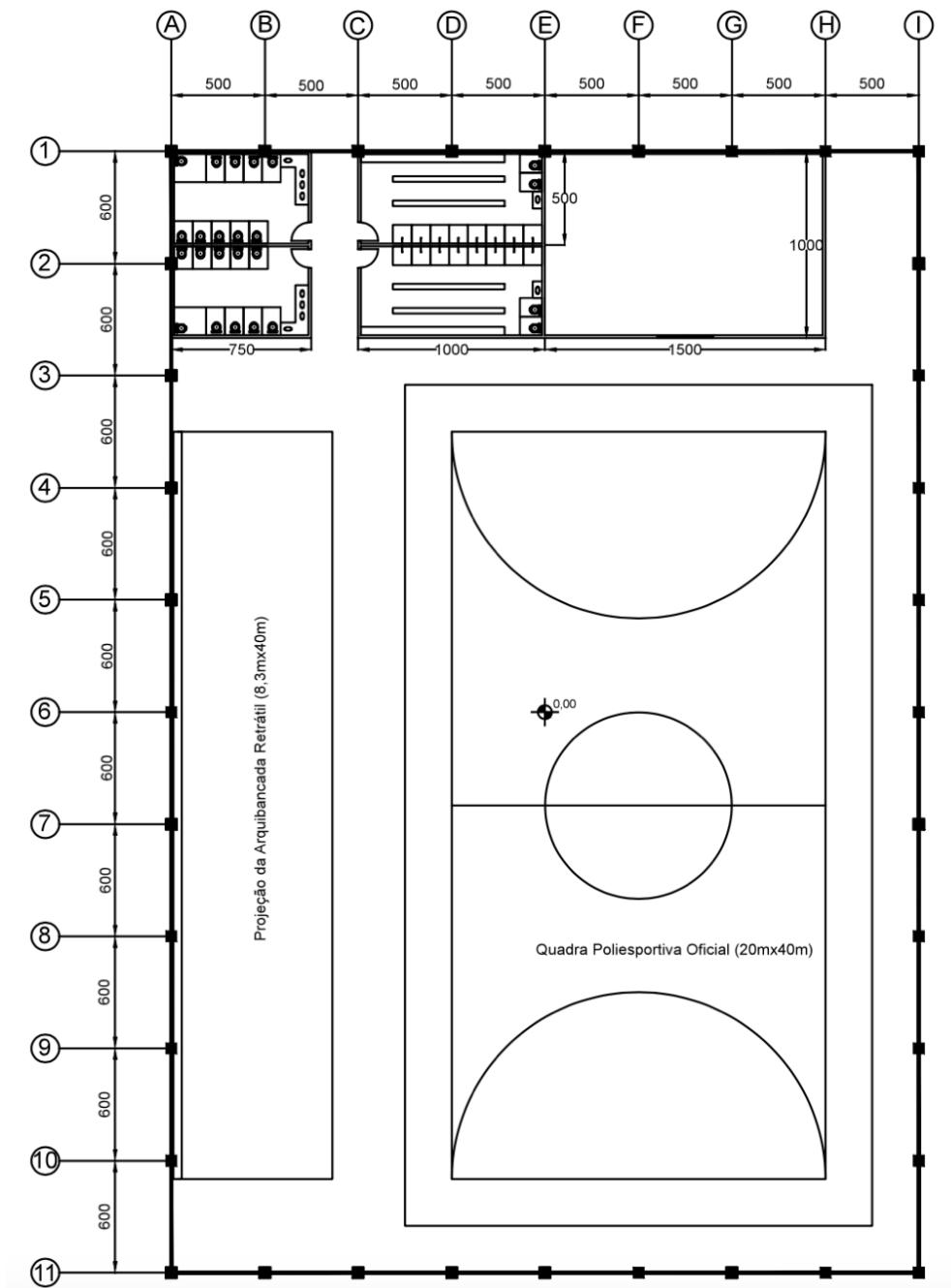
Assim, os próprios pontos de acesso previamente mencionados já são suficientes para que se atendam às condições de segurança relativas às saídas de emergência.

#### 5.1.2. Espaço interno

A concepção do espaço interno baseou-se na multifuncionalidade da estrutura, buscando agregar todos os elementos necessários aos diferentes usos planejados para a edificação. Grande parte da área interna é dedicada às quadras poliesportivas, sendo, portanto, uma área livre de pilares ou divisões. Esse mesmo espaço será destinado à realização dos eventos, que terão um amplo espaço para circulação de pessoas. Para possibilitar a realização de competições esportivas e acomodar um público elevado, sem que se perca área útil nas situações em que ocorram grandes eventos, adotou-se a solução da arquibancada retrátil. O local também contará com banheiros, vestiários e um depósito para armazenamento de materiais. Acima dessas instalações, existirá um mezanino que também poderá ser utilizado para treinos esportivos.

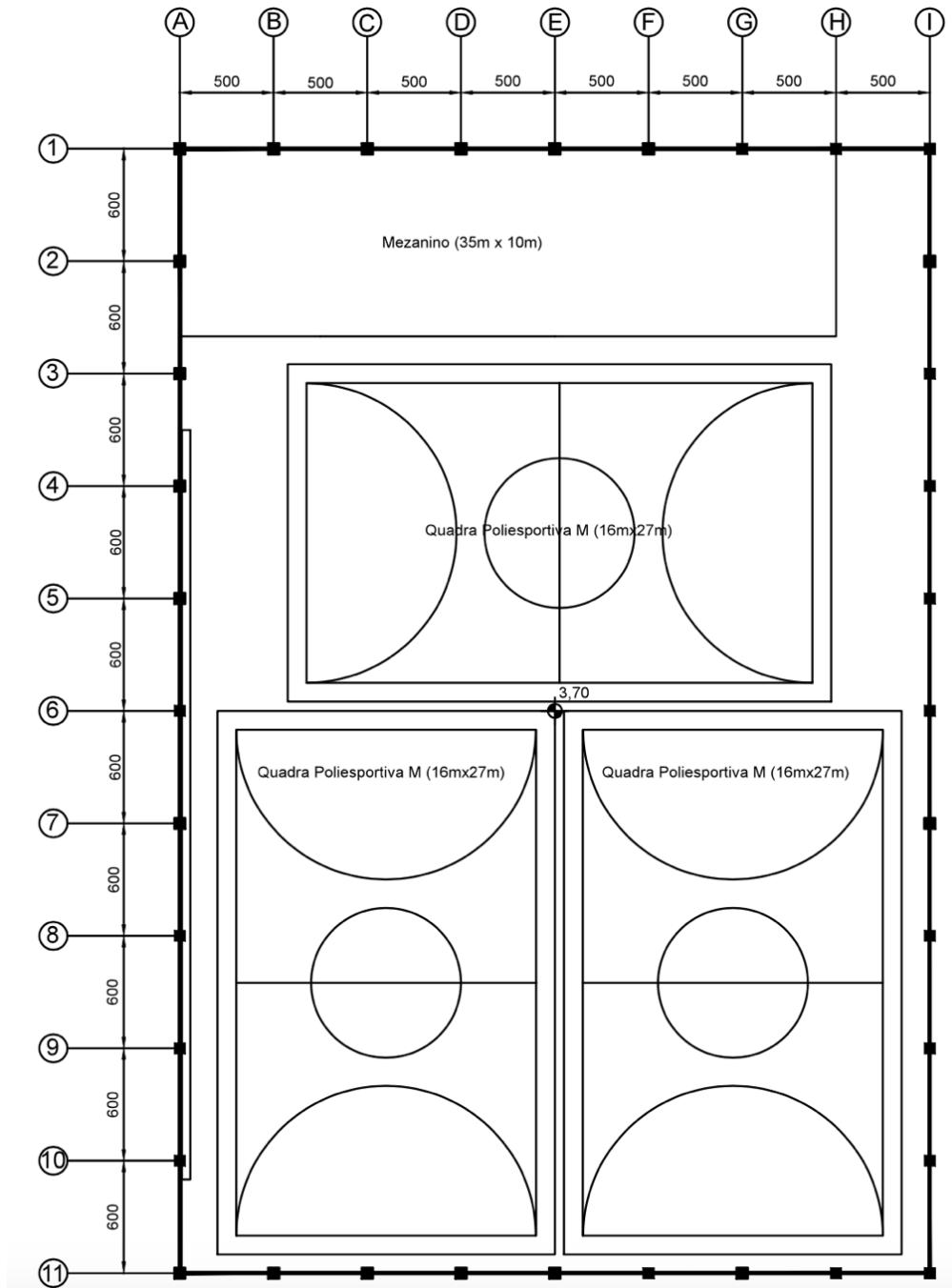
As plantas exibidas a seguir ilustram o projeto elaborado para o espaço interno, destacando as duas diferentes configurações possíveis com relação à arquibancada e em diferentes cotas: 0 m e 3,7 m (cota do mezanino).

Figura 29 - Planta na cota 0 m, com arquibancada aberta



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Figura 30 - Planta na cota 3,7 m, com arquibancada fechada



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

#### 5.1.2.1.Quadras

Para o uso do espaço para os treinos das equipes esportivas da Escola Politécnica no dia-a-dia, a arquibancada permanecerá fechada, possibilitando a configuração em que se verificam três quadras, como na figura acima, respeitando a

distância mínima entre elas para questões de segurança e conforto dos atletas. Elas são destinadas apenas a treinos, com dimensões de 16 m x 27 m, um pouco inferiores às medidas oficiais. Com as demarcações adequadas, essas quadras permitem a prática de basquete, futsal, handebol, voleibol e badminton.

Já para a realização de eventos esportivos oficiais, deve ser utilizada a quadra maior, de dimensões oficiais, com a arquibancada aberta. A quadra oficial tem dimensões de 20 m x 40 m até suas demarcações de linha e deve possuir, de acordo com a norma, um recuo mínimo de segurança de 2 metros em todo o seu perímetro. Nesse projeto, foi adotado um recuo de 2,5 metros em torno da quadra, resultando em medidas finais de 25 m x 45 m destinados a essa função.

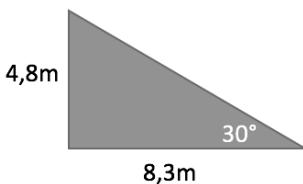
#### 5.1.2.2.Arquibancada

Quanto à arquibancada retrátil, sua utilização ou não está diretamente ligada ao uso que se pretende dar para o espaço no momento, conferindo flexibilidade aos usuários e oferecendo um meio de acomodar uma alta quantidade de pessoas.

Seu projeto foi elaborado considerando 12 degraus de 40 cm de altura cada, o que resulta em uma altura máxima atingida no último degrau de 4,8 metros. Essa altura máxima foi o valor limitante para a determinação da quantidade de degraus possíveis, pois deve ser levado em consideração que a cobertura da estrutura nesse ponto está a 7,5 metros do chão e que os ocupantes do último nível da arquibancada devem poder ficar em pé confortavelmente.

Outro aspecto fundamental para o dimensionamento da arquibancada é a sua inclinação, fator que irá garantir a boa visibilidade do evento ao público presente. A recomendação é que a inclinação não ultrapasse 35 graus. Nesse projeto, adotou-se uma inclinação de 30 graus. Dessa forma, considerando os 4,8 metros de altura, a arquibancada irá ocupar horizontalmente 8,3 metros quando aberta totalmente. Vale destacar que a arquibancada não precisa ser aberta totalmente caso a demanda de público seja menor, pois seu mecanismo permite que se abram apenas quantos degraus forem necessários. Quando fechada totalmente, a arquibancada ocupa somente 40 cm.

Figura 31 - Representação esquemática da arquibancada retrátil totalmente aberta



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

A arquibancada terá 40 metros de comprimento no sentido longitudinal, sendo composta por quatro módulos de 10 metros cada. Considerando que cada módulo terá uma escada para acesso aos degraus superiores com 1 metro de largura cada, restam 36 metros de comprimento “útil” para a acomodação do público. Para estimar a capacidade da arquibancada, assumiu-se que cada indivíduo ocupa aproximadamente 0,5 metro, o que resulta em 72 pessoas por fileira de degrau. Sendo 12 degraus, a capacidade máxima da arquibancada seriam 864 ocupantes.

- comprimento útil =  $40 - 4 = 36\text{ m}$
- capacidade por fileira =  $36/0,5 = 72\text{ pessoas}$
- capacidade total =  $72 \times 12 = 864\text{ pessoas}$

#### 5.1.2.3.Banheiros e vestiários

Os banheiros e vestiários foram propostos como espaços distintos visando maior comodidade aos atletas, tendo em mente as situações tanto de treinos que ocorrerão diariamente, quanto de competições esportivas que venham a ocorrer ocasionalmente. Os banheiros serão sempre distinguidos entre feminino e masculino, porém os vestiários podem ser divididos de duas maneiras: como “feminino” e “masculino” para os treinos, e como “mandantes” e “visitantes” para as competições esportivas. Isso porque as competições são realizadas entre equipes do mesmo gênero, o que ocasionaria em uma sobrecarga de apenas um dos vestiários enquanto o outro permaneceria livre, caso a divisão estivesse sempre restrita a “feminino” e “masculino”. Como os banheiros atendem não só aos atletas, mas também ao público

presente e aos demais ocupantes do espaço, foi determinado que devem permanecer separados dos vestiários para que essa flexibilidade seja possível.

Os vestiários têm dimensões de 5 m x 10 m cada um. Quanto ao espaço interno, seus elementos são os chuveiros, armários, espaço para troca de roupa com bancos, vasos sanitários e pias. Os boxes dos chuveiros foram projetados com 1 m x 1 m, totalizando 8 boxes. Os vasos sanitários nesse caso são apenas complementares e para comodidade dos usuários dos vestiários, pois a grande demanda deve ser atendida pelos banheiros. Assim, adotaram-se apenas dois vasos sanitários em cada vestiário.

Os banheiros têm dimensões de 5 m x 7,5 m cada. Para o dimensionamento das cabines, adotaram-se as dimensões padrões de 1 m x 1,2 m. De acordo com a *NBR5626 - Instalação Predial de Água Fria*, a proporção entre ocupantes e número de aparelhos sanitários para edificações destinadas a auditórios, eventos e teatros (categoria que mais se aproxima da estrutura em questão) é de 1 aparelho para cada 100 pessoas. Portanto, o projeto prevê 9 cabines em cada banheiro, além de 1 cabine maior para pessoas com deficiência física. Quanto às pias, foram projetadas 4 pias de 0,5 m x 0,7 m.

#### 5.1.2.4.Depósito

Ao lado dos vestiários, ficará o depósito para materiais, com dimensões de 5 m x 15 m. Esse espaço será utilizado para o armazenamento de materiais esportivos, como bolas, traves de futsal e handebol, redes de voleibol, etc. Além disso, pode ser utilizado para guardar equipamentos relativos aos eventos a serem realizados, como cadeiras, mesas, equipamentos de som, entre outros.

#### 5.1.2.5.Mezanino

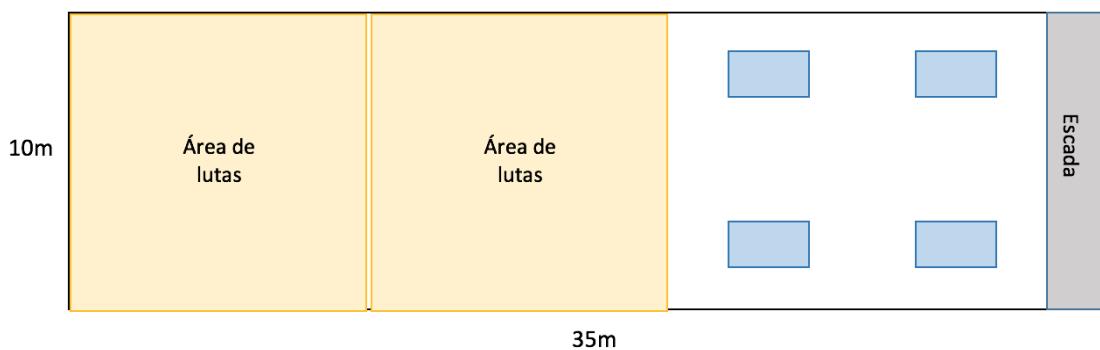
O mezanino ocupará o espaço localizado sobre os banheiros, vestiários e depósito, totalizando uma área de 350 m<sup>2</sup> (10 m x 35 m). Deve-se considerar, entretanto, um espaço para a escada de acesso do primeiro ao segundo nível, que ficará localizada na extremidade direita do mezanino.

É importante destacar aqui que o projeto também prevê um elevador pequeno ao lado da escada, mais uma vez pensando na acessibilidade para pessoas com deficiência. Para suprir essa necessidade, optou-se por adotar um elevador de pequeno porte, com dimensões de 1,40 m x 1,10 m, com capacidade para transportar 1 cadeirante e mais 1 acompanhante, ou então 3 pessoas (cerca de 250 kg).

O espaço do mezanino será destinado à prática das equipes de lutas (jiu jitsu, judô, karatê, kung fu e muay thai) e de tênis de mesa. Para as lutas, a área do tatame deve ser quadrada e ter uma dimensão mínima de 8 metros de lado, de forma que se atenda a todas as modalidades supracitadas. Além disso, deve haver uma faixa de segurança de 1 metro em todo o perímetro do tatame, resultando em uma área total de luta de 10 m x 10 m. Dado o espaço disponível no mezanino, optou-se por estabelecer duas áreas de lutas, ocupando uma dimensão total de 10 m x 20 m.

Para a prática da equipe de tênis de mesa, tem-se uma área disponível de 10 m x 13 m. Para o dimensionamento desse espaço, sabe-se que uma mesa desse esporte tem dimensões oficiais de 1,52 m x 2,74 m e que os atletas devem ter um espaço confortável em torno dela para se movimentarem ao longo da partida. Adotando uma folga de aproximadamente 1,5 metro na direção paralela à dimensão de 1,52 m da mesa e de 2 metros na outra direção, foram estipuladas quatro mesas de tênis de mesa para o local. Além disso, deve-se também considerar a necessidade de um corredor para a passagem dos ocupantes.

Figura 32 - Disposição esquemática dos elementos do mezanino



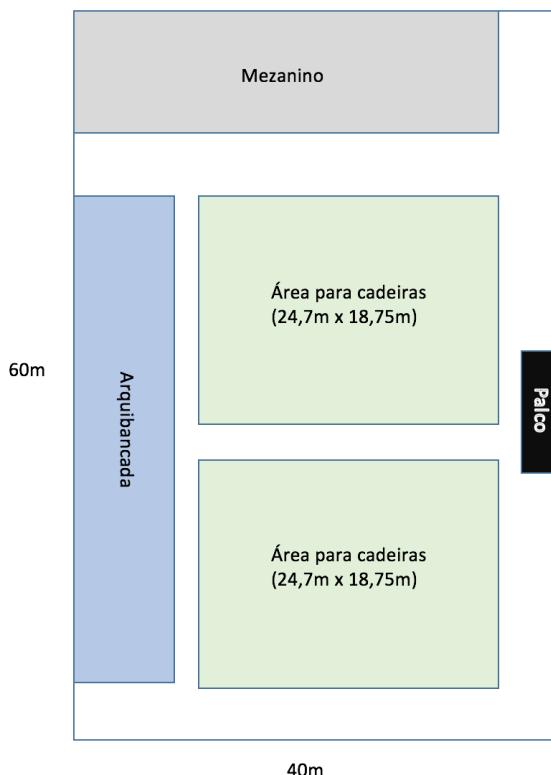
Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

#### 5.1.2.6. Eventos no formato auditório

Para a realização de eventos de grande porte que necessitem acomodar um público elevado, além de utilizar a arquibancada retrátil totalmente aberta, o espaço restante pode ser preenchido com cadeiras, aumentando bastante a capacidade de público atendida. Ademais, caso seja necessário, existe a possibilidade do uso de palcos ou plataformas desmontáveis, que podem ser executados junto à fachada de vidro da estrutura, de modo que a arquibancada fique voltada para lá. Esse tipo de equipamento também pode ser armazenado no depósito.

Nessa configuração, conforme apresentado na figura a seguir, estimou-se a capacidade do espaço supondo que o palco tenha dimensões aproximadas de 3 m x 10 m, que as folgas para passagem dos ocupantes entre a arquibancada e as cadeiras, e entre as cadeiras e o palco seja da ordem de 2 metros. Além disso, para o corredor central, foi assumida uma largura de 2,5 metros.

Figura 33 - Uso do espaço no formato Auditório



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Assim, assumindo que, na área das cadeiras, cada pessoa ocupe o equivalente a 1 metro quadrado (condição bastante espaçosa), podem ser acomodadas 926 pessoas a mais nessa configuração. Portanto, somando com as 864 pessoas das arquibancadas, o espaço teria capacidade para 1790 ocupantes.

#### 5.1.2.7.Circulação de ar

A fim de promover uma otimização da circulação do ar no ambiente e auxiliar na manutenção da temperatura interna, propõe-se que haja aberturas em ambas as fachadas longitudinais, de forma que se estabeleça um fluxo de ar. Dado que o ar quente é menos denso do que o ar frio e, portanto, tende a subir, essas aberturas devem ocorrer na parte superior da fachada, pois o intuito é que o ar quente seja retirado e o que ar frio possa entrar e circular internamente.

Nesse sentido, sugere-se a colocação de venezianas posicionadas logo acima do limite superior da arquibancada retrátil e, na fachada oposta de vidro, que sejam instaladas janelas com abertura basculante na parte mais próxima da cobertura.

## 5.2. Materiais

### 5.2.1. Estrutura em aço

A escolha de uma estrutura metálica para a concepção do projeto se apresentou como a mais adequada devido à sua compatibilidade com os usos pretendidos para o espaço, além de proporcionar vantagens construtivas. Outro aspecto levado em consideração foi o arquitetônico, tendo em mente a questão estética. Nesse sentido, o aço é uma boa opção já que seu uso está associado à ideia de modernidade e inovação, principalmente quando é aparente na estrutura.

Quanto às vantagens da utilização de sistemas construtivos em aço quando comparado com o sistema convencional, pode-se destacar:

- Menor prazo de execução, o que se deve principalmente à possibilidade de se trabalhar em diversas frentes simultaneamente;

- Racionalização de materiais, pois o desperdício é significativamente reduzido em relação ao sistema de construção convencional;
- Maior área útil, pois as seções dos pilares e vigas de aço são substancialmente mais esbeltas do que as equivalentes em concreto, resultando em melhor aproveitamento do espaço interno e aumento da área útil;
- Alívio de cargas nas fundações por serem mais leves, podendo reduzir em até 30% o custo das fundações;
- Compatibilidade com qualquer tipo de material de fechamento, tanto horizontal quanto vertical;
- Flexibilidade quanto a possíveis necessidades de adaptações, ampliações ou mudança na ocupação da edificação, além de facilitar a passagem de componentes dos sistemas prediais (água, ar condicionado, elétrico, esgoto, etc.);
- Melhor organização do canteiro de obras, pois a estrutura metálica é totalmente pré-fabricada e exige menos espaço do que os materiais do sistema convencional, além de gerar menor quantidade de entulho.

Ao adotar uma estrutura metálica para o projeto, um aspecto para o qual deve-se atentar são as ligações entre os elementos que compõem a estrutura. É fundamental que os elementos de ligação apresentem resistência mecânica que seja compatível com o aço utilizado, que nesse caso será o ASTM A-36.

A escolha de ligações soldadas ou parafusadas tem impacto direto na montagem da estrutura, e depende das condições de montagem no local da obra, grau de dificuldade da fabricação da peça e padronização das ligações.

### *5.2.2.Cobertura*

O material a ser usado na cobertura deve atender a critérios de estanqueidade, térmico e acústico para se adequar à proposta dada pelos alunos. O ambiente multiuso engloba diferentes requisitos, tornando a cobertura um desafio de se projetar. Para atender às condições de conforto e segurança necessários, utilizou-se a norma

brasileira *NBR 16373 - Telhas e painéis termoacústicos — Requisitos de desempenho e o Manual técnico - Telhas metálicas.*

#### 5.2.2.1. Isolamento acústico

O local escolhido para o projeto não possui grandes interferências externas, sendo que as maiores preocupações quanto ao ruído externo concentram-se na ocorrência de chuva. A norma brasileira *NBR 10152 - Níveis de ruído para conforto acústico* estabelece diferentes faixas de ruído para as diversas finalidades que o projeto possui, conforme a tabela abaixo:

Tabela 4 - Faixas de ruído de acordo com a finalidade do espaço

Locais	dB(A)	NC
Auditorios Salas de conferencias, cinemas, Sala de uso múltiplo	35 - 45	30 - 35
Locais para esporte Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 - 60	40 - 55

Fonte: (NBR 10152 - Níveis de ruído para conforto acústico)

Essa tabela expressa o nível que o ruído externo pode atingir no ambiente interno, de modo que esteja adequado aos diferentes usos do espaço. Pensando nas múltiplas finalidades propostas para a estrutura projetada, o uso como espaço para palestras e conferências é o mais restritivo quanto a esse quesito, pois exige menor nível de ruído internamente para que os ocupantes possam escutar de maneira confortável. Portanto, o material isolante acústico deve garantir no espaço interno um nível de ruído entre 35 - 45 dB (A) e valores de NC (Curvas de avaliação de ruído) entre 30 - 35 dB.

Por outro lado, deve-se também considerar o limite que o nível de ruído produzido internamente pode atingir do lado externo, sem que atrapalhe ou interfira com as atividades dos prédios localizados nos arredores. Deve-se lembrar ainda que o terreno fica próximo ao edifício da Engenharia Elétrica, cujas aulas não devem ser prejudicadas por perturbações sonoras provenientes desse local. Sendo assim, a

finalidade mais restritiva seria o uso como ginásio esportivo, que certamente apresentará os maiores níveis de ruído interno. Para garantir o nível de isolamento acústico necessário, um fator fundamental é a espessura da cobertura escolhida.

#### 5.2.2.2.Estanqueidade

A cobertura também deve garantir, em todas as ocasiões, um espaço interno seco. Para isso, a face das telhas que fica em contato com o ambiente externo deve ser revestida por um material impermeável, de forma que não ocorram infiltrações. É de extrema importância que o material isolante termoacústico não reaja quando em contato com a água para que sua funcionalidade seja garantida.

#### 5.2.2.3.Isolamento térmico

Outro fator a ser considerado na escolha do material da cobertura é o conforto térmico. Para isso, apresenta-se a seguir algumas características fundamentais relativas à capacidade térmica dos principais materiais termoisolantes, sendo eles: lã de vidro, lã de rocha, poliuretano (PU) e poliestireno expandido (EPS).

A tabela a seguir indica o coeficiente da condutividade térmica (K) desses materiais. Vale lembrar que quanto menor for o valor de K, maior a capacidade isolante do material.

Tabela 5 - Valores do coeficiente de condutividade térmica de materiais termoisolantes

<b>1 kcal/(m.h.ºC) = 1,163 W/(m.K)</b>			
<b>Material</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>K (ABNT)</b>	<b>Unidade</b>
<b>EPS</b>	coeficiente da condutividade	<b>0,032</b>	kcal/(m.h.ºC)
<b>PU</b>	coeficiente da condutividade	<b>0,016</b>	kcal/(m.h.ºC)
<b>Lã de Rocha</b>	coeficiente da condutividade	<b>0,035/0,060</b>	kcal/(m.h.ºC)
<b>Lã de Vidro</b>	coeficiente da condutividade	<b>0,04/0,05</b>	kcal/(m.h.ºC)

Fonte: (Manual Técnico - Telhas Metálicas)

Apresentam-se a seguir os resultados de um ensaio conduzido pela ABCEM (Associação Brasileira da Construção Metálica), que demonstra o comportamento e desempenho térmico desses materiais em coberturas. O ensaio é realizado a partir da fixação de temperaturas externas e internas no ambiente, e posterior análise das

temperaturas na superfície interna da cobertura. Deve-se atentar para o fato de que a variação da temperatura na superfície interna de um material para outro é função de sua espessura e coeficiente de condutividade, evidenciando as discrepâncias no desempenho térmico dos diferentes materiais.

Tabela 6 - Resultados de ensaio de desempenho térmico de materiais termoisolantes

Material	UNIDADE	Rocha	Vidro	EPS	PU(alta)
PARÂMETROS		RESULTADOS			
Temperatura do ambiente externo	°C	40	40	40	40
Temperatura do ambiente interno	°C	24	24	24	24
Diferença das temperaturas (te-ti)	°C	16	16	16	16
Resistência adotada da superfície externa	kcal/(m.h.°C)	0,05	0,05	0,05	0,05
Resistência adotada da superfície interna	kcal/(m.h.°C)	0,143	0,143	0,143	0,143
Soma das resistências adotadas (ai+ae)	kcal/(m.h.°C)	0,193	0,193	0,193	0,193
Soma total das resistências	kcal/(m.h.°C)	1,245	1,304	0,962	2,38
Coeficiente da condutividade do isolante	kcal/(m.h.°C)	0,048	0,045	0,039	0,016
Espessura média da placa isolante	mm	50	50	30	35
Cálculo da temperatura na superfície interna	°C	25,84	25,75	26,38	24,96

Fonte: (Manual Técnico - Telhas Metálicas)

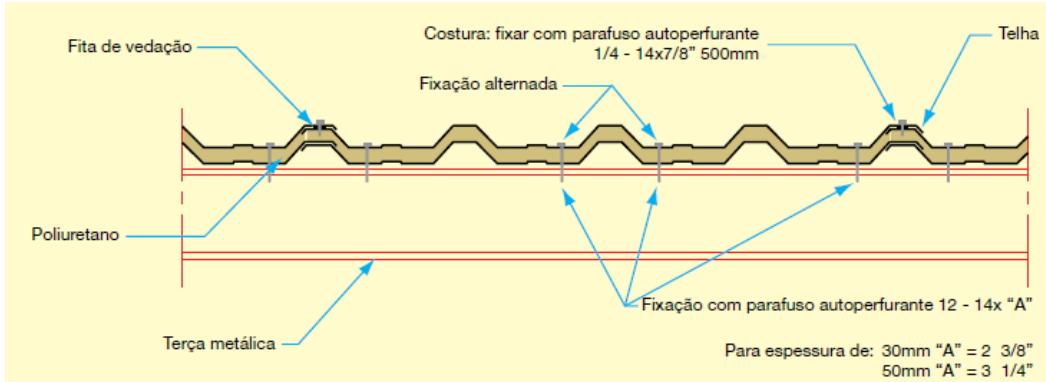
A partir desses resultados, conclui-se que a melhor opção para o isolante térmico a ser adotado na cobertura da estrutura proposta é o Poliuretano. Além disso, as telhas desse material também estão adequadas aos outros requisitos acima mencionados, atendendo às exigências de estanqueidade e isolamento acústico, dependendo de sua espessura.

#### 5.2.2.4.Instalação

De acordo com o *Manual Técnico - Telhas de Aço*, antes de iniciar a montagem das telhas, deve-se verificar o comprimento, largura, espaçamento, nivelamento e paralelismo das terças. Além disso, indica-se que as telhas devem ser montadas em direção contrária ao vento, para que não sejam danificadas. Ademais, materiais como fita de vedação e parafusos são fixados em pontos estratégicos para garantir as melhores condições de estabilidade e posicionamento da telha na estrutura de cobertura.

Para exemplificação, apresenta-se abaixo um esquema de montagem de telha trapezoidal com material isolante poliuretano:

Figura 34 - Recomendações de instalação de telhas de poliuretano



Fonte: (Manual Técnico - Telhas Metálicas)

### 5.2.3. Painéis solares

O projeto prevê a instalação de painéis solares sobre a cobertura, que serão compostos por módulos fotovoltaicos de silício policristalino. A figura a seguir ilustra os componentes presentes em um painel solar. Vale ressaltar que o vidro empregado é do tipo temperado e é resistente a granizo.

Figura 35 - Componentes do painel fotovoltaico



(Fonte: [www.portalsolar.com.br](http://www.portalsolar.com.br))

Além do viés sustentável devido ao fato de gerarem energia através de uma fonte limpa, os painéis solares possuem a vantagem de apresentarem reduzidas perdas de energia por transmissão e distribuição, já que a energia é produzida no mesmo local em que é consumida. Além disso, requerem manutenção mínima e duram, em média, 25 anos.

Os painéis são conectados uns os outros e, posteriormente, ligados ao inversor solar, responsável por converter a energia gerada pelos painéis (corrente contínua) em energia elétrica a ser utilizada na edificação (corrente alternada).

Durante o processo de instalação, deve-se atentar para a distância entre os painéis e as telhas da cobertura, pois uma proximidade muito grande entre ambos pode provocar uma falta de ventilação dos painéis e reduzir a geração de energia. A fixação dos painéis é feita aparafulando os suportes à cobertura.

#### *5.2.4. Vedaçāo lateral*

Convencionalmente, a vedação lateral de estruturas destinadas ao uso como ginásio esportivo é executada em alvenaria. Mais recentemente, entretanto, observam-se inovações nesse quesito, com o emprego de materiais distintos que trazem benefícios não só estéticos, mas também relativos ao funcionamento da edificação.

Neste projeto, optou-se por dois tipos diferentes de vedação: duas fachadas com painéis pré-fabricados de concreto (nas fachadas traseira e lateral esquerda) e as outras duas em vidro (nas fachadas frontal e lateral direita). A utilização de dois tipos distintos de vedação lateral pode gerar dificuldades quanto à compatibilização entre eles e também com a estrutura metálica em si. Deve-se ter em mente que isso também irá afetar o cálculo dos pesos próprios das fachadas. Logo, este é um ponto de atenção do projeto.

##### *5.2.4.1. Vidro*

O vidro é um material que tem estado cada vez mais presente na construção civil, sendo utilizado como vedação lateral em grande parte das construções mais

modernas. Isso porque, além do caráter estético, o vidro também apresenta vantagens quanto à funcionalidade do espaço: seu aspecto transparente permite a entrada de luz natural, proporcionando melhor condições de iluminação internamente e, consequentemente, reduzindo o consumo de energia elétrica.

Com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidos vidros com características especiais para atender às novas exigências que surgem constantemente. Atualmente, existem vidros com alta resistência mecânica que suportam grandes impactos. Essa é uma característica essencial para o uso nesse projeto, pois trata-se de um local em que ocorrerão eventos esportivos e que certamente terá de suportar os impactos de bolas e possivelmente jogadores, sem que hajam riscos de segurança. Desenvolveram-se também vidros refletivos para o controle de luz e calor, que têm a função de filtrar os raios solares através da reflexão da radiação em todas as suas frequências, sendo uma característica bastante importante para a garantia do conforto térmico no ambiente e da eficiência energética da edificação. Outro tipo de vidro bastante interessante para o projeto é o de baixa emissividade (low-e), que impede a transferência térmica entre dois ambientes. Através da aplicação de uma fina camada de óxido em uma das faces, o vidro low-e consegue filtrar os raios solares e intensificar o controle da transferência de temperaturas entre ambientes, sem impedir a transmissão luminosa. Assim, é possível combinar esses diferentes tipos de vidro, que possuem funções complementares, para obter aquele que seja o mais adequado ao trabalho em questão.

#### 5.2.4.1.1. Resistência Estrutural

Quanto à resistência mecânica necessária, o *Manual de Construção em Aço - Tecnologia de Vedação e Revestimentos para fachadas* estipula que o desempenho estrutural do sistema de fachada de vidro é determinado a partir de uma combinação de fatores, sendo eles: espessura do vidro, tipo de perfis metálicos utilizados e fixações (mecânicas, silicone ou fita dupla-face).

#### 5.2.4.1.2. Estanqueidade

O sistema de fachada de vidro deve garantir um ambiente interno seco, para não interferir com as atividades que ocorrerão no espaço. Além disso, a falhas relativas à estanqueidade podem levar a problemas de infiltração de água, originando outras complicações, como a proliferação de microrganismos, corrosão de metais e condensação (VEDOVELLO,2012). Essas falhas de estanqueidade ocorrem, normalmente, por erro do projeto, erros de fabricação ou de instalação dos vidros ou até mesmo das borrachas de vedação.

#### 5.2.4.1.3.Desempenho lumínico

De acordo com a *NBR ISO/CIE 8995-1 - Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior*, muitos fatores influenciam na luminância do local, como o entorno da área de estudo, latitude do terreno, estação do ano, entre outros. Para sintetizar esses critérios e permitir uma análise objetiva quanto à adequação lumínica, foram determinados níveis de luminância (lux), índices de ofuscamento desconfortável (UGR) e índices de reprodução de cor (Ra) para diferentes tipos de ocupação do espaço, conforme ilustra a tabela a seguir:

Tabela 7 - Níveis de adequação lumínica para os possíveis usos do espaço interno

<b>Valores de iluminância (lux), Índice de ofuscamento unificado (UGR) e Índice de reprodução de cor (Ra)</b>			
<b>Tipo de ambiente, tarefa ou atividade</b>	<b>lux</b>	<b>UGR</b>	<b>Ra</b>
<b>Construções Educacionais</b>			
Sala de esportes, ginásios e piscinas	300	22	80
<b>Locais de entretenimento</b>			
Salas com multiuso	300	22	80

Fonte: (NBR ISO/CIE 8995-1 - Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior)

Observa-se que, tanto para o uso como ginásio esportivo como para eventos e espaço multiuso, as exigências são as mesmas.

#### 5.2.4.1.4.Isolamento acústico

As exigências para o desempenho acústico da vedação lateral são semelhantes àquelas apresentadas para o sistema de cobertura.

#### 5.2.4.1.5. Isolamento térmico

Neste projeto, a temperatura interna é de extrema importância para as práticas esportivas e para os diversos tipos de eventos que serão realizados. A fachada de vidro, portanto, é um componente crucial nesse aspecto, pois através dela ocorrerá a troca de calor de maneira mais intensa. Logo, a escolha do tipo de vidro adequado é fundamental para um bom desempenho térmico da estrutura, sendo necessário o uso das novas tecnologias acima mencionadas a respeito de vidros refletivos e de baixa emissividade.

A ISO 9241 recomenda uma temperatura interna de 20 a 24 graus Celsius no verão e 23 a 26 graus Celsius no inverno, para maior conforto dos ocupantes. Para garantir o desempenho térmico exigido, o vidro de baixa emissividade (low-e) torna-se a melhor opção para o projeto. Esse tipo de vidro permite a passagem da luz visível, aumentando a transmissão luminosa e, por outro lado, reflete eficientemente a radiação infravermelha de ondas longas, reduzindo a transmissão de calor para o interior do ambiente sem criar o “efeito espelho” (GLASSEC, 2013). Sua refletividade externa fica entre 8% e 10% e sua transmissão luminosa, entre 70% e 80% (ABRAVIDRO, 2013). Dessa maneira, o vidro low-e apresenta-se como a opção que proporciona a melhor eficiência energética, pois permite a redução do consumo de energia elétrica destinada tanto à iluminação quanto ao sistema de ar condicionado.

#### 5.2.4.2. Painéis pré-fabricados de concreto

O uso de painéis pré-fabricados de concreto na vedação lateral do projeto precisa atender a quase todos os mesmos critérios do sistema de fachada de vidro, com exceção da luminosidade. Os requisitos de estanqueidade, de desempenho acústico, térmico e estrutural devem garantir os níveis de conforto e segurança exigidos, para que o projeto não seja comprometido.

##### 5.2.4.2.1. Resistência Estrutural

A vedação lateral em painéis pré-fabricados de concreto a princípio pode desempenhar qualquer função estrutural, considerando que ela seja capaz de resistir às ações externas, como o vento por exemplo, e às solicitações internas, como o impacto das bolas já mencionado. Além disso, os painéis também devem absorver os efeitos da dilatação térmica, de maneira que não fissurem.

Segundo a norma *NBR 15575 - Edificações habitacionais — Desempenho*, vedações laterais sem função estrutural constituídas por elementos pesados devem ter um módulo de resistência transversal (G) superior à 60 kg/m<sup>2</sup>. A partir disso, pode-se garantir a resistência necessária do painel de concreto dimensionando a espessura.

#### 5.2.4.2.2.Estanqueidade

Os painéis pré-fabricados de concreto podem apresentar maior risco à estanqueidade do ambiente interno devido às fissuras ou presença das juntas. Quanto às fissuras, cabe ao método de fabricação ser realizado de maneira correta e efetiva para que não ocorram infiltrações de água que possam comprometer a estanqueidade. Quanto às juntas verticais, pode-se preenchê-las de modo a impedir a infiltração de água, mas sem que se comprometa a dilatação dos painéis. Para as juntas horizontais, pode-se utilizar encaixes do tipo “macho - fêmea”, o que permite dispensar o material de preenchimento, garantindo a estanqueidade do sistema de fachada.

Figura 36 - Sistema macho-fêmea em juntas horizontais



Fonte: (Acervo: Inovatec Consultores)

#### 5.2.4.2.3. Isolamento acústico

Os requisitos referentes ao desempenho acústico são semelhantes àqueles mencionados para o sistema de cobertura e para a vedação em vidro.

Em relação a limitação do nível de ruído produzido internamente e que se propaga para o lado externo, o uso de painéis pré-fabricados de concreto se apresenta como uma boa opção. Segundo o *Manual de Construção em Aço - Tecnologia de Vedação e Revestimentos para fachadas*, alguns painéis pré-fabricados de concreto proporcionam um Índice de Redução Sonora ( $R_w$ ) superior a 40 dB, garantindo, portanto, um nível de ruído interno e externo adequado. Outra solução para garantir o desempenho acústico é a utilização de um material isolante entre camadas de painéis, potencializando o poder de redução sonora.

#### 5.2.4.2.4. Isolamento térmico

Como mencionado anteriormente, a ISO 9241 recomenda que a temperatura do ambiente esteja entre 20 e 24 graus no verão e 23 a 26 graus no inverno. Como os painéis de concreto não possuem as mesmas tecnologias e possibilidades verificadas na fachada de vidro, recomenda-se realizar a simulação de desempenho térmico e medições em campo. Assim, pode-se dimensionar a espessura do painel bem como utilizar um isolante térmico entre os painéis para garantir um desempenho térmico adequado.

#### 5.2.5. Piso

A escolha do material a ser utilizado no piso depende diretamente dos usos planejados para o local, já que diferentes funções do espaço terão diferentes exigências para o piso. Dependendo do uso, os requisitos de resistência, flexibilidade e rugosidade variam, tornando a escolha do material mais complexa. Sendo assim, a grande dificuldade na determinação do material reside nas heterogeneidades das solicitações para os diversos usos. Quando for utilizado como espaço de eventos, por exemplo, certamente haverá cargas pontuais provenientes de mesas, cadeiras ou

stands, o que impõe a necessidade de um piso mais rígido. Além disso, deve-se considerar que ocorrerão cargas elevadas nos casos de palestras ou eventos que reúnam um grande aglomerado de pessoas. Já para a função de ginásio poliesportivo, o piso deve atender aos requisitos de uma quadra, apresentando condições adequadas de rugosidade, de modo que os atletas não derrapem. Não apenas isso, o piso também deve ter um nível de flexibilidade que seja suficiente para amortecer o impacto dos jogadores e da bola, porém seu nível de resiliência deve garantir que isso ocorra sem que se retire toda sua energia.

Analizando todas essas exigências e dando prioridade àquelas que se acredita que sejam as mais relevantes, de modo que se garanta um espaço durável, de fácil manutenção, seguro e que atenda à demanda multifuncional do espaço, optou-se pelo piso de concreto autonivelado. Esse tipo de piso, devido à exposição direta da base com a prática do esporte, deve receber especial atenção quanto ao seu tratamento de superfície. Ele deve ser impermeabilizado e conter juntas de dilatação para evitar a ocorrência de trincas ou fissuras oriundas da retração do concreto ou de diferenças nos módulos de dilatação térmica.

Esse tipo de material apresenta vantagens tanto técnicas quanto econômicas, destacando-se o controle do fissuramento, número reduzido de juntas, boa planicidade, alto nível de segurança e durabilidade. Além disso, exige pouca manutenção, possui uma espessura fina e uma boa relação de custo benefício.

O sistema de piso esportivo de concreto geralmente é composto por uma camada de pedra brita, uma camada de concreto, uma camada de resina niveladora e, por fim, a pintura e demarcação das linhas de quadra.

Figura 37 - Sistema de Piso Esportivo de Concreto



Fonte: (Elasta - Pisos de Proteção)

Para o uso esportivo, há ainda a preocupação com o nivelamento das camadas e a obtenção de um nível de amortecimento e resiliência adequados, que possivelmente não serão atingidos simplesmente com o piso de concreto, que é bastante rígido. Por isso, é importante que sejam adicionadas ao sistema camadas para a absorção de impactos e cargas, bem como camadas regularizadoras.

Esse tipo de piso, com os tratamentos adequados, atende o uso do espaço como ginásio poliesportivo e como espaço de eventos. Para essas últimas ocasiões, sugere-se a utilização de uma camada de proteção sobre o piso, de forma que se preserve sua durabilidade. Esse tipo de procedimento já é adotado em diversos locais que recebem eventos em espaços multiusos.

Esta solução de piso de concreto também está contida na norma *NBR 14050 - Sistemas de Revestimentos de Alto Desempenho*, à base de resinas epoxídicas e agregados minerais, sendo mencionada tanto no item da norma referente ao concreto como substrato e as suas condições, como também no item para a aplicação de um material autonivelante de várias camadas.

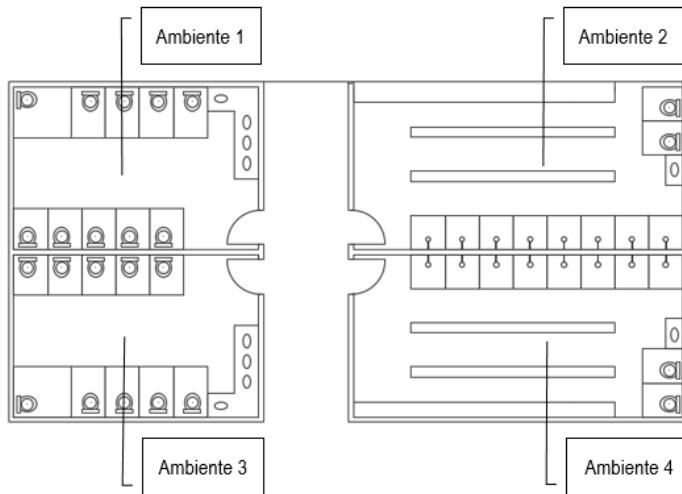
## 6. SISTEMAS PREDIAIS

### 6.1. Água quente e fria

Para o dimensionamento do sistema predial de água fria e água quente, seguiram-se as normas *NBR 5626/98 - Instalação predial de água fria*, e a *NBR 7198 - Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente*.

Conforme se destaca a seguir, o espaço interno possui 4 ambientes (dois banheiros e dois vestiários) onde existem equipamentos conectados aos sistemas prediais de água fria e água quente.

Figura 38 - Representação do espaço interno



Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

- Ambiente 1: dez bacias sanitárias e quatro pias
- Ambiente 2: duas bacias sanitárias, uma pia e oito chuveiros
- Ambiente 3: dez bacias sanitárias e quatro pias
- Ambiente 4: duas bacias sanitárias, uma pia e oito chuveiros

De acordo com as normas NBR 5626 e NBR 7198, as especificações a seguir devem ser cumpridas para garantir as exigências de pressão nas tubulações:

- Velocidade máxima nas tubulações: 3 m/s
- Pressão estática máxima: 400 kPa (40 mca)
- Pressão estática mínima: 5 kPa (0,5 mca)
- Pressão dinâmica mínima: 10 kPa (1 mca)
- Pressão mínima para válvula de descarga: 15 kPa (1,5 mca)

Para o dimensionamento das tubulações, foram utilizadas vazões sugeridas pela norma NBR 5626, exibidas na tabela abaixo:

Tabela 8 - Vazões sugeridas

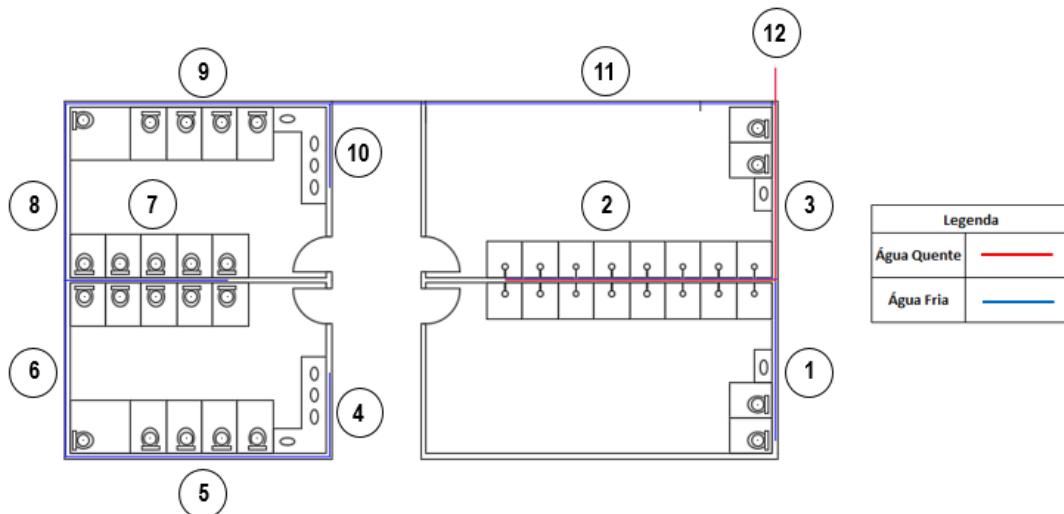
Aparelho Sanitário	Peça de Utilização	Vazão (L/s)
--------------------	--------------------	-------------

Bacia Sanitária	Válvula de descarga	1,7
Pia	Torneira	0,25
Chuveiro	Registro de pressão	0,1

Fonte: (NBR 5626 - Instalação predial de água fria, 1998)

Com as premissas anteriormente citadas, vazões de projeto dos aparelhos sanitários definidas e tubos de aço como material mais adequado para o projeto, desenhou-se o traçado do sistema.

Figura 39 - Traçado de água quente e fria



Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

A partir do traçado, os seguintes diâmetros foram dimensionados para os sistemas de água fria e quente, garantindo as pressões mínimas e máximas em todos os pontos.

Tabela 9 - Valores de diâmetros nominais

Trecho	Diâmetro Nominal (mm)
1	43
2	33
3	114
4	21
5	48
6	60
7	60
8	89

9	114
10	21
11	114
12	114

Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

## 6.2. Esgoto sanitário

A norma *NBR 8160 - Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário - Projeto e Execução, 1999* estabelece critérios para o dimensionamento do sistema predial de esgoto sanitário, de modo que o projeto em questão esteja apto para o uso diário dos indivíduos, possibilite o rápido escoamento, seja de fácil manutenção e evite contaminação da água potável.

Com o auxílio da norma e utilizando o método das Unidades de Hunter de Contribuição, determinou-se a rede de esgoto para vasos sanitários, pias e chuveiros. O método citado anteriormente faz uso de fatores numéricos, que representam a contribuição de cada aparelho sanitário para o sistema, e que estão indicados na tabela a seguir:

Tabela 10 - Unidades de Hunter por aparelho sanitário

Aparelho Sanitário	Unidade de Hunter
Bacia Sanitária	6
Pia	4
Chuveiro Coletivo	2

Fonte: (NBR 8160 - “Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário - Projeto e Execução, 1999)

A partir da Unidade de Hunter de Contribuição de cada aparelho sanitário, dimensionou-se os ramais de descarga, ramais de esgoto e coletores. Os diâmetros nominais de acordo com a categoria de ramal podem ser visualizados nas tabelas abaixo:

Tabela 11 - Diâmetro Nominal por Unidade de Hunter de Contribuição do ramal de descarga

<b>Unidade de Hunter de Contribuição</b>	<b>Diâmetro Nominal (mm)</b>
2	40
3	50
5	75
6	100

Fonte: (NBR 8160 - "Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário - Projeto e Execução, 1999)

Tabela 12 - Diâmetro Nominal por Unidade de Hunter de Contribuição do ramal de esgoto

<b>Unidade de Hunter de Contribuição</b>	<b>Diâmetro Nominal (mm)</b>
3	40
6	50
20	75
160	100

Fonte: (NBR 8160 - "Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário - Projeto e Execução, 1999)

Tabela 13 - Diâmetro Nominal por Unidade de Hunter de Contribuição de coletores

<b>Unidade de Hunter de Contribuição</b>	<b>Diâmetro Nominal (mm)</b>
170	100
700	150
1600	200
2900	250
4600	300

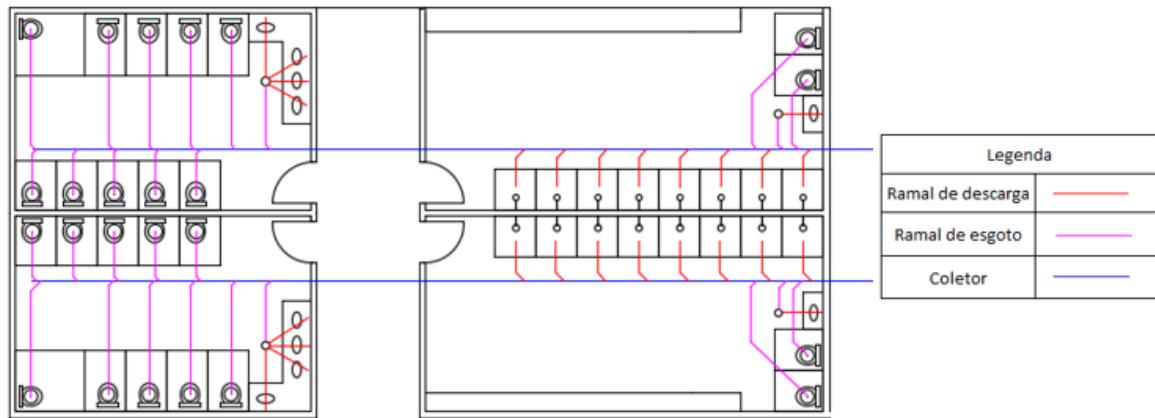
Fonte: (NBR 8160 - "Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário - Projeto e Execução, 1999)

Dessa maneira, para cada aparelho individualizado, dimensionou-se os seguintes diâmetros:

- Pia: 40 mm
- Chuveiro Coletivo: 75 mm
- Bacia Sanitária: 100 mm
- Coletor: 100 mm

Para cada ambiente, foram dimensionados os ramais de descarga, esgoto e coletores, cujo traçado e resultados para os valores dos diâmetros são exibidos na sequência:

Figura 40 - Ramais de descarga, esgoto e coletor



Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

Tabela 14 - Valores de diâmetro da tubulação

Tubulação	Aparelho Sanitário	Diâmetro (mm)
Ramal de descarga	Pia	40
	Chuveiro coletivo	75
Ramal de esgoto	Bacia sanitária	100
Coletor	-	100

Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

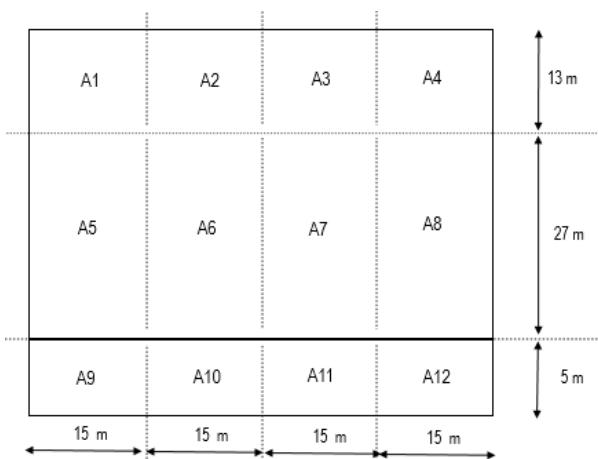
### 6.3. Águas pluviais

Para o dimensionamento das calhas, condutores horizontais e verticais foi utilizada a norma *NBR 10844 - Instalações prediais de águas pluviais*.

A presença de uma curva côncava na cobertura tornou-se uma preocupação para o dimensionamento das calhas. É necessário precaver-se contra o acúmulo de água no declive, pois há chances de danificação das telhas devido à infiltração de água. Desta maneira, a cobertura foi dividida em 12 áreas de influência, considerando a menor interferência com a estrutura, conforme ilustrado na figura abaixo. É válido destacar que a figura abaixo representa uma vista superior da cobertura, voltada para a lateral direita. Dessa forma, a primeira faixa horizontal representa o ponto de altura máxima da cobertura, ao passo que a segunda faixa horizontal indica o ponto de

máxima profundidade da concavidade, a partir da qual se tem o balanço de 5 metros da cobertura.

Figura 41 - Áreas de influência



Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

A partir das áreas de influência, é possível determinar a contribuição pluviométrica de cada área. Para cálculo das contribuições, foram considerados os seguintes parâmetros:

- Período de Retorno (T): 25 anos
- Ângulo de queda de chuva com influência do vento: 45 °
- Coeficiente de escoamento superficial (C): 1
- Precipitação em São Paulo para período de retorno de 25 anos: 208 mm/h
- Inclinação (i): 0,5 %

Desta maneira, obtiveram-se os seguintes resultados para Área de influência ( $m^2$ ) e Vazão (L/min):

Tabela 15 - Valores de área ( $m^2$ ) e vazão (L/min)

Área	$m^2$	L / min
A1 = A2 = A3 = A4	302,21	1047,68
A5 = A6 = A7 = A8	512,21	1775,58
A9 = A10 = A11 = A12	81,70	283,23

Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

Para que os condutores horizontais e verticais possam ser dimensionados, é necessário determinar a direção para qual a água segue. A figura abaixoFigura 42 ilustra as áreas de influência, bem como as direções e inclinações do escoamento, para que os dimensionamentos possam ser concluídos.

Figura 42 - Áreas de influência e inclinação dos condutores horizontais

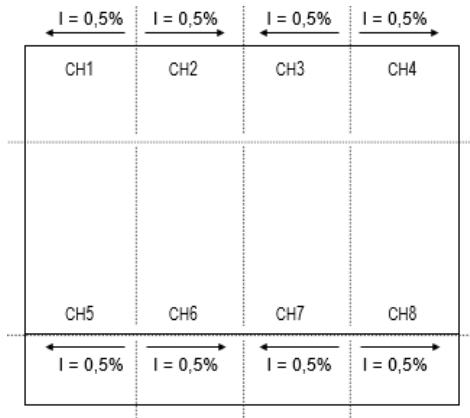


Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

Desta maneira, são necessários oito segmentos de condutores horizontais e seis condutores verticais (localizados nos pontos de encontro dos condutores horizontais). Para os condutores horizontais, os seguintes parâmetros foram utilizados:

- Formula de Manning - Strickler:  $Q = K * \frac{S}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}}$
- $K = 6000$ ;
- $Rh$ : Raio Hidráulico;
- $S$ : Área molhada;
- $I$ : Declividade;
- Coeficiente de Rugosidade ( $n$ ): 0,011;
- Altura da lâmina d'água = dois terços da altura máxima.

Figura 43 - Posicionamento dos condutores horizontais



Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

Para os condutores horizontais, foram obtidos os resultados exibidos na tabela abaixo:

Tabela 16 - Valores de vazão, largura, altura dos condutores horizontais

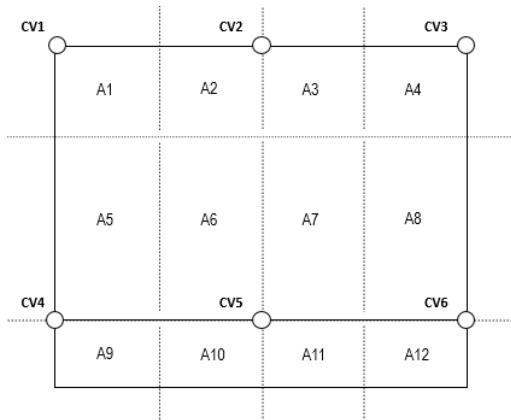
Condutor horizontal	Q área (L/min)	Largura da calha (cm)	Altura da calha (cm)	Q calha (L/min)
CH1	1047,68	22	19	1349,90
CH2	1047,68	22	19	1349,90
CH3	1047,68	22	19	1349,90
CH4	1047,68	22	19	1349,90
CH5	2058,91	27	22,5	2330,65
CH6	2058,91	27	22,5	2330,65
CH7	2058,91	27	22,5	2330,65
CH8	2058,91	27	22,5	2330,65

Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

A figura abaixo ilustra o posicionamento dos condutores verticais para o projeto em questão. Com a soma das contribuições de cada área de influencia, foi possível determinar o diâmetro dos condutores verticais, seguindo:

- Vazão do condutor (Qw):  $Qw = 0,019 * rs^{\frac{5}{3}} * D^{\frac{8}{3}}$ ;
- rs: taxa de enchimento;
- D: diâmetro do tubo.

Figura 44 - Posicionamento dos condutores verticais



Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

Desta maneira, calculou-se os seguintes diâmetros para os condutores verticais:

Tabela 17 - Valores de diâmetro e vazão dos condutores verticais

Condutor Vertical	$Q_w$ (L/min)	Diâmetro (mm)
CV1	1047,68	150
CV2	2095,35	200
CV3	1047,68	150
CV4	2095,35	200
CV5	4117,82	250
CV6	2058,91	250

Fonte: (elaborado pelos autores, 2017)

#### 6.4. Chuveiros automáticos

Um fator diferencial e bastante importante nesse projeto é o formato da cobertura. Sua forma arredondada e a altura bastante elevada têm grande influência no projeto de chuveiros automáticos, pois afetam diretamente o comportamento dos gases liberados em uma situação de incêndio. A cobertura inclinada e em curva atua como um “poço invertido”, fazendo com que os gases quentes subam e criando a possibilidade de que a temperatura na altura de instalação dos chuveiros não se eleve

o suficiente para acioná-los. Isso porque os sprinklers serão colocados na cota da base da cobertura, criando um vão entre os chuveiros e o ponto máximo do teto. Portanto, para situações como essa, é aconselhável que a temperatura de acionamento dos sprinklers seja menor.

Para o dimensionamento do sistema de chuveiros automáticos, utilizou-se como base a norma *NBR 10897 - Proteção contra Incêndio por Chuveiro Automático*.

Primeiramente, deve-se determinar a categoria de risco de ocupação da edificação em questão. A classificação é determinada pela área, conforme pode ser observado na tabela a seguir:

Tabela 18 - Área máxima a ser protegida por um sistema de chuveiros automáticos

Classe de risco	Forma de cálculo	Área máxima protegida [m <sup>2</sup> ]
Leve	Tabelas/Cálculo hidráulico	4800
Ordinário	Tabelas/Cálculo hidráulico	4800
Extraordinário	Tabelas	2300
	Cálculo hidráulico	3700
Especial	Cálculo hidráulico	3700

(Fonte: NBR 10897 - Proteção contra Incêndio por Chuveiro Automático - ABNT 2014)

Visto que o projeto prevê dimensões de 40 m x 60 m e, portanto, uma área de 2400 m<sup>2</sup>, trata-se de uma edificação de risco leve.

O próximo passo para o dimensionamento é a determinação da área máxima de cobertura por cada chuveiro e a distância máxima entre eles. Ambos os valores são obtidos através da seguinte tabela:

Tabela 19 - Área máxima de cobertura por chuveiro automático e distância máxima entre chuveiros automáticos

Tipo de teto	Método de cálculo	Área de cobertura [m <sup>2</sup> ]			Distância máxima entre		
		Leve	Ord.	Extra	Leve	Ord.	Extra
Não combustível e não obstruído; Combustível não obstruído	Calculado por tabela	18,6		8,4			3,7
	Cálculo hidráulico	20,9	12,1	9,3 / 12,1*		4,6	3,7 / 4,6**
	Cálculo hidráulico			9,3 / 12,1*			3,7 / 4,6**
	Cálculo hidráulico			9,3 / 12,1*			3,7 / 4,6**
Combustível obstruído	Calculado por tabela			8,4			3,7
	Cálculo hidráulico	15,6		9,3 / 12,1*			3,7 / 4,6**
Combustível com elementos estruturais distanciados a menos de 0,9 m	Calculado por tabela			8,4			3,7
	Cálculo hidráulico	12,1		9,3 / 12,1*			3,7 / 4,6**

(Fonte: NBR 10897 - Proteção contra Incêndio por Chuveiro Automático - ABNT 2014)

Dado que a classe de risco é leve e que o método de cálculo adotado será o Cálculo Hidráulico, tem-se que a área máxima de cobertura é de 20,9 m<sup>2</sup> e a distância máxima entre chuveiros nos ramais e entre ramais é de 4,6 metros.

Com base nessas informações, foi determinado o posicionamento dos chuveiros automáticos na edificação com uma distância de 4,45 metros entre cada um deles na direção transversal (paralela à fachada de 40 metros de comprimento), totalizando 9 chuveiros nessa direção. Já na direção longitudinal (paralela à fachada de 60 m), estipulou-se um espaçamento de 4,29 metros entre cada um deles, resultando em 14 pontos nessa direção. A distância entre os chuveiros e as paredes equivale à metade do espaçamento entre chuveiros, em ambas as direções. Assim, obtém-se um total de 126 chuveiros.

A seguir, determina-se a duração do abastecimento de água do sistema de chuveiros automáticos, a partir do tipo de ocupação. Conforme pode ser constatado na tabela abaixo, adotou-se a duração de 30 minutos.

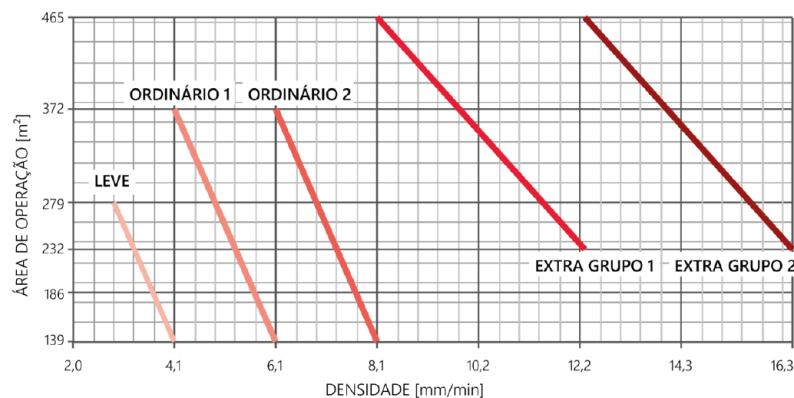
Tabela 20 - Demanda de hidrantes e duração do abastecimento de água para sistemas projetados por cálculo hidráulico

Tipo de ocupação	Hidrantes internos [L/min]	Demandas combinadas de hidrantes internos e externos [L/min]	Duração [min]
Leve	0,190 ou 380	380	30
Ordinário	0,190 ou 380	950	60 – 90
Extraordinário	0,190 ou 380	1900	90 – 120

(Fonte: NBR 10897 - Proteção contra Incêndio por Chuveiro Automático - ABNT 2014)

Por fim, a demanda de água dos chuveiros automáticos é calculada utilizando-se as curvas de densidade/área exibidas a seguir:

Figura 45- Curvas de densidade/área



(Fonte: NBR 10897 - Proteção contra Incêndio por Chuveiro Automático - ABNT 2014)

Para um risco de ocupação leve, a opção mais econômica é a que apresenta a menor densidade de água, ou seja, 4,1 mm/min. Isso corresponde a uma área de operação de 139 m<sup>2</sup>.

Com esses parâmetros definidos, parte-se então de fato para o dimensionamento do sistema predial.

Com base na área de operação e sabendo a área de cobertura de cada chuveiro, determina-se o número de chuveiros na área de operação, sendo:

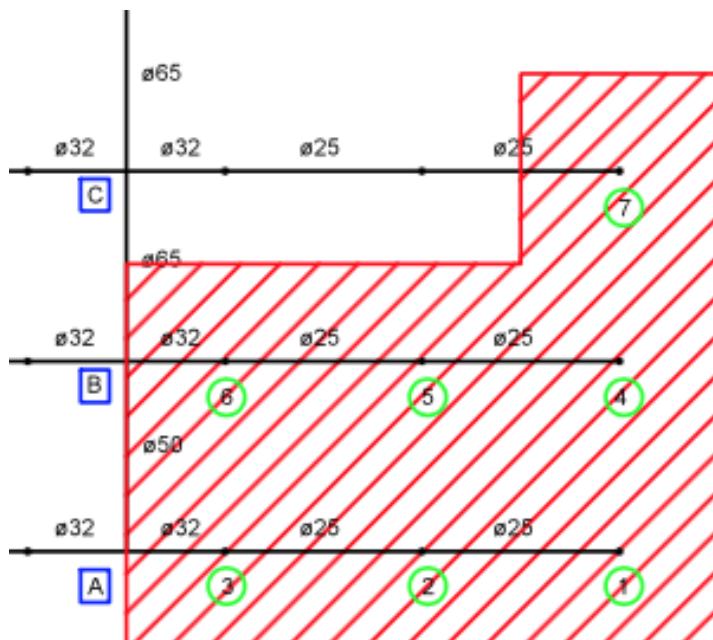
$$N = \frac{(\text{área de operação})}{(\text{área de cobertura por chuveiro})} = \frac{139}{(4,44) \times (4,29)} \cong 7 \text{ chuveiros}$$

A seguir, deve-se calcular o número de chuveiros por ramal do projeto, que é obtido através da equação:

$$n = \frac{1,2 \sqrt{(\text{área de operação real})}}{(\text{maior distância entre chuveiros})} = \frac{1,2 \sqrt{(7) \times (4,44) \times (4,29)}}{4,44} \cong 3 \text{ chuveiros}$$

Logo, a área de operação a ser dimensionada tem a seguinte configuração:

Figura 46- Área de operação para dimensionamento do sistema de chuveiros automáticos



(Fonte: elaborado pelos autores, 2017)

Assim, dá-se continuidade ao dimensionamento com o cálculo da vazão e da pressão no ponto mais desfavorável do sistema, ou seja, o mais distante da VGA (válvula de governo e alarme). A vazão nesse ponto é calculada como:

$$\begin{aligned} Q &= (\text{área de cobertura do chuveiro}) \times (\text{densidade de água}) \\ &= (4,44) \times (4,29) \times (4,1) = 78,1 \text{ L/min} \end{aligned}$$

Já a pressão é obtida pela equação  $P = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$ , onde K representa o fator de descarga, cujo valor é tabelado. Adotou-se o valor de K=80, para um diâmetro nominal da tubulação de 15 mm. Logo:

$$P = \left(\frac{78,1}{80}\right)^2 \times 100 = 95,29 \text{ kPa}$$

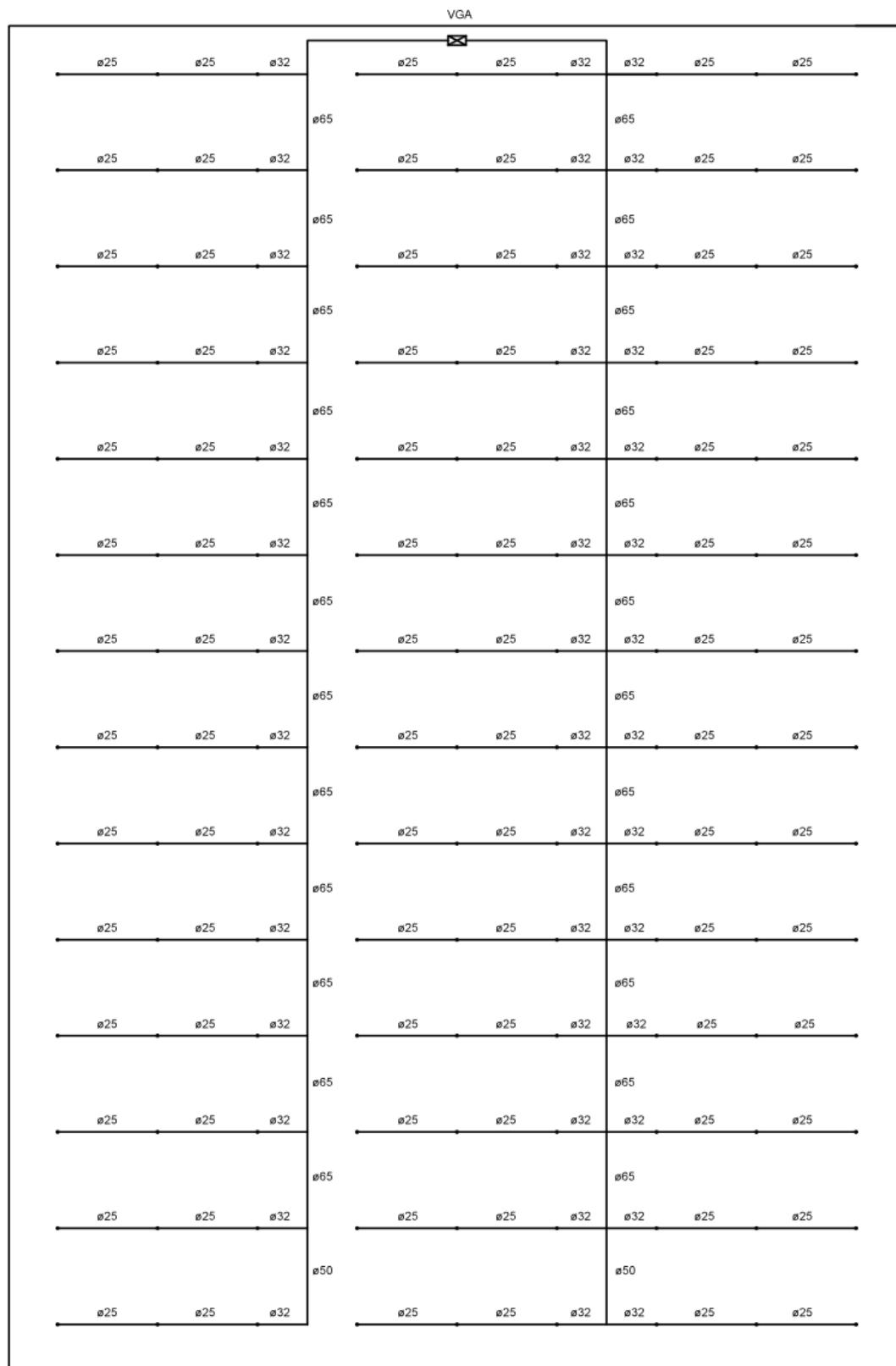
A partir desse ponto mais desfavorável, calcula-se a vazão e pressão em todos os outros chuveiros da área de operação, levando em consideração a perda de carga por atrito entre dois pontos do sistema. O valor da perda de carga por atrito [kPa/m] é obtido através da fórmula  $J = 605 \times \frac{Q^{1,85}}{C^{1,84} \cdot D^{4,87}} \times 10^5$ , onde Q representa a vazão [L/min], C é o coeficiente de Hazen-Williams (adimensional adotado como C = 120) e D é o diâmetro interno [mm] da tubulação no trecho considerado.

Vale ressaltar que, nos pontos em que ocorre o encontro de mais de um ramo do sistema, deve ser feita a compatibilização das vazões e pressões, conforme indicado na norma.

A adequação do dimensionamento do sistema se baseia nos valores limites de pressão em cada ponto. A pressão calculada não deve ser superior a 1200 kPa, e nem inferior a 48 kPa.

Dessa forma, chegou-se ao seguinte resultado para o dimensionamento do sistema de chuveiros automáticos:

Figura 47 - Resultado final do dimensionamento do sistema de chuveiros automáticos



(Fonte: elaborado pelos autores, 2017)

Tabela 21 - Resultados finais de vazão e pressão na área de operação

Ponto	Vazão [L/min]	Pressão [kPa]
1	78,10	95,29
2	85,49	114,20
3	109,81	188,42
4	78,10	95,29
5	85,49	114,20
6	109,81	188,42
7	78,10	95,29
A	273,40	217,26
B	550,75	223,59
C	652,34	230,04

(Fonte: elaborado pelos autores, 2017)

Através da vazão final calculada, é possível determinar a capacidade do reservatório que é destinada à reserva técnica de incêndio por meio da multiplicação:

$$\begin{aligned}
 V &= (\text{vazão final}) \times (\text{duração do abastecimento de água}) \\
 &= (652,34) \times (30) = 19570,22 \text{ L} = 19,57 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

## 6.5. Sistema predial de segurança patrimonial

O sistema de segurança patrimonial de uma edificação tem como objetivo minimizar, dentro e ao redor da edificação, os riscos de furto, vandalismos, danos criminosos, sabotagens ou ataques pessoais.

Antes de determinar as medidas de segurança a serem adotadas, é necessário estipular o nível de risco do local. Para isso, foram adotados os fatores de risco CIBSE, AM4:1991 (*The Chartered Institution of Building Services Engineers*), que levam em consideração:

- Localização e arredores da edificação;
- Acessos e resistência estrutural;
- Conteúdo da edificação;
- Padrão de ocupação;
- Consequências de perdas;
- Histórico de perdas;

- Medidas de segurança existentes.

Quanto à localização e arredores, considerou-se que a edificação está localizada dentro de uma grande cidade, com uma vizinhança razoavelmente estabelecida e que, em períodos de risco, os arredores encontram-se desocupados. Em relação à visibilidade dos transeuntes, adotou-se a condição de uma ou mais elevações vulneráveis obstruídas de vista plena. Para a iluminação, foi considerado que a edificação possui boa iluminação, mas os arredores são fracamente iluminados. Agrupando todas essas características, o fator de risco da localização e arredores é de 10,50.

Para determinar o fator de risco relativo aos acessos e resistência estrutural, deve-se levar em conta que o local é de fácil acesso e que sua estrutura será executada com perfis metálicos e vedações em vidro e painéis de concreto. Além disso, assumiu-se que as ferragens das portas e janelas serão fortes e de alta qualidade. Logo, esse fator de risco terá um valor de 2,50.

O conteúdo da edificação que poderia ser furtado resume-se basicamente a materiais esportivos e equipamentos para realização de eventos. Considerando que esse tipo de material tem um baixo valor percebido, possui um mercado limitado e não é de fácil transporte, chegou-se a um fator de risco de 0,60 para esse aspecto.

Quanto ao padrão de ocupação, considerou-se que a edificação terá uma ocupação em períodos regulares, com períodos de não ocupação definidos. Além disso, haverá um número significante de visitantes não supervisionados, o que resulta em um fator de risco de 2,75.

Analizando as consequências das perdas, adotou-se uma sensibilidade baixa e uma inconveniência média, o que acarreta em um fator de risco de 1,50.

Para o histórico de perdas, levou-se em conta as ocorrências observadas nos eventos anteriores já realizados no local, chegando-se a um nível baixo de perdas. Logo, o fator de risco para esse quesito é de 1,00.

Por fim, quanto às medidas de segurança existentes, a única medida adotada atualmente é a presença de guardas de segurança durante o dia, com rondas noturnas. Alarmes contra intrusos e circuitos de vigilância por câmeras não existem. Assim, o fator de risco relativo a esse aspecto é de 2,50.

Dessa forma, somando todos os valores supracitados, chega-se a um fator de risco global de 21,35, cujo valor encontra-se na faixa de risco médio (correspondente aos valores de 19 a 23, aproximadamente). Para esse nível, recomenda-se a adoção de medidas físicas e algumas eletrônicas.

Tratando inicialmente das medidas físicas de segurança, sugere-se a instalação de uma boa iluminação perimetral. É essencial que o ambiente seja bem iluminado não somente no interior da edificação, mas também em todo o seu perímetro, de forma que se eliminem possíveis zonas escuras nos arredores.

Outra medida importante reside nas portas de acesso da edificação, que podem ser blindadas, visto que elas serão de vidro e estarão mais vulneráveis a grandes impactos.

Em relação ao acesso de pessoas no prédio, sugere-se a instalação de catracas nas entradas para que haja um controle dos ocupantes. O acesso seria liberado apenas mediante apresentação da carteirinha da USP, por sensor magnético. Para garantir que essa regra seja respeitada e também para controlar a entrada de pessoas que não possuem a carteirinha, deve haver também um segurança nos pontos de acesso.

Para as medidas eletrônicas de segurança, uma boa possibilidade seriam sensores de movimento no interior da edificação. Os aparelhos ficariam ligados apenas no período noturno, quando o local deve estar desocupado.

## 7. CARGAS E CARREGAMENTOS

A norma *NBR 8800 - Projeto em Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e de Concreto de Edifícios* apresenta as cargas presentes nesses tipos de estrutura. Inicialmente, abordaremos apenas a treliça superior. Como cargas permanentes foram consideradas o peso próprio da estrutura e o peso de todos os elementos construtivos fixos e das instalações permanentes. Além disso, considerou-se também as sobrecargas e o vento como carregamentos variáveis. Esses serão caracterizados a seguir.

### 7.1. Peso próprio da estrutura

O valor do peso próprio da estrutura será definido como 0,15 kN/m<sup>2</sup>, de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 22 - Pesos próprios de acordo com o tipo de estrutura

TIPO DE ESTRUTURA – PESOS EM kN / m <sup>2</sup>				
ELEMENTO	MUITO LEVE	LEVE	MÉDIO	PESADO
COBERTURA	0,05 a 0,10	0,10 a 0,20	0,20 a 0,30	0,30 a 0,60
PILARES E FECHAMENTOS	0,05 a 0,10	0,10 a 0,20	0,20 a 0,30	0,30 a 0,60

Fonte: (NBR 8800 - Projeto em Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e de Concreto de Edifícios)

### 7.2. Peso de todos os elementos construtivos fixos e das instalações permanentes

Para o cálculo da carga nas treliças de cobertura, tem-se o peso das telhas de poliuretano, o peso das tubulações e o peso dos painéis solares. Para as telhas de poliuretano revestidas em aço, adotou-se um valor de 0,089 kN/m<sup>2</sup>. Já para os painéis solares, utilizou-se uma carga de 0,12 kN/m<sup>2</sup>. Ambos os valores foram obtidos através

dos catálogos dos fabricantes. Para as utilidades foi previsto um valor dentro da sobregarga.

As cargas dos demais materiais, a título de referência, foram tiradas da norma *NBR 6120 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificação*, ou previstos na sobrecarga no item a seguir.

Tabela 23 - Pesos dos elementos construtivos

Material	Carga (kN/m <sup>3</sup> )
Tijolos furados	13
Tijolos maciços	18
Concreto simples	24
Concreto armado	25
Aço	78,5
Vidro plano	26

Fonte: (NBR 6120 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificação)

### 7.3. Sobrecargas

Para a treliça de cobertura, adotou-se uma sobrecarga de 0,50 kN/m<sup>2</sup>, ainda conforme a mesma norma. Esse valor de sobrecarga é indicado para forros sem acesso de pessoas, cujo conceito foi estendido para a cobertura.

### 7.4. Carregamento devido à ação do vento

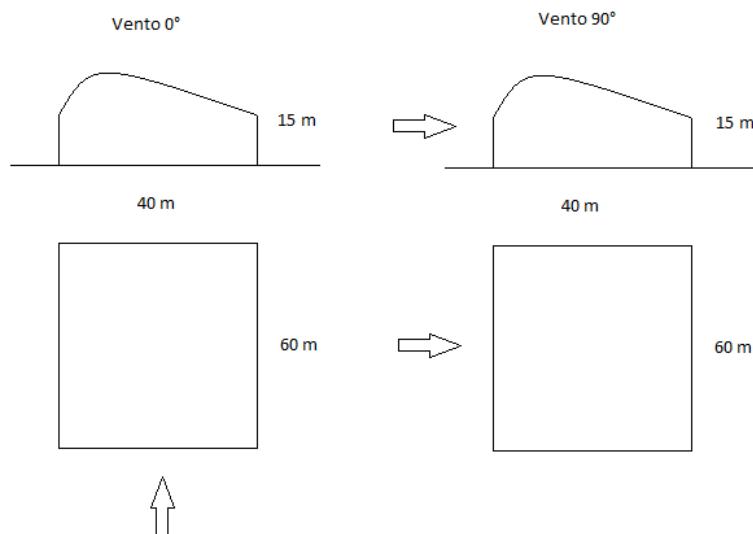
O cálculo dos carregamentos de vento foi feito inicialmente seguindo-se os procedimentos tradicionais indicados pela norma correspondente. Posteriormente, com o auxílio de um programa computacional com uma modelagem mais complexa, obtiveram-se resultados mais refinados, que foram comparados com os previamente calculados.

A norma *NBR 6123 - Forças Devidas ao Vento em Edificações* trata sobre as normas de vento para estruturas comuns, conforme está escrito em sua introdução, com arquiteturas mais tradicionais. Porém, apresenta também anexos sobre coberturas curvas cilíndricas e cúpulas (anexo E da norma), o que se aproxima um pouco mais da estrutura projetada e proporciona, então, resultados mais conclusivos.

A norma prevê, também, que para casos complexos seja feito um estudo através de túnel de vento, que possui vantagens e desvantagens sobre o modelo computacional.

A estrutura em questão apresenta uma configuração próxima ao esboço (fora de escala) apresentado abaixo, com dimensões máximas de aproximadamente 15 metros de altura, 40 metros de largura e 60 metros de profundidade.

Figura 48 - Representação dos carregamentos de vento



Fonte: (Elaborado pelos autores)

Primeiramente, calcula-se a pressão de vento, cujo valor é obtido da seguinte maneira:

$$q = 0,613 * V_k^2$$

onde  $q$  é encontrado em  $\text{N/m}^2$  e  $V_k$  é dado em  $\text{m/s}$ , a partir da equação:

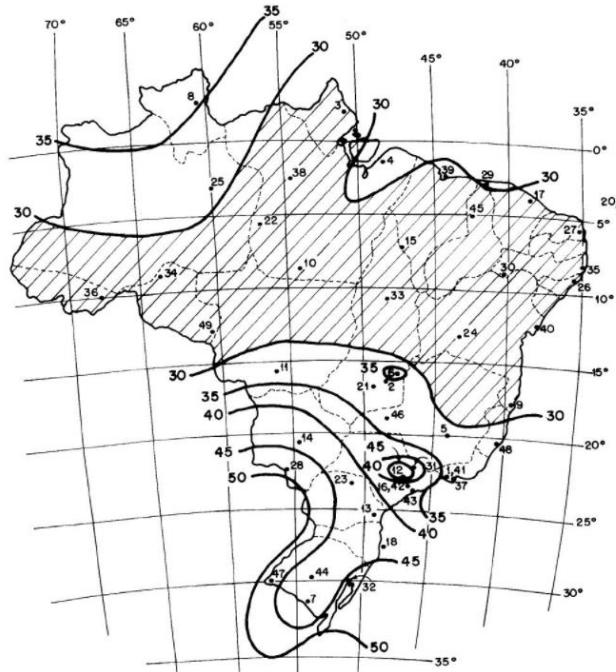
$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3$$

sendo:

- $V_0$  - Velocidade básica do vento
- $S_1$  - Fator Topográfico
- $S_2$  - Fator Rugosidade
- $S_3$  - Fator Estatístico

Para determinar  $V_0$ , a norma então apresenta um gráfico de Isopletas da velocidade básica do vento, em m/s, a partir da qual determina-se que  $V_0 = 42$  m/s na região do projeto.

Figura 49 - Gráfico de isopletas da velocidade básica do vento no território nacional



Fonte: (NBR 6123 - Forças Devidas ao Vento em Edificações)

O fator  $S_1$  considera a topografia do local. Admitindo que o terreno em questão pode ser considerado plano ou fracamente acidentado, tem-se que  $S_1 = 1,0$ .

O fator  $S_2$  leva em consideração a rugosidade da região (traduzida em uma categoria), as dimensões da estrutura (traduzidas em uma classe) e a altura da estrutura. Quanto à rugosidade, a construção se enquadra na categoria IV, referente a cidades pequenas, bosques, etc. Em relação às dimensões, enquadra-se na classe B (dimensão máxima entre 20 metros e 50 metros) e C (dimensão máxima maior que 50 metros), dependendo da direção estudada. Portanto, tem-se categoria B para o vento 0° e categoria C para o vento de 90°.

O fator  $S_3$  reflete o grau de segurança necessário em função da ocupação do espaço. Leva-se em consideração, também, um período de retorno de 50 anos e uma probabilidade de 63% de a velocidade incidente superar a velocidade básica do vento

neste período. Para espaços onde pode ocorrer uma ocupação elevada, adota-se  $S_3 = 1,0$ .

Logo, para o vento  $0^\circ$ , tem-se:

Tabela 24 - Resultados para face do vento  $0^\circ$

$H(m)$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$V_k(m/s)$	$q(kN/m^2)$
5	1,0	0,76	1,0	31,92	0,625
10	1,0	0,83	1,0	34,86	0,745
15	1,0	0,88	1,0	36,96	0,840

Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

E para o vento  $90^\circ$ :

Tabela 25 - Resultados para face do vento  $90^\circ$

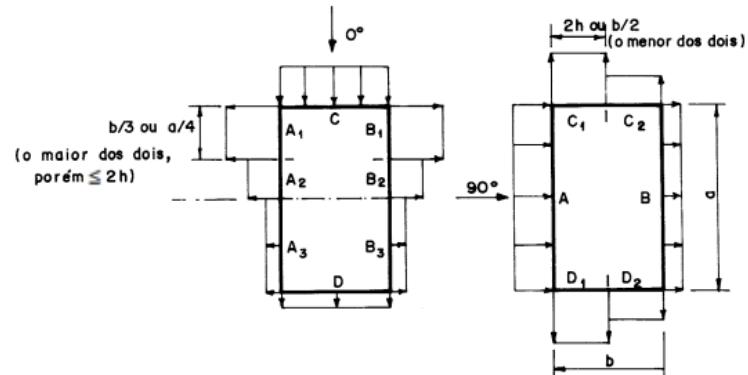
$H(m)$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$V_k(m/s)$	$q(kN/m^2)$
5	1,0	0,73	1,0	30,66	0,580
10	1,0	0,80	1,0	33,60	0,695
15	1,0	0,81	1,0	34,02	0,710

Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

A seguir, é preciso obter os coeficientes de pressão e considerar os efeitos da curvatura da cobertura. Para isso, utilizou-se o anexo E da norma NBR 6123. Para efeito de simplificação dos cálculos, foi considerado que a cobertura pode ser dividida em duas metades cilíndricas, com diferentes raios.

A partir dos procedimentos da norma, das definições das dimensões básicas, dos cálculos dos coeficientes internos de pressão (obtidos através de um método iterativo para casos que não se enquadram simplesmente na norma), e dos coeficientes externos, é possível obter os valores ponderadores do carregamento de vento. Esses ponderadores são calculados pela diferença entre o coeficiente externo e o interno, considerando a direção dos mesmos. O valor final do carregamento de vento é obtido através da multiplicação dos ponderadores pelos resultados previamente calculados.

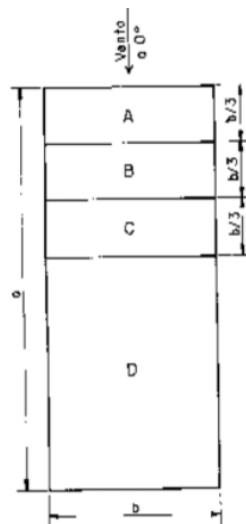
Figura 50 - Segmentações do espaço externo definido pela norma



Fonte: (NBR 6123 - Forças Devidas ao Vento em Edificações)

Para o vento incidente a  $0^\circ$ , temos:

Figura 51 - Definições da área da cobertura para o vento a  $0^\circ$



Fonte: (NBR 6123 - Forças Devidas ao Vento em Edificações)

Tabela 26 - Coeficientes finais que serão utilizados para os carregamentos de vento a 0°

	$c_e - c_i$
A1=B1	-0,9
A2=B2	-0,6
A3=B3	-0,5
C	+0,6
D	-0,5
Acobertura	-0,9
Bcobertura	-0,5
Ccobertura	-0,4
Dcobertura	-0,3

Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

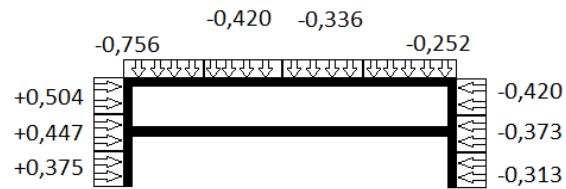
Tabela 27 - Carregamentos de vento finais a 0°

	q (kN/m²)		
	Até 5 m	Até 10 m	Até 15 m
A1=B1	-0,563	-0,671	-
A2=B2	-0,375	-0,447	-
A3=B3	-0,313	-0,373	-
C	+0,375	+0,447	+0,504
D	-0,313	-0,373	-0,420
Acobertura	-	-0,671	-0,756
Bcobertura	-	-0,373	-0,420
Ccobertura	-	-0,298	-0,336
Dcobertura	-	-0,224	-0,252

Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Para exemplificar, exibe-se a seguir um esboço fora de escala de um corte paralelo à geratriz da cobertura, onde se vê as faces C e D da projeção em planta em todas as suas alturas e as forças aplicadas no ponto de maior altura da cobertura.

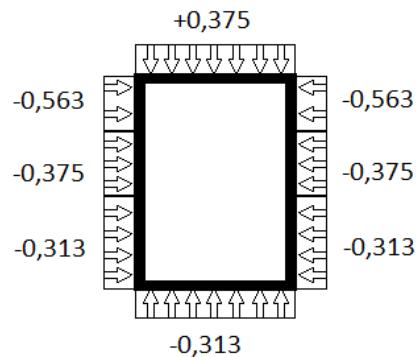
Figura 52 - Esboço sem escala da pressão estática de corte paralelo à geratriz da cobertura em  $\text{kN/m}^2$



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Aqui, em outro esboço fora de escala, é possível observar a vista em planta com as forças aplicadas na camada de altura menor que 5 metros:

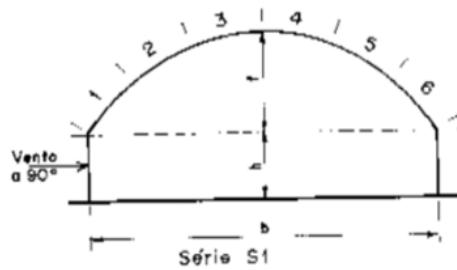
Figura 53 - Esboço sem escala da pressão estática dos carregamentos de vento a  $0^\circ$  em  $\text{kN/m}^2$



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Para o caso do vento a  $90^\circ$ , tomando as mesmas premissas e utilizando os mesmos padrões de cálculo e o barlavento na face A:

Figura 54 - Definições da área da cobertura para o vento a 90°



Fonte: (NBR 6123 - Forças Devidas ao Vento em Edificações)

Nesse caso, para o vento perpendicular à geratriz, teremos:

Tabela 28 - Coeficientes finais que serão utilizados para os carregamentos de vento a 90°

	$c_e - c_i$
A	+0,6
B	-0,5
C1=D1	-0,9
C2=D2	-0,5
1	-0,4
2	-0,8
3	-0,9
4	-0,7
5	-0,5
6	-0,5

Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Tabela 29 - Carregamentos de vento finais a 90°

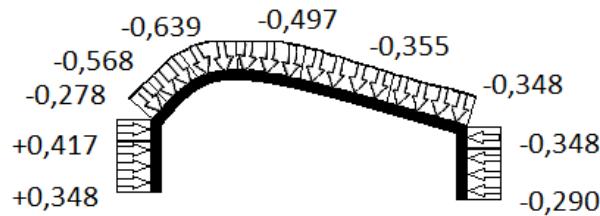
	Até 5m	Até 10m	Até 15m
A	+0,348	+0,417	-
B	-0,290	-0,348	-
C1=D1	-0,522	-0,626	-0,639
C2=D2	-0,290	-0,348	-0,355
1	-	-0,278	-
2	-	-	-0,568
3	-	-	-0,639
4	-	-	-0,497
5	-	-	-0,355
6	-	-0,348	-

Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Para termos de simplificação, consideramos que os trechos 1 e 6 vão da altura 7,5 metros a 10 metros, 2 e 5 vão da altura 10 metros a 12,5 metros e 3 e 4 vão da altura 12,5 metros a 15 metros.

Novamente, apresenta-se um esboço, fora de escala, dos carregamentos atuantes na cobertura num corte onde se vê as faces A e B:

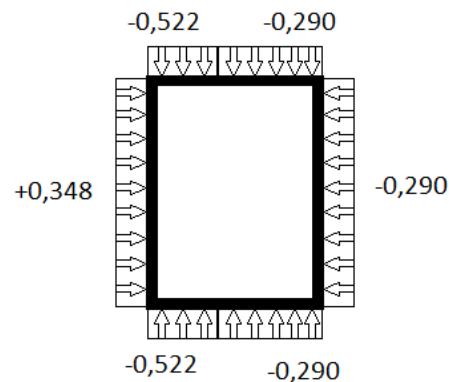
Figura 55 - Esboço sem escala da pressão estática dos carregamentos de vento a 90° em kN/m<sup>2</sup>



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

E em outro esboço, fora de escala, temos a vista em planta com as forças aplicadas na camada de altura menor que 5 metros para essa direção de vento:

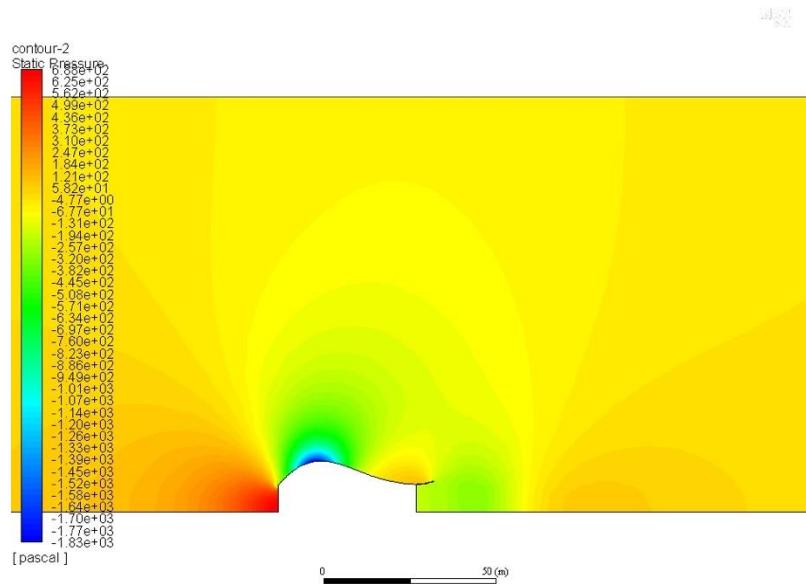
Figura 56 - Esboço sem escala da pressão estática dos carregamentos de vento a 90° em kN/m<sup>2</sup>



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Após os resultados obtidos pelos métodos previstos pela norma NBR 6123 - *Forças Devidas ao Vento em Edificações*, optou-se por uma modelagem no software *Fluent* das pressões estáticas exercidas na estrutura estudada:

Figura 57 - Resultado das pressões estáticas do vento a 90° do modelo no Software Fluent



Fonte: (Software Fluent)

Cabe ressaltar que os resultados obtidos na modelagem se aproximam bastante dos anteriores, em ordem de grandeza. Apesar de alguns números se alteraram um pouco, foi interessante observar que os resultados obtidos previamente estavam coerentes, mesmo com adoção de premissas e aproximações. Isso se deve ao fato da estrutura ter sido modelada com precisão e do método ser experimental, e não apenas teórico.



## 8. DIMENSIONAMENTO

A partir do detalhamento das cargas atuantes na estrutura, é possível dar início ao dimensionamento dos perfis metálicos a serem utilizados. A metodologia utilizada será aquela descrita na *NBR 8800 - Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*.

### 8.1. Combinações de ações

As ações atuantes em uma edificação são divididas em três categorias: permanentes, variáveis e excepcionais. Como ações permanentes diretas, tem-se o peso próprio da estrutura metálica e o peso próprio do sistema de cobertura (telhas de poliuretano e painéis solares). Já como ações variáveis, foram consideradas a sobrecarga e o carregamento devido ao vento.

Para realizar a análise estrutural e o dimensionamento da estrutura, as ações devem ser ponderadas pelo coeficiente  $\gamma_f$ , dado por:

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f3}$$

onde:

- $\gamma_{f1}$  considera a variabilidade das ações;
- $\gamma_{f2}$  considera a simultaneidade de atuação das ações;
- $\gamma_{f3}$  considera os possíveis erros de avaliação dos efeitos das ações, seja por problemas construtivos, seja por deficiência do método de cálculo empregado, de valor superior ou igual a 1,10.

Os coeficientes  $\gamma_g$  e  $\gamma_q$  podem ser encontrados nas tabelas a seguir.

Tabela 30 - Valores dos coeficientes de ponderação  $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$ 

Combinações	Ações permanentes ( $\gamma_g$ ) <sup>a,c</sup>					Indiretas	
	Diretas						
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos		
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)	
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)	
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)	
	Ações variáveis ( $\gamma_q$ ) <sup>a,d</sup>						
	Efeito da temperatura <sup>b</sup>	Ação do vento	Ações truncadas <sup>e</sup>	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação			
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50			
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30			
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00			

<sup>a</sup> Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

<sup>b</sup> O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação.

<sup>c</sup> Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m<sup>2</sup>, ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20.

<sup>d</sup> Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m<sup>2</sup>, ou 1,40 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,30 e 1,20, e nas combinações excepcionais, sempre 1,00.

<sup>e</sup> Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a este valor-limite.

Fonte: (NBR 8800 - Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios)

Tabela 31 - Valores dos fatores de combinação  $\psi_0$  e de redução  $\psi_1$  e  $\psi_2$  para as ações variáveis

Ações		$\gamma_n^a$		
		$\psi_0$	$\psi_1^d$	$\psi_2^e$
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b)</sup>	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas <sup>c)</sup>	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

<sup>a</sup> Ver alínea c) de 4.7.5.3.  
<sup>b</sup> Edificações residenciais de acesso restrito.  
<sup>c</sup> Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.  
<sup>d</sup> Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar  $\psi_1$  igual a 1,0.  
<sup>e</sup> Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para  $\psi_2$  o valor zero.

Fonte: (NBR 8800 - Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios)

O dimensionamento de uma estrutura pelos estados limite difere em coeficientes para a análise do Estado Limite Último (ELU) e para o Estado Limite de Serviço (ELS). Uma estrutura atinge um estado limite quando deixa de preencher qualquer das finalidades de sua construção. O ELU é o estado de falha e/ou ruptura da estrutura ou de parte dela, configurando esgotamento da capacidade portante e colapso da estrutura. Já o ELS é o estado limite associado à durabilidade e conforto do usuário, como por exemplo a verificação de deformações excessivas.

No estado limite último, o produto  $\gamma_f \gamma_{f3}$  é representado por  $\gamma_g$  ou  $\gamma_q$  e o coeficiente  $\gamma_{f2}$  é igual ao fator de combinação  $\psi_0$ . Já no estado limite de serviço, o coeficiente  $\gamma_f$  é usualmente igual a 1,0 e os fatores de redução  $\psi_1$  e  $\psi_2$  são usados para obtenção dos valores frequentes e quase permanentes das ações variáveis.

De acordo com a norma, um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período pré-estabelecido. Assim, deve-se combinar as ações de forma a determinar o efeito mais desfavorável à estrutura. Para a verificação dos

estados limites último e de serviço, usa-se as combinações últimas e de serviço, respectivamente.

### *8.1.1. Combinações últimas*

Para efeito deste projeto, será utilizada a combinação última normal por não existirem cargas especiais ou excepcionais. Esta combinação decorre do uso previsto para a edificação e inclui as ações permanentes e a ação variável principal, com seus valores característicos, e as demais ações variáveis como secundárias, com seus valores reduzidos de combinação. A expressão para essas combinações é dada por:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k})$$

onde:

- $F_{Gi,k}$  representa os valores característicos das ações permanentes;
- $F_{Q1,k}$  é o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;
- $F_{Qj,k}$  representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

Dessa forma, fica claro que existem duas combinações diferentes. Uma considerando o vento como ação principal e a sobrecarga como ação secundária, e uma segunda onde a sobrecarga é a ação principal e o vento a secundária. A tabela abaixo compila os valores de coeficientes adotados.

Tabela 32 - Coeficientes adotados para as Combinações últimas

Ação	Combinação 1		Combinação 2	
Ação Permanente	Peso Próprio Estrutura	$\gamma_g = 1,25$	Peso Próprio Estrutura	$\gamma_g = 1,25$
	Peso Próprio Cobertura	$\gamma_g = 1,35$	Peso Próprio Cobertura	$\gamma_g = 1,35$
Ação Variável Principal	Vento	$\gamma_{q1} = 1,4$	Sobrecarga	$\gamma_{q1} = 1,5$
Ação Variável Secundária	Sobrecarga	$\gamma_{q2} = 1,5$ $\psi_0 = 0,5$	Vento	$\gamma_{q2} = 1,4$ $\psi_0 = 0,6$

Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

É valido destacar aqui que, no caso de estruturas leves, como a que se trata neste trabalho, é necessário ainda que se considere uma combinação de “arrancamento” máximo para dimensionar os chumbadores de fixação das bases dos pilares. Nessa combinação, despreza-se a sobrecarga e aplicam-se os coeficientes favoráveis nas ações permanentes. Entretanto, esse dimensionamento não foi incluído no escopo do trabalho.

### 8.1.2. Combinações de serviço

As combinações de serviço possíveis são: quase permanente, frequente e rara. Para efeito deste projeto, serão consideradas como combinações possíveis as combinações quase permanente e frequente. A principal diferença entre as duas combinações é o uso dos coeficientes  $\psi_1$  e  $\psi_2$ . As expressões para estas combinações são:

Combinação Quase Permanente:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k})$$

Combinação Frequente:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k})$$

Existem, portanto, três possíveis combinações de serviço, cujos coeficientes estão compilados na tabela a seguir.

Tabela 33 - Coeficientes adotados para as combinações de serviço

Ação	Combinação 3 (QP)		Combinação 4 (F)		Combinação 5 (F)	
Ação Variável Principal	Vento	$\psi_2 = 0$	Sobrecarga	$\psi_1 = 0,4$	Vento	$\psi_1 = 0,3$
Ação Variável Secundária	Sobrecarga	$\psi_2 = 0,3$	Vento	$\psi_2 = 0$	Sobrecarga	$\psi_2 = 0,3$

Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

## 8.2. Modelo SAP2000

Para obter os esforços solicitantes na estrutura, foi utilizado um modelo tridimensional no software SAP 2000. A seguir, serão descritas algumas das premissas adotadas durante a modelagem.

### 8.2.1. Escolha dos perfis

Para os arcos da cobertura e para as treliças, foram escolhidos tubos de seção circular sem costura. Foi utilizada a tabela de perfis da empresa Vallourec para se obter os perfis iniciais.

Devido ao grande número de incógnitas, é necessário realizar o dimensionamento por tentativas, ou seja, escolher uma seção e verificá-la. Como a estrutura não é usual de forma a encontrar os esforços solicitantes de forma intuitiva, não é possível fazer uma escolha do perfil baseada na relação  $N_{sd} \leq N_{rd}$  (esforço solicitante menor ou igual ao esforço resistente) para encontrar a área inicialmente. Dessa forma, admitiu-se, com base na observação de casos similares (perfis dos estudos de caso, entre outros), os perfis iniciais descritos na tabela abaixo.

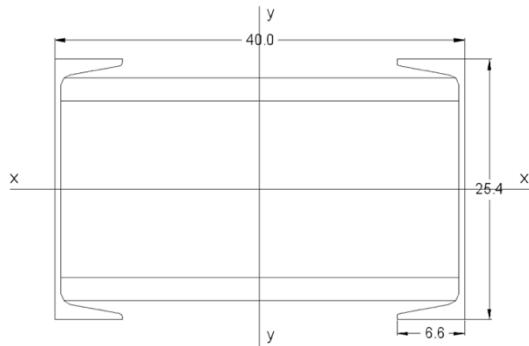
Tabela 34 - Perfis iniciais da cobertura (modelo)

	<b>Perfil (mm x mm)</b>	<b>Diâmetro Externo (mm)</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Diâmetro Interno (mm)</b>	<b>Área da ST (cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Arco</b>	TC 101,6 x 5,0	101,6	5,0	96,6	15,2
<b>Barra de Treliças</b>	TC 48,3 x 4,0	48,3	4,0	44,3	5,57

Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Para os pilares treliçados, foi utilizada uma seção transversal composta de dois perfis C e dois travamentos em perfil L, cantoneira simples de abas iguais. A partir da composição da seção, foram calculadas algumas de suas propriedades e características geométricas necessárias para a inclusão do perfil no software. Os perfis C utilizados foram: C 254 x 22,7. A figura abaixo mostra a seção transversal adotada.

Figura 58 - Seção Transversal do Pilar Treliçado

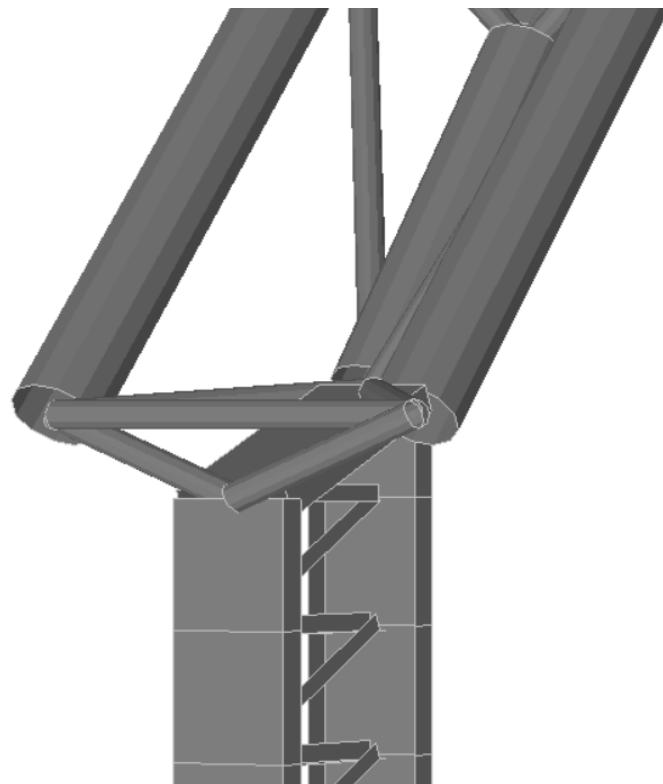


Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

### 8.2.2. Vinculação

A partir das análises feitas, foi admitido que os pilares treliçados estão engastados na fundação e que a ligação entre o pilar e o arco é rígida. Dessa forma, reduz-se a deslocabilidade lateral do pórtico. As ligações modeladas no software podem ser vistas nas figuras a seguir.

Figura 59 - Ligação do pilar treliçado com os arcos



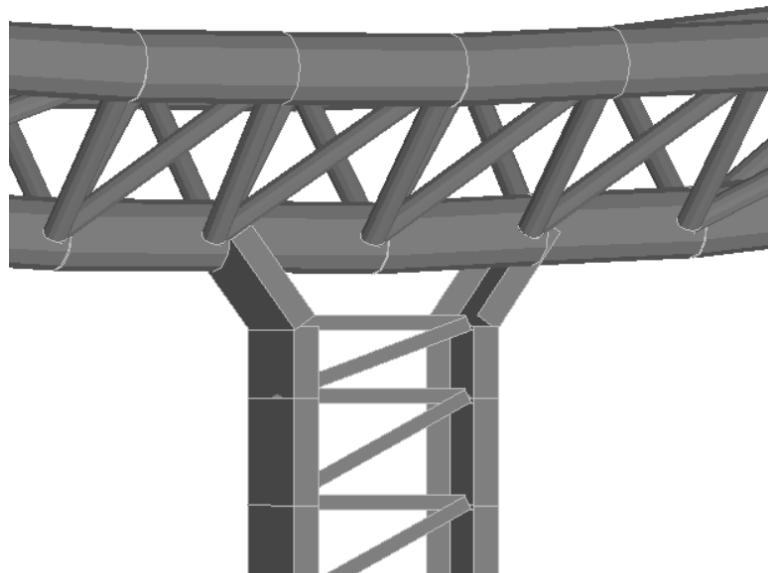
Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Figura 60 - Vista frontal da ligação do pilar treliçado com os arcos



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Figura 61 - Ligação do pilar treliçado com o arco no balanço



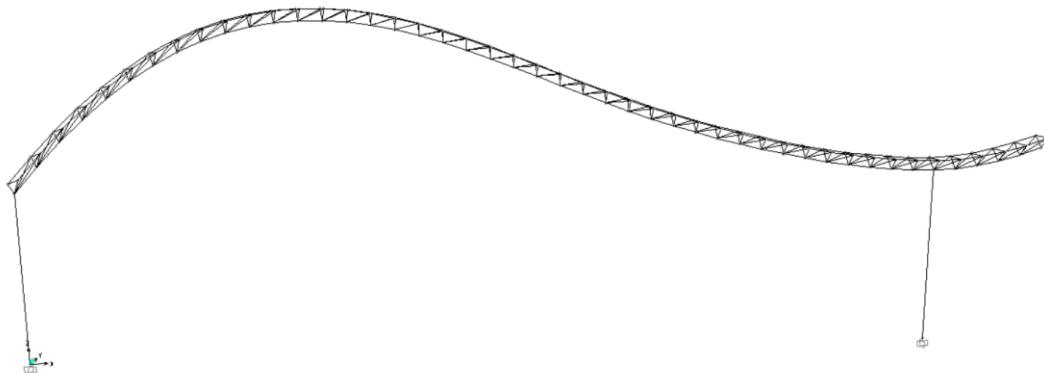
Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

### *8.2.3. Esforços Solicitantes*

A partir destes perfis e com o auxílio da ferramenta SAP 2000, foram gerados os diagramas de esforços solicitantes para cada uma das 5 combinações de cargas apresentadas anteriormente.

A figura ilustra o modelo 3D da tesoura utilizado para geração dos diagramas no software. Para efeito das áreas de influência das cargas, foi escolhido uma tesoura central, por possuir carregamentos mais expressivos (área de influência maior). É importante notar que os carregamentos foram aplicados apenas nos arcos superiores pois estes que recebem os esforços provenientes da cobertura. Além disso, vale ressaltar que o carregamento de sobrecarga e peso próprio são aplicados na direção do eixo Z global, ou seja, seguindo a gravidade, enquanto o carregamento do vento é aplicado no eixo local, seguindo o formato curvo da estrutura.

Figura 62 - Modelo 3D da tesoura central



Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

Depois de inseridos todos os valores e premissas, o software roda a análise estrutural, a partir da qual é possível extrair os valores dos esforços solicitantes. A tabela abaixo mostra os valores extremos dos esforços solicitantes para as combinações últimas, valores que serão posteriormente utilizados para a escolha do perfil.

Tabela 35 - Valores Extremos dos Esforços Solicitantes para Combinações Últimas

Esforços Solicitantes - Valores Extremos								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
254	0	COMB2	<b>603,432</b>	-1,305	-0,00093	0,0232	-0,0077	10,2157
387	0	COMB2	-421,257	<b>70,194</b>	-0,676	0,037	-0,0096	-15,7055
397	0	COMB2	-346,825	5,02E-05	<b>157,266</b>	-0,0011	33,1216	-0,0015
681	0	COMB2	101,979	3,857	2,196	<b>0,8155</b>	2,4173	-0,3326
397	0	COMB2	-346,825	5,02E-05	<b>157,266</b>	-0,0011	<b>33,1216</b>	-0,0015
385	0,5007	COMB2	-147,353	-94,279	2,358	0,0044	-0,6436	<b>36,985</b>
387	0	COMB2	<b>-421,257</b>	70,194	-0,676	0,037	-0,0096	-15,7055
388	0	COMB2	-233,965	<b>-121,362</b>	-0,415	0,0382	0,3284	-70,9046
401	0	COMB2	165,166	4,72E-05	<b>-153,792</b>	0,00096	-31,4487	0,0016
682	0	COMB2	101,986	3,857	-2,194	<b>-0,8195</b>	-2,4167	-0,3335
401	0	COMB2	165,166	4,72E-05	-153,792	0,00096	<b>-31,4487</b>	0,0016
388	0	COMB2	-233,965	-121,362	-0,415	0,0382	0,3284	<b>-70,9046</b>

Fonte: (Elaborado pelos autores, 2017)

### 8.3. Escolha dos perfis

A partir dos dados extraídos do software SAP 2000 e através da consulta à norma NBR 8800, foi possível determinar os perfis metálicos da estrutura e dimensioná-la. Como premissas, foram utilizados todos os elementos com aço ASTM A36 ( $f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$ ) e perfis laminados. Sempre se buscou a solução que consumisse o mínimo de material possível, respeitando as imposições mínimas do dimensionamento.

Para tanto, foi necessário realizar as verificações referentes à tração, compressão, flexão simples, força cortante e flexocompressão.

#### 8.3.1. Dimensionamento à Tração

Para o dimensionamento à tração, deve-se verificar o Estado de Limite Último e também o Estado Limite de Serviço. Para o Estado de Limite Último, verificou-se o escoamento da seção bruta através de:

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{a,y}}$$

E para Ruptura da Seção Líquida Efetiva, ainda em ELU:

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} = \frac{A C_t f_u}{\gamma_{a,u}}$$

Para o Limite de Esbeltez, agora em ELS:

$$\lambda = \frac{l}{r} \leq 300$$

#### 8.3.2. Dimensionamento à Compressão

Para dimensionamento à compressão, é necessário verificar que:

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} = \frac{\chi Q A f_y}{\gamma_a}$$

Onde:

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2}, \text{ para } \lambda_0 \leq 1,5$$

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}, \text{ para } \lambda_0 > 1,5$$

$$e \lambda_0 = \frac{l/r}{\sqrt{\pi^2 E/f_y}}, \text{ para seções bissimétricas}$$

Além disso, verifica-se também as instabilidades locais previstas na norma para almas, mesas e abas.

### *8.3.3. Dimensionamento à Força Cortante*

Para dimensionamento à força cortante, é necessário calcular:

$$V_{pl} = 0,6f_yA_w$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w}, \lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}, \lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$$

onde  $k_v = 5$  em todos os casos da estrutura apresentada, para almas sem enrijecedores transversais.

Então:

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{1,1}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \frac{V_{pl}}{1,1}, \text{ para } \lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$$

$$V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 \frac{V_{pl}}{1,1}, \text{ para } \lambda > \lambda_r$$

E verificar que:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

### *8.3.4. Dimensionamento à Flexão Simples*

Para dimensionamento à flexão simples, foi necessário verificar FLM (Instabilidade Local da Mesa), FLA (Instabilidade Local da Alma) e FLT (Instabilidade Local com Torção).

Para FLM, tem-se:

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}, \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}, \lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}, \text{para seções I bissimétricas}$$

Então:

$$M_{Rd} = \frac{M_p}{1,1}, \text{para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{1,1} \left[ M_p - (M_p - M_r) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right], \text{para } \lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{1,1}, \text{para } \lambda > \lambda_r$$

$$\text{onde, } M_p = Z_x f_y, M_r = W_x (f_y - \sigma_r), M_{cr} = \frac{0,69E}{\lambda^2} W, \sigma_r = 0,3f_y$$

E verificar que:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

Para FLA, tem-se:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}, \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}, \lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}, \text{para seções I bissimétricas}$$

Então:

$$M_{Rd} = \frac{M_p}{1,1}, \text{para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{1,1} \left[ M_p - (M_p - M_r) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right], \text{para } \lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$$

$$\text{onde, } M_p = Z_x f_y, M_r = W_x f_y$$

E verificar que:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

Para FLT, tem-se:

$$\lambda = \frac{l_b}{r_y}, \lambda_p = 1,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}, \lambda_r = \text{tabelado}, \text{para seções I bissimétricas}$$

Então:

$$M_{Rd} = \frac{M_p}{1,1}, \text{para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rd} = \frac{C_b}{1,1} \left[ M_p - (M_p - M_r) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right], \text{ para } \lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{1,1} = \frac{C_b}{1,1} \sqrt{M_{cr1}^2 + M_{cr2}^2}, \text{ para } \lambda > \lambda_r$$

onde,  $M_p = Z_x f_y$ ,  $M_r = W_x (f_y - \sigma_r)$ ,  $\sigma_r = 0,3 f_y$

$$M_{cr1} = \frac{0,65 E W_x}{l_b d}, \quad M_{cr2} = \frac{\pi^2 E W_x}{\left(\frac{l_b}{r_T}\right)^2}, \quad r_T = \sqrt{\frac{I_y/2}{A_f + A_w/6}}$$

E verificar que:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

Para seções circulares não há alma nem mesa, então o dimensionamento é verificado da seguinte forma:

$$\lambda = \frac{D}{t}, \quad \lambda_p = \frac{0,07E}{f_y}, \quad \lambda_r = \frac{0,31E}{f_y}$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{1,1}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{1,1} \left[ \frac{0,021E}{D/t} + f_y \right] W, \text{ para } \lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{1,1} \left[ \frac{0,33E}{D/t} \right] W, \text{ para } \lambda > \lambda_r$$

E verificar que:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

### 8.3.5. Dimensionamento à Flexocompressão

Para dimensionamento à flexocompressão, é necessário calcular:

$C_M = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2}$ , onde  $M_1$  e  $M_2$  são os momentos nas extremidades, em módulo

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{N_{Sd}}{N_e}} \geq 1,0, \quad N_{xe} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_{fl,x}^2}, \quad N_{ye} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{fl,y}^2}$$

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \frac{M_{0x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{0y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0, \text{ para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$$

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{0x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{0y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0, \text{ para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$$

### 8.3.6. Resultados

Para os elementos circulares principais da cobertura (TC1 a TC33) foram obtidos os valores solicitantes máximos de  $N_{Sd} = +861,60 \text{ kN}$ ,  $N_{Sd} = -372,80 \text{ kN}$ ,  $V_{Sd} = 106,9 \text{ kN}$  e  $M_{Sd} = +8880,34 \text{ kNm}$ . Portanto, este elemento foi dimensionado à tração, compressão, cortante, flexão simples e flexocompressão, resultando no perfil circular D 219,1 E 11,0 A 71,9. Este perfil é um tubo circular que possui diâmetro de 219,1 mm e espessura de 11 mm.

Para os elementos ligantes circulares da treliça de cobertura, foram obtidos os valores solicitantes máximos de  $N_{Sd} = +136,69 \text{ kN}$  e  $N_{Sd} = -150,07 \text{ kN}$ . Portanto, este elemento foi dimensionado apenas à tração e compressão, resultando no perfil circular D 73,0 E 3,6 A 7,85. Este perfil é um tubo circular que possui diâmetro de 73,0 mm e espessura de 3,6 mm.

Para as vigas em I, que portam as placas de vidro e as de concreto nas faces (V1 a V72), foram obtidos os valores solicitantes máximos de  $V_{Sd} = 43,9 \text{ kN}$  e  $M_{Sd} = +5490,0 \text{ kNm}$ . Portanto, este elemento foi dimensionado apenas à cortante e flexão simples, resultando no perfil W 200 x 35,9. Este perfil é um perfil I que possui altura 200 mm e massa linear 35,9 kg/m.

Para os pilares em I (P2 a P8 e P28 a P34), que recebem os carregamentos das vigas em I, foram obtidos os valores solicitantes máximos de  $N_{Sd} = +62,60 \text{ kN}$ ,  $N_{Sd} = -81,80 \text{ kN}$ ,  $V_{Sd} = 16,9 \text{ kN}$  e  $M_{Sd} = +5720,0 \text{ kNm}$ . Portanto, este elemento foi dimensionado à tração, compressão, cortante, flexão simples e flexocompressão, resultando no perfil W 200 x 46,1. Este perfil é um perfil I que possui altura 200 mm e massa linear 46,1 kg/m.

Para os pilares treliçados (P1, P9 a P27 e P35), foi utilizada uma seção transversal composta de dois perfis C e dois travamentos em perfil L, conforme descrito anteriormente. No modelo do SAP 2000 as cargas foram decompostas em cada elemento, então para o perfil C foram obtidos os valores solicitantes máximos de  $N_{Sd} = +302,17 \text{ kN}$  e  $N_{Sd} = -372,70 \text{ kN}$ . Portanto, este elemento foi dimensionado apenas à tração e compressão, resultando no perfil C 305 x 30,7. Este perfil é um

perfil C que possui altura 305 mm e massa linear 30,7 kg/m. Para o perfil L foram obtidos os valores solicitantes máximos de  $N_{sd} = +40,87 \text{ kN}$  e  $N_{sd} = -51,00 \text{ kN}$ . Portanto, este elemento foi dimensionado apenas à tração e compressão, resultando no perfil L 44 x 4,8. Este perfil é um perfil L que possui largura nominal 44 mm e espessura 4,8 mm.

Para as terças da cobertura (T1 a T240), foram obtidos os valores solicitantes máximos de  $N_{sd} = -6,29 \text{ kN}$ ,  $V_{sd} = 2,98 \text{ kN}$  e  $M_{sd} = +537,0 \text{ kNm}$ . Portanto, este elemento foi dimensionado à compressão, cortante, flexão simples e flexocompressão, resultando no perfil UDC 200 x 3,0. Este perfil é um perfil U dobrado de chapa com 3 mm de espessura e 200 mm de altura.

## 9. CONCLUSÃO

Ao fim deste projeto, é possível analisar criticamente os resultados obtidos e compará-los com as aspirações iniciais do grupo.

Quanto à proposta de utilização do espaço, acredita-se que ela seja bastante adequada e esteja de acordo com os desejos e expectativas das partes interessadas. Dadas todas as possíveis funções do espaço e o grande número de modalidades esportivas que poderão ser atendidas no local, o grupo tem confiança de que a concretização deste projeto traria grandes benefícios à comunidade universitária e seria muito bem recebida pelos alunos.

No que diz respeito ao aspecto arquitetônico da estrutura, é valido destacar que houve um esforço para que a edificação se diferenciasse esteticamente dentro da Cidade Universitária, onde as construções são, em sua maioria, bastante homogêneas. Para que o projeto fugisse do padrão cinza e retangular dos prédios da universidade (salvo algumas exceções), optou-se por características que remetessem à ideia de modernidade e inovação. Ao escolher uma estrutura metálica, com grande parte de sua vedação em vidro e uma cobertura com formato pouco tradicional, o grupo acredita que esse objetivo foi alcançado. Ainda em relação à arquitetura, ressalta-se aqui que esse foi um dos grandes desafios desse trabalho, visto que o grupo é formado por quatro estudantes de engenharia civil com pouco domínio do campo arquitetônico. Por isso, os casos de referência foram muito importantes e sua influência é visível. Além disso, a banca intermediária de avaliação do projeto contou com a presença de arquitetos, que foram de imensa ajuda para a concepção final da edificação.

Uma característica marcante do trabalho é a interdisciplinaridade, aspecto já previsto pelo grupo ao início do projeto e visto como uma possível dificuldade. Entretanto, pode-se afirmar que explorar assuntos variados, que foram aprendidos de forma separada ao longo da graduação, de maneira conjunta e interligada foi de extrema importância e agregou uma experiência fundamental. Logo, apesar de ser uma dificuldade, o caráter interdisciplinar do trabalho foi uma grande oportunidade de aprendizado.

Por fim, destaca-se que, desde o início, existe um desejo do grupo de que o projeto seja de fato levado adiante. Assim, o intuito era que o trabalho provesse

informações necessárias para que se chegue à conclusão de que existe realmente um potencial a ser explorado no local e que a ideia proposta é viável de ser executada. É claro que são necessárias muitas outras etapas e um nível maior de aprofundamento para que o projeto se concretize. Entretanto, dado o escopo que foi definido para este trabalho, dentro do prazo disponível para isso, acredita-se que a entrega está compatível com aquilo que era esperado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SIDERBRÁS. **Galpões para usos gerais**. Rio de Janeiro. Outubro 2004.
- [2] DIAS, LUIS ANDRADE DE MATTOS. **Estruturas híbridas e mistas de aço e concreto**. São Paulo. Setembro 2014.
- [3] GERDAU, GALPÃO FÁCIL. **Coletânea do uso do aço**. Gerdau 2012.  
Disponível em <<http://www.skylightestruturas.com.br/downloads/manual-galpoes-em-porticos-perfis-estruturais-laminados.pdf>>. Acesso em Março 2017.
- [4] BELLEI, IIDONY H. **Edifícios Industriais em aço**. 2000. São Paulo
- [5] KRIPKA,MOACIR.;CHAMBERLAIN,ZACARIAS M. **Construção Metálica - Estudos e Pesquisas Recentes**. Passo Fundo. 2005
- [6] BLANC, ALAN ED. **Architecture and Construction in Steel**. Londres. 1993
- [7] SILVA, MARISTELA GOMES DA. **Painéis de vedaçāo**. Rio de Janeiro. 2004.
- [8] GALAMBOS, THEODORE V. **Guide to stability design criteria for metal - structures**. Nova Iorque. 1998
- [9] MEYER,KARL FRITZ. **Estruturas metálicas: construções com tudo**. Belo Horizonte. 2002
- [10] ESPORTE,MINISTÉRIO DO. **Projetos - Padrão do CIE**. Disponível em: <<http://www.esporte.gov.br/arquivos/cie/projetoPadraoCIE.pdf>>. Acesso em Março 2017

- [11] EDUCAÇÃO, MINISTÉRIO DO. **PROJETO PADRÃO PARA COBERTURA DE QUADRA POLIESPORTIVA PEQUENA (PQ) 32,88 X 18,92 metros.** Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/arquivos/category/45-projetos-arquitetonicos?download=9274:cobertura-de-quadra-pequena-memorial-descritivo-do-projeto>>. Acesso em Março 2017.
- [12] ESTRUTURAS METÁLICAS, SOLUÇÃO. **Coberturas Metálicas para galpões e estacionamentos.** Disponível em: <<http://www.solucaoestruturas.com.br/coberturas-metalicas.html>>. Acesso em Março 2017.
- [13] AECWEB, REDAÇÃO. **Projeto de quadra esportiva deve levar em consideração o uso do espaço.** Disponível em: <[http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/projeto-de-quadra-esportiva-deve-levar-em-conta-o-uso-do-espaco\\_12945\\_0\\_1](http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/projeto-de-quadra-esportiva-deve-levar-em-conta-o-uso-do-espaco_12945_0_1)>. Acesso em Março 2017.
- [14] NEOLATINA. **ARQUIBANCADAS RETRÁTEIS.** Disponível em: <<http://www.neolatina.com.br/arquibancadas/ncp>>. Acesso em Março 2017.
- [15] RECOMA. **Assentos Fixos & Arquibancadas Retráteis.** Disponível em: <<http://www.recoma.com.br/?p=produto/60>>. Aceeso em Março 2017
- [16] SF QUADRAS. **Medidas Oficiais.** Disponível em: <<http://www.sfquadrads.com.br/medidas.htm>>. Acesso em Maio 2017.
- [17] SAYEGH, SIMONE. **Ginásio poliesportivo.** Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/3/artigo215298-3.aspx>>. Acesso em Maio 2017

- [18] RIBEIRO, FERNANDO TELLES. **Arquibancadas.** Disponível em: <<http://www.planesporte.com.br/arquibancadas.php>>. Acesso em Maio 2017.
- [19] CABRAL, MARA. **Pisos de quadras esportivas: tamanhos,normas e usos.** Disponível em: <<http://direcionalescolas.com.br/2014/01/09/pisos-de-quadras-esportivas-tamanhos-normas-e-usos/>>. Acesso em Maio 2017.
- [20] ELASTA. **Piso para Quadra Esportiva.** Disponível em: <<http://www.elasta.com.br/piso-esportivo/piso-para-quadras-esportivas/>>. Acesso em Maio 2017.
- [21] SAYEGH, SIMONE. **Ginásio poliesportivo.** Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/3/ginasio-poliesportivo-a-especificacao-e-o-dimensionamento-corretos-de-215298-1.aspx>>. Acesso em Maio 2017.
- [22] OBRAS, BANCO DE. **Complexo Esportivo Unisus Arena - São Paulo.** Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/banco-de-obras/obra/complexo-esportivo-unisys-arena---sao-paulo/sp>>. Acesso em Maio 2017.
- [23] FUTEBOL DE SALÃO, CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE. **Quadra de Jogo.** Disponível em: <<http://www.cbfs.com.br/2015/futsal/quadra/index.html>>. Acesso em Maio 2017.
- [24] KON, NELSON. **Ginásio de Esportes do Colégio São Luís / Urdi Arquiterura.** Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/784739/sao-luis-sports-and-arts-gymnasium-urdi>>

- arquitetura/56fd46eae58ece93fd000063-sao-luis-sports-and-arts-gymnasium-urdi-arquitetura-photo>. Acesso em Junho 2017
- [25] MATUZAKI, THAIS. **Arcos de tecido.** Disponível em: <[http://www.galeriadaarquitetura.com.br/projeto/galvez-marton-arquitetura/\\_ginasio-clube-alto-dos-pinheiros/3059](http://www.galeriadaarquitetura.com.br/projeto/galvez-marton-arquitetura/_ginasio-clube-alto-dos-pinheiros/3059)>. Acesso em Junho 2017.
- [26] MENDELEZ, ADILSON. **Urdi Arquitetura: Edifício esportivo/cultural, São Paulo.** Disponível em: <<https://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/urdi-arquitetura-edificio-esportivo-cultural-colegio-sao-luis-sao-paulo>>. Acesso em Junho 2017.
- [27] PISOLIX. **Piso de concreto para quadra.** Disponível em: <<http://www.pisolix.com.br/piso-concreto-quadra>>. Acesso em Junho 2017
- [28] NAKAMURA, JULIANA. **Pisos esportivos para ginásios.** Disponível em:<<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/9/pisos-esportivos-para-ginasios-os-parametros-tecnicos-para-especificacao-241092-1.aspx>>. Acesso em Junho 2017.
- [29] MET@LICA, PORTAL. **Construção e montagem de arquibancadas.** Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/construcao-e-montagem-de-arquibancadas>>. Acesso em Maio 2017
- [30] MET@LICA, PORTAL. **Arquibancadas retráteis: soluções para otimizar espaços.** Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/arquibancadas-retrateis-solucoes-para-otimizar-espacos>>. Acesso em Maio 2017.

- [31] CLIQUEARQUITERURA. **Diferentes tipos de banheiros adaptados.** Disponível em: <<https://www.deficienteciente.com.br/conheca-diferentes-tipos-de-banheiros-adaptados.html>>. Acesso em Maio 2017.
- [32] CREDER, Hélio. **Instalações hidráulicas e sanitárias.** Livros Técnicos e Científicos Editora, 5<sup>a</sup> edição, 1995.
- [33] RECONEVENTOS. **Galpão para Eventos.** Disponível em: <<http://www.reconeeventos.com/produtos/galpao-para-eventos.php>>. Acesso em Março 2017.
- [34] TÉCHNE. **Galpões metálicos para usos gerais.** Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/171/artigo287855-1.aspx>>. Acesso em Março 2017.
- [35] MET@LICA, PORTAL. **Construções Metálicas: O uso do Aço na Construção Civil.** Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/construcoes-metalicas-o-uso-do-aco-na-construcao-civil>>. Acesso em Junho 2017.
- [36] MET@LICA, PORTAL. **Tipos de aço e perfis para estrutura metálica de edifícios.** Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/tipos-de-aco-e-perfis-para-estrutura-metalica-de-edificios>>. Acesso em Junho 2017.
- [37] MET@LICA, PORTAL. **O Aço na Construção Civil.** Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/o-aco-na-construcao-civil>>. Acesso em Junho 2017.
- [38] GELINSKI, GILMARA. **Vidros refletivos.** Disponível em: <<https://arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/vidros-refletivos-01-09-2004>>. Acesso em Junho 2017.

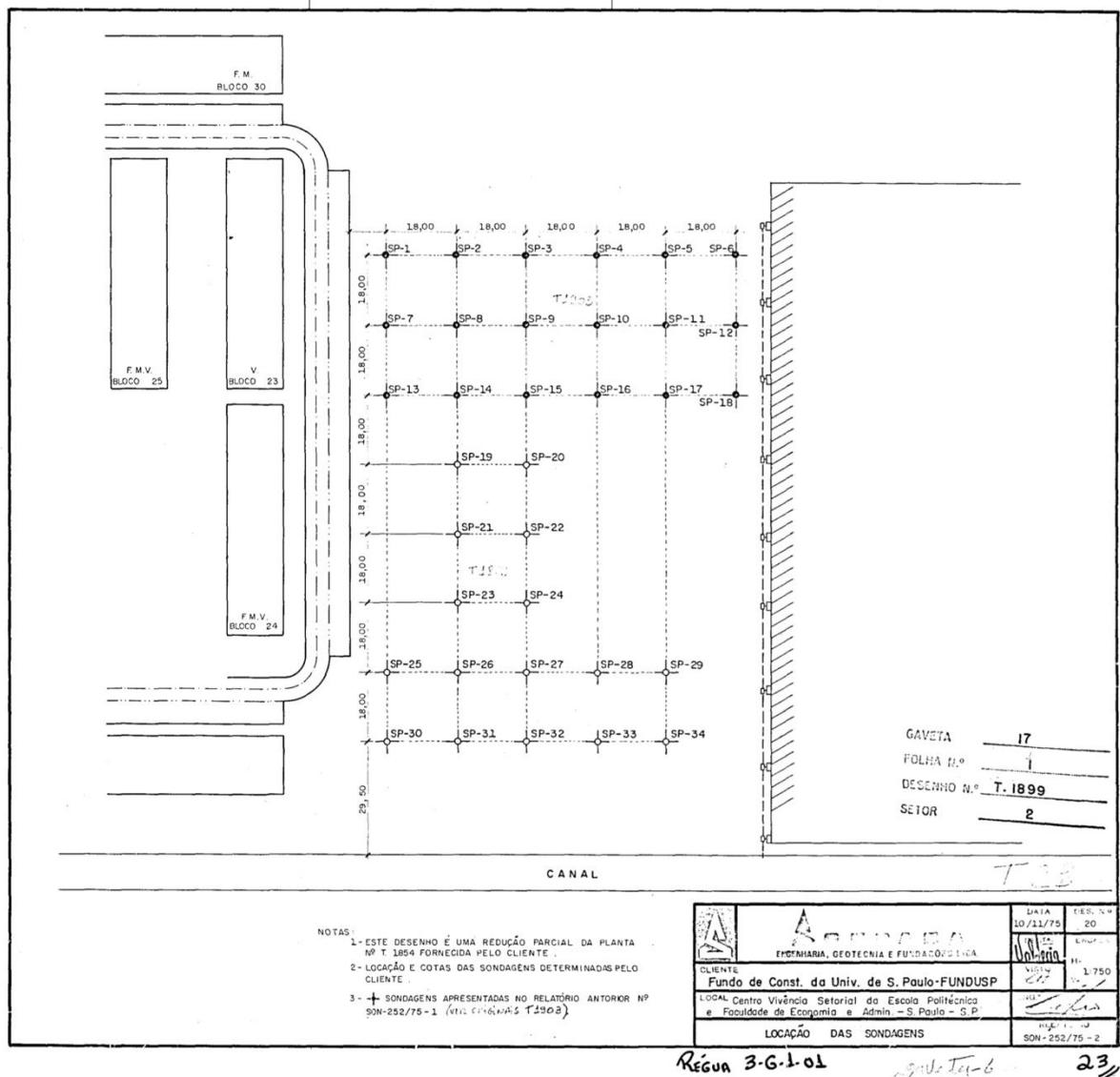
- [39] ABRAVIDRO. **Vidro low-e (baixo emissivo).** Disponível em: <<http://abrávidro.org.br/vidros/vidro-low-e-low-emissivty-glass/>>. Acesso em Junho 2017.
- [40] BIANCHI, POLLYANNA FERNANDES.;NOVELLO, MARINÊS SILVANI.;PRAVIA, ZACARIAS MARTIN CHAMBERLAIN. **Um ábaco para pré-dimensionamento de seções de coberturas em arco treliçadas de perfis formados a frio.** Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7202>>. Acesso em Maio 2017.
- [41] MEDEIROS, HELOISA. **Águas rápidas - Dimensionamento da drenagem em lajes de cobertura garante a vazão das águas pluviais a tempo, antes de empoçar.** Disponível em: <<<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/143/aguas-rapidas-285451-1.aspx>>>. Acesso em Maio 2017.
- [42] PUC - CAMPINAS. **Estruturas Metálicas II.** Disponível em: <[http://www.acn.eng.br/images/downloads\\_acad/EM%20II.pdf](http://www.acn.eng.br/images/downloads_acad/EM%20II.pdf)>. Acesso em Maio 2017.
- [43] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008.
- [44] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: [s.n.], 1980.
- [45] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro: [s.n.], 1988.

- [46] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: [s.n.], 1987.
- [47] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro: [s.n.], 2001.
- [48] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14514: Telhas de aço revestido de seção trapezoidal — Requisitos. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008.
- [49] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14513: Telhas de aço revestido de seção ondulada — Requisitos. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008.
- [50] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16373: Telhas e painéis termoacústico — Requisitos de desempenho. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.
- [51] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 - 4: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013.
- [52] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9077: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro: [s.n.], 2001.
- [53] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995 -1: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior: [s.n.], 2013.
- [54] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: [s.n.], 1998.

- [55] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7198 :  
Projeto e Execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro:  
[s.n.], 1992.
- [56] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8160 :  
Sistema prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Rio de Janeiro:  
[s.n.], 1997.
- [57] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844 :  
Instalações prediais de águas pluvias. Rio de Janeiro: [s.n.], 1989.
- [58] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10867 :  
Sistemas de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos. Rio de  
Janeiro: [s.n.], 2014.
- [59] CIBSE AM4. CHARTERED CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING  
SERVICES ENGINEERS. [s.n.], 1991.
- [60] PIGNATTA E SILVA,  
VALDIR.;FRUCHTENGARTEN,JULIO.;CAMPOLLO,EDUARDO DE  
MORAIS BARRETO. **Apostila para disciplina PEF 2402 – ESTRUTURAS  
METÁLICAS E DE MADEIRA.** São Paulo. Fevereiro 2012.

## ANEXO A - SONDAZENS

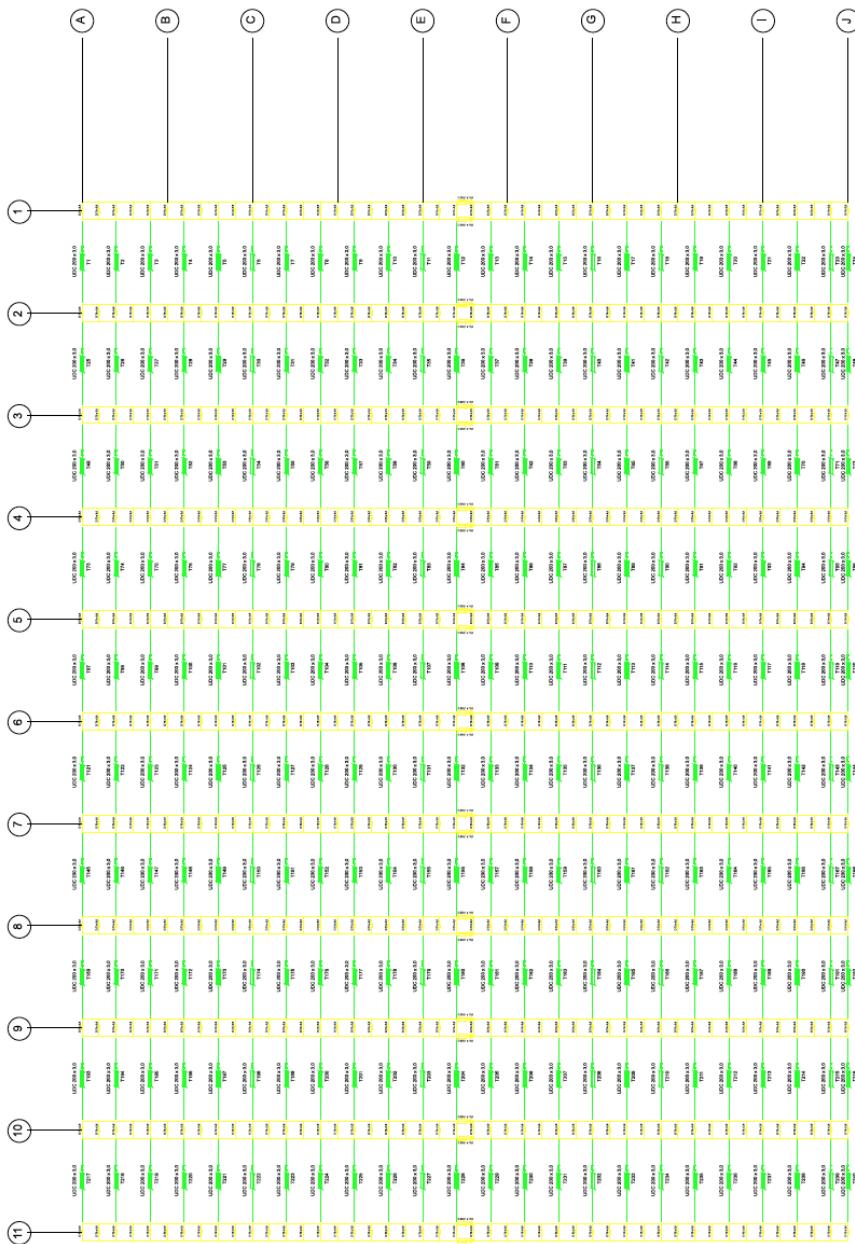
Figura A 1 - Locação das Sondagens



Fonte: (Sondasa - Engenharia Geotécnica e Fundações LTDA)

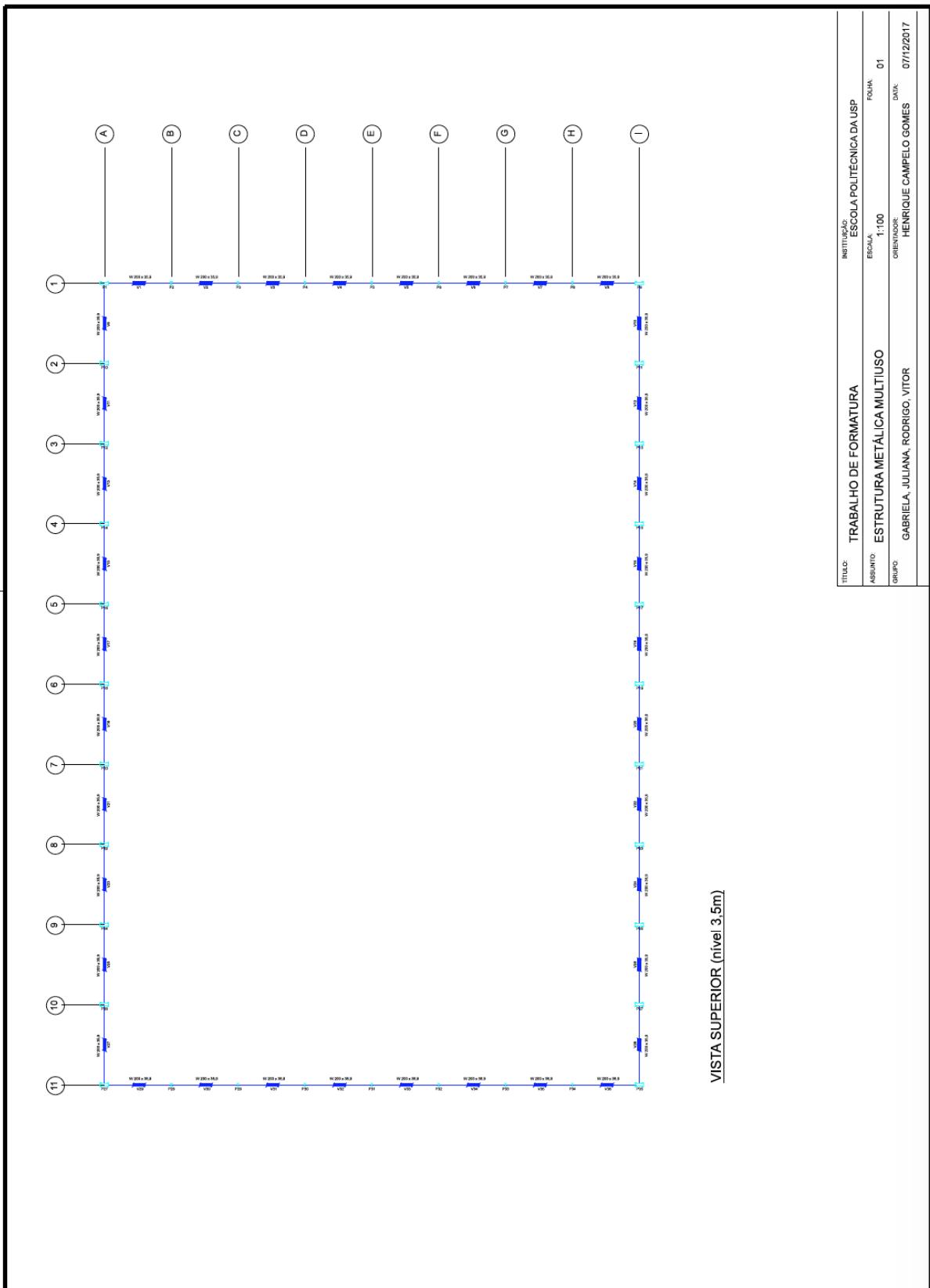


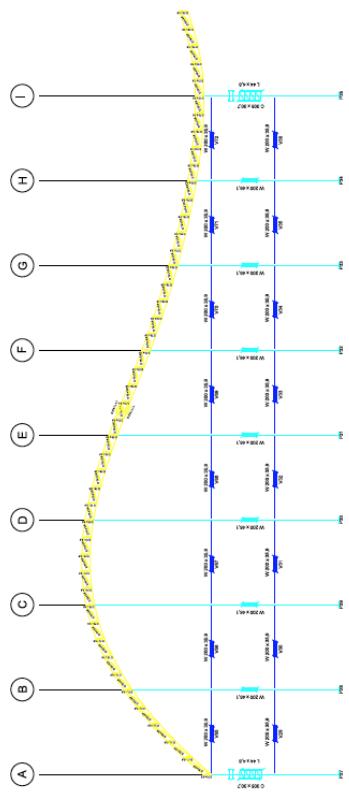
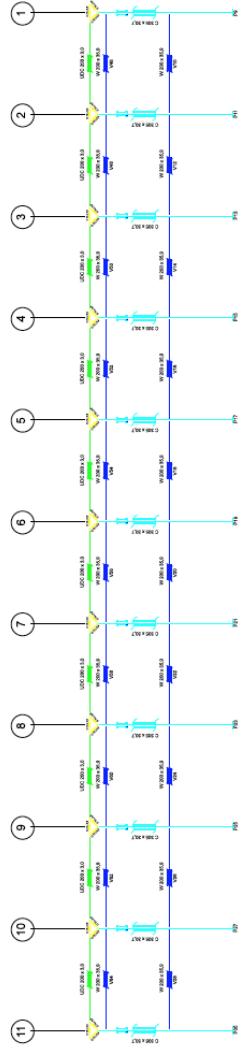
## **ANEXO B – PLANTAS**



REVISTA SUPERIOR (destaque das terças)

TÍTULO:		INSTITUIÇÃO:	
TRABALHO DE FORMATURA		ESCOLA POLITÉCNICA DA USP	
ASSUNTO:	ESTRUTURA METÁLICA MULTIUso	PERÍODO:	01
GRUPO:	GABRIELA, JULIANA, RODRIGO, VITOR	ORIENTADOR:	HENRIQUE CAMPILLO GOMES
		DIA/ANO:	07/12/2017



VISTA FRONTAL

INSTITUIÇÃO:	TRABALHO DE FORMATURA	ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
ASSUNTO:	ESTRUTURA METÁLICA MULTÍSUO	ESCALA: 1:100
GRUPO:	GABRIELA, JULIANA, RODRIGO, VITOR	POSIÇÃO: 01
ORIENTADOR:	HENRIQUE CAMPELO GOMES	DATA: 07/12/2017