

**FELIPE ANDRÉ BRIGAGÃO ÁBALOS  
GABRIEL SILVESTER VIANI  
MURILO DE BARROS TRINDADE  
SAMIR GOUVEIA**

**ESTUDO E PROJETO DA ESTAÇÃO TERMINAL FERROVIÁRIA DO  
AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS**

Projeto de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo, no âmbito do Curso de  
Engenharia Civil

**São Paulo  
2012**



**FELIPE ANDRÉ BRIGAGÃO ÁBALOS  
GABRIEL SILVESTER VIANI  
MURILO DE BARROS TRINDADE  
SAMIR GOUVEIA**

**ESTUDO E PROJETO DA ESTAÇÃO TERMINAL FERROVIÁRIA DO  
AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS**

Projeto de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo, no âmbito do Curso de  
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Júlio Fruchtengarten  
Co-orientador: Telmo Giolito Porto

**São Paulo  
2012**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Viani, Gabriel Silvester**

**Estudo e projeto da estação terminal ferroviária do Aeroporto de Guarulhos / G.S. Viani, F.A.B. Abalos, M.B. Trindade, S. Gouveia. -- São Paulo, 2012.**

**136 p.**

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

**1. Terminais ferroviários 2. Aeroportos – Guarulhos (SP)  
I. Abalos, Felipe André Brigagão II. Trindade, Murilo de Barros  
III. Gouveia, Samir IV. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica V. t.**



## **AGRADECIMENTOS**

Ao orientador Prof. Dr. Julio Fruchtengarten pela disposição em nos apoiar ao longo de todo o projeto.

Ao co-orientador Prof. Dr. Telmo Giolito Porto pela enorme atenção e simpatia desde o primeiro contato e pelas portas abertas.

A todo o pessoal da CPTM, em especial ao Sr. Eng. Silvestre Eduardo Rocha Ribeiro e ao Eng. Rodrigo Sartoratto pela boa vontade em nos receber e nos ajudar com todo o material disponibilizado.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	BREVE CENÁRIO DA INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA E METROVIÁRIA ATUAL DA CIDADE DE SÃO PAULO	1
1.2	O AEROPORTO DE GUARULHOS E UMA LIGAÇÃO DE ALTA CAPACIDADE	4
1.2.1	<i>Histórico do Aeroporto</i>	4
1.2.2	<i>Posição geográfica do aeroporto e atuais acessos</i>	5
1.2.3	<i>As soluções propostas para a ligação ferroviária São Paulo - Aeroporto</i>	6
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>10</b>
3.1	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DO TRAÇADO DO NOVO TRECHO NA CHEGADA AO AEROPORTO	11
3.2	DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO E ORIENTAÇÃO DA ESTAÇÃO NO SÍTIO AEROPORTUÁRIO	11
3.3	DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DA ESTAÇÃO E PROGRAMA DE NECESSIDADES	11
3.4	DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO	12
3.5	PROPOSTA DE UM PARTIDO ARQUITETÔNICO E DO PROJETO DE ARQUITETURA	12
3.6	FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES	12
3.6.1	<i>Iluminação</i>	12
3.6.2	<i>Conforto térmico</i>	12
3.6.3	<i>Conforto acústico</i>	13
3.6.4	<i>Determinação dos materiais e do sistema estrutural</i>	13
3.7	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA E ANÁLISE DO MÉTODO CONSTRUTIVO	13
<b>4</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>15</b>
5.1	CONCEITOS DE TERMINAL DE PASSAGEIROS	15
5.2	DIMENSIONAMENTO DE TERMINAIS	18
5.3	DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO DO TERMINAL	19
5.3.1	<i>Fluxo na hora pico</i>	19
5.3.2	<i>Condições geométricas de contorno e locação da estação</i>	20
5.4	DIRETRIZES PARA O PROJETO DE ARQUITETURA E PROGRAMA DE NECESSIDADES	23
5.5	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO	25
5.5.1	<i>Descrição dos critérios</i>	25
5.5.2	<i>Plataforma</i>	26
5.5.3	<i>Coberturas</i>	26
5.5.4	<i>Equipamentos de Circulação – Capacidades (por sentido)</i>	28
5.5.5	<i>Bilheterias</i>	28
5.5.6	<i>Sala de supervisão operacional (SSO)</i>	28
5.5.7	<i>Serviço de Atendimento ao Usuário (SAU)</i>	28
5.5.8	<i>Sanitários públicos</i>	28
5.5.9	<i>Refeitórios</i>	28
5.5.10	<i>Salas operacionais</i>	29
5.5.11	<i>Sala de segurança</i>	29
5.5.12	<i>Sala de controle de maquinistas (SCM's) – (sala de apoio)</i>	29
5.5.13	<i>Salas técnicas</i>	29
5.5.14	<i>Bancos nas plataformas</i>	30
5.5.15	<i>Lixeiras</i>	30
5.5.16	<i>Acessibilidade</i>	30
5.6	CRITÉRIOS DE CONFORTO	31

5.6.1	<i>Acústica</i> .....	31
5.6.1.1	Crítério Perceptivo e Orientação Espacial .....	32
5.6.1.2	Crítério Estético.....	33
5.6.1.3	Utilização de mensagens verbais e demais sinais sonoros via alto-falantes .....	33
5.6.2	<i>Iluminação</i> .....	33
5.6.2.1	Recomendações da NBR 5413 para estações ferroviárias e rodoviárias .....	34
5.6.2.2	Iluminação externa.....	35
5.6.3	<i>Conforto Térmico</i> .....	36
5.6.3.1	Caracterização Climática .....	37
5.6.3.2	Pluviometria .....	37
5.6.3.3	Temperatura .....	38
5.6.3.4	Circulação dos Ventos .....	38
5.6.3.5	Demais elementos do clima.....	38
5.6.3.6	Classificação da zona Bioclimática.....	38
<b>6</b>	<b>PROJETO DE ARQUITETURA.....</b>	<b>40</b>
6.1	PARTIDO E CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA .....	40
6.2	ACESSOS E CIRCULAÇÃO .....	46
6.3	FACHADAS E COBERTURA .....	47
6.4	PLANTAS, CORTES E PERSPECTIVAS FINAIS.....	49
6.5	CONCEPÇÃO ESTRUTURAL .....	60
<b>7</b>	<b>ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....</b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>ANÁLISE TÉRMICA .....</b>	<b>70</b>
8.1	CONFORTO TÉRMICO DE VERÃO .....	70
8.2	CÁLCULO DO CONFORTO TÉRMICO.....	73
<b>9</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS DA ESTAÇÃO .....</b>	<b>79</b>
9.1	COBERTURA E FECHAMENTO LATERAL .....	79
9.1.1	<i>Terças</i> .....	80
9.1.1.1	Esforços atuantes .....	80
9.1.1.2	Cálculo dos Esforços atuantes: .....	81
9.1.2	<i>Viga Secundária</i> .....	81
9.1.2.1	Esforços atuantes .....	81
9.1.2.2	Cálculo dos Esforços atuantes .....	82
9.1.3	<i>Viga Principal</i> .....	84
9.1.3.1	Viga principal articulada – Esforços atuantes .....	84
9.1.3.2	Cálculo dos Esforços atuantes .....	84
9.1.3.3	Viga principal engastada – Esforços atuantes.....	86
9.1.4	<i>Montante com ligação articulada</i> .....	89
9.1.4.1	Esforços atuantes .....	89
9.1.4.2	Cálculo dos Esforços atuantes .....	90
9.1.5	<i>Montante pertencente ao pórtico</i> .....	92
9.1.5.1	Cálculo dos Esforços atuantes .....	92
9.1.6	<i>Longarinas</i> .....	95
9.1.6.1	Cálculo dos Esforços atuantes .....	95
9.1.7	<i>Diagonais</i> .....	96
9.1.7.1	Esforços atuantes .....	96
9.1.7.2	Cálculo dos Esforços atuantes .....	96
9.1.8	<i>Mão Francesa</i> .....	97
9.1.8.1	Esforços atuantes .....	97
9.1.8.2	Cálculo dos Esforços atuantes .....	97
9.1.9	<i>Travamentos</i> .....	99

9.1.9.1 Visão geral dos travamentos .....	99
9.1.9.2 Travamento das Terças .....	99
9.1.9.3 Travamento das Vigas Secundárias .....	100
9.1.9.4 Travamento dos pórticos .....	101
<b>9.2 DIMENSIONAMENTO DOS PILARES DE CONCRETO DA VIA .....</b>	<b>101</b>
<b>9.2.1 Cálculo dos Esforços atuantes .....</b>	<b>101</b>
9.2.1.1 Peso Plataforma do trem (estrutura + trilhos + dormentes) + Pilar .....	101
9.2.1.2 Momento longitudinal gerado pela plataforma do trem (estrutura + trilhos + dormentes) .....	103
9.2.1.3 Cargas do Trem-tipo .....	104
9.2.1.4 Peso Viga transversal + Plataforma de embarque .....	107
9.2.1.5 Momento transversal gerados pelas Viga transversal + Plataforma de embarque (Eixo transversal) .....	109
9.2.1.6 Cortante devido à frenagem / aceleração do trem .....	110
9.2.1.7 Momento devido à frenagem / aceleração do trem .....	110
9.2.1.8 Cargas da cobertura + vento .....	110
9.2.1.9 Outros efeitos dinâmicos .....	112
9.2.1.10 Resumo dos esforços atuantes no pilar .....	113
9.2.1.11 Disposições Construtivas .....	117
<b>10 SEQUÊNCIA CONSTRUTIVA.....</b>	<b>118</b>
10.1 FUNDAÇÃO E TERRAPLENAGEM .....	118
10.2 PILARES .....	119
10.3 VIGAS TRANSVERSAIS E CAPITÉIS.....	121
10.4 VIGAS PRÉ-MOLDADAS DA VIA .....	121
10.5 PLATAFORMA DE EMBARQUE.....	122
10.6 ESCADAS, RAMPAS DE ACESSO E PRÉDIOS TÉCNICO-OPERACIONAIS.....	123
10.7 MÃO-FRANCESA INVERTIDA E MONTANTES METÁLICOS PRINCIPAIS.....	123
10.8 BANZOS E TRAVAMENTOS HORIZONTAIS .....	124
10.9 COBERTURA METÁLICA .....	124
10.10 TELHAS SANDUÍCHE, PELE DE VIDRO E BRISES .....	125
<b>11 QUESTÕES AMBIENTAIS E SOCIAIS ENVOLVIDAS .....</b>	<b>125</b>
<b>12 CONCLUSÃO .....</b>	<b>127</b>
<b>13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>134</b>

## RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo e uma proposta de projeto da estação terminal ferroviária do Aeroporto Internacional de Guarulhos. O trabalho é desenvolvido com ênfase nos seguintes aspectos: primeiramente no levantamento dos dados de demanda e fluxo relativos ao empreendimento; em seguida, na concepção arquitetônica e na integração do projeto com o entorno, passando-se por fim à análise dos métodos construtivos, das questões estruturais e à física das construções.

Palavras-Chave: estação; estação ferroviária; terminal ferroviário; Aeroporto de Guarulhos;

## **ABSTRACT**

This paper presents a research and a project proposal for the railway station of the Guarulhos International Airport. This paper is developed giving emphasis on the following aspects: firstly on the data collection of flow and demand for the project. Secondly, on the architectural conception and the integration of the station with its surrounding environment, finally passing through the analysis of the construction methods, structural questions and construction performance.

Keywords: station; railway station; railway terminal; Guarulhos Airport;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.1 - Demanda diária linhas da CPTM.....	03
Figura 1.1.2 - Distribuição de passageiros por linha.....	03
Figura 1.2.1.1 - Foto aérea fazenda Cumbica, 1948.....	04
Figura 1.2.1.2 - Foto aérea Aeroporto. 2010.....	04
Figura 1.2.2.1 - Localização Aeroporto de Guarulhos.....	05
Figura 1.2.2.2 - Principais acessos ao Aeroporto.....	06
Figura 1.2.3.1 - Antigo projeto do expresso aeroporto: Linhas 13 – Jade e 14 - Ônix.....	08
Figura 1.2.3.2 – Projeto atual do Trem de Guarulhos - Linhas 12 – Safira e 13 – Jade.....	09
Figura 4.1 – Elevações do Projeto Funcional Expresso Aeroporto.....	14
Figura 5.3.1.1 – Diagrama de carregamento 2014.....	20
Figura 5.3.1.2 – Diagrama de carregamento 2014 – Linha 13 – trecho Eng. Goulart - Aeroporto.....	20
Figura 5.3.2.1 – Antiga concepção da ligação dos terminais TPS1 e TPS2 ao futuro TPS3.....	21
Figura 5.3.2.2 – Localização da estação no sítio aeroportuário.....	22
Figura 5.3.2.3 – Corte Esquemático - AA.....	22
Figura 5.5.3.1 – Situação típica para dimensões mínimas.....	27
Figura 5.6.2.2.1 - Frequência de ocorrência da iluminância em plano horizontal.....	35
Figura 5.6.3.1 - Zoneamento bioclimático brasileiro .....	37
Figura 5.6.3.6.1 – Zona bioclimática 03 .....	38
Figura 5.6.3.6.2 – Carta Bioclimática 03 .....	38
Figura 6.1.1 – Implantação.....	40
Figura 6.1.2 – Implantação geral.....	41
Figura 6.1.3 – Volumetria da estação (Elevação Sul).....	42
Figura 6.1.4 – Organograma básico da estação.....	42
Figura 6.1.5 – Organização das funções do edifício segundo níveis.....	43
Figura 6.1.6 – Organização espacial e funcional da estação.....	43
Figura 6.1.7 – Nível lojas e serviços.....	44
Figura 6.1.8 – Nível térreo, saguão de acesso à plataforma de embarque e nível da plataforma de transferência.....	44

Figura 6.1.9 – Nível da plataforma de embarque.....	45
Figura 6.1.10 – Perspectiva das fachadas e nível da plataforma de embarque.....	45
Figura 6.1.11 – Nível cobertura.....	45
Figura 6.1.12 – Perspectiva da face Sul com a plataforma de transferência entre os terminais aeroportuários.....	46
Figura 6.2.1 – Esquema de circulação e acessos.....	47
Figura 6.5.1 – Decomposição do módulo estrutural da estação.....	61
Figura 6.5.2 – Elevações frontal, lateral e superior da treliça e mãos francesas invertidas.....	62
Figura 6.5.3 – Caminho dos esforços verticais.....	62
Figura 7.1 – Volume de análise para a iluminação natural.....	63
Figura 7.2 – Carta Solar da estação.....	64
Figura 7.3 – Carta Solar e Máscaras dos brises.....	65
Figura 7.4 – Projetos dos brises das faces Norte e Sul.....	66
Figura 9.1.1 – Corte longitudinal de dois módulos da cobertura.....	79
Figura 9.1.2 – Projeto unifilar da cobertura.....	80
Figura 9.1.1.2.1 – Carga sobre terças.....	81
Figura 9.1.2.2.1 – Carga sobre viga secundária.....	82
Figura 9.1.3.2.1 – Carga sobre viga principal articulada.....	84
Figura 9.1.3.3.1 – Carga sobre viga principal engastada.....	87
Figura 9.1.3.3.2 – Momentos fletores sobre viga principal engastada.....	87
Figura 9.1.4.2.1 – Carga sobre montante.....	90
Figura 9.1.4.2.2 – Momentos fletores sobre montante.....	90
Figura 9.1.5.1.1 – Carga sobre pórtico.....	93
Figura 9.1.5.1.2 – Momentos fletores sobre pórtico.....	93
Figura 9.1.5.1.3 – Normais sobre elementos do pórtico.....	93
Figura 9.1.8.2.1 – Perfis componentes do pórtico da cobertura.....	98
Figura 9.1.8.2.2 – Perfis componentes da treliça lateral.....	98
Figura 9.1.9.1.1 – Planta unifilar da cobertura sem travamentos.....	99
Figura 9.1.9.2.1 – Travamento das terças.....	100
Figura 9.1.9.3.1 – Travamentos das vigas secundárias, terças e pórticos.....	100



Figura 9.1.9.4.1 –Travamentos das pórticos.....	101
Figura 9.2.1.1.1 –Seção da viga vazada.....	102
Figura 9.2.1.2.1 –Carregamento sobre a.....	103
Figura 9.2.1.2.2 –Ilustração do apoio Gerber (Capitel –Viga).....	103
Figura 9.2.1.2.3 –Diagrama de momentos de um trecho típico.....	104
Figura 9.2.1.3.1 –Características geométricas dos trens tipo.....	105
Figura 9.2.1.3.2 –Disposição das cargas do trem tipo.....	105
Figura 9.2.1.3.3 –Envoltória de força normal do pilar.....	106
Figura 9.2.1.3.4 –Envoltória de momentos.....	107
Figura 9.2.1.4.1 –Esquema da viga transversal.....	107
Figura 9.2.1.5.1 –Carregamento uniformemente distribuído sobre a via bi-engastada.....	109
Figura 9.2.1.5.2 –Diagrama de momentos sobre a viga bi-engastada.....	109
Figura 9.2.1.7.1 –Diagrama de esforços dividido à frenação/aceleração e diagrama de momentos....	110
Figura 9.2.1.8.1 –Diagrama geral do peso da estrutura e dos esforços de vento – seção tipo.....	111
Figura 9.2.1.8.2 –Reações do pilar com peso da estrutura e vento comprimento.....	111
Figura 9.2.1.8.3 –Reações do pilar com peso da estrutura e sucção do vento.....	112
Figura 9.2.1.9.1 –Representação do choque lateral.....	113
Figura 9.2.1.10.1 –Ilustração dos eixos.....	113
Figura 9.2.1.10.2 –Cargas atuantes no pilar tipo.....	114
Figura 9.2.1.10.3 –Diagramas de esforços solicitantes no pilar tipo.....	115
Figura 9.2.1.10.4 –Momentos característicos no pilar nos planos $X^*Z$ e $Y^*Z$ .....	115
Figura 9.2.1.11.1 –Detalhamento da armação da seção.....	118
Figura 10.1.1 –Investigações geotécnicas no aeroporto de guarulhos.....	119
Figura 10.2.1 –Exemplo de insert metálico para posterior fixação de peças metálicas.....	120
Figura 11.1 – Áreas de conservação ambiental do município de Guarulhos .....	126

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1.1 - Demanda diária das linhas da CPTM .....	03
Tabela 5.1.1 - Níveis de serviço .....	17
Tabela 5.4.1 - Taxonomia aplicada à estação.....	24
Tabela 5.5.1.1 - Critérios de dimensionamento .....	25
Tabela 5.5.2.1 - Largura de plataformas ilhadas .....	26
Tabela 5.6.3.6.1 Abertura para ventilação e sombreamento para a Zona Bioclimática 03.....	39
Tabela 5.6.3.6.2 Tipos de vedações para a Zona Bioclimática 03.....	39
Tabela 5.6.3.6.3 Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 03 .....	39
Tabela 8.2.1 – Ganhos de calor por radiação solar incidente.....	76
Tabela 9.2.1.3.1 – Características dos trens-tipo (TB-170 em destaque.....	105

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Breve cenário da infraestrutura ferroviária e metroviária atual da cidade de São Paulo**

O transporte urbano metropolitano em São Paulo, que é uma das áreas de infraestrutura do Governo do Estado, é de responsabilidade da Secretaria do Estado dos Transportes Metropolitanos. A STM atua nas três regiões metropolitanas paulistas:

- São Paulo – RMSP
- Campinas – RMC
- Baixada Santista – RMBS

As três regiões metropolitanas instituídas no Estado de São Paulo formam uma macrorregião, agregam 67 municípios em uma área de 14.097 km<sup>2</sup> e abrigam uma população total estimada de 23.934.097 habitantes (Seade, 2007).

A STM conta com três empresas vinculadas:

- Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô
- Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM
- Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos – EMTU/SP

A RMSP é constituída por 39 municípios, dos quais 38 se agrupam em torno da capital do Estado e são diretamente ou indiretamente polarizados por ela. Representa 3,4% da área total do território do Estado, com uma área de 7.944 km<sup>2</sup>, concentrando 48,04% da população estadual. (STM, 2008). É caracterizada por conurbação contínua de áreas pertencentes a diversos municípios, com população estimada em 19,8 milhões de habitantes. (IBGE, 2011)

A infraestrutura ferroviária atual que interliga os municípios da região teve origem nas ferrovias construídas pela São Paulo Railway Company (ligando o porto de Santos a Jundiaí, e às estradas de ferro Paulista, Sorocabana e Central do Brasil, fazendo da região um nó de ligações entre o porto de Santos e o interior de São

Paulo e do Brasil) e em linhas de ônibus intermunicipais que percorriam antigas trilhas transformadas em estradas. Enquanto os sistemas ferroviários de transporte de carga se instalaram nas três regiões metropolitanas, o transporte de passageiros nesse modal ainda é restrito à Região Metropolitana de São Paulo.

A configuração da rede pública de transportes metro-ferroviário de passageiros na RMSP encontra-se no anexo.

Fundada em 1968, a Companhia Metropolitana de São Paulo – Metrô é uma empresa de capital misto do Estado de São Paulo responsável pelo planejamento, construção e operação do sistema de transporte metropolitano na RMSP. Inaugurado em 1974, o metrô possui hoje 74,2 quilômetros de extensão distribuídos em cinco linhas, 64 estações e transporta diariamente cerca de 4 milhões de passageiros por dia. (Metro-SP, 2011)

Vale ressaltar que a linha 4 – Amarela é de responsabilidade da empresa Via Quatro, pertencente a Companhia de Concessões Rodoviárias (CCR) por meio de um contrato de concessão de 30 anos, através de uma parceria público-privada com o governo do Estado de SP.

A CPTM é também uma sociedade de economia mista, fundada em 1992, com a incumbência de assumir os sistemas ferroviários da RMSP, então operados pela CBTU (Superintendência de Trens Urbanos de São Paulo) e pela FEPASA (Ferrovia Paulista S/A). Começou a operar as Linhas 7 - Rubi, 10 - Turquesa, 11 - Coral e 12 - Safira efetivamente em 1994, pertencentes à CBTU, e em 1996 adquiriu o controle dos serviços das linhas 8 - Diamante e 9 - Esmeralda, pertencentes à FEPASA. Hoje a CPTM é responsável por 13,2% do total de viagens realizadas por transportes coletivos na RMSP, atendendo a 22 municípios. Conta com 260,8km de extensão de linhas operacionais, 89 estações e transporta cerca de 2,3 milhões de passageiros por dia. (CPTM, 2011).

Abaixo, uma breve apresentação em números da estrutura da CPTM:

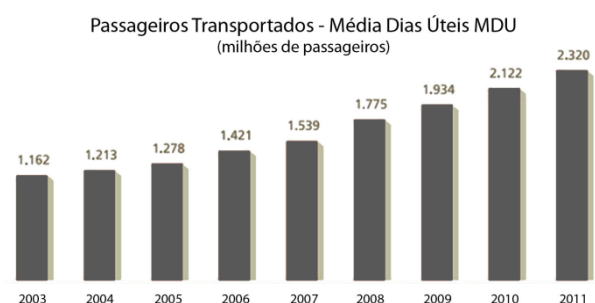


Figura 1.1.1- Demanda linhas da CPTM  
Fonte: CPTM, 2011

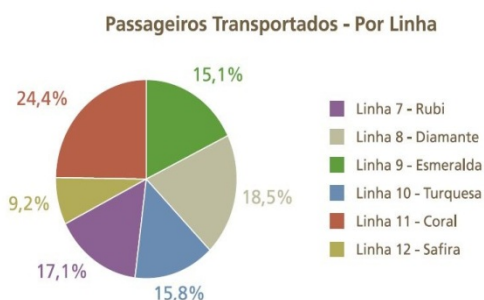


Figura 1.1.2- Distribuição de passageiros por linha  
Fonte: CPTM, 2011

Tabela 1.1.1- Demanda diária das linhas da CPTM  
Fonte: CPTM

Linhas	Estações Terminais	Extensão (km)	Nº de estações	Municípios atendidos	Passageiros/dia x 1000
7-Rubi	Luz - Jundiaí	60,5	17	São Paulo, Caieiras, Franco da Rocha, Francisco Morato, Campo Limpo Paulista, Várzea Paulista, Jundiaí	391
8-Diamante	Júlio Prestes - Itapevi	35,3	24	São Paulo, Osasco, Carapicuíba, Barueri, Jandira, Itapevi	431
9-Esmeralda	Osasco - Grajaú	31,8	18	São Paulo, Osasco	364
10-Turquesa	Luz - Rio Grande da Serra	37,2	14	São Paulo, São Caetano do Sul, Santo André, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra	366
11-Coral	Luz - Estudantes	50,8	16	São Paulo, Ferraz de Vasconcelos, Poá, Suzano, Mogi das Cruzes	559
12-Safira	Brás - Calmon Viana	38,8	13	São Paulo, Itaquaquecetuba, Poá	209

A crescente demanda pelo uso das linhas ferroviárias de passageiros e a necessidade de equacionar os problemas do transporte coletivo da metrópole fez com que fosse colocado em prática o plano de modernização e expansão da CPTM segundo a revisão do Plano Integrado de Transportes Urbanos (PITU) com projeções para 2025. São previstas diversas melhorias como, por exemplo, do controle de tráfego e do material rodante, além da expansão do sistema com a

construção de novas estações. Dentre as regiões a serem atendidas pelas novas estações, Guarulhos se destaca por abrigar o principal aeroporto do país, o qual sempre teve acesso limitado e exclusivo por rodovias. Assim, é flagrante a carência de mobilidade e de diferentes opções de transporte na metrópole, sendo de extrema importância, no caso particular do aeroporto, uma conexão com o transporte de alta capacidade.

## **1.2 O Aeroporto de Guarulhos e uma ligação de alta capacidade**

### **1.2.1 Histórico do Aeroporto**

O Aeroporto Internacional Governador André Franco Montoro, também conhecido como Aeroporto de Guarulhos (GRU), foi construído no começo de década de 1980 na mesma área onde existia, desde 1941, a Base Aérea de São Paulo. Sua idealização remonta ao início da década de 70, período de grande desenvolvimento e crescimento econômico do país. Na época, por questões técnicas de engenharia e estratégicas, ficou decidido que seria conveniente instalar o aeroporto juntamente com a base militar já existente, construída sobre a fazenda Cumbica e criada com a finalidade de defender a metrópole que era polo industrial e econômico brasileiro.

Em 1985, concluída a primeira etapa do projeto, começou a operar o aeroporto de Guarulhos.



Figura 1.2.1.1- Foto aérea fazenda Cumbica, 1948  
Fonte: RIMA, Geotec, 2008

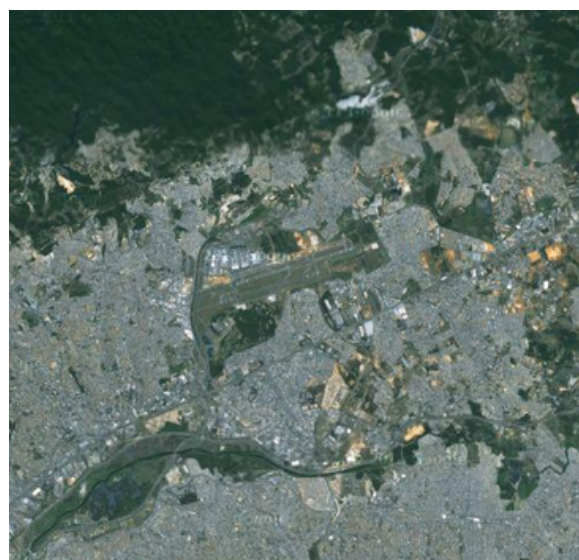


Figura 1.2.1.2- Foto aérea Aeroporto. 2010  
Fonte: Google Maps, 2012

Pode-se observar que o crescimento desordenado da cidade fez com que fossem ocupadas áreas no entorno do sítio aeroportuário o que constitui, hoje, um sério problema urbano, tanto do ponto de vista da população, quanto da administração do aeroporto. Se por um lado a população sofre de todos os transtornos causados pelo tráfego aéreo, por outro, o aeroporto carece de espaço físico para seu crescimento e adaptação às demandas cada vez mais exigentes, aspecto este que influenciou nos estudos de demanda e nas decisões para a ligação do aeroporto ao centro da cidade por meio de um transporte de alta capacidade, como será visto mais adiante.

### 1.2.2 Posição geográfica do aeroporto e atuais acessos

O Aeroporto Internacional de Guarulhos está localizado no município de Guarulhos, a 14 km do centro e a 30 km da cidade de São Paulo na direção nordeste.



Figura 1.2.2.1- Localização Aeroporto de Guarulhos  
Fonte: RIMA, Geotec, 2008

Atualmente, seu acesso se dá basicamente por meio das vias Rodovia Presidente Dutra (SP-60), que foi concluída com o traçado atual em 1951 e a Rodovia Ayrton Senna da Silva (SP-70), inaugurada em 1982, naquela época

chamada de Rodovia dos Trabalhadores. Ambas são cortadas pela Rodovia Hélio Smidt (SP-19) que leva aos terminais de carga e de passageiros 1 e 2 do aeroporto.



Figura 1.2.2.2- Principais acessos ao Aeroporto  
Fonte: Google Maps, 2012

Além do acesso ao aeroporto utilizando-se veículo particular, é possível chegar aos terminais por meio dos serviços da Airport Bus Service que possui linhas que partem com frequência relativamente alta dos terminais Barra Funda e Tietê assim como de outros pólos importantes da cidade, como Avenida Paulista e Aeroporto de Congonhas. Existe também um serviço operado pelo consórcio Pássaro Marrom, menos amplo, mas com itinerários diferenciados em relação à Airport Bus Service. Por fim, há outras empresas que fazem conexões diretas entre o litoral paulista e cidades do interior até o aeroporto.

A outra opção para quem não possui veículo próprio é o uso de taxi. Atualmente, a cooperativa de taxi Guarucoop tem concessão exclusiva da Infraero e possui mais de 600 veículos operando diariamente com destino a qualquer parte da cidade.

### 1.2.3 As soluções propostas para a ligação ferroviária São Paulo - Aeroporto



A ideia de se construir uma linha ferroviária de acesso ao aeroporto de Guarulhos existe há mais de 30 anos. Por volta dos anos 2000, a CPTM retomou e elaborou diversos estudos em relação ao transporte ferroviário na cidade de São Paulo tendo como um dos principais objetivos solucionar a falta de um serviço adequado de transporte público que ligasse o centro da cidade ao aeroporto. Segundo Ribeiro (2012)<sup>1</sup>, atual diretor de planejamento da CPTM, desde o início desses estudos haviam duas principais soluções para o problema:

- uma linha exclusivamente dedicada ao aeroporto, em via segregada, chamada linha 14 - Ônix, com um serviço e tarifa diferenciada para seus usuários e viabilizada por meio de uma concessão.
- uma linha de alta capacidade que aproveitasse parte da infraestrutura já existente e implantada com recursos do governo do Estado, que ligaria o metrô à estação Engenheiro Goulart.

Porém, por conta do limitado capital para investimento disponibilizado pelo governo paulista (havia outras prioridades de investimento na época) bem como do estado degradado das linhas existentes, a CPTM, por volta de 2004, iniciou a modernização da linha 12 - Safira (Brás – Calmon Viana) e a expansão da linha 9 - Esmeralda, até Grajaú. As condições do material rodante eram, até então, ruins e a modernização passou pela restauração dos trens existentes e a criação de novas estações resultando em maior acessibilidade.

Durante este processo e com o surgimento da USP Leste, ponderou-se uma nova proposta de traçado da linha ao aeroporto que a incluí-se. Entretanto, questões políticas e técnicas, como por exemplo, o alto grau de contaminação existente em áreas próximas a onde passaria a linha até o aeroporto, minaram essa possibilidade. Além disso, outros fatores contribuíram para a morosidade na evolução do projeto: à época, Guarulhos passava por uma profunda reestruturação do transporte público municipal. Como resultado, a falta de diálogo com o município de São Paulo impossibilitou a criação de uma solução conjunta. Por fim, o governo estadual, focado nas questões do projeto do rodanel e da ligação da cidade ao ABC, deixou o projeto ferroviário para segundo plano.

A retomada do projeto se deu com os estudos de viabilidade econômica e abertura do processo de licitação. Inicialmente imaginava-se que a demanda não justificaria uma concessão, porém provou-se o contrário após um estudo de demanda realizado por uma das empresas participantes do processo de licitação.

Tanto o projeto do expresso aeroporto (linha 14 - Ônix) quanto a criação da Linha – 13, que iria da estação Eng. Goulart até a futura estação CECAP, estavam no planejamento da CPTM. Enquanto a primeira seria executada e operada em regime de concessão, a segunda teria sua operação feita por conta dos recursos públicos (CPTM). A configuração do traçado à época é mostrada na figura abaixo.

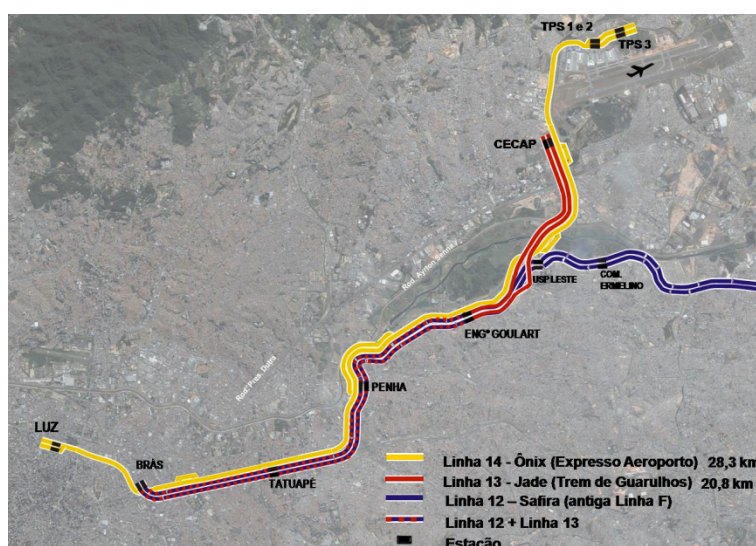


Figura 1.2.3.1- Antigo projeto do expresso Aeroporto: Linha 13 - jade e 14 - ônix  
Fonte: (CPTM, 2009)

Estabelecidos os modelos de parceria para a execução dos projetos, foram lançadas no mercado as propostas de concessão que, no entanto, não foram bem recebidas. As empresas candidatas viram uma “barreira” nas seguintes questões: em primeiro lugar, continuaram inseguras com relação à real demanda para o serviço, que segundo elas não parecia justificável; em segundo, questionava-se a capacidade de crescimento do aeroporto.

Em meio a tais controvérsias, somadas ainda aos potenciais conflitos entre planos estaduais e federais quanto à construção do trem de alta velocidade que serviria aos aeroportos de Vira Copos e Guarulhos, o expresso aeroporto foi abandonado.

A solução adotada foi, portanto, a extensão do projeto da Linha 13 de CECAP até o Aeroporto de Guarulhos com recursos exclusivamente públicos, sendo gerenciada pela CPTM.

O projeto atual é mostrado abaixo:

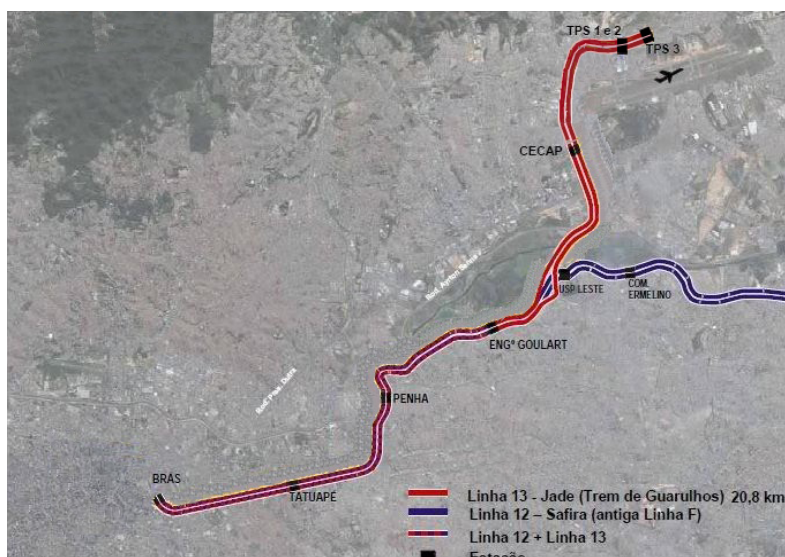


Figura 1.2.3.2 – Projeto atual do trem de Guarulhos:  
Linhas 12 – Safira e 13 - Jade

Como se pode observar o atual traçado prevê a chegada das linhas de trem ao sítio aeroportuário e a construção da futura estação que servirá os terminais 1 e 2, estação esta, que será objeto de estudo do presente trabalho.

## 2 OBJETIVOS

A partir do estudo do empreendimento da nova Linha 13 - Jade da CPTM, pretende-se com este trabalho propor um projeto para estação terminal ferroviária do Aeroporto Internacional de Guarulhos, contemplando os seguintes domínios: normativos e técnicos; construtivo e estrutural; aqueles ligados à física das construções, como o conforto térmico, acústico e luminoso; os aspectos arquitetônicos e a integração com o entorno; os critérios ambientais; finalmente, a sua exequibilidade no tempo.

Podemos particionar o estudo em diversas etapas com objetivos mais precisos para se alcançar a finalidade proposta. Estas etapas consistem em:

- Levantamento e análise do traçado do novo trecho na chegada ao aeroporto;
- Dimensionamento da estação a partir dos dados levantados e critérios técnicos adotados pela CPTM;
- Proposta de um partido arquitetônico e consolidação do projeto de arquitetura levando em conta: acessibilidade, disposição dos principais elementos e a estrutura;
- Análise do conforto térmico, acústico e luminoso;
- Determinação dos materiais e do sistema estrutural;
- Realização de um pré-dimensionamento da estrutura, bem como uma análise do método construtivo a ser utilizado.
- Detalhamento de um elemento pertinente que seja representativo do projeto;
- Criação de um cronograma físico para o empreendimento que contemple de maneira macro o tempo necessário desde a implantação do canteiro à sua total execução;
- Estimativa do custo total do empreendimento;

Espera-se chegar a um projeto preliminar que aprecie não somente a importância da estação como equipamento urbano capaz de modificar e relacionar-se com o entorno, mas também que contemple uma arquitetura proveniente de uma concepção lógica e investigadora que une desde o princípio de sua concepção os aspectos técnicos e formais.

### **3 METODOLOGIA**

Por ser particular a cada indivíduo a expressão criativa no domínio da arquitetura, desejamos abordar, o tanto quanto possível, o processo de concepção de maneira acadêmica. Para isso, será respeitado um encadeamento lógico buscando sempre associar o desenho à função. Não deixaremos, no entanto, de nos dispor de critérios subjetivos dentro das escolhas tomadas; disposição esta, que

poderia inflamar as discussões mais teóricas do campo da arquitetura e que jamais terá um consenso.

O uso de softwares para a simulação de modelos simplificados desde o início da concepção servirá de base para a investigação simultânea dos aspectos técnicos e arquitetônicos, permitindo tomar decisões baseadas nos resultados dessas simulações para intervir de maneira interativa sobre o desenho do projeto durante todo o processo.

Para que se tenha uma abordagem mais clara e didática do desenvolvimento do projeto é necessária sua divisão em etapas as quais são apresentadas a seguir:

### **3.1 Levantamento e análise do traçado do novo trecho na chegada ao aeroporto**

A partir dos dados obtidos do departamento de planejamento da CPTM, nos quais constam informações sobre o traçado e demanda do novo trecho que chega ao sítio aeroportuário será possível analisar e determinar as condições de contorno do projeto, isto é, parâmetros já definidos e que serão considerados invariáveis como, por exemplo: a cota e inclinação de chegada da ferrovia (a sua geometria), o fluxo médio e de hora pico diário de usuários.

### **3.2 Determinação da posição e orientação da estação no sítio aeroportuário**

A posição da estação será determinada através de sua compatibilidade com o traçado da linha ferroviária e o sítio do aeroporto, considerando as condições de acessibilidade, de interferência com os demais subsistemas do aeroporto (estacionamento, salão de embarque, etc.) e questões ambientais.

### **3.3 Determinação dos componentes da estação e programa de necessidades**

Serão desenvolvidos a partir de critérios regidos pela documentação técnica do METRO (Diretrizes para elaboração de projeto arquitetônico) e da CPTM (Diretrizes para projetos de arquitetura e acabamento), permitindo a determinação de todos os componentes obrigatórios em uma estação ferroviária.

### **3.4 Dimensionamento da estação**

Para o dimensionamento da estação utilizaremos também os documentos técnicos da CPTM e do Metrô, normas e dados de demanda média e de hora pico de passageiros. A partir destes, é possível dimensionar os componentes da estação (largura e comprimento da plataforma, larguras mínimas de circulação, bilheterias, etc) de maneira a atender os níveis de serviço adequados.

### **3.5 Proposta de um partido arquitetônico e do projeto de arquitetura**

O partido arquitetônico levará em conta a disposição geral dos componentes da estação, o aproveitamento da iluminação e da ventilação natural, acessibilidade e a relação do projeto com o entorno. Tal investigação servirá de base para o desenvolvimento do projeto de arquitetura.

### **3.6 Física das Construções**

#### **3.6.1 Iluminação**

Para a análise da iluminação natural e artificial pretende-se, a partir da localização da estação (latitude e longitude) e de sua posição em relação ao sol, determinar a incidência de luz natural com o auxílio dos softwares DiaLux. De posse do valor da iluminância proveniente da luz natural no interior do edifício pode-se calcular a quantidade de iluminação artificial necessária para que se atinjam os valores exigidos pela NBR5413 - Iluminação de interiores.

#### **3.6.2 Conforto térmico**

A análise térmica será feita com base na zona bioclimática em que se localiza a estação terminal. Posteriormente, utilizando-se o método C.S.T.B. (Centre Scientifique et Technique du Batiment – de Paris), será determinada a energia térmica incidente sobre as fachadas do edifício a partir do que se pode calcular a variação de temperatura entre o exterior e interior e, conseqüentemente, dimensionar a troca de ar natural e/ou forçada necessária para a manutenção do conforto térmico, lembrando que a questão de conforto térmico é cultural, podendo variar de acordo com o usuário.

### 3.6.3 Conforto acústico

Em relação ao conforto acústico serão realizadas algumas considerações por meio da **NBR10152 - Níveis de ruído para conforto acústico**, no entanto, diferentemente dos demais aspectos de conforto tratados acima, não será realizada uma análise seguindo-se um metodologia específica ou por uso de software.

### 3.6.4 Determinação dos materiais e do sistema estrutural

A análise da física da construção juntamente com o projeto de arquitetura serão determinantes para a escolha dos materiais de construção e do sistema estrutural a ser adotado para a estação.

### 3.7 Pré-dimensionamento da estrutura e análise do método construtivo

Uma vez definidos os materiais e o sistema estrutural será realizado o pré-dimensionamento da estrutura seguindo as recomendações previstas nas normas correspondentes aos tipos de elementos a serem dimensionados: **NBR6118 - Projeto de estruturas de concreto** e **NBR8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**.

## 4 JUSTIFICATIVA

A problemática do transporte urbano é muito discutida na atualidade, sobretudo em regiões metropolitanas, como a de São Paulo. O modelo de transporte rodoviário particular, sempre privilegiado em detrimento daquele voltado ao transporte público, associado ao aumento crescente de crédito para a compra do automóvel, são uma das principais causas dos intermináveis engarrafamentos enfrentados na RMSP. Consequentemente, alguns equipamentos urbanos de extrema importância na dinâmica das cidades ou mesmo na escala global, como o Aeroporto Internacional de Guarulhos, sofrem com a dificuldade de acesso, o que está diretamente ligado aos problemas de capacidade e atrasos nos voos. Por esta razão, a necessidade de integração do aeroporto aos modais de alta capacidade se faz necessária, seguindo a tendência de diversas cidades no mundo.

O problema acima enunciado incentivou o estudo do contexto atual do transporte de alta capacidade ao aeroporto e a proposta da concepção do terminal ferroviário. A partir da investigação levantada revelou-se, entretanto, que já existe um projeto funcional para o terminal (do antigo expresso Guarulhos) que deverá existir junto ao aeroporto, mas que, analisado de maneira crítica, se mostra inadequado não por seus aspectos funcionais, mas arquitetônicos.

Este trabalho se justifica, portanto, não apenas porque propõe um projeto para o terminal em um nível de detalhamento mais aprofundado do que o existente, mas também por constituir uma crítica ao mesmo, se considerado seus aspectos arquitetônicos. Na visão do grupo, a importância deste equipamento público como ponto de chegada à cidade e a função que desempenha na escala da metrópole deve ser igualmente refletida no tratamento técnico e arquitetônico atribuído a ele.

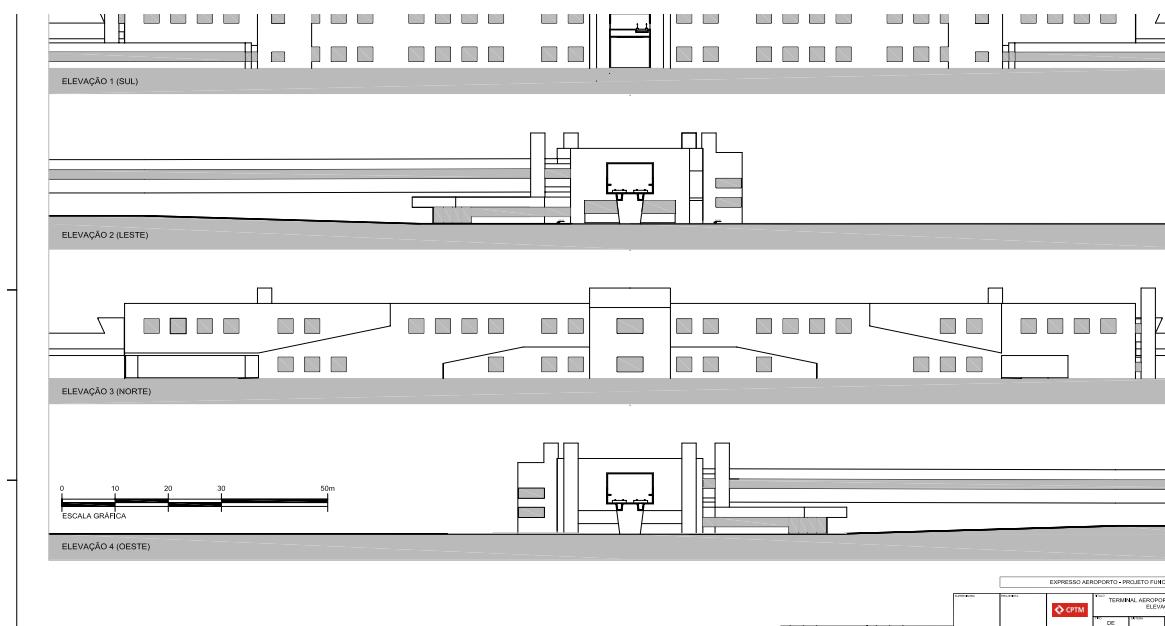


Figura 4.1: Elevações do Projeto Funcional Expresso Aeroporto  
(Fonte: CPTM. 2011)



## **5 DESENVOLVIMENTO**

### **5.1 Conceitos de Terminal de Passageiros**

Antes de abordar o processo de concepção do terminal é importante entender do que trata conceitualmente o objeto em estudo deixando claro as suas principais funções, os sistemas e elementos que o compõe e os parâmetros que determinam sua organização e operação.

Os sistemas ferroviários e metroviários são sistemas de transporte de alta capacidade, permitindo grande afluxo aonde se encontram os terminais. São, portanto, sistemas estruturadores da malha urbana capazes de alterar o uso e valor do solo ao seu entorno e, conseqüentemente, a dinâmica das cidades.

De acordo com Gualda (1995), os sistemas de transporte, tanto para passageiros, quanto para cargas, são constituídos basicamente por três subsistemas: os veículos, as vias e os terminais. No escopo deste trabalho, daremos enfoque ao conceito de terminais e seus componentes.

Dentre os diversos tipos de terminais existentes para passageiros e/ou carga, podemos citar:

- Terminais Rodoviários;
- Terminais Ferroviários;
- Terminais Portuários;
- Terminais Aeroportuários;
- Terminais Multimodais;
- Terminais Metroviários;

Os terminais têm como função essencial providenciar a transferência de passageiros e cargas de um sistema de transporte a outro, fornecendo todas as condições necessárias para a mudança intermodal (FERREIRA,1992).

Estas condições que devem propiciar os terminais são determinadas por suas características funcionais: as diversas instalações existentes que realizam atividades

específicas, mas operam de maneira conjunta. Tais instalações são referidas como componentes e podem ser divididas em dois grandes grupos: componentes operacionais e não operacionais. O primeiro realiza as atividades essenciais, permitindo o processo de embarque e desembarque dos passageiros. O segundo, as atividades acessórias ao processo de embarque e desembarque, ou atividades destinadas a demais usuários como, por exemplo, lojas, cafés, caixa eletrônico, etc. (GUAZELLI, 2011).

Os componentes operacionais podem ser divididos em:

- *Componentes de Processamento são aqueles em que o passageiro e/ou sua bagagem são processados dependendo de uma taxa de serviço específica do componente. Ex: Bilheteria e bloqueios;*
- *Componentes de Espera ou de Aglomeração são os componentes onde os passageiros aguardam pela liberação ou pelo horário correto para se dirigirem a outro componente. Ex: Plataforma de embarque;*
- *Componentes de Circulação, ou Conectores, são aqueles por onde os passageiros, funcionários e demais pessoas circulam, para se deslocar de um componente a outro. Ex: Escadas e corredores.*(FEITOSA,2000, apud GUAZELLI, 2011)

Além de cumprir com sua função essencial é necessário que o dimensionamento do terminal atenda a um determinado nível de serviço para uma determinada capacidade. Tal conceito serve de critério básico para o dimensionamento de áreas destinadas a pedestres e pode ser definido como sendo a medida do desempenho total do sistema de transporte percebida por seus usuários.

Proveniente dos princípios de Engenharia de Tráfego, o nível de serviço para pedestres é um índice de qualidade “(...) que varia em função da liberdade de movimentação e do conforto pessoal, relacionando densidade de ocupação a diferentes situações no espaço”. FERREIRA(1992).

Diversos são os fatores que impactam na percepção do usuário de um terminal ferroviário. Dentre eles podemos citar:

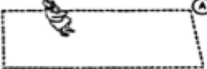
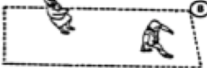
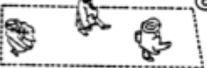



- fluidez: facilidade de circulação dos pedestres determinado pela quantidade de passageiros nos componentes dos terminais;

- acessibilidade: facilidade de chegar aos equipamentos urbanos e seus componentes;
- economia: relacionado à demora de percurso consequente da quantidade de componentes necessários para atravessar o sistema (escadas, corredores, etc)
- percepção de segurança;
- conforto e aparência do terminal;

Existem diferentes níveis de serviço, cada um desenvolvido sobre dois critérios básicos. Um envolve pessoas caminhando ou paradas em áreas de espera, o outro, prevê pessoas se deslocando através de filas ou escadas.

Abaixo são sintetizados os níveis de serviço para pedestres em duas situações distintas: em áreas de espera e caminhando, segundo boletim técnico da CET, 1978 apud FERREIRA 1992.

Tabela 5.1.1: Níveis de serviço

Pessoas paradas (m <sup>2</sup> /pes)		Pessoas caminhando (pes/m <sup>2</sup> )
<b>NS = A</b>		
$\geq 1,21$		$\leq 0,31$
<b>NS = B</b>		
0,93 - 1,21		0,31 - 0,43
<b>NS = C</b>		
0,65 - 0,93		0,43 - 0,72
<b>NS = D</b>		
0,28 - 0,65		0,72 - 1,08
<b>NS = E</b>		
0,17 - 0,28		1,08 - 2,17
<b>NS = F</b>		
$< 0,17$		$> 2,17$

## 5.2 Dimensionamento de Terminais

Consiste na determinação das dimensões, quantidades e organização espacial dos componentes operacionais. Tais atributos definirão o desempenho operacional afetando a capacidade e o nível de serviço do terminal. Sendo assim, o correto dimensionamento deve ser aquele que privilegie um equilíbrio dos elementos operacionais, evitando ociosidade, de maneira a garantir o processamento da demanda prevista e um nível de serviço adequado quando se chegar ao limite de sua capacidade. Entretanto, o alcance deste equilíbrio se faz extremamente complexo, pois são imprevisíveis os comportamentos apresentados pelos diversos componentes que interagem no processo.

Segundo Guazelli (2011), os métodos de dimensionamento podem ser feitos através de: índices empíricos, processos analíticos ou simulações. O primeiro baseia-se nos dados aferidos e na experiência acumulada, gerando correlações diretas entre a quantidade de elementos e a demanda exigida em determinado horário. Utilizada pela maior parte das companhias de transporte urbano em São Paulo por sua praticidade, tal procedimento foi aprimorado por Ferreira (1992), que propõe um ábaco destinado ao dimensionamento de áreas destinadas a pedestres considerando o nível de serviço.

O segundo se apóia sobre modelos matemáticos, como a teoria de filas, dados estatísticos e outros, de maneira a definir cenários diversos a partir dos quais se escolhe o que melhor responde a um determinado critério de qualidade. Finalmente, no método das simulações, realiza-se através de um aplicativo uma análise do terminal a partir de atributos definidos, orientando o projetista nas alterações a serem realizadas.

Não serão abordados neste trabalho os métodos de dimensionamento baseados em estudos analíticos ou simulações dado complexidade desta abordagem, exigindo um conhecimento mais aprofundado para cada caso. Portanto, ficaremos restritos ao método empírico.

De acordo com Odoni e Nefville (apud GUAZELLI 2011), quatro etapas podem ser usadas no dimensionamento de terminais:

- Determinação de níveis de tráfego para horas de pico;
- Especificação de padrões de nível de serviço;
- Análise de fluxo e determinação de requerimentos de serviço e espaço;
- Configuração do serviço e do espaço.

### **5.3 Determinação das condições de contorno do terminal**

Com base nos conceitos apresentados anteriormente e nos dados obtidos do departamento de planejamento da CPTM, fazemos, nesta seção, uma síntese dos dados que servirão de condições de contorno para o projeto da estação e o dimensionamento de seus componentes.

#### **5.3.1 Fluxo na hora pico**

Com a finalidade de se determinar o fluxo de passageiros na hora pico, utilizou-se o mapa de carregamento das linhas apresentado a seguir projetadas para o ano de 2014. Dele pode-se concluir que a demanda na hora pico para a estação é de 3179 passageiros.

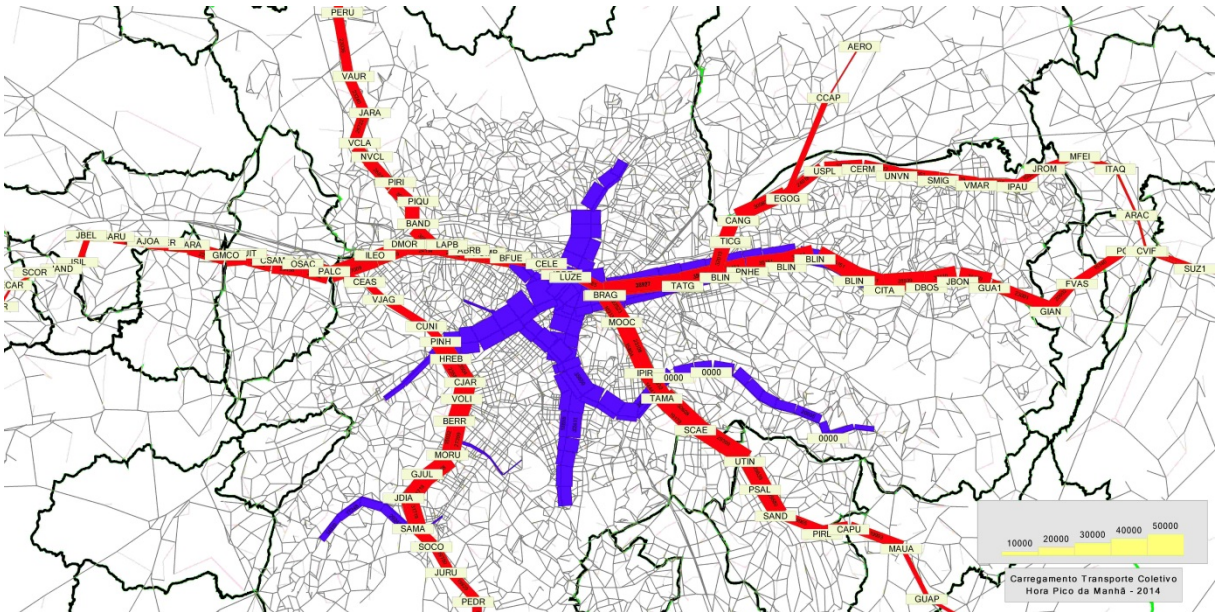
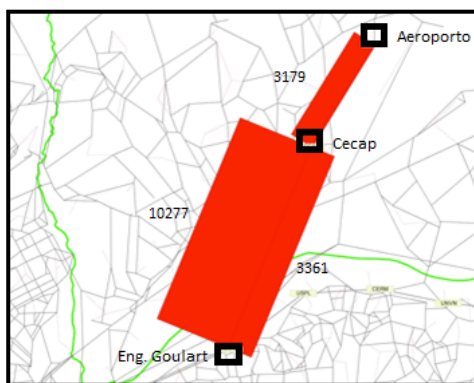


Figura 5.3.1.1: Diagrama de Carregamento – 2014 (Fonte: CPTM)



Hora pico da manhã - 2014

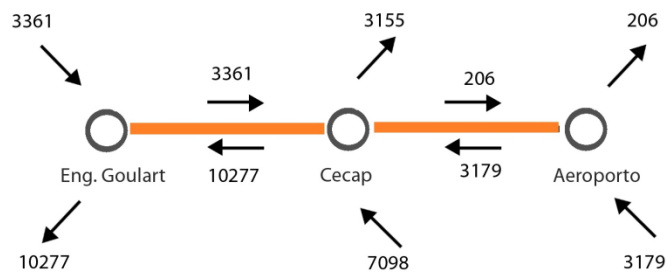


Figura 5.3.1.2: - Diagrama de carregamento 2014 – linha 13 – trecho Eng. Goulart – Aeroporto (Fonte: CPTM)

Foram utilizados neste trabalho, os dados de projeção de demanda referentes ao ano de 2014, isto porque, devido à construção do metrô no centro de guarulhos prevista no plano PITU 2025 e a consequente redistribuição no carregamento das linhas, as projeções de fluxo para 2025 são menores do que as para 2014.

### 5.3.2 Condições geométricas de contorno e locação da estação

A partir do traçado existente em projeto, pode-se determinar as cotas às quais deverá se ater o projeto de arquitetura. Neste trabalho, o traçado da via é tomado como invariável, a única exceção a isso foi feita no trecho que ligará a estação dos

TP1 e TPS2 à estação do futuro TPS3. Na figura 5.3.2.1 abaixo, pode-se ver a solução adotada pela CPTM para esta ligação, que seria feita pelo próprio trem de Guarulhos. No entendimento deste trabalho, essa solução é muito dispendiosa, já que implica na construção de uma estrutura análoga à estação em estudo o que não se justifica se levado em conta a demanda estimada. Portanto, em nossa concepção, a ferrovia deve ter seu fim na estação terminal em estudo. A ligação entre os TPS1 e TPS2 ao futuro TPS3 deverá ser feita utilizando um modal mais leve, por exemplo, um tramway, como no principal aeroporto de Paris e Frankfurt.

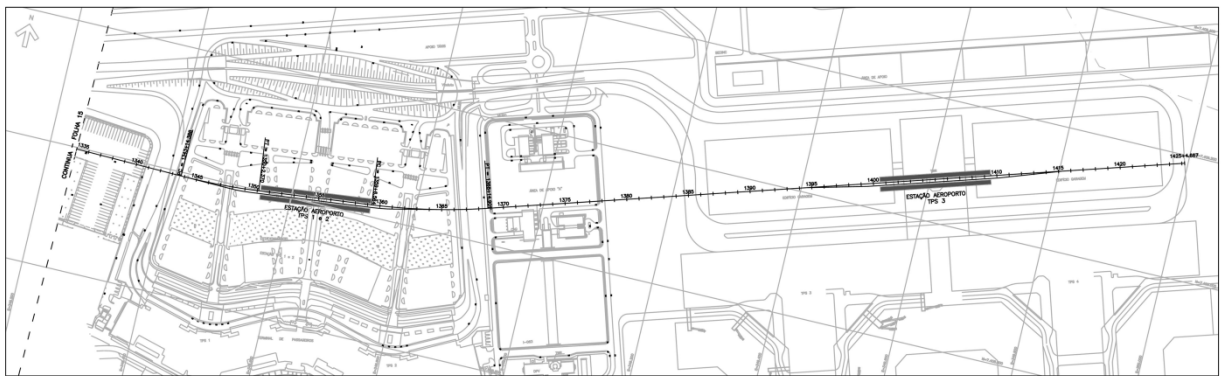


Figura 5.3.2.1: Antiga concepção da ligação dos terminais TPS1 e TPS2 ao futuro TPS3

Abaixo é mostrado o trecho de chegada da linha ao aeroporto, a partir do qual se fez um corte esquemático contemplando a estação ferroviária e o terminal de passageiros.

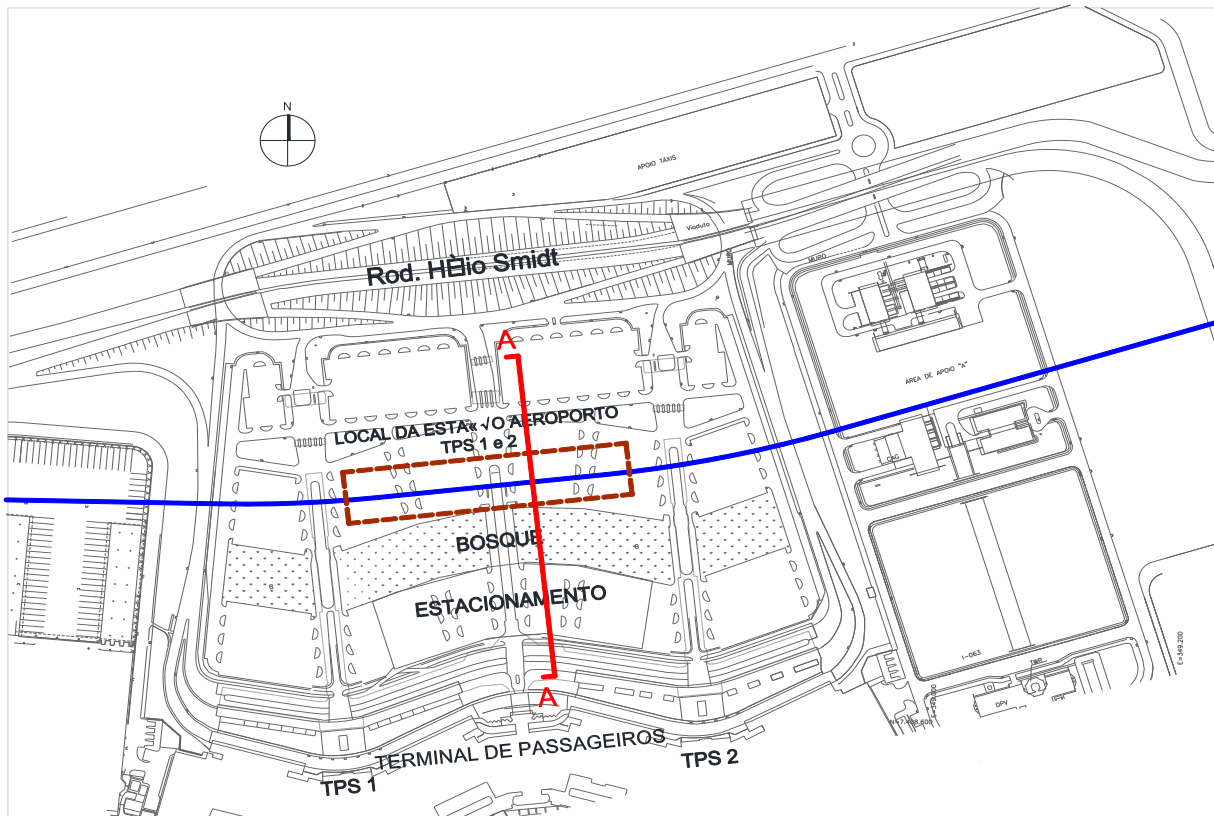


Figura 5.3.2.2: Localização da estação no sítio aeroportuário

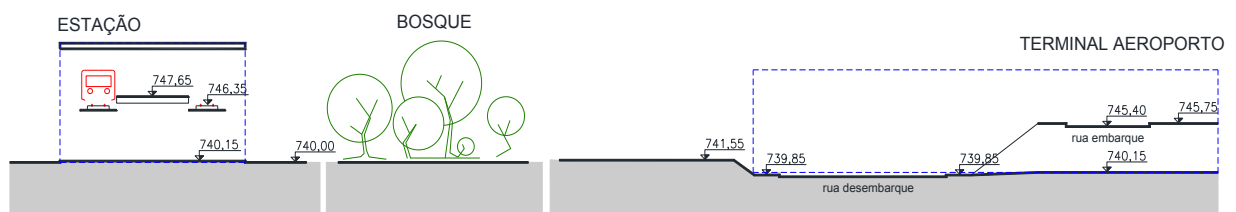


Figura 5.3.2.3 - Corte esquemático – AA (sem escala)

A plataforma de embarque se situa na cota 747,65m a 7,65 m do nível do solo (740,00m), sendo esta a cota de referência para o projeto. A cota que correspondente ao elevado é de 746,35, ou seja, a 1,305 m de diferença em relação à plataforma de embarque. Foi escolhida como solução a plataforma central pelo fato de a demanda ser relativamente baixa e por reduzir os custos de construção, em detrimento da lateral, opção adotada no projeto funcional anteriormente proposto.

Fatores como o terminal de cargas já existente, a disposição atual do estacionamento e o traçado da via férrea sugerem que a implantação que menos



interfere na infraestrutura existente seja a disposta na figura 5.3.2.2, ou seja, sobre o estacionamento entre a rodovia e a área verde (bosque), como já havia sido proposto pela CPTM.

#### **5.4 Diretrizes para o Projeto de Arquitetura e programa de necessidades**

Por se tratar de um projeto muito abrangente, utilizaremos nesse tópico a taxonomia como ferramenta de auxílio à categorização dos elementos do terminal.

Segundo Guazelli (2012), a classificação taxonômica permite definir:

- Porte e características do terminal
- Fatores que impactam no tipo de usuário
- Fatores que impactam na demanda
- Características especiais que podem impactar na operação do terminal

Tabela 5.4.1- Taxonomia aplicada à estação

<b>Taxinomia para Terminais de passageiros - Aplicação à Estação Terminal do Aeroporto de Guarulhos</b>	
<b>Quantidade de Modais</b>	1
<b>Movimentação (quantidade de passageiros)</b>	Média ( 8 a 40 mil pass/dia) <sup>1</sup>
<b>Motivo padrão de viagem <sup>2</sup></b>	Turístico / Lazer (54%)
	Trabalho / Estudo (46%)
<b>Forma de acesso / egresso</b>	Trem (Urbano e Intermunicipal)
	Avião
<b>Duração da viagem característica</b>	Média ( até 2 horas)
<b>Venda de bilhete no local</b>	Sim
<b>Controle de embarque de passageiros</b>	Bloqueio (catracas)
<b>Cobertura/Proteção</b>	Total
<b>Acessibilidade</b>	Total
<b>Existência de amenidades (lojas, lanchonetes)</b>	Sim
<b>Quantidade de linhas</b>	Uma linha
<b>Plataforma</b>	Central
<b>Mezanino Intermediário</b>	Sim
<b>Portas na estação para acesso ao trem</b>	Sim
<b>Localização na linha</b>	Estação final
<b>Nível da estação</b>	Elevada
<b>Acesso entre plataformas <sup>2</sup></b>	A definir
<b>Perfil do trem durante a passagem</b>	Médio
<b>Existência de área paga</b>	Não
<b>Relação entre acesso / egresso (pico manhã)</b>	80% a 100% <sup>3</sup>
<b>Existência de viagens com horário programado</b>	Não
<sup>1</sup> e <sup>3</sup> : Fonte CPTM	
<sup>2</sup> Baseado em pesquisa realizada por "Toledo e Associados" sob a perspectiva do trem Expresso Aeroporto	

## 5.5 Critérios de dimensionamento da estação

### 5.5.1 Descrição dos critérios

A seguir, a partir do documento AF5987-5 – Diretrizes para projetos de arquitetura e acabamento – R.0 da CPTM definem-se os elementos que deverão compor a estação terminal e suas capacidades baseando-se na projeção para ano de 2014.

Tabela 5.5.1.1- Critérios de dimensionamento (Fonte: CPTM - Diretrizes para projetos de arquitetura e acabamento.).

Critérios de dimensionamento		
Comprimento da plataforma		190 m
Largura da plataforma		vide Tabela - 5.5.2.1
Coberturas		vide Figura - 5.5.3.1
Equipamentos de circulação	Corredores	3000 pass./ hora/ m - largura min. 2 m
	Rampas	2500 pass. / hora / m. largura min. 2 m (i = 8,33%)
	Escada fixa	1200 pass / hora / m.- largura min. 1,5 m (1,80m para instalações novas).
	Escada rolante	6500 / pass / hora – largura útil min. 1,0 m - pd min. 2.30m
	Bloqueios saída	1500 pass / hora (mais 1 unidade reserva)
	Bloqueios entrada	(com “bilhete único”): 900 pass / hora (mais 1 unidade reserva)
	Torniquete de saída	1200 pass / hora
Bilheterias	15% da demanda de embarque na hora pico da estação, com vazão de 360 pass/hora/ guichê (Mínimo 2 guichês)	
Sala de supervisão operacional (SSO)	Seguir Projeto Padrão da CPTM, código NEL 20, Nº de controle: AP5850-5	
Serviço de atendimento ao usuário (SAU)	Seguir Projeto Padrão da CPTM, códigos: NEL 21 (AP5845-9, AP5853-0); NEL 22 (AP5844-0,AP5855-6); NEL 23 (AP5843-2, AP5854-8)	
Sanitários públicos	Até 30.000 usuários/dia - 2 lavat.;2;vasos;2mic. (masc.) (mín)	
Vestibário para funcionários	vide item 3.7	
Refeitórios	vide item 5.5.9	
Bancos nas plataformas	Plataformas ilhadas com largura igual ou superior a 7.30 m, prever de 6 a 7 conjuntos de bancos com 8 assentos cada	
Lixeiras	uma a cada 20 m	
*os demais componentes que deverão fazer parte do terminal e os critérios de quantidades e projeto, estão descritos em seus respectivos itens.		

### 5.5.2 Plataforma

- **Comprimento** - 190m (padrão requerido para todas as plataformas da CPTM)
- **Largura** - Calculada de acordo com a seguinte fórmula,

$$L = \frac{(\sum N_1 + \sum N_2)_{\text{pass.}}}{(C - 1)_m \times 3 \frac{\text{pass.}}{\text{m}^2}} + 1_m$$

Onde:

- L** = Largura da plataforma.
- $\sum N_1$**  = Soma dos passageiros que embarcam na plataforma, em um intervalo, na hora pico.
- $\sum N_2$**  = Soma dos carregamentos dos trens, atendidos pela plataforma, na hora pico.
- C** = Comprimento total da plataforma ( -1 = menos largura das bordas nas extremidades =0,50
- $3 \frac{\text{pass.}}{\text{m}^2}$**  = Densidade média de ocupação admitida, em situações de emergência, (considerando mobiliários, pilares e equipamentos).
- + 1<sub>m</sub>** = Borda(s) da plataforma/ impedâncias.

Dados da Estação

$\sum N_1$  = 424 pax (headway - 8 minutos conforme projeto)  
 $\sum N_2$  = 3385 pax  
 C = 190 m  
**L = 7,7 m**

Tabela 5.5.2.1- Largura de plataformas ilhadas (Fonte: CPTM - Diretrizes para projetos de arquitetura e acabamento.)

LARGURA DE PLATAFORMAS ILHADAS			
Sem Pilares ou apenas com pilares centrais		Com duas ou mais filas de Pilares	
ideal:	> 8.20 m*	ideal:	> (7.90 m + LARGURA PILARES)*
mínimo:	> 6.30 m*	mínimo:	> (6.90 m + LARGURA PILARES)*

\* considerando atendimento aos demais itens deste documento

Neste projeto, foi adotado **L = 10 m**.

### 5.5.3 Coberturas

As coberturas deverão respeitar os seguintes valores mínimos:

- À altura de 3.00 m do ponto mais externo da cobertura, deve haver recuo horizontal de 32 cm da projeção da borda da plataforma (exceto coberturas de todo o sistema, tipo Gare); Para alturas diferentes, abaixo de 4,20 m, aplicar “regra de três”.
- Altura livre de obstáculos recomendada: 2.30m.

- Distância vertical do topo do boleto ao piso da borda da plataforma: 1.305m.
- Distância horizontal do eixo da via à borda da plataforma: 1.80m.
- Borda da plataforma: 50 cm em material antiderrapante junto à faixa amarela tátil de alerta de 25 cm de largura (conforme NBR 9050 e NBR 14021).

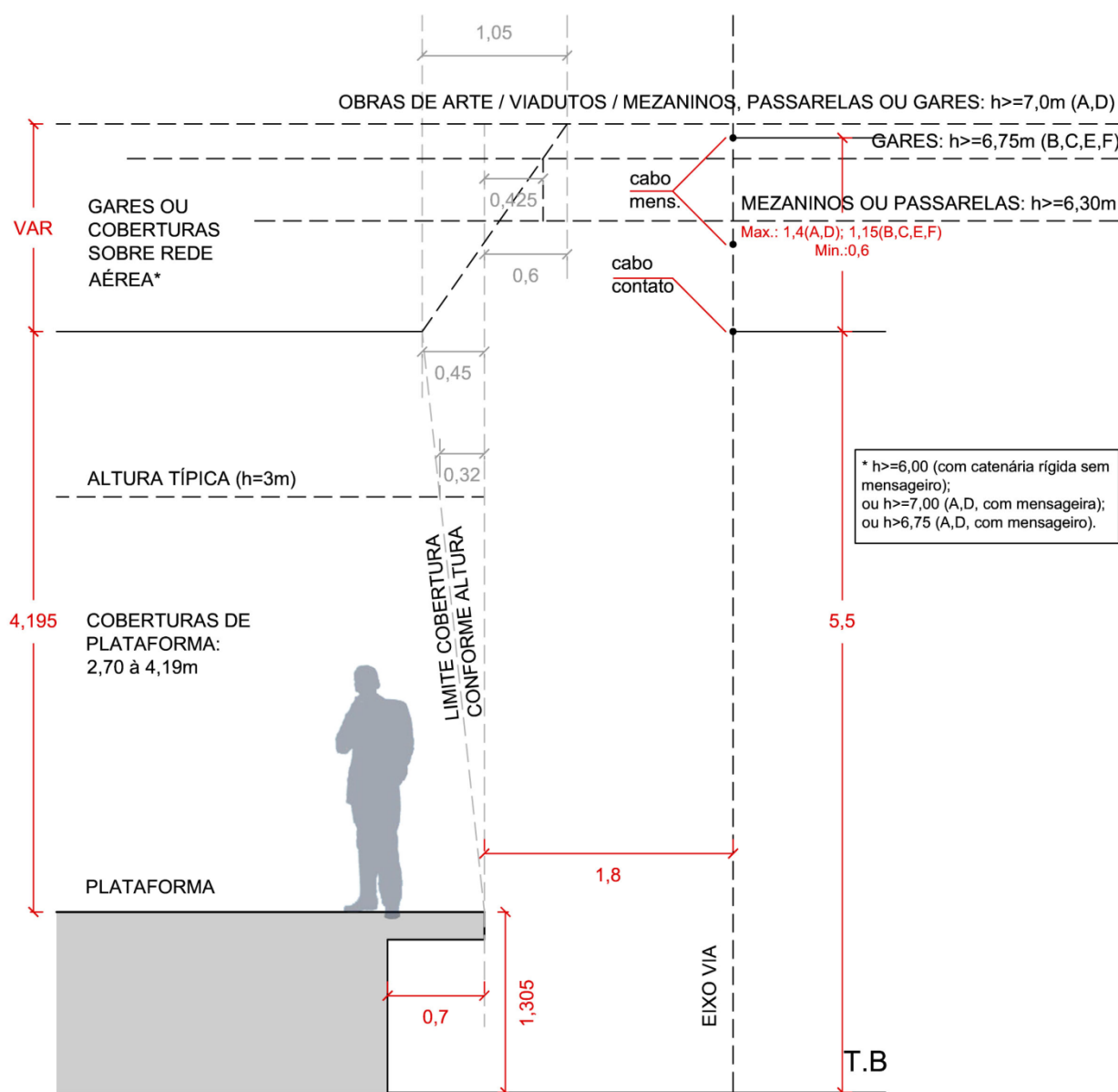


Figura 5.5.3.1: Situação típica para dimensões mínimas (Fonte: CPTM - Diretrizes para projetos de arquitetura e acabamento.)

#### **5.5.4 Equipamentos de Circulação – Capacidades (por sentido)**

- Corredores – largura = largura mínima = 2,0 m
- Rampa – largura = largura mínima = 2,0 m ; inclinação máx:  $i = 8,33\%$
- Escada fixa – largura = 2,90 m
- Escada rolante – largura = largura mínima = 1,0 m (pé dir. mín = 2,30 m)
- Bloqueios saída = 3+1 (reserva) = 4 bloqueios
- Bloqueios entrada = 4 + 1 = 5 bloqueios
- Torniquetes de saída = 3

#### **5.5.5 Bilheterias**

- nº mín. de guichês = 2 > foram adotados 3

#### **5.5.6 Sala de supervisão operacional (SSO)**

Deve ser seguido o Projeto Padrão da CPTM, código NEL 20, Nº de controle: AP5850-5, não detalhado no presente trabalho.

#### **5.5.7 Serviço de Atendimento ao Usuário (SAU)**

Deve ser seguido Projeto Padrão da CPTM, códigos: NEL 21 (AP5845-9, AP5853-0); NEL 22 (AP5844-0, AP5855-6); NEL 23 (AP5843-2, AP5854-8), não detalhados no presente trabalho.

#### **5.5.8 Sanitários públicos**

- Sanit. público feminino: 2 lavatórios; 2 vasos;
- Sanit. público masculino: 2 lavatórios; 2 vasos; 2 mictórios;

(devem ser localizados em área paga, exceto em casos especiais); avaliar necessidade de mais sanitários de acordo com a arquitetura da estação.

- Vestiários/sanitários para funcionários – idem sanitários públicos

#### **5.5.9 Refeitórios**

Dois refeitórios, 1(um) para funcionários da CPTM e 1(um) para funcionários de empresa contratada; existe a possibilidade de construção de apenas 1(um)

refeitório único, mas sua área deverá ser dobrada para abrigar todos os funcionários.

#### **5.5.10 Salas operacionais**

- Depósito = 9m<sup>2</sup>; arquivo = 6 m<sup>2</sup> (pref. Próximo à bilheteria); lixo = 8 m<sup>2</sup> (mín); sala apoio = 10 m<sup>2</sup> (junto à sala operacional); sala operacional = 25 m<sup>2</sup> (área pode ser dividida em até duas salas);
- Sala primeiros socorros = aprox. 10 m<sup>2</sup>, vide NBR9050

#### **5.5.11 Sala de segurança**

- Aprox. 5 m<sup>2</sup>, com vista para bilheterias e bloqueios; deve ser capaz de acomodar um segurança e um telefone e um computador de mesa.

#### **5.5.12 Sala de controle de maquinistas (SCM's) – (sala de apoio)**

- 62 m<sup>2</sup> (preferencialmente localizada junto às salas operacionais; caso não seja possível, local próximo à plataforma; deve ser previsto banheiro e vestiário).

#### **5.5.13 Salas técnicas**

- Pé direito = mínimo de 4,50m livre de qualquer equipamento ou elemento estrutural.
- Na sala de baterias o pé direito poderá ter, no mínimo, 2,80m.
- Deverão dispor de porão de cabos com pé direito mínimo de 2,00m, livre de qualquer elemento estrutural.
- Deverão ser estanques relativamente às águas pluviais, de lavagem e de infiltração.
- Deverão dispor de corredores de circulação com largura mínima de 2,00m.
- Deverão dispor de acesso para equipamentos através de abertura com dimensões mínimas de 3,00m x 3,00m.
- O conjunto de salas técnicas deverá possuir saída de emergência, situada na face oposta ao acesso do mesmo.
- Deverão dispor dos seguintes ambientes e respectivas áreas mínimas:

- Sala de Média Tensão.....230,00m<sup>2</sup>

- Sala de Baixa Tensão..... 230,00 m<sup>2</sup>
  - Sala de Equipamentos Eletrônicos..... 100,00 m<sup>2</sup>
  - Sala do Grupo Gerador Diesel.....40,00 m<sup>2</sup>
  - Transformadores (2 x 16,00).....32,00 m<sup>2</sup>
  - Retificador.....16,00 m<sup>2</sup>
  - Sala de Baterias.....16,00 m<sup>2</sup>
  - Sala de Equipamentos de Ventilação.....16,00 m<sup>2</sup>
- Os ambientes destinados aos transformadores e retificadores deverão ter acesso ao exterior através de aberturas e deverão ser isolados entre si e das demais salas técnicas através de paredes ou gradis com isolamento elétrico e acústico.
  - A SGD - Sala do Grupo Diesel – deverá dispor de tomada de ar externa e de chaminé com seção mínima de 1,20m<sup>2</sup> e ser dotada de isolamento acústico.
  - Deverão ser previstos um ou mais "shafts", com dimensão mínima de 6,00m x 0,80m, para prumada de cabos, interligando o porão de cabos das salas técnicas e o porão de cabos da plataforma. Deverão ser revistos, ao longo dos "shafts", passadiços para montagem e manutenção.

#### **5.5.14 Bancos nas plataformas**

- Bancos de uso preferencial = 6 bancos por plataforma, próximo ao embarque de pessoas com necessidades especiais (preferencialmente instalados aos pares), deixando 2 (dois) reservados para obesos, próximo ao elevador; se possível instalar também bancos de uso preferencial próximos ao elevador.
- Demais bancos – plataforma ilhada com largura superior a 7,30 m = 7 conjuntos de bancos com 8 assentos cada

#### **5.5.15 Lixeiras**

- 1(uma) a cada 20 m (priorizar locais de entradas e saídas sem prejudicar o acesso)

#### **5.5.16 Acessibilidade**

- Segundo NBR 9050/2004 e NBR 14021/2005



## **5.6 Critérios de conforto**

As edificações devem sempre atenuar as condições climáticas negativas e aproveitar os aspectos positivos oferecidos pela localização e pelo clima, potencializando-as de maneira a providenciar o conforto dos usuários (GARROCHO, 2005). Isto é possível se os aspectos ligados à física das construções, como a iluminação, térmica e acústica forem levados em conta desde os primeiros passos na concepção do edifício. A seguir, são apresentados para cada um desses temas os princípios e recomendações que serão utilizados no projeto.

### **5.6.1 Acústica**

O estudo de acústica para o projeto da Estação Terminal do Aeroporto de Guarulhos se baseará nos conceitos de:

- Conforto acústico
- Design Acústico

Para que se possa atingir o conforto acústico de um ambiente, é pré-requisito fundamental que os estudos de acústica sejam levados em consideração desde a fase introdutória do projeto, alinhados ao projeto arquitetônico.

Vale ressaltar que um ambiente com “bom conforto acústico” não é necessariamente silencioso, mas sim um ambiente em que os sons cumprem a função de dar suporte às atividades que ali se passam.

Para se estudar o conforto acústico parte-se dos seguintes princípios fundamentais:

- Origem do som
- Propagação do som no ar
- Transmissão em meios sólidos
- Caracterização do som e de um conjunto de sons
- Espectro sonoro
- Níveis acústicos

Tomando como conhecidos esses princípios, pode-se analisar o conforto dos usuários em relação a:

- Ruídos e barulhos provenientes do exterior da estação:
  - Turbinas dos aviões em decolagem ou aterragem
  - Carros no estacionamento que será anexo à estação
  - Ruído proveniente da Rod. Hélio Smidt
- Ruídos e barulhos provenientes do interior da estação:
  - Trens entrando e saindo da estação
  - Portas automáticas
  - Avisos sonoros (dos trens e da estação)
  - Pessoas conversando e se deslocando dentro da estação
  - Equipamentos e máquinas (elevadores, escadas rolantes, etc)
- Respeito do entorno devido ao ruído gerado pela estação:
  - Estacionamento
  - Terminal do Aeroporto

O design acústico consiste na criação de um modelo do projeto em questão que possibilite a verificação dos requisitos necessários, esses estabelecidos pelas seguintes normas:

- **NBR 10151 – Avaliação do Ruído em áreas habitadas**
- **NBR 10152 – Níveis de ruído para Conforto Acústico**

Segundo Hellström (2005), tal modelagem é guiada por alguns princípios básicos no caso de estações de trem. São eles:

#### **5.6.1.1 Critério Perceptivo e Orientação Espacial**

Analisa-se como os usuários percebem o som em ambientes de diferentes dimensões, uma vez que a percepção sonora é um fator dimensional para a orientação espacial. Deve-se então definir claramente qual percepção sonora é adequada para cada ambiente (saguões de entrada, passagens e plataformas).

### 5.6.1.2 Critério Estético

Refere-se à utilização de artifícios como música ou demais tipos de instalações sonoras que auxiliam a quebrar a monotonia no caso de grandes corredores (que eventualmente causam sensação de insegurança aos usuários), “acalmar ou relaxar” os usuários certos ambientes como cafés e salas de espera, etc.

### 5.6.1.3 Utilização de mensagens verbais e demais sinais sonoros via alto-falantes

É de fundamental importância a correta escolha dos avisos sonoros para a transmissão de informações, comunicações e orientações. Os sistemas de alto-falantes devem ser dimensionados e configurados de maneira adequada. Deve-se atentar principalmente para:

- Informação – audibilidade: Sons devidamente articulados e distintos
- Orientação – locação
- Sincronização
- “Estética”: sons devem ser de alta qualidade

### 5.6.2 Iluminação

A iluminação natural e o conforto térmico estão intimamente ligados, pois a entrada de luz está associada à entrada de energia solar. Portanto, devem ser considerados em conjunto e balanceados para que haja um bom desempenho energético do edifício, adequando-se às necessidades do usuário e resultando em ambientes mais confortáveis.

Para se obter o desempenho luminoso adequado na estação, a entrada de luz natural deve ser projetada em conjunto com o sistema de iluminação artificial de forma que, havendo luz natural o suficiente em um determinado horário, a luz artificial pode ser desligada ou atenuada garantindo exatamente os níveis de iluminância exigidos pelo código de obras da cidade de Guarulhos e pelas recomendações da **NBR 5413 – Iluminação de interiores**.

Para o cálculo da iluminação optou-se utilizar a simulação computacional como metodologia de estudo. Sendo assim, pode-se prever o comportamento da entrada de luz difusa e direta provenientes das aberturas em diferentes períodos do ano, o que permite calcular as linhas isolux (de igual iluminância) e adequar a dimensão e localização das aberturas em função das necessidades de cada ambiente otimizando o balanço entre o uso da luz natural e artificial.

#### **5.6.2.1 Recomendações da NBR 5413 para estações ferroviárias e rodoviárias**

Para cada atividade a norma de iluminação de interiores recomenda três iluminâncias diferentes sendo que a seleção do valor a ser adotado deve ser da seguinte forma:

- a) Das três iluminâncias, considerar o valor do meio, devendo este ser utilizado em todos os casos.
- b) O valor mais alto, das três iluminâncias, deve ser utilizado quando:
- c) a tarefa se apresenta com refletâncias e contrastes bastante baixos;
- d) erros são de difícil correção;
- e) o trabalho visual é crítico;
- f) alta produtividade ou precisão são de grande importância;
- g) a capacidade visual do observador está abaixo da média.
- h) O valor mais baixo, das três iluminâncias, pode ser usado quando:
- i) a refletâncias ou contrastes são relativamente altos;
- j) a velocidade e/ou precisão não são importantes;
- k) a tarefa é executada ocasionalmente.

Valores apresentados em lux:

- sala de espera .....	100 - 150 - 200
- escritórios e guichês .....	300 - 500 - 750
- sala de refeições .....	100 - 150 - 200
- depósitos de bagagens .....	150 - 200 - 300
- plataformas .....	100 - 150 - 200
- lavatórios .....	100 - 150 - 200

Os valores recomendados são determinados através do estudo das classes de atividades realizadas no ambiente, ou seja, para todas as funcionalidades do local existe uma quantidade mínima de lux para alcançar o mínimo de conforto visual. Considerando os critérios citados acima, serão utilizados os valores situados na coluna do meio.

### 5.6.2.2 Iluminação externa

Segundo Souza (2003), a iluminância proveniente da luz natural varia conforme as condições atmosféricas ao longo tempo. A quantidade e o tipo de nuvens determinam disponibilidade de luz natural externa, assim como a névoa e poeira suspensa na atmosfera. Outro fator importante é a posição do sol no céu, que é função da latitude do local.

Segundo dados do INMET a região do aeroporto esta localizada numa altitude de 750m, latitude 23:27:46 S e tem uma insolação mínima de aproximadamente 150h, no mês de dezembro, e máxima de 187h em julho. A nebulosidade máxima é de 0,80 décimos durante a primavera e verão, mínima de 0,60 décimos nos meses junho, julho e agosto. Levando esses dados em conta e baseando-se no gráfico abaixo, gerado pelo software Climaticus 4.2, desenvolvido pelo laboratório LABAUT da FAU-USP, pode-se observar que a iluminância sobre o plano horizontal proveniente da luz natural é de 15000 lux em pelo menos 70% do tempo. Esse dado será utilizado como parâmetro para o calculo da iluminação dos ambientes da estação.

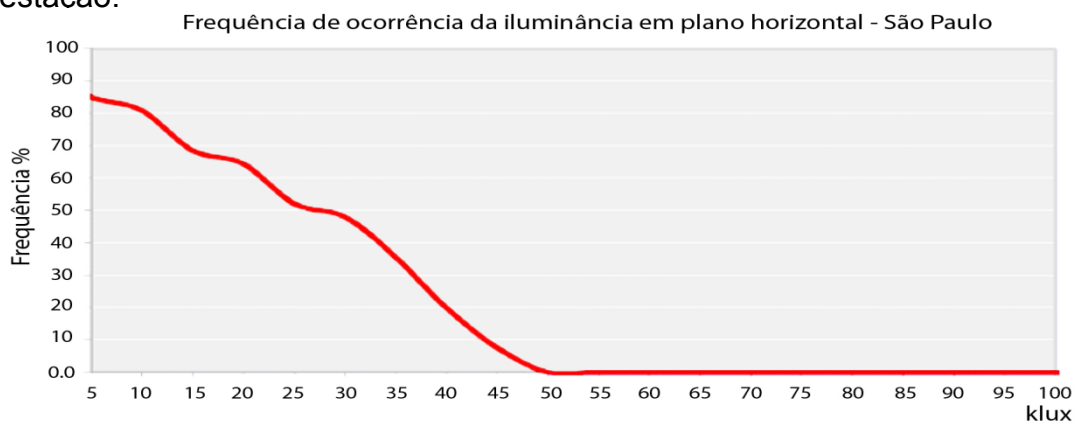


Figura 5.6.2.2.1 – Frequência de ocorrência da iluminância em plano horizontal

### 5.6.3 Conforto Térmico

A variação da temperatura na superfície da Terra resulta basicamente dos fluxos das grandes massas de ar e do ângulo e distância dos raios solares na chegada à terra. Através dos dados climáticos obtidos a partir de registros do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pode-se conhecer a radiação e a temperatura do ar para um determinado local ao longo do ano. Vale ressaltar que, para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico, tanto no meio externo quanto no meio interno, pode ser diferente em função de variáveis como o vento e a umidade do local.

Para o estudo do conforto térmico adotaremos as recomendações da NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005) que determina um Zoneamento Bioclimático Brasileiro abrangendo um conjunto de estratégias construtivas. Este zoneamento divide o território brasileiro em oito zonas climáticas diferentes (figura XX). A partir dessa divisão, a norma formula um conjunto de diretrizes técnico-construtivas que melhoram o desempenho térmico das edificações para cada uma destas zonas, através de uma adequação climática.

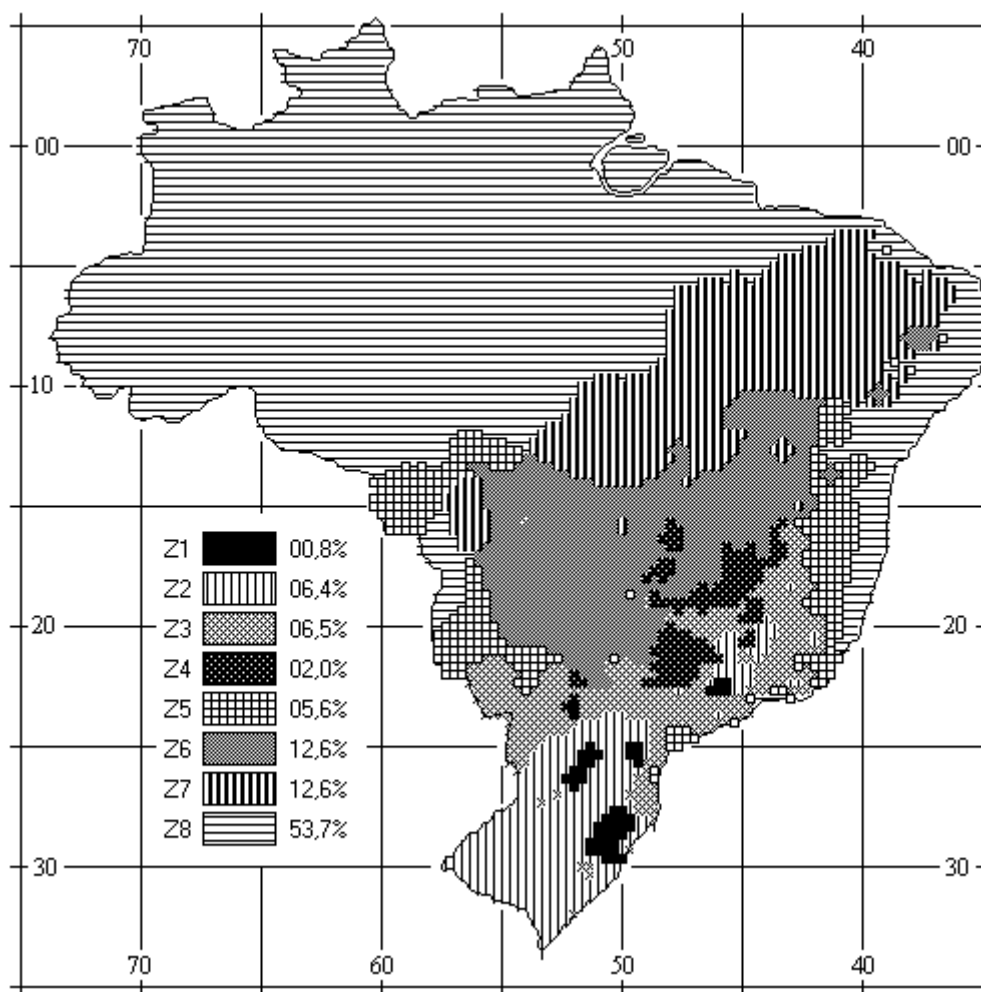


Figura 5.6.3.1. - Zoneamento bioclimático brasileiro.  
Fonte: NBR15220 (ABNT, 2003)

### 5.6.3.1 Caracterização Climática

O clima é determinado principalmente por dois fatores: posição geográfica e continentalidade. Numa abordagem global podemos identificar que o sitio aeroportuário se situa a sotavento da atuação da Massa Tropical Atlântico (quente e úmida) devido a barreira geológica (Serra do mar) com atuação da Massa Tropical Continental durante o verão.

### 5.6.3.2 Pluviometria

A precipitação media anual correspondente à região do sitio aeroportuário é igual a 1680 mm (RIMA), tendo no período úmido uma incidência de dias chuvosos bastante elevado se estendendo de dezembro a março.

### 5.6.3.3 Temperatura

Segundo os dados de monitoramento registrados nas estações climatológicas do Aeroporto de Guarulhos a temperatura média anual varia entre 19,3°C e 19,9°C. Tendo um comportamento sazonal bem definido, com valores máximos nos meses de novembro a março e mínimos no mês de julho.

### 5.6.3.4 Circulação dos Ventos

A velocidade média dos ventos oscila entre 7,3 km/h e 12,5 km/h sendo sua principal direção o Leste. Ventos na direção Sudeste e Sul também são comuns, mas com menor frequência.

### 5.6.3.5 Demais elementos do clima

De acordo com informações da Estação do Aeroporto, a umidade relativa média é de 80% e a pressão média é de 930,9 hPa. A Estação de Guarulhos aponta para uma umidade relativa média de 76%, insolação de 133,9 horas/mês e 91,2 mm/mês de evaporação.

### 5.6.3.6 Classificação da zona Bioclimática

A partir destes dados podemos classificar a região do sitio aeroportuário como pertencente à Zona Bioclimática 03, conforme figura abaixo:

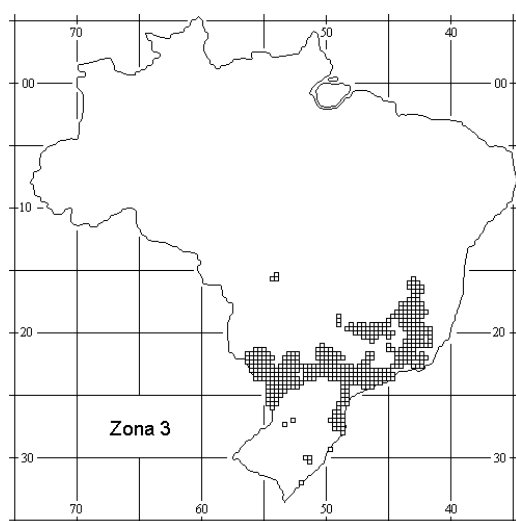


Figura 5.6.3.6.1- Zona bioclimática 3  
(Fonte:NBR15220, 2003)

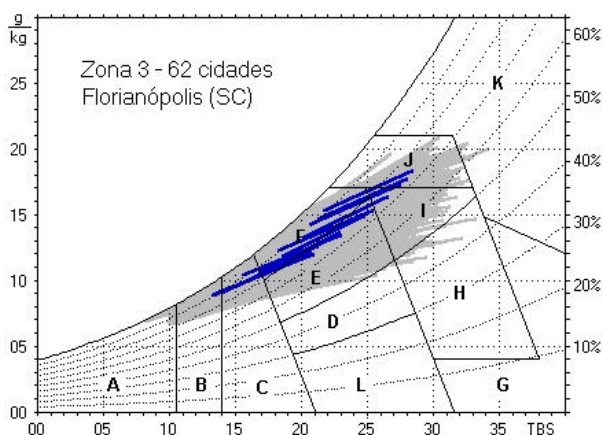


Figura 5.6.3.6.2- Carta bioclimática  
(Fonte:NBR15220, 2003)



Tal classificação determina parâmetros arquitetônicos descritos nas tabelas abaixo que serão adotados no desenho da estação.

Tabela 5.6.3.6.1- Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3

Abertura para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

Tabela 5.6.3.6.2-Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3

<b>Vedações externas</b>
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve ensolarada

Tabela 5.6.3.6.3.- Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3

<b>Estação</b>	<b>Estratégias de condicionamento térmico passivo para Zona Bioclimática 3</b>
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)

## 6 PROJETO DE ARQUITETURA

### 6.1 Partido e concepção arquitetônica

Conforme descrito no item 1.1.8, o posicionamento do terminal ferroviário respeitou o projeto previsto pela CPTM. Localizado em meio ao estacionamento, o edifício conecta os dois braços de acesso aos terminais aeroportuários permitindo a livre circulação de passageiros sob seu abrigo. A implantação é apresentada abaixo:

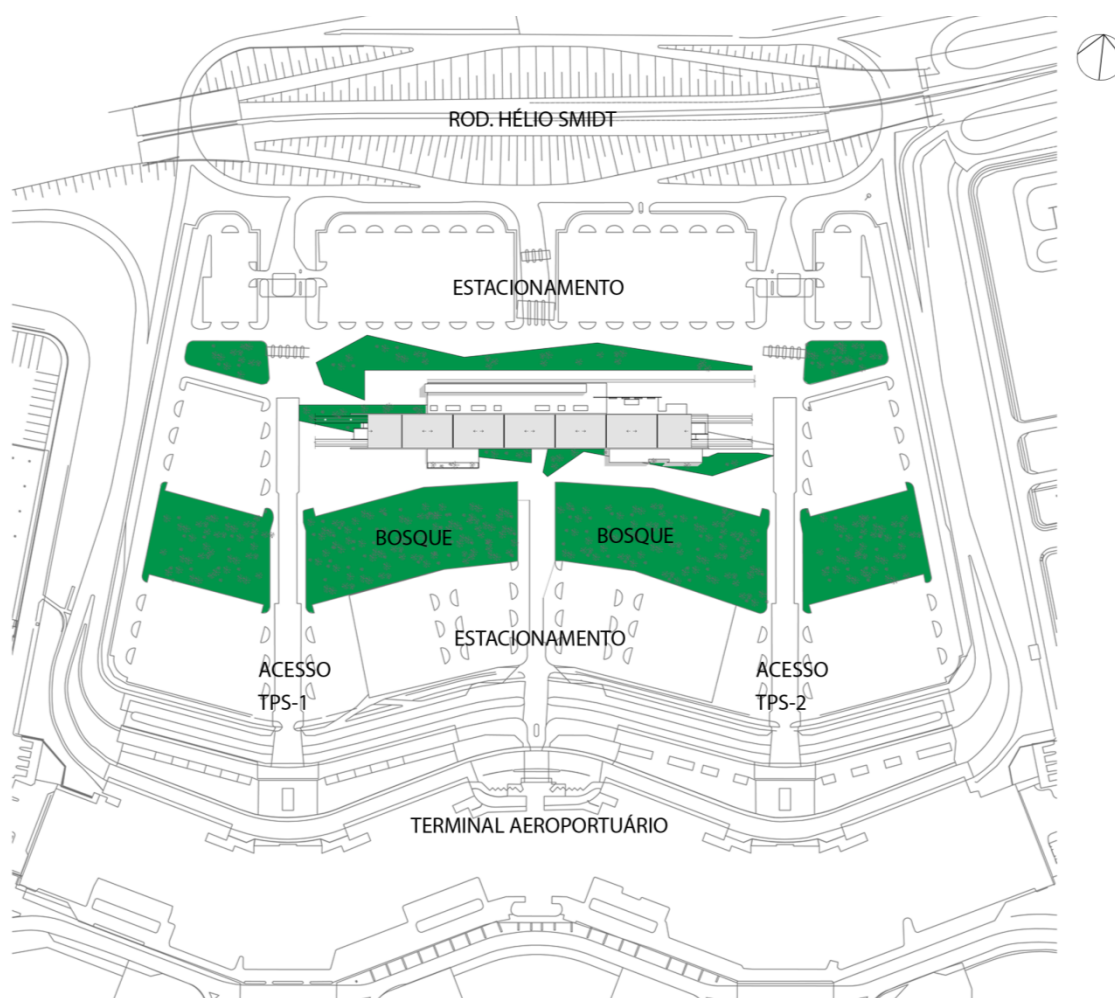


Figura 6.1.1: Implantação do projeto no sítio aeroportuário (fonte: CPTM 2009)

A proposta de conexão da estação com o futuro Terminal 3 de passageiros é contemplada na figura à seguir. A linha vermelha indica esta ligação através de um sistema mais leve de transporte, seja um serviço de ônibus, seja através de um veículo leve sobre trilhos, provido pela existência de uma plataforma de

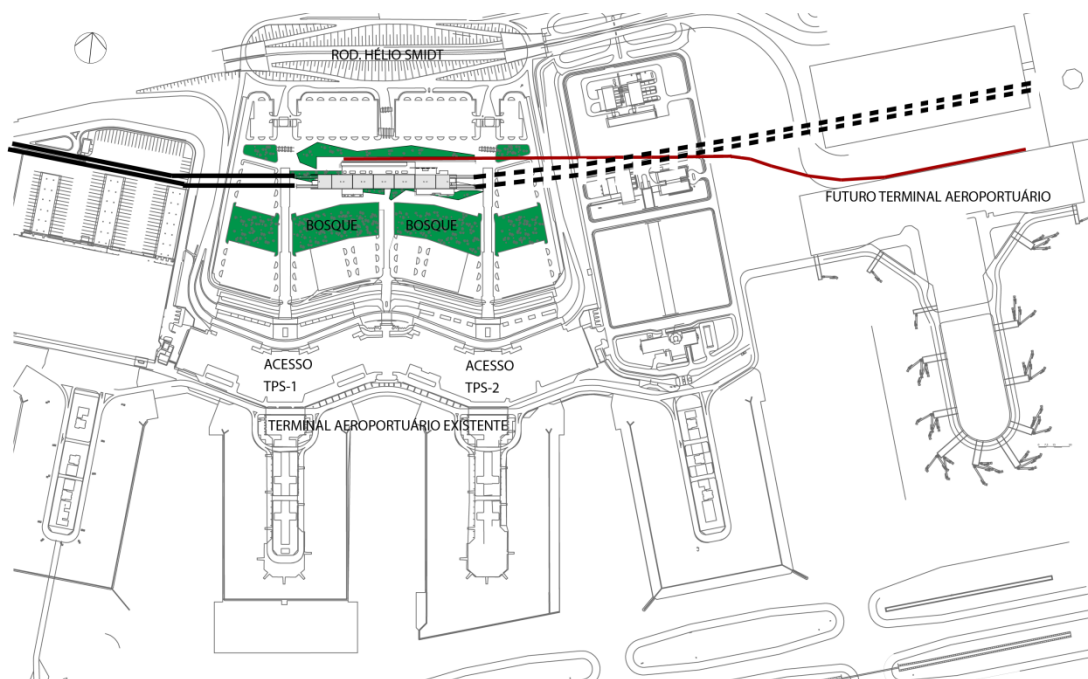


Figura 6.1.2: Implantação geral contempeando o futuro TPS-3. Em vermelho, a conexão através de um VLT entre os terminais aeroportuários; em preto cheio, o traçado ferroviário (respeitando o proposto pela CPTM) e em preto tracejado, a continuação do traçado para atender outras regiões (indefinido).

O projeto arquitetônico foi concebido tirando partido do aspecto formal mais característico de uma estação e que reflete o modo como ela funciona: seu comprimento alongado. De aproximadamente 208m x 20.80m a estação é composta volumetricamente pela adição de dois prismas ao longo dos quais se distribui o programa. Sendo um transparente, em estrutura metálica e pele de vidro e outro opaco, em concreto aparente, suas proporções estão ligadas à modulação da estrutura que os compõe, a qual procura acentuar o aspecto horizontal em detrimento do vertical. A intenção de tratá-los diferentemente quanto à textura e translucidez foi de deixar evidente as atividades às quais estão associados. Enquanto o volume opaco está ligado aos aspectos operacionais e técnicos

necessários para o funcionamento de todo o sistema, o transparente, por sua vez, está associado à função de mudança de modal, exibindo o fluxo e permitindo a apreciação do espaço pelo passageiro, através de um constante contato visual com o exterior. As figuras abaixo permitem uma primeira aproximação à volumetria do edifício e sua organização:

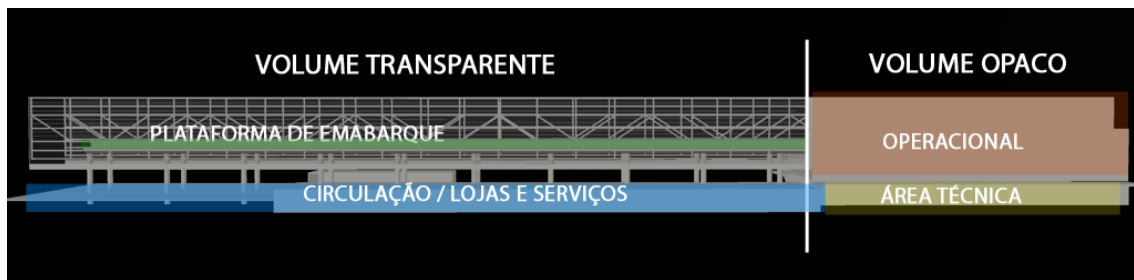


Figura 6.1.3: Volumetria da estação (elevação Sul)

O fato de as vias chegarem elevadas em relação ao nível do solo liberou o térreo permitindo explorar sua topografia de maneira a criar um saguão com diferentes níveis, sobre os quais se organizou a circulação, as áreas operacionais e públicas. O organograma abaixo apresenta de maneira muito simplificada o modo como é estruturada uma estação.



Figura 6.1.4: Organograma básico da estação

Juntamente com as vias elevadas, optou-se por suspender o volume transparente apoiando-o sobre os pilares que suportam a ferrovia, conferindo maior leveza ao edifício e um limite de separação tênue entre o espaço interior e exterior. Com base no organograma apresentado acima e no programa discriminado no item 6.1 o projeto foi organizado em seis níveis diferentes:

PLATAFORMA	747.65	• Embarque
MEZANINO DE TRANSFERÊNCIA E CIRCULAÇÃO	741.50	• Circulação e transferência de modais
ACESSO À PLATAFORMA	740.90	• Áreas operacionais: guichês, administração e etc.
TÉRREO	740.00	• Acesso à estação
REBAIXO	737.90	• Lojas, serviços, restaurantes áreas de descanso
SUBSOLO	735.10	• Área técnica

Figura 6.1.5: Organização das funções do edifício segundo níveis

A configuração da organização espacial e funcional é apresentada no esquema abaixo:

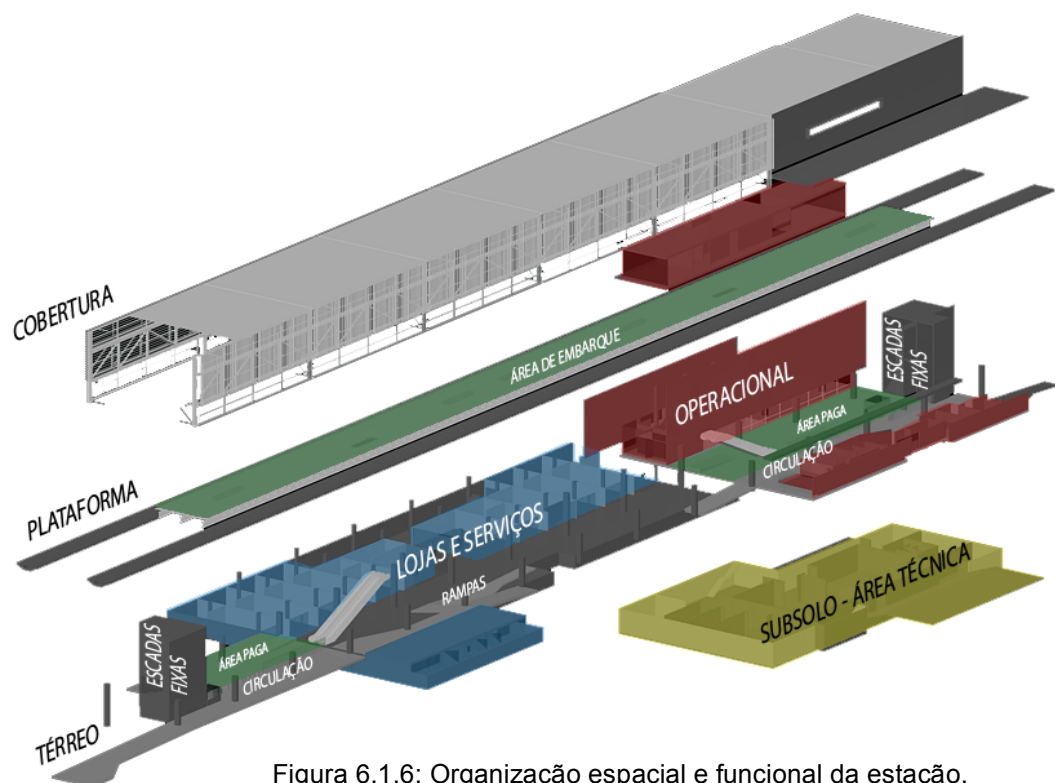


Figura 6.1.6: Organização espacial e funcional da estação.

As áreas operacionais, em vermelho, estão conectadas entre si verticalmente por meio de escadas e elevadores e, horizontalmente, através do subsolo. Em azul, as lojas e serviços, que se distribuem longitudinalmente sobre a área não paga, permitindo o livre acesso aos usuários de passagem ou que fazem a transferência de modal em direção ao TPS-3. Em verde, a área paga, constituída pelo saguão de acesso à plataforma e a plataforma de embarque propriamente dita.

Para uma melhor compreensão da distribuição espacial, é apresentada a seguir uma sequência dos diversos níveis em perspectiva:

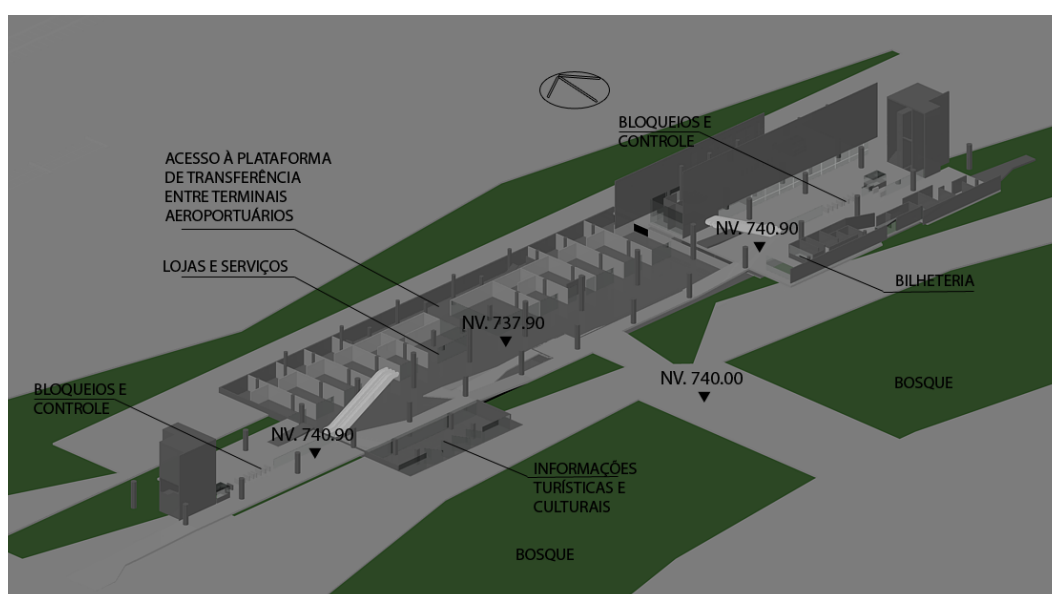


Figura 6.1.7: Nível lojas e serviços

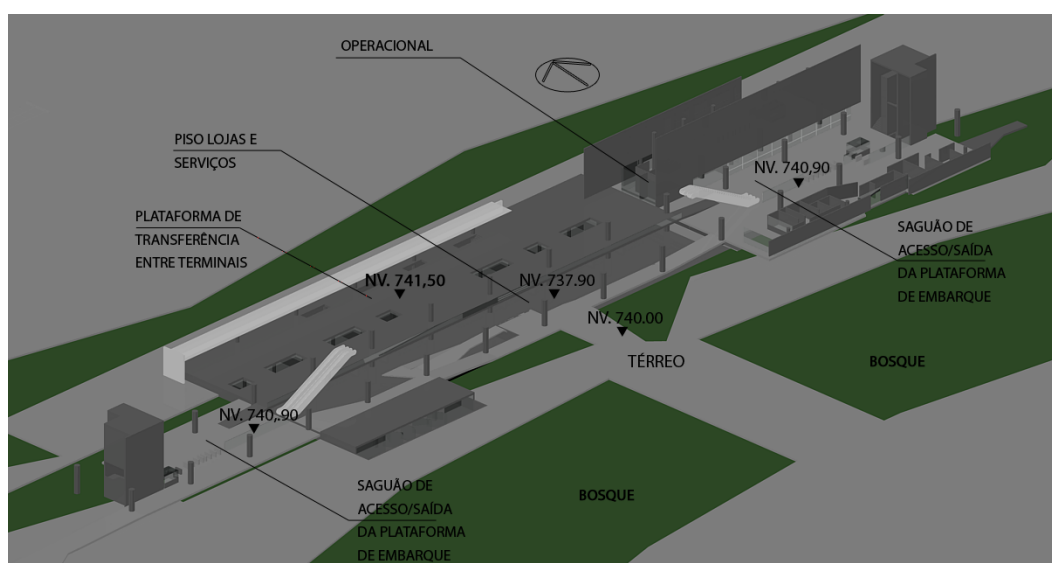


Figura 6.1.8: Nível térreo, saguão de acesso à plataforma de embarque e nível da plataforma de transferência.

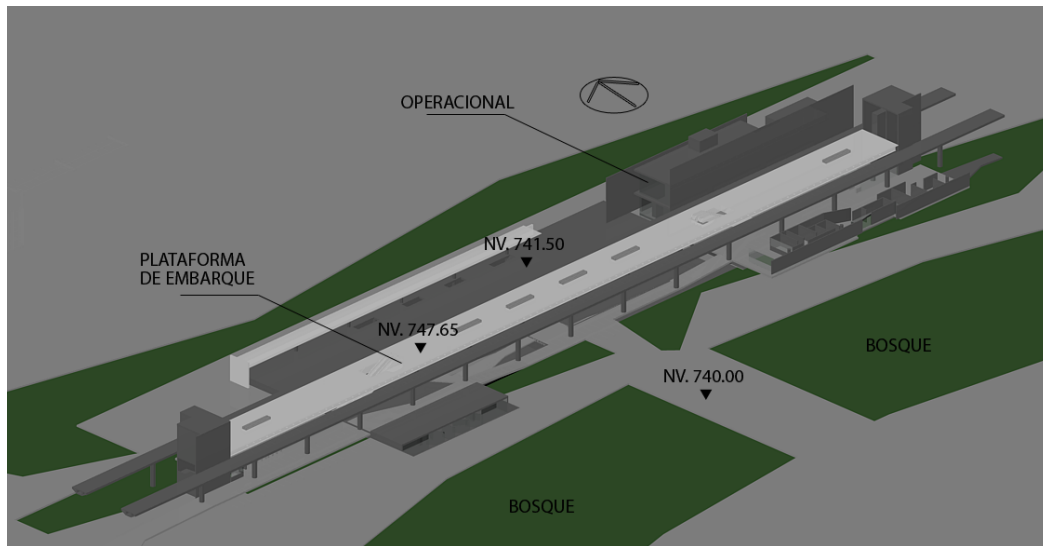


Figura 6.1.9: Nível da plataforma de embarque.

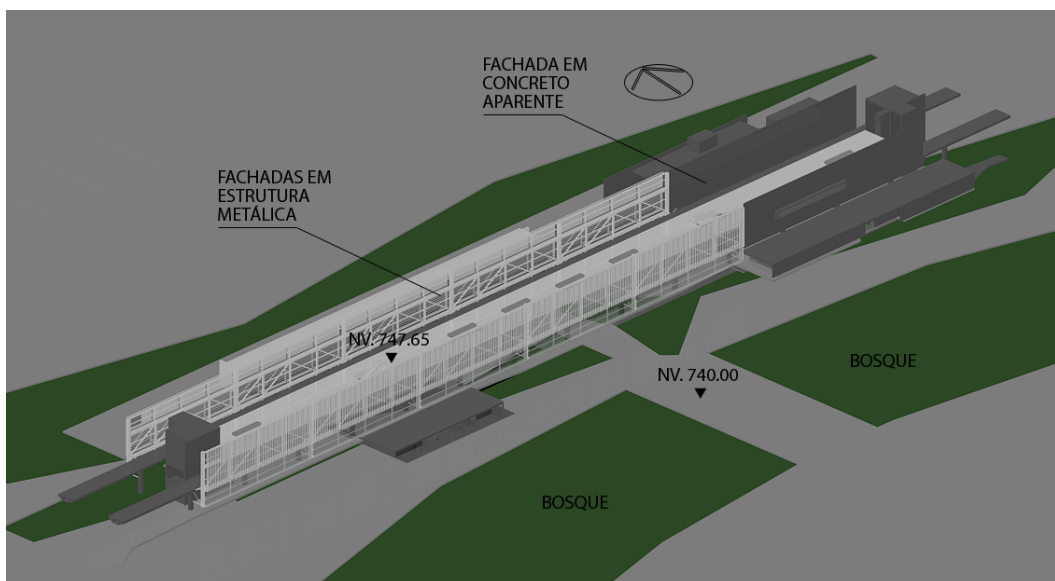


Figura 6.1.10: Perspectiva das fachadas e nível da plataforma de embarque.

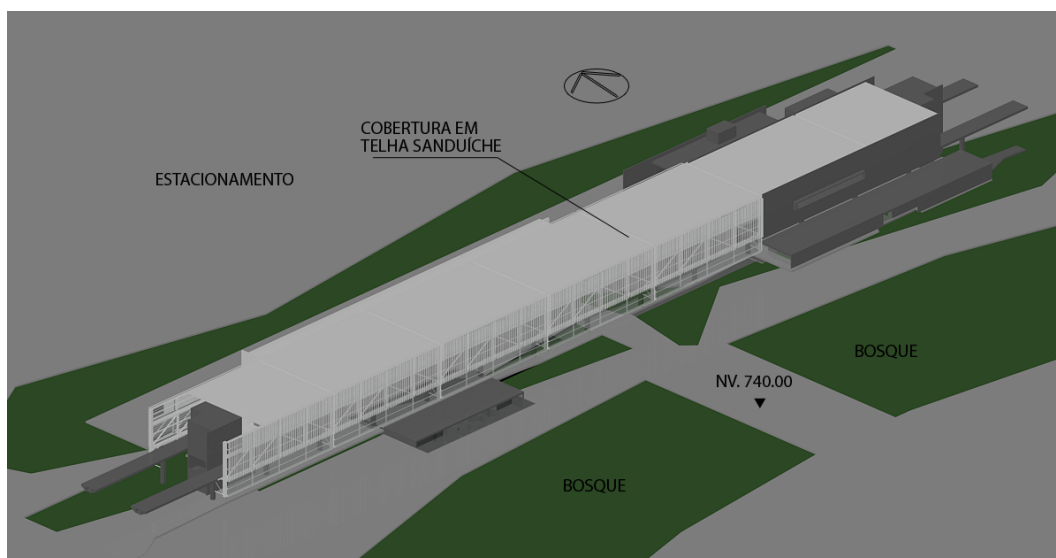


Figura 6.1.11: Nível Cobertura

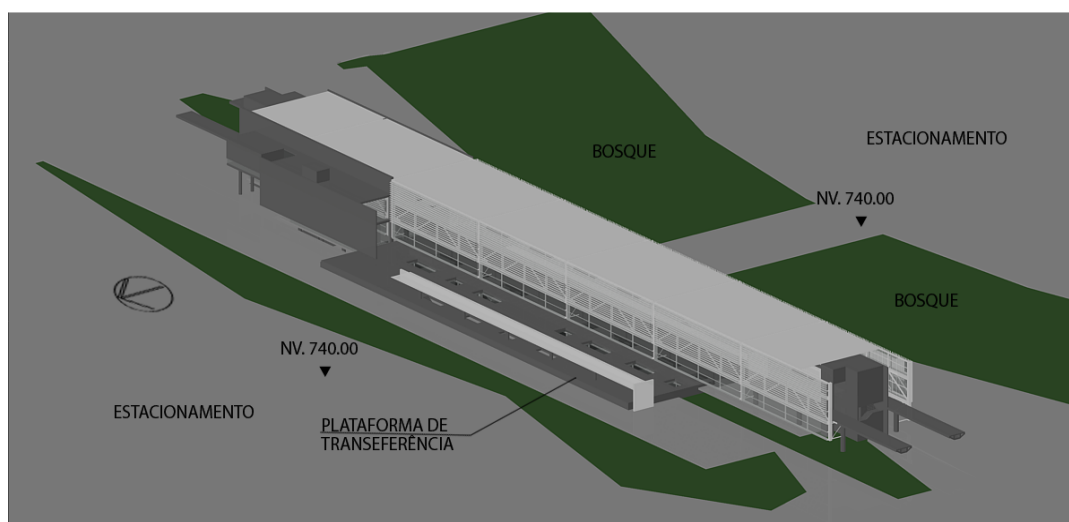


Figura 6.1.12: Perspectiva da face sul com a plataforma de transferência entre os terminais aeroportuários

## 6.2 Acessos e circulação

O acesso principal da estação se dá por seu centro, dividindo seu comprimento em duas partes iguais aproximando o usuário dos acessos laterais leste e oeste e das áreas de serviços e comércios. Pelo acesso central, o usuário pode dirigir-se à direita, onde poderá comprar o bilhete e seguir para a plataforma de embarque, ou dirigir-se à esquerda, por onde terá acesso à área comercial, composta por lojas, restaurantes e áreas de descanso.

Verticalmente, os acessos são feitos por rampas, escadas fixas, escadas rolantes e elevadores. Por conta da grande extensão da estação foi possível a ampla utilização de rampas respeitando a norma de acessibilidade XXX com inclinação máxima de 6%. Dessa forma, permitiu-se um fluxo o quanto possível fluido e livre de obstáculos.

Os acessos à estação estão dispostos segundo o esquema abaixo:



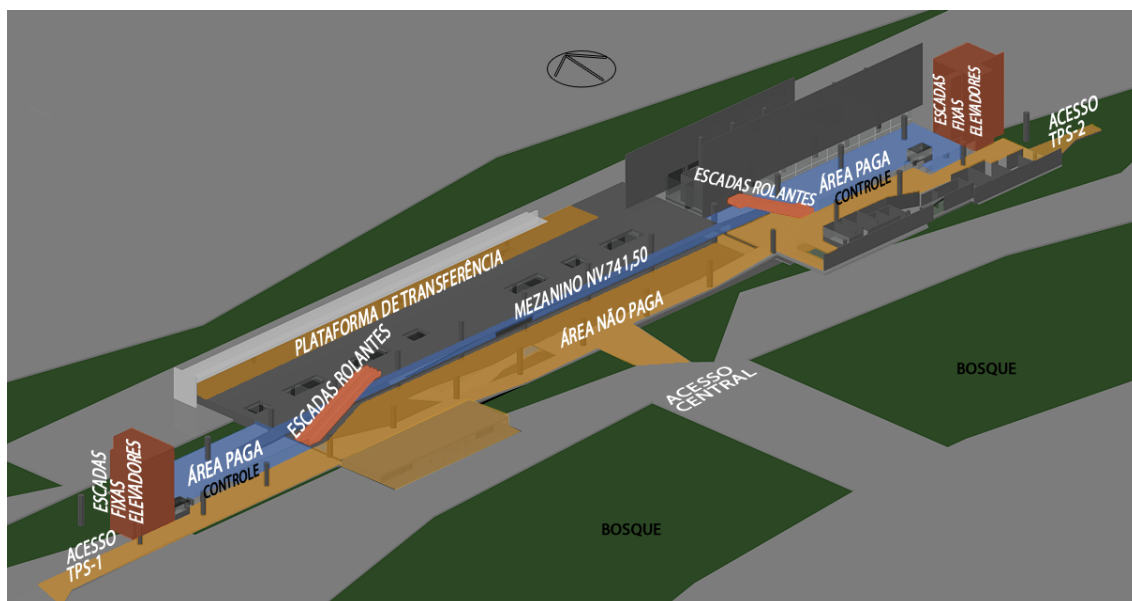


Figura 6.2.1: Esquema de circulação e acessos

Pode-se observar duas áreas de circulação bem distintas: a área paga (azul) e a não paga (laranja). A área não paga atravessa longitudinalmente toda a estação conectando os dois braços de acesso aos terminais de passageiros do aeroporto TPS-1 (oeste) e TPS-2 (leste) permitindo a livre transferência dos usuários entre estes dois terminais além de garantir o acesso gratuito às lojas e serviços (NV. 737,90) e à plataforma de transferência, onde poderá usar o sistema VLT com destino ao futuro TPS-3. A área paga é constituída por dois saguões de acesso à plataforma (NV.740,90), um a leste e outro a oeste conectados através do mezanino no nível NV.741,50, que possibilita ao usuário facilidades de circulação.

Escadas rolantes fazem a ligação dos saguões à plataforma de embarque (NV.747,65) em dois pontos intermediários, da mesma forma que elevadores e as escadas fixas, porém estes estão localizados nos extremos, garantindo as condições de segurança para a evacuação do prédio.

### 6.3 Fachadas e Cobertura

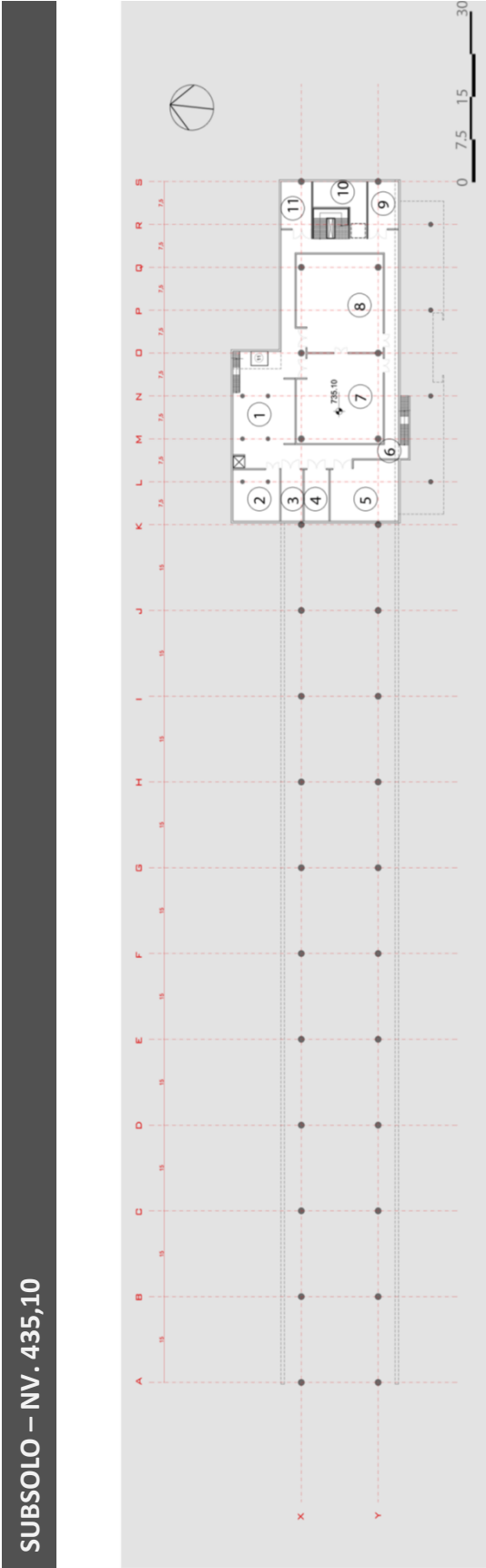
Projetadas de maneira a conferir transparência, leveza, e máximo aproveitamento da iluminação natural as fachadas são compostas de vidro e elementos estruturais em aço bastante delgados. Dessa forma, o usuário poderá apreciar o análogo a um corte longitudinal da estação, observar sua composição estrutural e a distribuição

dos elementos internos nos diversos pavimentos do edifício, tendo inclusive a visão da movimentação do trem.

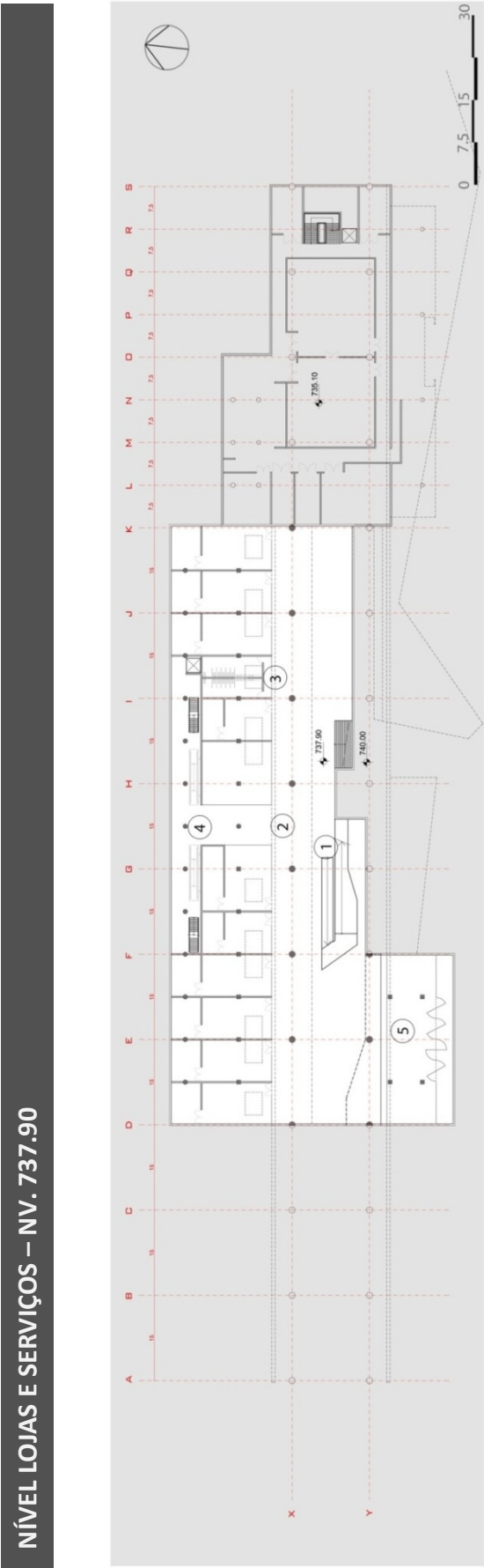
As faces norte e sul, mais expostas à insolação, foram tratadas com brises de proteção solar para garantir o bloqueio da radiação direta sobre os vidros. O fato de a pele de vidro estar descolada do volume através do sistema de suporte, proporciona a ventilação natural, o que garante o conforto térmico e a troca de ar com o ambiente externo impedindo, juntamente com os brises, a formação do efeito estufa no interior do recinto.

A cobertura da estação, realizada em estrutura leve (telha sanduiche), leva em conta também o conforto térmico e luminoso do edifício buscando a ventilação e iluminação natural através de aberturas zenitais.

6.4 Plantas, Cortes e Perspectivas Finais

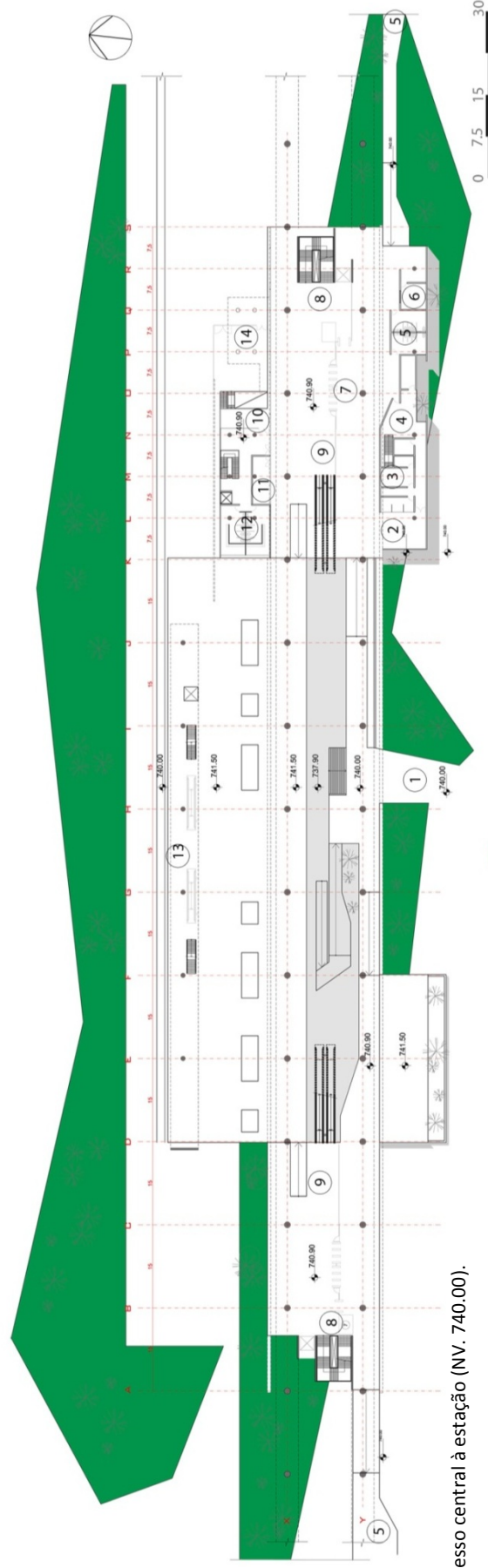


1- Acesso: elevador/escada/monta carga - local para armazenamento do lixo.	6- Escadas de acesso à área operacional NV.740,90	<b>Resumo de áreas do projeto:</b> <b>Área coberta: 13.092,4m²</b> <b>Área construída: 7.302,5m²</b>
2-Depósito (76m²).	7-Sala de baixa tensão (240m²).	
3- Transformadores (36m²)	8-Sala de média tensão (260m²)	
4-Retificador (39m²)	9-Sala do grupo gerador diesel (45m²)	
5-Sala de equipamentos eletrônicos (123 m² )	10-Sala de equipamentos de ventilação (50 m² )	
	11-Sala de baterias (45m²)	



- 1-Rampa de acesso ao nível térreo (NV. 740.00).
- 2-Nível NV. 737.90 correspondente ao piso das lojas, também destinado à mostras culturais.
- 3-Sanitários públicos.
- 4-Acesso à plataforma de transferência entre terminais aeroportuários de passageiros (por escadas fixas, rolantes ou elevador).
- 5-Espaço destinado à informações turísticas.

## NÍVEL TÉRREO– NV. 740.00



1-Acesso central à estação (NV. 740.00).

2-Bilheterias.

3-Sala de contagem da receita e cofre.

4-Acesso à sala de segurança e sala de arquivos.

5-Sanitários públicos.

6- Sala de primeiro socorros

7-Catracas e SSO (sala de supervisão operacional) : acesso a área paga.

8-Escadas fixas e elevadores: acesso à plataforma (NV. 747.65).

9-Escadas rolantes

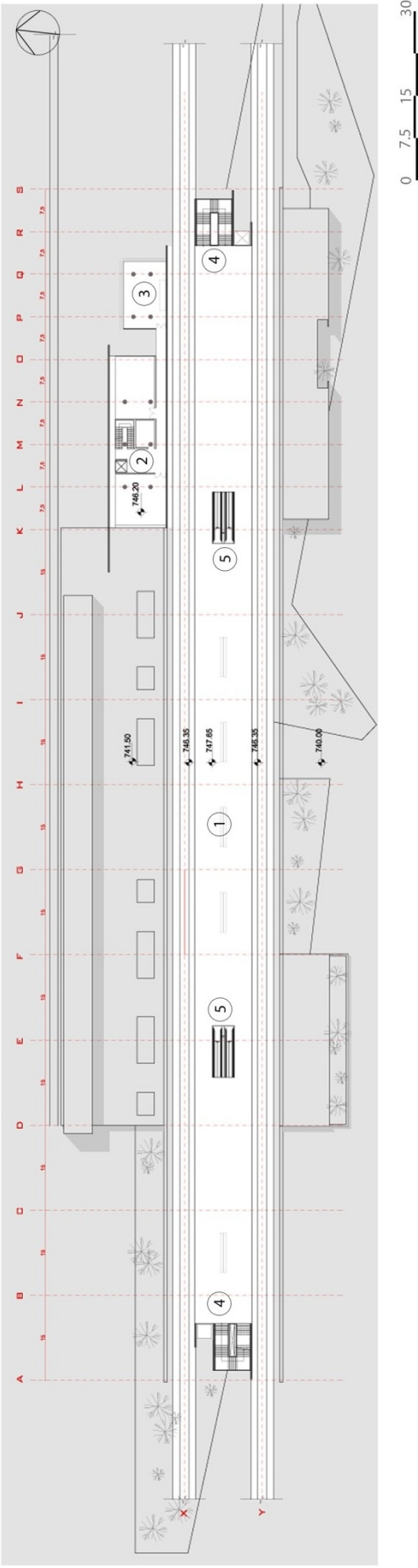
10-Sala de apoio operacional

11-Serviço de atendimento ao usuário (SAL)

12-Vestiário para funcionários

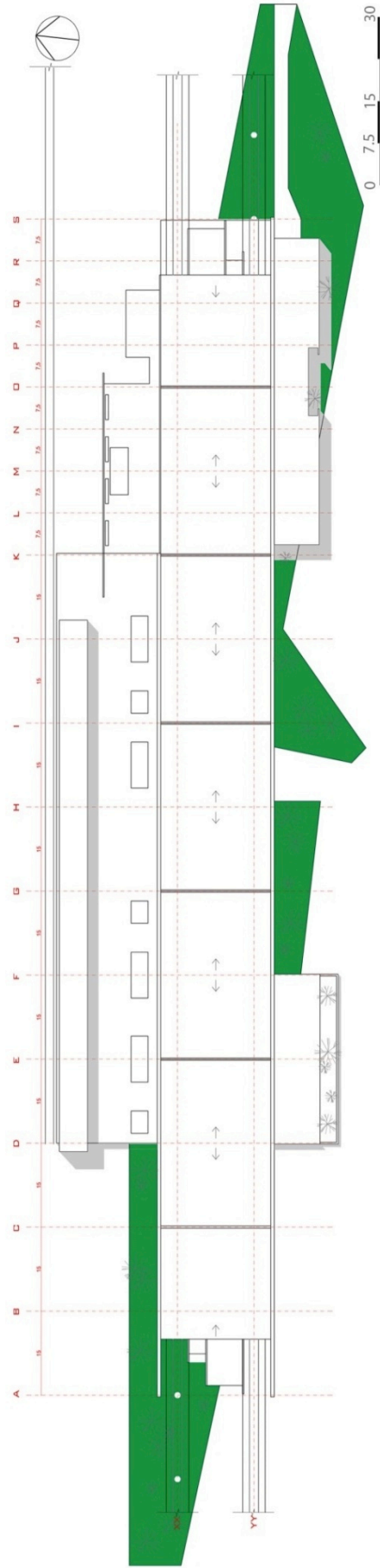
13-Plataforma de transferência entre terminais aeroportuários (NV.741,50)

PLATAFORMA DE EMBARQUE – NV. 747,65



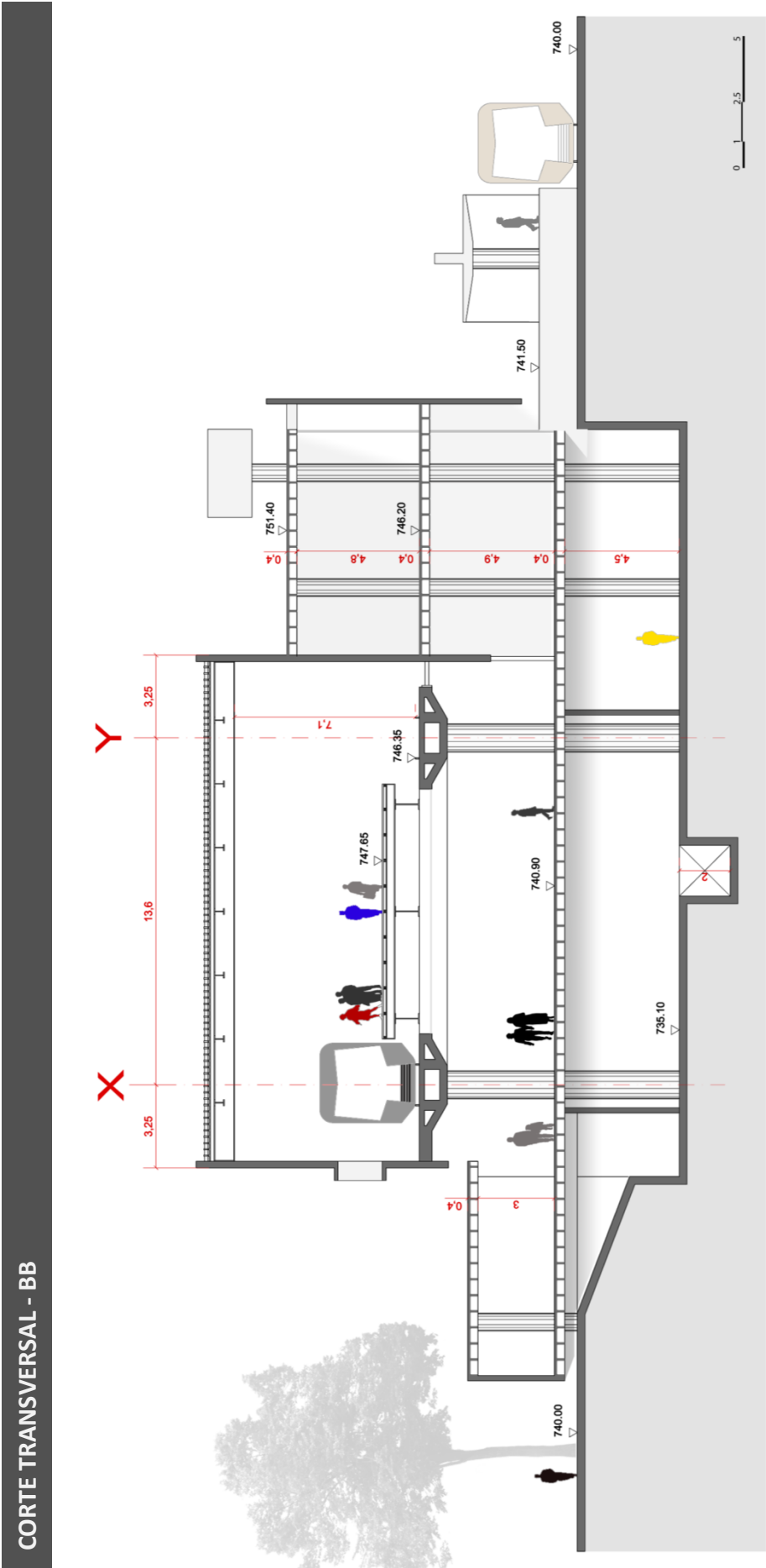
- 1-Nível da plataforma de embarque (NV. 740.00).
- 2-Ssegundo pavimento da área operacional (NV. 746,20): acesso à sala de maquinistas; sala operacional e depósito.
- 3-Refeitórios
- 4-Escadas fixas e elevadores de acesso à plataforma.
- 5-Escadas rolantes de acesso à plataforma.

COBERTURA GERAL – NV. 754,50



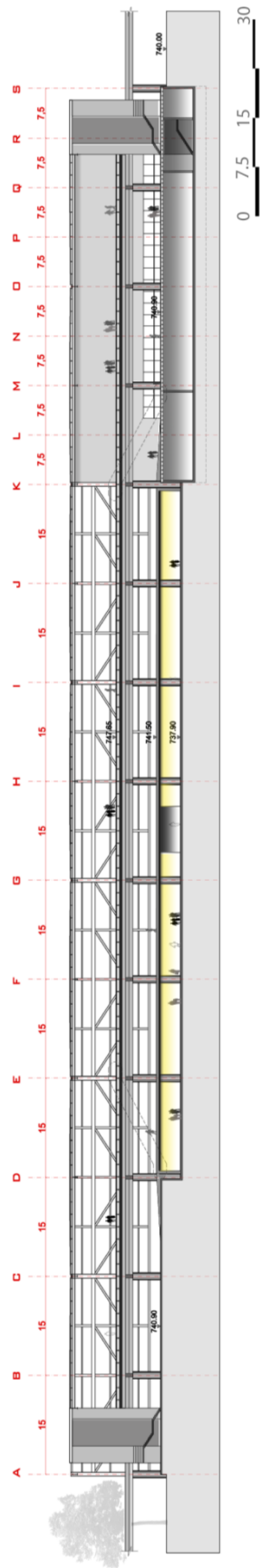




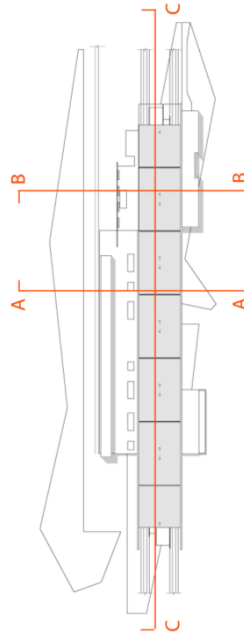


- NV. 735.10 – Subsolo – área técnica
- NV. 740.00 – Térreo.
- NV. 740.90 – Saguão de acesso à plataforma.
- NV. 741.50 – Plataforma de transferência entre terminais.
- NV. 745.20 – Primeiro pavimento da área operacional.
- NV. 746.35 – Nível do topo do boleto.
- NV. 747.65 – Plataforma de embarque.
- NV. 751.40 – Cobertura do edifício da área operacional
- NV. 754.50 – Nível da cobertura geral

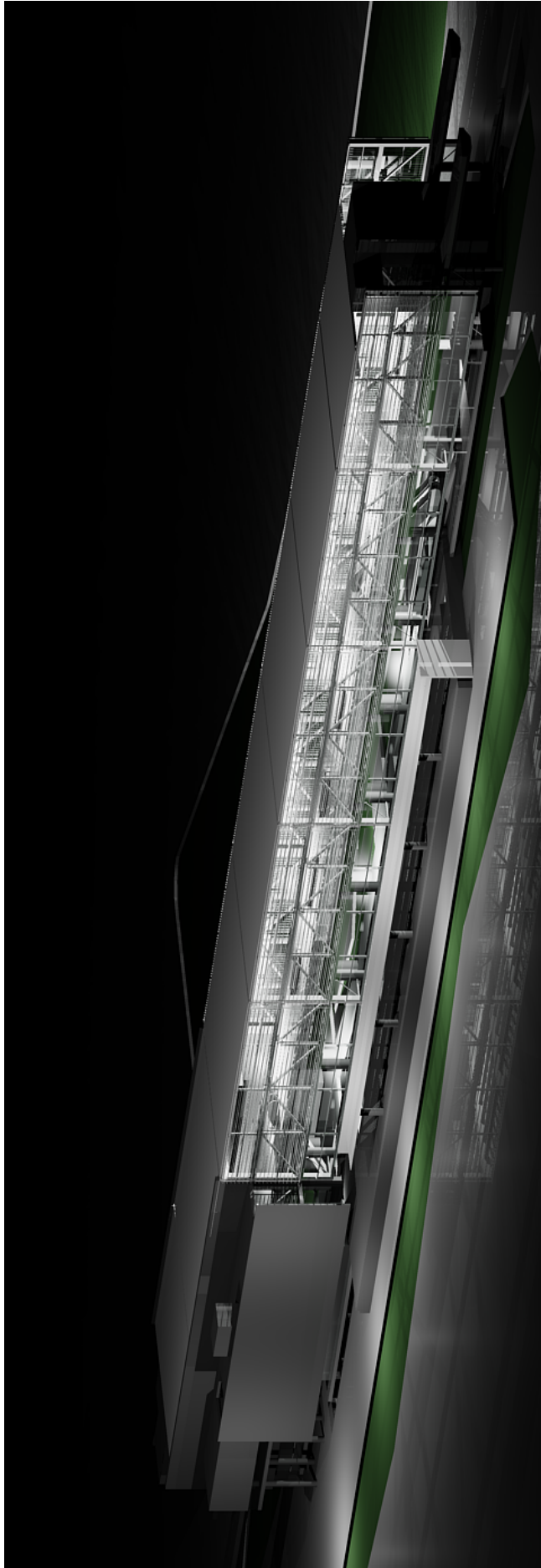
CORTE LONGITUDINAL - CC



Em amarelo, o nível correspondente às lojas e serviços



PERSPECTIVA NOTURNA – FACE NORTE



Autor da imagem: Samir Gouveia

PERSPECTIVA – FACE SUL



Autor da imagem: André Cañete



PERSPECTIVA



Autor da imagem: André Cañete

## 6.5 Concepção estrutural

A concepção estrutural do edifício foi inteiramente associada aos pilares que suportam a ferrovia. A proposta de esculpir a topografia do térreo e torná-lo um espaço público livre de obstáculos físicos sugeria a suspensão do edifício. Para tanto, utilizou-se da própria estrutura da ferrovia, em concreto, como uma verdadeira coluna vertebral sobre a qual se acomoda a estrutura mais leve, metálica, que suportam as cargas verticais advindas da vedação e da cobertura e as horizontais, provenientes do vento.

Estendendo-se por 190m no interior do edifício, a estrutura ferroviária é composta por um sistema de vigas caixão bi-apoiadas em pilares circulares de 1.10m de diâmetro dispostos a cada 15m, sendo ambos em concreto e de dimensões robustas para suportar as cargas advindas do trem-tipo. Para garantir maior rigidez a este conjunto, vigas de concreto na transversal conectam as cabeças dos pilares, conferindo ao sistema estrutural um funcionamento de pórtico na direção perpendicular à via.

Entre as vias, e suportada pelas vigas do pórtico em concreto, estende-se a plataforma central de embarque. Uma estrutura leve, composta por vigas metálicas de perfis em “I” que apoiam a estrutura secundária em grelha sobre a qual posa o assoalho.

O volume transparente, que compreende a estrutura da fachada e da cobertura, é inteiramente em estrutura metálica modulado também a cada 15m. Cada módulo é constituído por uma treliça de 15m de comprimento ligada a pórticos em sua extremidade cujos pilares e vigas são conectados rigidamente. Estes direcionam as cargas verticais e horizontais (devidas ao vento) para um sistema de mão francesa invertida que se apoia sobre o pórtico de concreto descrito anteriormente, o que garante, finalmente, o equilíbrio de todo o sistema.

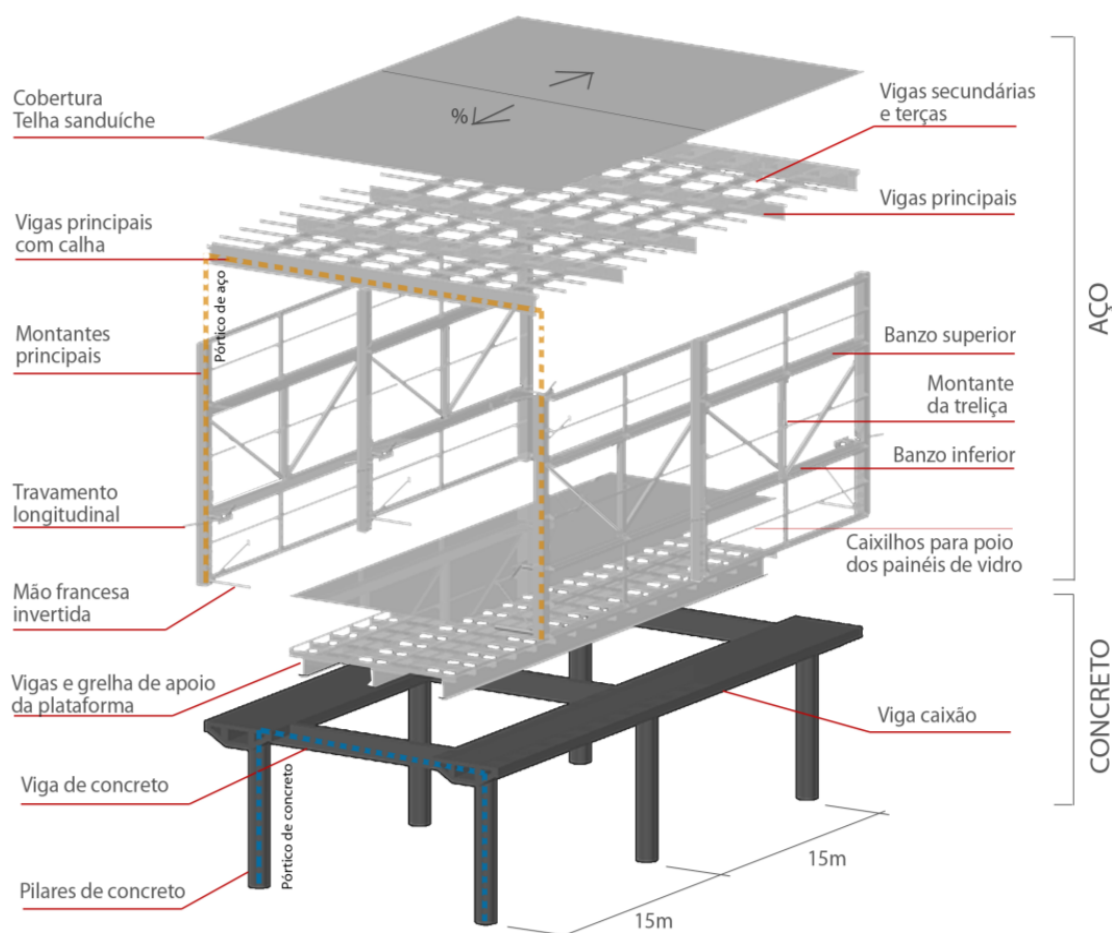


Figura 6.5.1: Decomposição do módulo estrutural da estação.

O vão de 15m é vencido pela treliça que tem como função travar os pórticos metálicos na direção longitudinal e encaminhar as cargas verticais da cobertura e da pele de fechamento em vidro para os respectivos pórticos aos quais estão ligadas.

A cobertura, por sua vez, composta por vigas secundárias e terças que suportam a telha sanduíche, distribui sua carga em parte aos pórticos metálicos e em parte às treliças.

Com este sistema estrutural foi possível tornar os pilares de concreto os únicos pontos de contato entre o edifício propriamente dito e o solo, como previam as premissas arquitetônicas.

Abaixo, são mostrados com maior detalhe a treliça e a maneira como estão dispostas as mãos francesas invertidas. Pode-se observar em seguida o esquema de caminhamento de esforços sobre a estrutura.

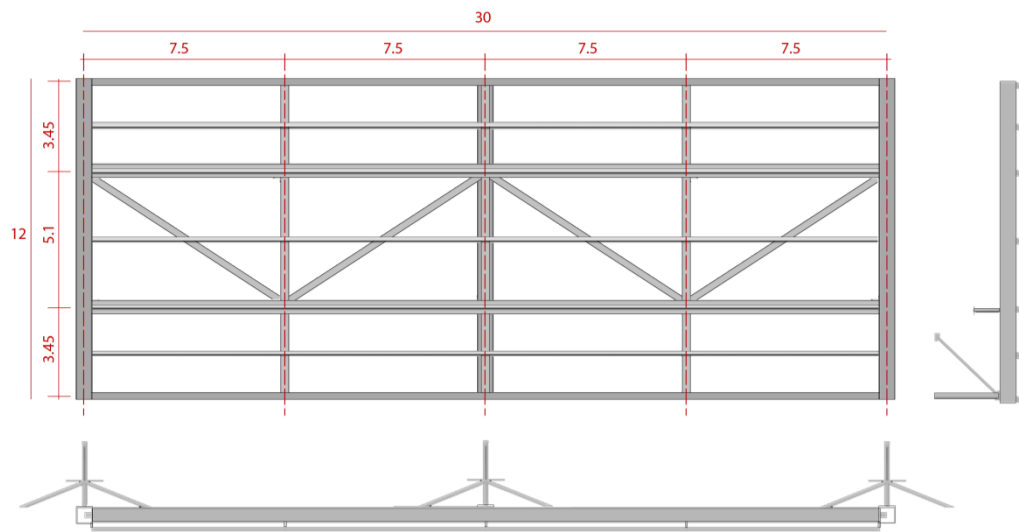


Figura 6.5.2: Elevações frontal, lateral e superior da treliça e mãos francesas invertidas.

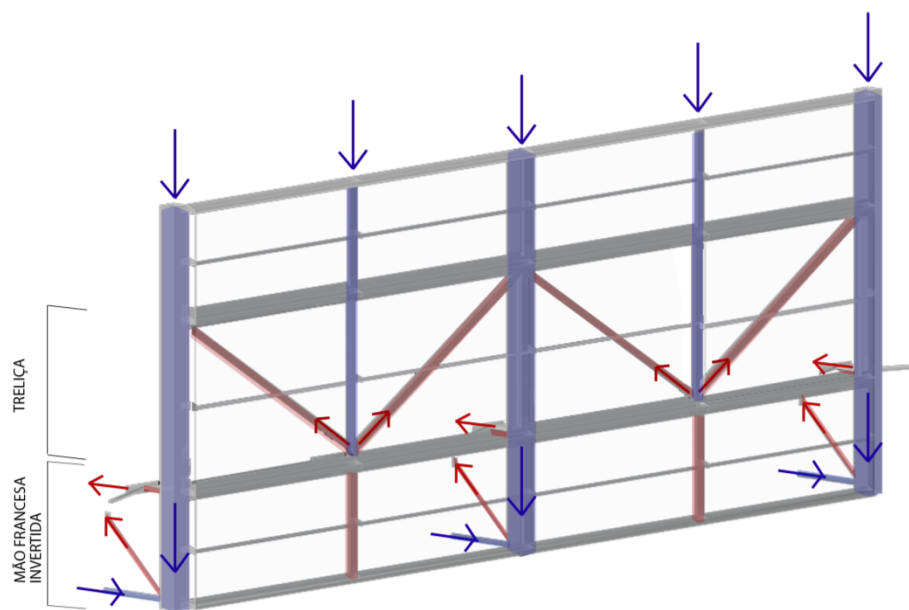


Figura 6.5.3: Caminho dos esforços verticais: em azul as peças submetidas à compressão e em vermelho à tração.

As dimensões das peças metálicas respondem ao tipo de solicitação à qual estão submetidas: os elementos são mais esbeltas quando sob tração e mais robustos sob compressão, evitando assim, a flambagem.

O volume opaco, em concreto aparente, é composto por um sistema estrutural de vigas parede, pilares e lajes nervuradas para vencer os grandes vãos impostos pelo projeto. Além disto, o fato de o fundo de lajes nervuradas estarem



contidos em um plano, a passagem dos diversos sistemas prediais (tubulações de hidráulica, ar condicionado, etc.) é facilitada sem causar maiores interferências com a estrutura.

## 7 ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Utilizando-se do software Dialux, foram analisadas para as diferentes estações do ano a iluminância no interior da estação. A título de comparação, dois casos foram considerados: sem e com brises de proteção solar.

Devido à complexidade de simular o edifício em sua totalidade, foi considerado somente o trecho da plataforma sob influência da superfície transparente das fachadas. Além disso, para minimizar o tempo de cálculo, foi utilizado um modelo simplificado da plataforma composto por um trecho de 90m. Os valores a serem considerados devem ser tomados na região central, longe dos extremos, onde os valores são influenciados por limites físicos inexistentes no projeto real mas que foram necessários para a composição do volume de análise no software.

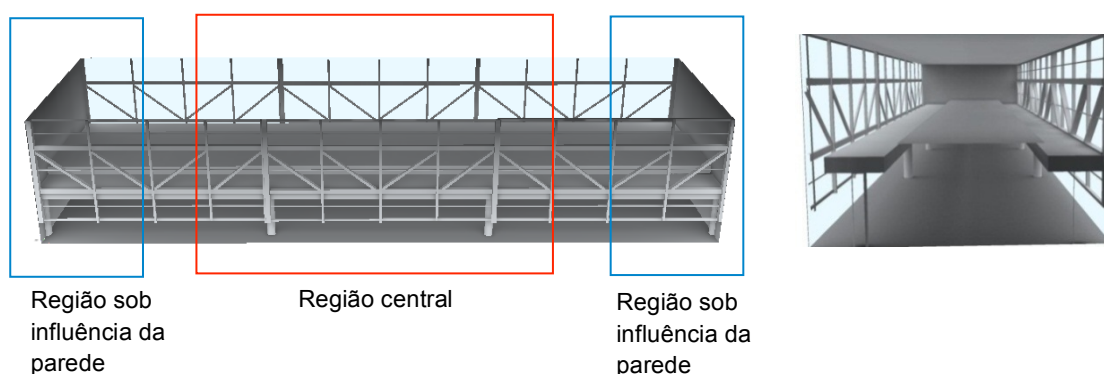


Figura 7.1: Volume de análise para iluminação natural

Com as fachadas do sentido longitudinal da estação voltadas aproximadamente para as direções norte e sul, tem-se que os períodos de insolação e o ângulo de incidência solar são diferentes para cada uma delas. A carta solar para o edifício em análise que mostra a trajetória do sol no céu ao longo do ano em função da latitude é apresentada abaixo. Durante o solstício de verão (22/12), o sol

incide na face sul na maior parte do tempo ao longo do dia. Com o passar dos meses a incidência solar se dá tanto na face norte quanto na sul até o momento em que a trajetória solar torna-se exclusivamente voltada para a face norte do edifício, precisamente a partir do dia 03/04.

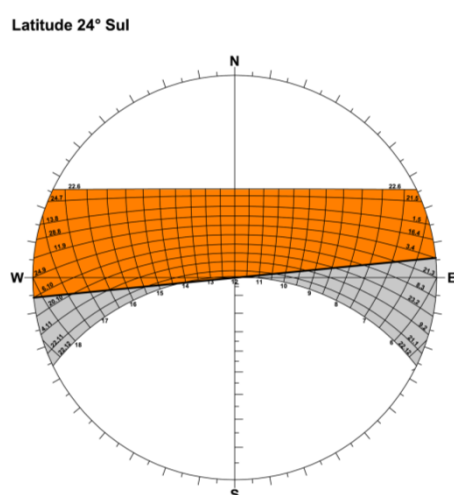


Figura 7.2: Carta solar da estação: em laranja, o período de insolação da fachada norte e em cinza o da fachada sul.

Os brises foram projetados, portanto, de forma a impedir a incidência de luz direta sobre a superfície envidraçada protegendo o edifício dos efeitos de acúmulo de calor devido à radiação solar (efeito estufa) e, ao mesmo tempo, propiciar internamente uma luz indireta uniformemente distribuída ao longo do dia.

A necessidade de serem horizontais para a face norte e verticais para a face sul está associada ao ângulo de incidência solar. Enquanto na face norte o sol incide de maneira aproximadamente perpendicular, na face sul a incidência é oblíqua. Desta maneira, os brises devem responder a estes diferentes ângulos que podem ser também obtidos com auxílio da carta solar a partir do mascaramento das regiões correspondentes ao período de insolação que se deseja proteger.

Portanto, durante o verão, optou-se por um dispositivo de proteção solar para a fachada sul que garanta eficiência total, auxiliando na manutenção do conforto térmico para os dias mais quentes, enquanto que para a fachada norte, admitiu-se a incidência parcial de luz em certos períodos, principalmente no inverno, o que poderia também ajudar na regulação da temperatura nos dias frios ao se admitir a entrada da radiação.

Abaixo, é mostrada a carta solar com as regiões mascaradas e as máscaras solares separadamente a partir das quais se extraiu os ângulos  $\alpha = 40^\circ$  (usado para o projeto dos brises horizontais, representado na linha central da carta para o traçado da máscara) e  $\beta = 60^\circ$  (para brises verticais, representado ao longo do comprimento da semi-circunferência).

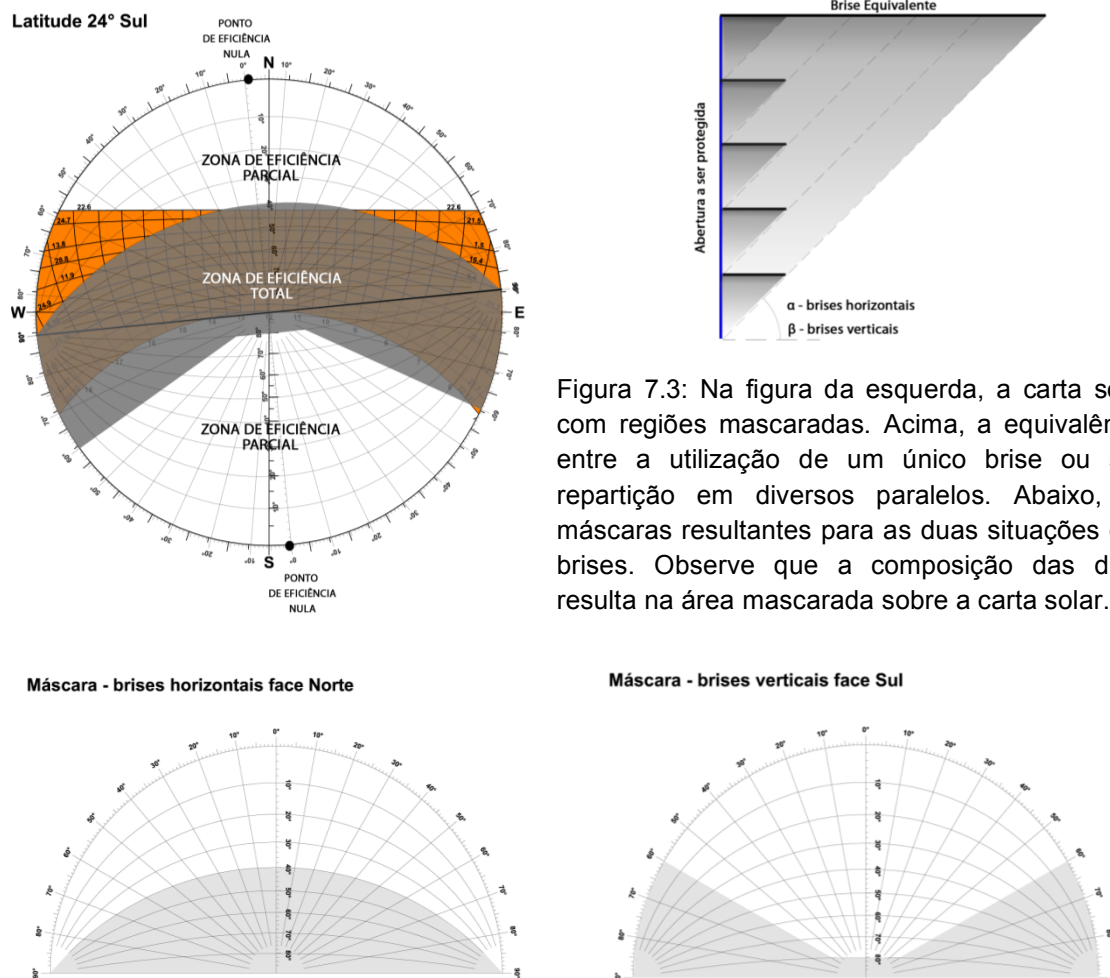


Figura 7.3: Na figura da esquerda, a carta solar com regiões mascaradas. Acima, a equivalência entre a utilização de um único brise ou sua repartição em diversos paralelos. Abaixo, as máscaras resultantes para as duas situações dos brises. Observe que a composição das duas resulta na área mascarada sobre a carta solar.

Na figura da carta solar com o mascaramento, pode-se distinguir duas zonas: zona de eficiência total e zona de eficiência parcial dos dispositivos de proteção solar. A primeira refere-se à região na qual nunca há incidência direta de luz sobre a superfície protegida. A segunda, as regiões onde coexiste incidência de luz direta e a sombra projetada pelo brise sobre a superfície protegida.

Dos estudos de insolação apresentados acima, resultou no projeto dos brises apresentados abaixo, os quais foram utilizados no modelo para simulação da iluminação natural no interior da estação.

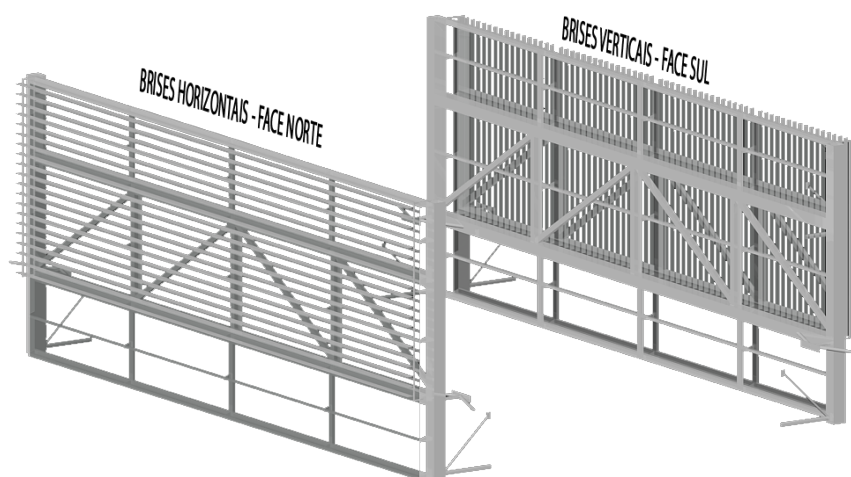
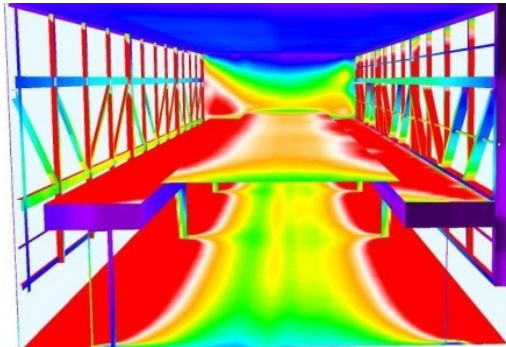


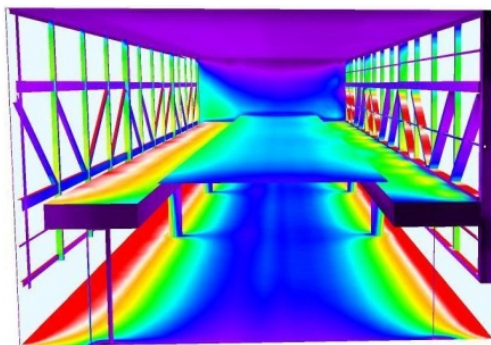
Figura 7.4: Projeto dos brises das faces norte e sul

Os resultados da simulação com e sem proteção por meio dos brises são apresentados a seguir. É possível visualizar os valores de iluminância no interior do edifício (pavimento térreo e nível da plataforma) segundo a escala de cores e calculadas para cada estação do ano às 8 horas da manhã. Pode-se observar nitidamente o efeito dos brises sobre a uniformização da luz o que auxilia no conforto visual evitando o ofuscamento dos usuários. Além disso, os maiores valores de iluminância (entre 250 e 375 lux) ocorrem no período da primavera, no qual a entrada de luz propicia atinge os pontos mais distantes.

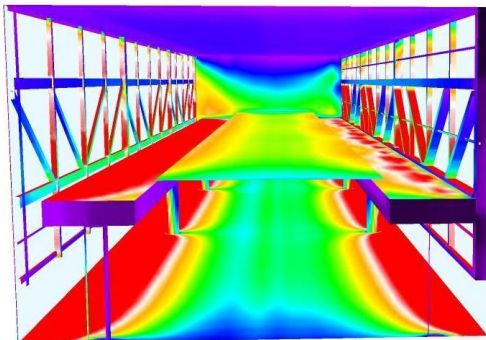
**SEM BRISES**



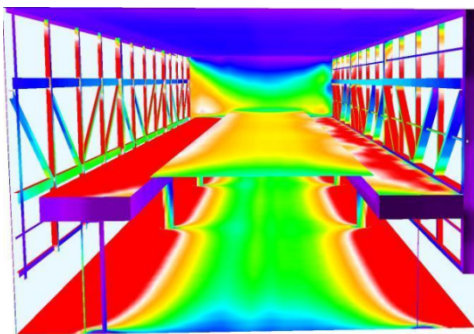
Solstício de Verão – 22 dezembro



Solstício de Inverno – 22 junho

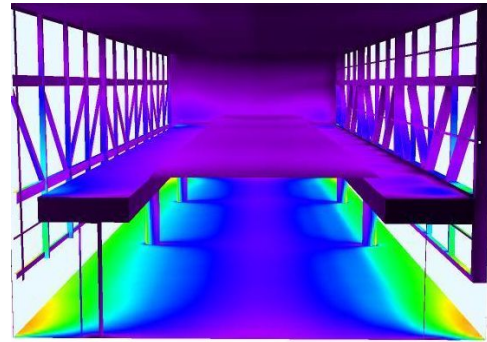


Equinócio de Outono– 21 de março

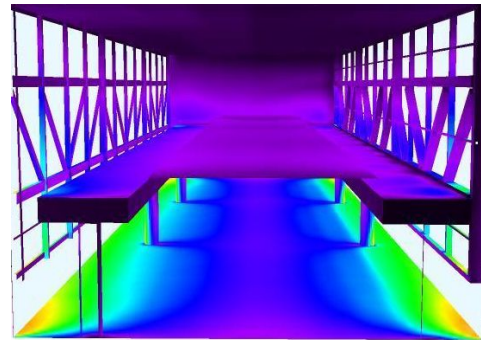


Equinócio de Primavera Inverno – 24 de setembro

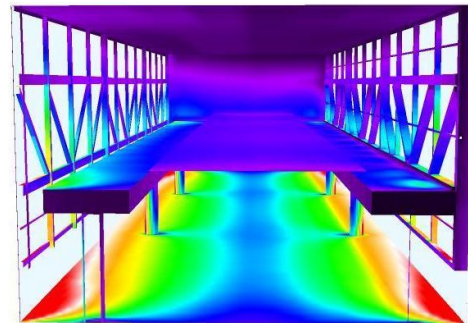
**COM BRISES**



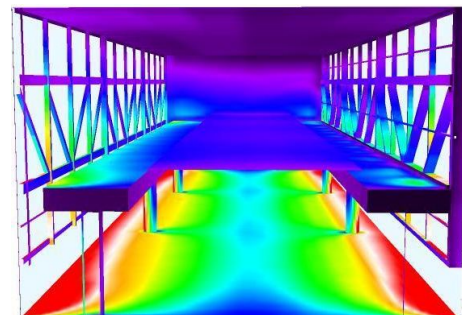
Solstício de Verão – 22 dezembro



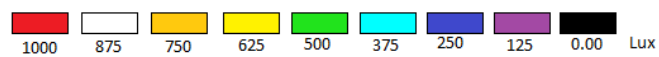
Solstício de Inverno – 22 junho



Equinócio de Outono– 21 de março

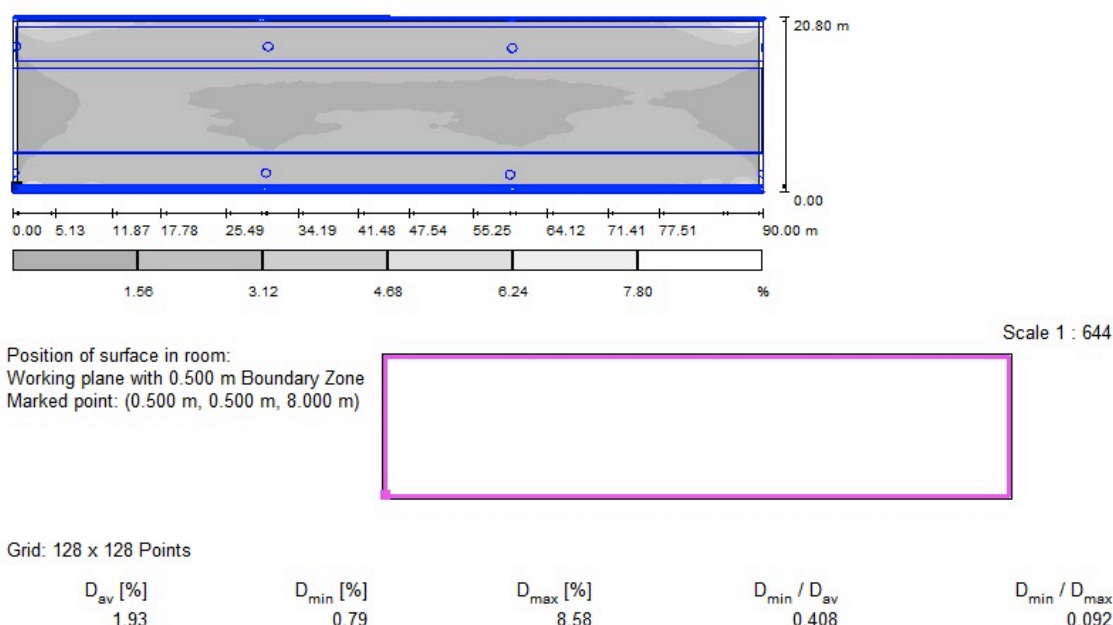


Equinócio de Primavera Inverno – 24 de setembro



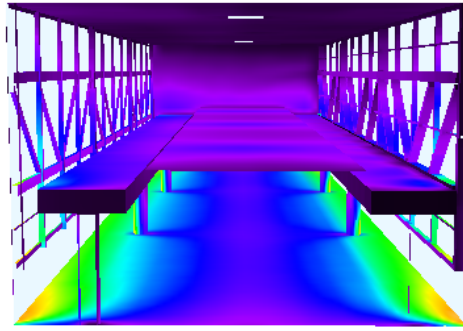


Considerando que a análise acima mostra uma fotografia das iluminâncias para um horário específico, deve-se usar o índice denominado fator de luz solar para o cálculo médio dos valores da iluminância ao longo do ano. Este índice representa a relação (em porcentagem) entre valor da iluminância interna em determinado ponto do plano em análise e o valor da iluminância externa no plano horizontal e independe, portanto, da época do ano ou horário, por ser um valor constante. Abaixo são mostradas as isolinhas do fator de luz solar sobre o plano da plataforma.

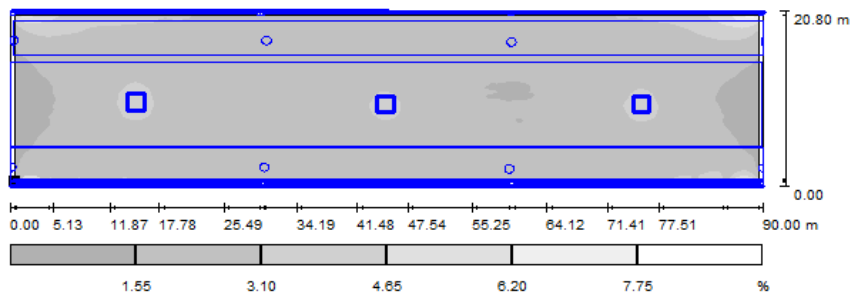


De acordo com o gráfico 5.6.2.2.1, pode-se calcular o valor médio da iluminância que ocorre em 70% do tempo. Sendo o valor da iluminância sobre o plano horizontal externo de 15000 lux e o valor médio do fator de luz solar no plano interno  $D_{av} = 1,93\%$ , pode-se dizer que se tem em média 289 lux na plataforma em 70% do tempo, valor este maior do que o mínimo previsto pela norma (200 lux). Considerando que se trata somente da luz natural, conclui-se que se pode reduzir drasticamente os custos com a iluminação artificial, utilizando-a somente como completo quando necessário.

A título de refinamento, realizou-se mais uma análise para solstício de inverno, desta vez considerando aberturas zenitais de 2x2m na cobertura espaçadas a cada 15m. Observam-se os efeitos pontuais sob as aberturas no plano da plataforma em relação à situação anterior na figura abaixo:



Um novo cálculo da iluminância média em 70% do tempo no nível da plataforma nos fornece o valor de 336 lux (para  $D_{av} = 2,24\%$ ), que nos permite até mesmo a leitura com conforto, já que é um valor próximo do mínimo admitido em escritórios (300 lux).



Position of surface in room:  
Working plane with 0.500 m Boundary Zone  
Marked point: (0.500 m, 0.500 m, 8.000 m)



Scale 1 : 644

Grid: 128 x 128 Points

$D_{av}$ [%]	$D_{min}$ [%]	$D_{max}$ [%]	$D_{min} / D_{av}$	$D_{min} / D_{max}$
2.24	0.84	8.61	0.375	0.097

Esta última solução é a mais propícia para o projeto em questão, além mostrar que a distribuição da luz natural no interior do edifício torna-se mais uniforme.

## 8 ANÁLISE TÉRMICA

A previsão do comportamento térmico do edifício foi feita através do método CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment – de Paris) por ser facilmente praticável a partir de dados largamente disponíveis. Baseado em regime térmico permanente, o método é aplicado em dois casos: cálculo do conforto térmico de inverno e o de verão. No primeiro, são consideradas apenas as perdas térmicas, uma vez que a temperatura interna do edifício é considerada sempre superior à externa. Já no segundo, realiza-se um balanço térmico entre perdas e ganhos de calor através dos componentes constituintes do edifício considerando-se as trocas por diferença de temperatura e os ganhos devidos à incidência da radiação solar (FROTA 2007).

Para a análise em questão foi considerado o segundo caso, cujo processo é explicado sucintamente a seguir.

### 8.1 Conforto térmico de Verão

As hipóteses relativas à metodologia CSTB são apresentadas a seguir:

- equações de troca térmica são lineares e de coeficientes constantes;
- a renovação do ar é constante;
- local não climatizado artificialmente e sujeito a um regime térmico permanente;

O cálculo pode ser dividido em 3 partes:

a) fixada a temperatura exterior ( $t_e$ ) e os dados relativos à radiação solar, humidade relativa e ventos, faz-se a montagem das equações relativas às trocas térmicas pela diferença de temperatura interna e externa ( $\Delta t$ ) e de radiação solar incidente. Esta última, sempre representa ganhos de calor e é calculada de acordo com as fórmulas:



(Eq.1)  $Q_{op} = A_{op} \cdot \frac{\alpha K}{h_e} \cdot I_g$  [W], para materiais opacos e,

(Eq. 2)  $Q_{tr} = A_{tr} \cdot S_{tr} \cdot I_g$  [W] , para materiais transparentes ou translúcidos  
onde,

$A_{op}$  e  $A_{tr}$  são as áreas [m<sup>2</sup>] do material opaco e translúcido, respectivamente;

$\alpha$  é coeficiente de absorção da radiação solar;

$K$  é o coeficiente global de transmissão térmica [W/m<sup>2</sup> °C];

$h_e$  é o valor de condutância superficial para paredes externas [W/m<sup>2</sup> °C];

$I_g$  é a radiação solar incidente [W/m<sup>2</sup>] e

$S_{tr}$  é o fator solar;

O valor de  $I_g$  varia de hora em hora e é função da localização geográfica e da orientação do edifício em análise.

Os ganhos de calor devido à ocupação (calor sensível) são calculados através da expressão:

(Eq. 3)  $Q_e = n \cdot q$  [W], onde **n** representa o número de pessoas e **q** [W] o calor cedido ao ambiente, segundo a atividade exercida pelo usuário.

As perdas de calor devidas à diferença de temperatura interna e externa,  $\Delta t$  [°C], é considerada no sentido de dentro para fora, uma vez que se adota a hipótese de que mesmo havendo ganho de calor solar e os gerados no interior do edifício, o ar interno não se mantém em constante sobreaquecimento, devendo, portanto perder energia para o meio externo (FROTA 2007). As perdas são calculadas pelas fórmulas:

(Eq. 4)  $Q'_{op} = A_{op} \cdot K \cdot \Delta t$  [W], para perdas através de superfícies opacas e,

(Eq. 5)  $Q'_{tr} = A_{tr} \cdot K \cdot \Delta t$  [W], para perdas através das superfícies transparentes ou translúcidas.

Deve ser considerada também a ventilação natural, que é um importante fator de perda de calor interno:

$$\text{(Eq. 6)} \quad Q'_{\text{vent}} = 0,35 * N * V * \Delta t \text{ [W]}, \text{ onde:}$$

N é número de trocas horárias de ar;

V é o volume do recinto;

**b)** Uma vez calculados os ganhos e perdas totais de calor pelas fórmulas apresentadas, utiliza-se a equação do balanço térmico, onde  $Q'$  é função da diferença entre a temperatura interna e externa ( $\Delta t$ ):

$$\text{(Eq. 7)} \quad Q = Q'$$

Sendo assim, determina-se o valor de  $\Delta t$  [°C].

**c)** À partir da avaliação da inércia térmica do edifício, calcula-se a temperatura interna máxima resultante,  $t_{i\text{max}}$  [°C], através da fórmula:

$$\text{(Eq. 8)} \quad t_{i\text{max}} = \bar{t}_e * (1 - m)E + (1 - m)\Delta t \text{ [°C]}, \text{ onde:}$$

$\bar{t}_e$  é a temperatura externa média [°C],

m, o coeficiente de inércia;

E, a temperatura de alongação [°C];

O valor de  $\bar{t}_e$  é obtido pela média entre a temperatura externa máxima ( $T_{\text{emax}}$ ) e mínima ( $T_{\text{imin}}$ ) dados por:

$\text{(Eq. 9)} \quad T_{\text{emax}} = (T_s + T_d)/2 \text{ [°C]}$ ; onde  $T_s$  é a temperatura máxima observada no mês mais quente e  $T_d$  é média das máximas diárias do mês mais quente;

$\text{(Eq. 10)} \quad T_{\text{emin}} = (t_d + t_s)/2 \text{ [°C]}$ ; onde  $t_d$  é a média das mínimas diárias do mês mais quente e  $t_s$  a temperatura mínima observada no mês mais quente.

O Valor da alongação E é dado por:

(Eq. 11)  $E = A/2$  ; onde A é a amplitude entre as temperaturas máxima e mínima [°C];

Finalmente, de posse da carta psicrométrica de onde se cruzam os valores da umidade relativa do ar e da temperatura de bulbo seco (T.B.S) =  $t_{\text{imax}}$  pode-se determinar a temperatura de bulbo úmido (T.B.U). Através do nomograma em anexo, determina-se então, a temperatura efetiva para as diferentes velocidades de vento, o que permite saber se o recinto analisado está dentro ou fora da zona de conforto térmico.

De acordo com FROTA-2008, a temperatura efetiva é um índice de conforto e foi definida pela correlação entre as sensações de conforto e as condições de temperatura, umidade e velocidade do ar, procurando concluir quais são as condições para a sensação de conforto térmico. É um índice subjetivo, e essas correlações são apresentadas sob a forma de nomograma.

## 8.2 Cálculo do conforto térmico

Diversas hipóteses simplificadoras foram tomadas a título de permitir uma primeira abordagem, sabendo o leitor que uma abordagem mais complexa requer um estudo mais aprofundado, o que não é escopo deste trabalho.

As hipóteses acerca da geometria do edifício são apresentadas a seguir:

- o volume do edifício foi simplificado a um paralelepípedo de 190m de comprimento, 12 de altura e 21m de largura (considerou-se a altura  $h=12$ , que correspondente à altura do invólucro translúcido);
- os materiais componentes desse modelo hipotético foram reduzidos a três: a cobertura constituída de telha sanduiche; a superfície translúcida em vidro protegidas pelo brise e a superfície opaca em concreto aparente;
- os materiais que constituem o invólucro do edifício se distribuem simetricamente sobre o paralelepípedo;
- para o cálculo da inércia térmica foi considerado apenas os elementos estruturais em concreto. Externamente, as empenas e paredes e,

internamente, as vigas da ferrovia e os pilares. Os elementos em aço foram desconsiderados por contribuir pouco para a inércia térmica devido ao baixo peso específico em relação ao concreto.

- o calor dissipado pelos equipamentos no subsolo é lançado diretamente ao exterior pelo sistema de ventilação, de modo que não foi levado em conta no cálculo de ganhos de calor.

### Dados:

#### Elementos de concreto:

$d=2400$  [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\lambda=1,75$  [W/m°C]  
 $\alpha=0,7$  cinza (absorção radiação solar - Anexo 10)  
 $m^2$  (empena);  $e=0,25m$  (espessura da empena)  
 $A_{face}=840$

#### Vidro + Caixilho +Proteção externa

$Str=0,07$  (Fator solar- anexo 11 tabela 2)  
 $h=12$  [m]  
 $A_{face}=180$   
 $0$  [m<sup>2</sup>]  
 $K=5,7$  [W/m°C] (vidro comum)

#### Cobertura

$d=50$  [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\alpha=0,3$  (branca)  
 $A=3800$  [m<sup>2</sup>];  $e=0,05m$  (espessura da telha sanduíche)  
 $\lambda=0,04$  [W/m°C] (telha sanduíche – dado comercial)

### Clima (São Paulo - Dezembro)

- $T_s = 30,7^\circ$  - temperatura máxima observada no mês mais quente;
- $T_d = 24,6^\circ$  - média das máximas diárias do mês mais quente;
- $t_s = 13,8^\circ$  - temperatura mínima observada no mês mais quente;
- $t_d = 17,4^\circ$  - média das mínimas diárias do mês mais quente;

A partir dos dados de clima determina-se a temperatura externa média  $\bar{t}_e = 21,6^\circ C$  e a elongação  $E = 6^\circ C$  a partir das relações 9, 10 e 11. Esses valores serão usados mais adiante no cálculo da temperatura máxima interna.

**a) Cálculo do coeficiente global de transmissão térmica K dos materiais constituintes da interface exterior/interior**

Usando a relação:  $\frac{1}{K} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda}$ , onde:

- e é a espessura do material;
- $\lambda$  é o coeficiente de condutibilidade térmica do material [W/m°C];
- $h_e$  e  $h_i$  é o valor de condutância superficial para paredes externas internas respectivamente [W/m<sup>2</sup> °C]; os valores são apresentados abaixo:

1/h <sub>e</sub> +1/h <sub>i</sub>	0,17	paredes externas verticais)
	0,14	parede horizontal - fluxo ascendente
	0,22	parede horizontal - fluxo descendente

Tem-se portanto para a empena K=3,2 W/m°C e para a cobertura K=0,6 W/m°C.

**b) Cálculo de ganhos de calor**

Os ganhos devido à radiação solar incidente foram calculados utilizando-se as relações 1 e 2. Tem-se, em função de I<sub>g</sub>:

$$Q_{\text{empena}} = 94 I_g \text{ [W];}$$

$$Q_{\text{cobertura}} = 33,4 I_g \text{ [W];}$$

$$Q_{\text{sup translúcida}} = 126 I_g \text{ [W]}$$

O efeito de proteção dos brises já está embutido no valor de Str =0,07 (fator solar de proteção das vidraças no anexo).

A tabela abaixo representa o ganho de calor para cada hora uma vez substituído o valor da radiação solar incidente I<sub>g</sub> [W/m<sup>2</sup>] nas expressões acima. Os valores de I<sub>g</sub> foram obtidos dos dados de radiação solar incidente sobre planos verticais e horizontais para a latitude 23°30'- dezembro 22 (fonte: FROTA 2007 apud Gonçalves 1955).

Solstício de Verão - Dezembro 22									
hora (h)	Fachada SUL			Fachada NORTE			Cobertura		TOTAL [W]
	lg	Empena	Envidraçado	lg	Empena	Envidraçado	lg	Telha	
6h	114	10712,9	14364,0	20,0	1879,5	2520,0	81,0	2711,9	32188,2
7h	208	19546,3	26208,0	40,0	3758,9	5040,0	317,0	10613,3	65166,5
8h	195	18324,7	24570,0	50,0	4698,6	6300,0	575,0	19251,2	73144,5
9h	151	14189,9	19026,0	58,0	5450,4	7308,0	811,0	27152,6	73126,8
10h	106	9961,1	13356,0	63,0	5920,3	7938,0	990,0	33145,5	70320,9
11h	74	6954,0	9324,0	68,0	6390,1	8568,0	1108,0	37096,2	68332,3
12h	63	5920,3	7938,0	66,0	6202,2	8316,0	1138,0	38100,6	66477,1
13h	74	6954,0	9324,0	68,0	6390,1	8568,0	1108,0	37096,2	68332,3
14h	106	9961,1	13356,0	63,0	5920,3	7938,0	990,0	33145,5	70320,9
15h	151	14189,9	19026,0	58,0	5450,4	7308,0	811,0	27152,6	73126,8
16h	195	18324,7	24570,0	50,0	4698,6	6300,0	575,0	19251,2	73144,5
17h	208	19546,3	26208,0	40,0	3758,9	5040,0	317,0	10613,3	65166,5
18h	114	10712,9	14364,0	20,0	1879,5	2520,0	81,0	2711,9	32188,2

Tabela 8.2.1: Ganhos de calor por radiação solar incidente. Obs: os ganhos pela fachada leste e oeste são inexpressivos em relação à norte e sul devido à de proporção entre largura e comprimento da estação.

Os ganhos devido à ocupação foram calculados de acordo com a fórmula 3 em que se atribuiu arbitrariamente o valor  $n = 1000$  como sendo o número médio de pessoas que ocupam constantemente a estação. Além disso, foi considerado como calor cedido ao ambiente pelo usuário o valor de  $75W$ , que corresponde à atividade de uma pessoa andando. Sendo assim:

$$Q_e = 75000 \text{ W}$$

O valor total de ganhos de calor é igual à somatória das quantidades calculadas acima, ou seja:

$$Q_{\text{total}} = 73144,5 + 75000 = 148145 \text{ W}$$

### c) Cálculo de perdas de calor

Usando as relações 4 e 5 para superfícies opacas e translúcidas, pode-se calcular as perdas de calor em função da diferença de temperatura interna e externa  $\Delta t$  [°C]:

$$Q'_{\text{empena}} = 5369,8 \Delta t \text{ [W];}$$

$$Q'_{\text{cobertura}} = 2342 \Delta t \text{ [W]; (fluxo ascendente)}$$

$$Q'_{\text{sup translucida}} = 20520 \Delta t \text{ [W]}$$

As perdas devido à ventilação são calculadas de acordo com a Eq.6 e adota-se arbitrariamente o número de trocas de ar  $N$  do volume de análise. Este valor é verificado mais adiante ao se calcular o fluxo de de ventilação, seja por efeito chaminé, seja pela ação dos ventos. Portanto, para  $N=1$  troca/hora e  $V=12 \times 190 \times 21 = 47880 \text{ m}^3$  temos:

$$Q'_{\text{vent}} = 44990 \Delta t \text{ [W]}$$

A perda total de calor (em função de  $\Delta t$ ) é dada por:

$$Q'_{\text{total}} = 5369,8 \Delta t + 2342 \Delta t + 20520 \Delta t + 44990 \Delta t = 44990 \Delta t \text{ [W]}$$

#### **d) Balanço térmico**

Da relação 7 de termina-se a diferença de temperatura interna e externa  $\Delta t$ :

$$Q_{\text{total}} = Q'_{\text{total}}$$

$$148145 = 44990 \Delta t$$

$$\Delta t = 3,3^\circ\text{C}$$

#### **e) Cálculo da temperatura interna máxima resultante**

Deve-se antes fazer uma análise da inércia térmica do edifício. A inércia térmica permite envolver nos cálculos o atraso ou amortecimento que uma variação da temperatura externa causará sobre a interna. Para isso utiliza-se o conceito de superfície equivalente pesada em relação à área do piso do local. Neste conceito, calcula-se a soma das áreas dos elementos internos: paredes, piso e teto multiplicados por um coeficiente que é função do peso do elemento e da resistência térmica de seus revestimentos. Levando em conta as hipóteses descritas anteriormente, temos que:

$$E = \frac{\text{superfície equivalente pesada}}{\text{área do piso}} = 1,495 ,$$

o que classifica a inércia do edifício como fraca. Portanto,  $m = 0,6$ .

Pode-se calcular a temperatura interna máxima a partir da relação 8:

$$t_{i\max} = 25,31 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (= temperatura de bulbo seco T.B.S.)}$$

#### **f) Cálculo da temperatura efetiva**

De posse da temperatura de bulbo seco T.B.S. = 25,31°C e da umidade relativa do ar UR = 80% (adotado para pior caso de sensação térmica), pode-se calcular a partir da carta psicrométrica de São Paulo, em anexo, a temperatura de bulbo úmido: T.B.U. = 23,5°C, que é um dos dados de entrada do nomograma de temperatura efetiva.

Considerando duas situações de velocidade do ar internamente pode-se calcular através do nomograma (ver anexo) a temperatura efetiva:

$$\text{para } v_o = 0,5\text{m/s; } TE = 23^{\circ}\text{C}$$

$$\text{para } v_o = 1,0\text{m/s; } TE = 22^{\circ}\text{C (no limite da zona de conforto)}$$

Estes valores encontram-se dentro da região de conforto. Lembrar que a temperatura efetiva é um índice de conforto térmico e sujeito, portanto, a uma série de variáveis como, por exemplo: vestimenta, condições de saúde do indivíduo e aclimatação.

#### **g) Verificação da Ventilação**

Levou-se em conta que há somente ventilação por efeito chaminé, o que é uma simplificação da realidade, já que pode ocorrer também ventilação por efeito da ação do vento que depende da pressão, velocidade e ângulo de incidência predominante do vento sobre as fachadas. Uma análise mais apurada deve ser feita para o cálculo da influência conjunta da ventilação sobre as perdas de calor, que não será feita neste trabalho.

O cálculo do fluxo devido ao efeito chaminé é dado por:

$$\Phi_c = 0,14 \times A \sqrt{H \times \Delta t'} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Onde:

A – o menor valor entre a área total de abertura de entrada (embaixo) ou de saída (mais alta).  $A = 45\text{m}^2$



H – distância entre as duas aberturas; H = 4m

$$\Delta t' - \Delta t(1-m) = 3,3(1-0,6) = 1,32^{\circ}\text{C}$$

logo,  $\Phi_c = 36,5 \text{ m}^3/\text{s}$  . Portanto, o número de trocas de ar é determinado pela relação entre o volume de análise e o fluxo e vale  $N = 1,08$ . Este valor é próximo do estimado inicialmente.

A área  $A=45\text{m}^2$  de abertura permite projetar dimensionar as aberturas zenitais e laterais da estação para garantir o fluxo de ventilação.

## 9 DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS DA ESTAÇÃO

### 9.1 Cobertura e fechamento lateral

A cobertura será composta por telhas sanduíche que se apoiam nas terças, estas, com espaçamento de 2,5m entre si, se apoiam nas vigas secundárias. As vigas secundárias, que se repetem a cada 5,5m, se apoiam nas vigas principais a cada 7,5m nos montantes a fim de transferir os esforços verticais para os pilares, conforme figuras abaixo:

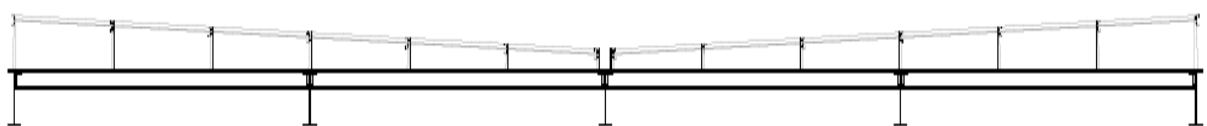


Figura 9.1.1- Corte longitudinal de dois módulos da cobertura

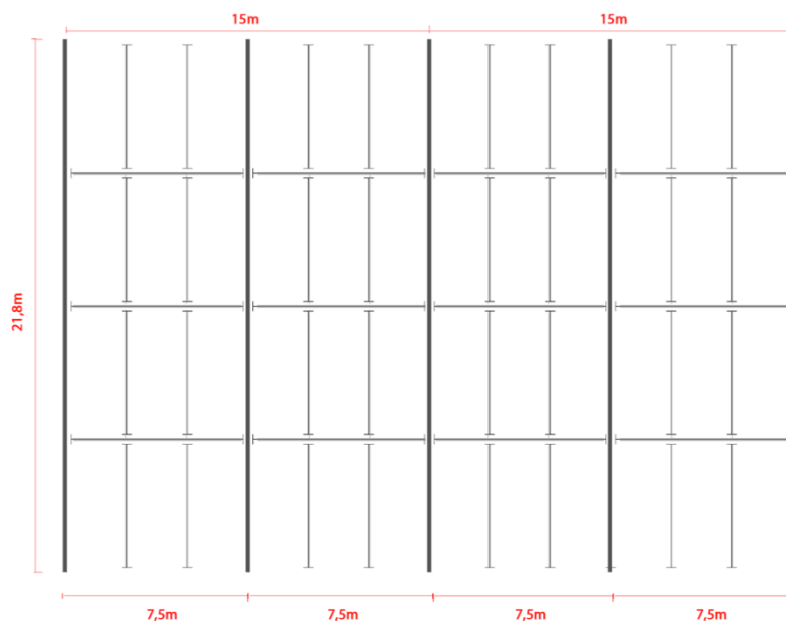


Figura 9.1.2 - Projeto unifilar da cobertura

### 9.1.1 Terças

As terças serão metálicas formadas a frio com perfil U enrijecido.

#### 9.1.1.1 Esforços atuantes

##### a) Peso Telha Sanduíche – $0,15 \text{ KN/m}^2$

Esforços serão considerados como uma carga uniformemente distribuída ao longo da área da cobertura baseando-se na área de influência da carga.

##### b) Peso Próprio (U enrijecido) – $0,05 \text{ KN/m}$

Esforços gerados pelo peso próprio da viga, considerados como uma carga linear uniformemente distribuída ao longo do eixo do perfil U enrijecido (terça).

##### c) Sobrecarga – $0,25 \text{ KN/m}^2$

Esforços gerados por sobrecarga serão considerados como uma carga linear uniformemente distribuída ao longo do eixo do perfil U enrijecido (terça).

##### d) Sobre Carga Adicional – $0,10 \text{ KN/m}^2$

Esforços serão considerados como uma carga linear uniformemente distribuída ao longo do eixo do perfil U enrijecido (terça).

### 9.1.1.2 Cálculo dos Esforços atuantes:

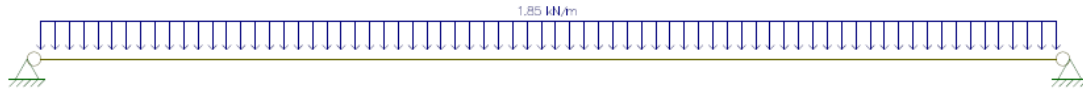


Figura 9.1.1.2.1 – Cargas sobre terças

$$(g + q)_d = 1,3 \times (0,15 \times 2,5) + 0,05 + 1,5 \times (0,35 \times 2,5) = 1,85 \text{ KN / m}^2$$

$$M_{dx} = 1,85 \times (5,5^2) / 8 = 7 \text{ KNm}$$

$$V_x = (1,85 \times 5,5) / 2 = 10,2 \text{ KN}$$

Relação entre esforços solicitantes e esforços resistentes.

$$M_{rdx} = W_x \times f_y / 1,1$$

$$M_{dx} = 1,85 \times (5,5^2) / 8 = 7 \text{ KNm} \rightarrow W_x > 35,0.$$

Da tabela de perfis metálicos formados a frio temos o perfil Ue 150 x 60 x 20 x 2,66 que atende aos requisitos.

## 9.1.2 Viga Secundária

### 9.1.2.1 Esforços atuantes

#### a) Peso Telha Sanduíche + Terças – 5,1 KN

Esforços serão considerados como uma carga pontual, aplicada a cada 2,5m. Nesse valor já estão considerados os efeitos da sobrecarga.

#### b) Peso Próprio (perfil I) – 0,3 KN/m

Esforços serão considerados como uma carga linear uniformemente distribuída ao longo do eixo do perfil U enrijecido (terça).

### 9.1.2.2 Cálculo dos Esforços atuantes

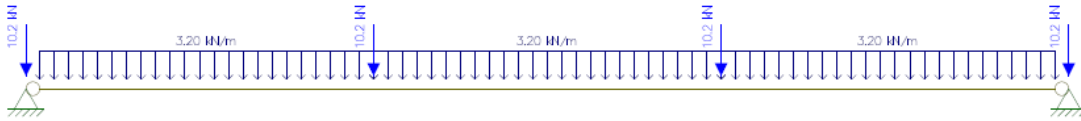


Figura 9.1.2.2.1 – Cargas sobre viga secundária

$$(g + q)_d = 0,3 \text{ kN / m}$$

$$M_{dx} = 0,3 \times (7,5^2) / 8 + 2,5 \times 10,2 = 27,6 \text{ kN x m}$$

$$V_x = (4 \times 10,2 + 0,3 \times 7,5) / 2 = 21,5 \text{ kN}$$

Para o cálculo da flecha máxima consideraremos os esforços como sendo 3,9 kN / m uniformemente distribuídos ao longo do eixo da viga secundária, assim temos a flecha máxima:

$$\Delta / l = (5 \times q \times l^3) / (384 \times E \times I_x) < 1 / 250 \rightarrow I_x > 2612,6 \text{ cm}^4$$

Relação entre esforços solicitantes e esforços resistentes:

$$M_{rdx} = Z_x \times f_y / 1,1 > M_{dx} = 27,6 \text{ kN x cm} \rightarrow Z_x > 88,0 \text{ cm}^3$$

Da tabela de perfis metálicos soldados, temos o perfil I 250x25 que atende os requisitos.

$$b_f = 160 \text{ mm}, t_f = 6,3 \text{ mm}, h = 237 \text{ mm}, t_w = 4,75 \text{ mm}, d = 250 \text{ mm}.$$

$$Z_x = 312 \text{ cm}^3, I_x = 3611 \text{ cm}^4, \lambda_r = 114 \text{ cm}, r_x = 10,72 \text{ cm}, r_y = 3,7 \text{ cm}.$$

Verificação:

$$Z_x = 312 > 88 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{OK!}$$

$$I_x = 3611 > 2612,6 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{OK!}$$

- Instabilidade Lateral

$$\lambda_r = 114 \text{ cm}$$

$$\lambda_p = 1,76 \times (E / f_y)^{(1 / 2)} = \mathbf{42,38 \text{ cm}}$$

$$\lambda_x = l / r_x = 750 / 10,72 = \mathbf{69,96 \text{ cm}}$$

$$\lambda_y = l / r_y = 375 / 3,7 = 101,4$$

$$\rightarrow \lambda_p = \mathbf{42,38} < \lambda_y = \mathbf{101,40} < \lambda_r = \mathbf{118} \rightarrow \text{regime elastoplástico}$$

$$M_p = Z_x \times f_y = \mathbf{10764 \text{ KN x cm}}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \times w_x = \mathbf{6979,35 \text{ KN x cm}}$$

$$M_{rk} = M_p - (M_p - M_r) \times ((\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) = \mathbf{9383,67 \text{ KN x cm}}$$

$$M_{rd} = M_{rk} / 1,1 = 8530,61 \text{ KN x cm} > M_{dx} = 27,6 \text{ KN x m} \rightarrow \text{OK!}$$

- Instabilidade Local de Mesa e Alma

Mesa:

Valor máximo de esbeltez de chapa para a alma = 9,2

$$\lambda = b_f / (2 \times t_f) = 12,7 > 9,2$$

$$\lambda_p = 0,38 \times (E / f_y)^{(1 / 2)} = 9,15$$

$$K_c = 4 / (h / t_w)^{(1 / 2)} = 0,57$$

$$\lambda_x = 0,95 \times ((E \times K_c) / (f_y - \sigma_r))^{(1 / 2)} = 20,64$$

$$\rightarrow \lambda_p = \mathbf{9,2} < \lambda_y = \mathbf{12,7} < \lambda_r = \mathbf{20,6} \rightarrow \text{regime elastoplástico}$$

$$M_p = Z_x \times f_y = \mathbf{10764 \text{ KN x cm}}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \times w_x = \mathbf{6979,35 \text{ KN x cm}}$$

$$M_{rk} = M_p - (M_p - M_r) \times ((\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) = \mathbf{9590,59 \text{ KN x cm}}$$

$$M_{rd} = M_{rk} / 1,1 = \mathbf{8718,72 \text{ KN x cm}} > M_{dx} = 27,6 \text{ KN x m} \rightarrow \text{OK!}$$

Alma:

Valor máximo de esbeltez de chapa para a alma = 91,6

$$\lambda = h / t_w = 49,89 < 91,6 \rightarrow \text{OK!}$$

### 9.1.3 Viga Principal

#### 9.1.3.1 Viga principal articulada – Esforços atuantes

##### a) Peso Telha Sanduíche + Terças + Vigas Secundárias – 43,05 KN

Esforços serão considerados como uma carga pontual, sendo considerados duas vezes no calculo dos esforços solicitantes das vigas principais, pois em cada viga secundaria se apoiam duas vigas secundárias (uma de cada lado).

##### b) Peso Próprio (perfil I) – 1 KN/m

Esforços serão considerados como uma carga linear uniformemente distribuída ao longo do eixo do perfil U enrijecido (terça).

#### 9.1.3.2 Cálculo dos Esforços atuantes

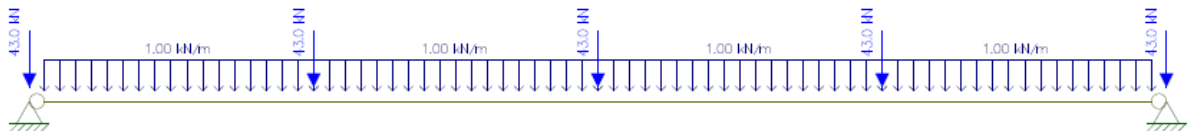


Figura 9.1.3.2.1 – Cargas sobre viga principal articulada

$$(g+q)_d = 1 \text{ KN / m}$$

$$M_{dx} = 1 \times (22^2) / 8 + 16,5 \times 43,05 - 11 \times 118,6 = \mathbf{534,05 \text{ KN x m}}$$

$$V_x = (5 \times 43,05 + 1 \times 22) / 2 = \mathbf{118,6 \text{ KN}}$$

Para o calculo da flecha máxima são considerados os esforços como sendo 8,8 KN/m uniformemente distribuído ao longo do eixo da viga secundária, assim temos a flecha máxima:

$$\Delta / l = (5 \times q \times l^3) / (384 \times E \times I_x) < 1 / 250 \rightarrow \mathbf{I_x > 148.790,6 \text{ cm}^2}$$

Relação entre esforços solicitantes e esforços resistentes:

$$M_{rdx} = Z_x \times f_y / 1,1 > M_{dx} = 534,05 \text{ KN x m} \rightarrow \mathbf{Z_x > 1.702,8 \text{ cm}^3}$$

Da tabela de perfis metálicos soldados, temos o perfil I 800x111 que atende aos requisitos.

$$b_f = 320 \text{ mm}, t_f = 12,5 \text{ mm}, h = 775 \text{ mm}, t_w = 8 \text{ mm}, d = 800 \text{ mm}.$$

$$Z_x = 4351 \text{ cm}^4, I_x = 155074 \text{ cm}^4, \lambda_r = 111 \text{ cm}, r_x = 33,05 \text{ cm}, r_y = 6,94 \text{ cm}.$$

### **Verificação:**

$$Z_x = 4351 > 1702,8 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{OK!}$$

$$I_x = 155074 > 148790,6 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação de Instabilidade Lateral:

$$\lambda_t = 111$$

$$\lambda_y = l / r_y = 550 / 6,94 = 79,3$$

$$\lambda_x = l / r_x = 2200 / 33,05 = 66,6 \rightarrow$$

$$\lambda_p = 1,76 \times (E / f_y)^{1/2} = 42,38$$

$$\rightarrow \lambda_p = 42,38 < \lambda_y = 79,30 < \lambda_t = 111 \rightarrow \text{regime elastoplástico}$$

$$M_p = Z_x \times f_y = \mathbf{150109,5 \text{ KN x cm}}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \times w_x = \mathbf{93629,55 \text{ KN x cm}}$$

$$M_{rk} = M_p - (M_p - M_r) \times ((\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) = \mathbf{119721,28 \text{ KN x cm}}$$

$$M_{rd} = M_{rk} / 1,1 = \mathbf{108837,53 \text{ KN x cm} > M_{dx} = 534,05 \text{ KN x m} \rightarrow \text{OK!}}$$

### **Instabilidade Local de Mesa e Alma**

Mesa:

Valor máximo de esbeltez de chapa para a alma = 9,2

$$\lambda = b_f / (2 \times t_f) = 12,8 > 9,2$$

$$\lambda_p = 0,38 \times (E / f_y)^{1/2} = 9,15$$

$$K_c = 4 / (h / t_w)^{1/2} = 0,41$$

$$\lambda_r = 0,95 \times ((E \times K_c) / (f_y - \sigma_r))^{1/2} = 17,51$$

$$\rightarrow \lambda_p = 9,2 < \lambda = 12,8 < \lambda_r = 17,5 \rightarrow \text{regime elastoplástico}$$

$$M_p = Z_x \times f_y = 150109,5 \text{ KN x cm}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \times w_x = 93629,6 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rk} = M_p - (M_p - M_r) \times ((\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) = 125420,4 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rd} = M_{rk} / 1,1 = 114018,5 \text{ KN x cm} > M_{dx} = 534,05 \text{ KN x m} \rightarrow \text{OK!}$$

Alma:

$$\lambda = h / t_w = 96,9 > 91,6$$

$$\lambda_p = 3,76 \times (E / f_y)^{1/2} = 90,5$$

$$\lambda_r = 5,7 \times (E / (f_y - \sigma_r))^{1/2} = 137,2$$

$$\rightarrow \lambda_p = 90,5 < \lambda = 91,6 < \lambda_r = 137,2 \rightarrow \text{regime elastoplástico}$$

$$M_p = Z_x \times f_y = 150109,5 \text{ KN x cm}$$

$$M_r = w_x \times f_y = 93629,6 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rk} = M_p - (M_p - M_r) \times ((\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) = 148778,65 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rd} = M_{rk} / 1,1 = 135253,32 \text{ KN x cm} > M_{dx} = 534,05 \text{ KN x m} \rightarrow \text{OK!}$$

### 9.1.3.3 Viga principal engastada – Esforços atuantes

Para o calculo dos esforços atuantes na viga principal com ligação rígida com os montantes, utilizamos o programa Ftool considerando que a estrutura se comporta como um pórtico, conforme figura abaixo:



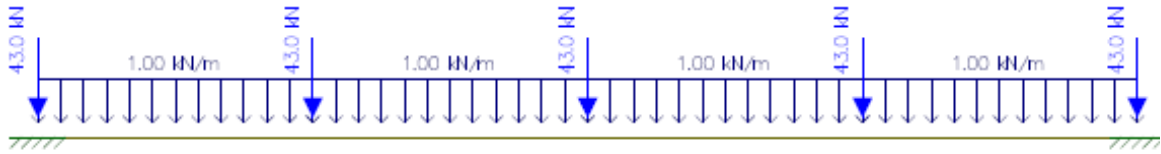


Figura 9.1.3.3.1 – Cargas sobre viga principal

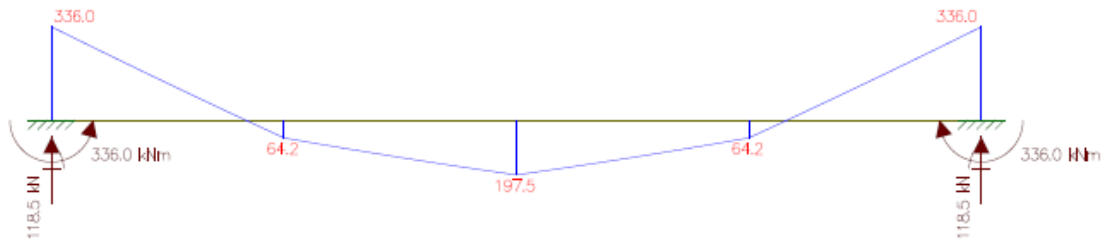


Figura 9.1.3.3.2– Momentos fletores sobre viga principal engastada

$$M_{dx} = 197,5 \text{ KN x m (meio do vão)}$$

$$M_{dx} = 336 \text{ KN x m (apoio)}$$

$$V_x = 118,5 \text{ KN}$$

Para o cálculo da flecha máxima foram considerados os esforços como sendo 3,90 kN/m uniformemente distribuídos ao longo do eixo da viga secundária, assim temos a flecha máxima:

$$\Delta / l = (p \times l^3) / (384 \times E \times I_x) < 1 / 250 \rightarrow I_x > \mathbf{131882,6 \text{ cm}^3}$$

Relação entre esforços solicitantes e esforços resistentes:

$$M_{rdx} = Z_x \times f_y / 1,1 > M_{dx} = 336 \text{ KN x m} \rightarrow \mathbf{Z_x > 1071,3 \text{ cm}^3}.$$

Da tabela de perfis metálicos soldados, temos o perfil I 800x111 que atende aos requisitos.

$$b_f = 320 \text{ mm}, t_f = 12,5 \text{ mm}, h = 775 \text{ mm}, t_w = 8 \text{ mm}, d = 800 \text{ mm}.$$

$$Z_x = 4351 \text{ cm}^3, I_x = 155074 \text{ cm}^4, \lambda_r = 111 \text{ cm}, r_x = 33,05 \text{ cm}, r_y = 6,94 \text{ cm}.$$

**Verificação:**

$$Z_x = 4351 > 1071,3 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{OK!}$$

$$I_x = 155074 > 131882,6 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação de Instabilidade Lateral:

$$\lambda_t = 111$$

$$\lambda_y = l / r_y = 550 / 6,94 = 79,3$$

$$\lambda_x = l / r_x = 2200 / 33,05 = 66,6 \rightarrow$$

$$\lambda_p = 1,76 \times (E / f_y)^{1/2} = 42,38$$

$$\rightarrow \lambda_p = 42,38 < \lambda_y = 79,30 < \lambda_t = 111 \rightarrow \text{regime elastoplástico}$$

$$M_p = Z_x \times f_y = 150109,5 \text{ KN x cm}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \times w_x = 93629,55 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rk} = M_p - (M_p - M_r) \times ((\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) = 119721,28 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rd} = M_{rk} / 1,1 = 108837,53 \text{ KN x cm} > M_{dx} = 336 \text{ KN x m} \rightarrow \text{OK!}$$

#### Instabilidade Local de Mesa e Alma

Mesa:

Valor máximo de esbeltez de chapa para a alma = 9,2

$$\lambda = b_f / (2 \times t_f) = 12,8 > 9,2$$

$$\lambda_p = 0,38 \times (E / f_y)^{1/2} = 9,15$$

$$K_c = 4 / (h / t_w)^{1/2} = 0,41$$

$$\lambda_r = 0,95 \times ((E \times K_c) / (f_y - \sigma_r))^{1/2} = 17,51$$

$$\rightarrow \lambda_p = 9,2 < \lambda = 12,8 < \lambda_r = 17,5 \rightarrow \text{regime elastoplástico}$$

$$M_p = Z_x \times f_y = 150109,5 \text{ KN x cm}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \times w_x = 93629,6 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rk} = M_p - (M_p - M_r) \times ((\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) = \mathbf{125420,4 \text{ KN x cm}}$$

$$M_{rd} = M_{rk} / 1,1 = \mathbf{114018,5 \text{ KN x cm}} > M_{dx} = 336 \text{ KN x m} \rightarrow \mathbf{OK!}$$

Alma:

$$\lambda = h / t_w = 96,9 > 91,6$$

$$\lambda_p = 3,76 \times (E / f_y)^{1/2} = 90,5$$

$$\lambda_r = 5,7 \times (E / (f_y - \sigma_r))^{1/2} = 137,2$$

$$\rightarrow \lambda_p = 90,5 < \lambda = 91,6 < \lambda_r = 137,2 \rightarrow \text{regime elastoplástico}$$

$$M_p = Z_x \times f_y = \mathbf{150109,5 \text{ KN x cm}}$$

$$M_r = W_x \times f_y = \mathbf{93629,6 \text{ KN x cm}}$$

$$M_{rk} = M_p - (M_p - M_r) \times ((\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) = \mathbf{148778,65 \text{ KN x cm}}$$

$$M_{rd} = M_{rk} / 1,1 = \mathbf{135253,32 \text{ KN x cm}} > M_{dx} = 336 \text{ KN x m} \rightarrow \mathbf{OK!}$$

#### 9.1.4 Montante com ligação articulada

##### 9.1.4.1 Esforços atuantes

###### Vertical

- a) **Peso Cobertura (telha sanduíche + terças + vigas secundárias + viga principal) – 43,05 KN**

Esses esforços são considerados como uma carga pontual.

- b) **Peso Próprio (perfil I) – 1 KN/m**

Esforços gerados pelo peso próprio da viga, aproximadamente 1 KN / m.

**Horizontal:****c) Carga do vento – 0,7 KN / m<sup>2</sup>**

Esforço horizontal gerado pela ação do vento, gerando flexão no montante.

Área de influencia:  $7,5\text{m} \times 1\text{m} = 7,5\text{m}^2$ , portanto carga do vento =  $5,25\text{KN/m}$

**9.1.4.2 Cálculo dos Esforços atuantes**

Para efeito de calculo consideramos que a carga do vento é diretamente aplicada nos montantes.

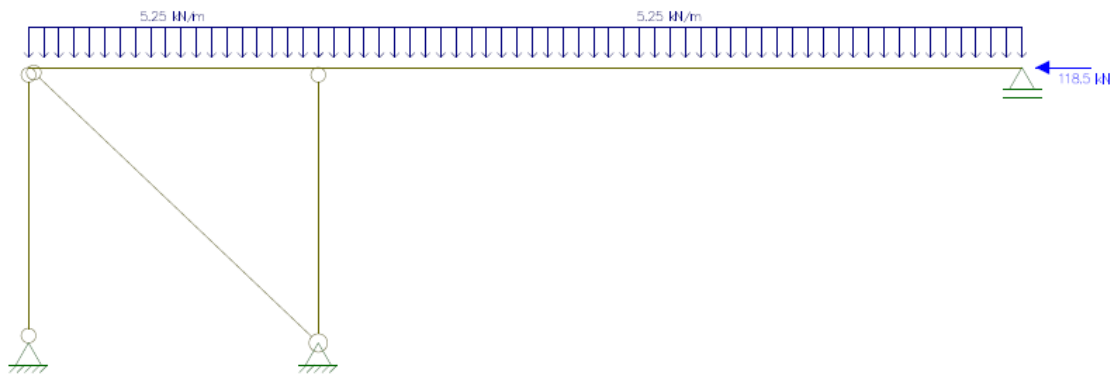


Figura 9.1.4.2.1 – Cargas sobre montante

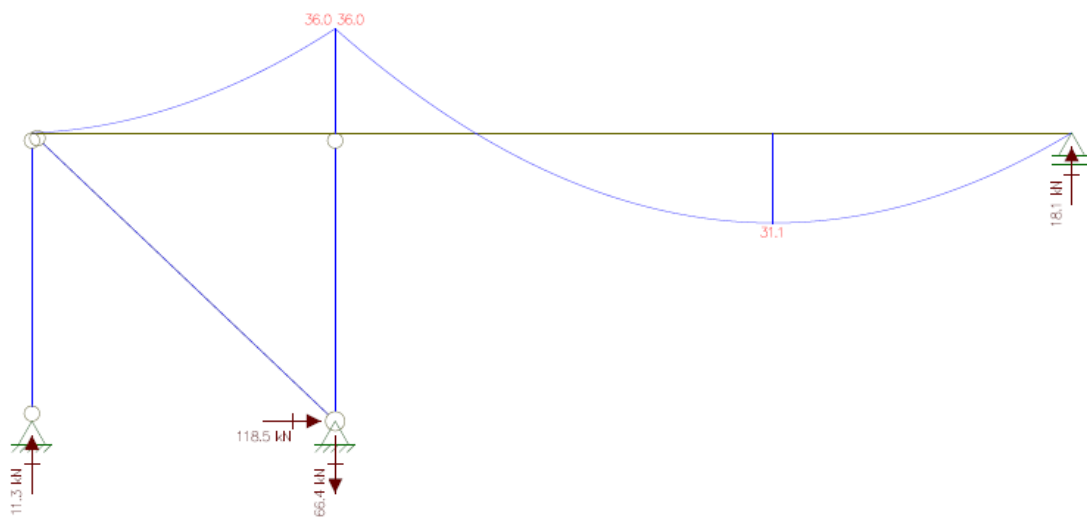


Figura 9.1.4.2.2 – Momentos fletores sobre montante

**Vertical – Compressão**

$$N_d = 118,5 \text{ KN}$$

**Horizontal – Flexão**

$$M_{dy} = 30,5 \text{ KN x m (vão)}$$

$$M_{dy} = 36,5 \text{ KN x m (apoio)} \rightarrow M_{r_{dy}} = Z_y \times f_y / 1,1 > M_{dy} = 36,5 \text{ KN x m} \rightarrow Z_y > 116,38 \text{ cm}^3.$$

$$\Delta / l = (5 \times p \times l^3) / (384 \times E \times I_x) < 1 / 250 \rightarrow I_x > 33497,2 \text{ cm}^4$$

Da tabela de perfis metálicos soldados, temos o perfil tubular 500x300 que atende os requisitos.

$$t_f = t_w = 8 \text{ mm}, d = 500 \text{ mm}, b = 300 \text{ mm}, A = 123,24 \text{ cm}^2,$$

$$Z_y = 1712 \text{ cm}^3, I_x = 42795 \text{ cm}^4, r_y = 18,63 \text{ cm}, r_x = 12,62 \text{ cm}.$$

**Verificação:****Compressão:**

$$\lambda_0 = 0,84 \rightarrow X = 0,744$$

$$N_{rd} = 0,744 \times 123,24 \times 34,5 / 1,1 = \mathbf{2875,7 \text{ KN} > 118,5 \text{ KN}}$$

**Flexão:**

$$Z_y = 1712 > 116,38 \text{ cm}^3, \rightarrow \text{OK!}$$

$$I_x = 42795 > 33497,2 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação de Instabilidade lateral:

$$\lambda_r = 114$$

$$\lambda_y = l / r_y = 42,9$$

$$\lambda_x = l / r_x = 63,39$$

$$\lambda_p = 1,76 \times (E / f_y)^{1/2} = 42,38$$

→  $\lambda_p = 42,38 < \lambda_y = 63,39 < \lambda_r = 114$  → regime elastoplástico

$$M_p = Z_y \times f_y = 59064 \text{ KN x cm}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \times w_x = 44097,9 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rk} = M_p - (M_p - M_r) \times ((\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) = 54673,64 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rd} = M_{rk} / 1,1 = 49703,31 \text{ KN x cm} > M_{dx} = 3650 \text{ KN x cm} \rightarrow \text{OK!}$$

### **Flexo Compressão**

$$N_d = 118,5 \text{ KN}$$

$$0,2 \times N_{rd} = 575,14 \text{ KN}$$

$$B_{1x} = 1,03 > 1,0 \rightarrow \text{OK!}$$

$$(N_d / 2 \times N_{rd}) + ((B_{1x} \times M_d) / M_{rd}) = 0,18 < 1,0 \rightarrow \text{OK!}$$

## **9.1.5 Montante pertencente ao pórtico**

### **9.1.5.1 Cálculo dos Esforços atuantes**

Para efeito de calculo consideramos que a carga do vento é diretamente aplicada nos montantes.

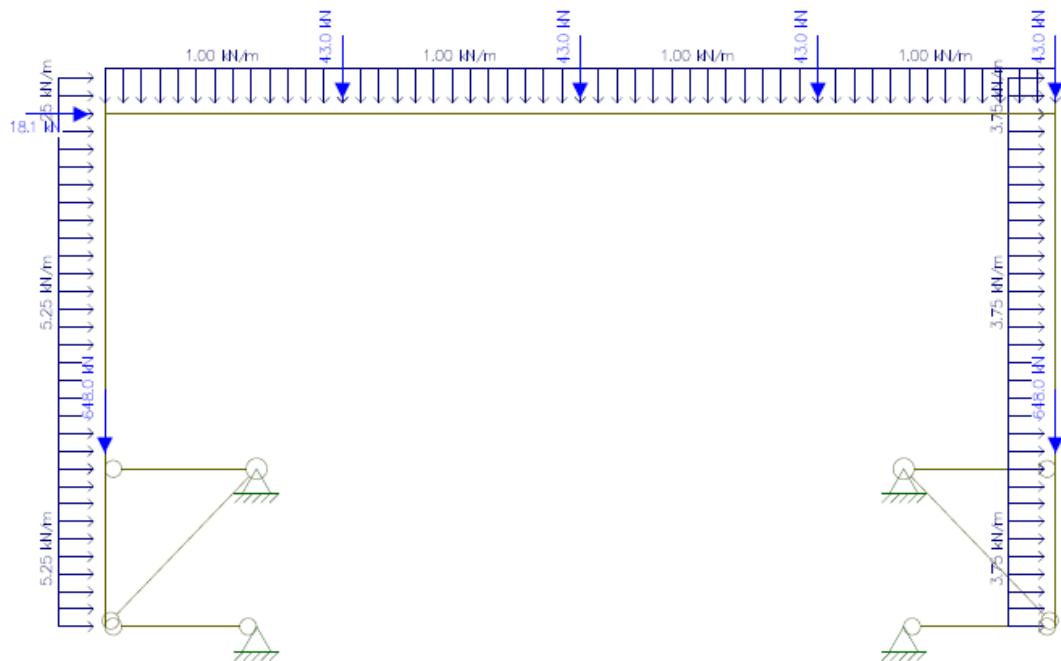


Figura 9.1.5.1.1– Cargas sobre pórtico

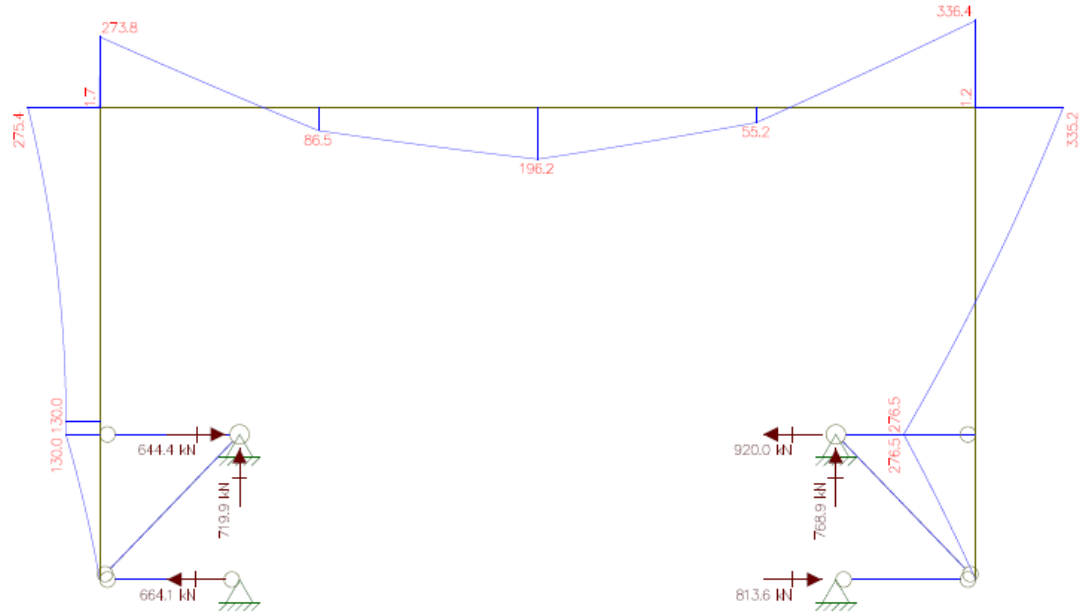


Figura 9.1.5.1.2 – Momentos fletores sobre pórtico

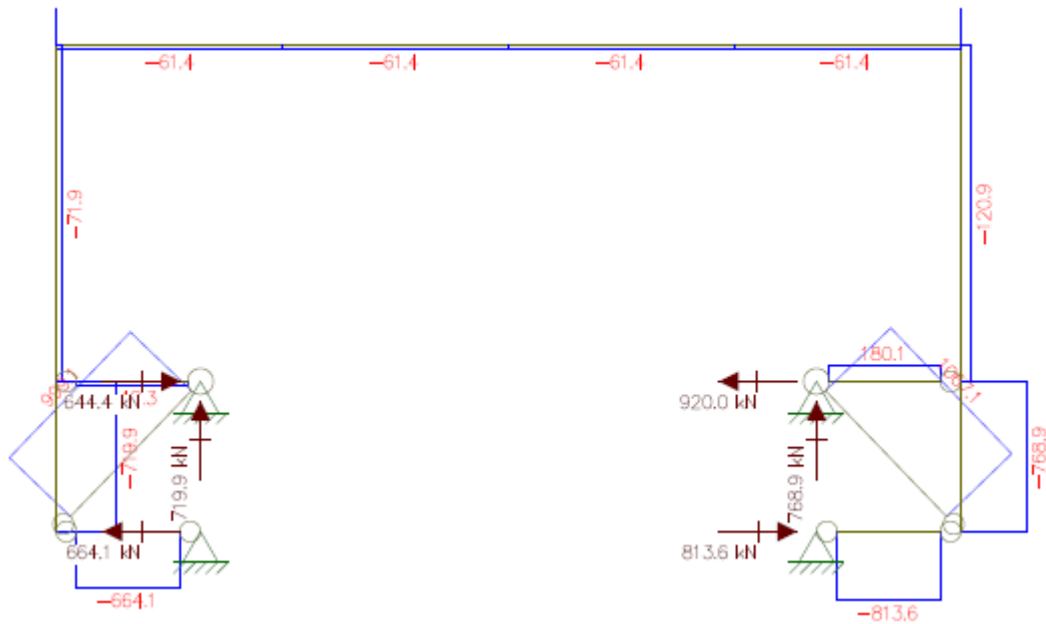


Figura 9.1.5.1.3 – Normais sobre elementos do pórtico

### Vertical – Compressão

$$N_d = 118,5 \text{ kN}$$

### Horizontal – Flexão

$$M_{dy} = 335,2 \text{ kN} \times \text{m} \rightarrow M_{rdy} = Z_y \times f_y / 1,1 > M_{dy} \rightarrow Z_y > 1068,7 \text{ cm}^3.$$

$$\Delta / l = (5 \times p \times l^3) / (384 \times E \times I_x) < 1 / 250 \rightarrow I_x > 57348,2 \text{ cm}^4$$

Da tabela de perfis metálicos soldados, temos o perfil tubular 500x300 que atende aos requisitos.

$$t_f = t_w = 12,5 \text{ mm}, d = 500 \text{ mm}, b = 300 \text{ mm}, A = 188,38 \text{ cm}^2,$$

$$Z_y = 2542 \text{ cm}^3, I_x = 42795 \text{ cm}^4, r_y = 18,37 \text{ cm}, r_x = 12,40 \text{ cm}.$$

### Verificação:

#### Compressão:

$$\lambda_0 = 0,84 \rightarrow \chi = 0,744$$

$$N_{rd} = 0,744 \times 123,24 \times 34,5 / 1,1 = \mathbf{2875,7 \text{ kN} > 118,5 \text{ kN}}$$



**Flexão:**

$$Z_y = 2542 > 1068,7 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{OK!}$$

$$I_x = 63548 > 57348,2 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação de Instabilidade Lateral

$$\lambda_r = 114$$

$$\lambda_y = l / r_y = 42,9$$

$$\lambda_x = l / r_x = 63,39$$

$$\lambda_p = 1,76 \times (E / f_y)^{1/2} = 42,38$$

$$\rightarrow \lambda_p = 42,38 < \lambda_y = 63,39 < \lambda_r = 114 \rightarrow \text{regime elastoplástico}$$

$$M_p = Z_y \times f_y = 87699 \text{ KN x cm}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \times W_x = 46995,9 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rk} = M_p - (M_p - M_r) \times ((\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) = 75758,59 \text{ KN x cm}$$

$$M_{rd} = M_{rk} / 1,1 = 68871,45 \text{ KN x cm} > M_{dx} = 33520 \text{ KN x cm} \rightarrow \text{OK!}$$

**Flexo Compressão**

$$N_d = 118,5 \text{ KN}$$

$$0,2 \times N_{rd} = 575,14 \text{ KN}$$

$$B_{1x} = 1,066 > 1,0 \rightarrow \text{OK!}$$

$$(N_d / 2 \times N_{rd}) + ((B_{1x} \times M_d) / M_{rd}) = 0,54 < 1,0 \rightarrow \text{OK!}$$

**9.1.6 Longarinas**

Perfil metálico componente da treliça, com articulada e carregamento somente normal à seção transversal (compressão).

**9.1.6.1 Cálculo dos Esforços atuantes**

**Compressão:**

$$N_d = 100 \text{ KN}$$

$$\lambda_0 = 1,58 \rightarrow X = 0,351$$

$$N_{rd} = (X \times A \times f_y) / 1,1 \rightarrow A > 9,08 \text{ cm}^2$$

Da tabela de perfis metálicos soldados, temos o perfil tubular 100x100 que atende aos requisitos.

$$b = 100 \text{ mm}, d = 100 \text{ mm}, t_w = t_f = 6,3 \text{ mm}, A = 23,61 \text{ cm}^2.$$

$$N_{rd} = 0,351 \times 23,61 \times 34,5 / 1,1 = \mathbf{259,9 \text{ KN} > 100 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}}$$

**9.1.7 Diagonais**

Perfil metálico que compõe a treliça, conectado com ligação articulada e carregamento somente normal à seção transversal (tração).

**9.1.7.1 Esforços atuantes**

Esforços considerados como uma carga pontual, sendo considerada duas vezes no cálculo dos esforços solicitantes das vigas principais, pois em cada viga secundária se apoiam duas vigas secundárias (uma de cada lado).

**9.1.7.2 Cálculo dos Esforços atuantes****Tração:**

$$N_d = 118,5 / (\sin(\arctg 5,1 / 7,5)) = 210,71 \text{ KN}$$

$$N_{rd} = (C_t \times A \times f_y) / 1,1 \rightarrow A > 7,46 \text{ cm}^2$$

Da tabela de perfis metálicos soldados, temos o perfil tubular 100x100 que atende aos requisitos.

$$b = 100 \text{ mm}, d = 100 \text{ mm}, t_w = t_f = 6,3 \text{ mm}, A = 23,61 \text{ cm}^2.$$

$$N_{rd} = (C_t \times A \times f_y) / 1,1 = \mathbf{666,45 \text{ KN} > 210,71 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}}$$

### 9.1.8 Mão Francesa

Peça metálica que suporta toda a carga da estrutura da cobertura e do fechamento lateral, para efeito de cálculo não foi considerado seu peso próprio.

Ligação articulada, carregamento somente normal à seção transversal tracionando.

#### 9.1.8.1 Esforços atuantes

##### a) Peso Cobertura + fechamento lateral – 1000KN

Esforços considerados como uma carga pontual, sendo considerados duas vezes no cálculo dos esforços solicitantes das vigas principais, pois em cada viga secundária se apoiam duas vigas secundárias (uma de cada lado).

#### 9.1.8.2 Cálculo dos Esforços atuantes

Tração:

$$N_d = 1000 \text{ KN}$$

$$N_{rd} = (C_t \times A \times f_y) / 1,1 \rightarrow A > 35,43 \text{ cm}^2$$

Da tabela de perfis metálicos soldados, temos o perfil tubular 200x150 que atende aos requisitos.

$$b = 200 \text{ mm}, d = 100 \text{ mm}, t_w = t_r = 6,3 \text{ mm}, A = 51,24 \text{ cm}^2.$$

$$N_{rd} = (C_t \times A \times f_y) / 1,1 = 1446,37 \text{ KN} > 1000 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

Resumo das dimensões dos perfis que compõe a cobertura e a treliça de fechamento lateral. Conforme figuras abaixo:

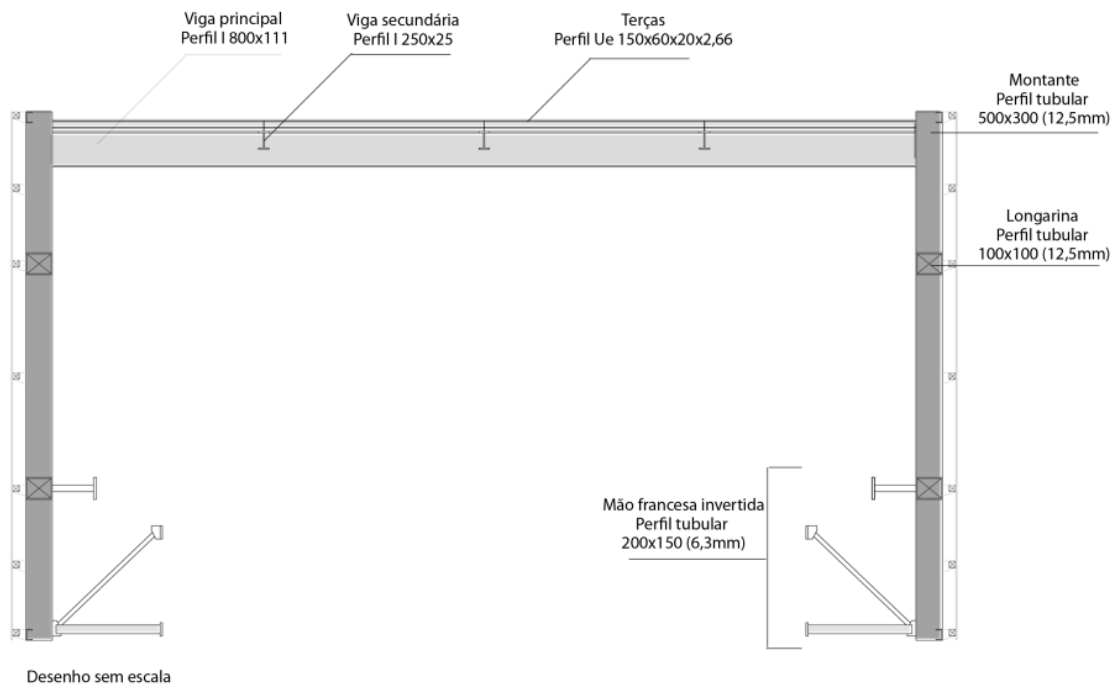


Figura 9.1.8.2.1 – Perfis componentes do pórtico da cobertura

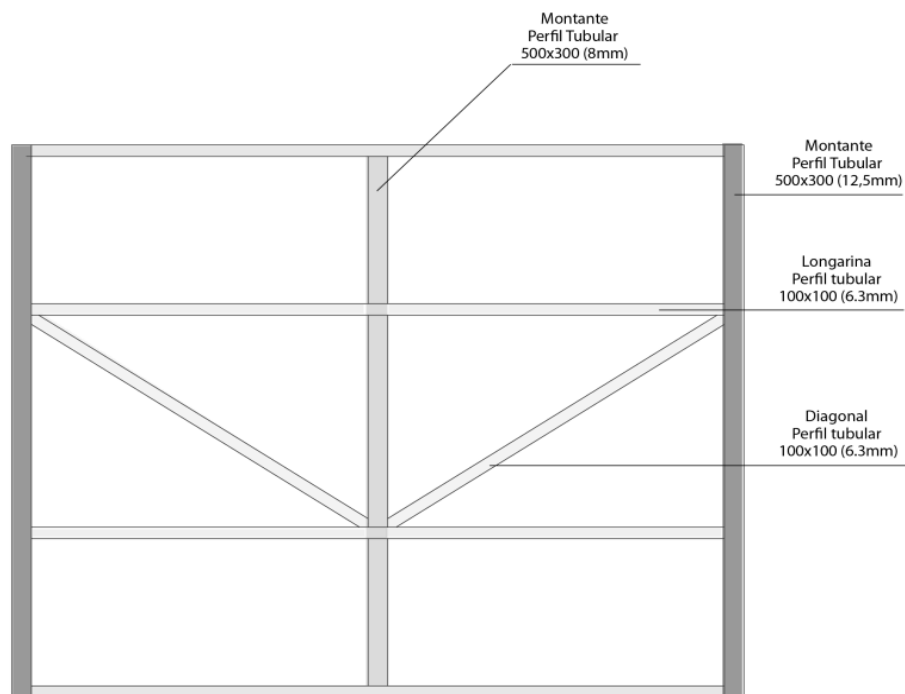


Figura 9.1.8.2.2 – Perfis componentes da treliça lateral

## 9.1.9 Travamentos

### 9.1.9.1 Visão geral dos travamentos

A seguir é apresentada a planta unifilar da cobertura:

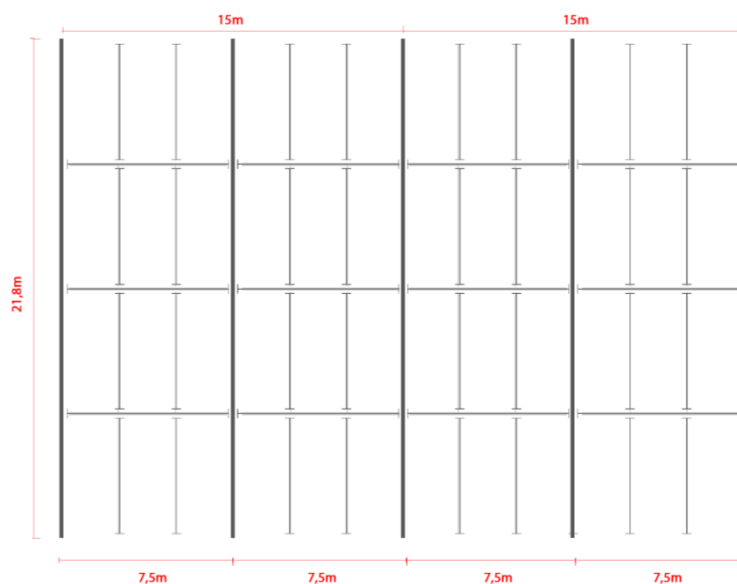


Figura 9.1.9.1.1 - Planta unifilar da cobertura, sem travamentos.

Foram adotados travamentos para garantir:

- Rigidez da estrutura, tanto em serviço quanto na fase de montagem.
- Resistir e distribuir esforços horizontais na cobertura provenientes do vento.
- Assegurar a estabilidade das peças mais longas.
- Reduzir a esbeltez das peças aos limites recomendados pelas normas.

### 9.1.9.2 Travamento das Terças

Com a intenção de reduzir a esbeltez e o comprimento de flambagem, resistir os esforços provenientes do vento e garantir a estabilidade das terças, adotou-se travamentos de corrente de barra rígida de seção circular de 9,3mm. Dispostos conforme figura:

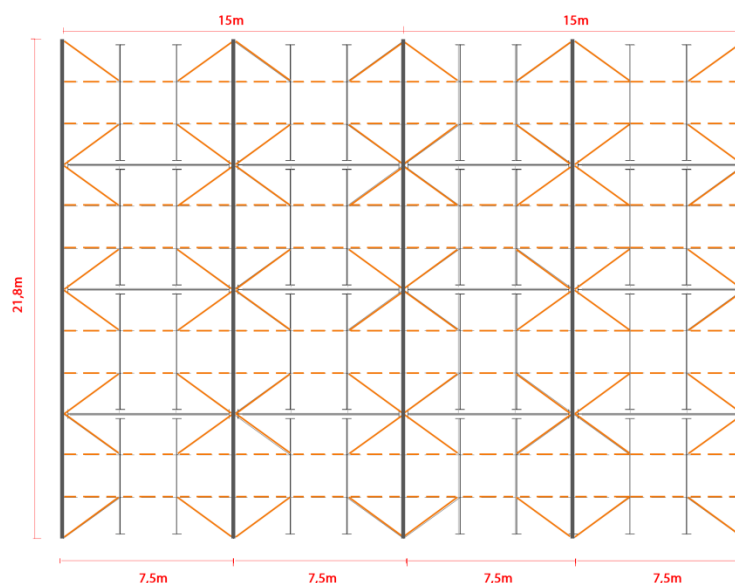


Figura 9.1.9.2.1 - Travamento das terças.

### 9.1.9.3 Travamento das Vigas Secundárias

Devido ao grande comprimento das vigas secundarias optou-se por utilizar travamentos de dupla cantoneira com seção 40x40x2mm e assim reduzindo o comprimento de flambagem e garantindo a estabilidade da estrutura. Dispostos conforme figura abaixo:

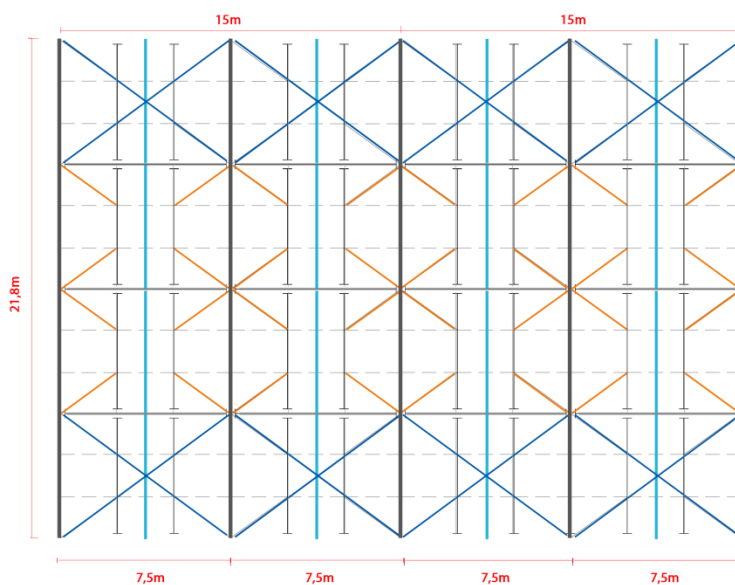


Figura 9.1.9.3.1 - Travamentos das vigas secundárias, terças e pórticos

#### 9.1.9.4 Travamento dos pórticos

Com a intenção de reduzir a esbelteza das peças que compõe o pórtico (montante e viga principal) e garantir estabilidade da estrutura, foram utilizados travamentos de dupla cantoneira com seção 50x50x3,15mm. Conforme figura abaixo:

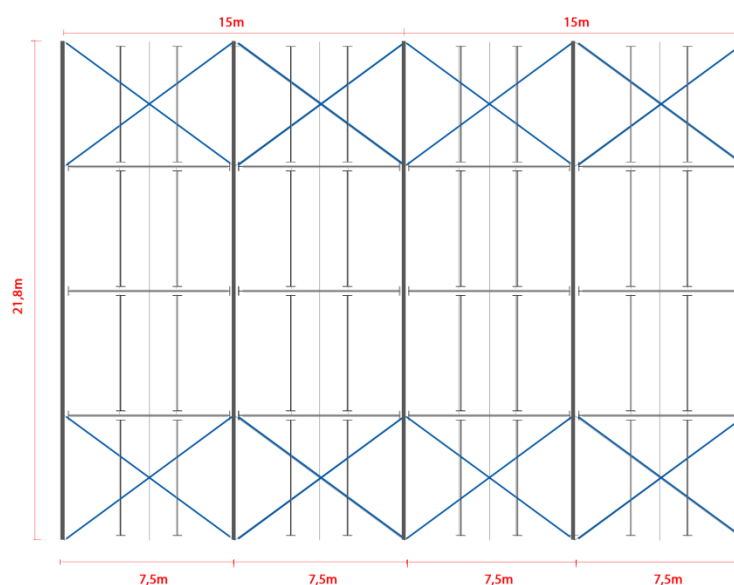


Figura 9.1.9.4.1 - Travamento dos pórticos

## 9.2 Dimensionamento dos pilares de concreto da via

### 9.2.1 Cálculo dos Esforços atuantes

#### 9.2.1.1 Peso Plataforma do trem (estrutura + trilhos + dormentes) + Pilar

Esses esforços serão considerados como uma carga pontual sobre o eixo do pilar, e uma carga linear uniformemente distribuída ao longo do eixo da via do trem.

A plataforma é composta por uma seção cheia (capitel sobre o pilar) e vigas pré-moldadas vazadas e com extensão de 13,9 metros.

Corte da seção da viga vazada:

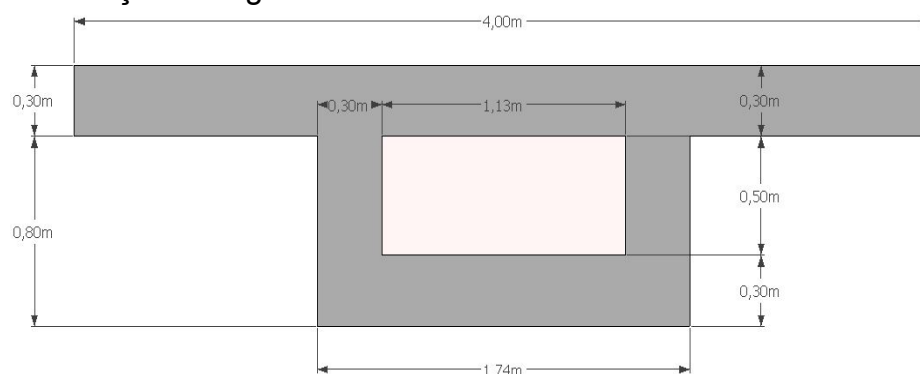


Figura 9.2.1.1.1 – Seção viga vazada

$$A_{\text{total}} = 4 \times 0,3 + 0,8 \times 1,74 = 2,6 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{vazio}} = 1,13 \times 0,5 = 0,6 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{cheia}} = A_{\text{total}} - A_{\text{vazio}} = 2 \text{ m}^2$$

Logo,

$$\text{Carga linear exercida pela seção cheia} = 2,6 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 65 \text{ kN / m}$$

$$\text{Carga linear exercida pela seção vazada} = 2 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 50 \text{ kN / m}$$

#### a) Trilhos

$$\text{Massa linear dos trilhos} = 55 \text{ kg / m}$$

$$\text{Carga linear dos trilhos} = 2 \times 55 \text{ kg/m} \times 0,01 \text{ kN / kg} = 1,1 \text{ kN / m}$$

#### b) Dormentes

$$\text{A carga linear dos dormentes de concreto corresponde a } 700 \text{ kg / m} = 7 \text{ kN / m}$$

$$\text{Peso próprio Pilar} = (\pi \times 1,1^2) / 4 \text{ m}^2 \times 7,2 \text{ m} \times 25 \text{ kN / m}^3 = 171 \text{ kN}$$

$$\text{Logo, sobre o pilar teremos uma carga pontual} = (65 + 1,1 + 7) \text{ kN/m} \times 1,1 \text{ m} + 171 \text{ kN} = 251,4 \text{ kN}$$

$$\text{Analogamente, no trecho correspondente à seção vazada teremos a carga linear} = (50 + 1,1 + 7) = 64,2 \text{ kN/m}$$



### 9.2.1.2 Momento longitudinal gerado pela plataforma do trem (estrutura + trilhos + dormentes)

Foi adotado o emprego de vigas pré-moldadas. Essas vigas são apoiadas sobre os capitéis (seções cheias sobre os pilares) como vigas Gerber. Dessa maneira podemos considerar as vigas como simplesmente apoiadas e não há transmissão de momentos para os pilares, ocorrendo apenas momentos positivos nas vigas pré-moldadas, como se vê no diagrama de momentos – Figura 9.2.2.2.3.

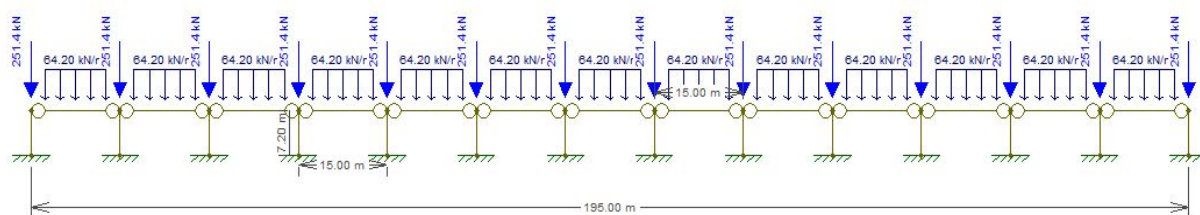


Figura 9.2.1.2.1 – Carregamento sobre a via

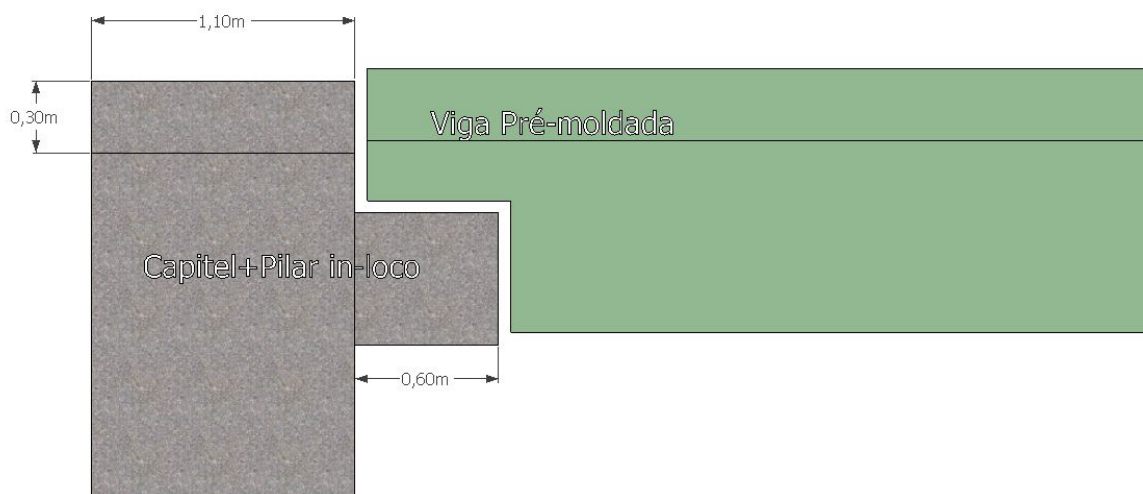


Figura 9.2.1.2.2 – Ilustração do apoio Gerber (Capitel-Viga)

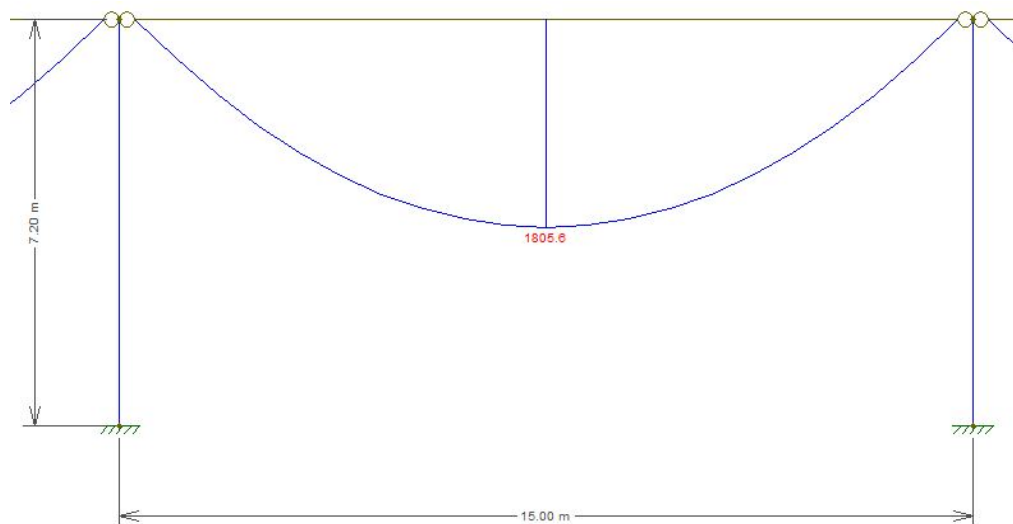


Figura 9.2.1.2.3 – Diagrama de Momentos de um trecho típico

### 9.2.1.3 Cargas do Trem-tipo

#### a) Peso Trem-tipo

Segundo a norma NBR 7189, item 2.2.1 – Classes de trens-tipo, o trem tipo TB-170 é o que deve ser utilizado para vias sujeitas exclusivamente ao transporte de passageiros em regiões metropolitanas ou suburbanas.

Os dados referentes ao TB-170 podem ser retirados da figura “Características geométricas e cargas dos trens-tipo” e da Tabela 1 da norma:

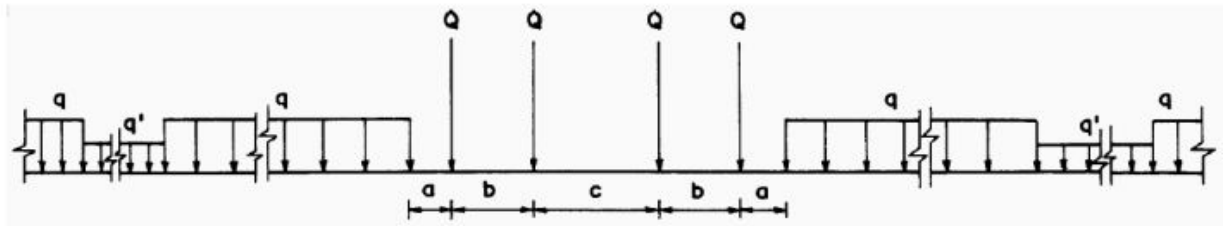


Figura 9.2.1.3.1 – Características geométricas dos trens-tipo – fonte: NBR 7189

Tabela 9.2.1.3.1 – Características dos trens-tipo (TB-170 em destaque) - fonte: NBR 7189

TB	Q (kN)	Q (kN/m)	q' (kN/m)	a (m)	b (m)	c (m)
360	360	120	20	1,00	2,00	2,00
270	270	90	15	1,00	2,00	2,00
240	240	80	15	1,00	2,00	2,00
170	170	25	15	11,00	2,50	5,00

No caso analisado, teremos o seguinte diagrama de forças:

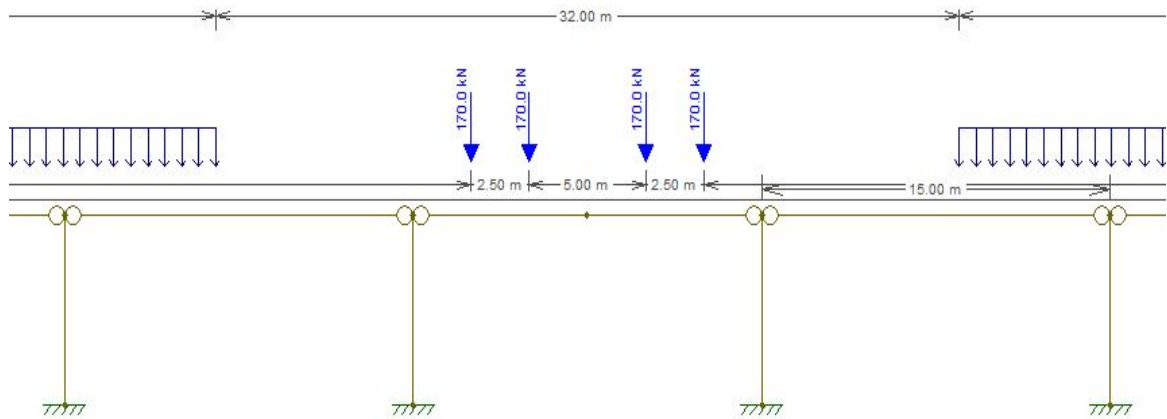


Figura 9.2.1.3.2 – Disposição das cargas do trem-tipo

Segundo a norma **NBR 7187 – Projeto de pontes de concreto armado e protendido**, é permitido assimilar as cargas móveis a cargas estáticas multiplicando-se as primeiras pelo coeficiente de impacto calculado da seguinte forma para obras ferroviárias:

$$\phi = 0,001 \cdot (1600 - 60\sqrt{\ell} + 2,25 \cdot \ell) \geq 1,2$$

Logo,  $\phi = 0,001 \times (1600 - 60 \times (15^{0,5}) + 2,25 \times 15) = 1,4$

Utilizando os valores do peso próprio da estrutura calculados no item 1.1 e o trem-tipo TB-170 associado ao coeficiente de impacto calculado chega-se, por meio do programa Ftool, à seguinte envoltória de força normal nos pilares:

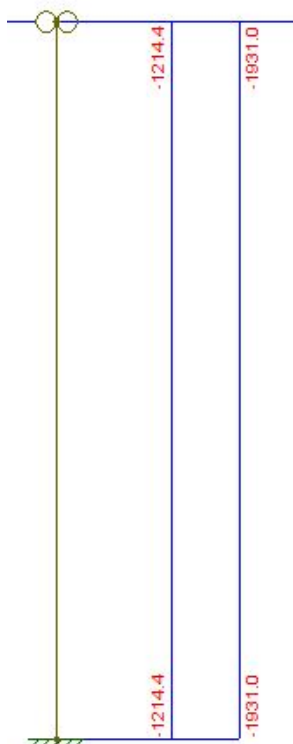


Figura 9.2.1.3.3 – Envoltória de Força Normal no Pilar

**b) Momento gerado pelo Trem-tipo (Eixo longitudinal)**

Assim com no item 1.2, por se tratar de vigas simplesmente apoiadas, **não existe momento transmitido ao pilar.**

Selecionando o maior momento da envoltória gerada pelo trem-tipo e pela carga da estrutura na viga pré-moldada, calculada nos itens 1.1 a 2.1, temos que :

$M_{\text{máx}} \text{ na viga pré-moldada} = 3.639,2 \text{ kN} \times \text{m}$

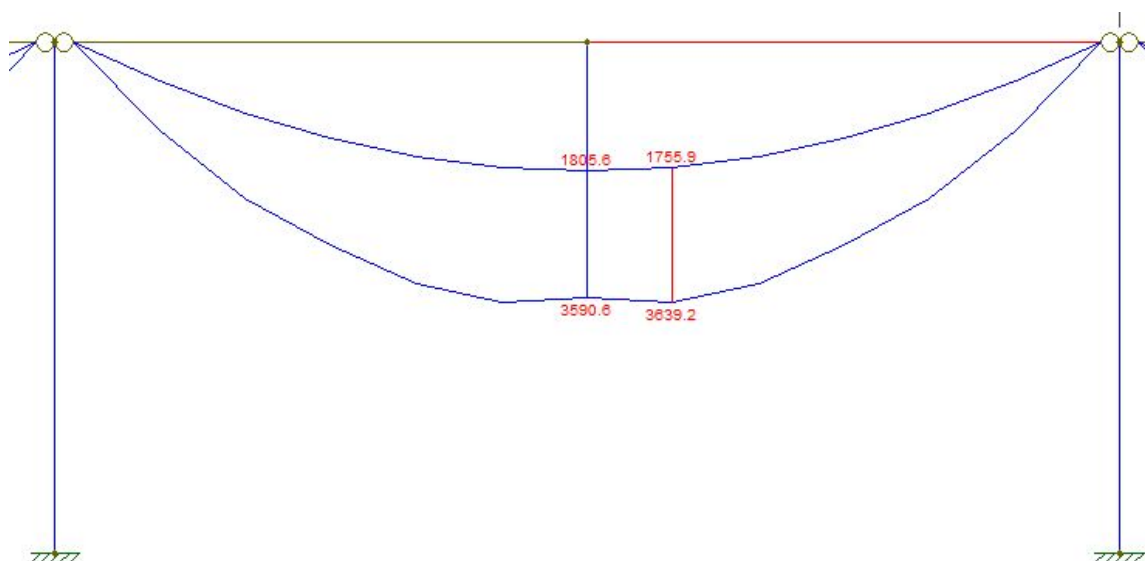


Figura 9.2.1.3.4 – Envoltória de Momentos

#### 9.2.1.4 Peso Viga transversal + Plataforma de embarque

Esse esforço será interpretado como um esforço linear uniformemente distribuído sobre todo o comprimento da viga.

##### a) Viga transversal

A viga transversal tem seção retangular de 1,10x0,5 m. Para efeito de cálculo, a viga se estende de eixo a eixo dos pilares, sobre a extensão de 13,6m

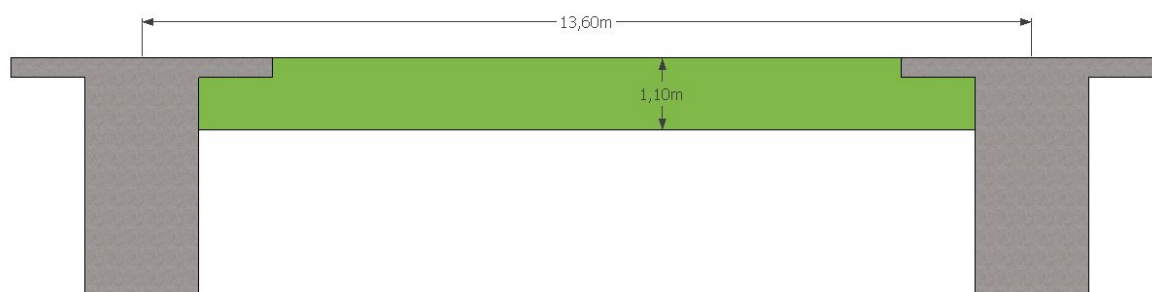


Figura 9.2.1.4.1 – Esquema Viga Transversal

$$\text{Volume viga} = (12,5 \times 0,8 + 10,7 \times 0,3) \times 0,5 = 6,6 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso Linear da Viga transversal} = 25\text{kN/m}^3 \times 6,6 \text{ m}^3 / 13,6\text{m} = 12,1 \text{ kN/m}$$

**b) Plataforma de embarque**

Peso próprio plataforma de embarque:

i. Viga Longitudinal Principal:

A plataforma tem como base 3 vigas espaçadas simetricamente em relação ao seu eixo longitudinal que percorrem a plataforma de público de fora a fora.

Considerando a viga de  $H=1.000\text{mm}$  e massa linear aproximada  $464 \text{ kg/m}$ , temos o peso total de

$$P \text{ viga long princ.} = 464 \text{ kg / m} \times 15 \text{ m} \times 3 \times 0,01 \text{ kN / kg} = 208,8 \text{ kN}$$

ii. Vigas transversais:

São dispostas 1 vigas a cada 1,5 metro de plataforma, e essas vigas tem comprimento de 10m.

Seção adotada  $H = 350\text{mm}$  e massa linear  $182 \text{ kg / m}$

$$\text{Logo, } P \text{ viga trans} = 182 \text{ kg / m} \times 10 \text{ m} \times 10 \times 0,01 \text{ kN / kg} = 182 \text{ kN}$$

iii. Longarinas tubulares:

São 11 seções tubulares com  $L=0,1\text{m}$  e  $e=0,006\text{m}$ , portanto com massa linear aproximada  $= 18 \text{ kg / m}$ . São dispostas também ao longo de toda a plataforma, espaçadas a cada 0,95m.

$$P \text{ longarinas} = 18 \text{ kg / m} \times 15 \text{ m} \times 11 \times 0,01 \text{ kN / kg} = 29,7 \text{ kN}$$

$$\text{Peso linear das vigas metálicas sobre a viga de concreto} = (208,8 + 182 + 29,7) / 13,6 = 31 \text{ kN / m}$$

iv. Laje 10 cm sobre as vigas metálicas:

$$\text{Peso linear da laje sobre a viga} = 15 \text{ m} \times 0,1\text{m} \times 25 \text{ kN / m}^3 = 37,5 \text{ kN / m}$$

$$\text{Peso próprio linear da plataforma} = 37,5 + 31 = 68,5 \text{ kN / m}$$

Carga accidental:

Segundo NBR 7189 – Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias, podemos considerar sobre uma plataforma de trem a carga de multidão = 5 kN / m<sup>2</sup>.

Logo, Peso linear sobre viga de concreto transversal devido à carga de multidão = 5 x 15 m = 75 kN / m.

Peso plataforma de embarque = 68,5 + 75 = 143,5 kN / m

Portanto, Peso Linear Viga transversal + Plataforma de embarque = 12,1 + 143,5 = 155,6 kN/m

#### 9.2.1.5 Momento transversal gerados pelas Viga transversal + Plataforma de embarque (Eixo transversal)

Através do Ftool, calcula-se o momento gerado pelo carregamento, nos encontros da viga com o pilar.

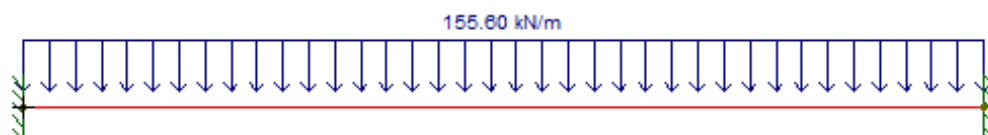


Figura 9.2.1.5.1 – Carregamento uniformemente distribuído sobre a viga bi-engastada

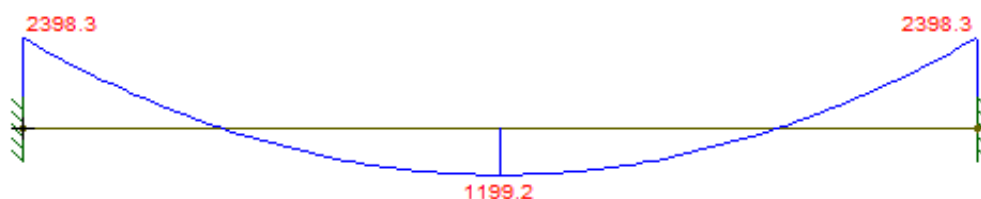


Figura 9.2.1.5.2 – Diagrama de Momentos sobre a viga biengastada

Portanto,

Momento que chega aos pilares através da viga transversal = 2.398,3 kN x m

Peso pontual que chega aos pilares através da viga transversal =  $155,6 \text{ kN/m} \times 13,6 \text{ m} / 2 = 1.058,1 \text{ kN}$

#### 9.2.1.6 Cortante devido à frenação / aceleração do trem

Pela “**NBR 7187 – Projeto de pontes de concreto armado e protendido**”, devemos admitir o valor maior entre:

- 15% da carga móvel para frenação =  $(0,15 \times 15\text{m} \times 25 \text{ kN/m}) = 56,25 \text{ kN}$
- 25% do peso dos eixos motores para aceleração =  $(0,25 \times 4 \times 170 \text{ kN}) = 170 \text{ kN}$

Vale ressaltar que neste caso não se deve utilizar o coeficiente de impacto no cálculo. Logo, adota-se o valor de 170 kN.

#### 9.2.1.7 Momento devido à frenação / aceleração do trem

Considerando-se para tal efeito o pilar simplesmente engastado, calcula-se que o maior **momento gerado é de 1.224 kN x m na base do pilar**, conforme disposto na figura a seguir:

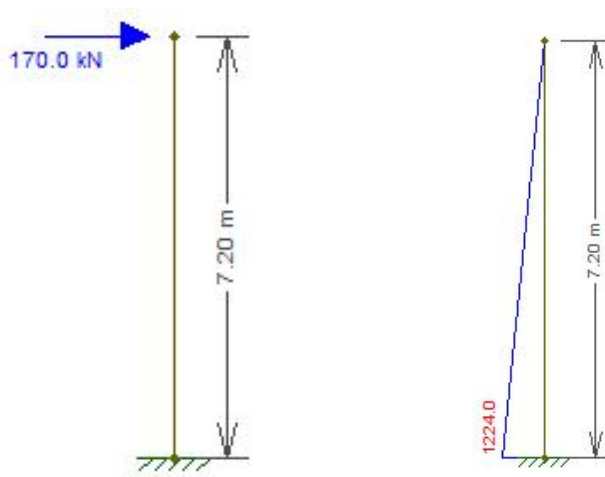


Figura 9.2.1.7.1 – Diagrama de esforços devido à frenação/aceleração e Diagrama de Momentos

#### 9.2.1.8 Cargas da cobertura + vento



A seguir são exibidos os esforços provenientes da cobertura e do fechamento lateral já majorados pelos devidos coeficientes na estrutura demonstrada:

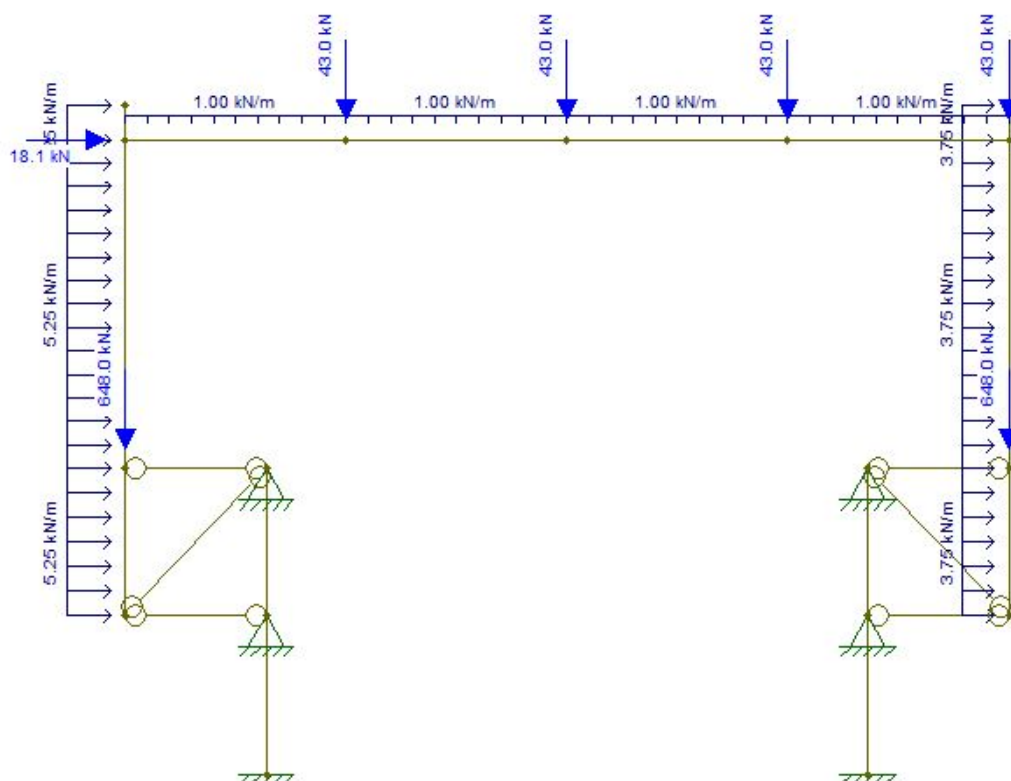


Figura 9.2.1.8.1 - Diagrama geral do peso da estrutura e dos esforços de vento – seção genérica

**a) Peso da cobertura + vento comprimindo**

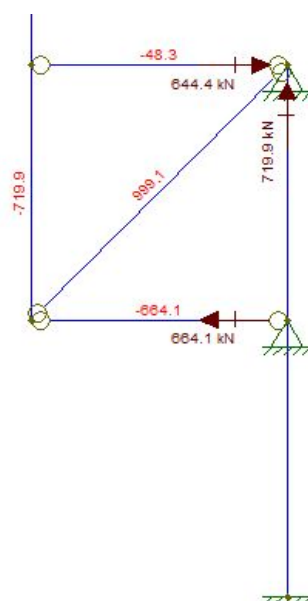


Figura 9.2.1.8.2 – Reações no Pilar com peso da estrutura e vento comprimindo

**b) Peso da cobertura + sucção pelo vento**

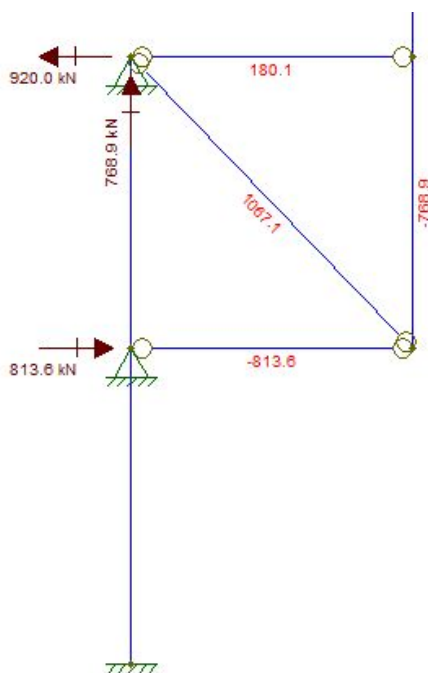


Figura 9.2.1.8.3 – Reações no Pilar com peso da estrutura e sucção do vento

**9.2.1.9 Outros efeitos dinâmicos**

**a) Choque Lateral**

Por fim é calcula o efeito do choque lateral, que basicamente visa traduzir o choque que ocorre entre as rodas do trem e o trilho. Tal valor é obtido como uma força equivalente a 20% da carga do eixo mais pesado aplicada transversalmente na altura do topo do trilho, normal ao eixo da linha.

$$F_{\text{choque}} = 0,2 \times 170\text{kN} = 34\text{kN}$$

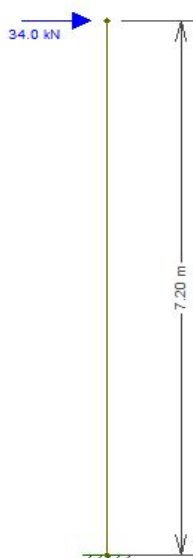


Figura 9.2.1.9.1 – Representação do Choque Lateral

#### 9.2.1.10 Resumo dos esforços atuantes no pilar

Estabelecendo-se os seguintes eixos:

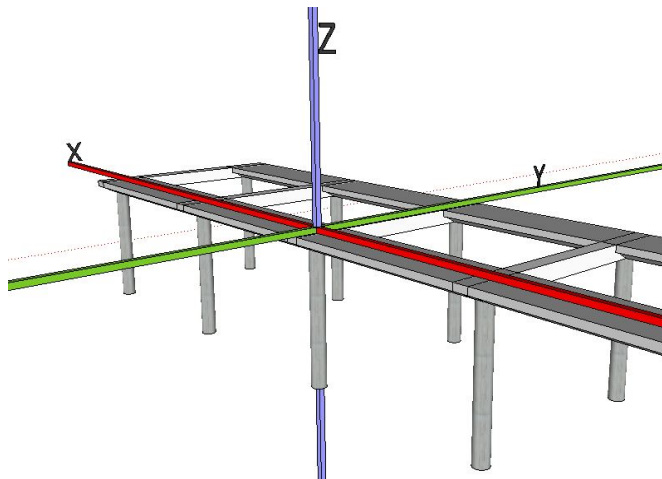


Figura 9.2.1.10.1 – Ilustração dos eixos adotados

- Eixo X: Eixo da via do trem
- Eixo Y: Eixo transversal à via
- Eixo Z: Centrado no Eixo do Pilar

Teremos dois casos, respectivamente:

- Caso 1: vento comprimindo
- Caso 2: sucção do vento

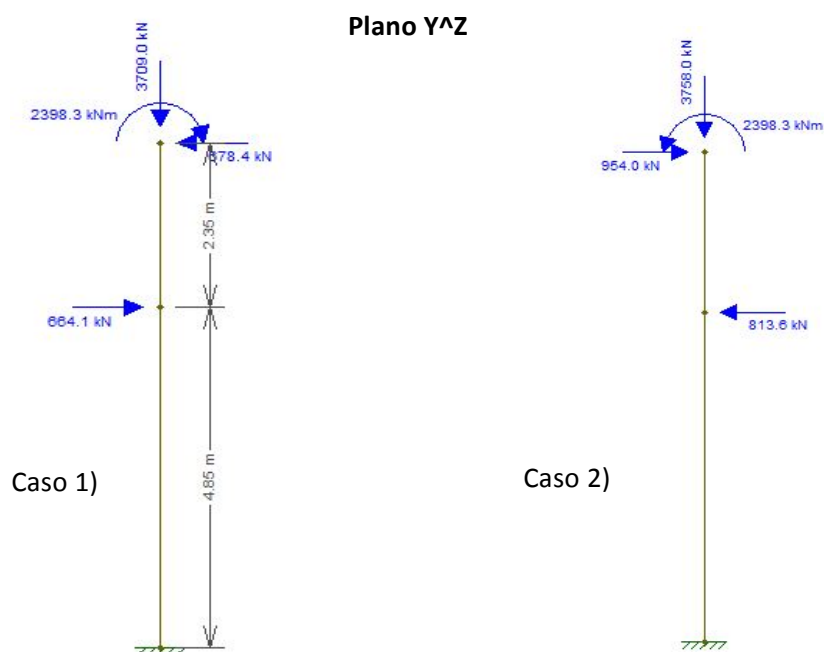


Figura 9.2.1.10.2 – Cargas atuantes no pilar tipo

Obtendo os diagramas de esforços solicitantes e selecionando os casos mais desfavoráveis, temos:

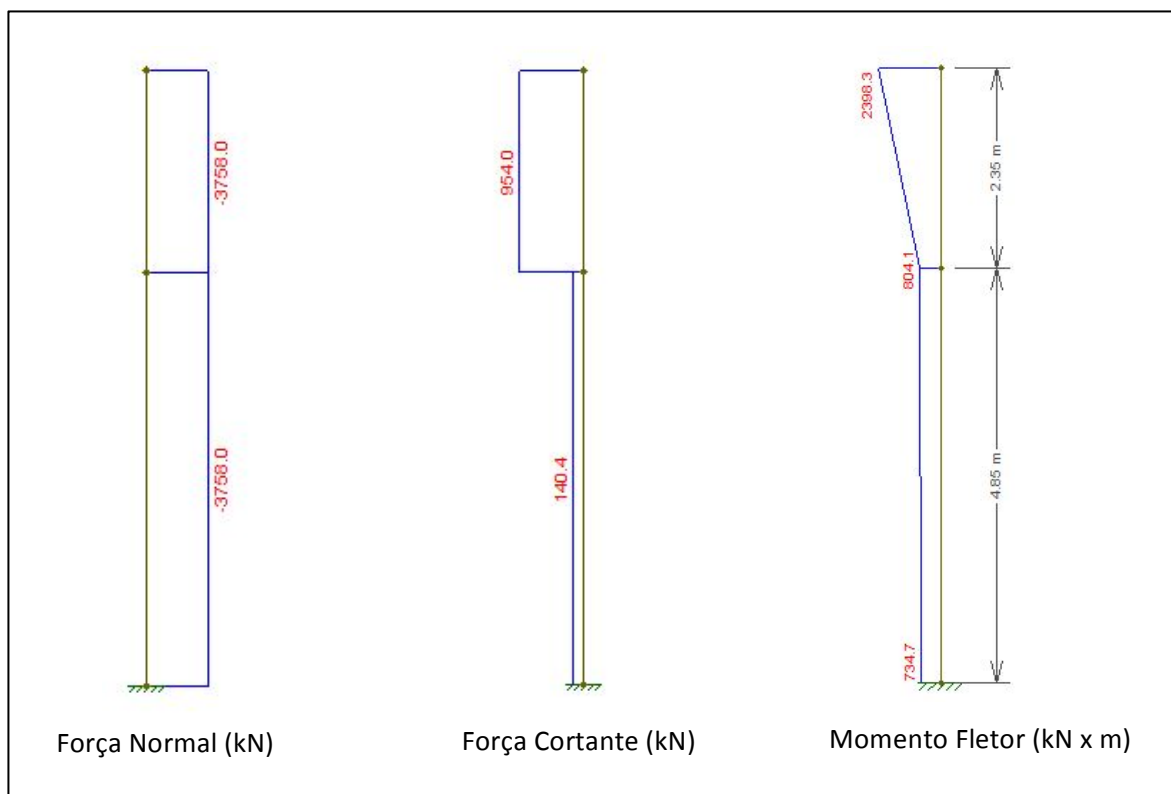


Figura 9.2.1.10.3 – Diagramas de Esforços solicitantes no Pilar tipo

Vale ressaltar que os esforços gerados pela aceleração/frenagem (170 kN) agem no plano  $X^AZ$ , e os diagramas de esforços solicitantes nesse plano aparecem no item 4.2, gerando uma cortante de 170kN ao longo da extensão de todo o pilar, e um momento máximo no pé do pilar de  $170 \times 7,20 = 1.224 \text{ kNxm}$ , logo temos que calcular o pilar para flexão composta oblíqua:

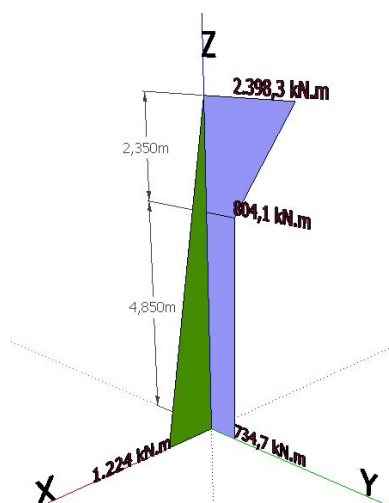


Figura 9.2.1.10.3 – Momentos característicos no pilar nos planos  $X^AZ$  e  $Y^AZ$

Considerando:

$F_{ck}=25\text{Mpa}$ ; Aço CA50; cobrimento  $c = 3,0\text{cm}$ ; piso a piso =  $7,20\text{m}$

$N=3.758\text{kN} \rightarrow N_d = N \times 1,4 = 5.261\text{kN}$

Topo:

$M_{1xt}=2.398\text{ kN.m}$ ,  **$M_{1dxt}=3.357\text{ kN.m}$**

$M_{1yt} = \mathbf{M_{1dyt} = 0}$

Pé:

$M_{1xp}=734\text{ kN.m}$ ,  **$M_{1dyp}=1.029\text{kN.m}$**

$M_{1yp}=1.224\text{ kN.m}$ ,  **$M_{1dyp}= 1.714\text{kN.m}$**

**a) Momento mínimo na seção central**

$M_{1dx,min}=M_{1dy,min} = 5.261 \times (0,015+0,03 \times 1,10) = 252,5\text{ kN.m}$

$L_e = 7,2+(1,1/2)= 7,75\text{m}$

**Índices de Esbeltez:**

$\lambda_x = \lambda_y = 3,46 \times (L_e / d) = 3,46 \times (7,75/1,1) = 23,75$

Como  $\lambda_{x,y} < 35$ ,  $M_{2dx,y} = 0$ ;

Assim na seção central temos apenas o momento de  **$M_{1dx,min} = M_{1dy,min} = 252,5\text{ kN.m}$**

**b) Momentos na seção de Topo, Central e Pé**

Na direção X:

- $M_{1dxt}=3.357\text{ kN.m}$
- $M_{1dyp}=1.029\text{kN.m}$
- $M_{1dxc} = (0,6 + 0,4 \times 1029/3357) \times 3357 = 2.425,8\text{ kN.m}$

Na direção Y:

- $M_{1dyt} = 0$
- $M_{1dyp} = 1.714 \text{ kN.m}$
- $M_{1dyc} = (0,6 + 0,4 \times 0/1714) \times 1714 = 1.028,4 \text{ kN.m}$

Como a seção utilizada é circular, e também para possibilitar uma construtibilidade adequada (evitar erros de armação na obra), a armação será disposta simetricamente na seção, e portanto basta dimensionarmos para o **maior momento encontrado**, que no caso é:

- $M_{1dxt} = 3.357 \text{ kN.m}$

De acordo com o ábaco de Montoya-Meseguer-Morán para seções circulares:

$$\nu = N_d / (A_c \times f_{cd}) = 5261 \times (0,95 \times 1,4 \times 25 \times 10^3) = \mathbf{0,158}$$

$$\mu = N_d \times e_0 / (A_c \times h \times f_{cd})$$

$$\text{Onde } e_0 = M_{1dxt} / N_d = 3357 / 5261 = \mathbf{0,64m}$$

$$\text{Logo } \mu = 5261 \times 0,64 / (0,95 \times 1,1 \times 1,4 \times 25 \times 10^3) = \mathbf{0,092}$$

Do ábaco então tiramos que  $\omega = \mathbf{0,15}$

A partir disso podemos calcular a **área total de aço necessária**:

$$A_{tot} = w \times A_c \times f_{cd} / f_{yd}$$

$$A_{tot} = (0,15 \times 0,95 \times 1,4 \times 25 \times 10^3) / (500 \times 10^3 / 1,15)$$

$$\mathbf{A_{tot} = 115 \text{ cm}^2}$$

$$A_{s \text{ mín}} = 38 \text{ cm}^2 < A_{tot} < A_{s \text{ máx}} = 760 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{ok}$$

#### 9.2.1.11 Disposições Construtivas

Admitindo:

- $\phi_\lambda = 25 \text{ mm}$ , teremos  $N = 115 / 4,91 = 24$  barras
- $\phi_\tau \geq 25/4 \geq 0,625$ . Logo podemos utilizar  $\phi_t = 6,3 \text{ mm}$
- $S_t \leq 20 \text{ cm}$

- $10\text{cm} \leq SI \leq 40\text{cm}$

Chegamos então à seguinte seção:

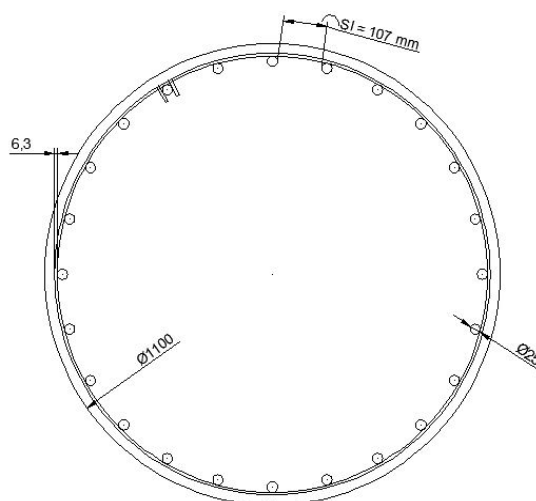


Figura 9.2.1.11.1 – Detalhamento da armação da seção

## 10 SEQUÊNCIA CONSTRUTIVA

### 10.1 Fundação e Terraplenagem

Como se trata de um anteprojeto da estação, a análise detalhada do solo da região na qual será implantada, com o auxílio de sondagens e demais ensaios, foge do escopo do trabalho.

Os dados mais aproximados acerca do solo da região foram obtidos com base no estudo “Características do solo de fundação da terceira pista do Aeroporto de Guarulhos”, de Almeida, Marques e Fonseca.

Como podemos observar na figura X.X (sendo S4 aproximadamente no centro das pistas existentes) a seguir e nos resultados SPT apresentados no anexo Y, o solo apresenta camadas de solos moles e muito moles que variam de 2 a 10m, e o lençol freático na região é também variável, indo de 2 a 3m de profundidade.



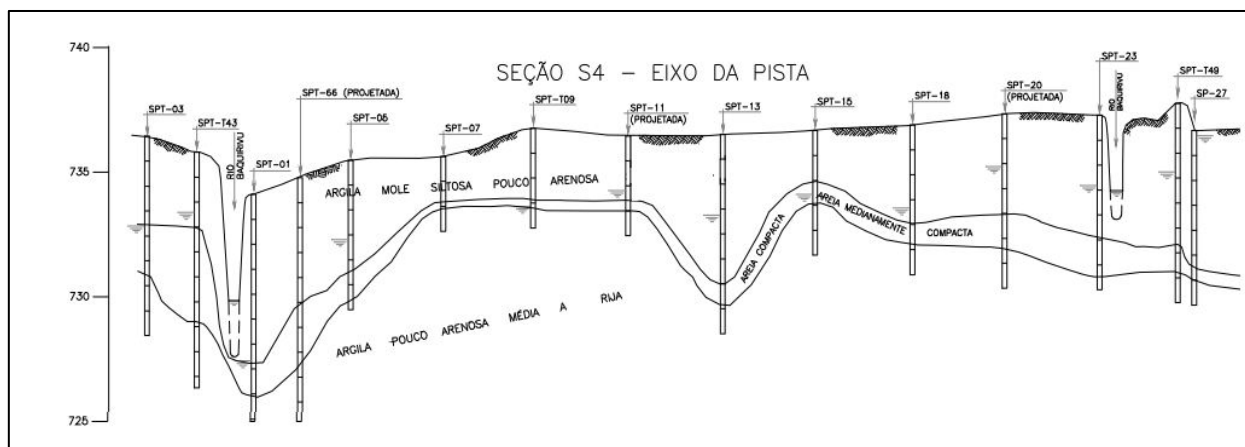


Figura 10.1.1 – Investigações geotécnicas no Aeroporto de Guarulhos - Fonte: Almeida, Marques e Fonseca

Opta-se, portanto, pelo uso de fundações profundas tipo estacas (cravadas, hélices ou raiz) ou tubulões sobre os quais são executados os blocos para recepção dos pilares.

Concomitantemente à cravação das estacas e execução dos blocos a etapa de terraplenagem pode ser realizada, de modo a nivelar o terreno nas cotas adequadas ao projeto.

## 10.2 Pilares

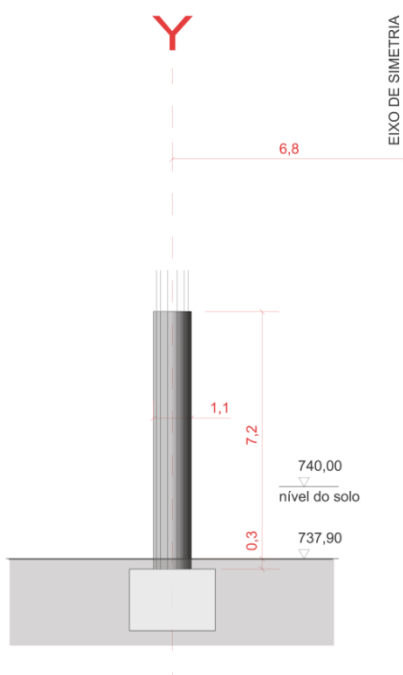
Optamos pela utilização de pilares pré-moldados devido aos seguintes motivos:

- Curto prazo com que podem ser fabricados e montados, resultando em um menor tempo de construção.
- Otimização do espaço disponível no canteiro.
- Uso otimizado dos materiais: ao longo da estação os pilares que suportam as vias se repetem 26 vezes. Optando pelo uso de pré-moldados uma mesma forma pode fabricar diariamente 2 pilares, e em 13 dias todos os pilares da estação estariam fabricados com o uso de uma só forma.
- Maior controle de qualidade na execução: como se trata de um método de produção fabril, consegue-se obter um controle maior na etapa de execução do pilar. Isso é ainda mais importante nesse caso, onde insertes metálicos

serão concretados dentro nos pilares para posterior fixação da mão-francesa invertida, e o posicionamento desses insertes deve ser rigoroso. A possibilidade de concretar o pilar na horizontal também possibilita melhor vibração e distribuição do concreto, trocando altura de 7,2m para 1,1m.

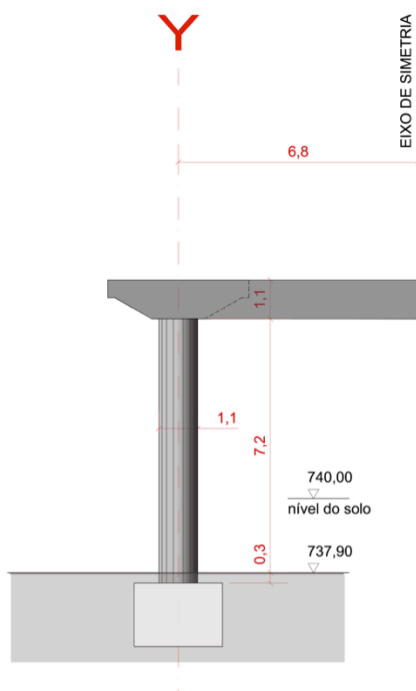


Figura 10. – Exemplo de inserte metálico para posterior fixação de peça metálica



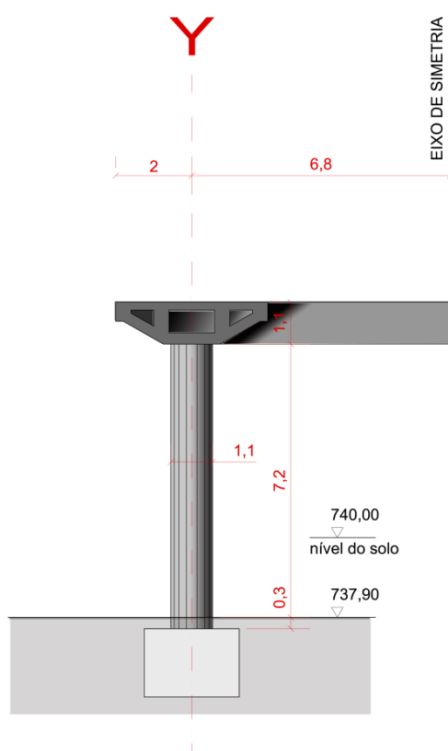
Serão pilares de 7,2m de altura e 1,1m de diâmetro, pesando aproximadamente 17 toneladas. Os pilares possuirão arranques de espera como exemplificado na figura a seguir, que possibilitam a posterior execução das vigas transversais de concreto e com isso a consolidação do pórtico.

### 10.3 Vigas Transversais e Capitéis



Em seguida à montagem dos pilares, dá-se início ao cimbramento das fôrmas da viga transversal e do capitel do pilar. Na sequência posicionam-se as fôrmas da viga e as ferragens conforme projeto. Pode-se então concretar a viga solidarizada ao capitel onde se encontram os consoles tipo Gerber para apoio das vigas pré-moldadas da via.

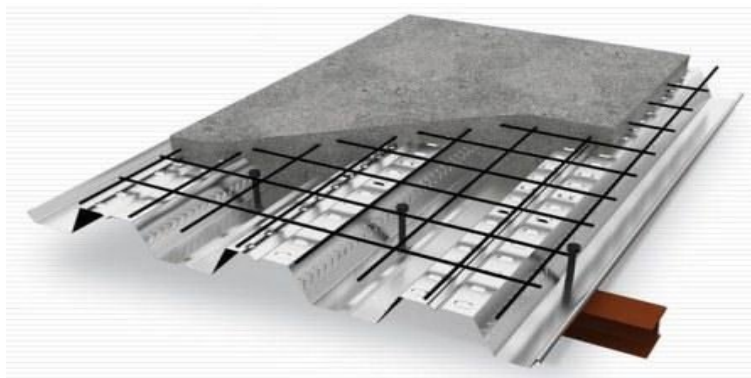
### 10.4 Vigas pré-moldadas da via



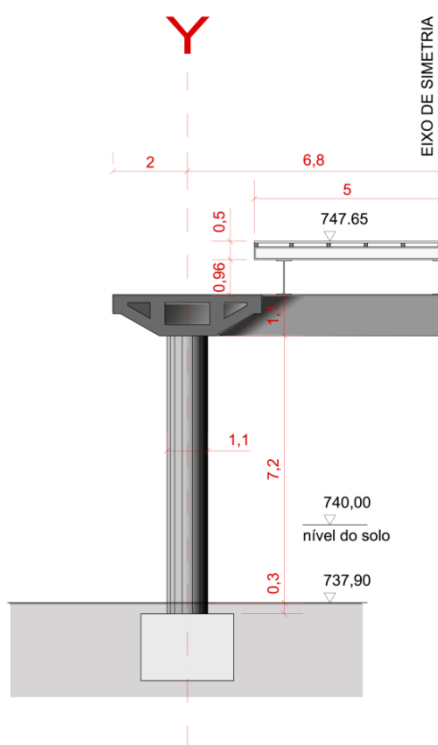
Após a concretagem e cura adequada dos capitéis, pode dar-se início à montagem das vigas pré-moldadas da via.

Optou-se também pela utilização de vigas pré-moldadas por motivos semelhantes aos que foram expostos no caso dos pilares. Serão utilizadas vigas pré-moldadas protendidas de seção vazada conforme na figura X.X e extensão de 13,9m. No total são 24 vigas, cada uma com aproximadamente 70 toneladas.

## 10.5 Plataforma de embarque



Sobre as vigas de suporte são lançados os perfis de steel deck, que em seguida recebem o posicionamento de telas metálicas e uma camada de concreto de aproximadamente 10cm, como exemplificado na figura a seguir:

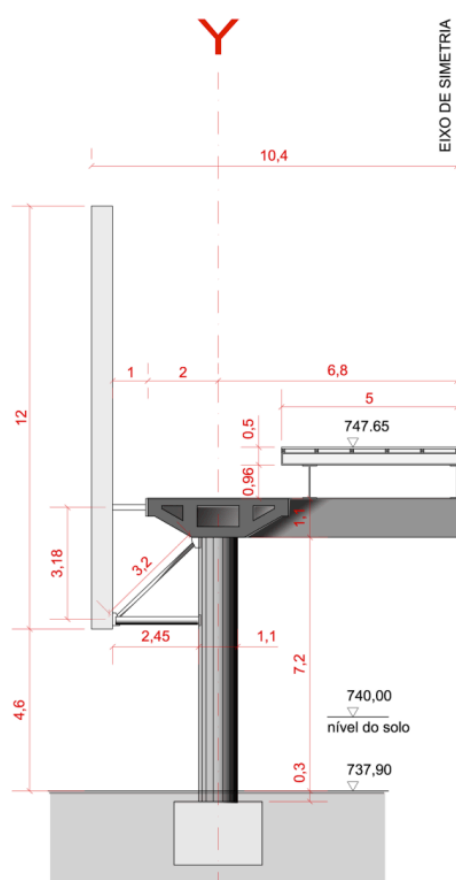


À medida que vão sendo concluídos os pórticos transversais libera-se frente para a montagem das vigas metálicas principais e secundárias que darão suporte à plataforma de embarque.

## 10.6 Escadas, rampas de acesso e prédios técnico-operacionais

Uma vez concluídos os pórticos e montadas as vigas da via nos trechos interiores aos prédios pode-se iniciar a construção dos mesmos assim como das rampas de acesso e escadas interiores à estação. Esses prédios serão constituídos por pilares e vigas de concreto armado e a vedação e acabamento dependerão apenas do andamento da execução dos prédios em si.

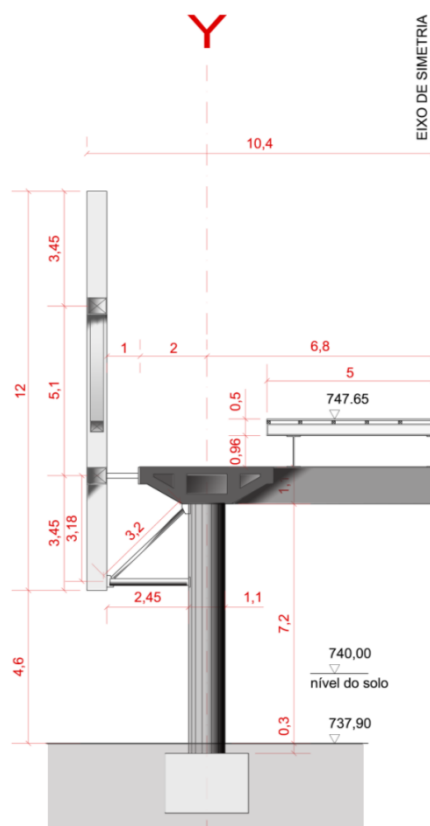
## 10.7 Mão-francesa invertida e Montantes metálicos principais



Primeiramente são soldadas as peças da mão-francesa aos insertes metálicos dos pilares de concreto e dos capitéis.

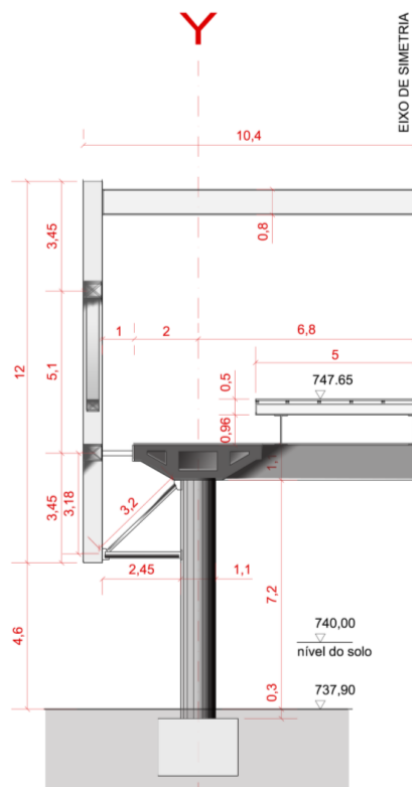
Finalizada a montagem da mão-francesa, com o auxílio de guindastes são instalados os montantes principais que futuramente receberão a cobertura.

## 10.8 Banzos e travamentos horizontais



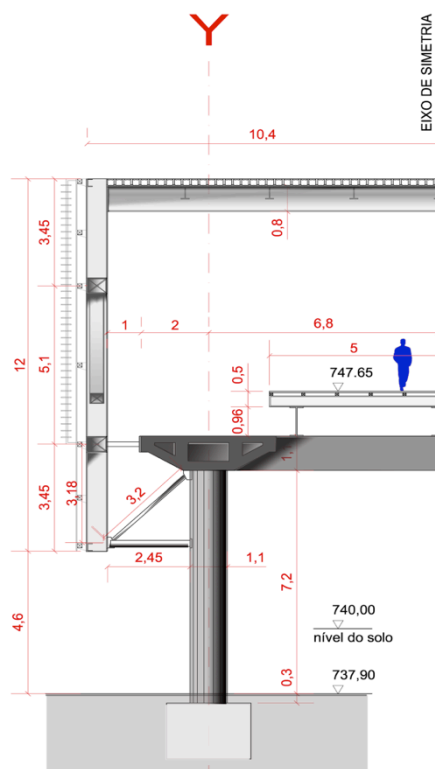
Na sequência dos montantes verticais são conectados os banzos superior e inferior, os elementos que compõem os módulos de treliça e os demais travamentos horizontais.

## 10.9 Cobertura metálica



Concluída a estrutura metálica dos montantes principais e seus travamentos, são conectadas as vigas transversais da cobertura. Sobre estas, vêm as vigas secundárias e as terças metálicas.

## 10.10 Telhas sanduíche, pele de vidro e brises



A cobertura é revestida por telhas metálicas tipo sanduíche (com poliuretano ou poliestireno), que possuem um elevado desempenho térmico e acústico, aliado às qualidades de resistência e durabilidade das telhas metálicas. Além do mais tal sistema construtivo apresenta rápida montagem o que nos possibilita diminuir o prazo da obra.

As fachadas laterais da estação por sua vez são revestidas por uma pele de vidro conforme definido no projeto de arquitetura, e por fim são instalados os brises metálicos.

## 11 QUESTÕES AMBIENTAIS E SOCIAIS ENVOLVIDAS

O município de Guarulhos possui 9 áreas de conservação ambiental, das quais, 4 são municipais e 5 estaduais e federais. As maiores delas estão localizadas predominantemente ao norte onde encontram –se o Parque Estadual da Cantareira e adjacências, e também a Área de Proteção Ambiental Federal Paraíba do Sul. As demais áreas em questão podem ser visualizadas no mapa abaixo, elaborado pela prefeitura de Guarulhos.

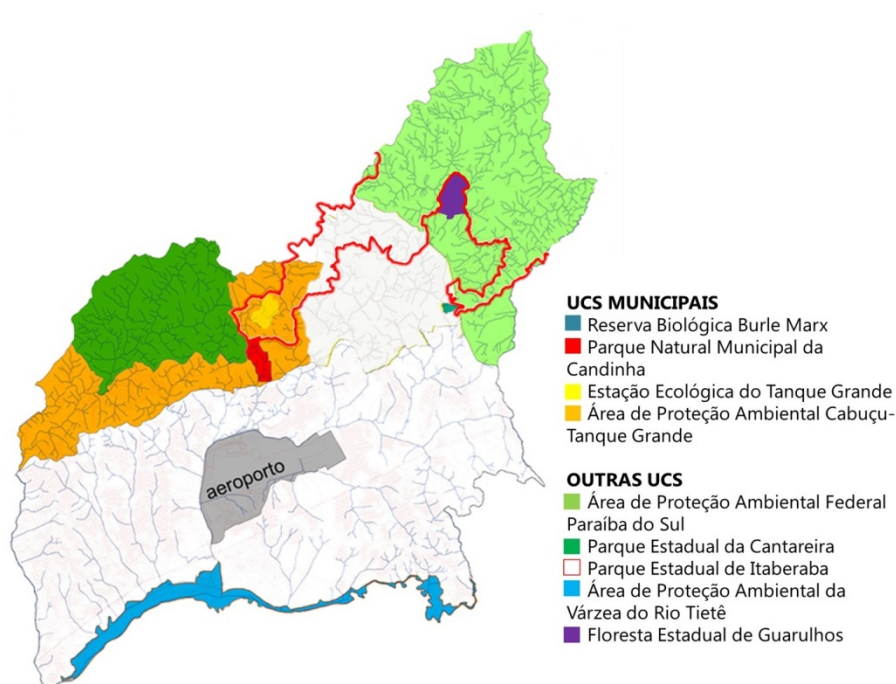


Figura 11.1 - Áreas de conservação ambiental do município de Guarulhos  
(Fonte: ucguarulhos.wordpress.com)

Apesar de o projeto e execução da Linha 13 – Jade implicar em impactos ambientais significativos como intervenção e ocupação de APP's e APA's, abordados pelos EIA e RIMA, a implantação do terminal especificamente não terá grandes implicações nesse sentido senão por fatores como escavação e destinação de solo escavado e geração de resíduos da construção.

Analisando-se o empreendimento de maneira geral, além das consequências ligadas à fauna e à flora, à geração de ruídos e às intervenções de ordem social, causadas pela implantação da via ferroviária, deve-se destacar os benefícios do projeto a curto e a longo prazo. De imediato, a construção da via e das estações ferroviárias gerará centenas e posições de trabalho diretas e indiretas. Pensando-se mais à frente, haverá ainda outros impactos positivos principalmente ligados à conclusão da obra e à operação dos trens, dos quais podem ser destacados: recuperação de passivos ambientais e da paisagem, geração de impostos para a região, redução do tráfego de veículos automotores e da emissão de gases poluentes. Portanto, o balanço ambiental e social do empreendimento é bastante positivo.



## 12 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu a reunião, organização e manipulação das principais informações necessárias para o projeto de um terminal ferroviário numa abordagem que procurou ser gradual e didática. Nesta abordagem, destacaram-se quatro etapas que envolvem disciplinas diversas:

- Levantamento de dados e sua manipulação, que resultou no projeto de arquitetura;
- Análise da física das construções do projeto proposto;
- Dimensionamento estrutural
- Análise do processo construtivo

A primeira baseou-se: na exposição da problemática dos atuais acessos ao Aeroporto de Guarulhos e a necessidade de sua conexão à rede de transportes de alta capacidade; na conceituação de terminais ferroviários e, finalmente, no levantamento de dados de fluxo e demanda que, manipulados juntamente com o programa exigido pelos organismos de transporte, possibilitou o dimensionamento dos componentes do terminal e a proposta do projeto de arquitetura.

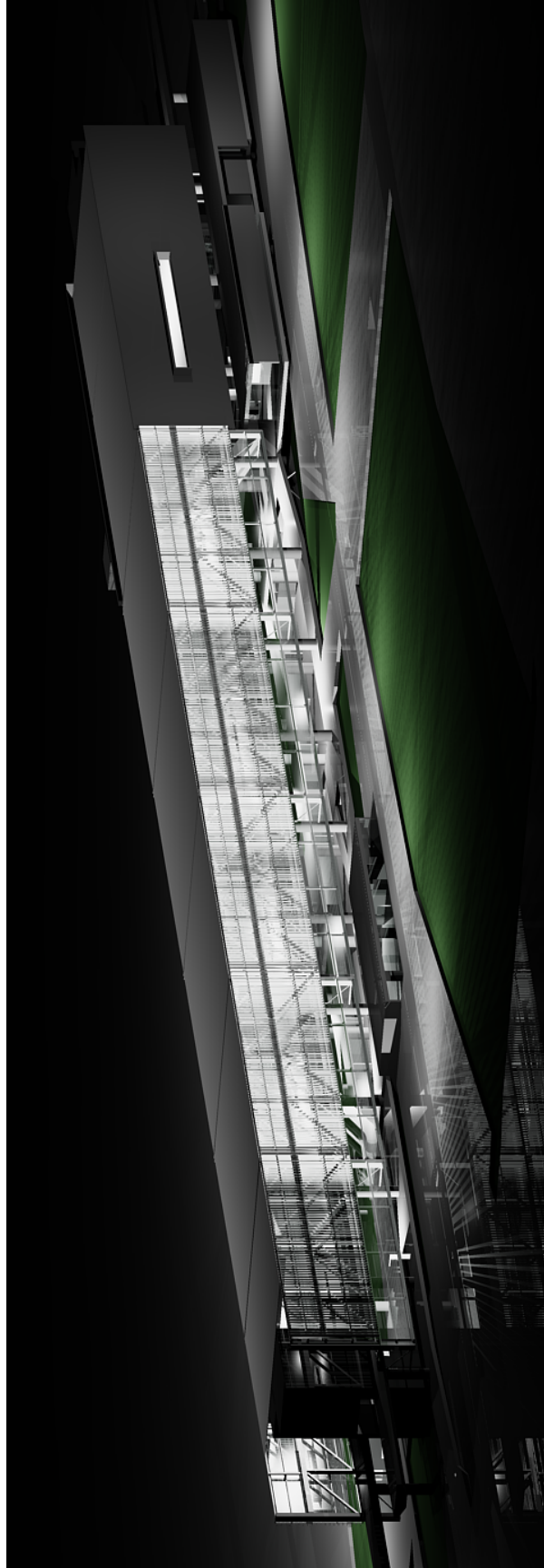
A segunda, consistiu num importante estudo do comportamento do edifício proposto frente às ações externas ligadas ao clima e a iluminação. Tal análise mostrou que o projeto responde satisfatoriamente no que diz respeito aos índices de conforto térmico e luminoso.

A terceira etapa, correspondente a projeto de estrutura, permitiu a escolha e disposição dos materiais em suas posições mais eficientes, além da determinação de suas dimensões, ou ao menos, por se tratar de um pré-dimensionamento, das dimensões mais próximas do que seria as de um projeto executivo. A última etapa, intimamente ligada à terceira, foi uma exposição da sequência construtiva, levando em conta aspectos técnicos relevantes em uma obra.

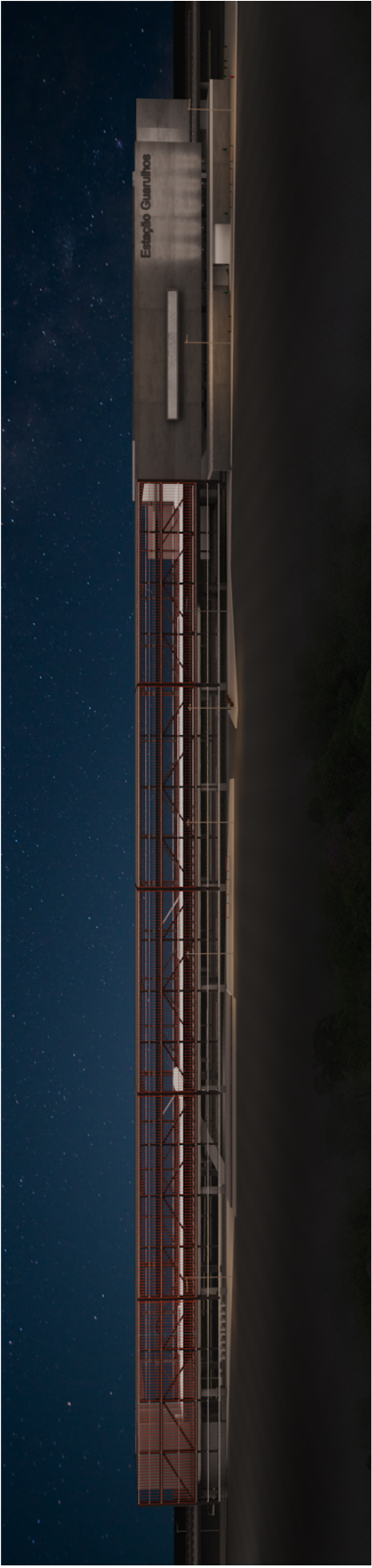
É interessante observar que, na medida em que o trabalho foi desenvolvido, deparou-se com uma grande quantidade de incertezas advindas ora dos dados disponíveis, ora dos modelos a serem aplicados. Estas incertezas constituem o desafio real enfrentados pelos engenheiros que, na medida em que se aprofundam nos assuntos, devem tomar decisões e adotar hipóteses simplificadoras para possibilitar a continuidade do projeto.

A análise conjunta, onde engenharia e arquitetura são integradas desde o princípio permitiu alcançar uma estética aliada à boa funcionalidade e eficiência, que pretendem transformar o empreendimento não apenas em um importante componente intermodal, mas também em um elemento que se destaca na paisagem urbana.

Este estudo permitiu, portanto, chegar a um anteprojeto para a futura Estação Ferroviária do Aeroporto de Guarulhos que serve como ponto de partida e referência para uma possível implementação.



Autor da imagem: Samir Gouveia



Autor da imagem: André Cañete

ANEXOS

# Mapa do Transporte Metropolitano

## Metropolitan Transport Network



Legenda Legend

	<b>1 Linha 1 - Azul</b> Line 1-Blue	METRÔ
	<b>2 Linha 2 - Verde</b> Line 2-Green	METRÔ
	<b>3 Linha 3 - Vermelha</b> Line 3-Red	METRÔ
	<b>4 Linha 4 - Amarela</b> Line 4-Yellow	VIAQUATRO
	<b>5 Linha 5 - Lilás</b> Line 5-Lilac	METRÔ
	<b>7 Linha 7 - Rubi</b> Line 7-Ruby	CPTM
	<b>8 Linha 8 - Diamante</b> Line 8-Diamond	CPTM
	<b>9 Linha 9 - Esmeralda</b> Line 9-Emerald	CPTM
	<b>10 Linha 10 - Turquesa</b> Line 10-Turquoise	CPTM
	<b>11 Linha 11 - Coral</b> Line 11-Coral	CPTM
	<b>Linha 11 - Coral - Expresso Leste</b> Line 11-Coral - East Express	CPTM
	<b>12 Linha 12 - Safira</b> Line 12-Sapphire	CPTM
	<b>Linha de Ônibus Especial</b> Especial Bus Line	CPTM
	<b>Expresso Turístico</b> Touristic Express	CPTM
	<b>Ponte ORCA - tarifada</b> Orca Shuttle Service	EMTU
	<b>Corredor Metropolitano de Ônibus ABD</b> ABD Metropolitan Bus Corridor	EMTU

	<b>Terminal Metropolitano de Ônibus</b> Metropolitan Bus Terminal
	<b>Estação</b> Station
	<b>Estação de Integração - gratuita</b> Integration Station - Free Interchange
	<b>Estação de Integração - tarifada</b> Integration Station - Paid Interchange
	<b>Estações com elevador</b> Station with elevator
	<b>Paraciclos</b> Bike Attaching Post
	<b>Bicicletário</b> Bike Parking Terminal
	<b>Bicicletário com empréstimo de bicicleta</b> Bike Parking & Rental Terminal
	<b>Estacionamento de Carro Integrado</b> Integrated Car Parking

Informações úteis Useful Information

CPTM	<a href="http://www.cptm.sp.gov.br">www.cptm.sp.gov.br</a>	<b>0800 055 0121</b>
EMTU	<a href="http://www.emtu.sp.gov.br">www.emtu.sp.gov.br</a>	<b>0800 724 0555</b>
METRÔ	<a href="http://www.metro.sp.gov.br">www.metro.sp.gov.br</a>	<b>0800 770 7722</b>
VIAQUATRO		<b>0800 770 7100</b>



Secretaria dos Transportes Metropolitanos



Superfície	( $\alpha$ ) Absorção para radiação solar	( $\alpha$ ) e ( $\epsilon$ ) para temperatura entre 10 e 40°C
preto fosco	0,85 — 0,95	0,90 — 0,98
tijolo ou pedra ou telha cor vermelha	0,65 — 0,80	0,85 — 0,95
tijolo ou pedra cor amarela, couro	0,50 — 0,70	0,85 — 0,95
tijolo ou pedra ou telha cor amarela	0,30 — 0,50	0,40 — 0,60
vidro da janela	transparente	0,90 — 0,95
alumínio, ouro, bronze (brilhantes)	0,30 — 0,50	0,40 — 0,60
latão, alumínio fosco, aço galvanizado	0,40 — 0,65	0,20 — 0,30
latão, cobre (polidos)	0,30 — 0,50	0,02 — 0,05
alumínio, cromo (polidos)	0,10 — 0,40	0,02 — 0,04

Valores do coeficiente de absorção e Emissividade. Fonte: Frota 2007

Cor	( $\alpha$ )
branca	0,2 — 0,3
amarela, laranja, vermelha-clara	0,3 — 0,5
vermelha-escura, verde-clara, azul-clara	0,5 — 0,7
marrom-clara, verde-escura, azul-escura	0,7 — 0,9
marrom-escura, preta	0,9 — 1,0

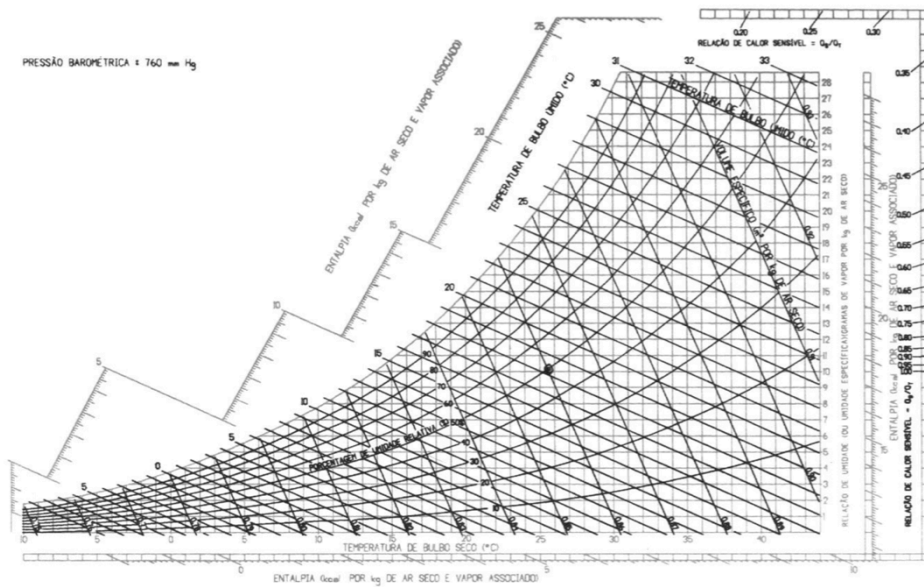
Valores de coeficientes de absorção da radiação solar específico de pintura. Fonte: Frota 2007

Tipo de Vidro	Fator Solar ( $S_{tr}$ )
<i>Lâmina Única</i>	
Vidro comum transparente	0,86
Vidro cinza sombra	0,66
Vidro atérmico verde-claro	0,60
Vidro atérmico verde-escuro	0,49
<i>Vidro usado como proteção externa de vidro comum transparente</i>	
Vidro cinza-sombra	0,45
Vidro atérmico verde-claro	0,39
Vidro atérmico verde-escuro	0,22

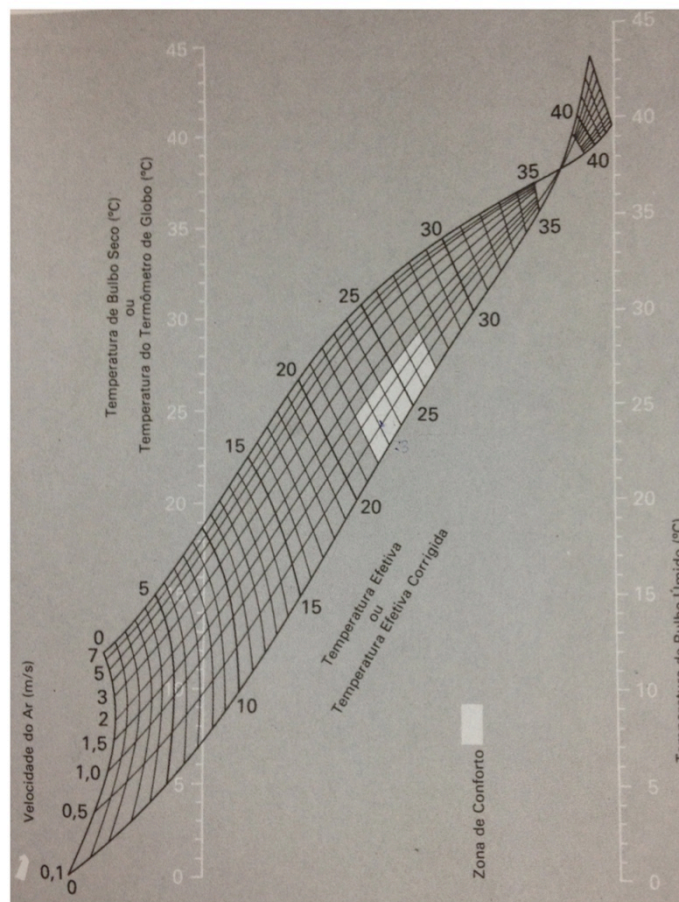
Fator Solar ( $S_{tr}$ ) de vidros. Fonte: Frota 2007

Tipo de Proteção	Cor do Elemento de Proteção			
	Clara	Média	Escura	Preta
<i>Proteção externa</i>				
— Persiana de madeira (e = 1 cm), vertical	0,05	0,08	0,10	0,13
— Persiana de madeira (e = 2 cm), vertical	0,04	0,07	0,09	0,11
— Persiana metálica, vertical	0,07	0,10	0,13	0,16
— Persiana de madeira (e = 1 cm), projetada à italiana	0,09	0,09	0,10	0,11
— Persiana metálica, projetada à italiana	0,10	0,11	0,12	0,14
<i>Proteção entre dois vidros</i>				
— Veneziana de lâminas finas a 45°C	0,24	0,31	0,38	0,44
— Cortina opaca	0,21	0,28	0,36	0,43
— Cortina pouco transparente	0,24	0,32	0,40	—
<i>Proteção interna</i>				
— Persiana de lâminas finas, vertical	0,39	0,50	0,60	0,70
— Persiana de lâminas finas, a 45°C	0,51	0,62	0,70	0,76
— Cortina opaca	0,34	0,45	0,57	0,66
— Cortina pouco transparente	0,36	0,47	0,59	—
— Cortina muito transparente	0,39	0,50	0,51	—

Fator Solar da proteção das vidraças Fonte: Frota 2007.



Carta Psicrométrica para a cidade de São Paulo



Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, trabalho leve. Fonte: Frota 2007

### 13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Transporte – Acessibilidade no sistema de trem urbano ou metropolitano: NBR1402. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Iluminância de interiores: NBR 5413. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento: NBR6118. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios: NBR8800. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Acessibilidade de edifícios, mobiliário, espaços e equipamentos: NBR 9050. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Saída de emergência em edifícios: NBR 9077. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento: NBR10151. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Níveis de ruído para conforto acústico: NBR10152. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Plano de emergência contra incêndio: NBR15219. Rio de Janeiro, 2005.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Desempenho térmico de edificações. NBR15220. Rio de Janeiro, 2003.

CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos) – Projeto Funcional Trem do Aeroporto de Guarulhos

CPTM Diretrizes para projetos de arquitetura e acabamento, R0 -

**METRO Diretrizes para elaboração de projeto de arquitetura.** 2008. Documento técnico, São Paulo.

**METRO Notas de dimensionamento de estações de metrô.** 2008. Documento técnico, São Paulo.

RIMA - Geotec – **Relatório de Impacto Ambiental**, Guarulhos, 2008

GUALDA, Nicolau D. F. **Terminais de transportes: contribuição ao planejamento e ao dimensionamento operacional.** São Paulo: EPUSP, 1995

FERREIRA, Thays B. **Contribuição para o dimensionamento de áreas destinadas a pedestres em terminais metroferroviários considerando o nível de serviço.** 1992. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil) – EPUSP

FROTA, Anésia Barros. **Manual de conforto térmico.** Editora Eestúdio Nobel 2007.

GUAZZELLI, Cauê Sauter. **Contribuição ao dimensionamento e à avaliação operacional de terminais urbanos de passageiros metroviários e ferroviários.** 2011. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil) – EPUSP

HELLSTRÖM, Björn. **Theories and Methods Adaptable to Acoustic and Architectural Design of Railway Stations.** 2005. Documento técnico, Estocolmo.

RYDÉN, Leif. **Application of Acoustic and Architectural Design of two railway stations in Stockholm.** 2005. Documento técnico, Estocolmo.

GARROCHO, Juliana Saiter. **Estratégias para iluminação zenital em centros de compras.** 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - FAU/UnB.

Website da Secretaria de Transportes Metropolitana. Disponível em:  
(<http://www.stm.sp.gov.br>). Acessado em 5, Março. 2012.

Website da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. Disponível em:  
(<http://www.cptm.sp.gov.br>). Acessado em 11, Março. 2012.

Website da Companhia do Metropolitano de São Paulo. Disponível em:  
(<http://www.metro.sp.gov.br>). Acessado em 11, Março. 2012.

Website da Guarucoop. Disponível em: (<http://www.guarucoop.com.br>). Acessado em 25, Março. 2012.

Website da Airport Bus Service. Disponível em:  
(<http://www.airportbusservice.com.br>). Acessado em 25, Março. 2012.

Website da Infraero. Disponível em: (<http://www.infraero.gov.br>). Acessado em 13, Março. 2012.

Website da ViaQuatro. Disponível em: (<http://www.viaquatro.com.br>). Acessado em 21, Março. 2012.

Website da Infraero Disponível em (<http://ucguarulhos.wordpress.com/about/>)  
Acessado em 27, Junho 2012