



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
CIVIL**

**HELANE BARBOSA FONTENELE**

Uso e adequação climática de Tensoestruturas  
à Região Amazônica – Estudo de caso:  
Feira do Ver-O-Peso em Belém-Pa.

Belém  
2006



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
CIVIL**

**HELANE BARBOSA FONTENELE**

**Uso e adequação climática de Tensoestruturas  
à Região Amazônica – Estudo de caso:  
Feira do Ver-O-Peso em Belém-Pa.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Orientador: Remo Magalhães de Souza**

Belém  
2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO CT – UFPA

Fontenele, Helane B.

B 268 f      Uso e adequação de Tensoestruturas à Região Amazônica – Estudo de caso: Feira do Ver-O-Peso em Belém-Pa / Helane Barbosa Fontenele. – Belém, PARÁ : [s.n], 2006.

Orientador: Remo Magalhães de Souza.  
Tese (Doutorado) – Universidade da Califórnia.

1. Tensoestrutura. 2. Amazônia. 3. Arquitetura Bioclimática. I. de Souza, Remo M. II. Ufpa – Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. III. Uso e adequação climática de Tensoestruturas à Região Amazônica – Estudo de caso: Feira do Ver-O-Peso em Belém-Pa.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**CIVIL**

**HELANE BARBOSA FONTENELE**

Uso e adequação climática de Tensoestruturas  
à Região Amazônica – Estudo de caso:  
Feira do Ver-O-Peso em Belém-Pa.

Aprovado em .....de .....de .....

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Remo Magalhães de Souza  
Presidente e Orientador  
UFPA – Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macedo  
UFPA – Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. André Luiz Guerreiro da Cruz  
UFPA – Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Júlio Ferreira Lima  
UFPA – Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Manoel Ribeiro Filho  
UFPA – Universidade Federal do Pará

Belém

2006

A Deus, por ter dado um novo sentido a minha vida.  
A meu pai e amigo, Edimar, sempre tão presente em minha vida.  
A minha mãe, Margarida, por sua doçura e carinho.  
A minha amada filha, Manuela, pela compreensão e carinho.

## **Agradecimentos**

Aos meus pais por serem, sempre, meu porto seguro. Pelas idas à feira do Ver-O-Peso, aos domingos, pra me acompanhar. Agradeço ao amor incondicional de vocês e a Deus pela vida de vocês. Amo vocês.

Agradeço a minha filha pela compreensão, durante os finais de semana, porque mamãe tinha que estudar. Eu Te amo.

Ao meu orientador, professor Remo Magalhães, pela amizade, paciência, dedicação e grande incentivo.

A minha irmã Heliana pela ajuda na pesquisa de campo.

Ao meu cunhado Carlos pela companhia na feira do Ver-O-Peso.

Ao meu aluno, Tony Narita, pela grande ajuda com as simulações em 3D.

Aos meus alunos: Débora, Diogo, Mariana e Gabriela pela ajuda com as entrevistas.

Ao professor Hernanes, da Biologia.

Ao professor José Júlio, pelo auxílio nesta última etapa.

Ao Cleber, pelo apoio e orações.

A Helga, pelo apoio e orações.

A todos os membros da banca.

## **RESUMO**

A crescente utilização das tensoestruturas para os mais diversos tipos de uso, nem sempre com a devida preocupação com os aspectos climáticos locais, motivou o presente estudo, o qual avalia a adequação deste tipo de cobertura à Região Amazônica. Em particular, tem-se como objeto de estudo as tensoestruturas da feira do Ver-O-Peso, localizada na cidade de Belém-PA.

Neste trabalho, a avaliação do desempenho das coberturas tensionadas utilizadas na feira baseou-se na Arquitetura Bioclimática, com ênfase no desempenho das mesmas como proteção às intempéries.

Na metodologia utilizada, a adequação do projeto destas tensoestruturas ao clima da região é verificada utilizando-se os programas Analyses Bio 3.0, o SOL-AR 5.0.1 e o Tensil 2.1. Os resultados obtidos com estes programas permitiram uma análise crítica do projeto das tensoestruturas da feira do Ver-O-Peso, quanto à orientação destas estruturas com relação à direção dos ventos predominantes e incidência dos raios solares, assim como no que diz respeito ao seu desempenho térmico e luminoso. Para estudar precisamente a incidência solar nas estruturas de acordo com a posição do sol, foi desenvolvida uma maquete eletrônica, utilizando-se o programa 3 DS MAX 8. Posteriormente, algumas simulações computacionais foram realizadas considerando as coordenadas geográficas da cidade de Belém e a respectiva trajetória do sol, durante o solstício de verão, solstício de inverno e equinócio;

Além das análises realizadas através destes programas, foi desenvolvida também uma pesquisa de campo, com base na aplicação de questionários aos usuários da feira (feirantes e clientes).

Os resultados obtidos demonstraram a necessidade de melhoria na proteção no interior destas tensoestruturas, especialmente para as barracas localizadas na periferia da área coberta. Para isso, sugere-se a utilização de um anteparo feito com uma membrana translúcida. Este anteparo, colocado estrategicamente nas regiões mais críticas da cobertura permitiria a passagem da luz, porém diminuindo os efeitos da radiação direta e criaria uma proteção mais eficaz para as chuvas, sem agredir esteticamente o projeto original.

## **ABSTRACT**

The steady increase in use of tension structures for all sorts of applications, not always with the appropriate concern about local climate aspects, motivated the present study, which evaluates the adequacy of this type of covering to the Amazon Region. More specifically, the object of this study is the tension structures of the “Ver-O-Peso” free market, located in Belém-PA.

In this work, the performance evaluation of the tensile roofs used in this fair was based on the concepts of Bioclimate Architecture, emphasizing their performance as protection to weather exposure.

The employed methodology verified the adequacy of the design of these tension structures to the region’s climate, using the following programa: Analyses Bio 3.0, SOL-AR 5.0.1, and Tensil 2.1. The results obtained with these computer programs allowed a critical analysis of the design of the “Ver-O-Peso” market tension structures, concerning their orientation with regard to predominant wind directions and incidence of solar rays, as well as regarding their thermal and luminous performance. In order to precisely study solar incidence on these tensile structures according to the sun position, a virtual model of the fair was created with the program 3DS MAX 8. Then, some computational simulations were performed considering the geographic coordinates of Belém, and the respective sun trajectory occurring during the summer solstice, winter solstice, and equinox.

In addition to the analyses performed with these computer programs, a field research, based on several interview questions, was conducted to evaluate the satisfaction of the users (vendors and clients) of the fair.

The obtained results demonstrated that it is necessary to improve protection conditions under these tensile structures, especially for the stands located at the border of the covered area. For this purpose, it is suggested that a vertical baffle made with a translucent membrane could be used. This baffle, if strategically placed on the most critical regions of the covering would allow light entrance, but at the same time, reducing the effects of direct

radiation. Besides, it would also provide a better protection against rain, without changes in the aesthetics of the original design.

## Sumário

|                            |  |    |
|----------------------------|--|----|
| Lista de Ilustrações ..... | xii  |    |
| Lista de Tabelas .....     | xvi  |    |
| 1                          | Introdução .....   | 1  |
| 1.1                        | Problema abordado e Hipóteses .....                                    | 3  |
| 1.2                        | Objetivos .....  | 6  |
| 1.2.1)                     | Objetivo geral da pesquisa: .....                                      | 6  |
| 1.2.2)                     | Os objetivos específicos da pesquisa são: .....                        | 6  |
| 1.3                        | Justificativa .....  | 6  |
| 1.4                        | Organização do Texto .....   | 7  |
| 2                          | Tensoestruturas .....  | 8  |
| 2.1                        | Histórico das Tensoestruturas .....                                    | 8  |
| 2.2                        | Exemplos de Tensoestruturas na Região Metropolitana de Belém .....     | 23 |
| 2.3                        | Classificação .....  | 25 |
| 2.3.1                      | Tensoestruturas de cabos .....   | 25 |
| 2.3.2                      | Tensoestruturas de tecido .....  | 27 |
| 2.3.2.1                    | Estruturas pneumáticas .....   | 27 |
| 2.4                        | Projeto .....  | 29 |
| 2.4.1                      | Fases do projeto de uma Tensoestrutura .....                           | 29 |
| 2.4.1.1                    | Busca da forma .....   | 30 |
| 2.4.1.2                    | Determinação dos padrões de corte .....                                | 32 |
| 2.4.1.3                    | Resposta aos carregamentos .....                                       | 33 |
| 2.5                        | Características dos tecidos .....                                      | 34 |
| 2.5.1                      | Resistência ao rasgamento .....  | 36 |
| 2.5.2                      | Resistência ao dobramento .....  | 37 |
| 2.5.3                      | Variação dimensional .....   | 37 |
| 2.5.4                      | Relaxação .....  | 38 |
| 2.5.5                      | Resistência ao fogo .....  | 38 |
| 2.5.6                      | Resistência a Tração .....   | 38 |
| 2.5.7                      | Durabilidade .....   | 40 |
| 2.5.7.1                    | Resistência aos ataques de fungos .....                                | 43 |
| 2.5.8                      | Conforto Térmico e absorção da Radiação Solar em tensoestruturas ..... | 43 |
| 2.5.9                      | Aspectos Acústicos .....   | 44 |
| 3                          | Metodologia .....  | 46 |
| 4                          | Arquitetura Bioclimática .....   | 47 |
| 4.1                        | Variáveis do Clima .....   | 49 |
| 4.1.1                      | Radiação solar .....   | 49 |
| 4.1.2                      | Temperatura .....  | 49 |
| 4.1.3                      | Umidade .....  | 50 |
| 4.1.4                      | Vento .....  | 50 |
| 4.2                        | Cartas Bioclimáticas .....   | 50 |
| 4.2.1                      | Estratégias Bioclimáticas .....  | 52 |

|         |   |       |
|---------|---|-------|
| 4.2.1.1 | Zona de conforto .....  | 52    |
| 4.2.1.2 | Ventilação .....  | 53    |
| 4.2.1.3 | Resfriamento evaporativo .....  | 54    |
| 4.2.1.4 | Inércia térmica para resfriamento.....  | 54    |
| 4.2.1.5 | Resfriamento artificial.....  | 55    |
| 4.2.1.6 | Umidificação .....  | 56    |
| 4.2.1.7 | Inércia térmica e aquecimento solar.....  | 56    |
| 4.2.1.8 | Aquecimento solar passivo .....   | 57    |
| 4.3     | Proteção Solar.....   | 58    |
| 5       | Condições Climáticas da Região .....  | 61    |
| 5.1     | Aspectos Climáticos .....   | 61    |
| 5.2     | Carta Bioclimática de Belém.....  | 64    |
| 6       | Estudo de caso: feira do Ver-o-Peso na cidade de Belém-Pa.....  | 70    |
| 6.1     | O Projeto das tensoestruturas .....   | 71    |
| 6.2     | Intervenções realizadas na feira.....   | 76    |
| 6.2.1   | Questionário Aplicado.....  | 80    |
| 6.2.1.1 | Resultados dos questionários aplicados aos Clientes.....  | 81    |
| 6.2.1.2 | Resultados das Entrevistas feitas com os Feirantes .....  | 84    |
| 6.2.1.3 | Análise das Condições Climáticas sob as Coberturas através do Programa Tensil 88                          |       |
| 7       | Modelo tridimensional da Feira do Ver-o-Peso para simulação da incidência da luz solar e das chuvas ..... | 93    |
| 7.1     | Posição das coberturas quanto à ventilação.....   | 93    |
| 7.2     | Simulação da Incidência de Luz Solar .....  | 94    |
| 7.3     | Incidência solar durante os solstícios e equinócios .....   | 95    |
| 7.4     | Simulação da incidência das chuvas nas coberturas.....  | 101   |
|         | Conclusões.....   | 104   |
|         | Sugestões para trabalhos futuros: .....   | 106   |
|         | Bibliografia.....   | 108   |
|         | <b>Anexo A – Planta Baixa Geral, Cortes e Detalhes do projeto da feira do Ver-O-Peso</b> ..               | 114   |
|         | <b>Anexo B - Formulário de Pesquisa da Feira do Ver-o-Peso - Feirantes</b> .....                          | 12020 |
|         | <b>Anexo C - Formulário de Pesquisa da Feira do Ver-o-Peso - Clientes</b> .....                           | 12222 |
|         | <b>Anexo D – Resultados do Questionário Aplicado aos feirantes</b> .....                                  | 12323 |
|         | <b>Anexo E – Resultados do Questionário Aplicado aos clientes</b> .....                                   | 13030 |
|         | <b>Anexo F – Descrição da criação do modelo geométrico da cobertura da feira</b> .....                    | 13434 |
|         | Iluminação .....  | 141   |
|         | Luzes Padrão .....  | 141   |
|         | Luzes Fotométricas.....   | 141   |
|         | Luzes para iluminar cenas externas .....  | 141   |
|         | Simulação da chuva .....  | 142   |
|         | Animação.....   | 146   |

## Lista de Ilustrações

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1 Feira do Ver-o-Peso. (outubro de 2003).   | 3  |
| Figura 1.2 – Intervenções feitas pelos feirantes usando plásticos azuis.   | 4  |
| Figura 1.3 – Intervenção feita pela prefeitura, usando toldos brancos.   | 4  |
| Figura 2.1 - Abrigo Pré-histórico. Fonte: JOTA (2004).   | 8  |
| Figura 2.2 - Tipi Indígena Norte-americano. Fonte: RED SKY (2004).   | 9  |
| <b>Figura 2.3 - Yurta Mongol.</b> Fonte: RED SKY (2004).   | 9  |
| Figura 2.4, a e b - Tenda negra beduina. Fonte: MIDDENDORF (2000) e RED SKY (2004).  | 10 |
| Figura 2.5 – Expressão artística de uma seção de Velarium de coliseu. RED SKY (2004).  | 10 |
| Figura 2.6 – Coliseu de Roma. Vista hipotética de parte da cobertura e camarote imperial.  | 11 |
| Figura 2.7 - Tenda do exército romano. Fonte: JOTA (2004).   | 11 |
| Figura 2.8 – Modelo físico de película de sabão. RED SKY (2004).   | 12 |
| Figura 2.9 - Arena de Raleigh. Fonte: JOTA (2004).   | 13 |
| <b>Figura 2.10 - Pavilhão Alemão da EXPO67 de Montreal.</b> Fonte: NATIONAL (1967)   | 13 |
| <b>Figura 2.11 - Pavilhão dos EUA na Exposição Internacional de Osaka (1970).</b> Fonte: MIDDENDORF (2000)                                     | 14 |
| Figura 2.12 - Hajj Terminal, King Abdul Aziz International Airport, Jeddah, Saudi Arabia.  | 15 |
| Figura 2.13 - Estádio do Rei Fahd, na Arábia Saudita. Fonte: JOTA (2004).  | 15 |
| Figura 2.14 - Georgia Dome nos EUA – Vista interior. Fonte: WORLD (1992)   | 16 |
| <b>Figura 2.15 - Sony Center em Berlin.</b> Fonte: BAUEN (2002)  | 16 |
| Figura 2.16 - Millennium Dome em Londres. Fonte: JOTA (2004).  | 17 |
| Figura 2.17 – Aeroporto de Denver. Fonte: DE NARDIS (1994).  | 17 |
| Figura 2.18 - Estádio Olímpico do Canadá. Fonte: WIKIPÉDIA (2004)  | 18 |
| Figura 2.19 – Estádio de Akita (Japão). Fonte: KAJIMA (1990)   | 18 |
| Figura 2.20 – Shopping Center de Piracicaba (SP) durante a montagem da estrutura.  | 19 |
| Figura 2.21 - Shopping Center de Piracicaba (SP) após concluída a montagem da estrutura.   | 19 |
| Figura 2.22 – Shopping center New York na Barra da Tijuca - Rio de Janeiro (RJ).   | 20 |
| Figura 2.23 – Cobertura da Igreja Batista do Ceará. Fonte: METÁLICA (2005).  | 20 |
| Figura 2.24 – Capela em São Luiz (Ma). Fonte: METÁLICA (2005).   | 21 |
| Figura 2.25 – Tensoestrutura para proteção de salas de aulas – PUC (RJ). Fonte: ARCOWEB (2004)   | 21 |
| Figura 2.26- Tensoestrutura UnB-DF (26/09/2003). Cortesia: Prof. Dênio Raman.  | 22 |
| Figura 2.27 - Tensoestrutura de 680m <sup>2</sup> na Lagoa de Jansen em S. Luiz (MA). Fonte: ARCOWEB (2002).                                   | 22 |
| Figura 2.28 - Tensoestrutura do Memorial dos Povos – Belém-Pa (2005).  | 23 |
| Figura 2.29 – Toldos para sombreamento no Memorial dos Povos – Belém-Pa (2005).  | 24 |
| Figura 2.30 – Tensoestrutura da Feira do Açaí, no Ver-o-Peso – Belém-Pa (2005).  | 24 |
| Figura 2.31 – Estádio Olímpico de Munique (1972). Fonte: MUNDOFRED (2005).   | 26 |
| Figura 2.32 - Pavilhão do Rio Grande do Sul - Exposição do IV Centenário de São Paulo no Parque do Ibirapuera (1954). Fonte: VITRUVIUS (2005). | 26 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.33 - Pavilhão de São Cristóvão (1960). Fonte: ARCOWEB (2002).....   | 27 |
| Figura 2.34 - Esquema de estrutura pneumática do tipo Insuflada. Fonte: Adaptado de PAULETTI (2003). .....   | 28 |
| Figura 2.35 - Esquema de estrutura pneumática do tipo Aspirada. Fonte: Adaptado de PAULETTI (2003). .....  | 28 |
| Figura 2.36 - Esquema de estrutura pneumática do tipo Inflada. Fonte: Adaptado de PAULETTI (2003). .....   | 29 |
| Figura 2.37 – Fases do projeto de uma tensoestrutura. (PAULETTI, 1999).....  | 30 |
| Figura 2.38 – Identificação dos padrões de corte tridimensionais, 64 tiras. OLIVEIRA (2004) .....  | 33 |
| Figura 2.39 – (a) tridimensional destacada (b) Tira tridimensional planificada. OLIVEIRA (2004) .....  | 33 |
| Figura 2.40 – Malha estrutural com revestimento. Fonte: ASCE (1996).....   | 35 |
| Figura 2.41 - Ensaio para teste de resistência ao rasgamento. (a) Teste com rasgamento em tira, (b) Teste com rasgamento trapezoidal, (c) Teste mono-axial com rasgamento central. Fonte: ASCE (1996)..... | 36 |
| Figura 2.42: Ensaio de resistência ao dobramento. Fonte: ASCE (1996).....  | 37 |
| Figura 2.43 – Máquina de ensaio. ALVIM (2003).....   | 39 |
| Figura 2.44 – <i>Ensaio uniaxiais de tração e os respectivos modos de ruptura – (a) e (b) tecido tipo 1;(c) e (d) tecido tipo 3. Fonte: Alvim (2003).</i> .....  | 40 |
| Figura 2.45 - Amostras de ruptura em Teste Bi-axial de tecidos revestidos (a) e não revestidos (b). .....  | 40 |
| Figura 2.46 - Student Center, La Verne (CA) – 1973. Fonte: MIDDENDORF (2000).....  | 41 |
| Figura 2.47 - Exemplo de uma ventilação adequada. Fonte: TENSINET (2001).....  | 43 |
| Figura 2.48 - Foto do Hotel Burj Al Arab. Fonte: NOVOMILENIO (2002).....   | 44 |
| Figura 2.49 - Circo Voador – Rio de Janeiro, re-inaugurado em 2004. ....   | 45 |
| Figura 4.1 - Carta Bioclimática adotada para o Brasil. Fonte: GOULART et al (1998).....  | 51 |
| Figura 4.2 – Carta Bioclimática com TRY de Belém. Fonte: Adaptado de GOULART et al (1998). .....   | 52 |
| Figura 4.3 - Figura 5. Zona de Conforto Higrotérmico. Fonte: LAMBERTS et al (2005). ....   | 53 |
| Figura 4.4 – Zona de ventilação. Fonte: LAMBERTS et al (2005). .....   | 53 |
| Figura 4.5 – Zona de resfriamento evaporativo. Fonte: LAMBERTS et al (2005).....   | 54 |
| Figura 4.6 - Zona de inércia térmica para resfriamento. Fonte: LAMBERTS et al (2005). ....   | 55 |
| Figura 4.7 - Zona de resfriamento artificial. Fonte: LAMBERTS et al (2005).....  | 55 |
| Figura 4.8 - Zona de umidificação. Fonte: LAMBERTS et al (2005).....   | 56 |
| Figura 4.9 - Zona de inércia térmica e aquecimento solar. Fonte: LAMBERTS et al (2005)..   | 57 |
| Figura 4.10 - Zona de aquecimento solar passivo. Fonte: LAMBERTS et al (2005). .....   | 57 |
| Figura 4.11 - Projeção estereográfica do sol sobre o plano do observador localizado em um ponto qualquer da Terra. Fonte: LAMBERTS (2005). .....   | 59 |
| Figura 4.12 - Movimento aparente do Sol no hemisfério Sul. ....  | 59 |
| Figura 5.1 – Mapa da Precipitação Anual. Fonte: INMET (2006).....  | 62 |
| Figura 5.2 – Temperatura Máx., Méd. e Min. Diária de Belém-Pa. Fonte: Fonte: INMET (2006). .....   | 63 |
| Figura 5.3 – Umidade Relativa do Ar em Belém-Pa - diária (%). Fonte: INMET (2006).....   | 64 |
| Figura 5.4 - Carta Bioclimática com TRY de Belém. Fonte: GOULART et al (1998) .....  | 65 |
| Figura 5.5 - Frequência mensal de direção do vento. GOULART et al (1998) .....   | 66 |
| Figura 5.6 - Estratégias Bioclimáticas para Belém baseada nas Normais, geradas pelo programa Analyses Bio 3.0. ....  | 67 |
| Figura 5.7 – Carta solar de Belém gerada pelo programa SOL-AR 5.0.1.....   | 68 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 5.8 – Rosa dos Ventos – Frequência de ocorrência dos ventos em Belém gerada pelo programa SOL-AR 5.0.1 .....   | 69 |
| Figura 5.9 - Rosa dos Ventos – Velocidade predominantes dos ventos em Belém gerada pelo programa SOL-AR 5.0.1 .....   | 69 |
| Figura 6.1 – Mercado do Ver-O-Peso antes da Reforma (2000). Fonte: Cidades do Brasil (2000). .....  | 70 |
| Figura 6.2 - Corte BB das tensoestruturas do Ver-O-Peso.....  | 71 |
| Figura 6.3 – Tensoestruturas utilizadas na reforma do Ver-O-Peso.....   | 72 |
| Figura 6.4 - Feira do Ver-O-Peso após a reforma, com vista do Mercado de Ferro ao fundo .....   | 72 |
| Figura 6.5 – Pilares periféricos (foto datada de 25/10/2003). .....   | 73 |
| Figura 6.6 – Respiradouro localizado nos pilares centrais (foto datada de 09/11/2005). .....  | 74 |
| Figura 6.7 – Barracas formadas por arcadas feitas com tubos metálicos.....  | 75 |
| Figura 6.8 – Plataforma mais elevada localizada no setor de alimentação da feira (foto datada de 27/11/ 2005). .....  | 76 |
| Figura 6.9 – Interferências feitas pelos feirantes (foto datada de 01/05/ 2005). .....  | 77 |
| Figura 6.10 – Colocação de plástico pelos feirantes, na abertura existente na cobertura para descida das águas das chuvas (foto datada de 01/05/ 2005). ..... | 77 |
| Figura 6.11 - Colocação de plástico pelos feirantes, na abertura existente na cobertura para descida das águas das chuvas (foto datada de 01/05/ 2005). ..... | 78 |
| Figura 6.12 - Colocação de um tambor, pelos feirantes, na abertura existente na cobertura para descida da água das chuvas (foto datada de 01/05/ 2005). ..... | 78 |
| Figura 6.13 - Tensoestruturas da feira do Ver-o-Peso, alguns meses após a inauguração (foto datada de 01/01/2003). .....                                      | 79 |
| Figura 6.14 – Tensoestruturas, da feira do Ver-o-Peso, e os toldos instalados pela prefeitura .....   | 80 |
| Figura 6.15– Grau de escolaridade dos clientes .....  | 81 |
| Figura 6.16– Opinião quanto à ventilação nas áreas cobertas .....   | 82 |
| Figura 6.17 – Opinião dos clientes quanto a proteção do sol.....  | 82 |
| Figura 6.18 – Opinião dos clientes quanto a proteção oferecida, pela cobertura, às chuvas....   | 83 |
| Figura 6.19 – Opinião dos clientes quanto a temperatura nas áreas internas da cobertura. ....   | 84 |
| Figura 6.20 – Opinião do feirantes quanto à ventilação nas áreas cobertas .....   | 85 |
| Figura 6.21 – Opinião dos feirantes quanto a proteção do sol .....  | 86 |
| Figura 6.22 - Opinião dos feirantes quanto a proteção oferecida, pela cobertura, às chuvas... ..  | 86 |
| Figura 6.23 – Opinião dos feirantes se a cobertura é suficiente para proteger os clientes .....   | 87 |
| Figura 6.24 – Opinião dos feirantes quanto a Iluminação .....   | 87 |
| Figura 6.25 Tela do programa Tensil 1.2 para escolha da cidade a ser estudada.....  | 88 |
| Figura 6.26 – Análise feita com o programa Tensil 1.2 quanto ao conforto térmico dos usuários sob as coberturas (tam1).....                                   | 89 |
| Figura 6.27 - Análise feita com o programa Tensil 1.2 quanto ao nível de iluminância nas áreas de trabalho. ....  | 90 |
| Figura 6.28 - Análise feita com o programa Tensil 1.2 quanto ao conforto térmico dos usuários sob as coberturas (tam 2).....                                  | 91 |
| Figura 6.29 - Análise feita com o programa Tensil 1.2 quanto ao nível de iluminância nas áreas de trabalho (tam2). .....                                      | 92 |
| Figura 7.1 – Vista aérea do modelo tridimensional criado e sua orientação.....  | 93 |
| Figura 7.2 - O Sistema Sunlight Configurado para latitude, longitude e fuso horário de Belém, para o dia 21 de junho de 2006. ....                            | 94 |
| Figura 7.3 – Maquete gerada através do Sistema “ <i>sunlight</i> ”, para o dia 22 de junho de 2006, às 11:00 horas da manhã.....                              | 95 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 7.4 – Simulação tridimensional da incidência solar durante o solstício de inverno (21 de junho).....  | 96  |
| Figura 7.5 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o solstício de verão (21 de janeiro).....  | 96  |
| Figura 7.6 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o equinócio de outono (21 de março).....   | 97  |
| Figura 7.7 – Simulação tridimensional da incidência solar durante o solstício de inverno (21 de junho).....  | 98  |
| Figura 7.8 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o solstício de verão (21 de janeiro).....  | 98  |
| Figura 7.9 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o equinócio de outono (21 de março).....   | 99  |
| Figura 7.10 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o equinócio de outono (21 de março).....  | 100 |
| Figura 7.11 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o solstício de verão (21 de janeiro)..... | 100 |
| Figura 7.12 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o equinócio de outono (21 de março).....  | 101 |
| Figura 7.13 – Simulação da chuva nas coberturas sem o toldo.....   | 102 |
| Figura 7.14 - Simulação da chuva nas coberturas com toldo.....   | 102 |
| Figura 7.15 - Simulação da chuva nas coberturas com solução proposta.....                                    | 103 |
| Figura A 1 – Planta Baixa Geral Projeto Ver-O-Peso. Fonte: P. M. De Belém.....                               | 115 |
| Figura A 2 – Cortes AA e BB Projeto Ver-O-Peso. Fonte: P. M. De Belém.                                       |     |
| Figura A 3 - Elevação Geral do Projeto Ver-O-Peso. Fonte: P. M. De Belém.....                                | 117 |
| Figura A 4 – Detalhes do Projeto Ver-O-Peso. Fonte: P. M. De Belém.....                                      | 118 |
| Figura A 5 – Detalhes do Projeto Ver-O-Peso. Fonte: P. M. De Belém.  |     |

|   |     |
|---|-----|
| Anexo B - Formulário de Pesquisa da Feira do Ver-o-Peso - Feirantes   |     |
| Figura F.1 – Modelagem de um elemento “plane” para criação, em duas dimensões, de 1 módulo da membrana de cobertura. ....     | 135 |
| Figura F.2 – Módulo que irá compor a Membrana, totalmente modelada em duas dimensões. ....                                    | 135 |
| Figura F.3 – Vértices da membrana sendo elevados. ....  | 136 |
| Figura F.4 – Membrana após o posicionamento dos vértices de acordo com as alturas fornecidas pelo projeto arquitetônico. .... | 136 |
| Figura F.5 – Módulos da membrana espelhados. ....   | 137 |
| Figura F.6 – Membrana completa. ....  | 138 |
| Figura F.7 – Membrana depois de aplicado o modificador “ <i>Mesh Smooth</i> ” ....  | 138 |
| Figura F.8 – “ <i>Spline</i> ” utilizada para definir o perfil para criação do fechamento superior das membranas. ....        | 139 |
| Figura F.9 – Superfície gerada a partir de uma curva “ <i>Spline</i> ” após aplicado o modificador “ <i>Lathe</i> ”. ....     | 139 |
| Figura F.10 – Maquete da feira gerada com o programa 3ds Max 8 – Setor de alimentação. ....                                   | 140 |
| Figura F.11 – Vista geral da Maquete da feira do Ver-O-Peso. ....   | 140 |
| Figura F.12 – Representação gráfica do efeito “ <i>Spray</i> ” e do efeito Gravidade. ....                                    | 143 |
| Figura F.13 – Representação gráfica dos efeitos: “ <i>Spray</i> ”, Gravidade e “ <i>Wind</i> ” (Vento), respectivamente. .... | 144 |
| Figura F.14 – Colocação dos deflectores. ....   | 145 |
| Figura F.15 – Aplicação do material às partículas da chuva. ....  | 145 |

## Lista de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 2.1 - Médias dos valores de resistência. ....  | 39 |
| Tabela 2.2 – Tabela comparativa de membranas com peso de 1.300g/m <sup>2</sup> .....                                    | 42 |
| Tabela 2.3 - Tabela comparativa de membranas com peso de 1.500g/m <sup>2</sup> .....                                    | 42 |
| Tabela 3.1 - Datas de início das estações do ano para o hemisfério sul.....   | 58 |
| Tabela 4.1- Estratégias Bioclimáticas - (%).....  | 66 |
| Tabela 4.2 - Estratégias Bioclimáticas (%) para Belém baseada nas Normais, geradas pelo programa Analyses Bio 3.0. .... | 67 |

# 1 Introdução

As tensoestruturas fazem parte de uma tecnologia que oferece aos arquitetos e engenheiros a possibilidade de uma diversidade de formas resultando em novas soluções para tradicionais problemas de projeto (iluminação natural, ventilação, solução estrutural, etc). Estas estruturas são usualmente utilizadas como cobertura compostas por membranas impermeáveis tensionadas por cabos, são relativamente fáceis de construir e a manutenção necessária é muito pequena. Devido à leveza do material, estas estruturas, tornam-se bastante eficientes para cobertura de vãos extensos, em geral, com grandes aberturas laterais.

Apesar das tensoestruturas serem um antigo sistema estrutural, suas formas arrojadas são recentes, diferenciando-se pelos materiais e técnicas de construção, além de envolverem projeto e análise estrutural complexos, utilizando simulações computacionais. Seus elementos estruturais básicos (os cabos e as membranas) são concebidos de forma simples. Porém, paradoxalmente, o comportamento estrutural destes elementos trabalhando em conjunto é essencialmente não-linear, requerendo cálculos complexos, realizados geralmente utilizando-se o Método dos Elementos Finitos. (OLIVEIRA, 2004).

Segundo PAULETTI (2003), com o progresso tecnológico experimentado nas últimas décadas, as tensoestruturas são hoje empregadas em projetos de grande importância arquitetônica e urbanística. Estas estruturas são utilizadas em obras de caráter transitório ou permanente, na escala de uma simples área coberta ou de um gigantesco estádio esportivo, e em usos tão distintos como a cobertura de um aeroporto ou as paredes de um arranha-céu.

O emprego freqüente das tensoestruturas se fundamenta nas inúmeras vantagens de utilização destas estruturas, dentre as quais pode-se destacar:

- A facilidade com que as mesmas cobrem grandes espaços;
- O custo relativamente reduzido; levando-se em consideração a grande capacidade estrutural da membrana;
- A rapidez de execução destas estruturas;
- Beleza arquitetônica;
- A translucidez da membrana;
- A diversidade de formas;
- O fato de poderem ser usadas como isolantes térmicos e acústicos, dependendo do tipo de membrana empregada;
- Sua impermeabilidade;

- A qualidade de não propagarem fogo em caso de incêndios;
- Por serem estruturas leves, porém resistentes às cargas do projeto e efeitos do vento, estas estruturas ainda oferecem durabilidade e resistência às intempéries;
- Facilidade quanto ao transporte e montagem, e relativa facilidade de demolição, desmontagem e remontagem.

Quanto às desvantagens, pode-se citar o fato destas estruturas tornarem-se caras para pequenos vãos e para determinadas formas de projeto, devido ao tamanho e custo das fundações. Além disso, a facilidade para montagem e desmontagem, pode ser ilusória, visto que emprega alta tecnologia, tanto em termos de métodos construtivos como em termos de materiais, requerendo mão de obra qualificada.

As tensoestruturas vêm sendo cada vez mais utilizadas, em todo o país, provavelmente sem que um estudo mais aprofundado quanto à adequação das mesmas às condições climáticas distintas tenha sido desenvolvido. A análise do contexto climático proporcionaria a criação de uma arquitetura visando melhorias das condições de conforto e conseqüente minimização do consumo energético. Tal estudo de adequação torna-se necessária, principalmente na Região Norte, devido seu clima ser caracterizado por altas temperaturas e elevada umidade relativa, e chuvas intensas e freqüentes.

É interessante destacar que estas condições características da Região Norte, apresentam algumas peculiaridades, tais como, por exemplo, surgimento e proliferação de fungos nas membranas. O problema tem sido tratado de maneira simplista através da impregnação da membrana com fungicidas, sendo que estes possuem eficiência com curta duração e, além disso, alguns produtos são bastante voláteis, evaporando rapidamente.

Outra peculiaridade regional deve-se ao fato de ocorrerem com freqüência na região Norte, longos períodos de intensa insolação, alternados com fortes precipitações. Este fenômeno, além de provocar o aquecimento e resfriamento da membrana repetidas vezes, causa também o efeito “molhagem/secagem”, o qual poderá provocar contração e dilatação das suas fibras, podendo provocar o surgimento de micro-fissuras. De acordo com OLIVEIRA (2004) as mudanças bruscas de temperatura podem provocar uma variação nas dimensões dos tecidos e conseqüentemente o enrugamento da superfície devido à alteração das tensões.

## 1.1 Problema abordado e Hipóteses

Este trabalho aborda o problema das tensoestruturas da feira do Ver-o-Peso não protegerem satisfatoriamente, o espaço interno, das intempéries. A feira, apresentada na Figura 1.1, está localizada no Município de Belém (bairro da Campina). A insatisfação, com relação a cobertura, pode ser observada nas Figura 1.2 e Figura 1.3, que mostram as intervenções feitas pelos próprios feirantes da feira e pela Prefeitura Municipal de Belém, respectivamente, objetivando amenizar a incidência do sol e da chuva no interior das áreas cobertas.



**Figura 1.1 Feira do Ver-o-Peso. (outubro de 2003).**



**Figura 1.2 – Intervenções feitas pelos feirantes usando plásticos azuis.**



**Figura 1.3 – Intervenção feita pela prefeitura, usando toldos brancos.**

O pressuposto deste estudo é de que, ao se projetar uma tensoestrutura considerando as condições climáticas locais, a forma da estrutura poderá ser adequada visando-se proteger as fachadas com laterais expostas ao sol e chuvas mais intensos, sem prejudicar a entrada da

luz natural e favorecendo a circulação do ar no interior das mesmas, conseqüentemente a temperatura interna será amenizada.

A problemática enfocada instiga os seguintes questionamentos fundamentais:

1) Qual a importância de se considerar com precisão as condições climáticas locais em projetos desta natureza?

2) Seria possível projetar uma tensoestrutura capaz de proteger, das intempéries, um espaço aberto a ser utilizada como feira livre de forma satisfatória?

2.1) As tensoestruturas da feira do Ver-o-peso foram projetadas atendendo às condições climáticas da Região Metropolitana de Belém?

2.2) Que ferramentas atuais podem ser utilizadas no projeto de tensoestruturas de forma a prever o grau de proteção requerida pelo projeto para seus usuários contra as intempéries?

2.3) Seria possível readaptar uma tenso-estrutura já construída de modo a atender os seus objetivos principais, no caso a utilização da feira, tanto quanto a proteção como a satisfação dos usuários quanto a sua adequação climática?

Para auxiliar no esclarecimento destas questões, este trabalho é baseado nas seguintes hipóteses:

1) Se as tensoestruturas do Ver-o-peso tivessem sido projetadas considerando-se o comportamento climático do local de forma mais precisa, as mesmas poderiam oferecer uma melhor proteção as intempéries, além de favorecer a ventilação e iluminação naturais e conseqüentemente melhor conforto térmico no interior das estruturas.

2) Projetar tensoestruturas com beirais maiores, mais baixos em determinados pontos e com recortes menos acentuados, poderá oferecer uma melhor proteção do interior das estruturas às intempéries.

3) Utilizando dados climatológicos, da região em estudo, o projetista poderá obter estratégias de projeto para cada período do ano. Dessa forma pode-se melhor adequar o projeto ao clima local.

4) As interferências feitas pelos feirantes têm a intenção de proteger melhor, das intempéries, o interior das estruturas.

## **1.2 Objetivos**

Este estudo trata de uma pesquisa com objetivos exploratórios. Trata-se de um Estudo de caso das tensoestruturas instaladas na feira livre fixa do Ver-o-Peso, localizada no bairro da Campina (Comércio), na cidade de Belém-Pa.

### *1.2.1) Objetivo geral da pesquisa:*

Verificar o uso e adequação das tensoestruturas à região Amazônica, considerando os seus aspectos climáticos, em particular, tem-se como objeto de estudo as tensoestruturas da feira do Ver-O-Peso.

### *1.2.2) Os objetivos específicos da pesquisa são:*

- Verificar a adequação climática do projeto da tensoestrutura, da feira do Ver-o-peso, às condições da região em estudo. Será analisado, se as mesmas desempenham satisfatoriamente a função de abrigo às intempéries;
- Avaliar as condições de uso das coberturas da feira com base nos conceitos da Arquitetura Bioclimática;
- Desenvolver uma maquete eletrônica da tensoestrutura em estudo, a fim de possibilitar simulações relativas a incidência de sol e chuva. As simulações da incidência solar serão feitas para aos seguintes momentos característicos do movimento do sol: o solstício de verão, solstício de inverno equinócio de outono;
- Verificar a adequação quanto ao uso a que se propõe, levando em consideração a avaliação do usuário. Pretende-se através destes questionários, obter um diagnóstico do grau de satisfação do usuário no que diz respeito ao conforto térmico, aos aspectos estéticos e quanto à proteção às intempéries, oferecidos pelas coberturas.

## **1.3 Justificativa**

Uma das principais justificativas para este estudo é a preocupação com a possibilidade de que proprietários e projetistas influenciados pelo apelo estético e funcional apregoado pelas tensoestruturas utilizem-nas indiscriminadamente sem um estudo mais aprofundado sobre sua adequação aos aspectos climáticos e sociais da região.

Podem-se destacar como outros aspectos que influenciaram para a realização deste estudo: o fato da feira livre fixa do complexo do Ver-o-Peso ser um fenômeno urbano com poucos estudos científicos e a importância histórica e patrimonial desta feira, não só para a cidade de Belém, mas a nível mundial (há solicitação para seu tombamento junto a UNESCO) (SILVA, 2005).

Do ponto de vista regional, é importante abordar se as utilizações destas estruturas estão adequadas aos usos propostos e aos aspectos climáticos da região. Para tanto, elas devem ser analisadas quanto a função primordial de uma cobertura, que é a de servir como abrigo às intempéries. Num primeiro momento, pode-se fazer uma rápida comparação com a Arquitetura Tropical. Esta utiliza em suas coberturas grandes beirais, acrescidos de quebra chuva, para proteger paredes e aberturas da insolação e precipitações intensas. Em contrapartida, as tensoestruturas apresentam grandes aberturas laterais não oferecendo barreira a uma chuva mais rigorosa.

## **1.4 Organização do Texto**

O capítulo 2 traz um histórico das tensoestruturas desde os primórdios da civilização até os dias de hoje. São mostrados também exemplos destas estruturas na região metropolitana de Belém. O Capítulo apresenta ainda uma classificação dessas estruturas, suas principais características e a forma como são projetadas.

No capítulo 3 é apresentada uma abordagem sobre Arquitetura Bioclimática, descrevendo os seus principais fundamentos e conceitos, tais como a carta bioclimática e estratégias de conforto.

No capítulo 4, são abordadas as condições regionais locais necessárias para fazer uma análise bioclimática do projeto.

No capítulo 5 é apresentado o modelo tridimensional criado para simulação e estudo da incidência da luz solar e das chuvas nas coberturas de membrana da feira.

O capítulo 6 corresponde ao estudo de caso de uma feira livre, a feira do Ver-O-Peso, onde será analisado o uso e a adequação deste tipo de cobertura para a região e para o fim a que se propõe: abrigo às intempéries.

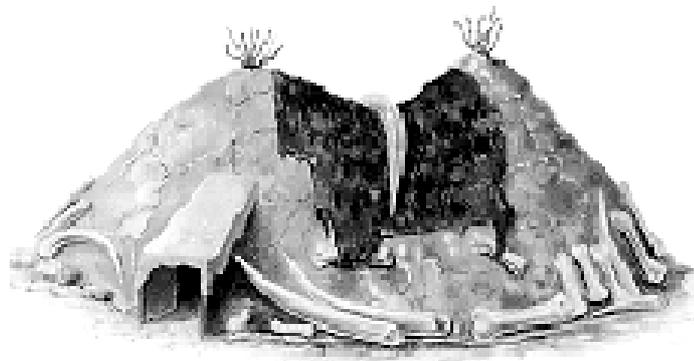
## 2 Tensoestruturas

Para proporcionar um conhecimento maior das estruturas de membrana, apresenta-se um histórico da evolução destas estruturas desde os primórdios da civilização até os dias de hoje. Posteriormente são apresentadas também classificação, características dos tecidos e projeto das tensoestruturas.

### 2.1 Histórico das Tensoestruturas

Segundo DILLEHY (1984), escavações arqueológicas têm revelado restos de construções que utilizavam em suas estruturas ossos, peles e madeira. Vestígios destas tendas que serviam como um tipo de abrigo foram encontrados na região da Ucrânia datando mais de 40.000 anos (ASCE, 1996)

Desde a pré-história havia uma preocupação do homem quanto ao conforto térmico, dentro dos abrigos, como o retratado na Figura 2.1, onde as bordas das peles eram enterradas no solo, fixadas com ossos, proporcionando vedação térmica e evitando que águas das chuvas entrassem pelo chão do abrigo (JOTA, 2004).



**Figura 2.1 - Abrigo Pré-histórico. Fonte: JOTA (2004)**

A mesma preocupação com a questão do conforto térmico pode ser observada nos Tipis indígenas os quais possuem uma abertura superior que funciona como exaustor de fumaça. Esta configuração permite que em dias quentes, as peles próximas ao chão sejam levantadas permitindo a entrada do vento e conseqüente saída do ar quente pelo efeito chaminé (ver Figura 2.2).



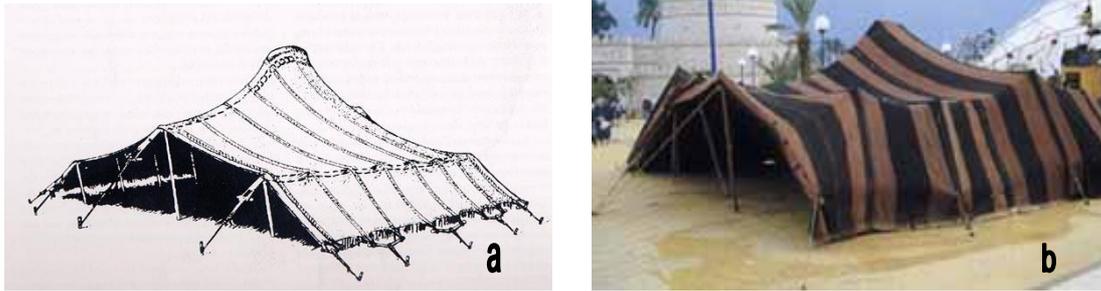
**Figura 2.2 - Tipi Indígena Norte-americano.** Fonte: RED SKY (2004).

A Yurta (Figura 2.3), das tribos nômades mongóis e siberianas, possui configuração semelhante aos Tipis. Sua estrutura possui uma abertura no centro da cobertura para saída da fumaça de uma fogueira central (JOTA, 2004).



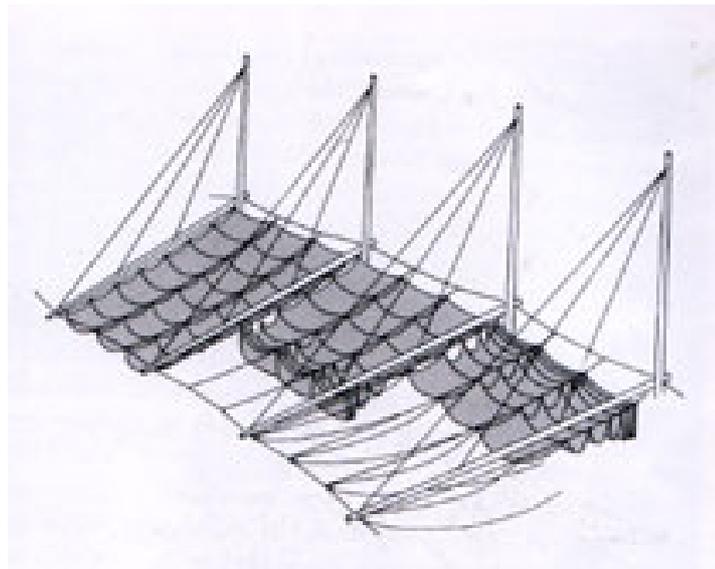
**Figura 2.3 - Yurta Mongol.** Fonte: RED SKY (2004).

Segundo PAULETTI (2003) as tendas são utilizadas entre os povos nômades para moradia, até os dias de hoje, destacando-se a tenda negra (Figura 2.4, a e b).

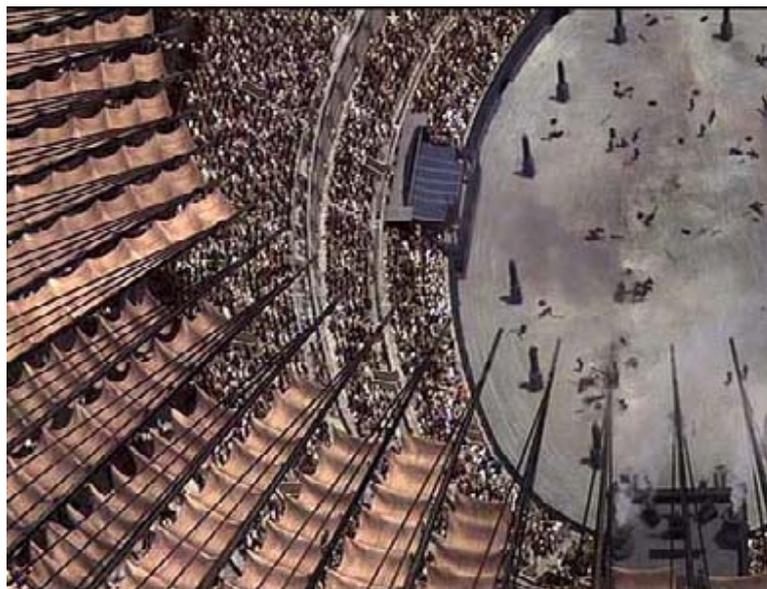


**Figura 2.4, a e b - Tenda negra beduina.** Fonte: MIDDENDORF (2000) e RED SKY (2004).

A Figura 2.5 exprime o que poderia ser um toldo de cobertura usado na Roma antiga. Estas coberturas eram retráteis para momentos de neve, ventos e chuvas fortes. Este tipo de cobertura, denominada velum ou velarium era muito usado nas cidades da Roma antiga. A maioria dos anfiteatros e coliseus romanos possuíam coberturas suspensas retráteis.



**Figura 2.5 – Expressão artística de uma seção de Velarium de coliseu.** RED SKY (2004).



**Figura 2.6 – Coliseu de Roma. Vista hipotética de parte da cobertura e camarote imperial.**

Fonte: JOTA (2004).

Em todas as épocas existem registros do uso de tendas pelos exércitos (HATTON, 1979 apud JOTA, 2004). A Figura 2.7 ilustra uma tenda do exército romano.

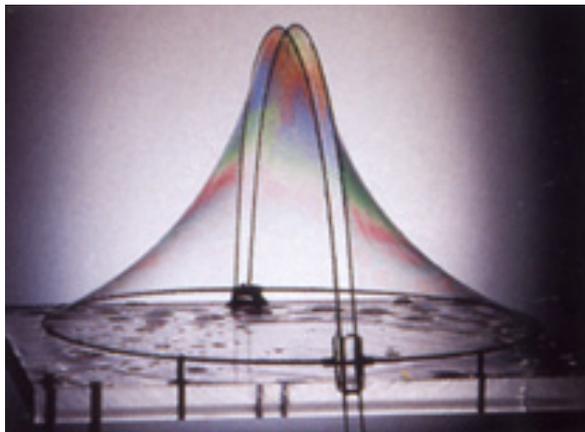


**Figura 2.7 - Tenda do exército romano.** Fonte: JOTA (2004).

Esta abordagem, desde a pré-história, revela que desde os primórdios da civilização havia uma preocupação quanto à questão da utilização da cobertura como abrigo, tendo em vista o conforto térmico. Esta preocupação, também é objeto deste trabalho visto que a diversidade das formas, em uma tensoestrutura, podem levar os arquitetos a uma maior

preocupação com a plasticidade do que com os aspectos práticos do projeto, como por exemplo: a proteção ao sol, às chuvas e um melhor aproveitamento da ventilação, prejudicando o conforto térmico no interior das mesmas.

Diversos autores, entre eles JOTA (2004) e PAULETTI (2003), fazem referência a importância das realizações técnicas e conceituais do arquiteto alemão Frei Otto, entre os anos de 1954 e 1970, no campo das tensoestruturas. Frei Otto utilizava em seus estudos modelos físicos, em tamanho reduzido, para testar a estabilidade das coberturas. Para isso ele contava com o auxílio de pesquisadores do Instituto de Estruturas Leves (Stuttgart-Alemanha). A Figura 2.8 é um exemplo de um modelo físico utilizando película de sabão. A utilização de modelos físicos só foi superada a partir da década de 1970, pelo uso de recursos computacionais.



**Figura 2.8 – Modelo físico de película de sabão.** RED SKY (2004).

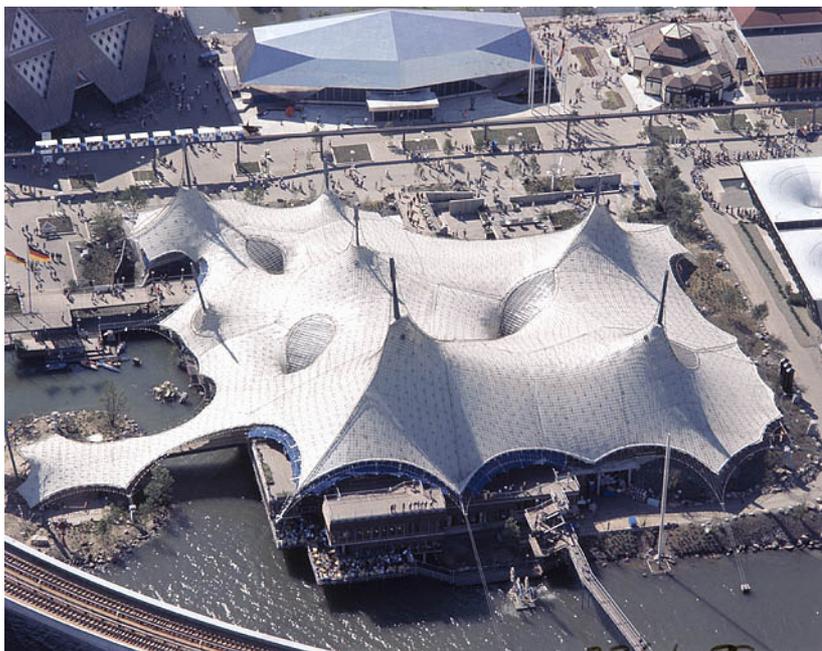
Muitos materiais foram aprimorados durante os séculos XIX e XX, como por exemplo, o cabo de aço de alta resistência anteriormente utilizado em pontes suspensas e guindastes. Estes cabos foram utilizados, de acordo com JOTA (2004), para a construção da primeira cobertura tracionada moderna: a Arena de Raleigh (EUA - 1953), medindo 92 m x 97 m. A Figura 2.9 ilustra a Arena de Raleigh, após a construção.



**Figura 2.9 - Arena de Raleigh.** Fonte: JOTA (2004).

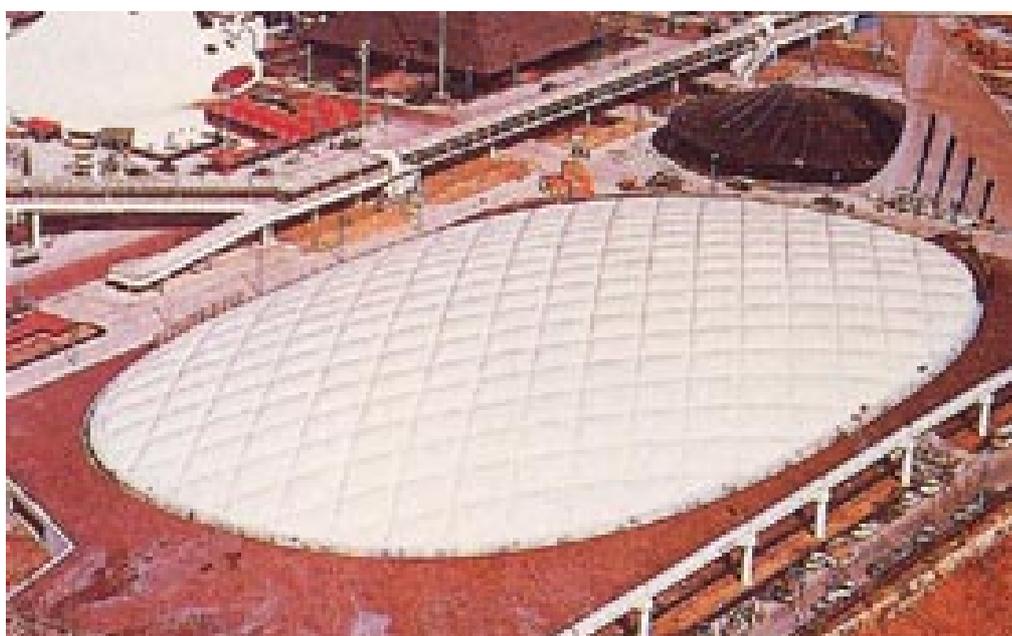
De acordo com PAULETTI (2003) e JOTA (2004), no século XX as estruturas de membranas passam a contar com tecnologia construtiva, atribuindo a estas: resistência, estabilidade e durabilidade. As formas anticlásticas (curvaturas em sentidos opostos) e o desenvolvimento de materiais mais resistentes foram alguns dos principais fatores que permitiram estas mudanças. As estruturas passam de pequenas a mega-estruturas e deixam de ter caráter temporário para permanente.

PAULETTI (2003) destaca o Pavilhão Alemão da EXPO67 de Montreal (Figura 2.10) como sendo um marco que consolidou a moderna arquitetura das tensoestruturas, além de ter sido o primeiro trabalho, de Otto, de grande escala e caráter permanente.



**Figura 2.10 - Pavilhão Alemão da EXPO67 de Montreal.** Fonte: NATIONAL (1967)

A partir de 1970, de acordo com JOTA (2004), tensoestruturas passaram a cobrir pavilhões, estádios de futebol, aeroportos, marcando a fase contemporânea. Dentre elas pode-se citar em 1970, o Pavilhão dos EUA na exposição de Osaka (Figura 2.11). Esta estrutura foi a primeira grande cobertura inflável, tendo sido também a primeira cobertura deste tipo analisada utilizando métodos computacionais, de acordo com MIDDENDORF (2000). Ainda na década de 70, segundo PAULETTI (2003), destaca-se o projeto de cobertura das piscinas e do estádio dos Jogos Olímpicos de Munique, em 1972 (primeiro a utilizar métodos computacionais para análise de redes de cabos).



**Figura 2.11 - Pavilhão dos EUA na Exposição Internacional de Osaka (1970).** Fonte: MIDDENDORF (2000)

Passando para a década de 80 destacam-se o Terminal Hajj do Aeroporto Internacional King Abdull Aziz (Figura 2.12), a maior cobertura realizada no mundo até hoje totalizando 430 mil metros quadrados, e o Estádio do Rei Fahd (Figura 2.13), ambos na Arábia Saudita.



**Figura 2.12 - Hajj Terminal, King Abdul Aziz International Airport, Jeddah, Saudi Arabia.**

Fonte: AGA (1993).

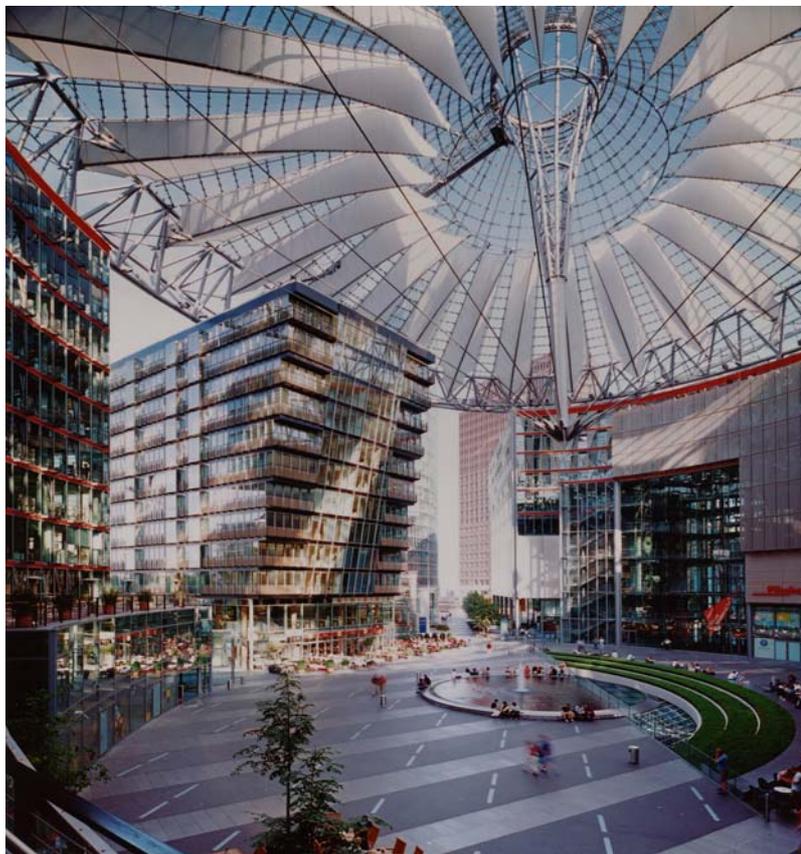


**Figura 2.13 - Estádio do Rei Fahd, na Arábia Saudita.** Fonte: JOTA (2004).

Já na década de 90 destacam-se o Georgia Dome nos EUA (Figura 2.14), o Sony Center em Berlin (Figura 2.15) e o Millennium Dome em Londres (Figura 2.16), sendo que as três obras tem em comum o uso de membranas de fibra de vidro revestidas com PTFE (mais detalhes sobre este material serão fornecidos na seção 2.3).



**Figura 2.14 - Georgia Dome nos EUA – Vista interior.** Fonte: WORLD (1992)



**Figura 2.15 - Sony Center em Berlin.** Fonte: BAUEN (2002)



**Figura 2.16 - Millennium Dome em Londres.** Fonte: JOTA (2004).

Atualmente, é notória a difusão e uso de tensoestruturas em espaços de caráter permanente. A título de ilustração, citam-se alguns exemplos de destaque internacional, além de outras estruturas recentemente construídas no Brasil:

- Aeroportos: de Jeddah (Figura 2.12) e Denver (Figura 2.17);



**Figura 2.17 – Aeroporto de Denver.** Fonte: DE NARDIS (1994)

- Estádios: Canada (Figura 2.18) Akita (Figura 2.19);



**Figura 2.18 - Estádio Olímpico do Canadá.** Fonte: WIKIPÉDIA (2004)



**Figura 2.19 – Estádio de Akita (Japão).** Fonte: KAJIMA (1990)

- Shopping Centers: Shopping Center Piracicaba (Piracicaba-SP) (Figura 2.20 e Figura 2.21); Shopping New York (Barra da Tijuca - Rio de Janeiro-RJ) (Figura 2.22);



**Figura 2.20 – Shopping Center de Piracicaba (SP) durante a montagem da estrutura.**

Fonte: METÁLICA (2005).



**Figura 2.21 - Shopping Center de Piracicaba (SP) após concluída a montagem da estrutura.**

Fonte: METÁLICA (2005).



Figura 2.22 – Shopping center New York na Barra da Tijuca - Rio de Janeiro (RJ).

Fonte: METÁLICA (2005)

- Igrejas e Capelas: IBC Igreja Batista Central em Fortaleza (Figura 2.23), Capela em São Luiz (MA) (Figura 2.24);



Figura 2.23 – Cobertura da Igreja Batista do Ceará. Fonte: METÁLICA (2005).



**Figura 2.24 – Capela em São Luiz (Ma).** Fonte: METÁLICA (2005).

Universidades: Proteção para salas de aulas, na PUC-RJ (Figura 2.25) e UnB (Figura 2.26).



**Figura 2.25 – Tensoestrutura para proteção de salas de aulas – PUC (RJ).** Fonte: ARCOWEB (2004)



**Figura 2.26- Tensoestrutura UnB-DF (26/09/2003).** Cortesia: Prof. Dênio Raman.



**Figura 2.27 - Tensoestrutura de 680m<sup>2</sup> na Lagoa de Jansen em S. Luiz (MA).** Fonte: ARCOWEB (2002).

Atualmente, com a evolução da tecnologia têxtil, as mantas sintéticas tiveram suas vidas úteis aumentadas, tornando-se mais duráveis e resistentes. Dentre os avanços tecnológicos recentes pode-se ainda citar: o aproveitamento da luz natural, através de membranas translúcidas com camadas protetoras, que oferecem proteção contra os raios ultravioleta, do sol e o surgimento de tecidos auto-extinguíveis. Por estes e outros inúmeros motivos, estas estruturas vem despertando o interesse cada vez maior de arquitetos em busca de uma solução arquitetônica completa, capaz de resolver por si só, aspectos estéticos e estruturais sem deixar de lado a funcionalidade.

## **2.2 Exemplos de Tensoestruturas na Região Metropolitana de Belém**

Ainda em Belém, pode-se encontrar outros exemplos de tensoestruturas: a tensoestrutura do Memorial dos Povos (Figura 2.28), os toldos utilizados para sombreamento no Memorial dos Povos (Figura 2.29) e a cobertura utilizada na Feira do Açaí (Figura 2.30), próximo a primeira rua de Belém.



**Figura 2.28 - Tensoestrutura do Memorial dos Povos – Belém-Pa (2005).**



**Figura 2.29 – Toldos para sombreamento no Memorial dos Povos – Belém-Pa (2005)**



**Figura 2.30 – Tensoestrutura da Feira do Açaí, no Ver-o-Peso – Belém-Pa (2005)**

## **2.3 Classificação**

PAULETTI (2003) classifica as estruturas, segundo seu estado, como estruturas retesadas e quanto ao comportamento como estruturas flexíveis. Quanto aos elementos construtivos, ele as dividiu em estruturas de cabos e estruturas de membranas.

OLIVEIRA (2004) classificou as tensoestruturas quanto aos elementos construtivos em:

- a) “Tensoestruturas formadas por malhas de cabos ou fios de aço ou material novo e resistente (por exemplo: aramida ou Kevlar), cobertas com telhas poliméricas translúcidas ou tecido.”
- b) “Tensoestruturas formadas por membranas, que podem ser constituídas por pedaços de tecidos costurados, também chamadas tensoestruturas têxteis, ou por outros materiais, como folhas de aço.”

A seguir são mostrados alguns exemplos de algumas estruturas seguindo esta última classificação.

### **2.3.1 Tensoestruturas de cabos**

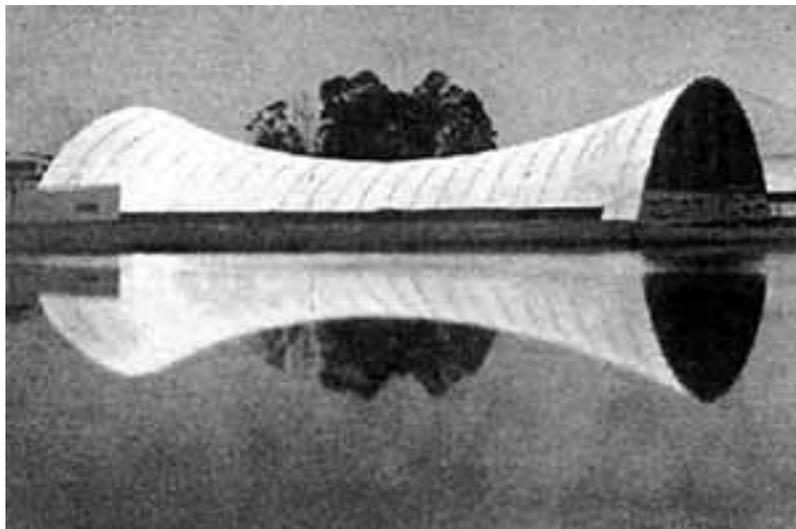
O estímulo para a criação de tensoestruturas formadas por malhas de cabos destinadas à cobertura de grandes vãos, segundo OLIVEIRA (2004), deve-se ao surgimento de fios e cordoalhas de aço duro, ou aço de protensão, com baixa relaxação. Folhas ou telhas de material plástico translúcido, ou pedaços de tecidos costurados, podem ser utilizados para cobrir a superfície formada.

Como exemplo de estruturas de cabos, pode-se citar a cobertura do pavilhão da Alemanha na Expo 1967, em Montreal, Canadá (Figura 2.10) e a cobertura das arquibancadas do estádio olímpico de Munique (1972), projetadas por Frei Otto (Figura 2.31).



**Figura 2.31 – Estádio Olímpico de Munique (1972).** Fonte: MUNDOLFRED (2005).

A cobertura do Pavilhão de Exposições do Rio Grande do Sul (Figura 2.32), em São Paulo (1954) e a cobertura do Pavilhão de São Cristóvão (Figura 2.33), no Rio de Janeiro (1960), são exemplos de coberturas de cabos no Brasil.



**Figura 2.32 - Pavilhão do Rio Grande do Sul - Exposição do IV Centenário de São Paulo no Parque do Ibirapuera (1954).** Fonte: VITRUVIUS (2005).



**Figura 2.33 - Pavilhão de São Cristóvão (1960).** Fonte: ARCOWEB (2002).

## **2.3.2 Tensoestruturas de tecido**

Segundo OLIVEIRA (2004) as estruturas de tecido podem ser classificadas em:

- a) Estruturas pneumáticas;
- b) Tensoestruturas têxteis.

### **2.3.2.1 Estruturas pneumáticas**

As estruturas pneumáticas são as únicas onde é possível que todos os elementos trabalhem submetidos à tração. (PAULETTI, 2003).

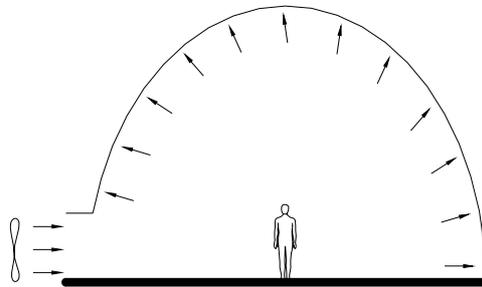
De acordo com PAULETTI, 2003, as estruturas pneumáticas se subdividem em estruturas:

- a) Insufladas;
- b) Aspiradas;
- c) Infladas.

HERZOG (1977) apud PAULETTI (2003), acrescenta a esta subdivisão um quarto tipo: os sistemas pneumáticos abertos, que contempla as velas, os pára-quadras e as bolinas.

### **Estrutura Insuflada**

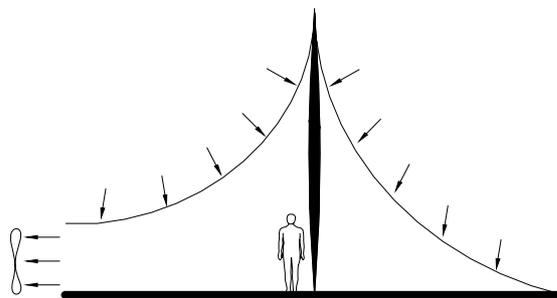
Na estrutura Insuflada, o espaço útil é fechado por uma membrana, suportada por uma pressão interna levemente maior que a atmosférica. Ver a Figura 2.34 e a Figura 2.34. (PAULETTI, 2003).



**Figura 2.34 - Esquema de estrutura pneumática do tipo Insuflada.** Fonte: Adaptado de PAULETTI (2003).

### **Estrutura Aspirada**

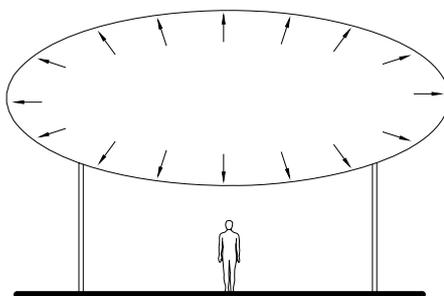
Nas estruturas aspiradas, a pressão externa é maior do que a interna, de forma inversa ao que ocorre nas estruturas insufladas. Ver Figura 2.35 (PAULETTI, 2003).



**Figura 2.35 - Esquema de estrutura pneumática do tipo Aspirada.** Fonte: Adaptado de PAULETTI (2003).

## Estruturas Infladas

Esta estrutura utiliza balões pressurizados, como elementos estruturais (vigas, colunas e arcos). Ver Figura 2.36 (PAULETTI, 2003).



**Figura 2.36 - Esquema de estrutura pneumática do tipo Inflada.** Fonte: Adaptado de PAULETTI (2003).

## 2.4 Projeto

As formas do tipo conóides, parabolóide hiperbólicas e funiculares são as mais utilizadas nos projetos de tensoestruturas. É necessário que estas formas possuam superfícies anticlásticas (duas curvaturas reversas) para que a estrutura atinja seu equilíbrio. As estruturas pneumáticas são as únicas que permitem superfícies sinclásticas (curvaturas na mesma direção). Nestas estruturas é a pressão do ar que sustenta a membrana, funcionando como carregamento transversal. (FIGUEROLA, 2004).

De acordo com FAKRI (2005) apud FIGUEROLA (2004), as normas utilizadas para este tipo de estruturas são as normas francesa ou italiana, já que no Brasil não há norma específica para as mesmas.

### 2.4.1 Fases do projeto de uma Tensoestrutura

Segundo PAULETTI (2003), “a busca da forma, a determinação dos padrões de corte e a resposta ao carregamento – variando nomenclaturas - são as fases que caracterizam o processo de projeto e análise das tensoestruturas”. A Figura 2.37 ilustra as fases do projeto de uma tensoestrutura, desde a intenção arquitetônica até a solução de projeto.

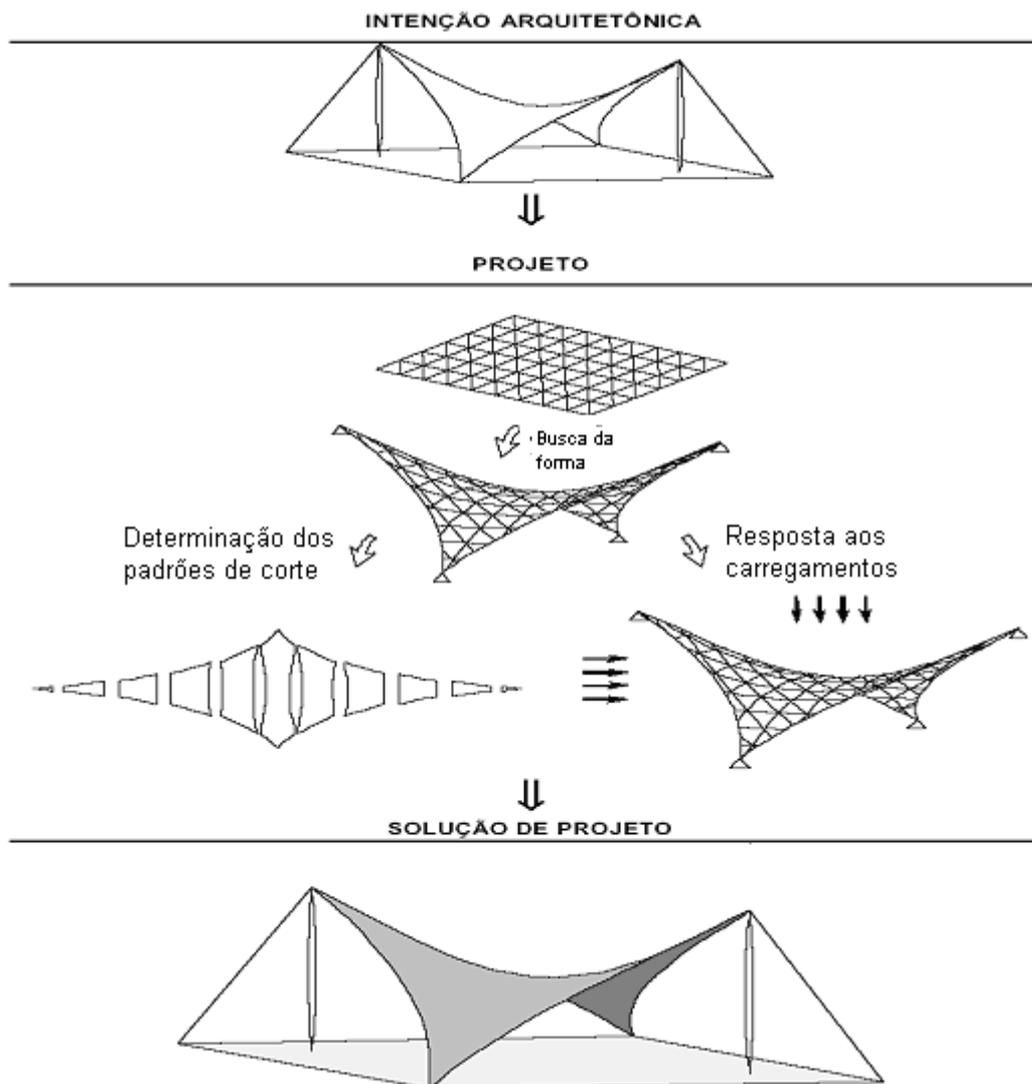


Figura 2.37 – Fases do projeto de uma tensoestrutura. (PAULETTI, 1999).

### 2.4.1.1 Busca da forma

De acordo com PAULETTI (2003) não é tão simples definir a forma de uma tensoestrutura. O fato desta não ter rigidez à flexão e muito menos a compressão, torna necessário a interação entre a forma, os carregamentos externos e o estado interno de tensões de tração para satisfazer as equações de equilíbrio. O projeto preliminar deve satisfazer as equações de equilíbrio – onde as protensões e a geometria definirão o estado de equilíbrio da estrutura – os aspectos arquitetônicos, quanto a forma e uso, objetivando a resistência e estabilidade estrutural.

Segundo OLIVEIRA (2003), não há um método consolidado para a definição da forma. As características arquitetônicas determinam somente as linhas gerais da forma, porém, a eficiência estrutural é que definirá a forma final da estrutura. Os métodos utilizados, para definição da forma são:

## **1 Modelos físicos**

Os modelos físicos permitem experimentar várias possibilidades das estruturas tensionadas, facilitando a visualização tridimensional da cobertura. De acordo com WAGNER (2003) apud JOTA (2004) os modelos físicos permitem avaliar a estabilidade sem que seja necessária a descrição racional do fenômeno.

Segundo PAULETTI (2003) a utilização de modelos físicos reduzidos foi decisiva para o desenvolvimento e aceitação da tecnologia das tensoestruturas e sua utilização deverá persistir como meio auxiliar de análises preliminares em grandes projetos, assim como um meio alternativo de baixo custo para pequenos projetos.

JOTA (2004) destaca como meios utilizados para criação dos modelos físicos reduzidos: tecidos elásticos, de borracha, fios, correntes, arames, filmes líquidos (películas de sabão).

## **2 Método da superfície mínima**

OLIVEIRA (2003) descreve este método como sendo a minimização da superfície do tecido para um contorno determinado. Utiliza-se para determinar a superfície da modelagem física com película de sabão.

WAGNER (2003) apud JOTA (2004) argumenta que as superfícies mínimas, geradas pelas películas de sabão, não podem ser construídas com faixas de membranas ou filmes, porque a junção das faixas sempre quebrará a uniformidade da distribuição das tensões diferindo-a da superfície concebida, onde a distribuição das tensões é isotrópica (uniforme).

## **3 Método da densidade das forças**

SCHEK (1974) desenvolveu este método para aplicação em coberturas de cabos, podendo ser usado também para membranas.

O método de densidade das forças (MDF), de acordo com OLIVEIRA (2003), “considera que a superfície do tecido pode ser discretizada através de uma malha de cabos equivalente. São definidas as equações de equilíbrio desta malha, sobre determinado

carregamento e condições de contorno”. Sendo o sistema gerado, por estas equações, não-linear, torna-se necessário utilizar um artifício matemático para torná-lo linear. Este recurso consiste em considerar constante a relação entre a força e o comprimento de uma barra.

#### **4 Método da densidade das tensões**

Segundo OLIVEIRA (2003) este método, proposto por MAURIN E MOTRO (1998), é uma adaptação do método de densidade das forças. O método usa elementos planos triangulares para descrever a superfície do tecido e tem como principal objetivo linearizar as equações de equilíbrio e diminuir o esforço computacional.

#### **5 Método dos elementos finitos (MEF)**

ARGYRIS (1974) apud OLIVEIRA (2003) utilizou este método pela primeira vez em 1974, em estruturas de cabos. No caso das estruturas de membrana deve-se definir uma malha triangular inicial, com a forma desejada, projetada horizontalmente de forma aproximada.

##### **2.4.1.2 Determinação dos padrões de corte.**

Segundo PAULETTI (2003), a superfície encontrada, após definida a estrutura, deve ser transformadas em peças planas, para fabricação. As tensoestruturas possuem superfícies de dupla curvatura, as quais não podem ser planificadas, o que torna o processo de determinação dos padrões de corte aproximado. Deve-se limitar ao máximo o erro dessa aproximação, para não fugir da configuração original pretendida, ou de aparecerem rasgos ou zonas de enrugamento, que condenariam a estrutura, tanto do ponto de vista mecânico quanto de uso.

De acordo com OLIVEIRA (2003), o processo de planejar linhas de corte da superfície tridimensional planificando-a é semelhante ao processo usado pelos alfaiates para definir os cortes no tecido plano para fazer um paletó.

A Figura 2.38 ilustra uma identificação de padrões de corte tridimensional em 64 tiras, enquanto que a Figura 2.39 (a) observa-se uma tira destacada do modelo e na Figura 2.39 (b) vê-se a tira tridimensional planificada

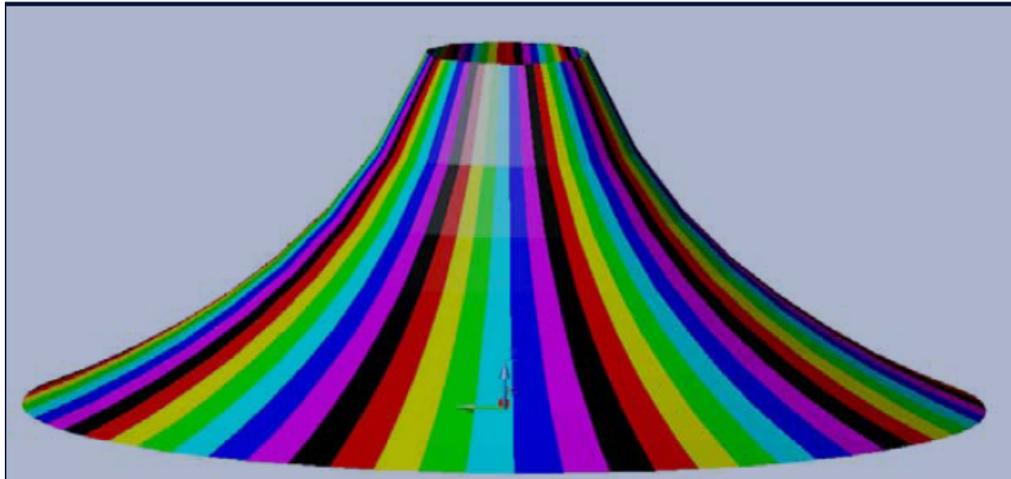


Figura 2.38 – Identificação dos padrões de corte tridimensionais, 64 tiras. OLIVEIRA (2004)

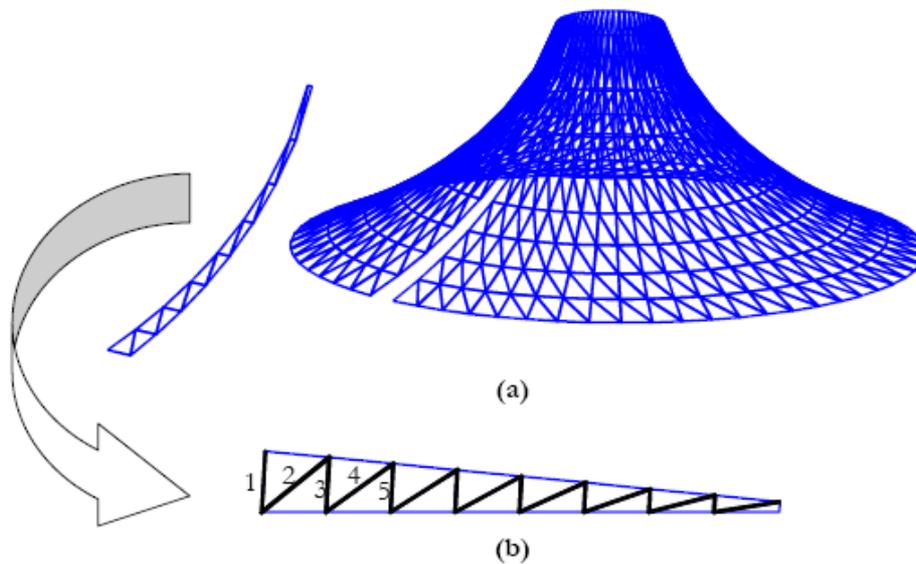


Figura 2.39 – (a) tridimensional destacada (b) Tira tridimensional planificada. OLIVEIRA (2004)

### 2.4.1.3 Resposta aos carregamentos.

Para PAULETTI (2003), uma vez determinada a forma de equilíbrio inicial, o comportamento da estrutura deve ser examinado com atenção, garantindo que a estrutura suportará todas as solicitações a que for submetida. A suscetibilidade a grandes variações geométricas deve-se a falta de rigidez à flexão. Estas estruturas tendem a sofrer grandes deflexões ao se adaptarem aos carregamentos. “Em alguns casos, os próprios carregamentos são dependentes da deformação. Um exemplo óbvio é o carregamento de pressão, que permanece sempre normal à superfície deformada. Torna-se necessário proceder-se a uma

análise não-linear para incluir estes efeitos na análise de resposta aos carregamentos. Critérios de aceitação para as análises de carregamento devem considerar a segurança mecânica a curto e longo prazo, a limitação das vibrações e a perda de protensão, que pode levar ao enrugamento da membrana”.

## **2.5 Características dos tecidos**

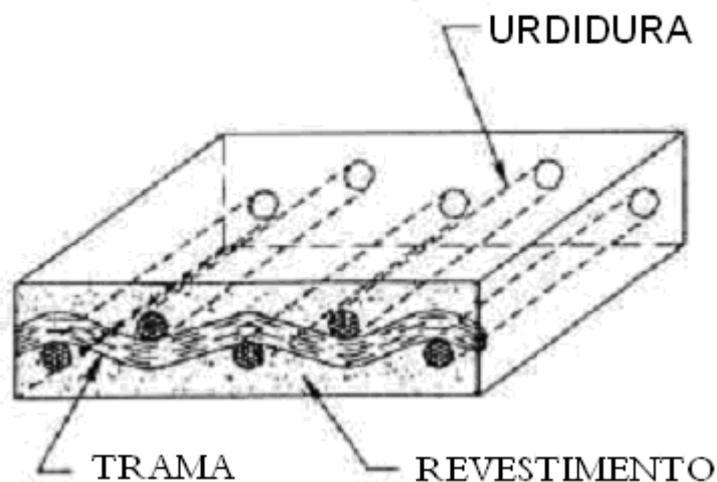
Descrevem-se em seguida as características das membranas, utilizadas como principal material de construção das tensoestruturas.

Segundo OLIVEIRA (2003), os tecidos, mais comumente usados, são compostos por fibras e uma camada de revestimento. Também podem ser encontrados tecidos sem revestimento e membranas poliméricas sem a presença de fibras.

Conforme a ASCE (1996), as fibras são unidas em fios, por não serem espessas e nem longas o suficiente para serem usadas como material estrutural. Para compor as malhas estruturais os fios podem ser colocados sobrepostos ou tramados, para depois receberem o revestimento. A Figura 2.40 mostra esquematicamente uma membrana composta por fios tramados com camada de revestimento.

Nas mantas tramadas, normalmente a direção mais flexível é no sentido das fibras do comprimento do tecido, chamadas warp fibers ou urdidura. As fibras que se entrelaçam à urdidura são conhecidas como weft, fill fibers ou trama.

Quando os fios são entrelaçados, a espessura da membrana alcança três vezes o diâmetro do fio, enquanto que no caso de fios sobrepostos a espessura aumenta de apenas duas vezes. Consequentemente, no primeiro caso, o consumo de revestimento é maior.



**Figura 2.40 – Malha estrutural com revestimento.** Fonte: ASCE (1996).

Dentre as fibras usadas para compor as membranas destacam-se: Poliéster, fibra de vidro, nylon e aramida, sendo que, segundo FAKRI (2005), as fibras mais utilizadas a nível mundial, para coberturas tencionadas são as fibras de poliéster e as de fibras de vidro. Estas últimas diferenciam quanto ao custo, durabilidade, capacidade mecânica, tecnologia de produção e facilidade de manuseio.

De acordo com a ASCE (1996), as membranas podem receber as seguintes camadas de revestimento:

- 1) **CLORETO POLIVINÍLICO (PVC):** Este é um material leve e maleável, resistente aos raios UV e permite a aplicação de diversas cores. Sua aplicação mais comum é nos tecidos de poliéster e nylon.
- 2) **POLITETRAFLUORETILENO (PTFE) :** O PTFE aplicado a fibras de vidro resulta em um material com grande estabilidade. Ele é quimicamente inerte, resistente à umidade, a micro-organismos, ao fogo, tem alta resistência à tração, alto módulo de elasticidade e tem baixa deterioração relacionada ao envelhecimento. De acordo com OLIVEIRA (2003) o tecido revestido com PTFE é mais caro que o revestido com PVC.
- 3) **SILICONE:** O silicone é usado para revestir fibras de vidro. Ele é resistente aos raios UV, possui alta resistência ao fogo, alta resistência à tração e elevado módulo de

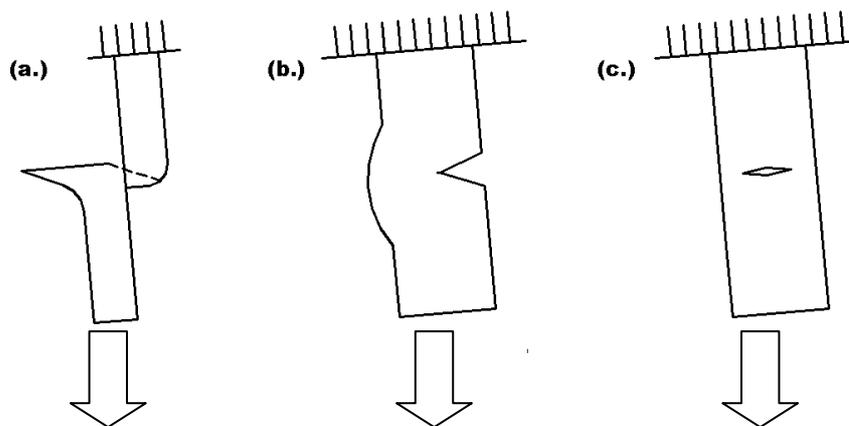
elasticidade. Por se tratar de um material translúcido, o revestimento em silicone permite a utilização de membranas que oferecem o aproveitamento da luz natural.

- 4) **ADITIVOS:** Os aspectos estéticos e a translucidez da estrutura são comprometidos pela sujeira aliada à poluição, as quais podem danificar o revestimento diminuindo a vida útil da membrana. Para proteger a membrana deve-se acrescentar uma camada de verniz ou laca ao revestimento. A aplicação de verniz além de proteger a membrana dos raios UV também melhora suas características autolimpantes. O Tedlar é um dos materiais utilizados para isto. Ele é um fluoreto de polivinil (PVF) e pode ser aplicado tanto no poliéster revestido de PVC quanto na fibra de vidro revestida de PTFE. Membranas de poliéster também possuem vernizes de acrílico ou de decafluoreto de polivinil (PVDF) ou de uretano.

### 2.5.1 Resistência ao rasgamento

Segundo OLIVEIRA (2003), a resistência ao rasgamento nas membranas refere-se a capacidade de resistir a propagação de um rompimento, após iniciado. Esta característica merece especial atenção, visto que a maioria dos colapsos nas tensoestruturas de membrana ocorre por rasgamento. Para determinar a forma do rasgamento e a resistência a este, existem vários testes. A Figura 2.41 ilustra os testes mais usuais.

Para ASCE (1996), um material pode ter alta resistência à tração, porém, baixa resistência ao rasgamento. As fibras de vidro, por exemplo, apresentam este tipo de comportamento.



**Figura 2.41 - Ensaio para teste de resistência ao rasgamento. (a) Teste com rasgamento em tira, (b) Teste com rasgamento trapezoidal, (c) Teste mono-axial com rasgamento central. Fonte: ASCE (1996)**

### 2.5.2 Resistência ao dobramento

Segundo a ASCE (1996), o manuseio da membrana desde a sua fabricação até seu destino final podem danificar o tecido, principalmente os de fibra de vidro. Estas membranas, cuja superfície de proteção pode ser o PTFE ou o silicone, têm durabilidade garantida em torno de 30 anos. Para minimizar este efeito, as fibras de vidro são confeccionadas com um diâmetro bem pequeno. A ASCE (1996) destaca ainda as fibras de poliéster como sendo mais resistentes ao dobramento. Para determinar a resistência das membranas ao dobramento, vários tipos de testes podem ser elaborados. Um dos testes pode ser feito utilizando o equipamento ilustrado esquematicamente na Figura 2.42.

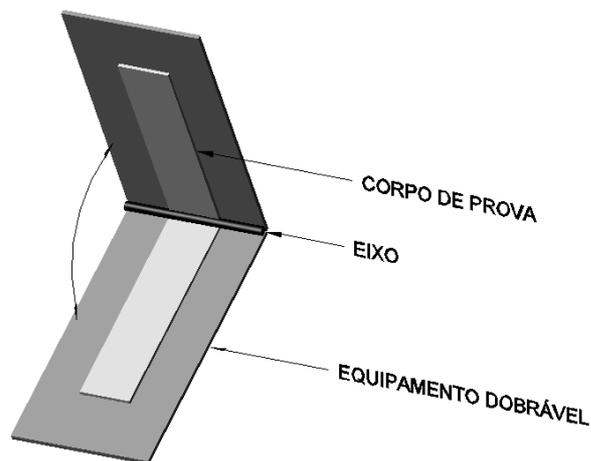


Figura 2.42: Ensaio de resistência ao dobramento. Fonte: ASCE (1996).

### 2.5.3 Variação dimensional

A alteração nas dimensões do tecido modifica a distribuição das tensões podendo, segundo OLIVEIRA (2003), provocar enrugamentos na superfície. Esta variação dimensional pode ser resultante do processo de fabricação, pela variação de temperatura, assim como pela presença de água. Esta variação devido à absorção da água ocorre por capilaridade nos fios do tecido. “A intensidade desse efeito varia de um material para outro, sendo que o nylon é mais susceptível a este fenômeno que o poliéster”. Para minimizar o efeito das deformações permanentes sofridas pelos tecidos, principalmente após o primeiro carregamento, pode-se deformá-lo antes da montagem, ou tracionar a trama durante o processo de tecelagem.

De acordo com a ASCE (1996), a absorção de água é controlada pelo revestimento. Portanto, é necessário que o mesmo permaneça em perfeito estado de conservação.

#### **2.5.4 Relaxação**

Segundo OLIVEIRA (2003), “os tecidos apresentam uma relaxação acentuada”. Assim como na variação dimensional, a relaxação altera a distribuição das tensões no tecido, podendo provocar um destencionamento e enrugamento do tecido.

#### **2.5.5 Resistência ao fogo**

De acordo com ASCE (1996), o Uniform Building Code qualifica os materiais que passam nos testes de resistência ao fogo: ASTM E84 e ASTM E136, como incombustíveis.

As membranas de PVC/Poliéster são auto-extinguíveis, satisfazendo legalmente as normas internacionais para uso em coberturas de caráter permanente. As membranas inifugas (não propagam fogo) são as de PTFE (Teflon) (FIGUEROLA, 2004).

#### **2.5.6 Resistência a Tração**

Segundo ALVIM (2003) e OLIVEIRA (2003), o tecido estrutural se comporta de maneira ortotrópica, apresentando um comportamento diferente nas duas direções, da urdidura e da trama.

Pode-se observar na Tabela 2.1 que os valores, levantados por ALVIM (2003), demonstram que a resistência média dos tecidos na direção dos urdumes é maior que na direção das tramas. Enquanto que nos tecidos do tipo 1 (poliéster reforçado por filme e revestimento de PVC do tipo MP 1400 do fabricante Sansuy) a direção a 45 graus apresenta-se como a menos resistente, este tecido apresenta aproximadamente a metade da capacidade de carga quando comparado aos tecidos do tipo 2 (Poliéster revestido com polímero de alta resistência (PVC) e proteção de PVDF (Polyvinylidene difluoride) FLUOTOP T (Ferrari) ) e 3 (Poliéster recoberto com PVC e PVDF do tipo III (Mehler Haku®).

Tabela 2.1 - Médias dos valores de resistência.

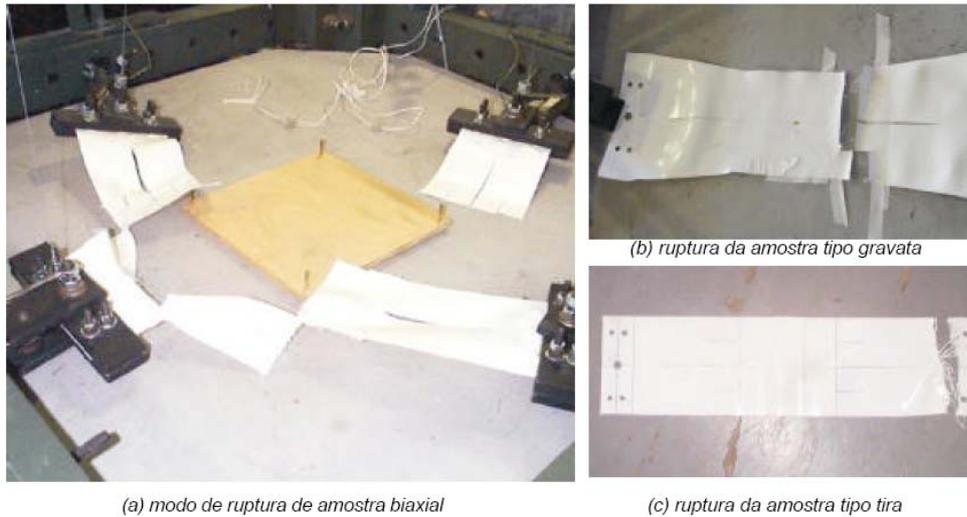
| Tecidos  | CARGAS DE RUPTURA (kgf) |            |     |                  |            |
|--|-------------------------|------------|-----|------------------|------------|
|  | ENSAIOS UNIAXIAIS       |            |     | ENSAIOS BIAXIAIS |            |
|  | URDUMES (L)             | TRAMAS (T) | 45° | URDUMES (L)      | TRAMAS (T) |
| Poliéster (PVC)                                |                         |            |     |                  |            |
| 1. Sansuy <sup>®</sup><br>tipo MP-1400         | 552                     | 507        | 283 | 555              | 545        |
| 2. Ferrari <sup>®</sup><br>tipo 1302 FLUOTOP T | —                       | —          | —   | 993              | 972        |
| 3. Mehler Haku <sup>®</sup> tipo III           |                         |            |     |                  |            |
| sem solda                                      | 1213                    | 1098       | —   | 1058             | 1034       |
| com solda                                      | 1112                    | 1087       |     |                  |            |

De acordo com ALVIM (2003) os ensaios uniaxiais e biaxiais, realizados nos tecidos, não apresentaram diferenças significativas no que se refere às cargas de ruptura, sendo praticamente equivalentes na média.

Na Figura 2.43 é mostrado o pórtico metálico, desenvolvido por ALVIM (2003), para aplicação do carregamento de tração nos ensaios biaxiais e uma amostra de membrana sendo tracionada. A Figura 2.44 apresenta os modos de ruptura para os tecidos realizados nestes ensaios (ALVIM, 2003)

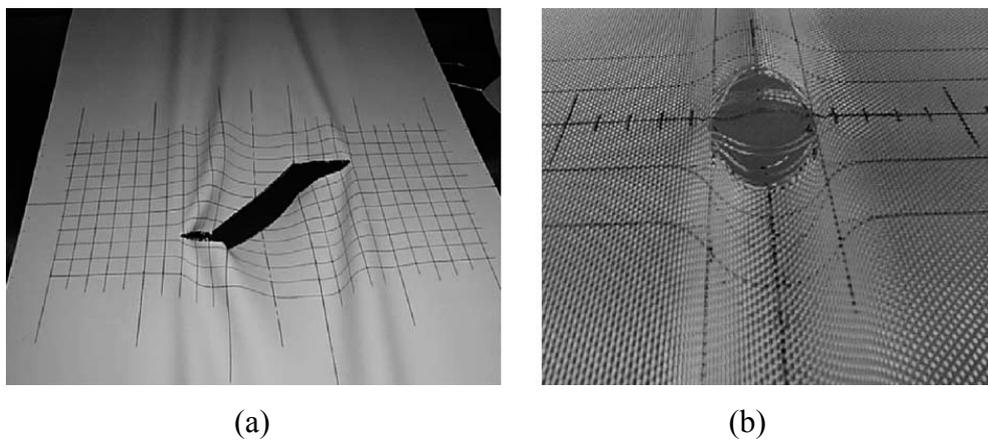


Figura 2.43 – Máquina de ensaio. ALVIM (2003)



**Figura 2.44 – Ensaio uniaxiais de tração e os respectivos modos de ruptura – (a) e (b) tecido tipo 1; (c) e (d) tecido tipo 3. Fonte: Alvim (2003).**

BIGAUD et al (2003) estudaram a resistência a ruptura em membranas revestidas com PVC. Eles observaram que o tecido sem revestimento oferece uma melhor resistência a propagação da ruptura (Figura 2.45).



**Figura 2.45 - Amostras de ruptura em Teste Bi-axial de tecidos revestidos (a) e não revestidos (b).**

Fonte: BIGAUD et all (2003)

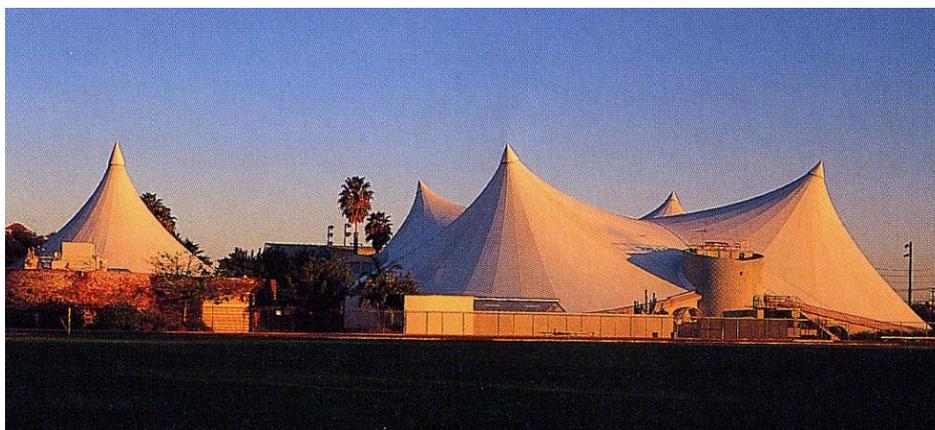
### 2.5.7 Durabilidade

Além das intempéries (agentes físicos), dos fungos (agentes biológicos) participam também do processo de biodeterirização, agentes químicos, como a poluição atmosférica (LOPES, 2003).

De acordo com BIRDAIR (2005), inicialmente os materiais se deterioravam facilmente, atribuindo um caráter temporário as construções utilizando tensoestrutura.

Para OLIVEIRA (2003) a durabilidade dos tecidos é influenciada não só pela qualidade dos mesmos como também por elevadas tensões localizadas, quando não observadas durante a análise da estrutura. Também podem comprometer esta durabilidade a tendência à concentração de tensões e abrasão do tecido nos locais onde são feitas costuras no mesmo, ligações com cabos e estruturas de apoio. Não podem ser descartados, também, atos de vandalismo, visto que os tecidos são pouco resistentes a objetos cortantes e/ou perfurantes.

Segundo MIDDENDORF (2000), o Student Center, La Verne (CA) (Figura 2.46), foi uma das primeiras tensoestruturas a utilizar membrana de fibra de vidro revestida com PTFE, construída em 1973. Vinte anos após a construção do Student Center, foram testadas as tensões nas suas membranas e estas apresentaram 70% da resistência inicial no sentido da trama e 80% no sentido da urdidura.



**Figura 2.46 - Student Center, La Verne (CA) – 1973.** Fonte: MIDDENDORF (2000).

Segundo FAKRI (2005), as mantas com tecidos de fibra de vidro revestidas com PTFE (politetrafluoretileno), são bastante utilizadas por serem mais duráveis e resistentes. Estas membranas possuem um custo elevadíssimo, até quatro vezes mais que as convencionais. A aplicação de polímeros desenvolvidos para o PVC, tornou o mesmo mais confiável, com durabilidade superior a 25 anos. Na Tabela 2.2 e na Tabela 2.3 são comparados vários tipos de membranas com relação a diversos aspectos, tais como: expectativa de vida, auto-limpeza, transparência, dentre outros. A primeira tabela compara membranas de 1.300 g/m<sup>2</sup> de peso enquanto que na segunda as membranas pesam 1.500 g/m<sup>2</sup>.

Na Tabela 2.2, pode-se observar que os tecidos de fibra de vidro revestidos com PTFE oferecem uma durabilidade maior, em torno de 30 anos, que os tecidos de poliéster revestidos com PVC e camada de PVF para proteção da superfície (expectativa de vida em torno de 10 anos) e os que recebem PVDF na sua superfície, (cujas expectativa de vida é de aproximadamente 20 anos). O PTFE também aumenta a característica auto-limpante dos

tecidos e a resistência ao fogo. Todos os tecidos, independente do revestimento, possuem uma boa transparência. Os tecidos de poliéster, revestido com PVC e 100% PVDF oferecem maior resistência a tração.

**Tabela 2.2 – Tabela comparativa de membranas com peso de 1.300g/m<sup>2</sup>.** Fonte: ARCOWEB (2004).

| Comparativo de membranas para construções permanentes   |                      |           |                          |           |
|---|----------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| TIPO DE TECIDO  | Tecido de poliéster* |           | Tecido de fibra de vidro |           |
|   | PVC                  | PVC       | PTFE**                   | PTFE**    |
| <b>Proteção</b>   | PVC                  | PVC       | PTFE**                   | PTFE**    |
| <b>Proteção na superfície</b>   | PVF                  | 100% PVDF | -                        | -         |
| <b>Expectativa de vida</b>  | > 10 anos            | > 20 anos | > 30 anos                | > 30 anos |
| <b>Auto-limpeza</b>   | Bom                  | Bom       | Muito bom                | Muito bom |
| <b>Transparência</b>  | Bom                  | Bom       | Bom                      | Bom       |
| <b>Resistência ao fogo</b>  | Bom                  | Bom       | Muito bom                | Muito bom |
| <b>Facilidade de manuseio</b>   | regular              | Bom       | regular                  | regular   |
| <b>Custo médio (R\$) - tecido/m<sup>2</sup></b>   | 32,00                | 45,00     | 250,00                   | 250,00    |
| <b>Resistência à tração em Newton/5 cm para membranas com peso de 1300 g/m<sup>2</sup> (urdume/trama)</b> | 5750/5100            | 8000/7000 | 6600/6000                | 6600/6000 |

\*Membranas de poliéster com PVC são retardantes ao fogo.

\*\* Membranas de fibra de vidro com PTFE não pegam fogo.

A Tabela 2.3 apresenta o silicone como revestimento para tecidos de fibra de vidro, em comparação com os demais revestimentos, o desempenho do silicone é igual ao do PTFE, exceto: redução da característica auto-limpante dos tecidos, maior permeabilidade da luz e custo inferior ao do PTFE.

**Tabela 2.3 - Tabela comparativa de membranas com peso de 1.500g/m<sup>2</sup>.** Fonte: Revista AU ( 2004.).

| TABELA DE MEMBRANAS UTILIZADAS EM CONSTRUÇÕES PERMANENTES                                       |                      |             |                          |              |
|---|----------------------|-------------|--------------------------|--------------|
|   | Tecido de poliéster* |             | Tecido de fibra de vidro |              |
|   | PVC                  | PVC         | PTFE                     | Silicone     |
| <b>Proteção</b>   | PVC                  | PVC         | PTFE                     | Silicone     |
| <b>Proteção na superfície</b>   | Polímero variados    | 100% PVDF   | -                        | -            |
| <b>Expectativa de vida</b>  | > 10 anos            | > 20 anos   | > 30 anos                | > 30 anos    |
| <b>Auto-limpeza</b>   | Bom                  | Bom         | Muito bom                | Regular      |
| <b>Transparência</b>  | Bom                  | Bom         | Bom                      | Muito Bom    |
| <b>Resistência ao fogo</b>  | Bom                  | Bom         | Muito bom                | Muito bom    |
| <b>Facilidade de manuseio</b>   | regular              | Bom         | regular                  | regular      |
| <b>Custo do material/R\$/m<sup>2</sup></b>  | 45                   | 80          | 250                      | 200          |
| <b>Resistência média à tração em Newton/5cm para membranas com peso de 1500 g/m<sup>2</sup></b> | 9.800/8.300          | 10.000/8000 | 7.500/6.500              | 7.500/6.5000 |

### 2.5.7.1 Resistência aos ataques de fungos.

De acordo com os fabricantes, as membranas revestidas com PTFE vêm protegidas com antifúngica. Porém ainda não existem estudos específicos que comprovem sua eficácia.

As membranas existentes na cidade de Belém, estado do Pará, encontram-se contaminadas por fungos.

### 2.5.8 Conforto Térmico e absorção da Radiação Solar em tensoestruturas

A análise quanto ao conforto térmico deve considerar as três formas, principais, de transmissão de calor: condução (feita através dos materiais envolventes), convecção (feita pelo movimento do ar, ventilação) e radiação (feita através das superfícies opacas e transparentes).

CASTRO (1984) destaca a influência da ventilação, incidindo sobre a habitação, para a definição do microclima do local. A Figura 2.47 representa um dos efeitos da ventilação na edificação, conhecido como efeito chaminé. Esta é uma disposição apropriada para entradas e saídas dos ventos, em uma tensoestrutura, prevenindo o superaquecimento. Neste formato a membrana recebe a radiação solar, aquecendo o ar interno. Este aumento da temperatura fará com que o ar quente suba, passando pela abertura superior e o ar do exterior entrará pelas aberturas inferiores. Esta configuração proporciona uma constante renovação do ar no interior das estruturas.

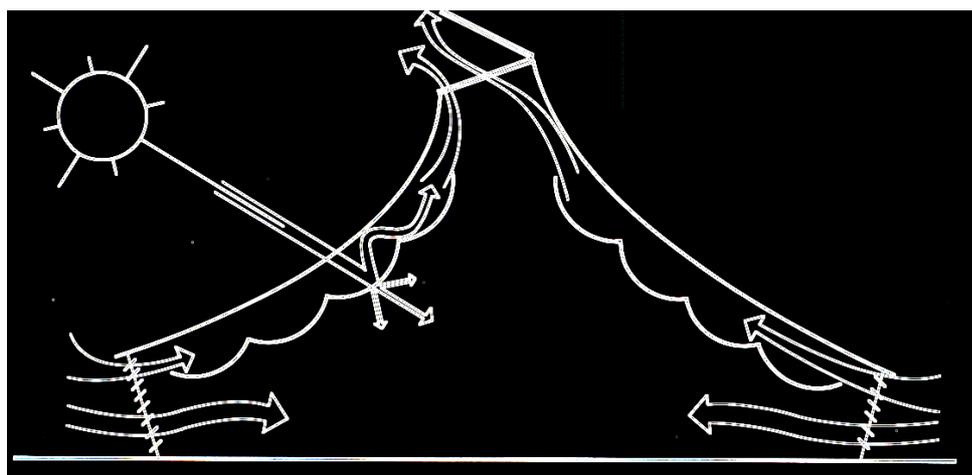


Figura 2.47 - Exemplo de uma ventilação adequada. Fonte: TENSINET (2001)

A radiação solar, para OLIVEIRA (2003), não é um fator preocupante nas tensoestruturas, visto que o material utilizado permite a passagem da luminosidade, sem

permitir que o sol aqueça os ambientes. De acordo com FIGUEROLA (2004) a iluminação natural que passa através das membranas pode ser aproveitada para substituir a iluminação artificial durante o dia. Um bom exemplo é o Hotel Burj Al Arab (Figura 2.48) que utilizou membranas para fechamentos laterais.



**Figura 2.48 - Foto do Hotel Burj Al Arab.** Fonte: NOVOMILENIO (2002)

### **2.5.9 Aspectos Acústicos**

De acordo com BIRDAIR (2005), a utilização da membrana fabrasorb (membrana acústica com marca registrada da Chemfab Corporation), nas tensoestruturas, reduz significativamente o nível de ruído no interior das mesmas. Este tipo de membrana é ideal para complexos esportivos e instalações industriais. A membrana fabrasorb permite a entrada da luz do dia de forma difusa, além de minimizar os distúrbios acústicos.

O Circo Voador (Figura 2.49), é um exemplo do uso de tensoestruturas voltado ao bom desempenho acústico. De acordo com o escritório DDG (2004) que projetou a reforma do Circo Voador, foi criado um espaço de arquitetura contemporânea e multifuncional, dotado de sistema inédito de proteção acústica. Este foi totalmente baseado nas normas da ABNT

(10.151 e ABNT-NB-10.152/1987). Dentre os principais recursos utilizados, necessários para a melhora acústica, destacam-se:

5) Redirecionamento do palco para os Arcos da Lapa, que anteriormente estava voltado para a direção de Santa Teresa.

6) A membrana de “PVC que cobre a Nave Principal recebeu sob si outras camadas de lona com lã mineral tubular e plana, formando uma membrana com espessura média de 20 cm e peso de 20 Kg/m<sup>2</sup>, que isola o som tanto de dentro para fora como no sentido inverso, garantindo qualidade acústica no interior da nave para música eletroacústica e acústica”. O uso deste recurso reduziu os índices de emissão sonora do Circo.

7) “Para evitar a propagação do som através da abertura para ventilação acima do palco, foi criado um sistema composto por várias placas dispostas lado a lado, que absorvem as ondas sonoras, impedindo a passagem de ruído”. (DDG, 2004)



**Figura 2.49 - Circo Voador – Rio de Janeiro, re-inaugurado em 2004.**

Fonte: METÁLICA (2005).

Um aspecto importante à ser considerado no projeto de uma tensoestrutura é o conforto do usuário, objeto de estudo da arquitetura Bioclimática, abordado no próximo capítulo.

## Metodologia

A metodologia utilizada no trabalho abrange diversas atividades, tais como, revisão bibliográfica sobre o problema, incluindo levantamento de dados meteorológicos, desenvolvimento de um modelo tridimensional, entrevistas, etc. As atividades previstas são descritas em mais detalhes a seguir:

Obtenção dos seguintes tipos de informações no site do INMET- Instituto Nacional de Meteorologia: índice pluviométrico, intensidade dos ventos, insolação, temperaturas máximas e mínimas e umidade relativa do ar na região.

Realização de análise crítica aos projetos das tensoestruturas da feira do Ver-o- Peso quanto a melhor orientação destas estruturas com relação à direção dos ventos predominantes, e incidência dos raios solares utilizando dados obtidos através dos programas: Analyses Bio 3.0, o SOL-AR 5.0.1 e o Tensil 2.1.

Utilizando-se o programa Tensil 1.2 procurou-se fazer uma análise das estruturas de membrana tensionada da feira do Ver-Peso, com relação ao seu desempenho térmico e luminoso.

Para fazer a análise bioclimática do projeto do Ver-o-peso, utilizou-se neste estudo dados obtidos através do programa ANALISYSBIO 3.0, segundo GOULART et al (1998), este programa “permite plotar os dados de temperatura e umidade do TRY sobre a carta bioclimática com a finalidade de visualizar a distribuição dos dados climáticos. O programa calcula também a percentagem de horas do ano em que cada estratégia bioclimática é mais apropriada”. De acordo com PIETROBON et al (2001), este programa fornece recomendações bioclimáticas e simulação computacional dos desempenhos térmicos e luminicos.

Desenvolvimento de uma maquete eletrônica, utilizando-se o programa 3 DS MAX 8, para auxiliar na análise do nível de proteção das estruturas a incidência solar, de acordo com sua trajetória, durante o solstício de verão, solstício de inverno e equinócio de outono.

Análise das tensoestruturas com base na avaliação por parte dos usuários quanto ao grau de satisfação. Esta avaliação abrange a aplicação de questionários, aos feirantes e Clientes da feira, para coleta de dados de maneira direta. Estes questionários são compostos por questões objetivas e subjetivas. Paralelamente será realizado um levantamento fotográfico em duas fases: depois de inaugurada a feira, em outubro de 2003, e durante o ano de 2005.

### 3 Arquitetura Bioclimática

“A arquitetura bioclimática é uma forma de expressão arquitetônica em que a qualidade ambiental e a eficiência energética são obtidas através do aproveitamento racional dos recursos da natureza, de modo a contribuir com o equilíbrio do ecossistema no qual está inserida. Suas principais características são a adequação do espaço construído ao meio bioclimático e às necessidades humanas, a racionalização do consumo de energia e o conforto ambiental proporcionado pelo uso otimizado de recursos renováveis” (FURB, 2005).

A Arquitetura Bioclimática, de acordo com GOULART (1998), ao considerar o clima de cada região proporciona a utilização correta dos elementos arquitetônicos, resultando ao ambiente construído elevado grau de conforto higrotérmico (umidade e calor) com baixo consumo de energia.

A adequação da arquitetura ao clima local foi denominada por OLGAY (1973), apud LAMBERTS et al (2005), como Projeto Bioclimático.

Em um projeto Bioclimático pode-se utilizar uma carta bioclimática, as quais serão discutidas na seção 3.2.

De acordo com PIETROBON et al (2001), LAMBERTS et al (1997) utilizam a carta Bioclimática de GIVONI (1992) para estudos acerca da eficiência energética na Arquitetura e o NPC/LABEEE/ECV/UFSC desenvolve um programa computacional denominado ANALISYSBIO 3.0, que utiliza as recomendações e estratégias bioclimáticas, no intuito de adequar a Arquitetura ao Clima Local utilizando as estratégias bioclimáticas passivas e ativas.

Para avaliar o desempenho de uma edificação, segundo PIETROBON et al (2001), é necessário prever o comportamento potencial do edifício, seus elementos e instalações, quando submetidos a condições normais de exposição e analisar, se tal comportamento satisfaz as exigências do usuário.

De acordo com a norma internacional ISO-DP 6241 (1970) apud PIETROBON et al (2001), dentre as quatorze exigências dos clientes, as seguintes são de caráter bioambientais:

- i) Exigências de conforto higrotérmico: temperatura e umidade do ar e das paredes;
- ii) Exigências de conforto visual: iluminação, aspecto dos espaços, das paredes e vista para o exterior;
- iii) Exigências de conforto acústico: isolamento acústico e níveis de ruído;
- iv) Exigências de conforto tátil: eletricidade estática, rugosidade, umidade e temperatura de superfície;
- v) Exigências atmosféricas: pureza do ar e limitação de odores.

O desempenho higrotérmico é definido por AKUTSU et al (1987) apud PIETROBON et al (2001) como: “O resultado da interação que se estabelece entre a edificação e o ambiente térmico a que a mesma está submetida”.

Quanto as condições de exposição PIETROBON et al (2001) classifica como: condições climáticas, condições de implantação e condições de uso das edificações. Estas condições sofrem influência das seguintes grandezas:

- i) grandezas que caracterizam as condições climáticas: temperatura de bulbo seco do ar externo, umidade relativa do ar externo, velocidade e direção dos ventos, radiação solar direta e difusa, ganhos térmicos;
- ii) grandezas que caracterizam as condições de implantação: latitude, longitude e orientação solar;
- iii) grandezas que caracterizam as condições de uso da edificação: número de clientes e atividades padrão, quantidade de calor e vapor d’água produzidos internamente na edificação e número de renovações de ar proporcionado pelo controle da ventilação ou pelo condicionamento artificial do ambiente.

Do mesmo modo, pode-se relacionar as grandezas que caracterizam a edificação, seus elementos, componentes e materiais:

- i) forma e dimensões geométricas da edificação, dos seus elementos opacos e translúcidos;
- ii) transmitância, absortância e refletância à radiação solar dos elementos e componentes opacos expostos à radiação solar;
- iii) transmissão, absorção, reflexão, fator solar e dimensões dos componentes translúcidos;
- iv) condutibilidade térmica, calor específico e massa específica dos materiais;
- v) emissividade das superfícies dos elementos e componentes opacos e translúcidos.

Ainda de acordo com PIETROBON et al (2001), o conforto higrotérmico será resultante dos seguintes estímulos do ambiente interno e dos aspectos comportamentais do usuário:

- i) temperatura de bulbo seco do ar interno;
- ii) velocidade relativa do ar interno;
- iii) temperatura radiante oriunda dos fluxos de calor nas superfícies interiores de elementos e componentes;
- iv) umidade relativa do ar interno.
- v) taxa metabólica, referente à atividade física do usuário;

- vi) valor da eficiência mecânica da atividade física do usuário;
- vii) valor da resistência térmica da roupa do usuário.

### **3.1 Variáveis do Clima**

De acordo com LAMBERTS ET AL (2005) as variáveis que influenciam o clima são: radiação solar, temperatura, umidade e o vento. Estas variáveis serão descritas com mais detalhes a seguir.

#### **3.1.1 Radiação solar**

A radiação solar, segundo LAMBERTS et al (2005) é uma onda eletromagnética curta, responsável pela energia no planeta. Esta radiação quando atinge a atmosfera terrestre divide-se em: radiação direta, parcela que atinge diretamente a terra e radiação difusa, parcela que sofre um espalhamento pelas nuvens e pelas partículas da atmosfera, sendo refletida na abóbada celeste e nas nuvens e re-irradiada para a terra. Deve-se evitar a radiação direta em climas quentes, para evitar o aquecimento, enquanto que para promover a iluminação do ambiente é desejável, que o mesmo receba, a radiação difusa.

#### **3.1.2 Temperatura**

De acordo com LANHAM (2004), a temperatura depende essencialmente da radiação solar, do vento, da altitude e da natureza do solo.

Segundo LAMBERTS ET AL (2005), a radiação solar atinge o solo onde é absorvida em parte e transformada em calor. Portanto, a temperatura do solo aumenta e o ar é aquecido por convecção. A temperatura do ar é uma consequência do balanço energético entre a radiação solar incidente e o coeficiente de absorção da superfície receptora; a condutividade e a capacidade térmica do solo que determinam a transmissão de calor por condução; as perdas por evaporação, convecção e radiação.

### **3.1.3 Umidade**

A umidade do ar, de acordo com LANHAM (2004), indica o percentual de água contida no ar. Este percentual é influenciado pela temperatura do ar, pelo volume de precipitações, pela vegetação, pelo tipo de solo e pelas condições climáticas, tais como, a exposição solar e os ventos.

### **3.1.4 Vento**

O desequilíbrio de radiação entre latitudes altas e baixas, segundo LAMBERTS et al (2005), é uma das principais causas da distribuição de ventos no globo terrestre. Este movimento do ar em regiões marítimas, se dá do mar para a terra (durante o dia) e da terra para o mar, durante a noite. O vento também é influenciado pela altitude, pela topografia e pela rugosidade do solo. Esta rugosidade pode ser formada pelo tipo de solo, pela vegetação ou pelas edificações.

De acordo com PIETROBON et al (2001) a ventilação deve atender às condições de salubridade do ambiente interno (prover oxigênio para a respiração, reduzir a concentração de CO<sub>2</sub>, prevenir a concentração de bactérias nocivas e remover odores) e atender aos aspectos de conforto higrotérmico (resfriamento ou aquecimento da estrutura construída, remoção do calor ambiente, resfriamento do corpo humano). A ventilação também deverá contribuir para a durabilidade dos materiais e componentes da edificação, reduzindo a ação da umidade.

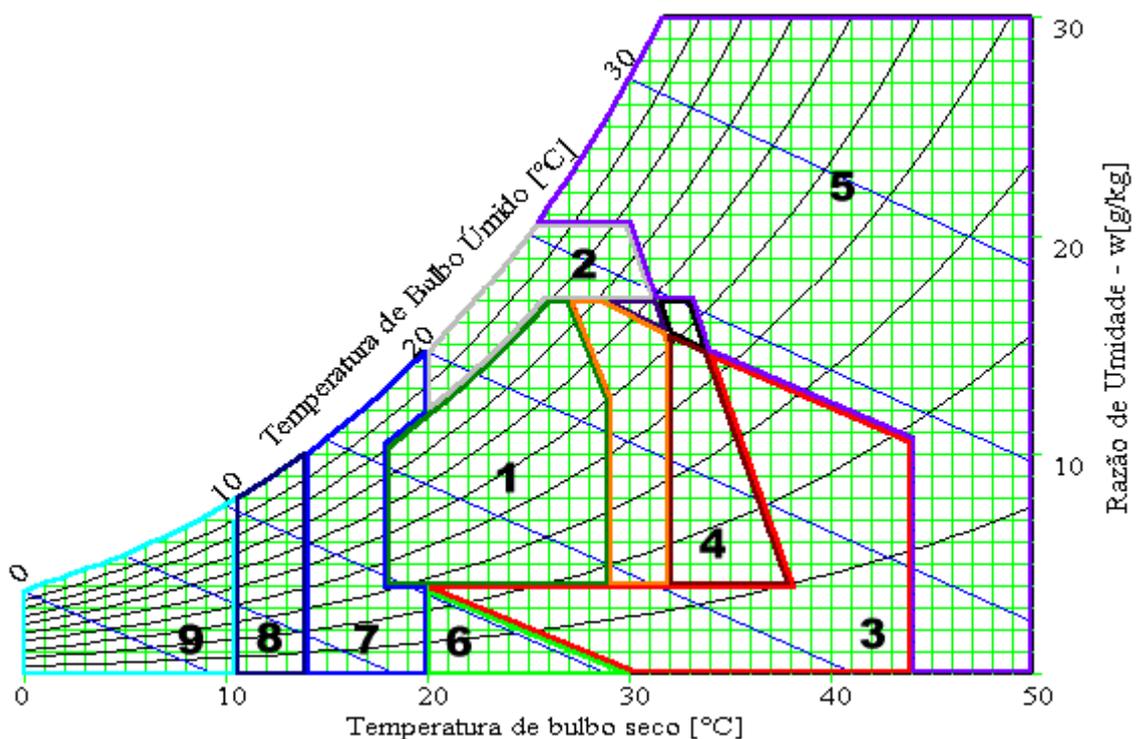
## **3.2 Cartas Bioclimáticas**

De acordo com GOULART et al (1998), estas cartas associam informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático do local e as estratégias de projeto indicadas para cada período do ano. Estas estratégias podem ser naturais (sistemas passivos) ou artificiais (sistemas ativos).

A Figura 3.1 ilustra a carta bioclimática proposta para o Brasil baseada na carta bioclimática sugerida por GIVONI (1992) apud GOULART et al (1998), na qual os limites máximos de conforto foram expandidos, considerando a aclimação de pessoas que vivem em países de clima quente e em desenvolvimento. Na carta foi combinado o método de

Watson e Labs, (1983) apud GOULART et al (1998), que usa os dados climáticos das 8760 horas de um ano de referência (TRY-Test Reference Year). O procedimento utilizado para selecionar o ano climático de referência para um local específico é baseado na eliminação de anos de dados, os quais contém temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até permanecer um ano, somente.

A carta bioclimática é representada por um diagrama psicrométrico. Este diagrama faz a relação entre a umidade relativa e a diferença de temperatura de dois termômetros, dos quais um tem o bulbo seco e o outro o tem molhado.



- 1- Zona de Conforto
- 2- Zona de Ventilação
- 3- Zona de Resfriamento Evaporativo
- 4- Zona de Massa Térmica para Resfriamento
- 5- Zona de Ar Condicionado
- 6- Zona de Umidificação
- 7- Zona de Massa Térmica e Aquecimento Solar Passivo
- 8- Zona de Aquecimento Solar Passivo
- 9- Zona de Aquecimento Artificial

**Figura 3.1 - Carta Bioclimática adotada para o Brasil.** Fonte: GOULART et al (1998)

Uma descrição das zonas mostradas na Figura 3.1 é apresentada nas subseções seguintes.

### 3.2.1 Estratégias Bioclimáticas

Estas estratégias são recomendações que visam a adequação da Arquitetura ao Clima local. Estas, quando utilizadas de forma correta (Figura 3.2) durante a concepção do projeto, de acordo com LAMBERTS et al (2005) podem proporcionar melhoras nas condições de conforto térmico e redução no consumo de energia.

As estratégias bioclimáticas propostas na Figura 3.2 são para a cidade de Belém.

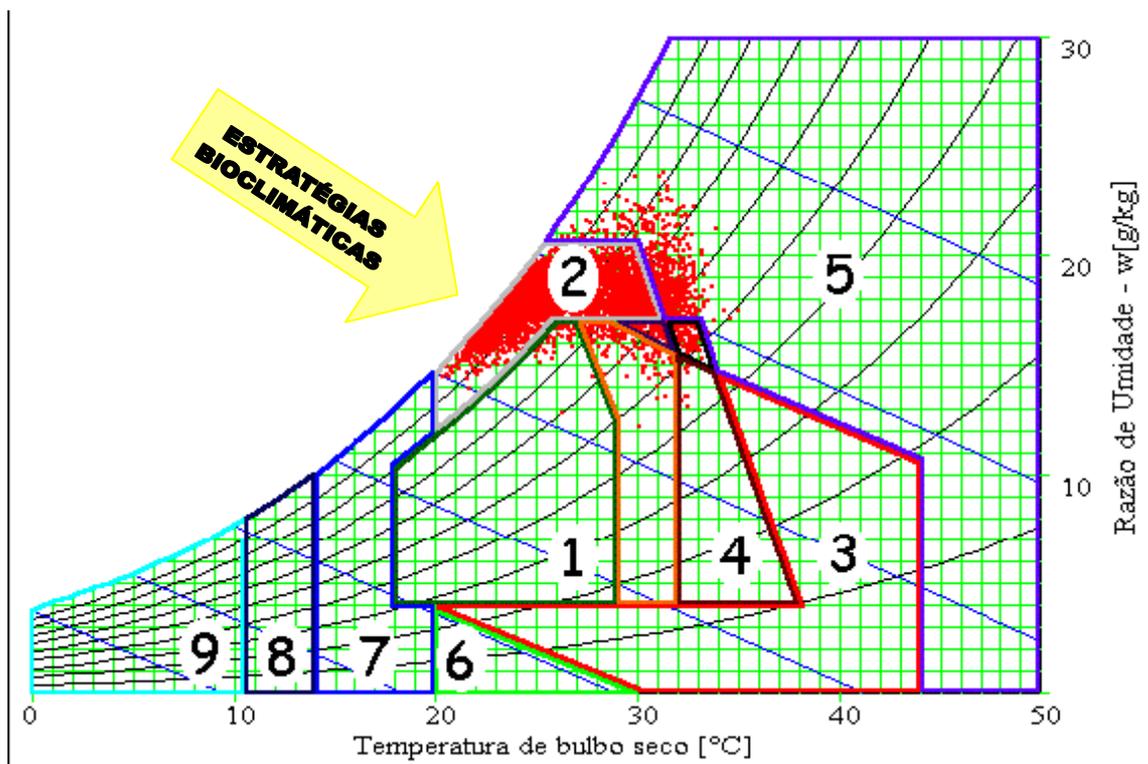


Figura 3.2 – Carta Bioclimática com TRY de Belém. Fonte: Adaptado de GOULART et al (1998).

#### 3.2.1.1 Zona de conforto

Quando os pontos plotados (pontos em vermelho, no diagrama), referentes as condições climáticas, estiverem delimitados por esta região (Figura 3.3), de acordo com LAMBERTS et al (2005), as pessoas poderão ter a sensação de conforto térmico. Esta sensação poderá ser obtida para umidade relativa entre 20% a 80% e temperatura entre 18° e 29°.

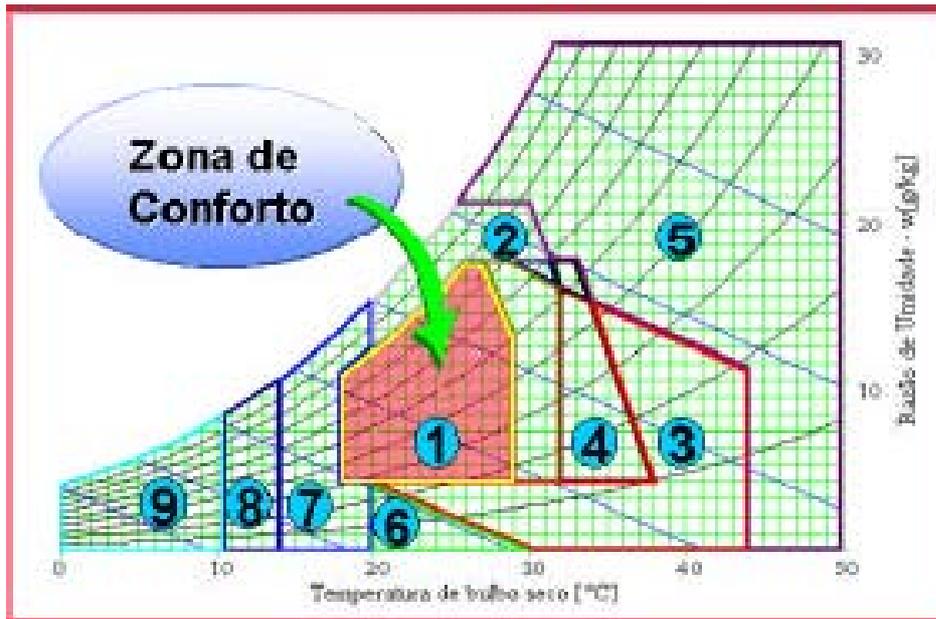


Figura 3.3 - Figura 5. Zona de Conforto Higrotérmico. Fonte: LAMBERTS et al (2005).

### 3.2.1.2 Ventilação

Segundo LAMBERTS et al (2005), esta é uma estratégia de resfriamento natural do ambiente construído, através da substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio). (Ver Figura 3.4)

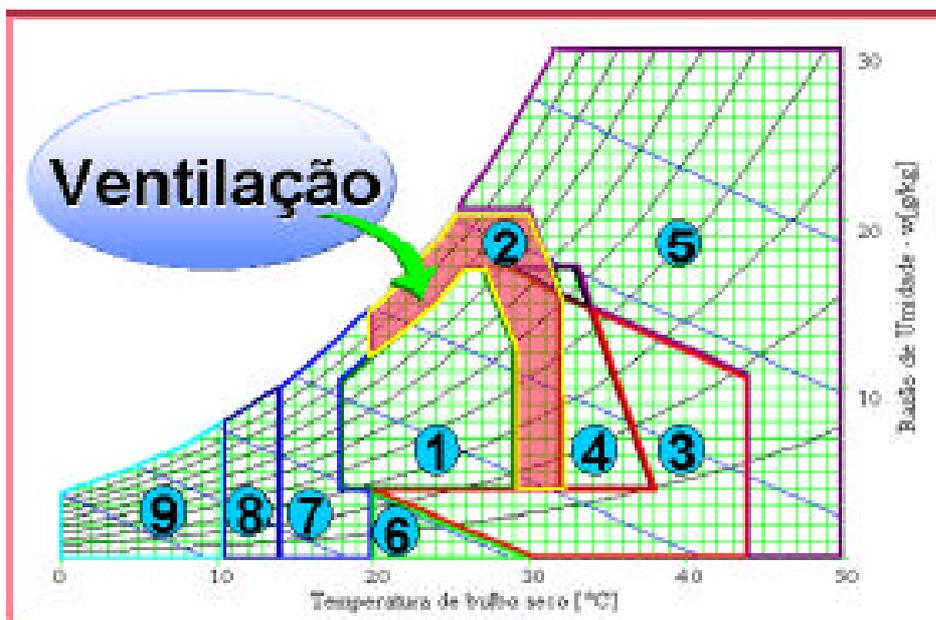


Figura 3.4 – Zona de ventilação. Fonte: LAMBERTS et al (2005).

### 3.2.1.3 Resfriamento evaporativo

O resfriamento evaporativo, de acordo com LAMBERTS et al (2005), é uma estratégia para aumentar a umidade relativa do ar, diminuindo a temperatura do ambiente. Esta estratégia pode ser alcançada utilizando-se fontes, espelhos d'água e também vegetação.

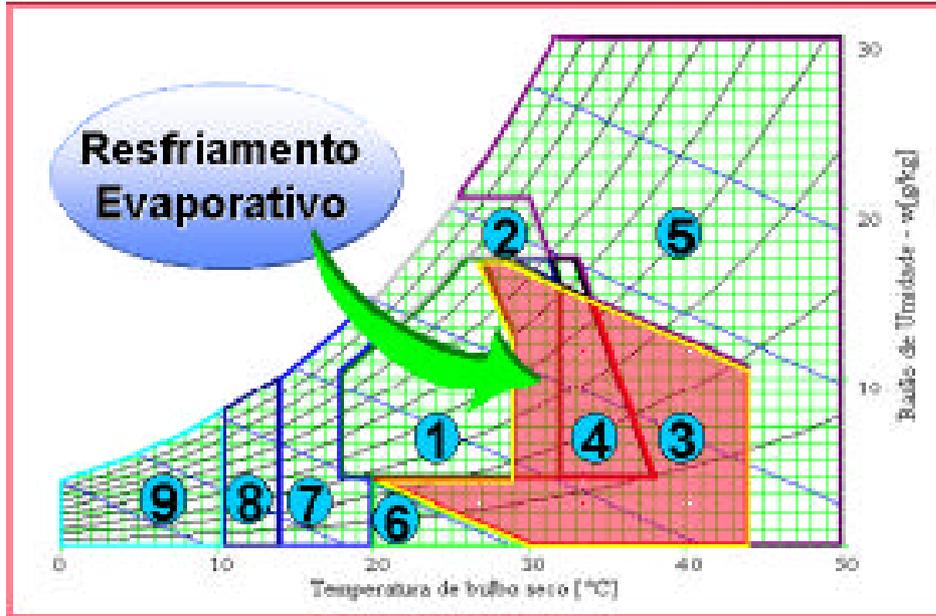


Figura 3.5 – Zona de resfriamento evaporativo. Fonte: LAMBERTS et al (2005).

### 3.2.1.4 Inércia térmica para resfriamento

A utilização de elementos construtivos com alta inércia térmica (a temperatura sobe lentamente), segundo LAMBERTS et al (2005), faz com que a amplitude da temperatura interior diminua em relação a exterior. (ver Figura 3.6).

Pode-se citar como exemplo a utilização de paredes espessas com baixa condutividade, o calor armazenado na estrutura durante o dia será devolvido ao ambiente durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.

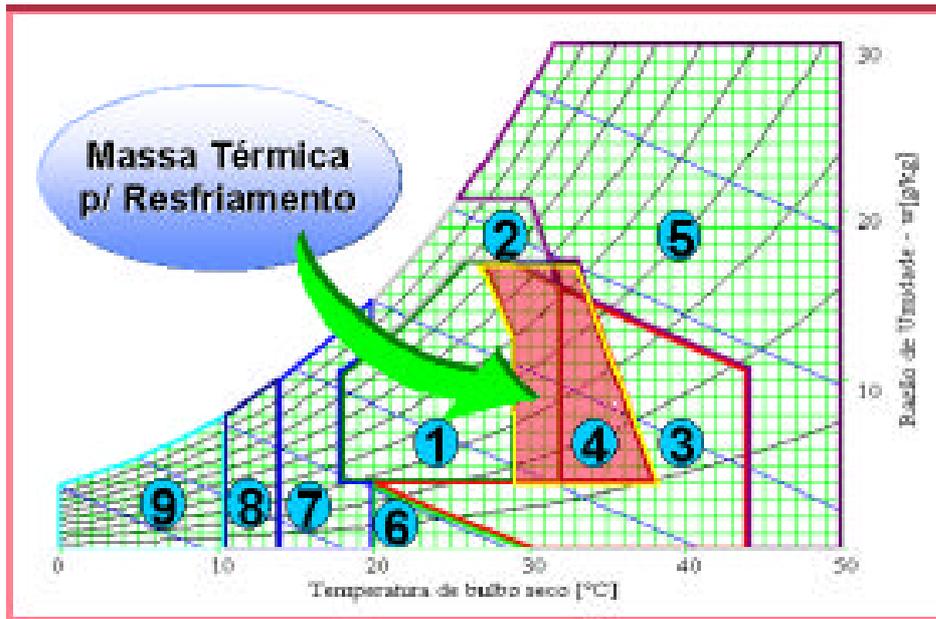


Figura 3.6 - Zona de inércia térmica para resfriamento. Fonte: LAMBERTS et al (2005).

### 3.2.1.5 Resfriamento artificial

De acordo com LAMBERTS et al (2005), “O resfriamento artificial deve ser utilizado quando as estratégias de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica não proporcionam as condições desejadas de conforto”. (ver Figura 3.7).

Esta estratégia consiste na utilização de aparelhos ou centrais de ar-condicionado.

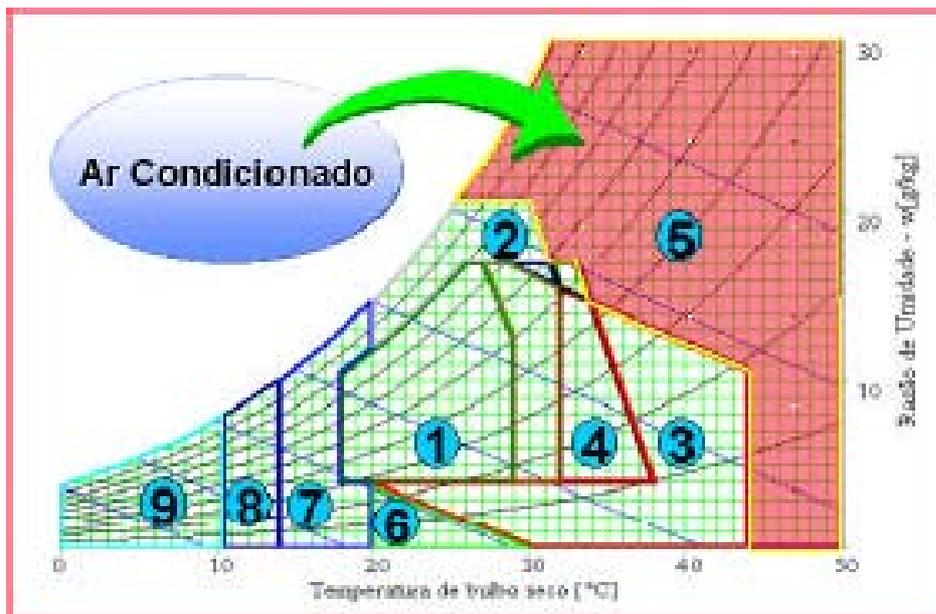


Figura 3.7 - Zona de resfriamento artificial. Fonte: LAMBERTS et al (2005).

### 3.2.1.6 Umidificação

Esta estratégia deve ser utilizada, de acordo com EVANS & SCHILLER (1988) apud LAMBERTS et al (2005), quando a temperatura do ar apresenta-se menor que 27°C e a umidade relativa abaixo de 20%. (ver Figura 3.8).

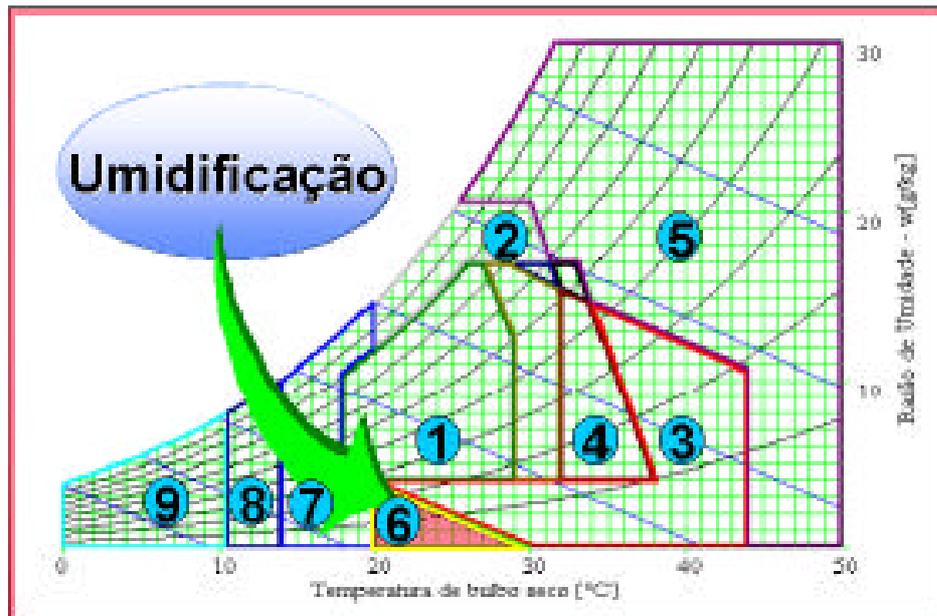


Figura 3.8 - Zona de umidificação. Fonte: LAMBERTS et al (2005).

### 3.2.1.7 Inércia térmica e aquecimento solar

Segundo LAMBERTS et al (2005), nesta estratégia deve-se “adotar componentes construtivos com maior inércia térmica, além de aquecimento solar passivo e isolamento térmico, para evitar perdas de calor, pois esta zona situa-se entre temperaturas de 14 a 20°C”. (ver Figura 3.9).

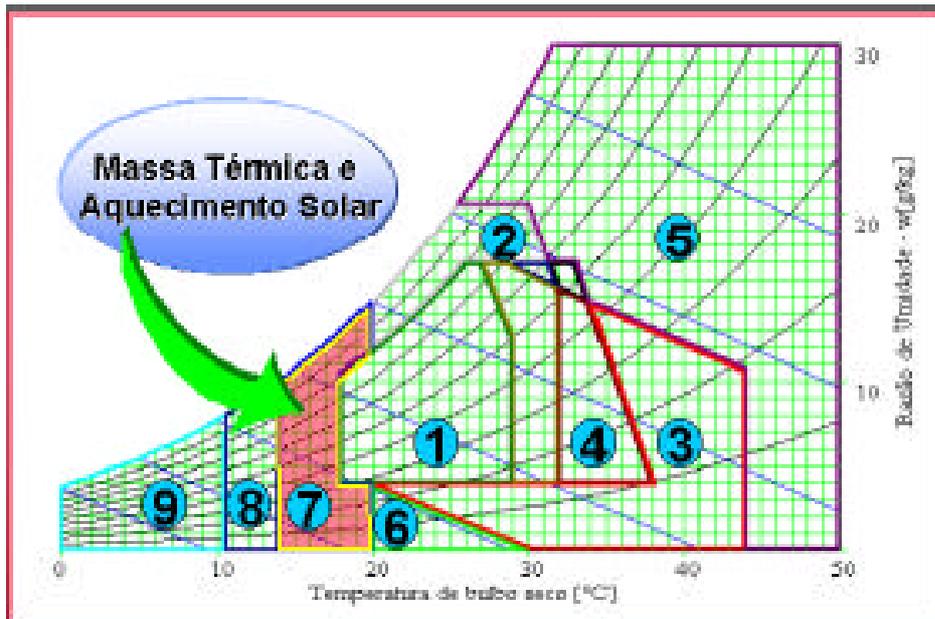


Figura 3.9 - Zona de inércia térmica e aquecimento solar. Fonte: LAMBERTS et al (2005).

### 3.2.1.8 Aquecimento solar passivo

O aquecimento solar passivo, segundo LAMBERTS et al (2005), deve ser adotado para os casos com baixa temperatura do ar. Recomenda-se que a edificação tenha superfícies envidraçadas orientadas para o sol e aberturas reduzidas nas fachadas que não recebem insolação para evitar perdas de calor. (ver Figura 3.10).

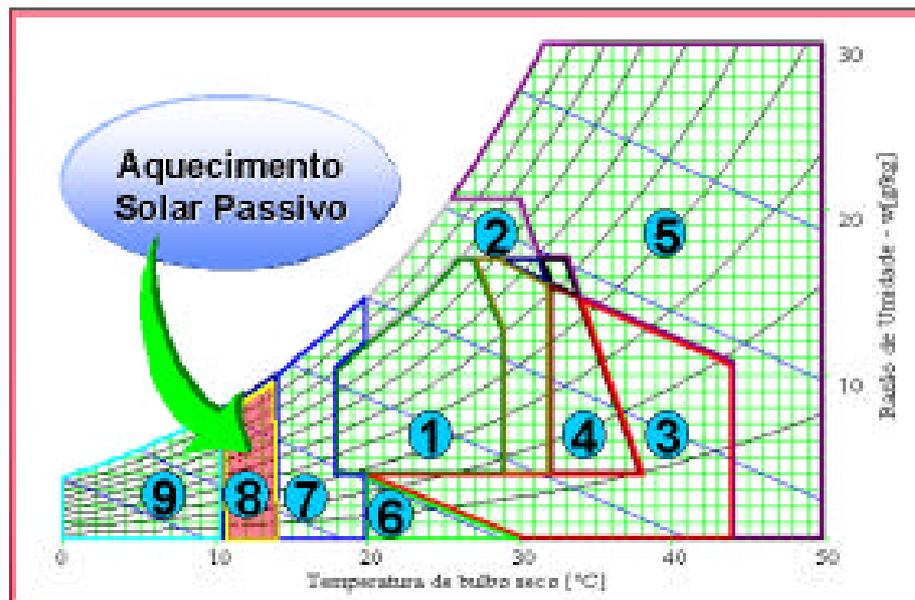


Figura 3.10 - Zona de aquecimento solar passivo. Fonte: LAMBERTS et al (2005).

### 3.3 Proteção Solar

Para analisar o projeto sob o aspecto da proteção solar é necessário o conhecimento dos movimentos do sol e da terra, os quais originam o dia e a noite e as estações do ano.

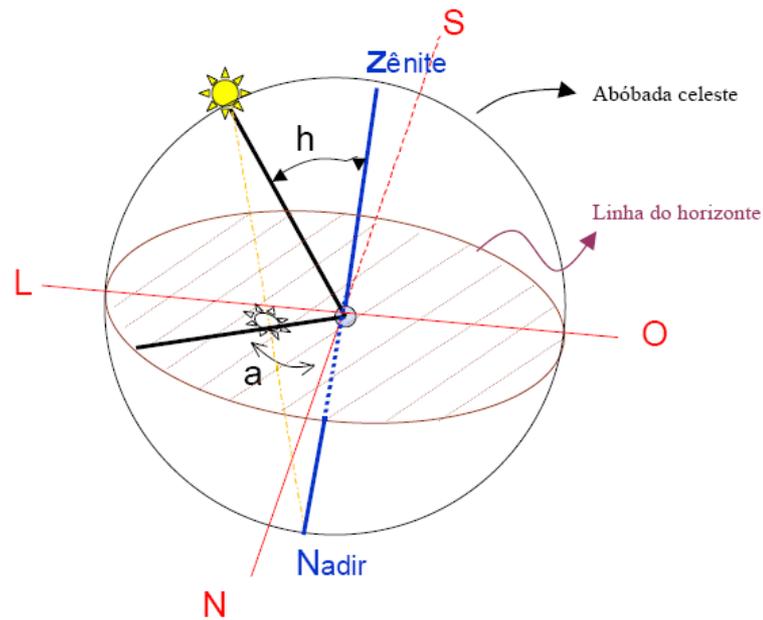
Os movimentos da terra são rotação e translação ao redor do sol. O movimento de rotação é feito em torno de um eixo norte/sul o qual passa por seus pólos. Enquanto que no movimento de translação a Terra realiza um movimento elíptico ao redor do Sol. O movimento de translação da Terra ao redor do Sol determina as quatro diferentes estações do ano. (LABEEE, 2005).

**Tabela 3.1 - Datas de início das estações do ano para o hemisfério sul. Fonte: LABEEE (2005).**

| Data           | Denominação            |
|----------------|------------------------|
| 21 de março    | Equinócio de outono    |
| 21 de setembro | Equinócio de primavera |
| 21 de junho    | Solstício de inverno   |
| 21 de dezembro | Solstício de verão     |

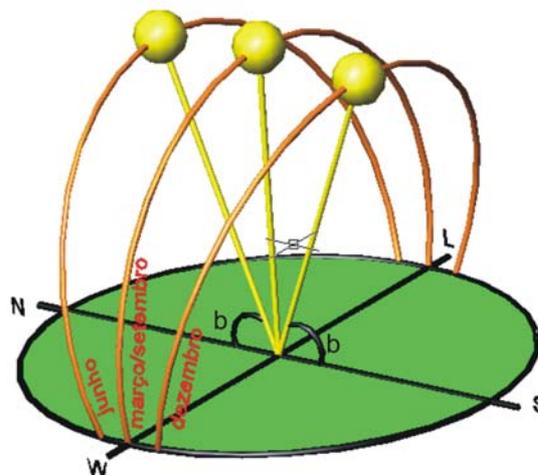
O Solstício é a época em que o Sol passa pela sua maior declinação boreal ou austral, e durante a qual cessa de afastar-se do equador. Os solstícios situam-se, respectivamente, nos dias 21, 22 ou 23 de junho para a maior declinação boreal (em direção ao Norte), e nos dias 21, 22 ou 23 de dezembro para a maior declinação austral (em direção ao sul) do Sol. No hemisfério sul, a primeira data se denomina solstício de inverno e a segunda, solstício de verão; e, como as estações são opostas nos dois hemisférios, essas denominações invertem-se no hemisfério norte.

A localização do sol na abóbada celeste pode ser identificada através de dois ângulos: a altura solar e o azimute. Na Figura 3.11, o azimute ( $a$ ) é o ângulo que a projeção do sol faz com a direção norte enquanto a altura solar é o ângulo que o sol faz com o plano horizontal. Nos estudos realizados pelo LAMBERTS (2005), a altura solar ( $h$ ) considerada é o ângulo formado entre o sol e o zênite (ponto mais alto da abóbada celeste).



**Figura 3.11 - Projeção estereográfica do sol sobre o plano do observador localizado em um ponto qualquer da Terra. Fonte: LABEEE (2005).**

De acordo com LAMBERTS (2005), os diagramas solares são traçados considerando-se a terra fixa e o sol percorrendo a trajetória diária da abóbada celeste, variando de caminho em função da época do ano. Na Figura 3.12 vê-se os limites da trajetória anual que consistem nos solstícios de inverno (junho) de verão (dezembro), enquanto a linha do meio indica os equinócios (março e setembro). O ângulo (b) corresponde a inclinação do sol, durante o ano, nas direções norte e sul.



**Figura 3.12 - Movimento aparente do Sol no hemisfério Sul.**

O capítulo seguinte apresenta as condições climáticas da região, necessárias para o estudo bioclimático do projeto.

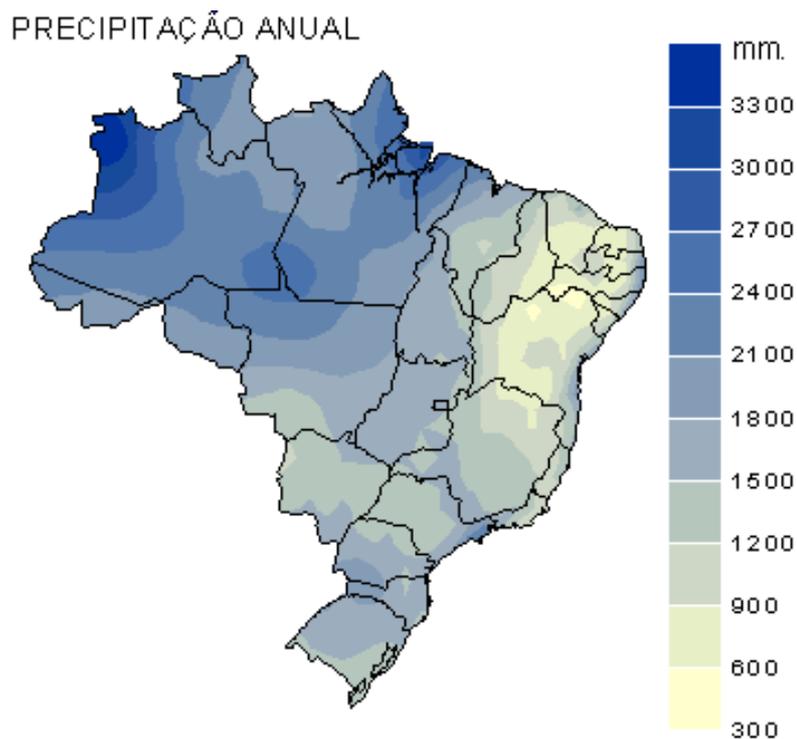
## **4 Condições Climáticas da Região**

Para compor o estudo de caso deste trabalho escolheu-se a feira do Ver-o-Peso localizada na cidade de Belém, capital do Estado do Pará. Belém foi fundada em 12 de janeiro de 1616 por Francisco Caldeira Castelo Branco, às margens da baía de Guajará, na foz do rio Amazonas.

A cidade de Belém encontra-se dentro da Amazônia legal. Esta é formada pelos Estados da macrorregião Norte (Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), macrorregião Centro-Oeste (Estado do Mato Grosso) e macrorregião Nordeste (parte do Maranhão, a oeste do meridiano de 44°). A Amazônia Legal totaliza uma superfície aproximada de 5.217.423 km<sup>2</sup>, correspondendo a cerca de 61% do território brasileiro. O Amazonas e o Pará destacam-se com suas áreas: 1.577.820 km<sup>2</sup> e 1.253.165 km<sup>2</sup>, respectivamente, somando mais de 55% do total. Mais de 2/3 das fronteiras geográficas do país pertencem à Amazônia Legal.

### **4.1 Aspectos Climáticos**

Serão abordados, inicialmente, os aspectos climáticos da área em estudo. Esta região, de acordo com o INMET (2005), possui clima quente e úmido com precipitação média anual em torno de 2700 mm (Figura 4.1). A temperatura média é de 25°C em fevereiro e 30°C em novembro. Esta região encontra-se na zona climática Af, segundo a classificação de Köppen (baseia-se fundamentalmente na temperatura, na precipitação e na distribuição de valores de temperatura e precipitação durante as estações do ano). Esta classificação coincide com o clima de floresta tropical, permanentemente úmido. Belém localiza-se nas seguintes coordenadas geográficas: 01° 27' 21" S de latitude sul e 48° 30' 36" W de longitude a oeste do Meridiano de Greenwich.

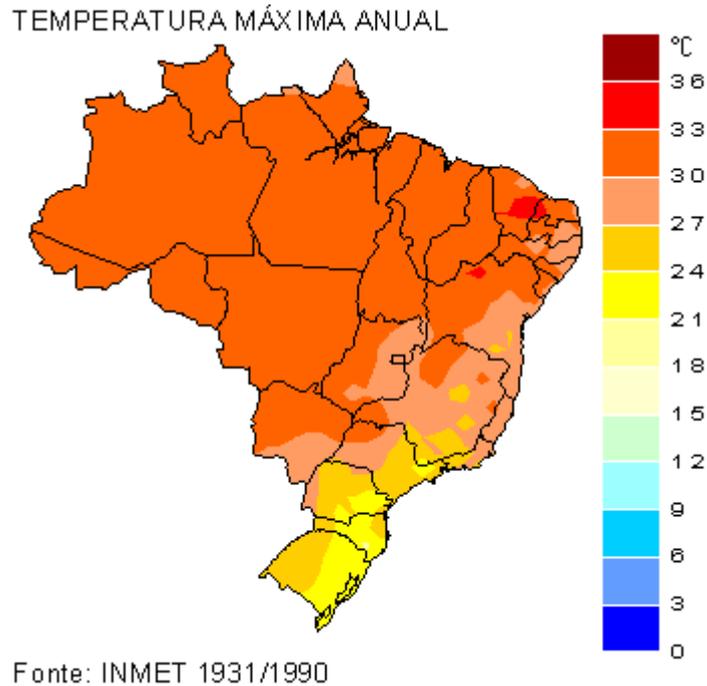


**Figura 4.1 – Mapa da Precipitação Anual.** Fonte: INMET (2006).

De acordo com CORRADINI e ALVES (2004), em Belém os ventos da primeira e segunda predominância são provenientes da direção leste e nordeste, sudeste e norte.

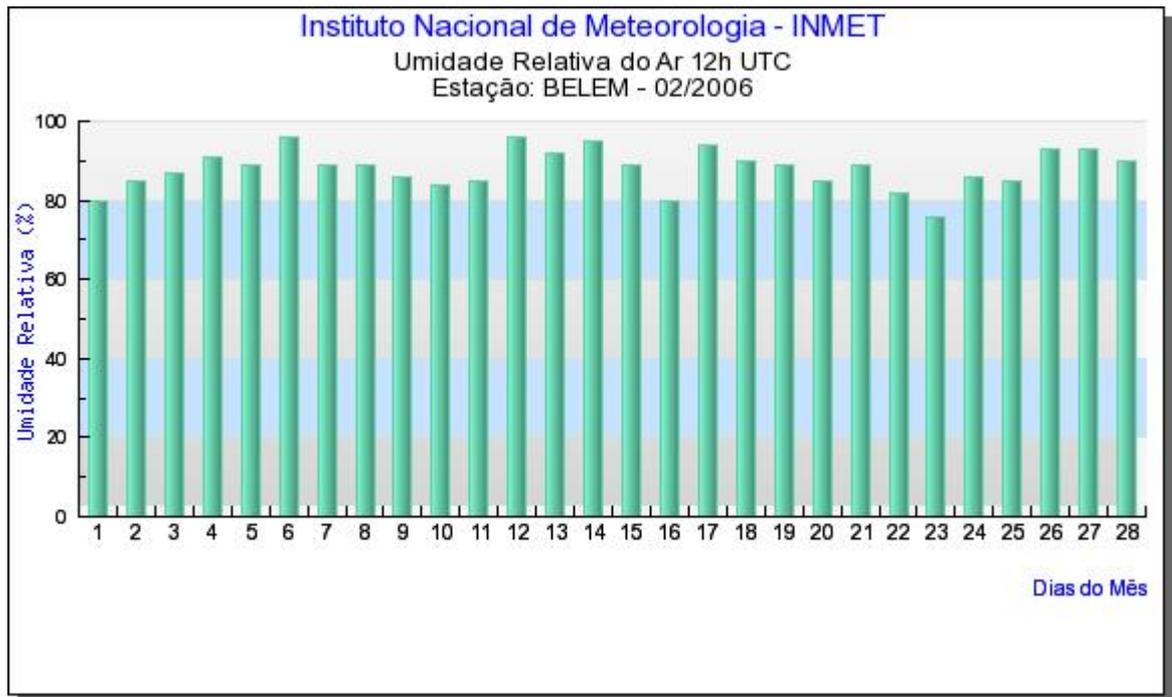
A região de Belém apresenta alta luminosidade, podendo-se obter iluminação natural mesmo que as aberturas estejam protegidas da insolação proveniente das partes altas do céu (CORRADINI e ALVES, 2004).

Quanto à temperatura, em Belém a diferença entre as temperaturas máximas e mínimas diárias é pequena. A média Anual das temperaturas máximas fica em torno de 32° C (Figura 4.2) enquanto que a média das mínimas se aproxima dos 26° C.



**Figura 4.2 – Temperatura Máx., Méd. e Mín. Diária de Belém-Pa. Fonte: Fonte: INMET (2006).**

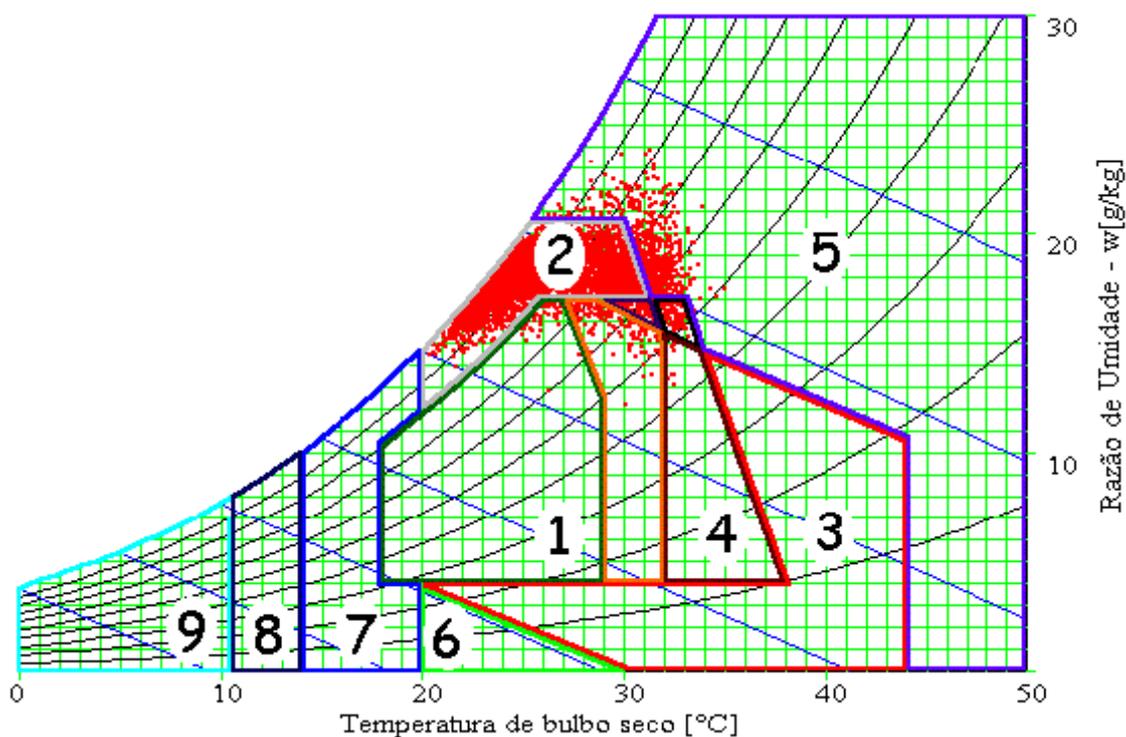
De acordo com o INMET (2005), Belém possui uma umidade relativa do ar muito alta. Esta umidade, em média, atinge valores superiores a 80% dependendo da época do ano. A combinação destes valores com os das temperaturas do ar indicam a dificuldade de obtenção de condições de conforto térmico na região. Os altíssimos valores de umidade relativa do ar, durante o mês, em Belém, podem ser vistos na Figura 4.3. É interessante destacar que esta umidade favorece o aparecimento de fungos nas construções.



**Figura 4.3 – Umidade Relativa do Ar em Belém-Pa - diária (%).** Fonte: INMET (2006).

## 4.2 Carta Bioclimática de Belém

De acordo com GOULART et al (1998), a carta bioclimática de Belém, ilustrada na Figura 4.4, foi gerada utilizando o programa Analisis Bio 3.0, onde os dados de temperatura e umidade plotados para as 8760 horas do TRY, forneceram estratégias mais adequadas para cada período do ano.



1- Zona de Conforto; 2 - Ventilação; 3 - Resfriamento Evaporativo; 4 - Massa Térmica para Resfriamento; 5 - Ar Condicionado; 6 - Umidificação; 7 - Massa Térmica e Aquecimento Solar Passivo; 8 - Aquecimento Solar Passivo; 9 - Aquecimento Artificial.

**Figura 4.4 - Carta Bioclimática com TRY de Belém. Fonte: GOULART et al (1998)**

Ao analisar a Carta Bioclimática de Belém observa-se que grande parte dos pontos plotados no diagrama, referentes aos estados do ar, situam-se na zona de Ventilação. Nota-se também uma parte da mancha nas interseções entre as zonas de Ventilação (2), de Resfriamento Evaporativo (3) e Massa Térmica para Resfriamento (4), nestes pontos pode-se escolher entre aplicar uma destas estratégias, ou todas simultaneamente.

Na Tabela 4.1, GOULART et al (1998) apresenta os percentuais das horas do ano em que ocorre conforto ou desconforto térmico e os percentuais em que cada estratégia é apropriada, considerando-se as intersecções da carta bioclimática. “Para se saber o total de horas onde é adequada a Ventilação, por exemplo, foram somados todos os valores correspondentes a Ventilação. Da mesma forma, procedeu-se para as estratégias de Resfriamento Evaporativo e Massa Térmica para Resfriamento. Neste caso, a soma total das horas irá superar os 100%, pois alguns pontos foram computados mais de uma vez, considerando ora a Ventilação, ora Resfriamento Evaporativo, ora Massa Térmica para Resfriamento”.

**Tabela 4.1- Estratégias Bioclimáticas - (%) – Fonte: GOULART et al (1998)**

|             |       |       |      |
|-------------|-------|-------|------|
| CONFORTO    |       |       | 0,7  |
| DESCONFORTO |       | V     | 89,0 |
|             | Calor | RE    | 2,6  |
|             |       | MR    | 4,2  |
|             |       | AC    | 9,2  |
|             |       | MA/AS | 0    |
|             | Frio  | AS    | 0    |
|             |       | AA    | 0    |

V →Ventilação

RE →Resfriamento Evaporativo

MR →Massa térmica para Resfriamento

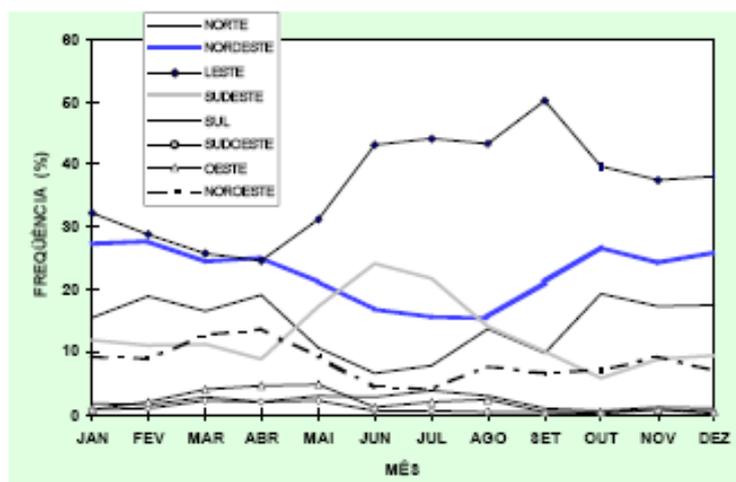
AC →Ar Condicionado

MA/AS → Massa térmica para Aquecimento / Aquecimento Solar

AS → Aquecimento Solar

AA A →Aquecimento Artificial

Na Figura 4.5, GOULART et al (1998), ilustra a freqüência mensal das velocidades do vento, por direção, em Belém-Pa. Podemos observar que, durante o ano todo, os ventos vindos de Leste ocorrem com maior freqüência.



**Figura 4.5 - Frequência mensal de direção do vento. GOULART et al (1998)**

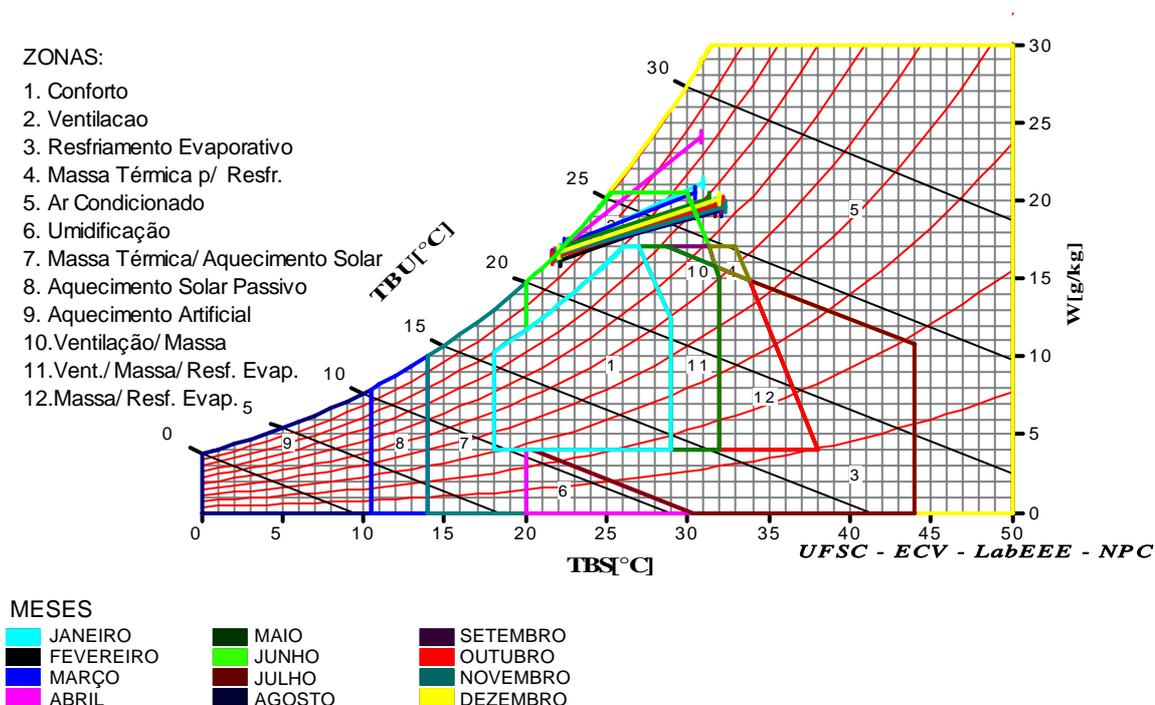
De acordo com LAMBERTS (1997), a avaliação bioclimática pode ser feita, também, utilizando-se as Normais climatológicas (Figura 4.6) sendo necessários os seguintes valores mensais:

Temperatura do ar: média, média das máximas, média das mínimas, máxima e mínima absoluta;

Umidade relativa média.

Esta carta é definida por linhas resultantes do cruzamento dos valores médios mensais da temperatura e umidade relativa.

Os resultados obtidos através do TRY são mais precisos (são analisadas 8.760 horas), enquanto que as normais utilizam apenas os valores médios mensais.



**Figura 4.6 - Estratégias Bioclimáticas para Belém baseada nas Normais, geradas pelo programa Analyses Bio 3.0.**

A Tabela 4.2 apresenta os percentuais e estratégias necessárias para cada mês do ano.

| MESES     | VENTILAÇÃO (%) | AR CONDICIONADO (%) |
|-----------|----------------|---------------------|
| JANEIRO   | 84.48          | 15.53               |
| FEVEREIRO | 99.69          | 0.31                |
| MARÇO     | 95.57          | 4.44                |
| ABRIL     | 53.24          | 46.76               |
| MAIO      | 88.07          | 11.94               |
| JUNHO     | 86.82          | 13.19               |
| JULHO     | 88.36          | 11.64               |
| AGOSTO    | 85.29          | 14.71               |
| SETEMBRO  | 84.74          | 15.26               |
| OUTUBRO   | 83.39          | 16.61               |
| NOVEMBRO  | 82.87          | 17.13               |
| DEZEMBRO  | 84.13          | 15.88               |

**Tabela 4.2 - Estratégias Bioclimáticas (%) para Belém baseada nas Normais, geradas pelo programa Analyses Bio 3.0.**

A Figura 4.7, ilustra a carta solar da cidade de Belém-Pa. Esta carta representa no plano horizontal o percurso aparente do sol ao longo do ano, durante as horas do dia. Sua utilização auxilia na verificação da incidência solar em uma edificação.

Nesta carta também estão indicadas as temperaturas de bulbo seco nos seis primeiros meses do ano. Esta é predominantemente maior que 25° C.

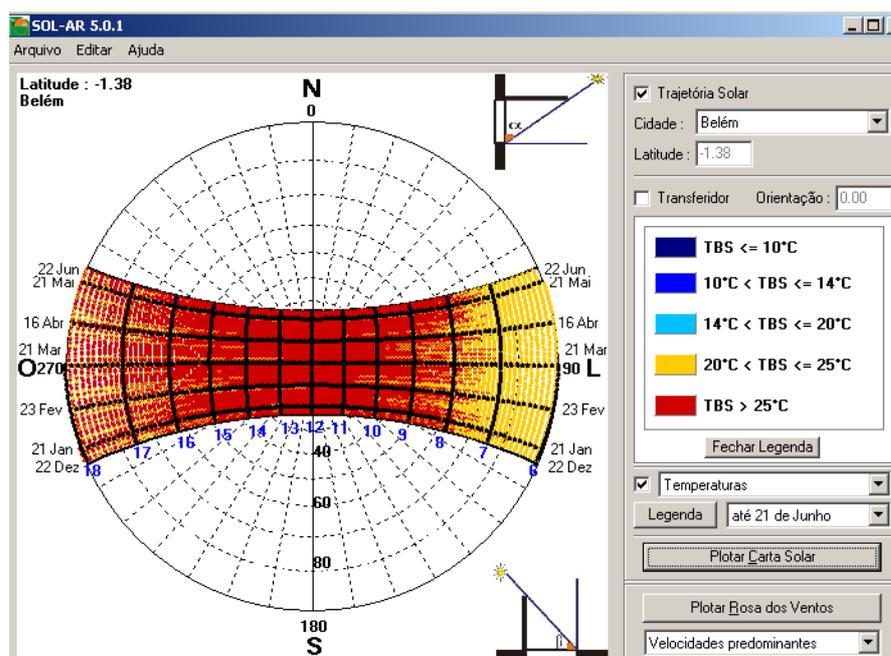


Figura 4.7 – Carta solar de Belém gerada pelo programa SOL-AR 5.0.1

A Figura 4.8 ilustra a rosa dos ventos e a frequência de ventos por estação do ano e direção.

Pode-se observar na tabela gerada pela carta, à direita da rosa dos ventos, os períodos do dia, por estação do ano, em que não há ventilação.

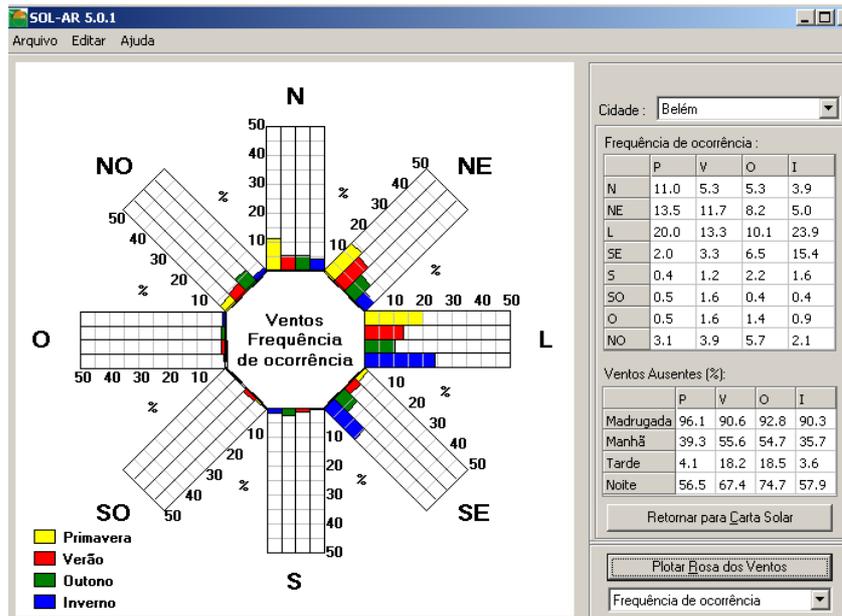


Figura 4.8 – Rosa dos Ventos – Freqüência de ocorrência dos ventos em Belém gerada pelo programa SOL-AR 5.0.1

Na Figura 4.9 observa-se as velocidades predominantes dos ventos por direção e estação do ano. A velocidade predominante é de 3 m/s, sendo que durante a primavera, atinge 5m/s na direção norte e 4m/s na direção noroeste.

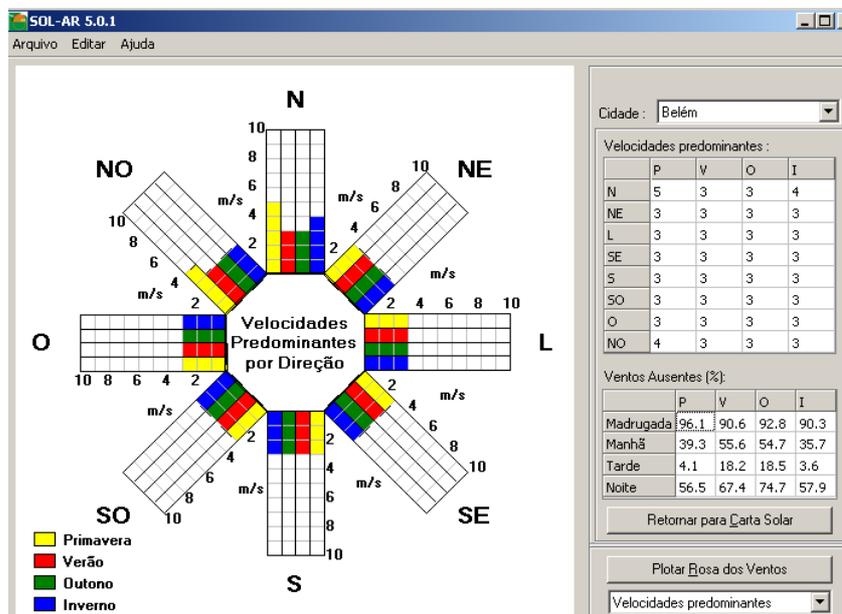


Figura 4.9 - Rosa dos Ventos – Velocidade predominantes dos ventos em Belém gerada pelo programa SOL-AR 5.0.1

## 5 Estudo de caso: feira do Ver-o-Peso na cidade de Belém-Pa

O mercado do Ver-O-Peso consiste em uma das principais atrações turísticas de Belém, em função das suas características regionais bastante peculiares. O mercado foi criado em 1688 com objetivos fiscais. Na ocasião, o então Porto do Piri passou a se chamar o “lugar de Ver-O-Peso” (entrando para a “economia formal”). O conjunto do porto, mercado e feira do Ver-o-Peso, têm importância reconhecida tanto no aspecto sócio-econômico como simbólico da cidade de Belém (PROJETO, 1999). Ele está localizado no bairro do Comércio, as margens da Baía de Guajará, na cidade de Belém. A Figura 5.1 retrata o mercado no ano de 2000, antes da grande reforma ocorrida em 2002.



**Figura 5.1 – Mercado do Ver-O-Peso antes da Reforma (2000).** Fonte: Cidades do Brasil (2000).

Nesta reforma, ocorrida em 2000, as barracas individuais da feira foram agrupadas em espaços coletivos, cobertos por tensoestruturas, as quais consistem no objeto de estudo principal deste trabalho.

## 5.1 O Projeto das tensoestruturas

O projeto das tensoestruturas do Ver-O-Peso abrange coberturas coletivas de tamanhos variados, distribuídas ao longo da feira, sendo em sua maioria na forma retangular. Estas coberturas possuem grandes aberturas, nas quatro fachadas. Quanto à orientação, as coberturas estão direcionadas no sentido dos eixos nordeste/sudoeste.

A Planta geral do Complexo Ver-O-Peso encontra-se no ANEXO A.(Figura A 1) Nesta planta, pode-se observar a distribuição das coberturas ao longo da feira, a setorização das barracas e sua orientação com relação ao Norte.

Para as coberturas foi utilizado uma membrana alemã, do tipo 2, da Mehler Haku. De acordo com o fabricante, esta membrana reflete 67% da radiação solar recebida, absorve 25% e os outros 8% são transmitidos. A

Figura 5.2 ilustra um corte transversal feito nas estruturas.

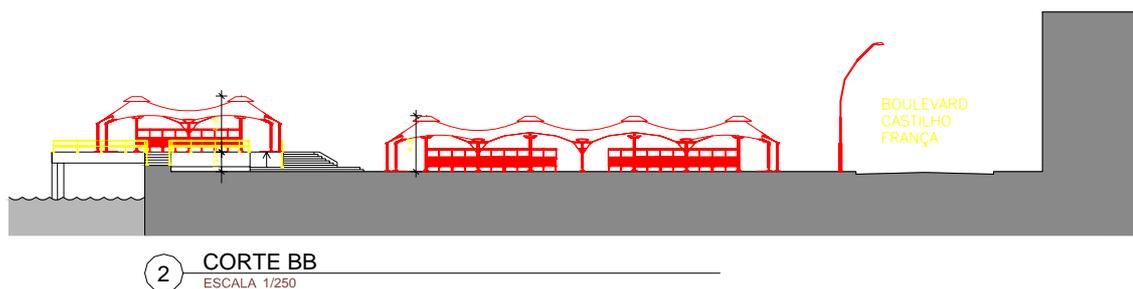


Figura 5.2 - Corte BB das tensoestruturas do Ver-O-Peso.

A Figura 5.3 e a Figura 5.4 mostram imagens da feira após a reforma. As coberturas feitas em membrana tensionada uniformizaram a paisagem. Entre os benefícios da reforma pode-se citar: melhora nas condições de limpeza, organização, atratividade comercial, dentre outros.

A Figura 5.3 ilustra a simplicidade dos elementos estruturais, as vistas desimpedidas que caracterizam uma tensoestrutura, e mais especificamente o projeto objeto deste estudo.



**Figura 5.3 – Tensoestruturas utilizadas na reforma do Ver-O-Peso.**



**Figura 5.4 - Feira do Ver-O-Peso após a reforma, com vista do Mercado de Ferro ao fundo .**

Existe na feira, de acordo com SILVA E ALMEIDA (2005), duas tipologias construtivas de cobertura, sendo o tipo de cobertura de maior expressão formado por membranas tensionadas por cabos de aço presos a pilares periféricos (diferentes dos projetados inicialmente, como pode ser observado na Figura A 4 e Figura A 5 do Anexo A) e pilares centrais que tensionam a parte mais alta da membrana, onde estão localizados as saídas de ar (ver a Figura 5.5 e Figura 5.6).



**Figura 5.5 – Pilares periféricos (foto datada de 25/10/2003).**



**Figura 5.6 – Respiradouro localizado nos pilares centrais (foto datada de 09/11/2005).**

O outro tipo de cobertura existente é composto por uma membrana branca, opaca que é tensionada por arcadas feitas com tubos metálicos. A deficiência da iluminação natural, a qual será melhor observada a seguir, não é crítica apesar da membrana ser opaca devido ao fato das barracas serem estreitas. Pode-se observar na Figura 5.7 que mesmo sendo dia os holofotes encontram-se acesos.



**Figura 5.7 – Barracas formadas por arcadas feitas com tubos metálicos.**

O grau de ventilação na feira é razoável, em função das coberturas não possuírem fechamento nas laterais. Entretanto, a ventilação na feira é reduzida pela presença de uma plataforma para colocação de três módulos de cobertura em um nível mais alto que as demais, barrando parcialmente a ventilação vinda do Norte (Figura 5.8).

O tipo de cobertura empregado na feira, para SILVA E ALMEIDA (2005), uniformiza a paisagem e “desestimula a maioria dos feirantes a intervirem individualmente em seus boxes”. Porém, a insatisfação quanto à proteção às intempéries oferecida pela cobertura projetada tem resultado em diversas interferências feitas pelos feirantes, conforme será apresentado na seção seguinte.



**Figura 5.8 – Plataforma mais elevada localizada no setor de alimentação da feira (foto datada de 27/11/2005).**

## **5.2 Intervenções realizadas na feira**

Desde a implantação das tensoestruturas na feira do Ver-o-peso, uma das maiores reclamações dos feirantes tem sido quanto à proteção oferecida pelas coberturas às intempéries. Este fato desencadeou uma série de intervenções, feitas pelos próprios feirantes, as quais podem ser observadas na Figura 5.9. Com o propósito de melhorar a proteção oferecida pelas coberturas, plásticos azuis foram sendo acrescentados às coberturas, descaracterizando as mesmas.

Um vazamento de água excessivo pelas regiões referentes ao orifício de drenagem das águas da chuva molha o interior das estruturas. Para contornar o problema, também foram feitas intervenções pelos usuários. Dentre as “soluções”, usadas pelos feirantes, destaca-se a utilização de plásticos para guiar o fluxo da água provenientes da cobertura (Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11), e de tambores e baldes para captação desta água (ver Figura 5.12).



**Figura 5.9 – Interferências feitas pelos feirantes (foto datada de 01/05/ 2005).**



**Figura 5.10 – Colocação de plástico pelos feirantes, na abertura existente na cobertura para descida das águas das chuvas (foto datada de 01/05/ 2005).**



**Figura 5.11 - Colocação de plástico pelos feirantes, na abertura existente na cobertura para descida das águas das chuvas (foto datada de 01/05/ 2005).**



**Figura 5.12 - Colocação de um tambor, pelos feirantes, na abertura existente na cobertura para descida da água das chuvas (foto datada de 01/05/ 2005).**

As constantes intervenções e reclamações dos feirantes levaram a prefeitura a projetar e executar toldos de proteção, colocados apenas em algumas regiões. Estes toldos atenuaram o problema de alguns feirantes, mas não de todos, devido não ter beneficiado a feira na sua totalidade. A Figura 5.13 e Figura 5.14 ilustram algumas barracas da feira, praticamente do mesmo ângulo de visão, antes e depois da instalação dos toldos de proteção.



**Figura 5.13 - Tensoestruturas da feira do Ver-o-Peso, alguns meses após a inauguração (foto datada de 01/01/2003).**



**Figura 5.14 – Tensoestruturas, da feira do Ver-o-Peso, e os toldos instalados pela prefeitura  
(foto datada de 01/05/ 2005).**

Para permitir uma melhor avaliação do grau de satisfação dos usuários da feira, referente principalmente aos problemas abordados acima, foi feita uma pesquisa de campo baseada em entrevistas, a qual é descrita em detalhes na seção seguinte.

### **5.2.1 Questionário Aplicado**

A avaliação do grau de satisfação do usuário abordou questões referentes à proteção às intempéries, aspectos estéticos, e sobre o conforto térmico e acústico proporcionado pelas coberturas. Um diagnóstico foi realizado através da análise de gráficos elaborados a partir das respostas obtidas nas entrevistas.

Visando levantar informações comportamentais para esta pesquisa, foram elaborados dois questionários, um para feirantes e outro para os clientes, ambos possuindo perguntas objetivas e subjetivas de caráter qualitativo.

Num primeiro momento foi aplicado um questionário piloto para 15 feirantes e 10 clientes. Pretendia-se com isto, detectar possíveis falhas nesta avaliação preliminar, para que pudesse ser preparado os questionários definitivos, os quais são mostrados no Anexo B.

Posteriormente, definiu-se uma amostra de 126 entrevistas para uma população de 1.147 feirantes (segundo SILVA E ALMEIDA, 2005). Em relação aos clientes, foram realizadas 50 entrevistas.

As perguntas elaboradas têm caráter apenas indicativo de percepção ambiental (nos aspectos do conforto térmico, acústico e visual), não representando, portanto, relevância estatística para este estudo.

### 5.2.1.1 Resultados dos questionários aplicados aos Clientes

Dentre os clientes pesquisados 30% possuem segundo grau completo, 26% segundo grau incompleto, 4 % possuem terceiro grau completo e também 4% possuem terceiro grau incompleto. O percentual de clientes com primeiro grau completo, assim como, incompleto foi de 18% (ver Figura 5.15). Ou seja, os clientes apresentam grau de escolaridade bastante diversificado.

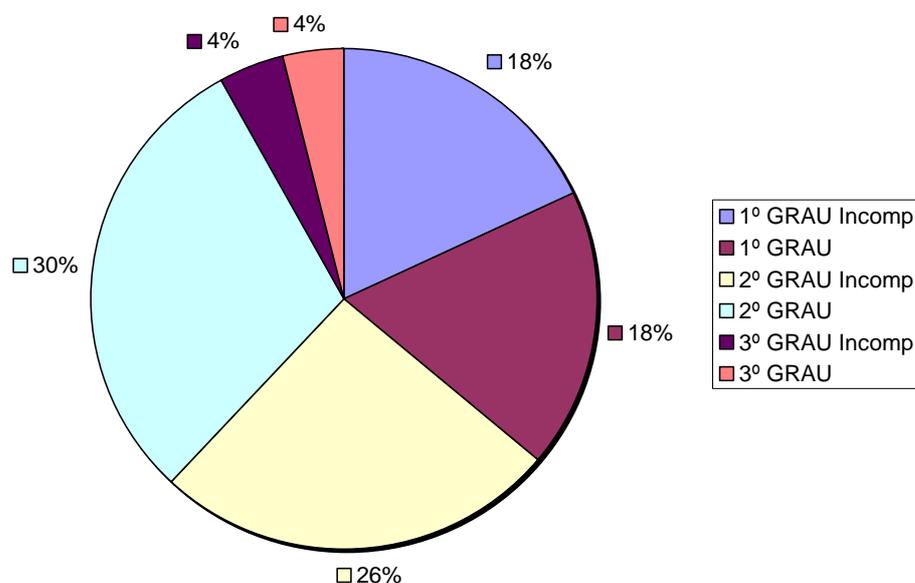
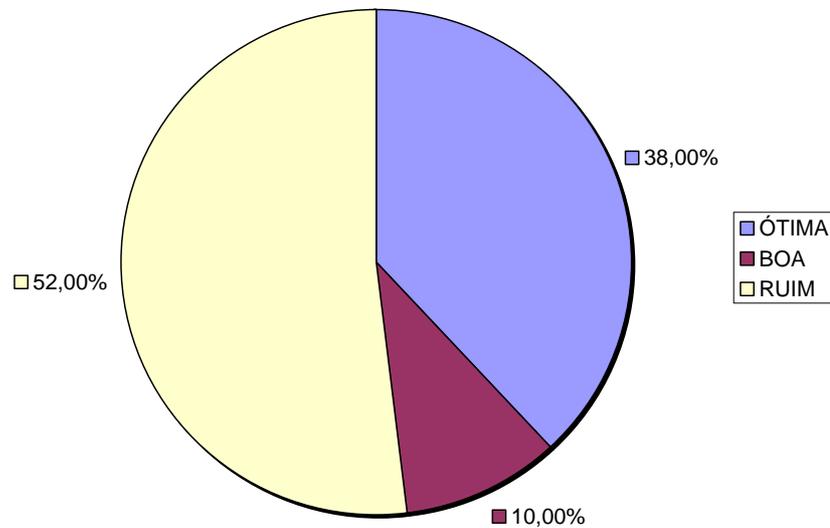


Figura 5.15– Grau de escolaridade dos clientes

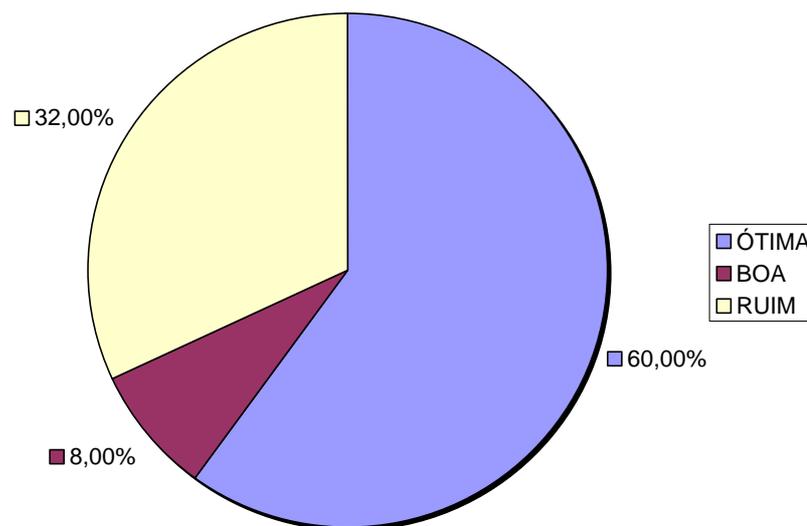
A Figura 5.16 ilustra a opinião dos clientes referente ao nível de satisfação quanto à ventilação nas áreas cobertas da feira. Dentre as cinquenta pessoas entrevistadas, 52% classificaram a ventilação como sendo ruim. Para 38% dos pesquisados a ventilação é ótima e 10% definiram a mesma como sendo boa. Apesar de um número considerável de clientes estarem insatisfeitos com a ventilação, durante as entrevistas pode-se observar que a mesma

não é ruim em todos os setores da feira. Talvez, devido os clientes circularem por toda a feira, eles acabam generalizando os problemas.



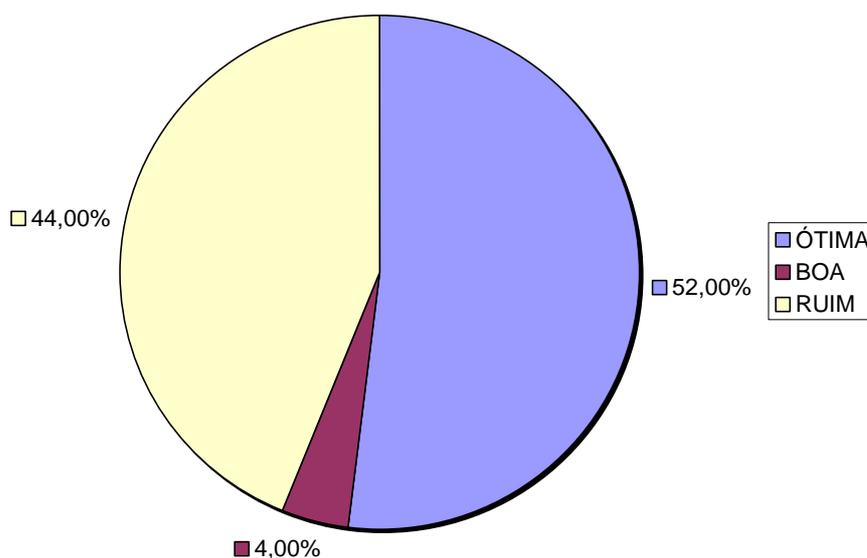
**Figura 5.16– Opinião quanto à ventilação nas áreas cobertas**

Quanto à proteção ao sol exercida pela cobertura, 60% dos clientes a classificaram como ótima. É importante destacar que os clientes classificaram a proteção atual como “ótima” comparada com a que havia antes da reforma. Alguns disseram que: “antes a cobertura cobria apenas as barracas”. Quanto ao restante dos pesquisados 32% definiram a proteção como sendo ruim e 8% disseram que a mesma faz uma boa proteção (ver Figura 5.17).



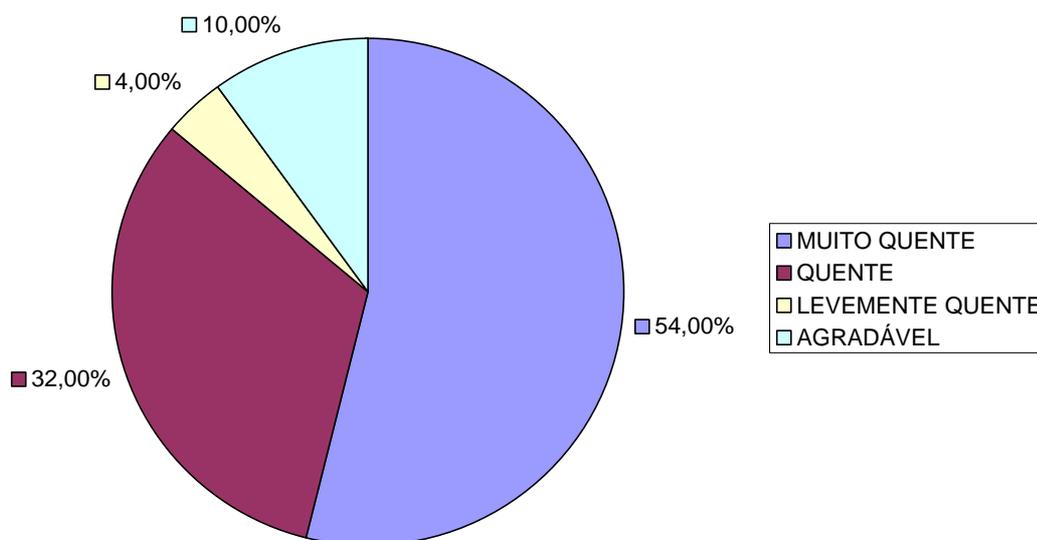
**Figura 5.17 – Opinião dos clientes quanto a proteção do sol**

Quanto à proteção oferecida pelas coberturas às chuvas, Figura 5.18, na opinião de 52% dos clientes as coberturas oferecem uma ótima proteção, enquanto que 44% acham esta proteção ruim e apenas 4% acham a proteção boa. Analogamente a avaliação quanto à proteção do sol, no caso das chuvas, os clientes também fazem referência entre a situação anterior e a atual (após a reforma).



**Figura 5.18 – Opinião dos clientes quanto a proteção oferecida, pela cobertura, às chuvas.**

Ao serem questionados quanto ao que achavam da temperatura nas áreas internas da cobertura, Figura 5.19, 54% dos clientes a definiram como muito quente, 32% disseram ser quente, 10% disseram ser agradável e apenas 4% falaram que é levemente quente. A opinião dos clientes é bastante relevante, visto que os mesmos normalmente circulam ao longo de toda a feira.



**Figura 5.19 – Opinião dos clientes quanto a temperatura nas áreas internas da cobertura.**

Em relação aos aspectos estéticos, durante a entrevista apenas 10% dos clientes classificaram a mesma como sendo feia (ver Figura E 4). Os clientes acreditam que a beleza da feira contribuiu para o aumento do número de visitantes e alguns disseram que só passaram a frequentar a feira após a reforma.

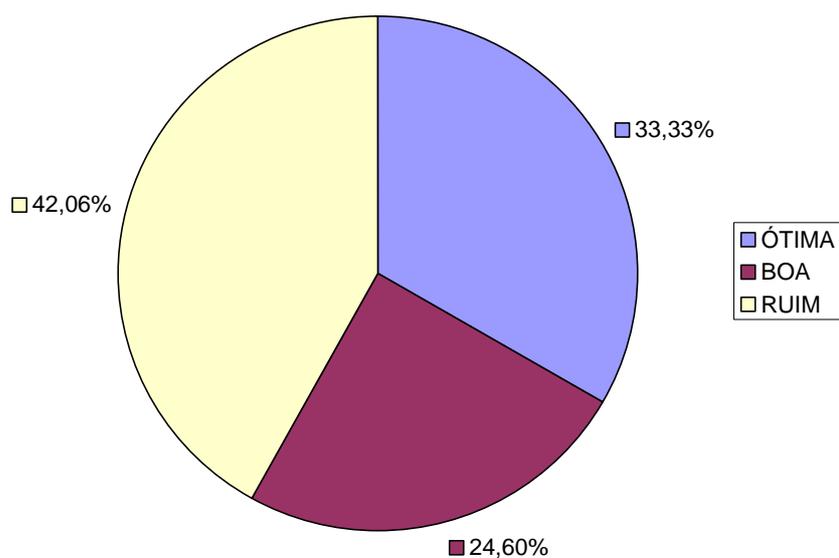
Dentre os problemas citados, quanto à cobertura, tem-se o fato do material transmitir calor para o interior das mesmas e desta ser muito baixa, contribuindo para o aumento da temperatura interna (ver Figura E 1, no anexo E).

A partir dos resultados da entrevista, pode-se dizer que, de uma maneira geral, os clientes estão satisfeitos com a utilização deste tipo de cobertura.

### **5.2.1.2 Resultados das Entrevistas feitas com os Feirantes**

No questionário aplicado aos feirantes, procurou-se saber a opinião dos mesmos quanto à ventilação nas áreas cobertas e 42,06% responderam que a ventilação é ruim, 33,33% disseram que é ótima e 24,60% falaram que é boa (ver Figura 5.20).

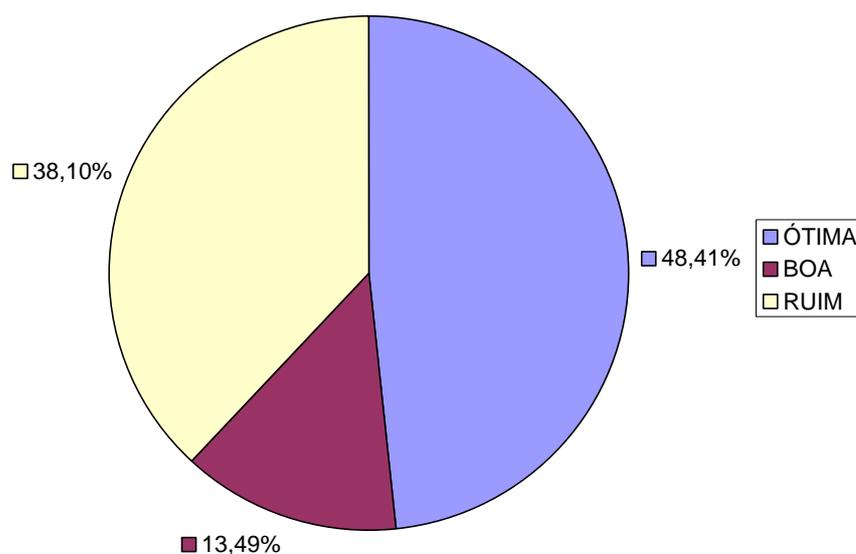
Detectou-se durante as entrevistas que a maior parte dos pesquisados, insatisfeitos com a ventilação, encontram-se no setor de alimentação, anexo a uma plataforma (ver Figura 5.8, pag.: 76). As barracas que ficam sobre esta plataforma, próximo ao rio, barram parcialmente a ventilação proveniente das direções nordeste, norte, noroeste e oeste. A presença de diversos fogões, no setor de alimentação, também colaboram para o aumento da temperatura no local.



**Figura 5.20 – Opinião do feirantes quanto à ventilação nas áreas cobertas**

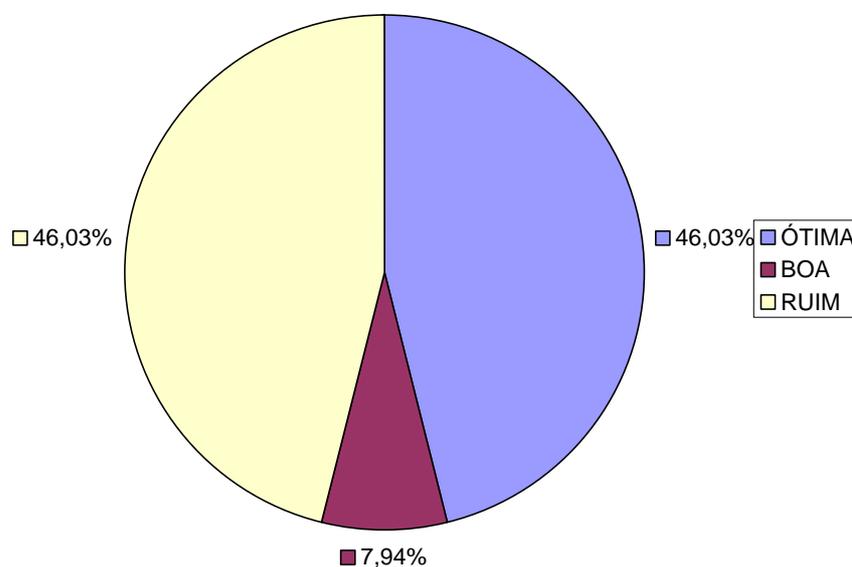
De acordo com SILVA E ALMEIDA (2005) a temperatura no setor de alimentação da feira constitui-se num aspecto crítico de desempenho por ser muito elevada e desconfortável. Estes autores destacam também que: “em reunião ocorrida após o questionamento no setor, os cinco membros da equipe técnica detectaram um fato comum e ocorrente neste setor, o falecimento de feirantes por pressão alta ou derrame”. De acordo com opiniões emitidas pelos pesquisados, o choque térmico sofrido pelos feirantes, por estarem recebendo o calor do fogão e abrindo os refrigeradores no pequeno espaço, atrás dos balcões, tem prejudicado a saúde dos mesmos.

Quanto à proteção oferecida pela cobertura à radiação solar, 48,41% dos feirantes acham que é ótima, 38,10% disseram que é ruim e apenas 13,49% falaram que é boa (ver Figura 5.21).



**Figura 5.21 – Opinião dos feirantes quanto a proteção do sol**

As respostas dos feirantes sobre a proteção oferecida pelas coberturas às chuvas ficaram bem divididas: 46,03% dos feirantes acham que é ótima, 46,03% disseram que é ruim (“não protege nada”) e apenas 7,94% falaram que é boa (ver Figura 5.22).

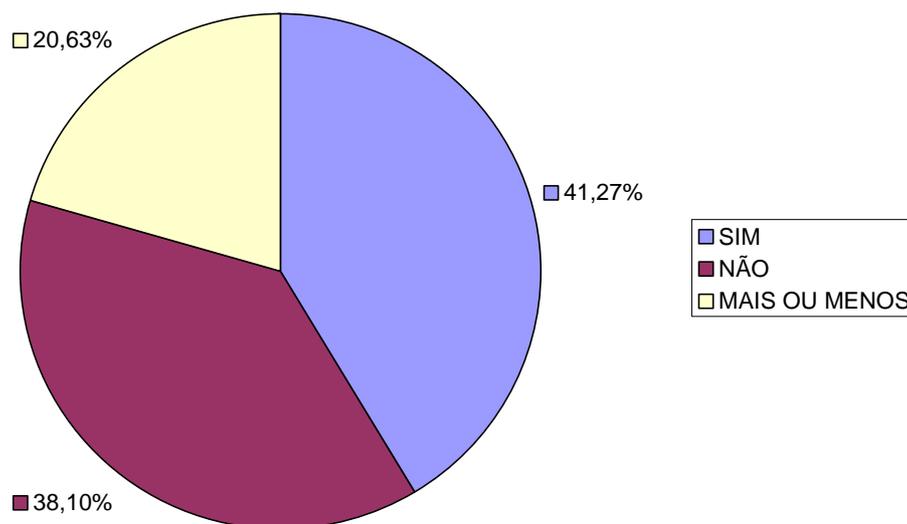


**Figura 5.22 - Opinião dos feirantes quanto a proteção oferecida, pela cobertura, às chuvas**

Estes resultados tão divergentes, quanto à proteção às intempéries, deve-se ao fato de que algumas barracas contam com o toldo de proteção instalado pela prefeitura e existem também as barracas que se encontram mais protegidas por estarem no centro da cobertura. Os

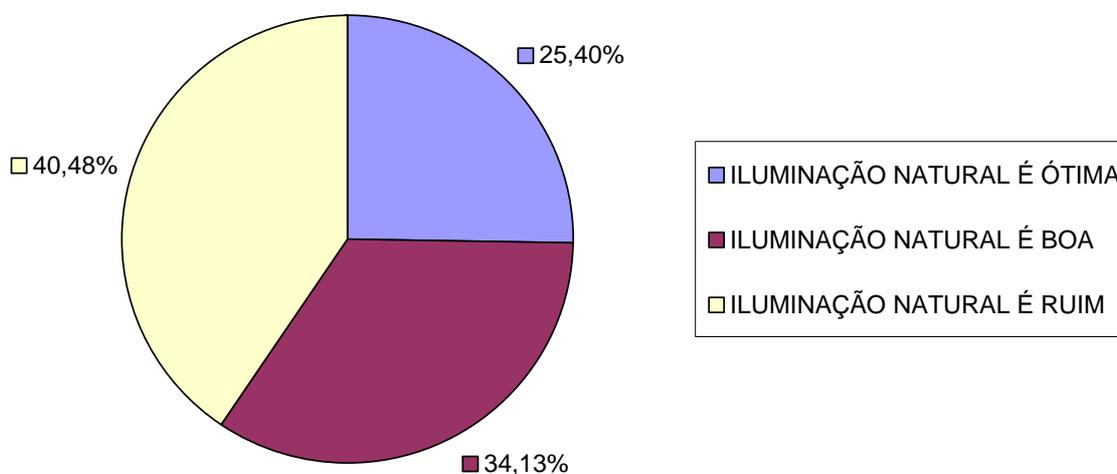
feirantes destas barracas estão satisfeitos, enquanto que aqueles que possuem suas barracas localizadas na parte mais externa das coberturas são os insatisfeitos.

Ao serem questionados se as coberturas eram suficientes para proteger os clientes, 41,27% acham que sim, 30,10% disseram que não e 20,63% falaram mais ou menos. Esta satisfação varia de acordo com a localização das barracas, sendo que as que se encontram na periferia da cobertura oferecem menos proteção (Figura 5.23).



**Figura 5.23 – Opinião dos feirantes se a cobertura é suficiente para proteger os clientes**

Quanto à iluminação natural, 34,13% dos feirantes falaram que a iluminação natural é boa, 40,48% disseram que é ruim e 25,40% disseram que é ótima. Este fator também depende da localização da barraca sob a cobertura (Figura 5.24).



**Figura 5.24 – Opinião dos feirantes quanto a Iluminação**

### 5.2.1.3 Análise das Condições Climáticas sob as Coberturas através do Programa Tensil

As condições de conforto térmico e luminoso dos usuários, sob as coberturas de membranas têxteis, foi avaliada através do programa Tensil 1.2. Este programa tem como objetivo determinar o grau de adequação referente à temperatura e luminosidade em áreas cobertas com tensoestruturas.

Devido a limitações do programa utilizado, nesta avaliação não foram consideradas as aberturas zenitais existentes ao longo das coberturas.

A seguir é apresentada uma breve descrição de utilização deste programa.

Primeiramente, no programa Tensil deve-se escolher a cidade na qual a tensoestrutura de interesse está localizada (ver Figura 5.25). Após isso, uma classificação climática, da cidade, é apresentada. Nesta mesma tela tem-se a opção de escolher entre ver os dados meteorológicos utilizados pelo programa para os diagnósticos, fazer um diagnóstico do conforto térmico urbano para usuários a céu aberto ou escolher a membrana utilizada para análises do conforto térmico e luminoso sob estas estruturas.

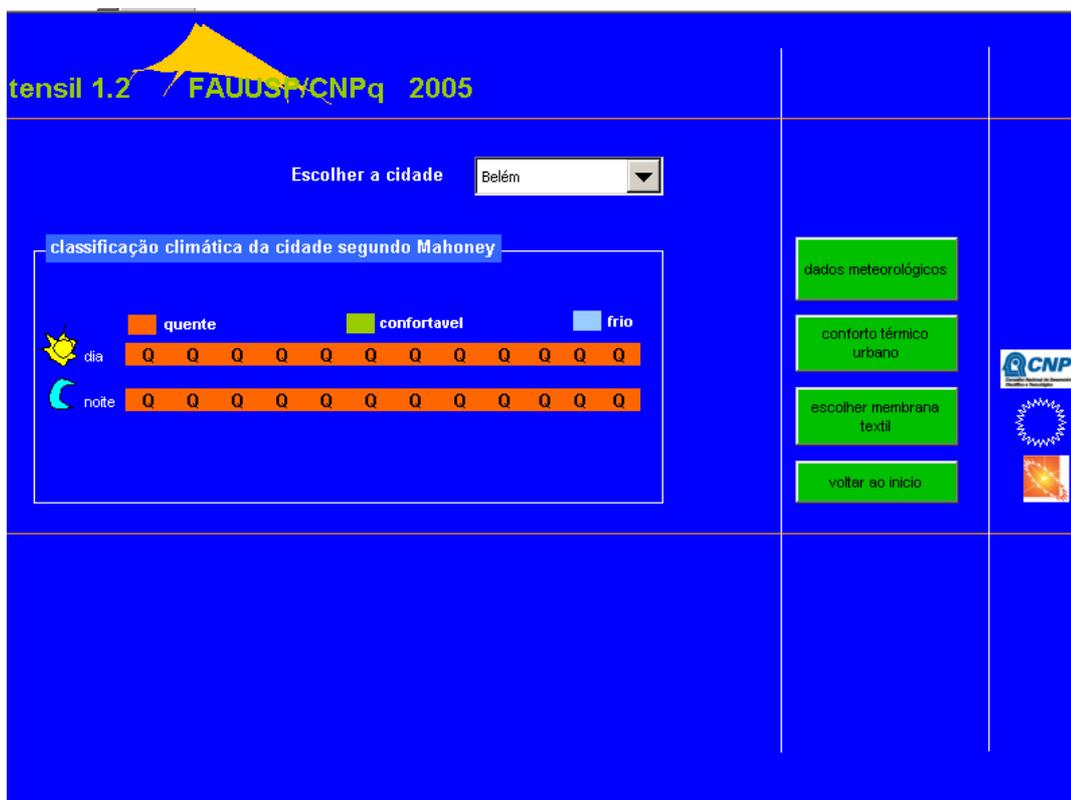


Figura 5.25 Tela do programa Tensil 1.2 para escolha da cidade a ser estudada.

Ao se escolher a opção “escolher membrana têxtil”, uma outra tela é apresentada. Nesta tela escolhe-se a membrana, de que maneira o usuário desenvolve a atividade sob a estrutura e a forma da estrutura (retangular ou circular). As outras informações necessárias para o cálculo são as dimensões da membrana, e as alturas (menor, maior e média) próximo a borda. O resultado do diagnóstico, das condições de conforto térmico dos usuários sob a membrana, para um dos tamanhos existentes de cobertura (77,00x13,5m, doravante denominado tam 1) foi de que durante 3,8% do dia o usuário experimenta uma sensação de frio moderado, 42% de neutralidade, 33% de calor moderado e 0% de calor extremo (ver Figura 5.26).

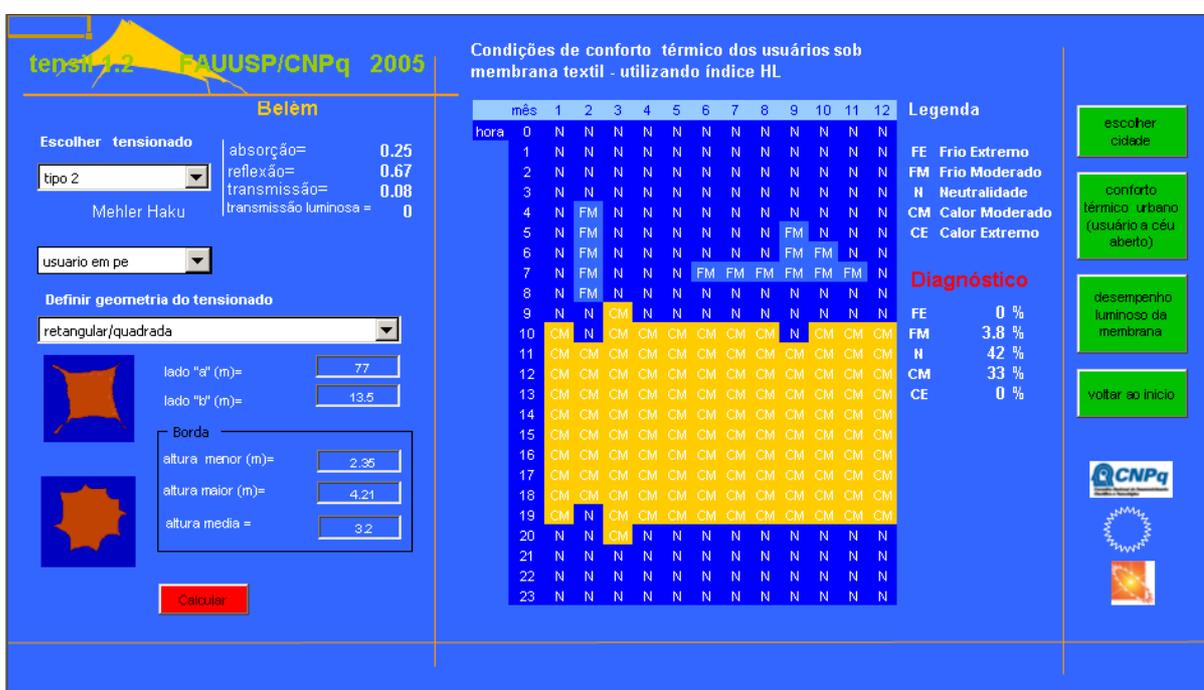


Figura 5.26 – Análise feita com o programa Tensil 1.2 quanto ao conforto térmico dos usuários sob as coberturas (tam1).

O nível de iluminância no plano de trabalho sob a membrana, também foi calculado utilizando-se o programa Tensil 1.2. De acordo com o programa, o nível de iluminância adequado deve ser 300lux. Na análise feita, verificou-se que a quantidade de horas com iluminação natural adequada é pequena.

Para este tamanho de cobertura o diagnóstico encontrado, utilizando-se o programa Tensil 1.2, foi:

- O nível de iluminância adequado para iluminação natural foi encontrado durante os meses de janeiro, março e de maio à dezembro entre os horários de 8:00 hs da manhã às 16:00hs.

- Nos meses de fevereiro e abril o nível de iluminância adequado para iluminação natural se restringe aos horários de 09:00 hs da manhã às 15:00hs (Figura 5.27).

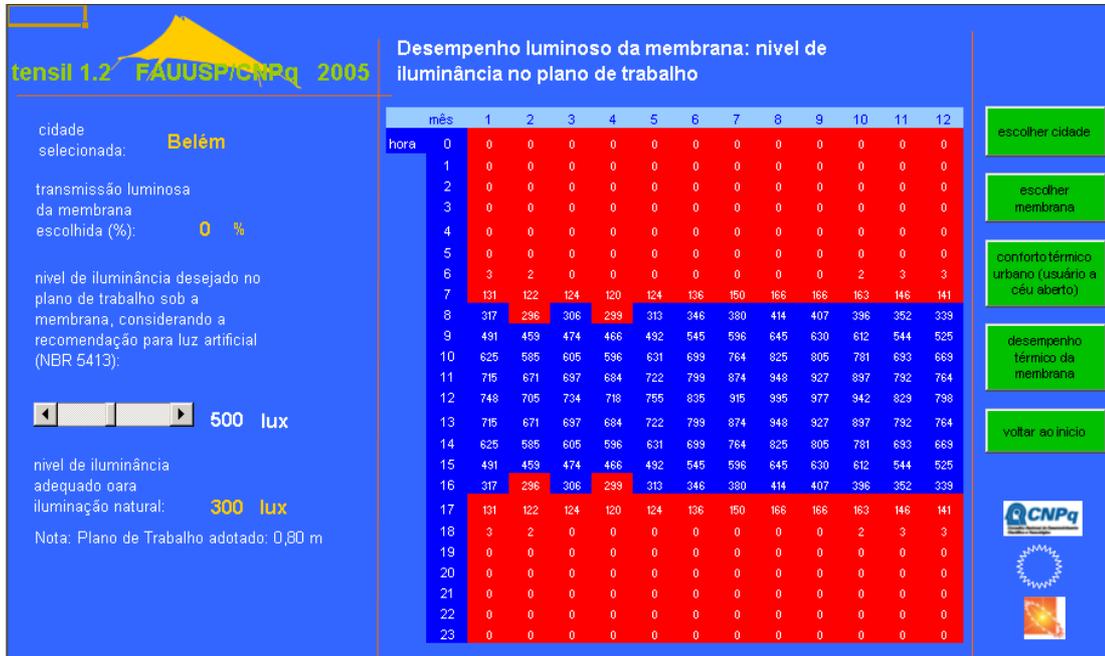


Figura 5.27 - Análise feita com o programa Tensil 1.2 quanto ao nível de iluminância nas áreas de trabalho.

Ao ser analisado um outro tamanho existente de cobertura (60,50x28,45m, doravante denominado tam2), um pouco mais largo que o anterior, o resultado encontrado foi idêntico (Figura 5.26): durante 3.8% do dia o usuário experimenta uma sensação de frio moderado, 42% de neutralidade, 33% de calor moderado e 0% de calor extremo (Figura 5.28).

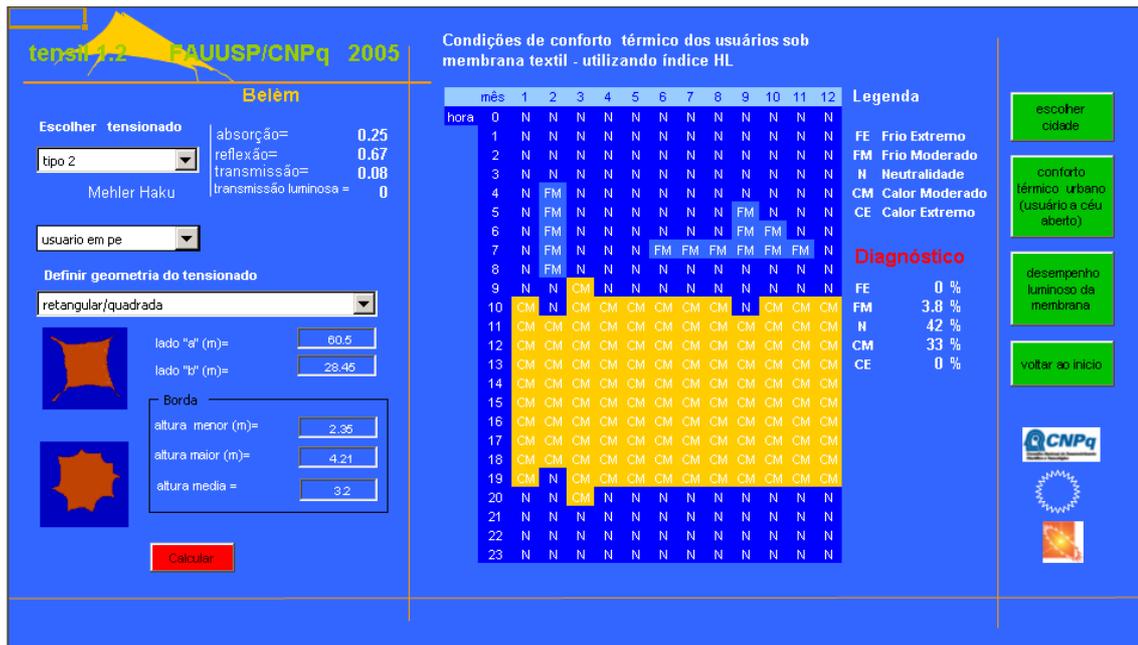


Figura 5.28 - Análise feita com o programa Tensil 1.2 quanto ao conforto térmico dos usuários sob as coberturas (tam 2).

Quanto ao nível de iluminância, o diagnóstico encontrado, utilizando-se o programa Tensil 1.2, para a cobertura denominada tam 2 analisada durante o ano todo, foi bem mais restrito que o da análise feita com a tam 1 (ver Figura 5.26):

- O nível de iluminância adequado para iluminação natural foi encontrado durante os meses de janeiro e de maio à dezembro entre os horários de 9:00 hs da manhã às 15:00hs.
- Nos meses de fevereiro à abril o nível de iluminância adequado para iluminação natural se restringe aos horários de 10:00 hs da manhã às 14:00hs (Figura 5.29).

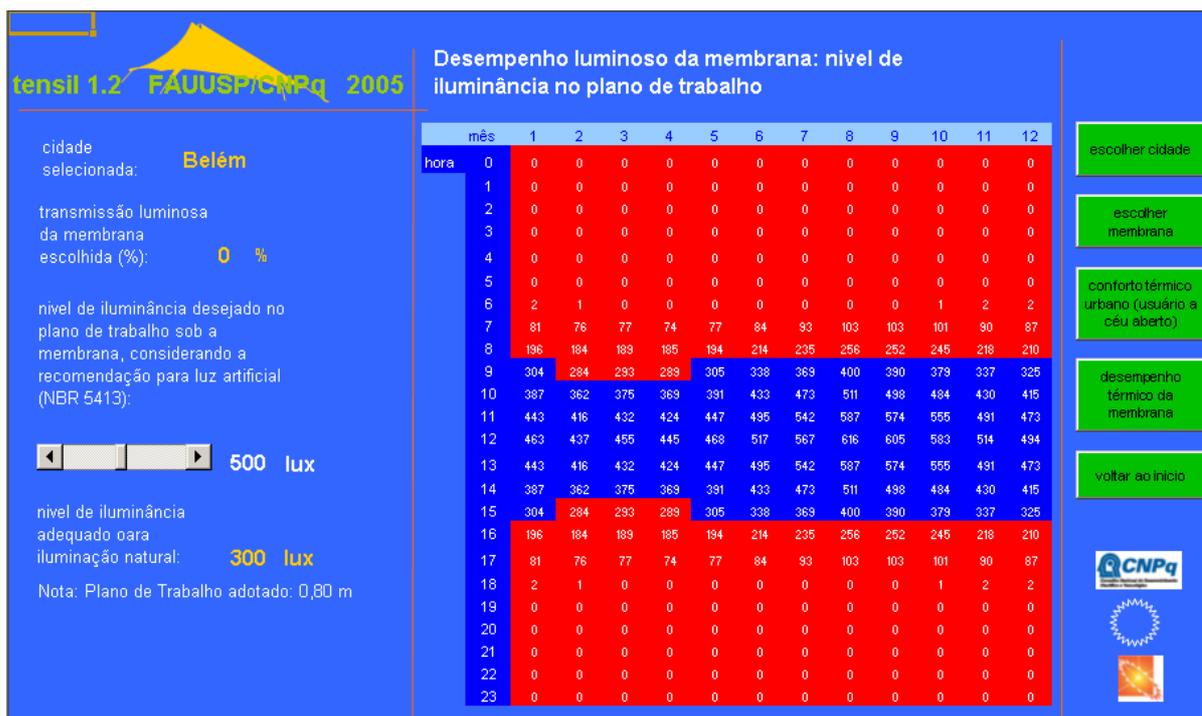


Figura 5.29 - Análise feita com o programa Tensil 1.2 quanto ao nível de iluminância nas áreas de trabalho (tam2).

Os resultados encontrados nas análises, dos dois tamanhos diferentes de coberturas, estão de acordo com a opinião dos feirantes, quando perguntados sobre a satisfação com relação a iluminação natural: 40,48% responderam ser insuficiente (ver Figura 5.24).

Quanto aos resultados com relação ao conforto térmico dos usuários sob a membrana, obtidos através do Tensil 1.2, não estão de acordo com a opinião dos feirantes, onde, 54% responderam como sendo muito quente e 32% definiram como quente.

## 6 Modelo tridimensional da Feira do Ver-o-Peso para simulação da incidência da luz solar e das chuvas

Para fazer simulações do comportamento do sol e das chuvas, com relação às coberturas tensionadas da feira, foi criado um modelo geométrico tridimensional, utilizando-se o programa 3ds Max 8. No anexo F encontra-se uma breve descrição das etapas de desenvolvimento deste modelo geométrico.

### 6.1 Posição das coberturas quanto à ventilação

Como já foi dito anteriormente, em Belém há ocorrência de ventos em todas as direções durante todo o ano (Figura 4.8 e Figura 4.9), sendo porém, a ventilação de primeira e segunda predominância vinda das direções leste e nordeste, sudeste e norte, respectivamente. A orientação das coberturas é representada através da vista aérea do modelo geométrico criado (Figura 7.18).

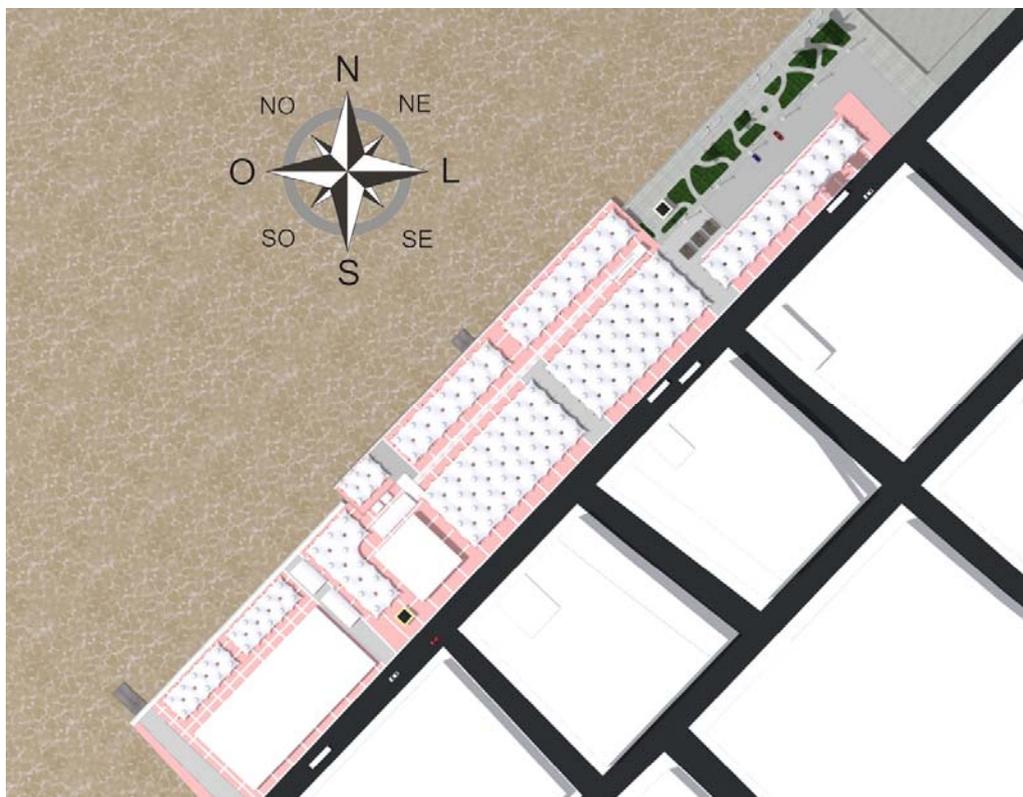


Figura 6.1 – Vista aérea do modelo tridimensional criado e sua orientação.

## 6.2 Simulação da Incidência de Luz Solar

Para iluminação das imagens e simulação da luz do sol, utilizou-se o sistema “Sunlight” do 3ds Max 8 (ver Figura 6.2). Optou-se por utilizar esse sistema e não o novo “Daylight” devido ao considerável aumento de tempo nas renderizações.

O uso do sistema “Sunlight” permitiu fazer um estudo mais preciso do sol e das sombras, através do tempo. Este sistema foi alimentado com as informações geográficas de Belém, data e hora para a simulação dos solstícios e equinócios no período de 6:00 horas da manhã às 18:00hs da tarde. Devido este tipo de luz não rebater nas superfícies para iluminar outras superfícies, foi necessário adicionar outras luzes à cena para simular a luz refletida. Utilizou-se luzes do tipo Omni (tipo de luz padrão pontual), sem projeção de sombra, para simular a luz que normalmente seria refletida pela superfície através da atmosfera e rebateria nas superfícies. (ver Figura 6.2).

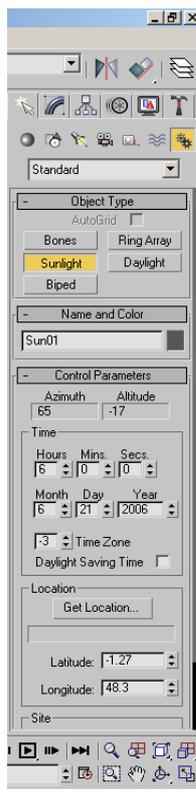
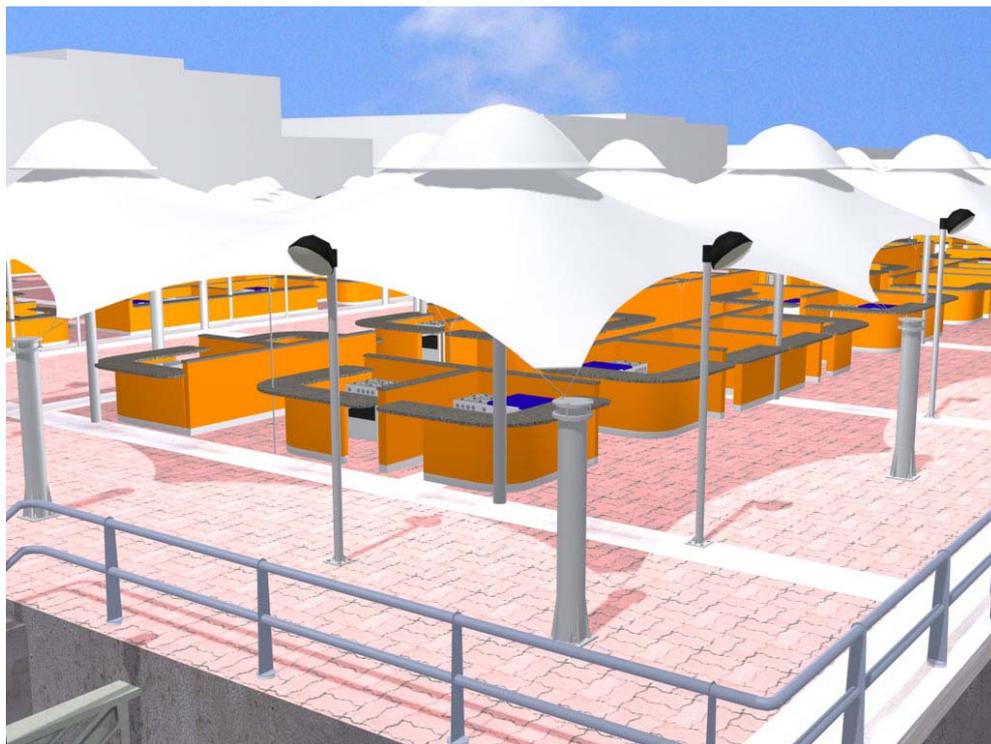


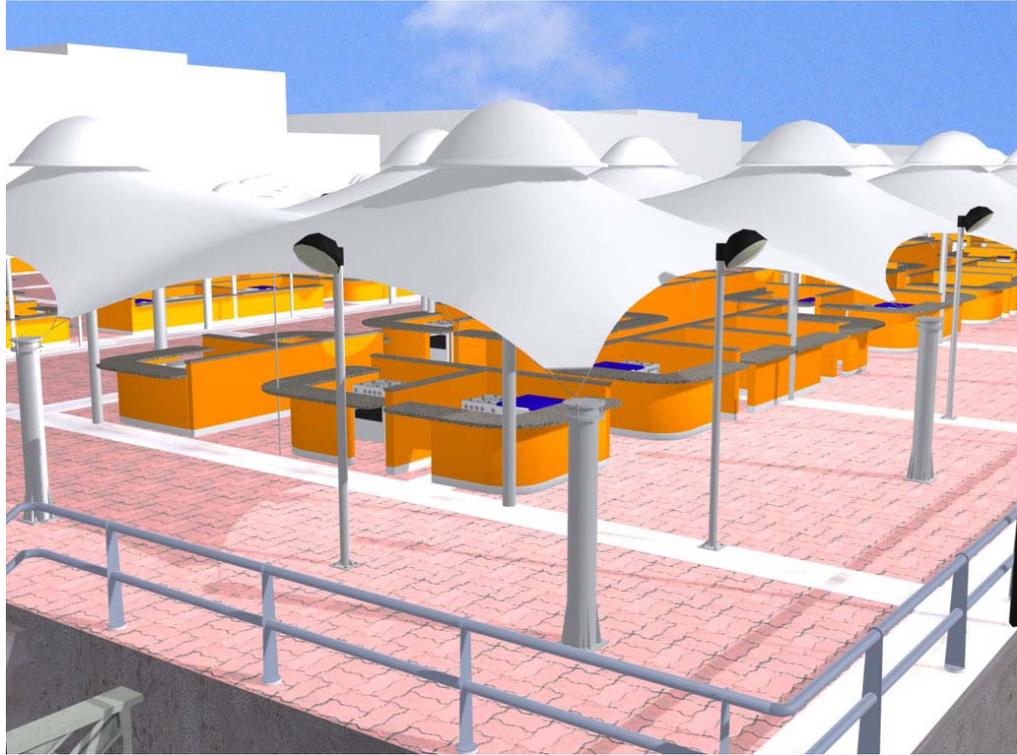
Figura 6.2 - O Sistema Sunlight Configurado para latitude, longitude e fuso horário de Belém, para o dia 21 de junho de 2006.



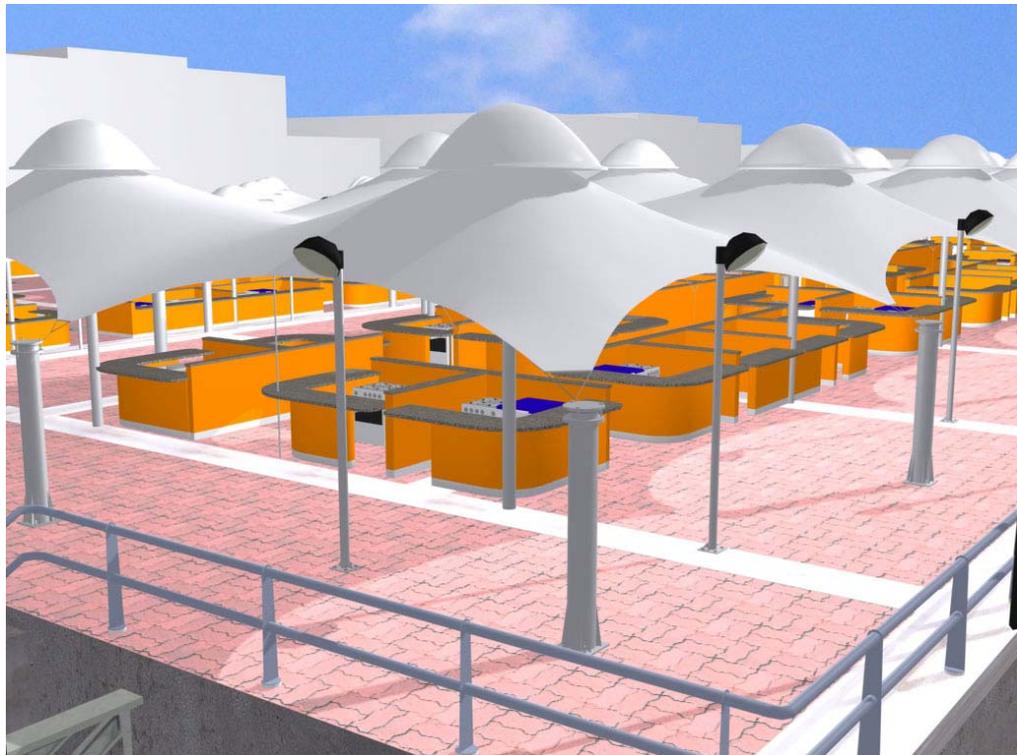
**Figura 6.3 – Maquete gerada através do Sistema “sunlight”, para o dia 22 de junho de 2006, às 11:00 horas da manhã.**

### **6.3 Incidência solar durante os solstícios e equinócios**

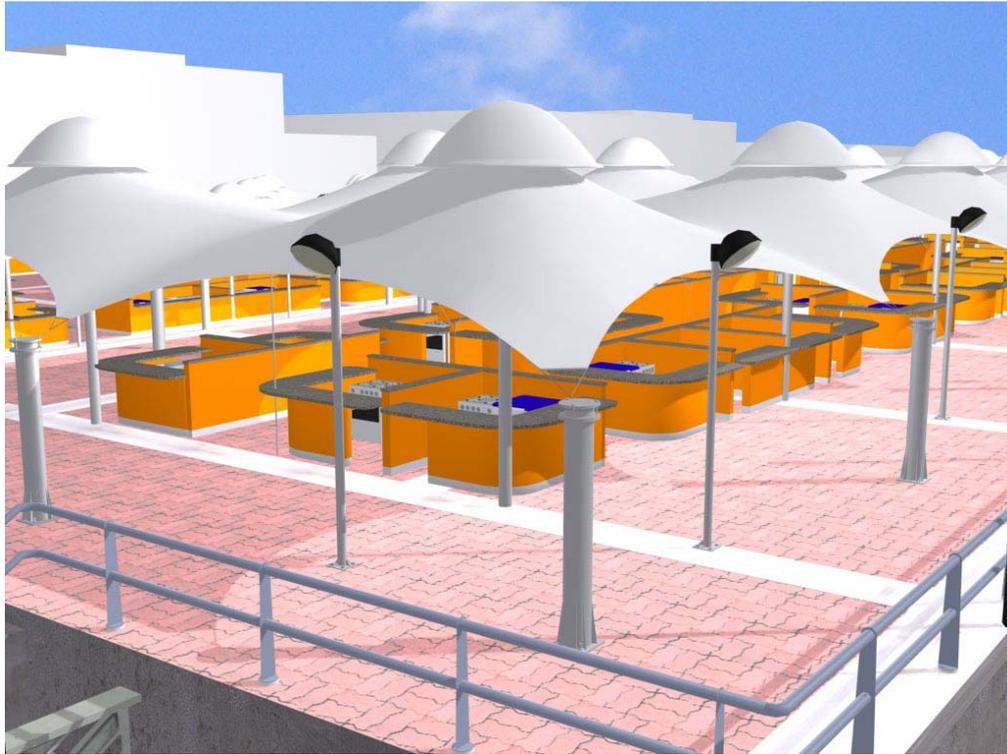
As Figura 6.4, Figura 6.5 e Figura 6.6 ilustram a incidência solar e a área de sombra projetada pelas coberturas, às 16:00hs, durante o solstício de inverno (21 de junho), o solstício de verão (21 de janeiro) e o equinócio de outono (21 de março). Observa-se que durante o solstício de verão as barracas voltadas para o rio (com fachadas voltadas para a direção noroeste) sofrem um aumento na área de sombra, isto deve-se ao fato do sol estar mais inclinado para a direção sul. O mesmo ocorre com a fachada oposta, durante o solstício de inverno, quando o sol inclina-se em direção ao norte.



**Figura 6.4 – Simulação tridimensional da incidência solar durante o solstício de inverno (21 de junho) às 16:00hs (projeto original).**

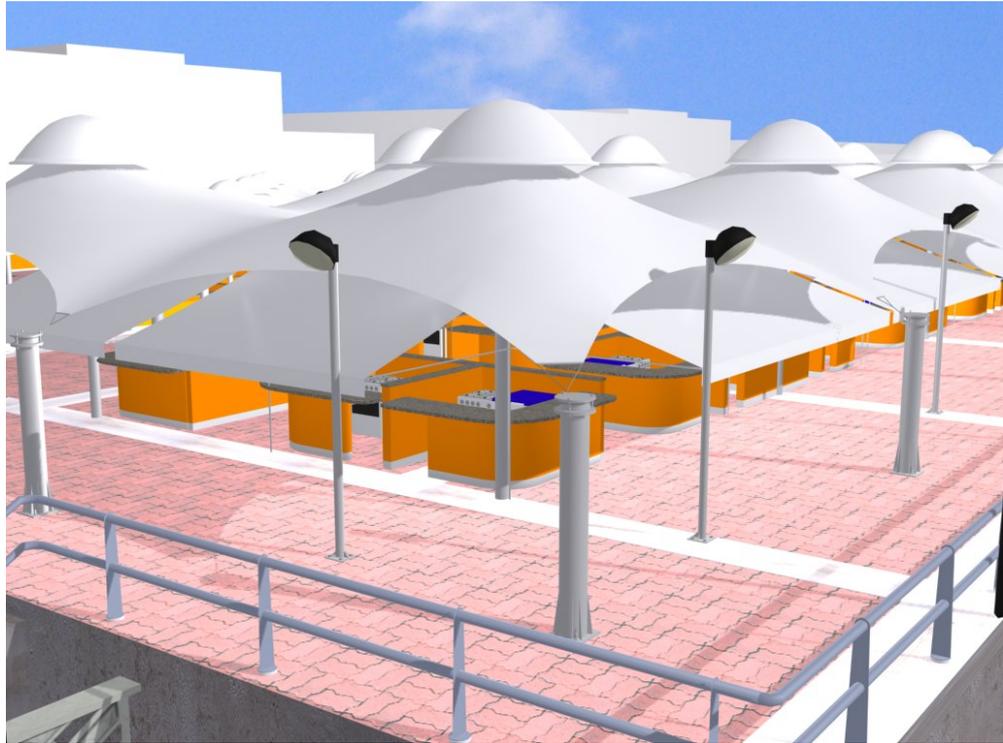


**Figura 6.5 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o solstício de verão (21 de janeiro) às 16:00hs (projeto original).**

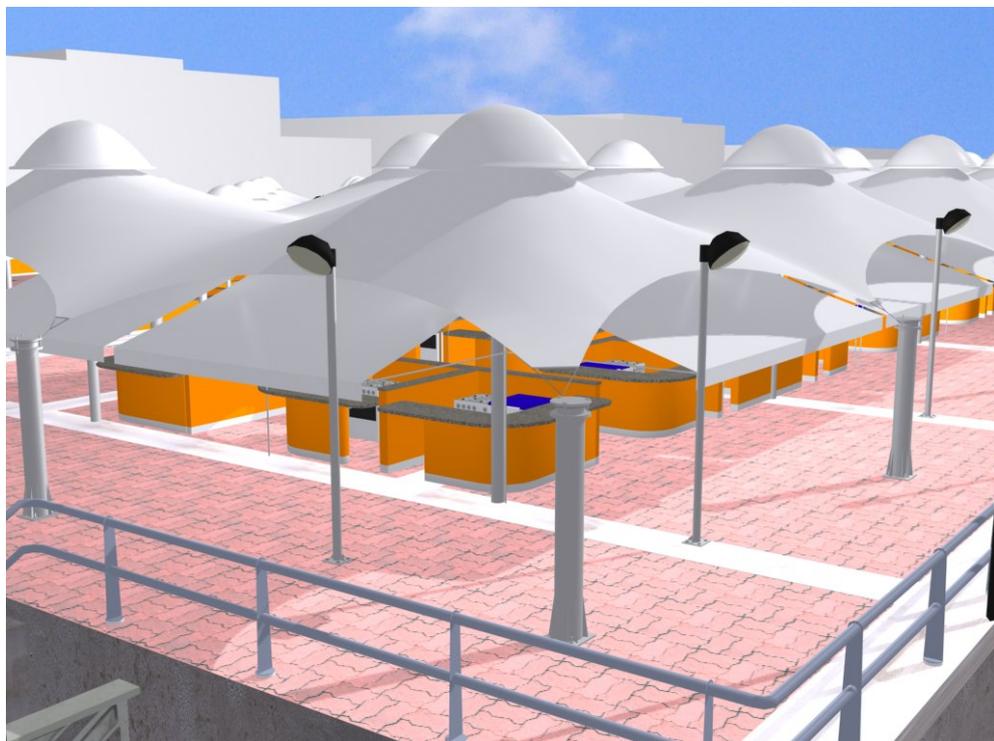


**Figura 6.6 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o equinócio de outono (21 de março) às 16:00hs (projeto original).**

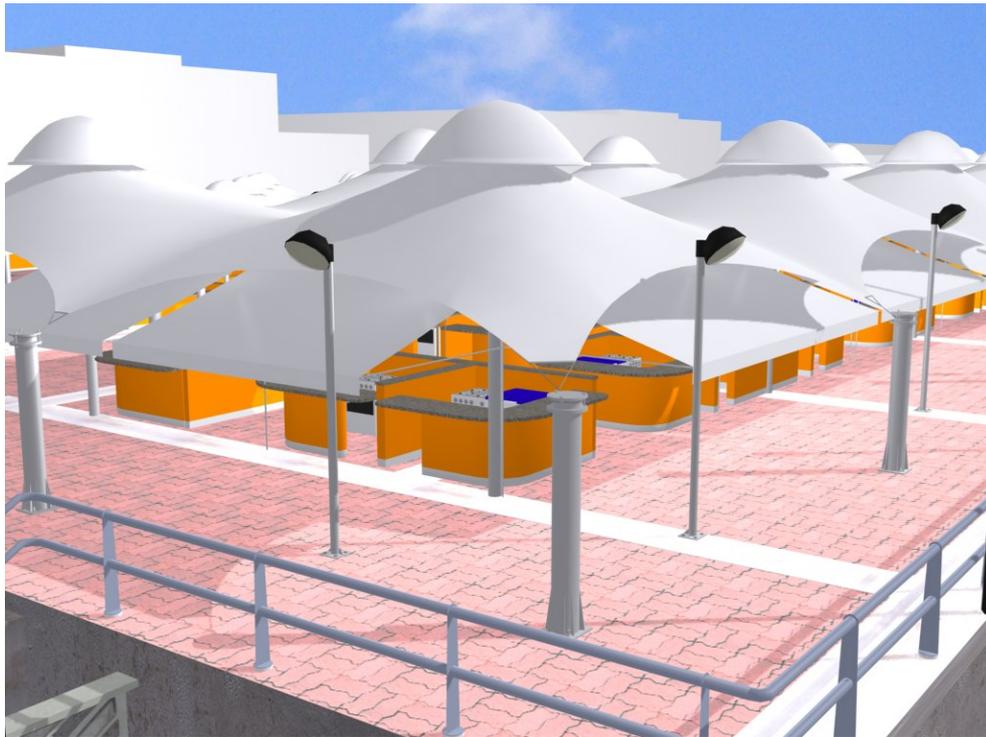
As Figura 6.7, Figura 6.8 e Figura 6.9 ilustram as mesmas situações das Figura 6.4, Figura 6.5 e Figura 6.6, no entanto, com a presença do toldo instalado pela prefeitura. A proteção oferecida pelos toldos é muito sutil, durante o solstício de inverno e oferece sua melhor proteção durante os equinócios.



**Figura 6.7 – Simulação tridimensional da incidência solar durante o solstício de inverno (21 de junho) às 16:00hs (com toldos da prefeitura).**



**Figura 6.8 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o solstício de verão (21 de janeiro) às 16:00hs (com toldos da prefeitura).**



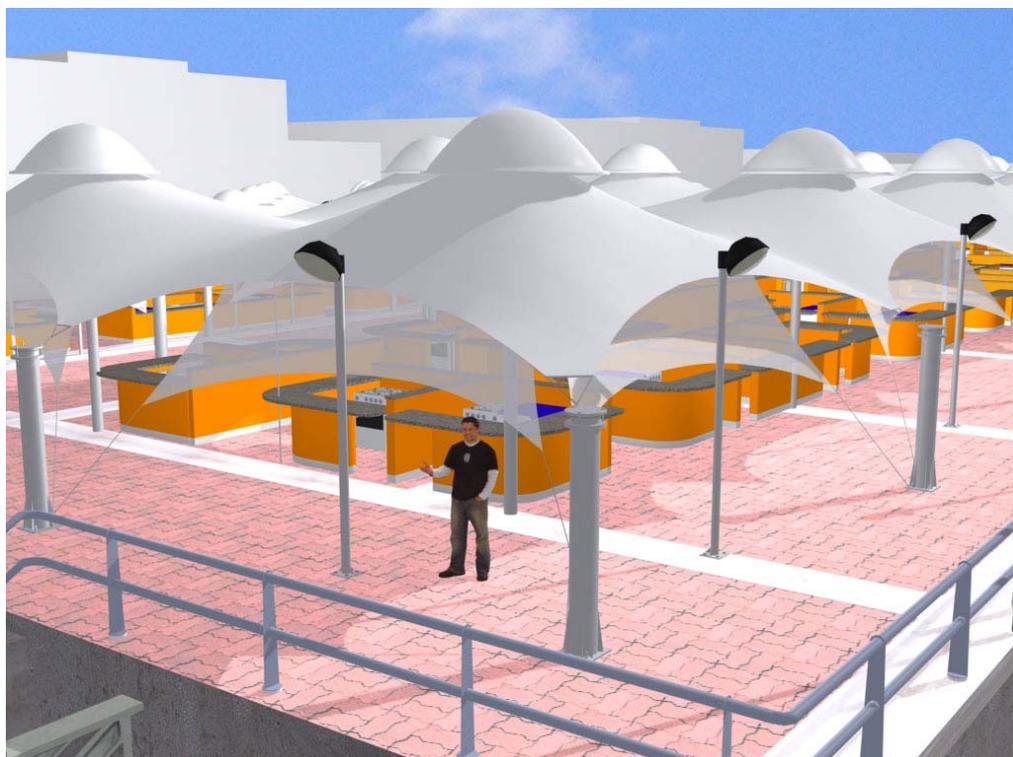
**Figura 6.9 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o equinócio de outono (21 de março) às 16:00hs (com toldos da prefeitura).**

Com base nos estudos realizados, foi elaborada uma proposta que atenuasse o problema relacionado às intempéries, sem comprometer esteticamente as coberturas existentes. As Figura 6.10, Figura 6.11 e Figura 6.12 ilustram a incidência solar e a área de sombra projetada pelas coberturas (com solução proposta), às 16:00hs, durante o solstício de inverno (21 de junho), o solstício de verão (21 de janeiro) e o equinócio de outono (21 de março). A solução proposta, devido a sua colocação com um ângulo de inclinação bem maior que o toldo, oferece mais proteção às chuvas com rajadas de vento. Sua colocação não prejudicará a ventilação e nem a circulação das pessoas devido a sua altura.

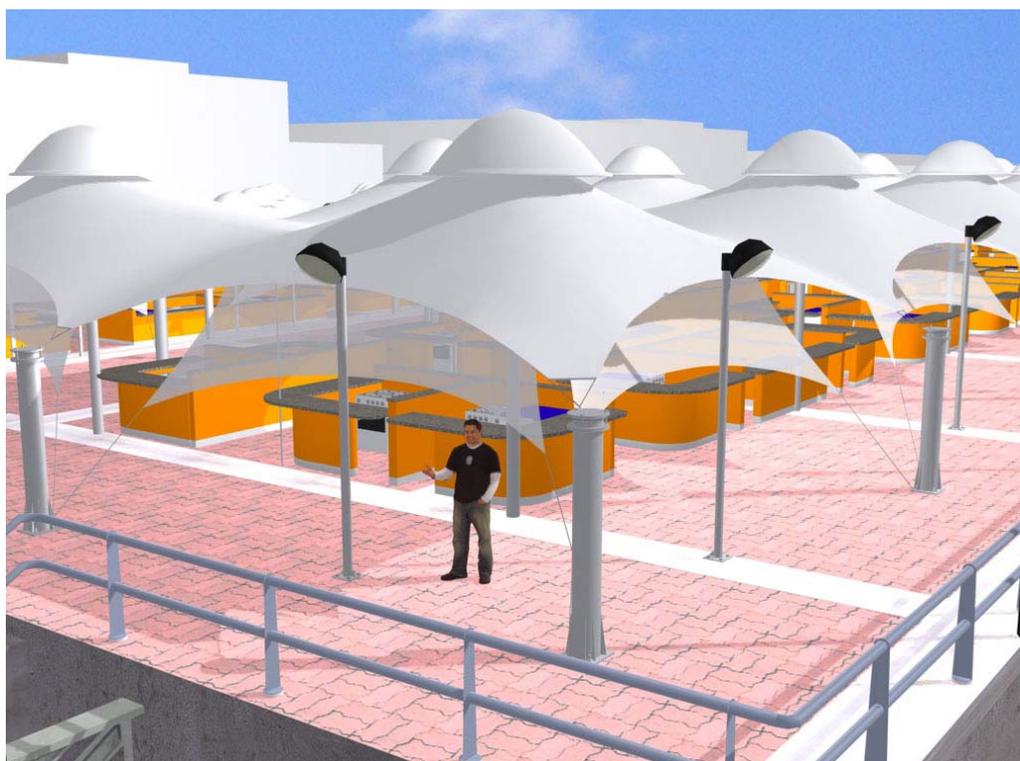
Esta proposta foi elaborada com o mesmo material e cor da cobertura original, porém com uma membrana tipo 1 da Melehr Haku, a qual possui um nível de translucidez maior.



**Figura 6.10 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o equinócio de outono (21 de março) às 16:00hs ( solução proposta).**



**Figura 6.11 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o solstício de verão (21 de janeiro) às 16:00hs (solução proposta).**



**Figura 6.12 - Simulação tridimensional da incidência solar durante o equinócio de outono (21 de março) às 16:00hs (solução proposta).**

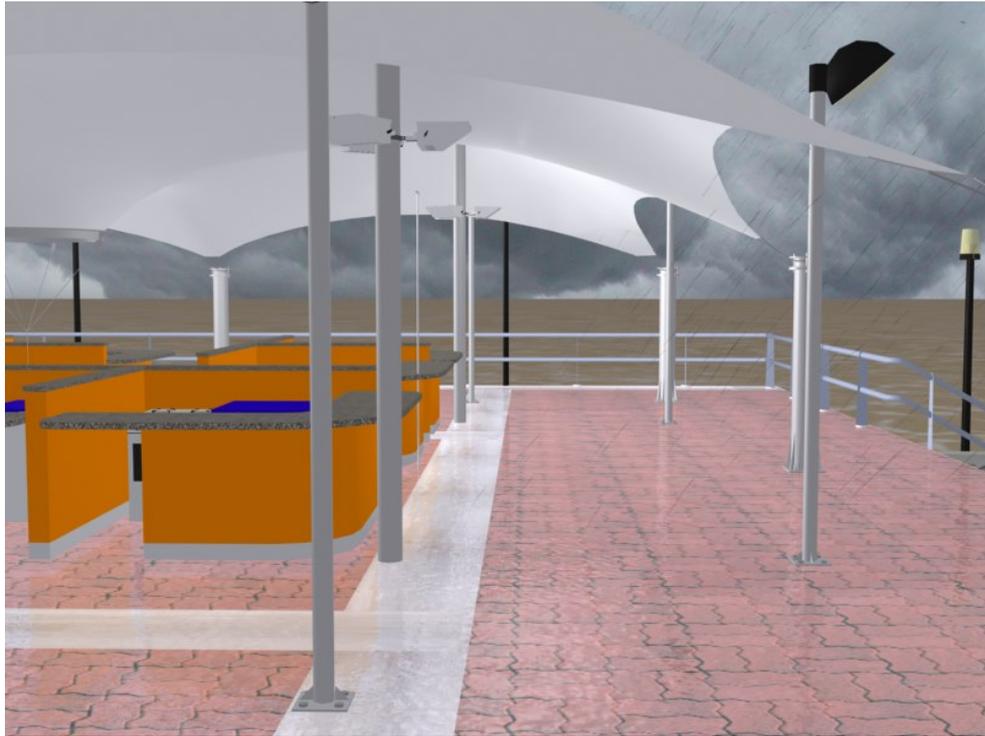
A incidência solar direta e seus efeitos poderiam ser atenuados pela presença de vegetação, As árvores também podem ser utilizadas para captar e para proteger dos ventos.

De acordo com AMORIM (1998) quanto maior é a densidade da vegetação presente, menor e mais estável será a temperatura interna do edifício e maior a umidade.

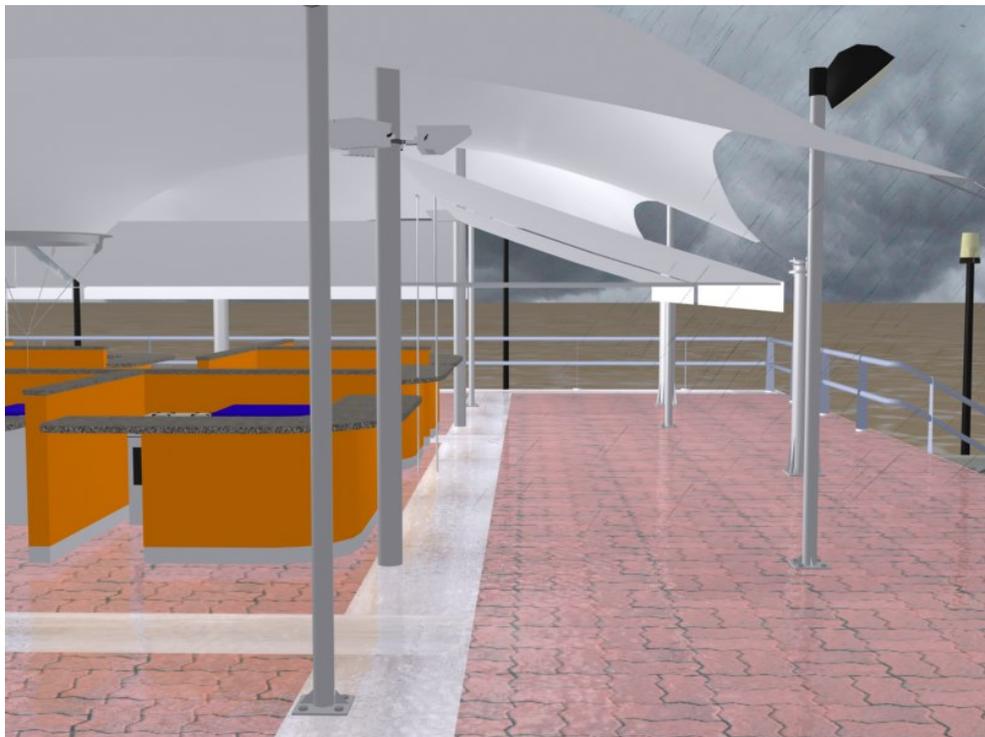
#### **6.4 Simulação da incidência das chuvas nas coberturas**

A incidência das chuvas é diretamente influenciada pela ventilação, portanto, dependendo da ventilação esta chuva poderá incidir de Sudeste, Leste, Nordeste ou Norte, isso considerando-se apenas os ventos de primeira e segunda predominância.

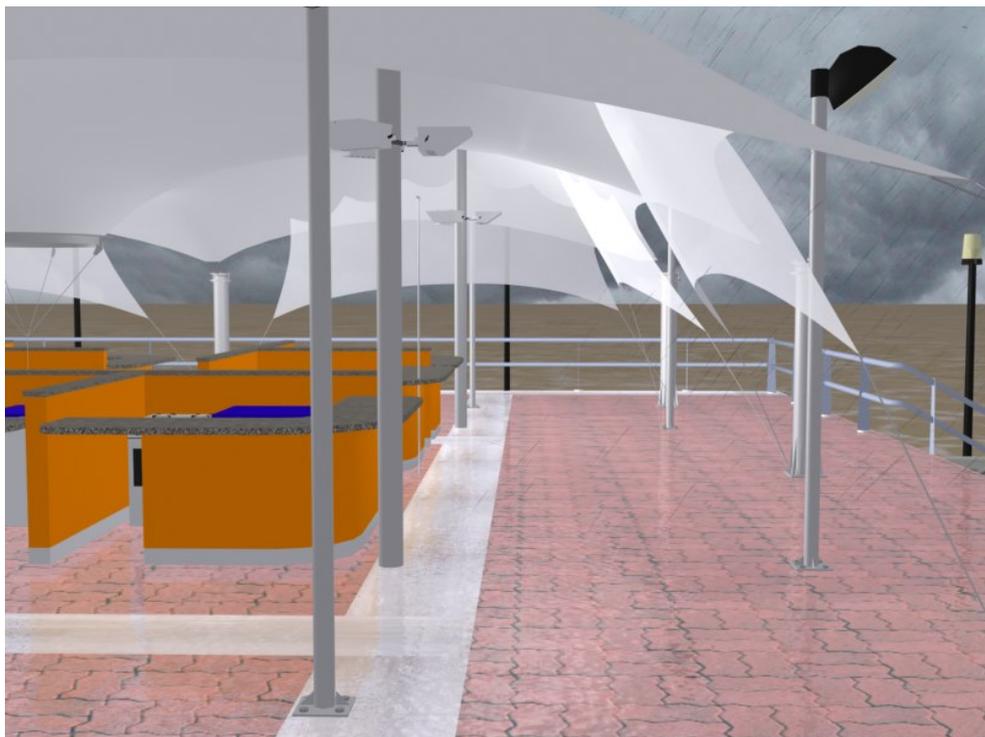
Para esta simulação considerou-se a ventilação vinda de sudeste.



**Figura 6.13 – Simulação da chuva nas coberturas sem o toldo.**



**Figura 6.14 - Simulação da chuva nas coberturas com toldo.**



**Figura 6.15 - Simulação da chuva nas coberturas com solução proposta**

O desenvolvimento de um modelo geométrico tridimensional, para a simulação da incidência solar nas tensoestruturas, revelou-se como uma poderosa ferramenta capaz de auxiliar o arquiteto na adequação do seu projeto as situações, reais, de incidência solar.

Embora o tempo necessário para a criação do modelo seja bastante elevada, várias situações de incidência solar podem ser simuladas e analisadas de forma bastante precisa em um curto espaço de tempo, ao contrário do que ocorreria se esta análise fosse feita de forma manual, seguindo métodos tradicionais de projeto.

Quanto a incidência das chuvas, os resultados obtidos não foram satisfatórios, devido não ter sido possível identificar com precisão os locais “molhados”, pela água da chuva. Uma outra dificuldade foi quanto ao tempo e capacidade de processamento das máquinas, em função do aumento da quantidade de “pingos” (partículas) da chuva. Este tipo de simulação requer equipamentos de maior rapidez e capacidade de processamento das imagens.

Apesar das dificuldades encontradas para a simulação da incidência das chuvas, a criação de um modelo geométrico, para simulação da incidência solar tanto em tensoestruturas quanto em qualquer outro tipo de cobertura, demonstrou ser uma poderosa ferramenta de projeto. Esta ferramenta proporciona ao arquiteto uma reprodução das soluções de projeto propostas e uma análise prévia da sua eficácia.

## Conclusões

Em relação aos objetivos propostos para o trabalho, as conclusões obtidas, de forma mais específica, são:

1) Através do programa Analyses 3.1, foi possível obter a carta Bioclimática de Belém com informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático do local e as estratégias de projeto indicadas para cada período do ano. As estratégias propostas para melhorar o clima foram de que em 89% das horas é necessário estimular a ventilação, em 2,6% é necessário um resfriamento evaporativo, em 4,2% é necessário usar de massa térmica para resfriamento e em apenas 9,2% das horas é necessário a utilização de ar condicionado. No entanto, através desta análise simplificada, não é possível saber quais horas do dia em que o gráfico apresenta situação de desconforto.

2) O programa Sol-Ar 5.0 forneceu a carta solar da cidade de Belém-Pa. Esta carta permite a análise do percurso aparente do sol ao longo do ano, durante as horas do dia, auxiliando na verificação da incidência solar em uma edificação e também a rosa dos ventos, com dados sobre direções da ventilação e velocidades predominantes, importantes à orientação correta das aberturas para favorecimento do conforto térmico no interior das estruturas. Seu uso foi fundamental para o estudo da insolação nas coberturas da feira.

3) Quanto às intervenções realizadas pelos feirantes e pela prefeitura, pode-se dizer que são apenas soluções paliativas para o problema, visto que, uma tensoestrutura nesta região ao ser projetada de acordo com o clima, não deve possuir grandes aberturas para as direções de ventilação predominante, porque a ventilação direciona o ângulo de incidência da chuva, e os beirais voltados para as direções oeste (sol poente), Norte (solstício de inverno) e Sul (solstício de verão) devem ser mais generosos, ou mais baixos, para diminuir a incidência solar no interior das estruturas.

4) Quanto à avaliação dos clientes, foi inevitável a comparação entre a feira antes e após a reforma. Muitos comentaram a questão de que antes da reforma as coberturas eram feitas de forma improvisada, protegendo apenas as barracas e as novas coberturas além de terem melhorado a feira quanto à proteção, uniformizaram a paisagem proporcionando um maior conforto visual.

5) Na avaliação dos feirantes, o tipo de material utilizado e o fato das estruturas serem baixas, favorecem o aquecimento no interior das mesmas. Os clientes localizados nas periferias das barracas, principalmente nas barracas que não são protegidas por toldo, são os que mais sofrem com as intempéries e os feirantes do setor de alimentação são as mais prejudicadas com relação à ventilação, devido às barracas sob a plataforma barrarem parcialmente a ventilação vinda de Norte. Os feirantes localizados no interior destas coberturas também reclamaram muito com relação à iluminação. Esta deficiência é proporcional às dimensões da estrutura, de modo que quanto maiores são as coberturas, mais deficiente é a iluminação na região central.

6) Foi feita também uma avaliação de desempenho térmico e luminoso das Tensoestruturas da feira do Ver-O-Peso, utilizando-se o programa Tensil 1.2. As análises realizadas para dois tamanhos diferentes de estruturas foram mais favoráveis do que as avaliações dos usuários. De acordo com o programa Tensil, apenas 33% das horas do dia são de calor moderado e 42% são de neutralidade. Para 58,73% dos feirantes, a temperatura no interior das coberturas no período de 12:00 às 15:00 horas é muito quente. Quanto ao desempenho luminoso, foram analisados dois tamanhos existentes de estrutura (tam1 = 77,00x13,5m e tam2 = 60,50x28,45m). O resultado encontrado para o tam1 foi de que os meses de fevereiro e abril contam com apenas sete horas com nível adequado de iluminação natural no plano de trabalho, que é de no mínimo 300lux. Nos outros meses esse número de horas aumenta para nove horas. Para o tamanho tam2 os meses de fevereiro, março e abril contam com apenas cinco horas com nível adequado de iluminação natural no plano de trabalho e nos outros meses aumenta para sete horas. Apesar das limitações deste programa, dentre elas o fato de analisar apenas estruturas de forma circular ou retangular e não considerar aberturas zenitais nas coberturas, seus resultados são de grande relevância por considerar o clima da região e o tipo de membrana utilizada.

7) A altura das coberturas interfere no grau de conforto térmico, no interior das estruturas. Apesar de não ter sido relatado neste estudo, foi feita uma simulação com as coberturas da feira do Ver-O-Peso, através do programa Tensil 1.2., elevando-se a maior altura consideravelmente, resultando numa melhora nos resultados de conforto térmico.

8) A criação de um modelo geométrico tridimensional, utilizando-se o programa 3ds max 8, para a simulação da incidência solar nas tensoestruturas, revelou-se como uma poderosa ferramenta capaz de auxiliar o projetista na adequação do seu projeto as situações, reais, de incidência solar. Para criar as simulações utilizou-se um sistema de iluminação direta

(sistema *Sunlight*) que possui um controlador de animação especial que calcula a posição do sol no céu, de acordo com as informações de data, hora e local (latitude, longitude e fusos horários). A escolha deste sistema foi motivada por suas renderizações serem mais rápidas. Devido este sistema não calcular nenhuma luz rebatida foi necessário à utilização de luzes do tipo “*omni*”, para simular a luz refletida. .

9) Os anteparos sugeridos para controlar as intempéries demonstraram ter um bom desempenho, como pôde ser observado na seção 6.5.1.1 deste estudo. Dentre as vantagens da sua utilização pode-se citar: pouca interferência com o projeto original, sem agressão estética às coberturas; facilidade de extensão do benefício a todos os usuários; pouca redução de luminosidade no interior das estruturas por, ser translúcida; baixa interferência na passagem da ventilação e fácil manutenção e/ou substituição (cabe destacar que os toldos da prefeitura encontram-se, na maioria, quebrados);

10) Os resultados obtidos através da simulação da incidência das chuvas nas coberturas, utilizando-se o programa 3ds Max, não foram muito satisfatórios, pois ficou difícil identificar através das imagens geradas os locais onde a chuva de fato incide;

11) Ao se projetar uma tensoestrutura, deve-se levar em consideração as seguintes variáveis que influenciam o clima de cada região: radiação solar, temperatura, umidade e o vento. Estas variáveis, de acordo com o estudo realizado, não foram consideradas para o projeto da feira do ver-o-peso, comprometendo o conforto térmico e luminoso sob as coberturas.

Sugestões para trabalhos futuros:

O assunto tratado neste estudo é de grande relevância prática, principalmente se for levado em consideração o crescimento da demanda por tensoestruturas no Brasil. De acordo com OLIVEIRA (2003) muitas vezes estas estruturas são feitas sem técnicas adequadas de análise e projeto. Para dar continuidade a esta pesquisa sugere-se:

- 1) Alterações na entrevista, sendo considerada a localização mais precisa das barracas das pessoas entrevistadas;
- 2) Projeto de uma nova tensoestrutura e criação de uma maquete referente a uma solução alternativa correspondente a uma estrutura mais alta e com beirais mais generosos, estudados de acordo com a carta solar da região;

- 3) Análise mais detalhada do problema dos fungos encontrados em tensoestruturas;
- 4) Medições de temperaturas, vento, e ruído, no interior das tensoestruturas;
- 5) Utilização de um modelo geométrico tridimensional para simulação e análise da proteção proporcionada pelas Tensoestruturas em uma ambiente de Realidade Virtual;
- 6) Entrevistas com os projetistas e o proprietário (no caso a prefeitura), e das pessoas envolvidas na construção.

## Bibliografia

AGA Khan Award for Architecture. 62\_3017.jpg. 1983. Largura: 227 pixels. Altura: 352 pixels. 96 dpi. 9532 bytes. Formato JPEG. Disponível em: [http://www.akdn.org/agency/akaa/secondcycle/photo62\\_3017.html](http://www.akdn.org/agency/akaa/secondcycle/photo62_3017.html). 1983. Acesso em 16 jan. 2004.

ALVES, Maria Bernadete Martins; ARRUDA, Suzana Margareth. **Como fazer referências bibliográficas, eletrônicas e demais formas de documentos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Biblioteca Universitária, 2001. Disponível em: <http://www.ucb.br/prg/comsocial/cceh/downloads/NBR6023.pdf>. Acesso em 10 jan. 2005.

ALVIM, Rosana de A. Arléo. **Avaliação experimental de propriedades mecânicas dos tecidos estruturais**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade São Paulo. São Paulo, 2003.

AMORIM, Cláudia N. D. **Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática** Estudo De Casos Na Região De Brasília. UNIVERSIDADE DE BRASILIA – UnB Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. 1998.

ARCOWEB (2002). Disponível em: <http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia24.asp> Acesso em: 15 dez. 2004.

ARCOWEB (2004). Disponível em: <http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia24c.asp>. Acesso em: 15 dez. 2004.

ASCE-AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS TASK COMMIT. Tensioned Fabric Structures: A Practical Introduction. R.E. ASCE. 1996.

ASTM INTERNATIONAL. Disponível em: <http://www.astm.org>. Acesso em: 10 out. 2004.

ASTM E84. **Standard Method Test for Surface Burning Characteristics of Building Materials**.

ASTM E108. **Standard Method of Fire Tests of Roof Coverings.**

ASTM E136. **Standard Method Test for Noncombustibility of Elementary Materials.**

AUTODESK 3DS MAX (2005), versão 8. 1 DVD-ROM.

BAUEN Mit Stahl. sony\_center-300.jpg. 2002. Largura: 456 pixels. Altura: 577 pixels. 96 dpi. 15455 bytes. Formato JPEG. Disponível em: [http://www.bauen-mit-stahl.de/bilder/presseinfo/stahlbaupreis2002/sony\\_center-300.jpg](http://www.bauen-mit-stahl.de/bilder/presseinfo/stahlbaupreis2002/sony_center-300.jpg). Acesso em 26 ago 2004.

BIGAUD, D.; SZOSTKIEWICZ, C.; HAMELIN, P. **Tearing analysis for textile reinforced soft composites under mono-axial and bi-axial tensile stresses.** Composite Structures, n° 62, 129–137, 2003.

BIRDAIR. **Technical Specification & Fabric Characteristics.** Disponível em: <<http://www.birdair.com/birdair/tech/index.html>>.

BRAVERY, A.F. **Biodeterioration of paint - a state-of-the-art comment.** In: Biodeterioration Vol. 7, (Houghton, D.R., Smith R.N. and Eggins, H.O.W., Eds.), pp. 466-485. Elsevier Applied Science, Barking. 1988.

DE NARDIS Engineering, LLC. denver.jpg. 1994. Largura: 229 pixels. Altura: 398 pixels. 96 dpi. 14620 bytes. Formato JPEG. Disponível em: <http://www.denardis.com/specialimage/denver.html>. Acesso em 29 ago 2004.

CASTRO, João P. de. **Estudo sobre exemplos de Arquitetura Tropical, erudita e suas adequações à Amazônia Brasileira no último decênio.** Dissertação (Mestrado) - Escola de engenharia de São Carlos. São Paulo. 1984.

CIDADES DO BRASIL. Edição 11. Julho 2000. Disponível em: <http://www.cidadesdobrasil.com.br/cgi-cn/news.cgi?cl=099105100097100101098114&arecod=14&newcod=607>. Acesso em: 08 jan. 2005.

CORRADINI, Juliana; ALVES, José. **Prêmio Caixa / IAB 2004 – Concurso Nacional de Idéias para Habitação Social no Brasil (categoria profissional).** Disponível em: [http://www.vitruvius.com.br/institucional/inst104/inst104\\_05.asp](http://www.vitruvius.com.br/institucional/inst104/inst104_05.asp). Acesso em: 08 Dez. 2004.

DDG ARQUITETURA. 2004 Disponível em: <[http://www.metallica.com.br/pg\\_dinamica/bin/pg\\_dinamica.php?id\\_pag=1312](http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1312)>. Acesso em: 08 jan. 2005.

DILLEHEY, T.D. **A late ice age settlement in southern chile**. Scientific American, nº 251-4, 1984.

FAKRI, V. Bras. Disponível em: <[http://www.metallica.com.br/pg\\_dinamica/bin/pg\\_dinamica.php?id\\_pag=962](http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=962)>. 2005.

FIGUEROLA, Valentina. **Alta Costura**. AU Vol. 121 2004. Disponível em: [http://www.piniweb.com/revistas/au/index.asp?MATE6\\_COD=16706](http://www.piniweb.com/revistas/au/index.asp?MATE6_COD=16706).

FRENTES, J. A.; CORRADINI, J. Prêmio Caixa / IAB 2004 – Concurso Nacional de Idéias para Habitação Social no Brasil (categoria profissional) Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br>. 2005.

FURB – Universidade Regional de Blumenau. (2005). Disponível em: <<http://www.furb.br/2005/noticias.php?cod=1397>>. Acesso em: 24 mar 2006.

GOULART, Solange V. G.; et al. Dados Climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades Brasileiras. 2ª Edição. Florianópolis. 1998. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/publicacoes/publicacoes.html>>. Acesso em: 25 jun 2004.

GRANT, C., BRAVERY, A.F.; SPRINGLE, W.R.; WORLEY, W. Int. Biodeterior. 22, 179-194. 1986.

HASHIMOTO, N., KATSURA, M.; NISHIKAWA, Y. **Experimental Study on Sound Insulation of Membranes with Small Weights for Application to Membrane Structures**. Applied Acoustics, Vol. 48, No. 1, pp. 71-84, 1996

HERZOG, M. A. M. **Pneumatic Structures. A Handbook for the Architect and Engineer**. Crosby Lockwood Staples. London, 1977.

INMET (2006). Instituto Nacional de Meteorologia. Formato JPEG. 2004. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. 204x219. Acesso em: 19 nov. Acesso em: 05 mar 2006.

ISIS, F. M.; RIBAS, T. O.; OLIVEIRA, T. A. **Cartilha: Procedimentos básicos para uma arquitetura no trópico úmido**. Editora Pini. Brasília. 1986.

INFOENER – Sistema de Informações Energéticas. 2005 Disponível em: <<http://infoener.iee.usp.br/cenbio/biomassa.htm>>. Acesso em 04 fev 2005.

JOTA, F. O.; Porto, C. E. **Evolução das Estruturas de Membrana**. Revista P@ranoá. Vol. 6. 2004. Disponível em: <<http://www.unb.br/fau>>. Acesso em: 03 mar 2005.

JOTA, F. O. **Coberturas com redes de cabos em malha quadrada**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília – UnB. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2004.  
KAJIMA. 1990. t-akita6.jpg. Largura: 80 pixels. Altura: 60 pixels. Formato JPEG. Disponível em: <[http://www.kajimadesign.co.uk/kajima\\_design/project/SKYDOME1.HTM](http://www.kajimadesign.co.uk/kajima_design/project/SKYDOME1.HTM)>. Acesso em: 20 out 2004.

LAMBERTS, Roberto et al. **Desempenho Térmico de Edificações**. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/graduacao/ecv\\_5161/ApostilaECV5161\\_Versao2005\\_Modulo1.pdf](http://www.labee.ufsc.br/graduacao/ecv_5161/ApostilaECV5161_Versao2005_Modulo1.pdf)>. Acesso em: 03 mar 2005.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/graduacao/ecv\\_5161/ApostilaECV5161\\_Versao2005\\_Modulo2.pdf](http://www.labee.ufsc.br/graduacao/ecv_5161/ApostilaECV5161_Versao2005_Modulo2.pdf)>.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo, 1997. v.1. 1 CD-ROM. Produzido por: NPC-Núcleo de Pesquisas em Construção e LABEEE-Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Acesso em: 03 mar 2005.

LOPES, C V. G. L.; CARVALHO F. J. P. C.,; KRIEGER N. Deterioração: Ataque de **microrganismos a monumentos históricos**. Ciência Hoje. vol. 34. nº 200.. 2003.

METÁLICA. 2006. Largura: 204 pixels. Altura: 219 pixels. Formato JPEG. Disponível em: <[http://www.metlica.com.br/pg\\_dinamica/bin/pg\\_dinamica.php?id\\_pag=326](http://www.metlica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=326)>. Acesso em: 20 fev 2005.

MIDDENDORF, J. Form finding for anticlastic membrane structures. Master of Design Studies. GSD 6319. 2000. Fonte: <<http://www.bigwalls.net/johnm/membrane/memb.ppt>>. Acesso em: 11 ago. 2004.

MONCRIEFF, E.; TOPPING, B.H.V. **Computer Methods For The Generation Of Membrane Cutting Patterns**. in Computers & Structures Vol. 37, No. 4. pp. 441–450. 1990.

MUNDOLFRED. 2005. munique02p.jpg. 1994. Largura: 229 pixels. Altura: 398 pixels. 96 dpi. 14620 bytes. Formato JPEG. Disponível em: <http://mundofred.home.sapo.pt/fotos/pt/alemanha.htm>. Acesso em 29 mar 2005.

NATIONAL Archives of Canadá. [german\\_pav\\_nae000990839.jpg](http://expo67.ncf.ca/expo_german_p2.html). 1967. 114kbytes. Formato JPEG. Disponível em: [http://expo67.ncf.ca/expo\\_german\\_p2.html](http://expo67.ncf.ca/expo_german_p2.html). Acesso em: 19 nov. 2004.

NOVOMILENIO (2002). [ed109ze.jpg](http://www.novomilenio.inf.br/real/ed109z.htm). Largura: 204 pixels. Altura: 219 pixels. Formato JPEG. Disponível em: <http://www.novomilenio.inf.br/real/ed109z.htm>. Acesso em: 18 fev 2004.

OLIVEIRA, V. M. B. **Análise e projeto de tenso-estruturas têxteis para coberturas**. Dissertação (Mestrado) – COPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.

PAULETTI, Ruy Marcelo de O. **História, Análise e Projeto das Estruturas Retesadas**. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para o concurso à Livre-Docência junto ao Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. São Paulo, 2003.

PAULETTI, Ruy M.de O. **Res: Normas de tensoestruturas** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por [helane@arqcad.com.br](mailto:helane@arqcad.com.br) > em 24 mar. 2006.

PIETROBON, Cláudio E. et al. Estratégias Bioclimáticas para o projeto de edificações: Conceituação e aplicação para Maringá, Paraná. Encac, 2001. Disponível em: [http://150.162.76.35/labee/publicacoes/artigos\\_periodicos.php](http://150.162.76.35/labee/publicacoes/artigos_periodicos.php). Acesso em: 20 nov 2005.

PROJETO Ver-O-Peso. 1999. Disponível em: <http://www.ver-o-peso.fot.br/index.htm>. Acesso em: 11 set 2004.

RED SKY Shelters. 2004. Largura: 204 pixels. Altura: 219 pixels. Formato JPEG. Disponível em: <http://www.redskyshelters.com/index.php?page=tensilehistory>. Acesso em: 27 nov 2004.

SCHEK, H. –J. **The force density method for form finding and computation of general networks**. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering Vol. 3, 115-134. 1974.

SILVA, Luiz E. L.; ALMEIDA, Renata de A. Avaliação Pós-Ocupação da Feira do Ver-o-peso: Identificação dos aspectos críticos de desempenho. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2005.

TABARROK, B.; QINNONLINEAR, Z. **Analysis Of Tension Structures**. Computers & Structures Vol. 45, No. S/6, pp. 913-984, 1992.

TENSINET. (2001). Largura: 204 pixels. Altura: 219 pixels. Formato JPEG. Disponível em: <<http://www.tensinet.com/documents/environmental/326,4,Slide 4 TR2001>>

TOYODA H.; WU Y.; TORII T. **Deterioration with time of the PVC coated fabrics for tent warehouses: some experimental results**. In: Proceedings of textile composites. In building construction 1992— Part I. Paris: Pluralis. p. 243–52. 1992.

VITRUVIUS. 2005. 188\_10.jpg. 114kbytes. Formato JPEG. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/>>. Acesso em: 19 abril 2005.

WAGNER, R. **Tensile And Pneumatic Systems - Applications And Research**. In The Eighth International Workshop on the Design and Practical Realisation of Architectural Membrane Structures. Berlin. 2003.

WIKIPÉDIA. 800px-Olympiastadion\_Montreal.jpg. 2004. Largura: 600 pixels. Altura: 800 pixels. 64969 bytes. Formato JPEG. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Olympiastadion\\_Montreal.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Olympiastadion_Montreal.jpg)>.

WORLD Stadiums. atlanta\_dome1.jpg. 1992. Largura: 200 pixels. Altura: 300 pixels. 96 dpi. 26713 bytes. Formato JPEG. Disponível em: [http://www.worldstadiums.com/stadium\\_pictures/north\\_america/united\\_states/georgia/atlanta\\_dome.shtml](http://www.worldstadiums.com/stadium_pictures/north_america/united_states/georgia/atlanta_dome.shtml). Acesso em 18 jun 2004.

**Anexo A – Planta Baixa Geral, Cortes e Detalhes do projeto da feira  
do Ver-O-Peso**

---

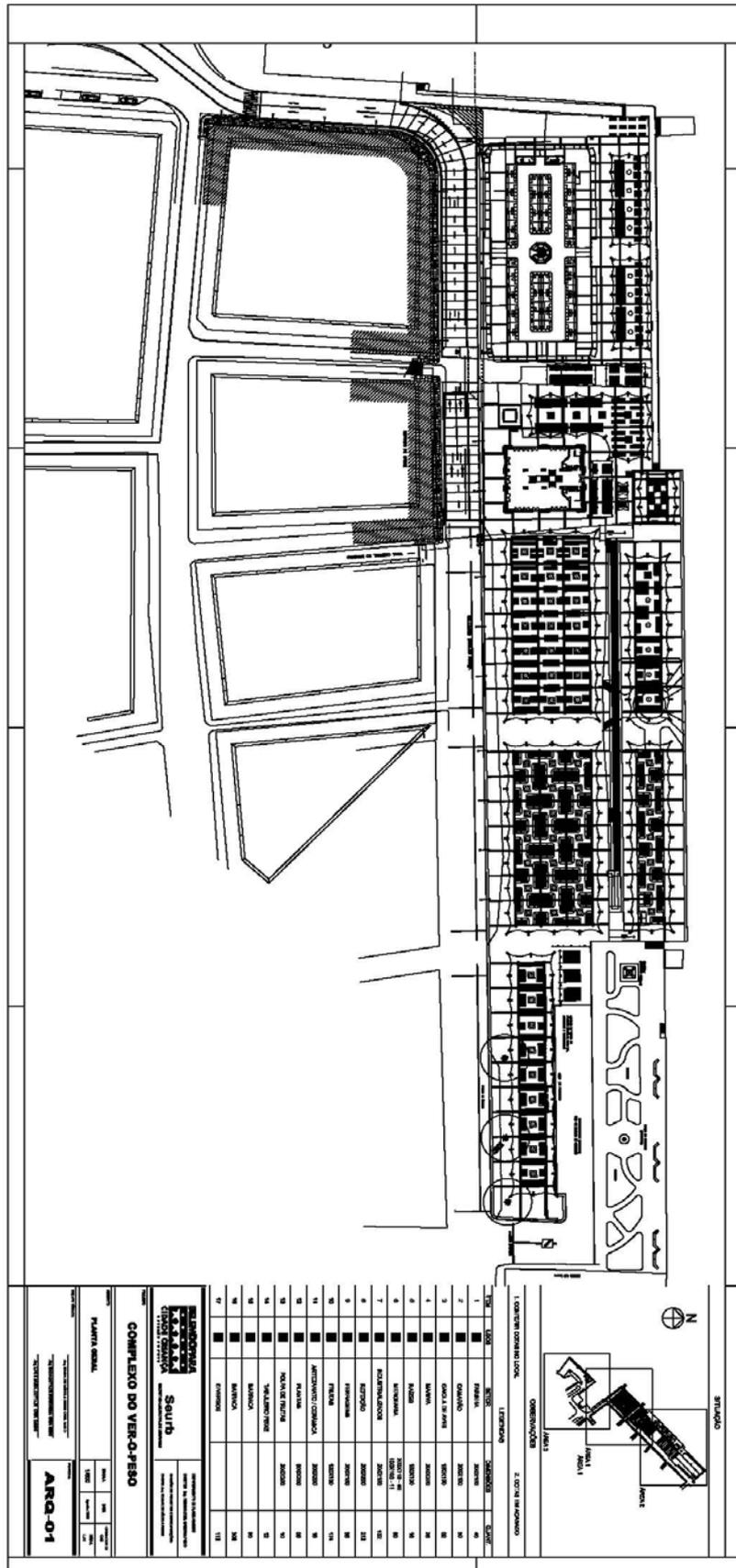


Figura A 1 – Planta Baixa Geral Projeto Ver-O-Peso. Fonte: P. M. De Belém.





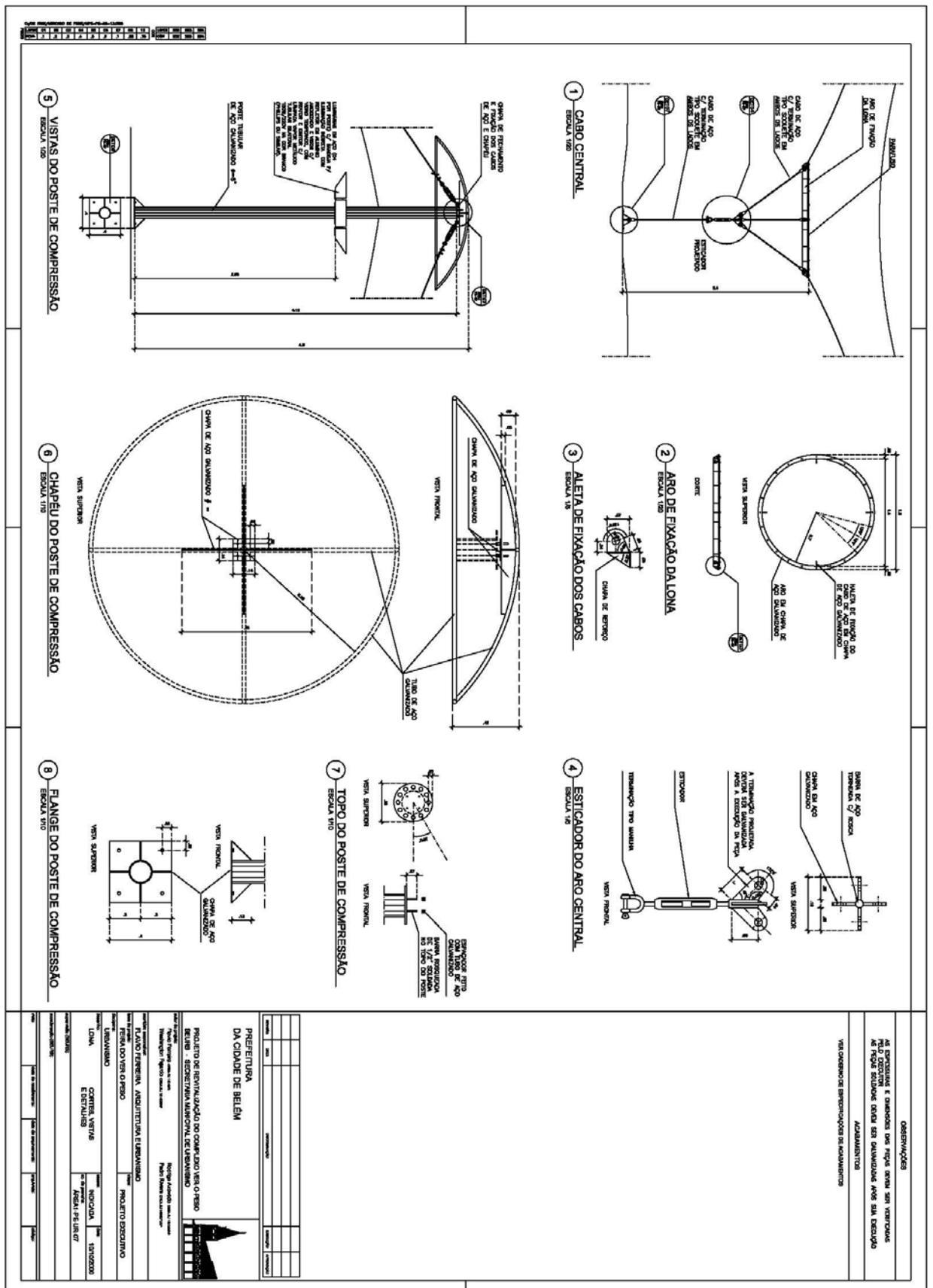


Figura A 4 – Detalhes do Projeto Ver-O-Peso. Fonte: P. M. De Belém.

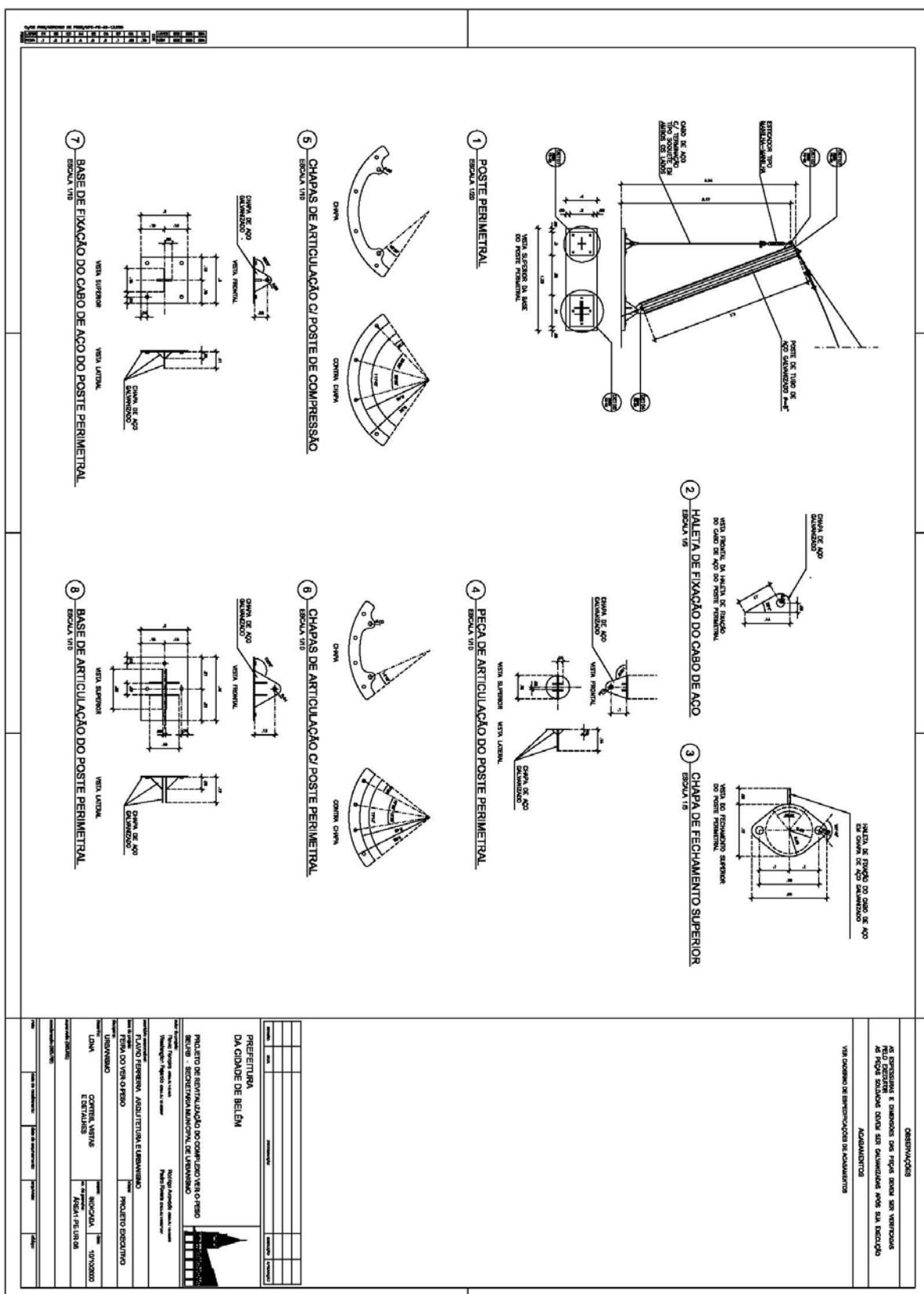


Figura A 5 – Detalhes do Projeto Ver-O-Peso. Fonte: P. M. De Belém.

Anexo B - Formulário de Pesquisa da Feira do Ver-o-Peso - Feirantes



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**QUESTIONÁRIO - FEIRANTE N°:** \_\_\_\_\_ **BOX N°:** \_\_\_\_ **Data** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Horário: \_\_\_:\_\_\_

1) Dados de Identificação do feirante:

a) Nível de escolaridade do feirante:

1º Grau incomp. ( ) 1º Grau ( )

2º Grau incomp. ( ) 2º Grau ( )

3º Grau incomp. ( ) 3º Grau ( )

b) Profissão: \_\_\_\_\_

2) Qual o produto comercializado? \_\_\_\_\_

3) Número de funcionários:

Não tem ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5 ( )

4) Há quanto tempo trabalha no local (em anos) \_\_\_\_\_

5) Caso estivesse no local no período anterior a reforma, destacar os seus aspectos positivos e negativos comparando com hoje: \_\_\_\_\_

6) Com relação a **cobertura**:

a) Grau de satisfação quanto:

Ventilação Ótima ( ) Boa ( ) Ruim ( )

Proteção do sol Ótima ( ) Boa ( ) Ruim ( )

Proteção das chuvas Ótima ( ) Boa ( ) Ruim ( )

Limpeza e manutenção da cobertura Ótima ( ) Boa ( ) Ruim ( )

b) Quais os problemas detectados, vantagens e desvantagens você vê neste tipo de cobertura? Explique: \_\_\_\_\_

c) Preferiria outro tipo de cobertura (ex., palha, telha de barro, etc...). Sim ( ) Não ( )

Que tipo? Explique: \_\_\_\_\_

d) O que acha com relação a forma da cobertura? Linda ( ) Bonita ( ) Feia ( ) Horrível ( )

e) Satisfação quanto a cor? Sim ( ) Não ( )

f) Os clientes acham a cobertura bonita? Sim ( ) Não ( ) Mais ou menos ( )

g) A cobertura é suficiente para proteger os clientes? Sim ( ) Não ( ) Mais ou menos ( )

7) No interior das tendas você diria que:

a) No início da manhã:

Muito quente( ) Quente( ) Levemente quente( ) Agradável ( )

b) Durante o período de meio-dia às 15:00hs:

Muito quente( ) Quente( ) Levemente quente( ) Agradável ( )

c) No final da tarde:

Muito quente( ) Quente( ) Levemente quente( ) Agradável ( )

8) Quanto a iluminação:

Iluminação Natural                                  Ótima ( )                                  Boa ( )                                  Ruim ( )

Problemas detectados: \_\_\_\_\_

8) Qual o período de maior ruído? Manhã ( ) de meio-dia às 15:00hs ( ) final da tarde ( )

## Anexo C - Formulário de Pesquisa da Feira do Ver-o-Peso - Clientes

---



### UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ CENTRO TECNOLÓGICO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

QUESTIONÁRIO - CLIENTES N°: \_\_\_\_\_

Data \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Horário: \_\_\_:\_\_\_

1) Nível de escolaridade:

1º Grau incomp. ( ) 1º Grau ( )

2º Grau incomp. ( ) 2º Grau ( )

3º Grau incomp. ( ) 3º Grau ( )

b) Profissão: \_\_\_\_\_

2) Você freqüentava, o local, no período anterior a reforma? Pode destacar alguns aspectos positivos e negativos da feira antes da reforma? \_\_\_\_\_

---

3) Com relação a **cobertura**:

a) Grau de satisfação quanto:

Ventilação Ótima ( ) Boa ( ) Ruim ( )

Proteção do sol Ótima ( ) Boa ( ) Ruim ( )

Proteção das chuvas Ótima ( ) Boa ( ) Ruim ( )

Limpeza e manutenção da cobertura Ótima ( ) Boa ( ) Ruim ( )

b) O que você acha da temperatura nas áreas cobertas da feira?

Muito quente ( ) Quente ( ) Levemente quente ( ) Agradável ( )

c) O que acha com relação a forma da cobertura? Linda ( ) Bonita ( ) Feia ( ) Horrível ( )

d) Você gosta da cor da cobertura? Sim ( ) Não ( ) Indiferente ( )

e) Quais as vantagens e desvantagens você vê neste tipo de cobertura?

Explique: \_\_\_\_\_

f) Você acha que deveria ter sido usado outro tipo de material para a cobertura? (ex., palha, telha de barro, etc...).

Sim ( ) Não ( ) Indiferente ( )

Explique: \_\_\_\_\_

4) Qual o período mais quente? Manhã ( ) de meio-dia às 15:00hs ( ) final da tarde ( )

5) Qual o período de maior ruído? Manhã ( ) de meio-dia às 15:00hs ( ) final da tarde ( )

## Anexo D – Resultados do Questionário Aplicado aos feirantes

Dentre os feirantes pesquisados, 31% possuem 2º grau completo e apenas 2% possuem 3º grau completo.

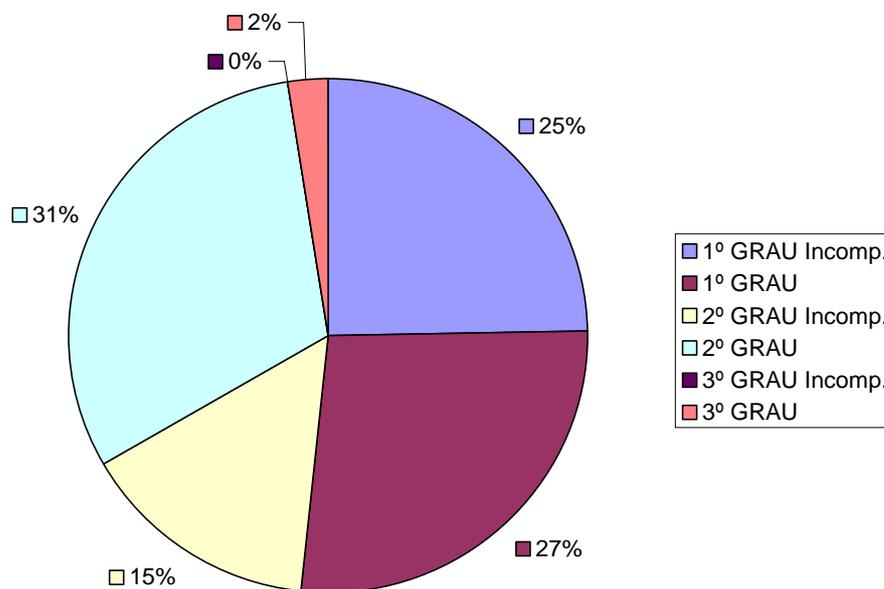


Figura D 1 - Grau de escolaridade dos feirantes

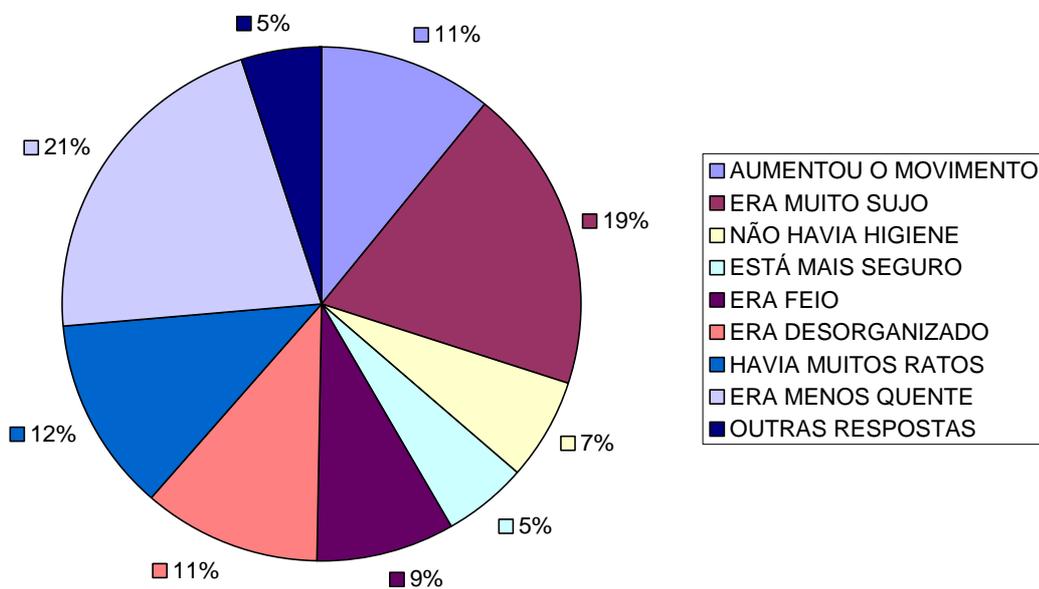
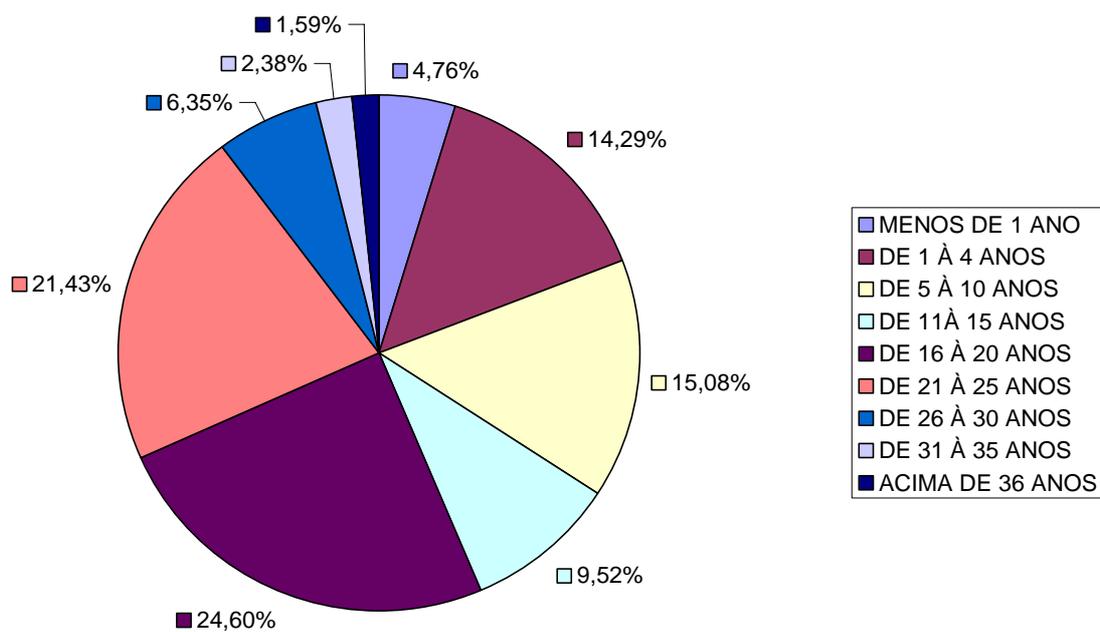
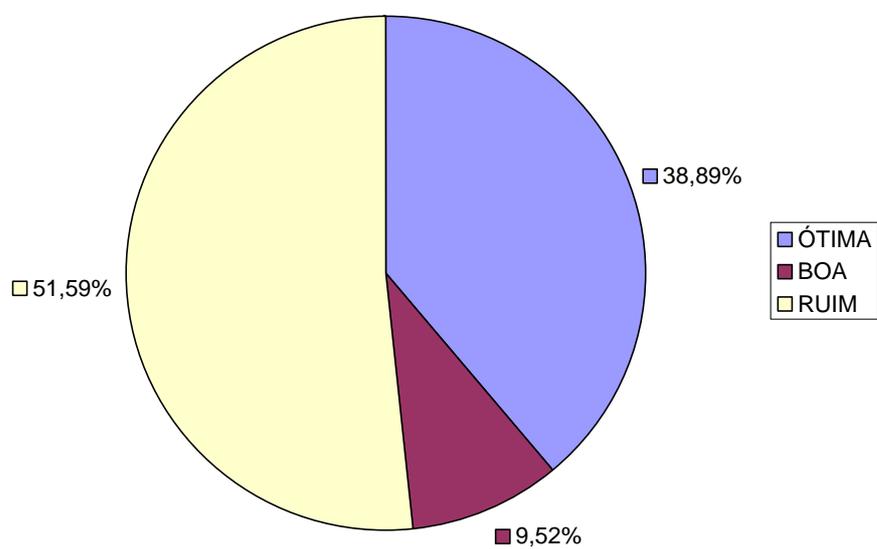


Figura D 2 - Aspectos positivos e negativos comparando a feira antes e depois da reforma



**Figura D 3 – Tempo de trabalho no local:**



**Figura D 4 – Opinião dos feirantes quanto a limpeza e manutenção das coberturas:**

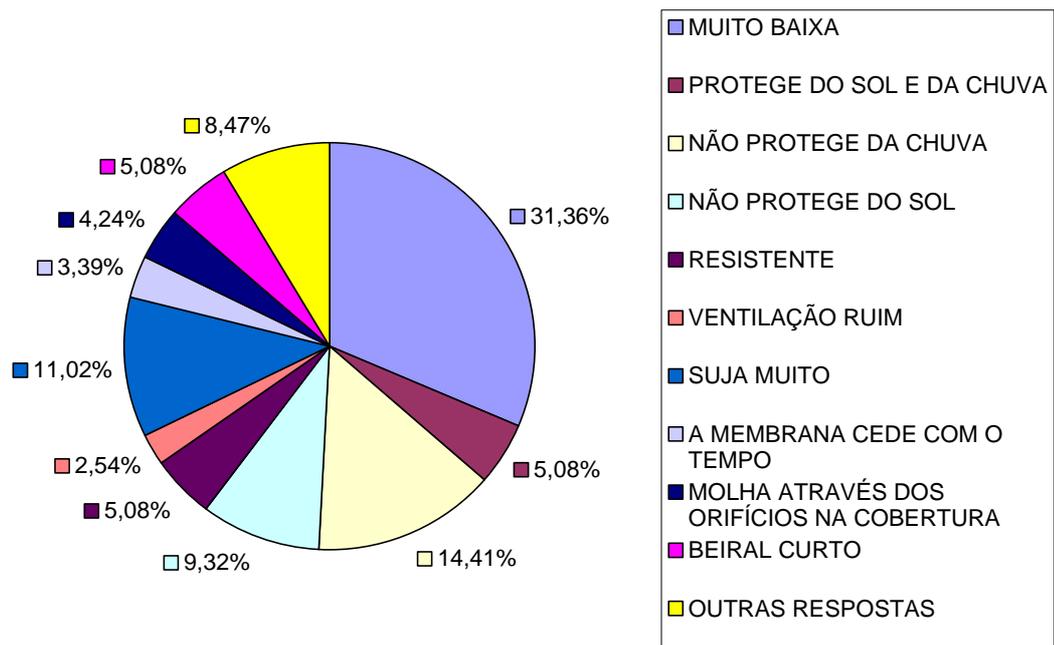


Figura D 5 – Opinião dos feirantes quanto as vantagens e desvantagens desse tipo de cobertura

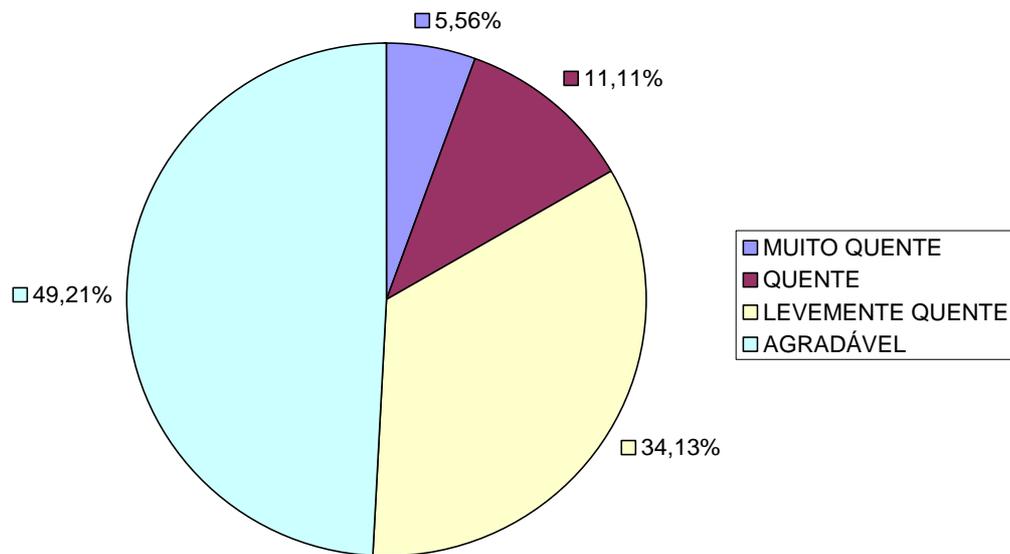
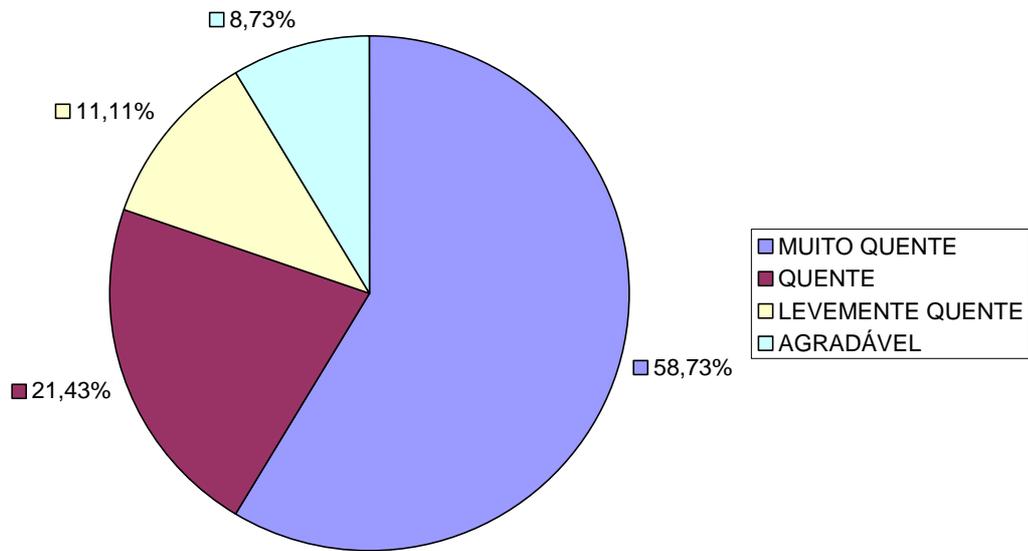
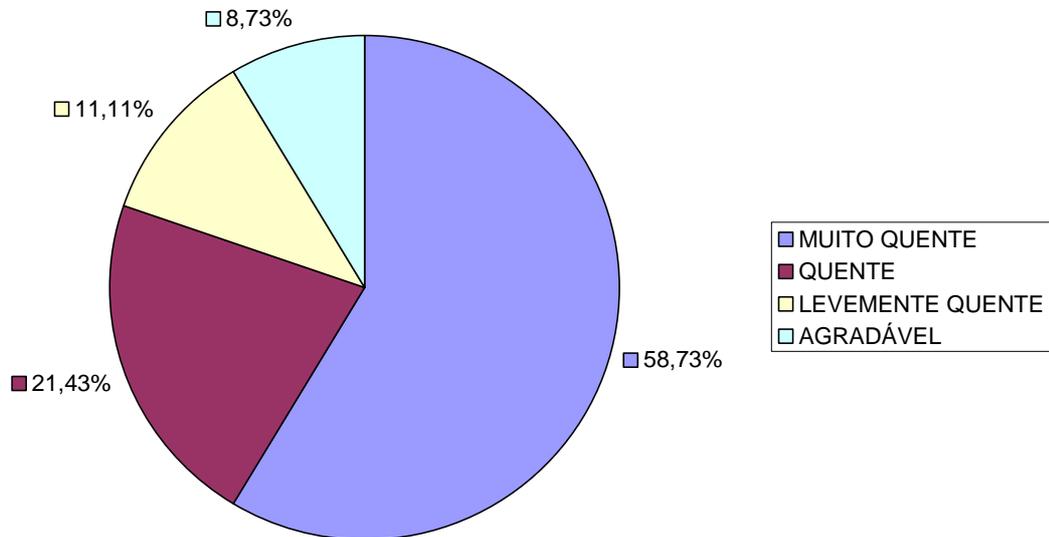


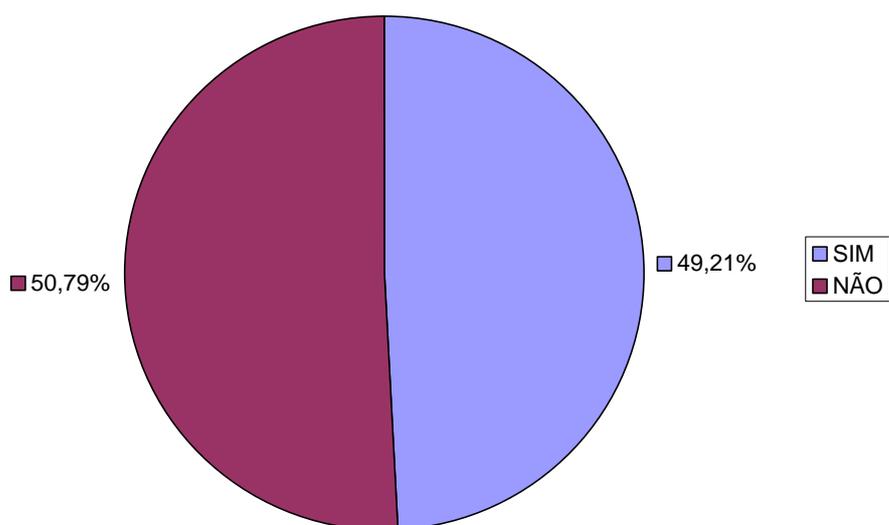
Figura D 6 - Opinião dos feirantes quanto a temperatura no interior das coberturas no início da manhã



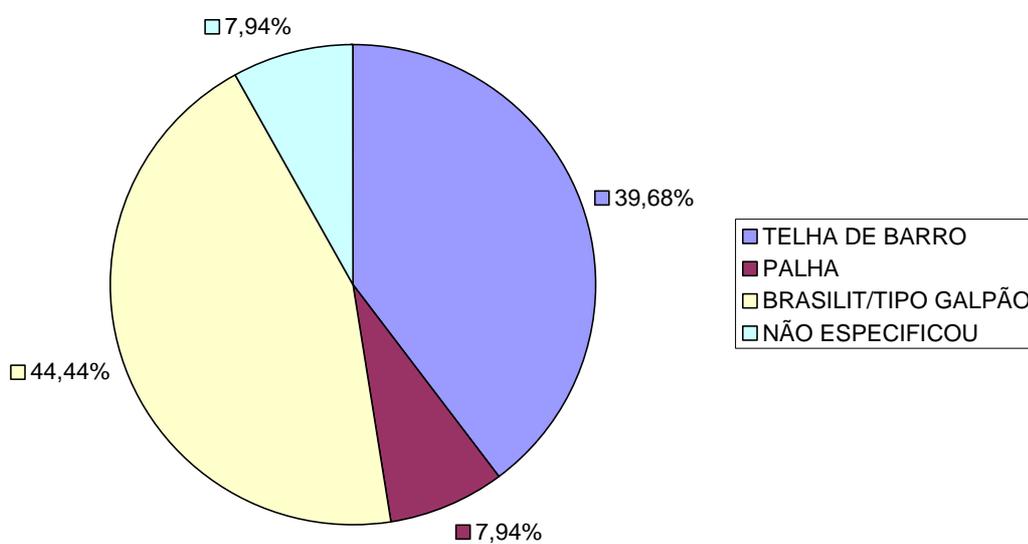
**Figura D 7 - Opinião dos feirantes quanto a temperatura no interior das coberturas de 12:00hs às 15:00hs.**



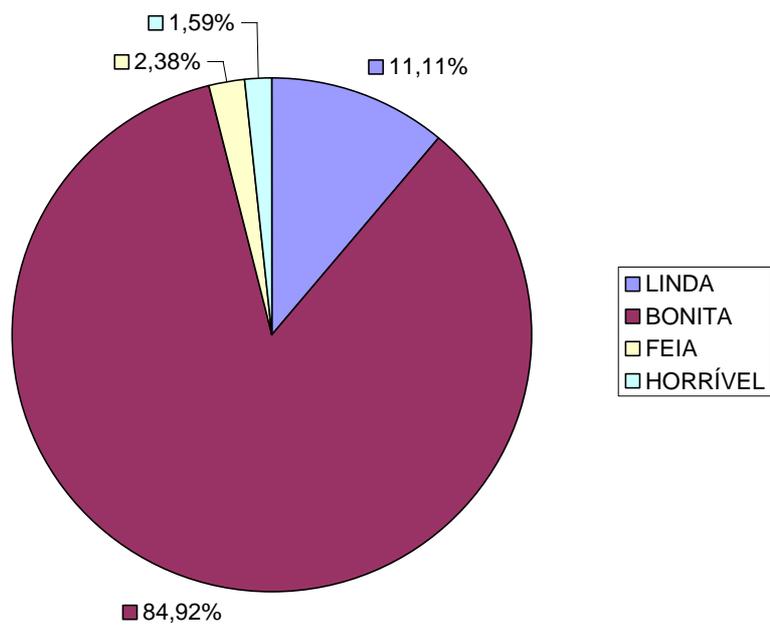
**Figura D 8 - dos feirantes quanto a temperatura no interior das coberturas no final da tarde**



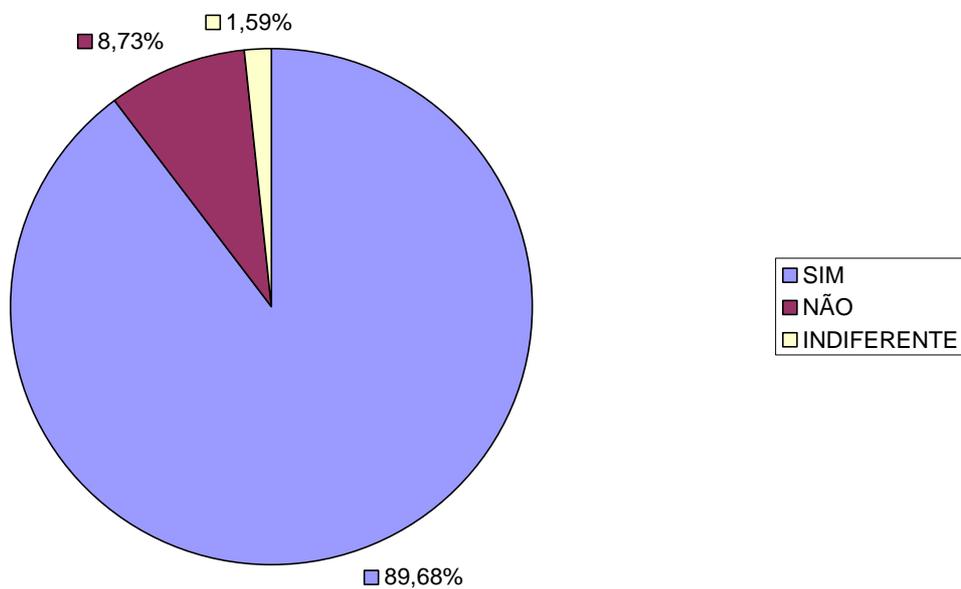
**Figura D 9 – Opinião do feirante quanto a preferir ou não outro tipo de cobertura**



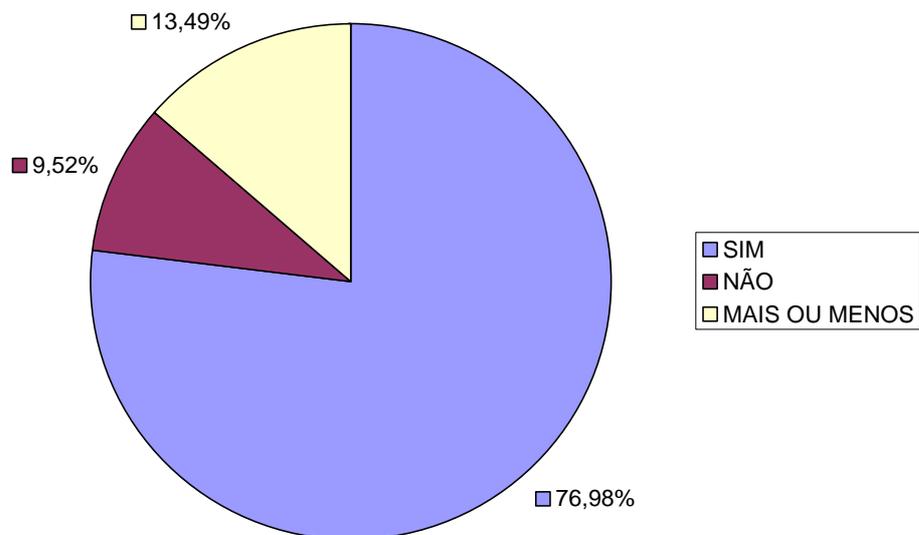
**Figura D 10 – Tipos de coberturas sugeridas pelos feirantes**



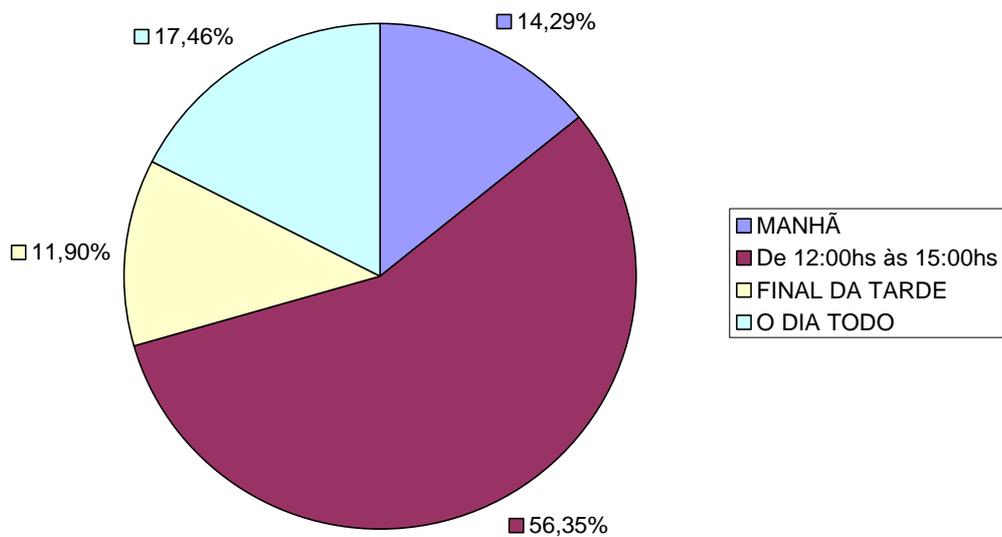
**Figura D 11 - Opinião dos feirantes quanto a forma**



**Figura D 12 - Opinião dos feirantes se estão satisfeitos quanto a cor**



**Figura D 13 - Opinião dos feirantes se os clientes acham da cobertura bonita**



**Figura D 14 – Período de maior ruído**

## Anexo E – Resultados do Questionário Aplicado aos clientes

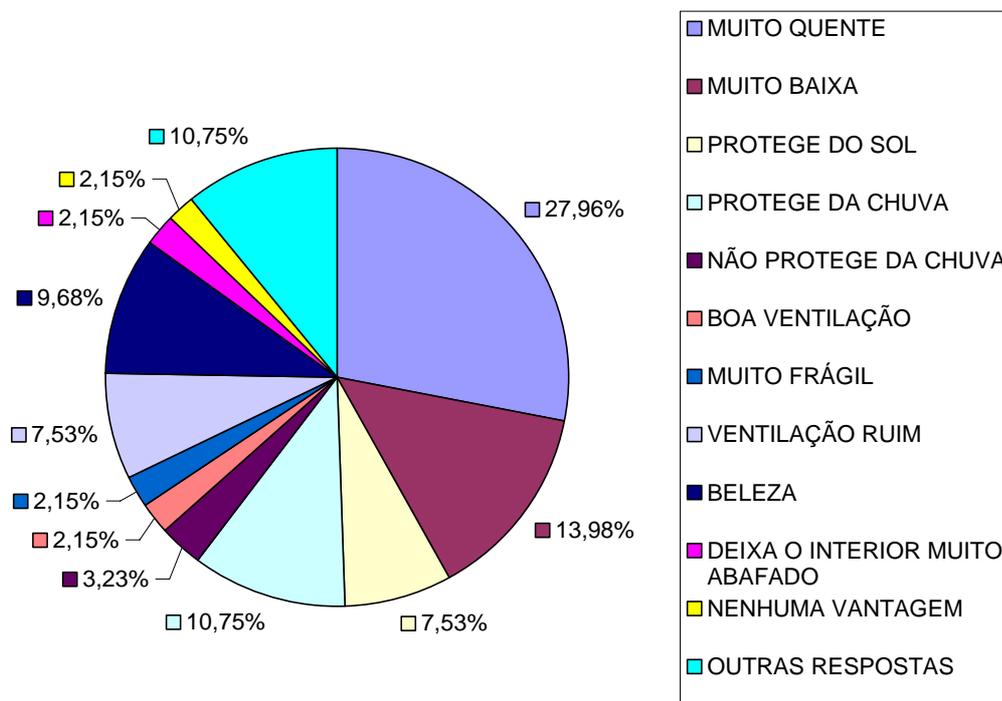


Figura E 1 - Opinião dos clientes quanto as vantagens e desvantagens desse tipo de cobertura.

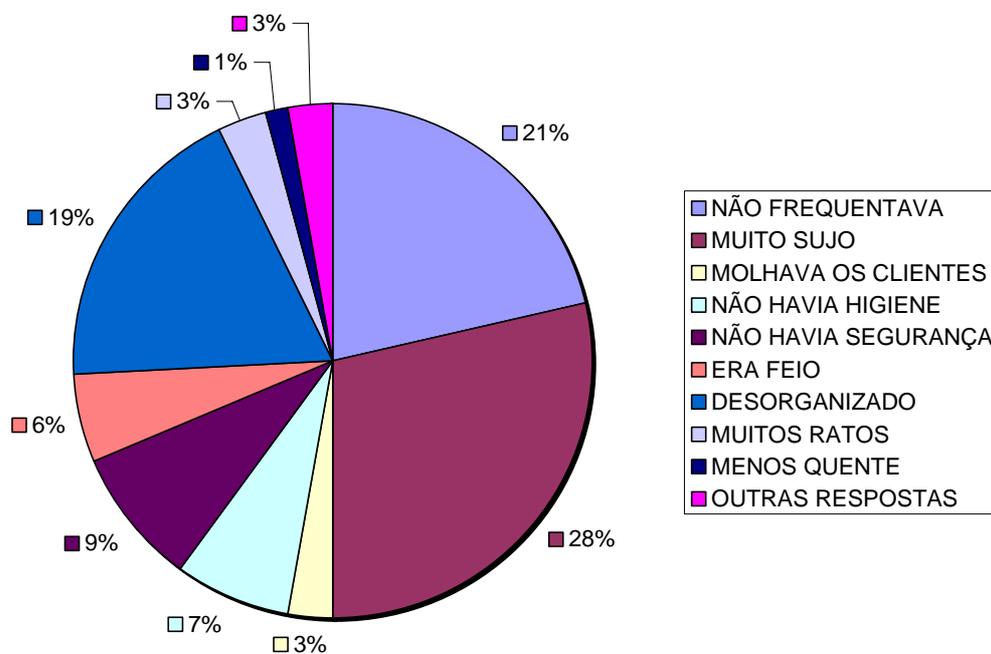
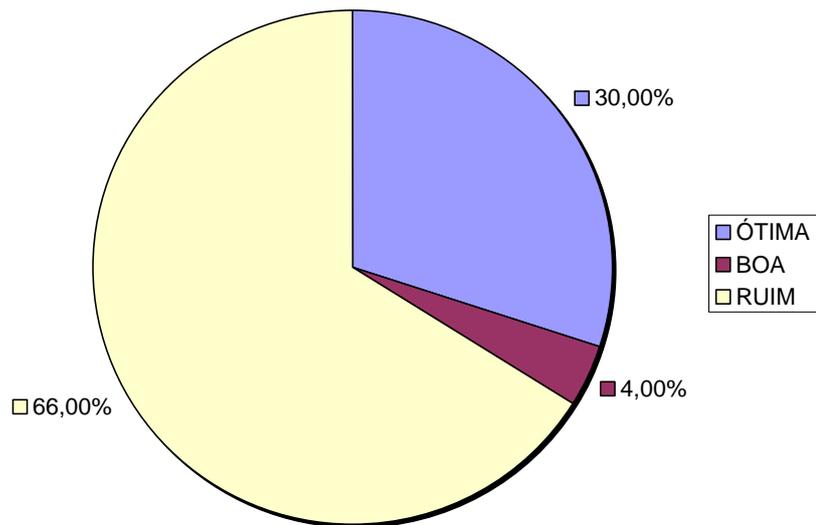
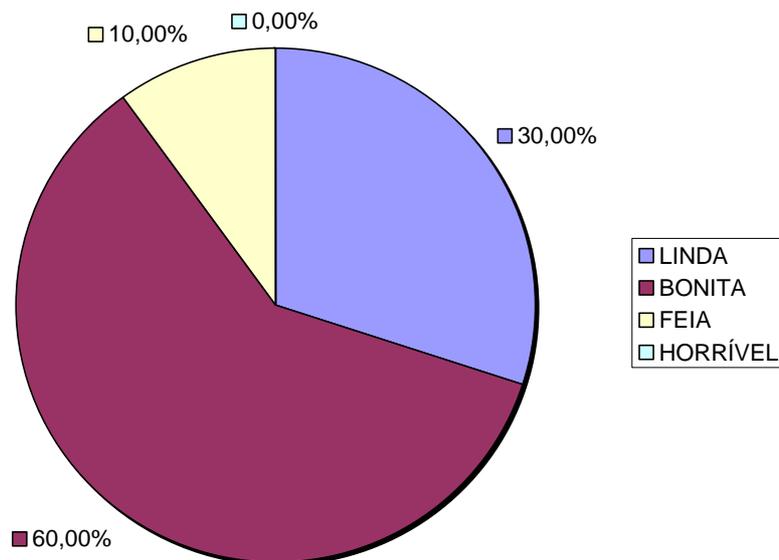


Figura E 2 – Aspectos positivos e negativos comparando a feira antes e depois da reforma

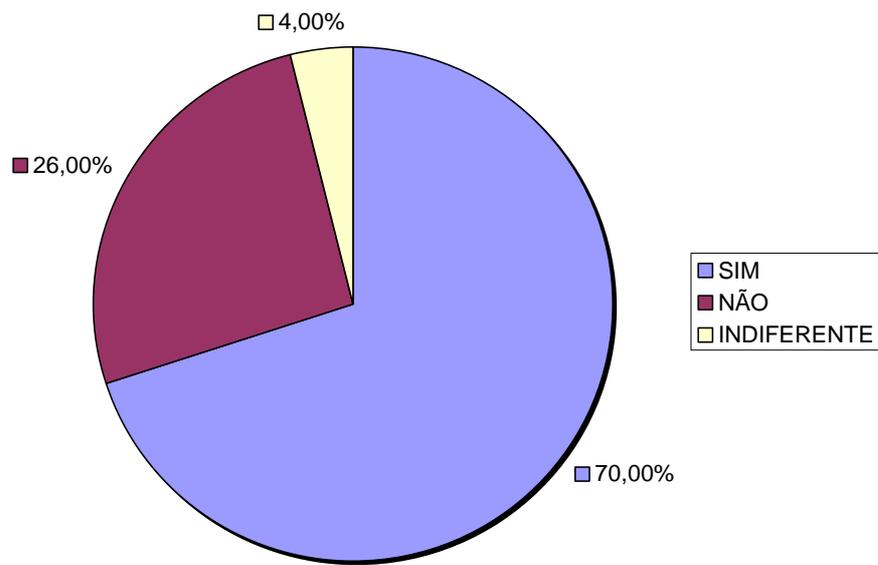
A limpeza e manutenção das coberturas não têm sido feitas pela prefeitura, por tanto é necessário que o feirante contrate mão-de-obra para executar esta limpeza. Durante esta pesquisa, observou-se que nem todos os feirantes providenciam a limpeza, da cobertura, na região correspondente ao seu Box. Entre os clientes pesquisados sobre as condições de limpeza e manutenção das coberturas, 66% avaliaram como muito ruim, 30% disseram ser ótima e apenas 4% acham a manutenção boa.



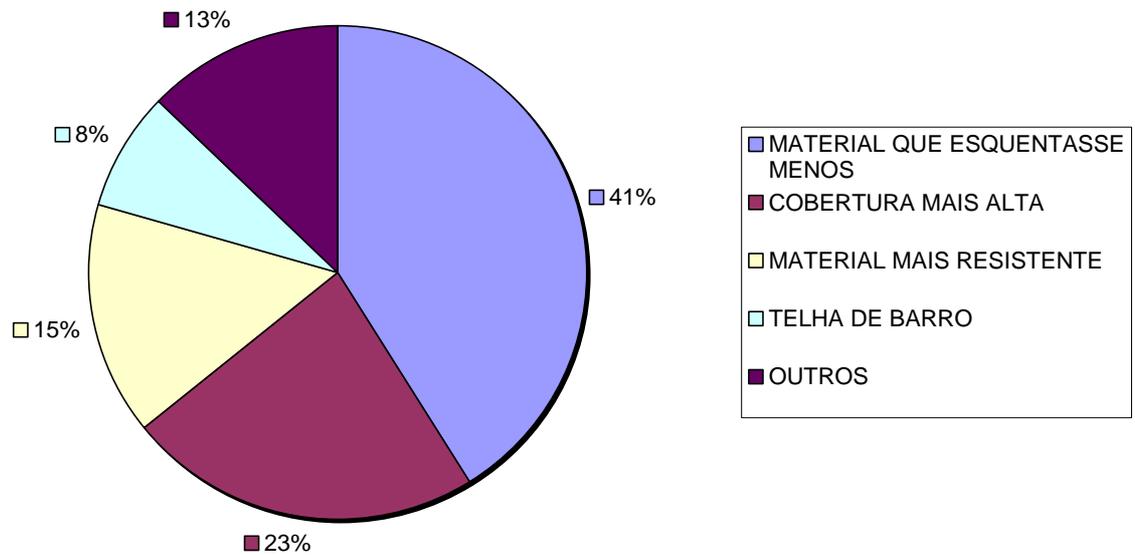
**Figura E 3 – Opinião dos clientes quanto a limpeza e manutenção das coberturas**



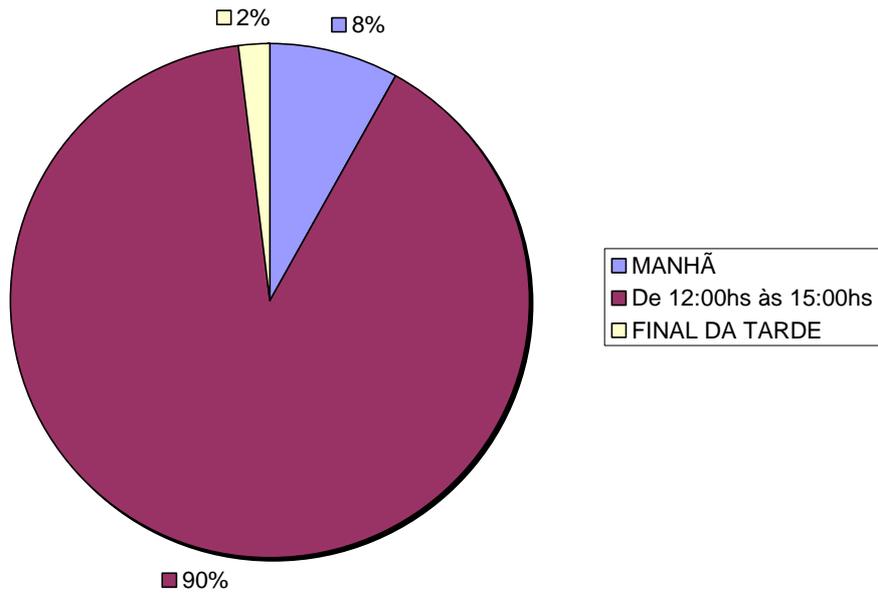
**Figura E 4 – Opinião do clientes quanto a forma da cobertura**



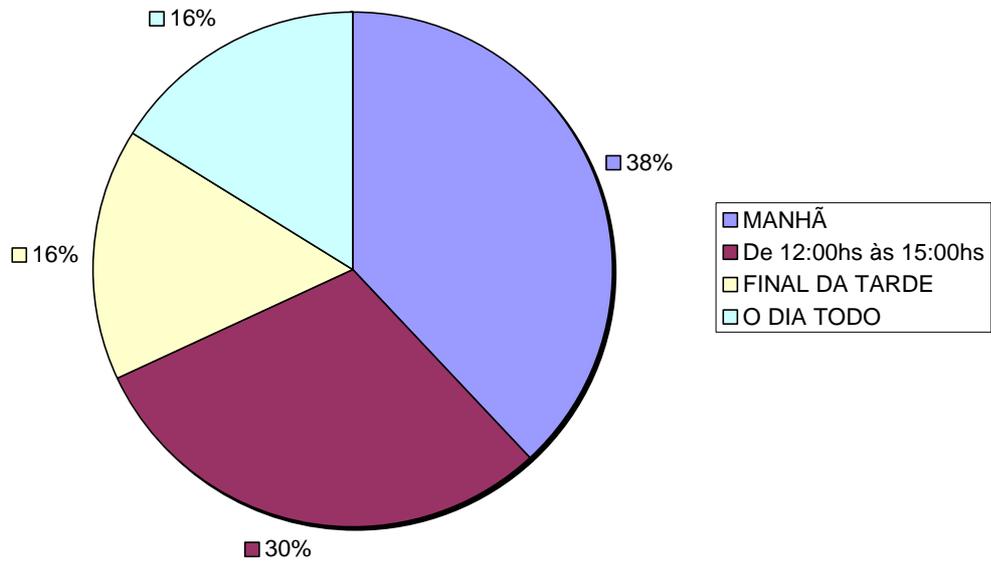
**Figura E 5– Opinião dos clientes quanto a cor das coberturas**



**Figura E 6 – Opinião dos clientes quanto ao tipo de cobertura usado**



**Figura E 7– Opinião dos clientes quanto ao período mais quente**



**Figura E 8 - Opinião dos clientes quanto ao período de maior ruído**

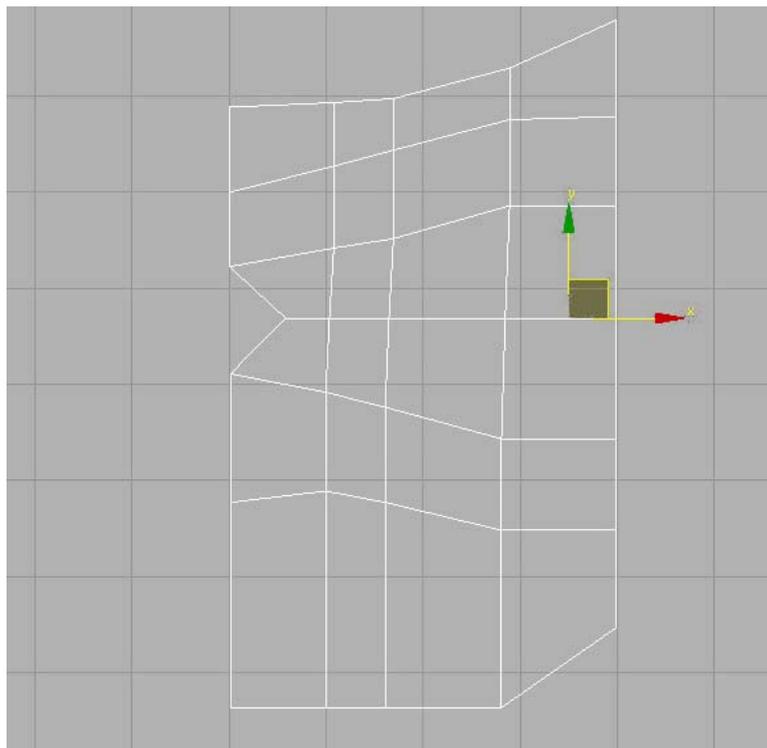
## **Anexo F – Descrição da criação do modelo geométrico da cobertura da feira**

---

Conforme discutido na seção 2.4, o processo de determinação da forma exata da superfície de uma tensoestrutura envolve um procedimento matemático bastante complexo, o qual é importantíssimo para a análise de tensões nas membranas. No presente estudo, como não se tem como objetivo uma análise estrutural precisa, mas sim uma verificação do grau de proteção quanto a sol e chuva que esta proporciona aos usuários, foi utilizado um procedimento aproximado para definição da forma. Este procedimento tomou como base o projeto da estrutura (ver ANEXO A), desenhados em duas dimensões, e o levantamento fotográfico realizado no decorrer desta pesquisa, visto que não foi feito um “*as built*” do projeto, depois de concluída a obra. A partir dessas informações, foram modeladas as membranas da cobertura utilizando-se o objeto “*plane*” do 3ds Max 8.

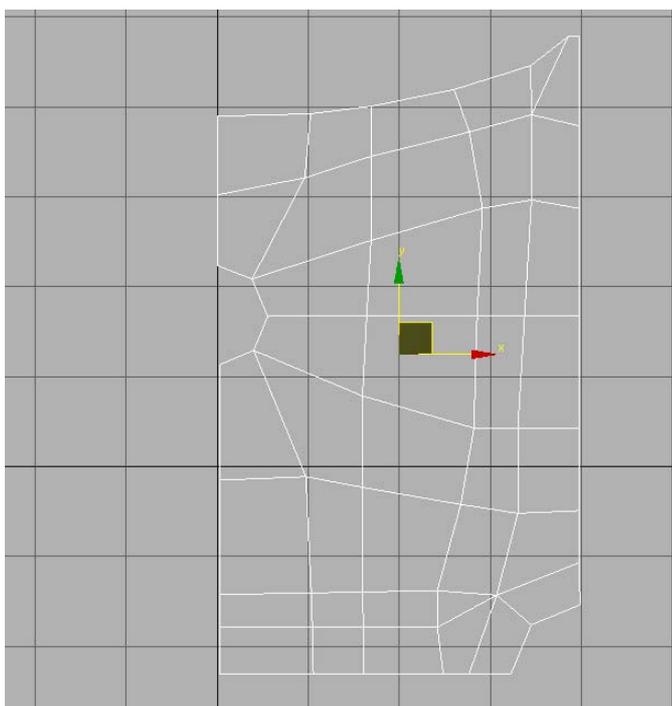
Como se trata de uma estrutura correspondente a um conjunto de módulos que se repetem, foi necessária apenas a geração do modelo geométrico de um módulo principal (localizado nas regiões centrais), e um outro módulo localizado nas extremidades (cantos da cobertura).

Para a criação do modelo do módulo central criou-se um objeto “*plane*”, correspondente a metade de um módulo da cobertura (em função da simetria), conforme ilustra a Figura F.1. Os vértices deste objeto foram sendo ajustados, em duas dimensões, de acordo com o formato da membrana.



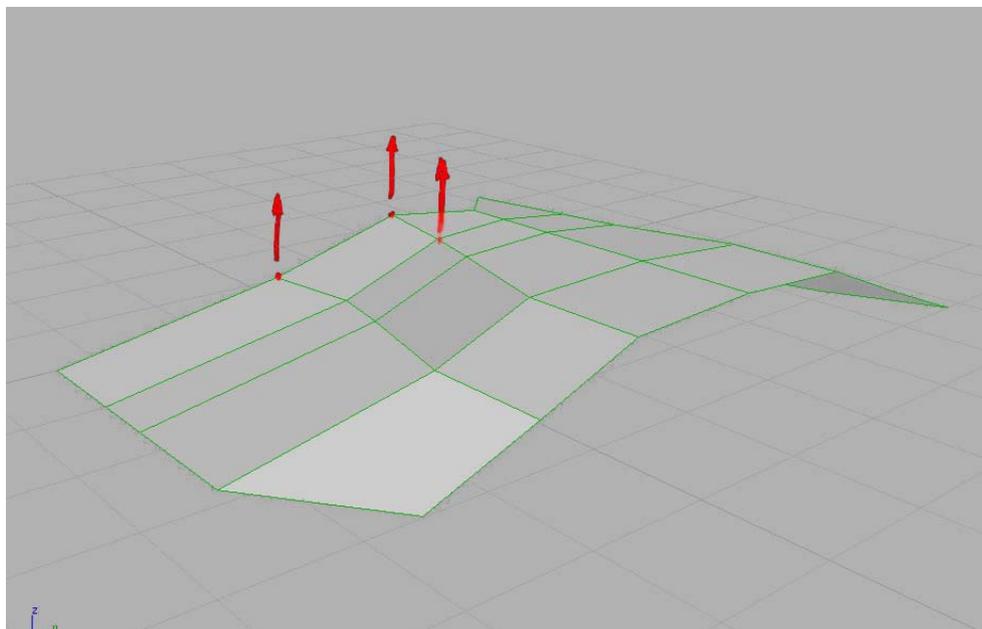
**Figura F.1 – Modelagem de um elemento “plane” para criação, em duas dimensões, de 1 módulo da membrana de cobertura.**

Na Figura F.2 é mostrado um dos módulos da membrana, modelado em duas dimensões, exatamente de acordo com o projeto arquitetônico.



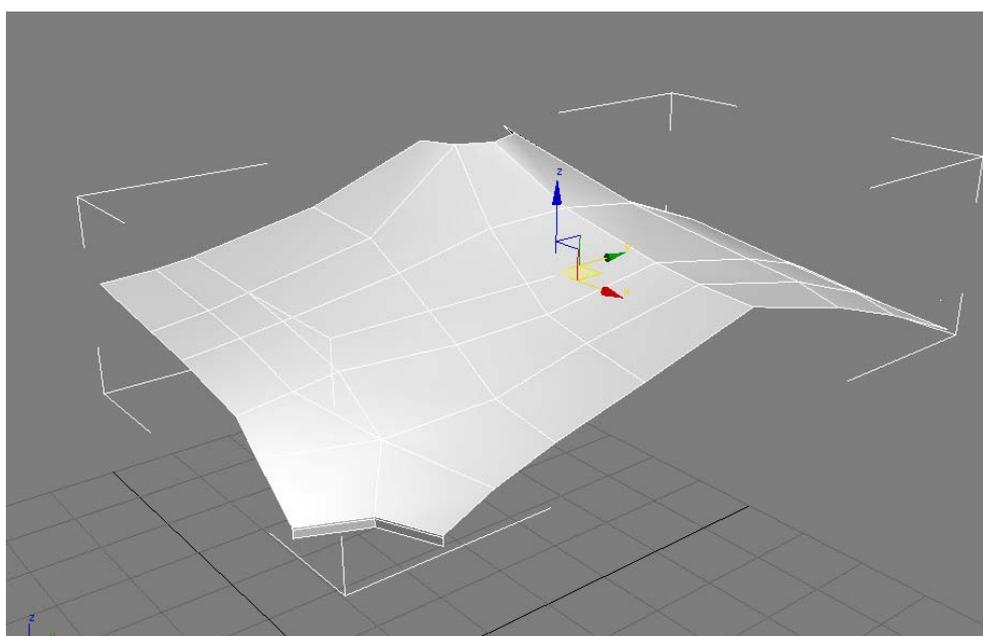
**Figura F.2 – Módulo que irá compor a Membrana, totalmente modelada em duas dimensões.**

Após modelada uma parte da membrana, os vértices foram elevados de acordo com as alturas obtidas através dos cortes feitos no projeto arquitetônico. (ver Figura F.3)



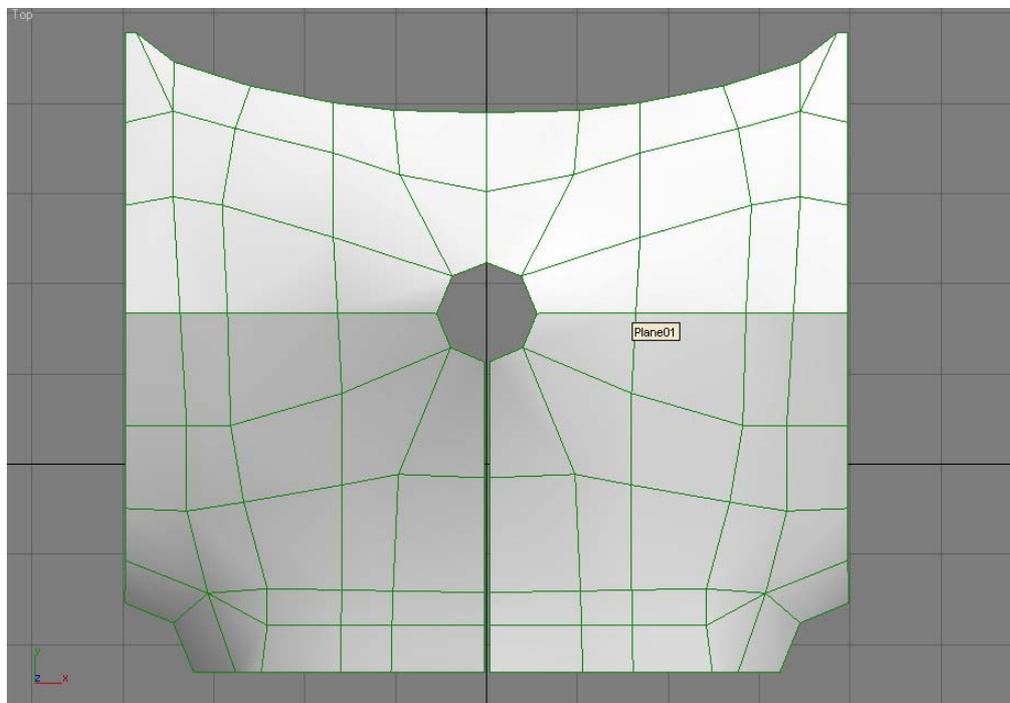
**Figura F.3 – Vértices da membrana sendo elevados.**

A Figura F.4 ilustra a Membrana com os vértices devidamente posicionados, de acordo com o projeto arquitetônico.



**Figura F.4 – Membrana após o posicionamento dos vértices de acordo com as alturas fornecidas pelo projeto arquitetônico.**

Para criar o complemento da membrana utilizou-se o comando para espelhamento, “*mirror*”. (ver Figura F.5)



**Figura F.5 – Módulos da membrana espelhados.**

As partes espelhadas foram conectadas, e após vários espelhamentos modelou-se toda a superfície central da cobertura. As extremidades não foram resultantes do espelhamento do módulo descrito acima, foi necessário a criação de um outro módulo (com curvatura em dois dos seus lados) para ser colocado nestes locais (ver Figura F.6).

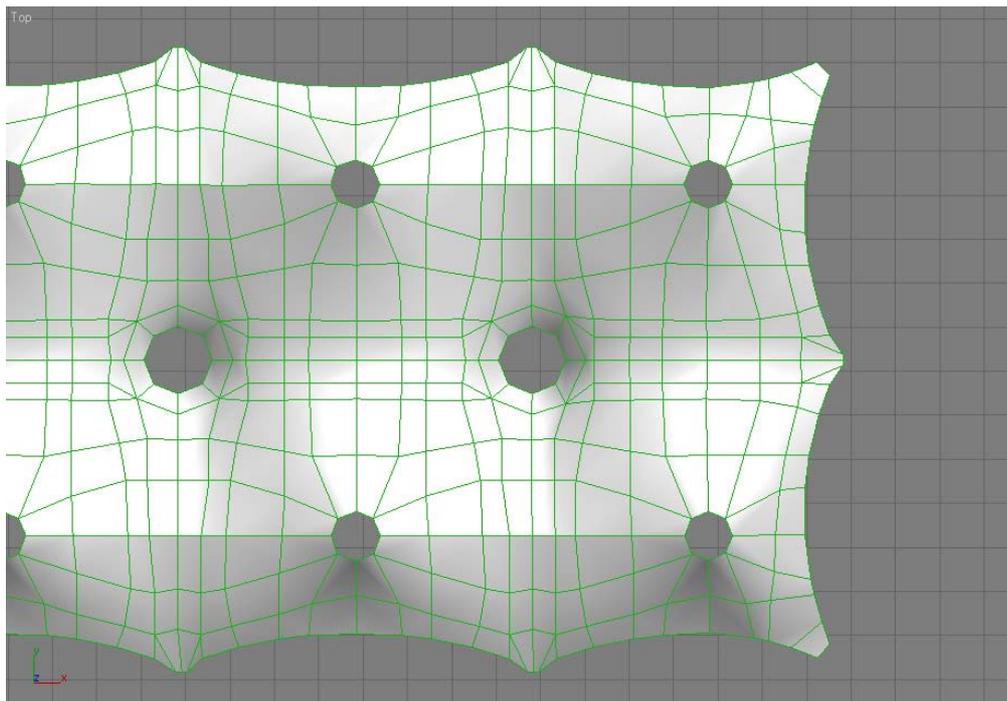


Figura F.6 – Membrana completa.

Após concluída a modelagem da membrana aplicou-se o modificador “*Mesh Smooth*” para deixar a membrana com aparência mais suave.

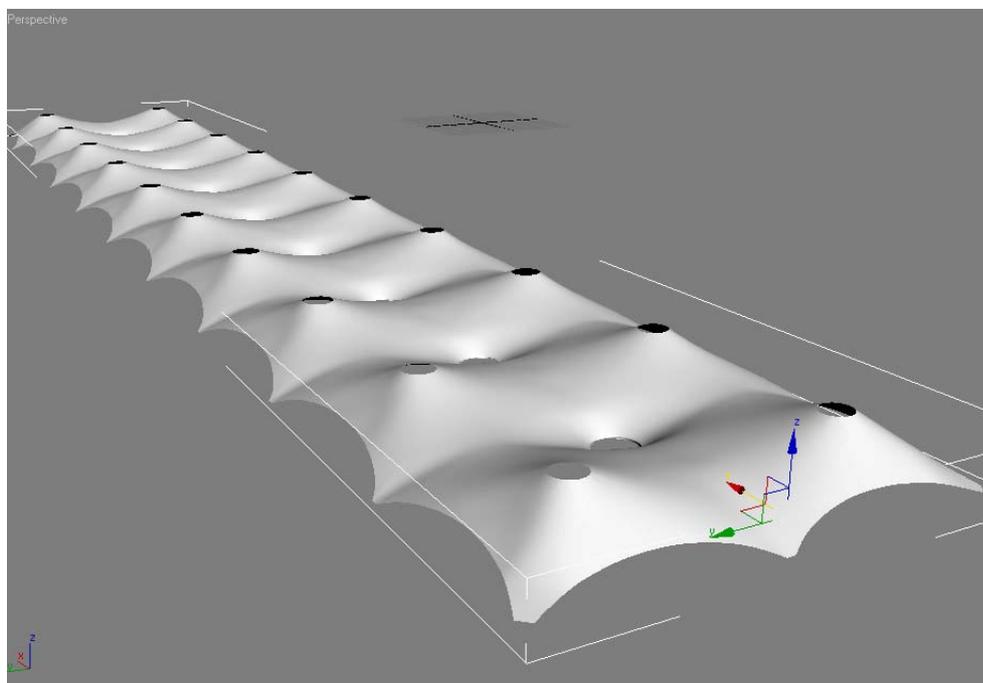
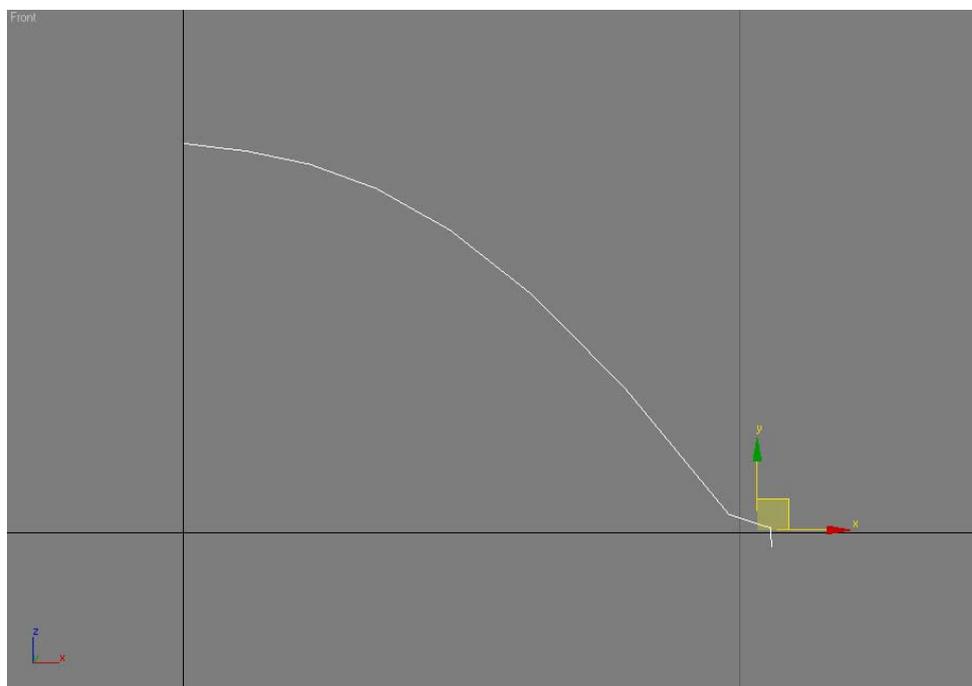
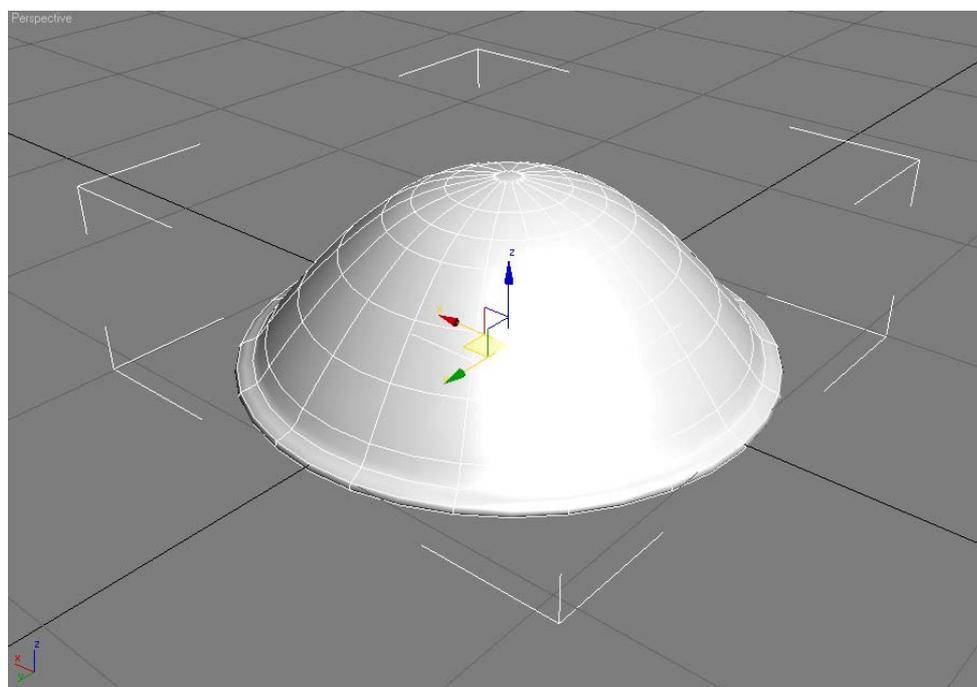


Figura F.7 – Membrana depois de aplicado o modificador “*Mesh Smooth*”

Para criar o fechamento no topo das membranas utilizou-se o objeto “*spline*” (ver Figura F.8), aplicando-se a ele o Modificador “*Lathe*” (torno), o qual faz uma revolução para dar a forma definitiva. (ver Figura F.9).

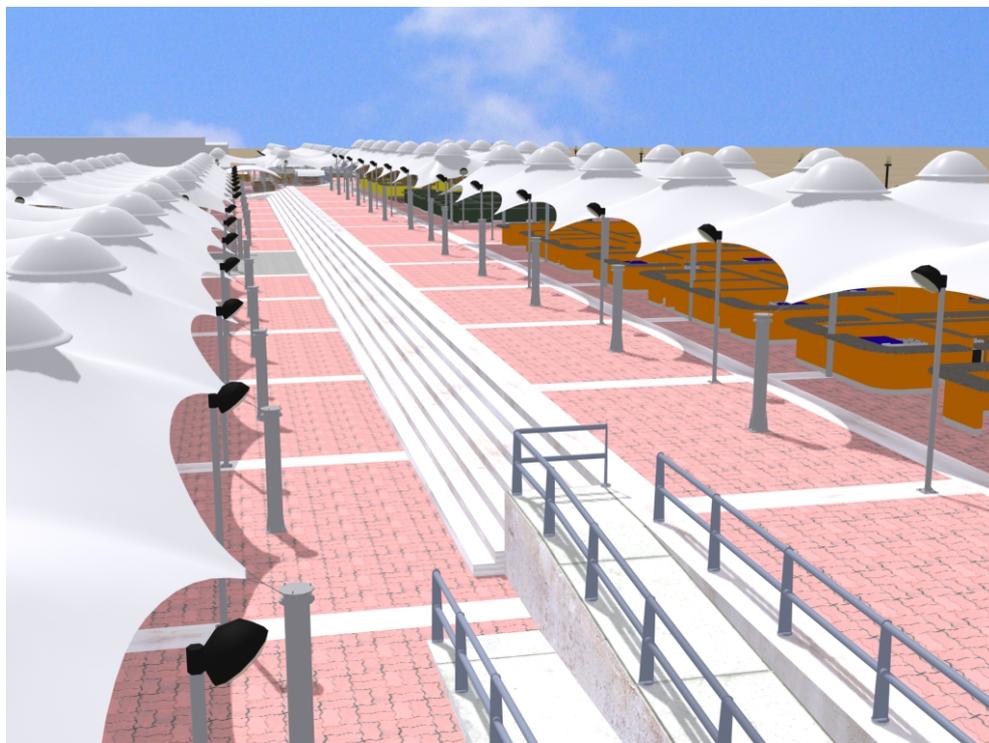


**Figura F.8 – “*Spline*” utilizada para definir o perfil para criação do fechamento superior das membranas.**



**Figura F.9 – Superfície gerada a partir de uma curva “*Spline*” após aplicado o modificador “*Lathe*”.**

Para proporcionar maior realismo as imagens geradas, foram inseridos no modelo diversos detalhes tais como calçadas, guarda-corpos, balcões, etc. Imagens da maquete completa, contendo todos estes objetos são mostradas na Figura F.10 e na Figura F.11.



**Figura F.10 – Maquete da feira gerada com o programa 3ds Max 8 – Setor de alimentação.**



**Figura F.11 – Vista geral da Maquete da feira do Ver-O-Peso.**

## **Iluminação**

Iluminar uma cena no 3DS Max é um dos aspectos mais importantes para a obtenção do resultado final desejado. Este programa possui dois tipos de iluminação: luzes *standard* (padrão) e as luzes fotométricas (baseadas nos dados físicos do mundo real).

### **Luzes Padrão**

São três os tipos de luzes *Standard* (padrão): Spot, Omni, Direct. Uma descrição mais detalhada destes tipos de luzes é apresentada abaixo:

- Luz *Spot* - A luz *Spot* é a mais usada. Ela cria raios de luz divergentes a partir do ponto de luz em direção ao foco, formando um cone de luz. Este cone de luz é formado por dois cones concêntricos, quais sejam, o *Hotspot* (cone central, com luz com intensidade total) e o *Falloff* (cone externo, com a luz sendo atenuada lateralmente, em direção a periferia do cone). Esta luz não pode ser atenuada ao longo da sua trajetória e brilha para o infinito.
- Luz *Direct* - A luz *Direct* cria raios de luz paralelos a partir do ponto de luz em direção ao foco (formando um cilindro de luz).
- Luz *Omni* - A luz *Omni* também é uma luz com raios divergentes, mas saindo do ponto de luz para todas as direções.

### **Luzes Fotométricas**

As luzes fotométricas simulam com precisão física as luzes reais, inclusive podendo simular uma luz de qualquer fabricante desde que o mesmo forneça as informações necessárias. As luzes fotométricas disponíveis no programa são:

- *Point* – A luz *point* corresponde a um único ponto no espaço com luz que irradia em todas as direções (simula uma lâmpada incandescente comum descoberta).
- *Linear* - Essas lâmpadas são semelhantes a tubos de lâmpada fluorescente. A luz é irradiada para cima e para baixo a partir da origem.
- *Area* - As luzes *Area* podem ser usadas para simular um conjunto de lâmpadas fluorescentes em uma luminária.

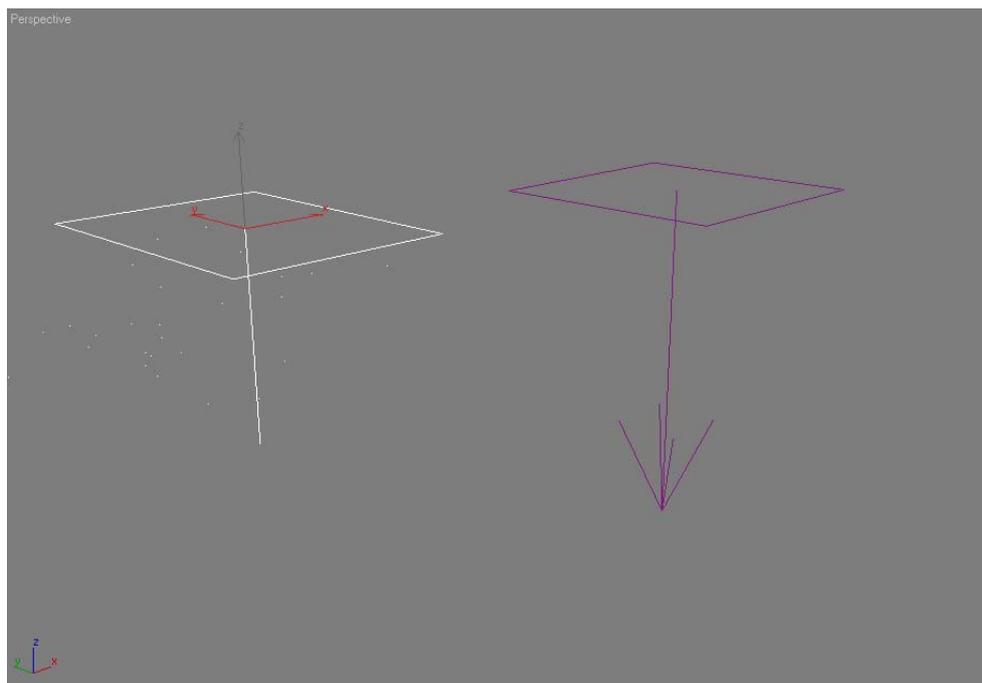
### **Luzes para iluminar cenas externas**

Para iluminar cenas externas pode-se utilizar dois sistemas: o Sunlight e o Daylight, descritos a seguir.

- Sistema *SunLight* - O *SunLight* é um sistema de iluminação direta que possui um controlador de animação especial que calcula a posição do sol no céu, de acordo com as informações de data, hora e local (latitude, longitude e fusos horário). Neste sistema, nenhuma luz rebatida é calculada, e as renderizações (processo para transformação de objetos, luzes, sombras, materiais, etc, em uma imagem foto-realística) são mais rápidas. Este sistema usa luz padrão Direct.
- Sistema *Daylight* - Este sistema usa uma fonte de iluminação direta chamada IES Sun e um tipo de luz denominada IES Sky que preenche a cena com raios paralelos de iluminação direta e uma luz originada no céu que simula a luminosidade rebatida na atmosfera.

### **Simulação da chuva**

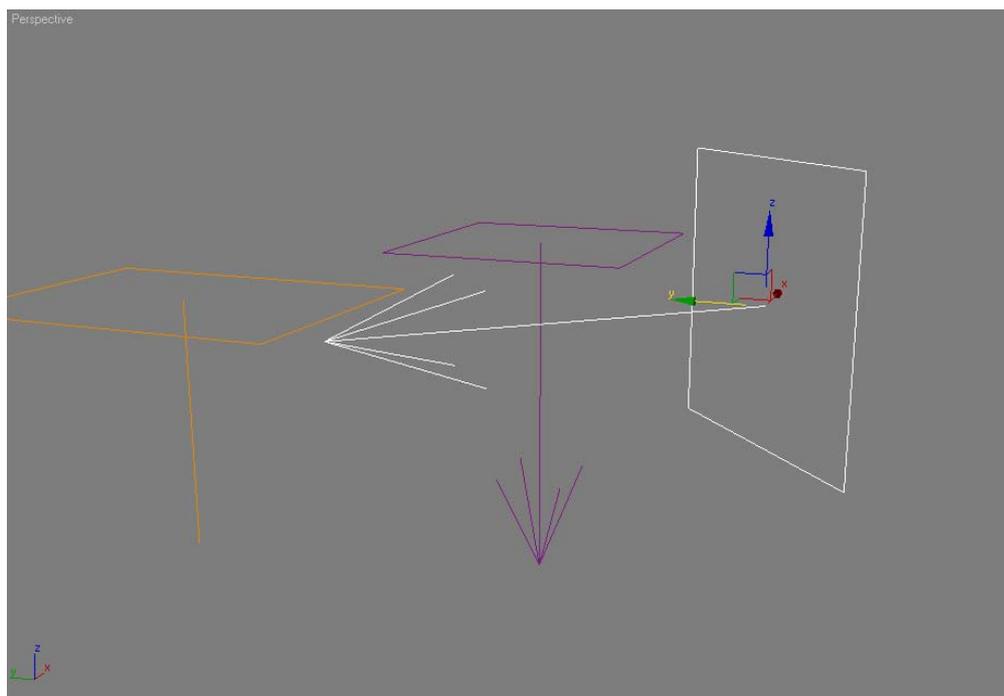
Para fazer a simulação da incidência da chuva e estudos quanto à proteção oferecida pela membrana às intempéries, utilizou-se o sistema “*Spray*”, do 3ds Max 8 (sistema de partículas próprio para representar gotas, como as da chuva, onde pode-se definir o tamanho, velocidade e escolher uma das três formas diferentes: pontos, gotas e cruces). A Figura 5.27F12 ilustra uma representação gráfica dos objetos associados ao efeito “*Spray*” e ao efeito da gravidade, que fará com que as gotas caiam. Esse efeito deve ser associado ao efeito “*Spray*” através do comando “*Bind to Space Warp*”.



**Figura F.12 – Representação gráfica do efeito “Spray” e do efeito Gravidade.**

Para simular uma “chuva” é necessário estipular valores para a quantidade de gotas, tamanho, velocidade e variação. O mesmo se faz com a gravidade.

Baseado que a ventilação de maior freqüência tem origem no leste, posicionou-se o “Wind” (Vento) para simulação do efeito do vento, sendo necessário também ajustar sua força. Esse efeito deve ser associado ao efeito “Spray” através do comando “Bind to Space Warp” (ver Figura F.13).

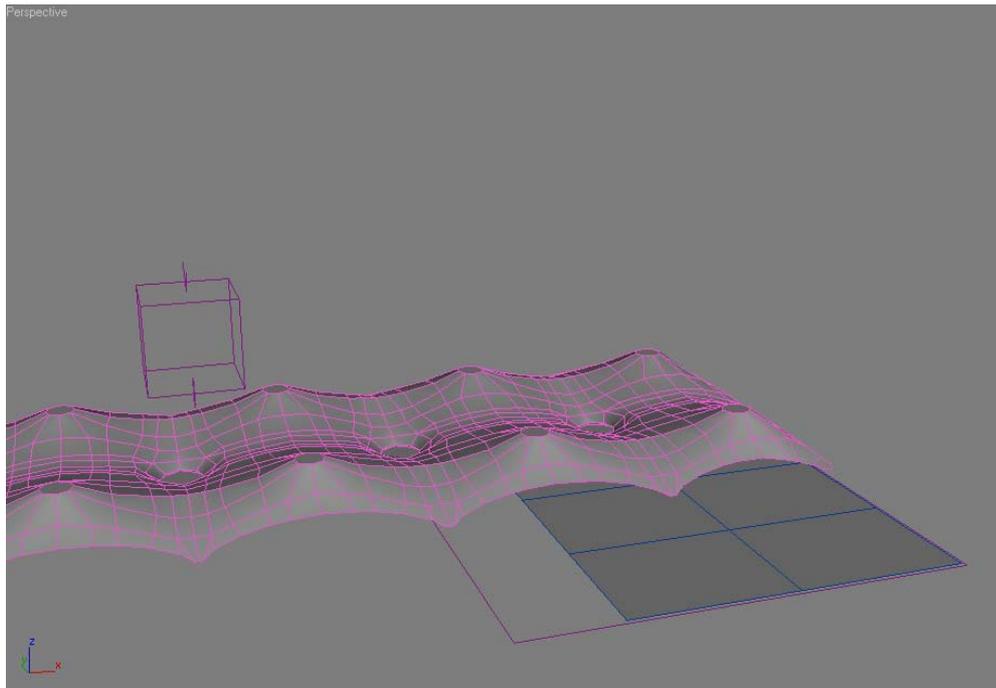


**Figura F.13 – Representação gráfica dos efeitos: “Spray”, Gravidade e “Wind” (Vento), respectivamente.**

Para que as gotas sejam repelidas ao atingirem a superfície do chão, deve-se criar um deflector plano, sendo necessário regular a sua força de deflexão das gotas.

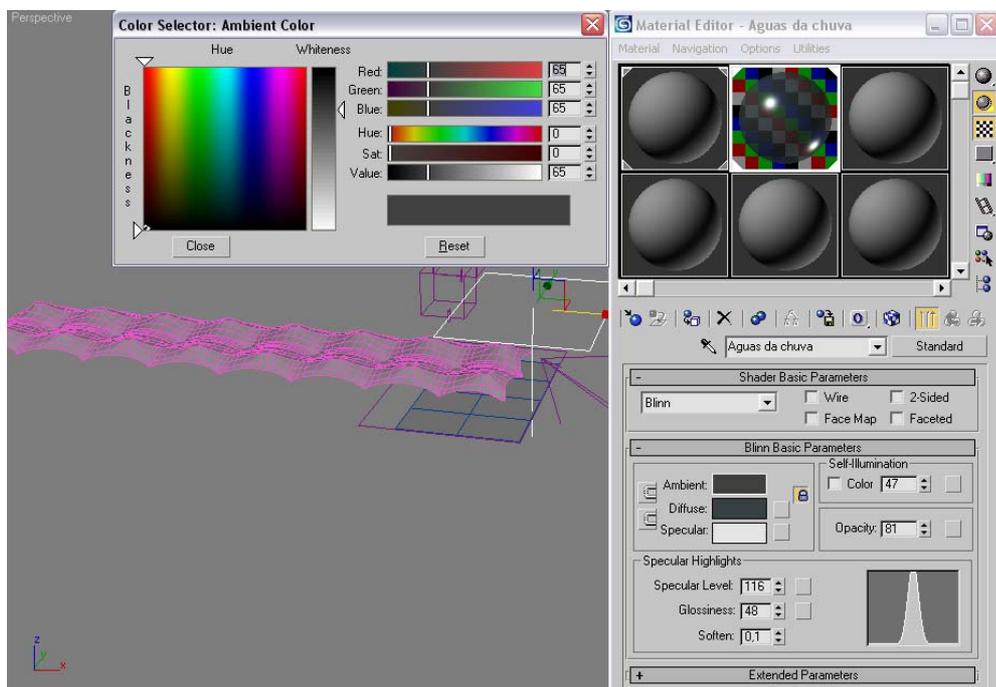
Para as membranas utilizou-se o deflector chamado “*UDynaFlect*” (o qual tem uma interação maior com superfícies irregulares). A força de deflexão para as gotas também foi ajustada à este deflector.

Os dois tipos de defletores (ver Figura F.14) foram associados à função *Spray* e à gravidade, para que a chuva e a gravidade interajam com os defletores.



**Figura F.14 – Colocação dos deflectores.**

A Figura F.15 ilustra a escolha do material adequado às partículas da chuva.



**Figura F.15 – Aplicação do material às partículas da chuva.**

## **Animação**

Para simulação da incidência solar, da chuva e estudos quanto à proteção oferecida pela membrana às intempéries, criou-se uma animação utilizando-se o programa 3ds Max 8. Esta animação foi feita com a técnica de animação de quadro chave. Este método é chamado de modo *Set Key*, no qual o usuário cria a animação definindo chaves específicas para a animação.

Para fazer a animação do sol, criou-se uma chave no primeiro quadro com a posição do sol às 6:00hs da manhã e uma outra chave para a posição do sol às 18:00hs.