



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

DIRCIRENE TAVARES MARINHO

**DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DA UTILIZAÇÃO DE TELHADO VEGETAL
EM EDIFICAÇÃO NO CLIMA AMAZÔNICO**

Belém
2013

DIRCIRENE TAVARES MARINHO

**DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DA UTILIZAÇÃO DE TELHADO VEGETAL
EM EDIFICAÇÃO NO CLIMA AMAZÔNICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração:
Conforto Ambiental e Eficiência Energética

Orientadora: Professora Doutora Maria Emilia de Lima Tostes
Coorientador: Professor Doutor Irving Montanar Franco

Belém
2013

Autorizo exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação por processos convencionais ou eletrônicos, desde que mantida a referência autoral. Belém, 01 de março de 2013.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Marinho, Dircirene Tavares.

Desempenho termoenergético da utilização de telhado vegetal em edificação no clima amazônico.

/ Dircirene Tavares Marinho – 2013.

Orientadora: Maria Emilia de Lima Tostes;

Coorientador: Irving Montanar Franco.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Belém, 2013.

1. Arquitetura e conservação de energia. 2. Arquitetura e clima. 3. Belém (PA) – Clima. I. Título.

CDD 22. Ed. 720.472

DIRCIRENE TAVARES MARINHO

DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DA UTILIZAÇÃO DE TELHADO VEGETAL
EM EDIFICAÇÃO NO CLIMA AMAZÔNICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração: Conforto Ambiental e Eficiência Energética

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Maria Emilia de Lima Tostes.
(Orientador Presidente)

Prof. Dr. Irving Montanar Franco.
(Coorientador)

Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra.
(Membro Externo – PPGEE/UFPA)

Prof^ª. Dr^ª. Ana Kláudia de Almeida Viana Perdigão.
(Membro Titular – PPGAU/UFPA)

Aprovação em:.....

Ao necessário equilíbrio entre os seres e o meio ambiente
para a perfeita evolução do planeta terra.

A Deus por mais estas oportunidades e pela Sua inspiração que me concedeu serenidade nos momentos mais difíceis, quando pensei em desistir.

Aos meus pais Manoel (*in memoriam*) e Irene, minhas bases referenciais de amor incondicional, moral e ética.

Aos meus orientadores Prof. Dra. Maria Emilia Tostes e Prof. Dr. Irving Montanar Franco, pelo incentivo e direcionamento necessário para a produção deste trabalho.

À Arquiteta Heliana Caballos, a toda equipe do CEAMAZON e às pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a construção desta pesquisa.

À minha filha Karina pela compreensão e colaboração nas últimas horas, à Vonetta Lampkin com sua preciosa colaboração na revisão dos textos em língua estrangeira, à Analuz Marinho e Luciana Magno pelo ‘toque final’ na diagramação do documento.

Em especial, agradeço ao querido José Emilio pelo carinho, compreensão e incentivo, sem os quais não seria possível cumprir mais essa jornada.

Crescem as alturas dos edifícios, mas também crescem as zonas verdes em todas as superfícies disponíveis, no solo e nos tetos, de maneira que na cidade a vivência com a natureza é cotidiana e não somente um acontecimento dominical.

(Walter Gropius)

RESUMO

O desempenho termoenergético de toda obra da construção civil decorre da tomada de decisões na fase projetual e as características termofísicas dos materiais empregados devem ser considerados. O fenómeno termofísico da inércia presente nos telhados vegetais oferece resistencia ao transporte de massa termica para o interior da edificação, reduzindo a demanda de energia elétrica necessaria para seu acondicionamento climático; ao mesmo tempo, o baixo albedo da vegetação dos telhados vegetais contribui para mitigar os efeitos das ilhas de calor em ambientes urbanos. O necessário estudo bioclimático e o microclimático determinarão a escolha dos materiais construtivos adequados, especialmente no que tange à proteção de superficies da envoltória expostas à carga termica solar. Este trabalho irá tratar da comprovação experimental do desempenho termoenergético de uma edificação coberta com grama em local onde predomina a vegetação, no Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá, Campus Universitário da Universidade Federal do Pará. O objetivo é a análise da atenuação dos picos de calor decorrente da inércia térmica dos materiais utilizados, inferindo desempenho energético pela redução do uso de refrigeração ativa. Foram caracterizados os microclimas externos e internos através de valores obtidos de temperatura e umidade relativa do ar, assim como a evolução das condições ambientais internas em duas fases, com a laje descoberta e após com a aplicação do telhado vegetal. Os resultados indicam favorável desempenho do telhado vegetal na redução do fluxo de calor através da laje, apresentando potencial redução na temperatura do ar interior e a conseqüente eficiência energética em edificações no clima amazônico.

Palavras-chave: Arquitetura e conservação de energia; Arquitetura e Clima; Belém(PA) - Clima.

ABSTRACT

The thermoenergetic performance of all construction work stems from the decision-making of the initial phase, and the thermo-physical characteristics of the materials used must be considered. The thermo-physical phenomenon of inertia in the roof vegetable offers resistance to the transport of thermic charge to inside the edification, reducing the demand of the electric energy needed to its climatic conditioning. At the same time, the low albedo of the roof vegetable contributes to mitigate the effects of the heat islands in urban environments. The bioclimatic and microclimatic study needed will determine the choice of the suitable construction materials, especially regarding the protection of surfaces exposed to solar heat load. This work deals with the experimental verification of the thermoenergetic performance of a room covered with grass in a place where the vegetation is predominant, in the Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá, Campus da Universidade Federal do Pará. The key objective was to examine the thermal response of the slab by proving mitigation of heat spikes by physical phenomenon of thermal inertia, implying favorable results of energy performance by reducing the use of active cooling. It was performed preliminary characterization of the indoor and outdoor microclimate through the obtained values of temperature and relative humidity of air, and observed the evolution of internal environmental conditions in two phases, with the slab discovered and after application of vegetation. The quantitative results showed favorable performance of the roof vegetation in the moderation of heat flow through the slab, contributing to the reduction of the temperature of indoor air and consequent energy efficiency in buildings in Amazonian climate.

Keywords: Architecture and energy conservation; Architecture and Climate; Belém(PA) - Climate.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1a	Proporções de população urbana e rural no Brasil, do total da população entre 1950 a 2050.....	19
Fig. 1b	As proporções de população urbana do Brasil, do total da população entre 1950 e 2050, em comparação com a grande área e região.....	19
Fig. 2	Localização do município.....	26
Fig. 3	Evolução populacional no município de Belém do Pará nos censos de 1980 a 2010.....	27
Fig. 4	Ilha de calor urbana.....	28
Fig. 5	Mapa Bioclimático do Brasil.....	28
Fig. 6	Carta bioclimática indicada para Belém do Pará.....	29
Fig. 7	Carta Solar para Belém.....	29
Fig. 8	Precipitação média mensal de Belém do Pará.....	30
Fig. 9	Rosa dos Ventos para a cidade de Belém do Pará.....	30
Fig. 10	Quadro metodológico.....	34
Fig. 11	Consumo final energético de 2011.....	37
Fig. 12	Oferta Interna e Consumo de Energia Elétrica.....	38
Fig. 13	Evolução do consumo nacional de energia elétrica por setor.....	38
Fig. 14	Participação dos setores no consumo nacional de energia elétrica em 2010 e 2011.....	39
Fig. 15	Evolução comparativa entre os setores comercial + residencial e os outros setores.....	39
Fig. 16	Evolução do consumo nacional dos setores residencial e comercial.....	40
Fig. 17	Consumo de energia elétrica por setor – Região Norte.....	40
Fig. 18	Consumo residencial de energia elétrica no Estado do Pará.....	42
Fig. 19	Participação dos setores no consumo de energia elétrica em Belém do Pará.....	42
Fig. 20	Evolução do consumo dos setores residencial e comercial em Belém do Pará.....	43
Fig. 21	Evolução do consumo de energia elétrica por habitante em alguns países..	44
Fig. 22	Laboratórios acreditados pelo Inmetro para certificação de edificações.....	50
Fig. 23	Benefícios ambientais oferecidos pela vegetação urbana.....	52
Fig. 24	Características dos tipos de cobertura vegetal.....	55
Fig. 25	Vidimiry Church, Irland.....	56
Fig. 26	Telhado de turfa.....	57
Fig. 27	Camadas componentes de uma cobertura vegetal.....	58
Fig. 28	Análise comparativa de 4 tipos de telhados.....	61

Fig. 29	City Hall, Canadá.....	62
Fig. 30	8 House complex, Copenhagen, Dinamarca.....	62
Fig. 31	Centro de Convenções de Vancouver.....	63
Fig. 32	Vancouver Olympic and Paralympics' Ville.....	63
Fig. 33	Hospital Bellême, na França.....	64
Fig. 34	Torá Ramont Escola Banim Alto.....	64
Fig. 35	Prédio da Prefeitura do Município de São Paulo.....	65
Fig. 36	Vista superior do TJDFT.....	65
Fig. 37	Detalhes construtivos da cobertura do TJDFT.....	66
Fig. 38	Detalhe TECGARDEN.....	66
Fig. 39	Detalhe Vivo Premium.....	67
Fig. 40	Detalhe Sistema Laminar.....	67
Fig. 41	Detalhe Sistema Galocha.....	68
Fig. 42	Protótipo EVA+grama+cimento amianto & cimento amianto.....	68
Fig. 43	Resultados EVA+grama+cimento amianto & cimento amianto.....	69
Fig. 44a	Vista aérea da região da instalação.....	72
Fig. 44b	Projeto de Expansão do PCT-Guamá.....	72
Fig. 45	Planta de situação do pavilhão e vista lateral sul da sala experimental.....	73
Fig. 46	Croqui da planta baixa do deck experimental.....	73
Fig. 47	Estágios de regeneração da grama.....	75
Fig. 48	Termogramas dos módulos no dia 24 de abril.....	76
Fig. 49	Índices de insolação em Belém do Pará, no período de 1961 a 1990.....	78
Fig. 50	Chuva acumulada no ano de 2012 e no período de 1961 a 1990.....	78
Fig. 51	Temperaturas do ar, médias das máximas de 2012 e período de 1961 a 1990.....	79
Fig. 52	Localização das Estações Climatológicas LABCONF/CEAMAZOM e GEDAE.....	80
Fig. 53	Detalhe do sitio experimental da estação LABCONF/CEAMAZON.....	80
Fig. 54	Estação climatológica LABCONF/CEAMAZON sobre o telhado vegetal.....	81
Fig. 55	Termopares externo e interno, Datalogger CR1000, Termômetro Hobo.....	82
Fig. 56	Termopar externo.....	82
Fig. 57	Termopares internos.....	82
Fig. 58	Vista em corte estação experimental.....	83
Fig. 59	Vista lateral sul da laje experimental.....	84
Fig. 60	Planta dos termopares na laje experimental.....	84
Fig. 61	Aplicação do telhado vegetal.....	84
Fig. 62	Perfil climático do dia fictício do primeiro período.....	87

Fig. 63	Perfil climático do dia fictício do segundo período.....	88
Fig. 64	Fluxo adotado para definição dos dias reais comparativos.....	88
Fig. 65	Panorama dos dias amostrais do primeiro período.....	90
Fig. 66	Panorama dos dias amostrais do segundo período.....	91
Fig. 67	Perfil climático horário do dia 19 de julho de 2012.....	92
Fig. 68	Variação das temperaturas superficiais do dia 19 de julho de 2012.....	93
Fig. 69	Perfil climático horário do dia 01 de agosto de 2012.....	94
Fig. 70	Variação das temperaturas superficiais do dia 01 de agosto de 2012.....	94
Fig. 71	Dados climáticos externos e internos das duas fases.....	95
Fig. 72	Carta Psicrométrica para cidades ao nível do mar.....	97
Fig. 73	Dados climáticos comparativos das condições de laje sem grama e com grama.....	98
Fig. 74	Transporte de carga térmica através da laje descoberta, no horário diurno.	99
Fig. 75	Transporte de carga térmica através da laje descoberta, no horário noturno	101
Fig. 76	Simulações de sensação térmica.....	102
Fig. 77	Temperaturas dos pontos de monitoramento na laje sem grama e com grama.....	103
Fig. 78	Fachada norte.....	104
Fig. 79	Planta baixa da sala, ventilação no sentido norte-sul.....	104
Fig. 80	Ângulos de sombra gerados pela extensão vertical da parede leste até as 12 horas.....	105
Fig. 81	Trânsito solar entre solstícios. Vista lateral oeste.....	106
Fig. 82	Fachada oeste.....	106
Fig. 83	Vegetação alta.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Especificação da capacidade de carga do sistema (modulo + grama).....	74
Tabela 2	Temperatura do ar – Média das máximas de 2012.....	79
Tabela 3	Especificação do material utilizado no telhado vegetal.....	81
Tabela 4	Índices máximos diários dos parâmetros climáticos externos dos dois períodos.....	85
Tabela 5	Índices de maior aproximação aos dos dias fictícios.....	89
Tabela 6	Amplitudes das temperaturas superficiais dos dias 19 de julho e 01 de agosto de 2012.....	96
Tabela 6	Inércia térmica das temperaturas superficiais do dia 19 de julho e 01 de agosto de 2012.....	96

LISTA DE FÓRMULAS

For. 1	Média das temperaturas no intervalo de 15 minutos.....	86
For. 2	Média das estações de determinado índice.....	86
For. 3	Média das máximas temperaturas do ar, em determinado horário, dos dias analisados.....	86
For. 4	Média das temperaturas superficiais internas, em hora específica.....	87

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO.....	17
1.1 Os climas urbanos construídos pelo homem.....	18
1.1.1 Salubridade e microclimas urbanos.....	19
1.1.2 Clima urbano e o consumo de energia elétrica.....	20
1.2 Construção climática do município de Belém do Pará.....	21
1.2.1 Condições históricas, econômicas e sociais que construíram a paisagem climática de Belém.....	21
1.2.2 Atual quadro climático do município de Belém.....	26
1.3 Relevância da pesquisa.....	32
1.4 Objetivos do Trabalho.....	33
1.5 Metodologia Adotada.	34
1.6 Estrutura dos Tópicos abordados.....	35
2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.	36
2.1 Balanço nacional do setor elétrico.....	37
2.1.1 Consumo de energia elétrica na Região Norte.....	40
2.1.2 Consumo de energia elétrica no Estado do Pará.....	41
2.1.3 Consumo de energia elétrica no município de Belém do Pará.....	42
2.2 Programas de certificação ambiental existentes no Brasil e no mundo destinados a edificações.....	43
2.3 Políticas nacionais sobre eficiência energética em edificações.....	48
2.3.1 Sistemas de etiquetagem de edificações no Brasil.....	49
2.3.2 Políticas públicas em alguns Estados brasileiros destinadas à responsabilidade ambiental.....	51
3. TELHADOS VEGETAIS.....	53
3.1 Caracterização.....	54
3.2 Tipos de telhados vegetais.....	55
3.3 Diversidade dos elementos componentes de um telhado vegetal.....	55
3.4 Impacto dos telhados vegetais em edificações.....	59
3.5 Telhados vegetais no Brasil, no mundo e suas aplicações.....	62
3.6 Tecnologias disponíveis no mercado brasileiro.....	66
3.7 Considerações Gerais.....	70

4. CAMPO EXPERIMENTAL MATEMÁTICO.....	71
4.1 Parâmetros climáticos considerados.....	72
4.2 Caracterização do sitio experimental.....	72
4.3 Materiais e métodos adotados na estação experimental.....	74
4.3.1 Procedimentos iniciais e análise do modelo em escala reduzida.....	74
4.3.2 Procedimentos experimentais em escala real.....	77
4.3.2.1 Escolha dos períodos analisados.....	78
4.3.2.2 Estações climatológicas adotadas.....	80
4.3.2.3 Montagem da estação experimental.....	81
4.3.2.4 Instrumentos utilizados na coleta dos dados ambientais internos e superficiais.....	82
4.3.2.5 Escolha dos pontos de observação.....	83
4.3.2.6 Aplicação do telhado vegetal.....	84
4.3.2.7 Análise dos perfis climatológicos diários.....	85
4.3.3 Método de coleta e tratamento de dados.....	85
4.3.3.1 Dados climáticos externos.....	86
4.3.3.2 Dados climáticos internos.....	87
4.3.3.3 Dados das temperaturas dos pontos de sensoriamento.....	87
4.3.4 Construção dos dias fictícios de cada período.....	87
4.3.5 Definição dos dias reais de referência de cada período.....	88
4.3.6 Perfis climáticos horários dos dias reais.....	92
4.4 Análise comparativa dos perfis horários dos dois dias reais.....	95
4.5 Resultados e discussões.....	98
4.5.1 Comportamento higrotérmico interno da sala, antes e após a aplicação do telhado vegetal.....	98
4.5.1.1 Transporte de carga térmica - Horário diurno.....	99
4.5.1.2 Transporte de carga térmica - Horário Noturno.....	101
4.5.1.3 Elevação da umidade relativa do ar interior após a aplicação do telhado vegetal.....	102
4.5.1.4 Sensação térmica no interior da sala.....	102
4.5.2 Migração dos pontos de maior temperatura após a aplicação do telhado vegetal.....	103
4.5.3 Participação dos outros componentes da envoltória nos resultados.....	104
4.5.4 Participação de elementos do entorno da sala nos resultados.....	106
4.5.5 Influência da proporção das áreas protegidas da envoltória na temperatura do ar interior.....	107
4.5.6 Emissão do calor refletido de revestimento de cor clara e de telhados vegetais.....	107

4.5.7	Influencia da ventilação.....	108
4.5.8	Contribuição do telhado vegetal para a aquisição de pontos com vistas à certificação na classificação da envoltória.....	108
5.	CONCLUSÕES.....	110
5.1	Perspectivas futuras.....	114
	REFERENCIAS.....	115
	ANEXOS.....	120
	ANEXO A – Parâmetros climáticos e de temperatura da laje do mês de julho de 2012...	121
	ANEXO B – Parâmetros climáticos e de temperatura da laje do mês de agosto de 2012.....	123
	ANEXO C – Declaração de sobrecarga da laje.....	125

1 INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO

1.1 Os climas urbanos construídos pelo homem.

A poluição do ar, a poluição sonora e a formação de ilhas de calor urbana entre outros efeitos antropogênicos impulsionam parcela da população a abrigarem-se em ambientes fechados e assim residências e locais de trabalho são construídos para oferecer condições de conforto físico e mental a seus usuários, com arrojados e globalizados projetos arquitetônicos, dependentes de um amplo consumo de energia elétrica para alimentar seu sistema de climatização.

A exclusiva preocupação com o microclima interno pode agravar os problemas do clima urbano, que responde de forma mais agressiva e impondo cada vez mais a permanência em refúgios climatizados artificialmente, criando um doentio sistema simbiótico. Trata-se de um processo reversível e a necessária quebra desse sistema deve ser feita com medidas eficazes que envolva toda a sociedade, utilizando recursos como a criação de áreas arborizadas, a adoção de materiais construtivos de baixa condutividade térmica nas vias públicas e de materiais com propriedades termoisolantes em edificações, especialmente em projetos habitacionais para comunidades de baixa renda e de infraestrutura urbana com vistas à recuperação de áreas degradadas ambientalmente.

Há décadas a preocupação sobre o clima urbano foi documentada no IV Congresso Internacional de Arquitetura Moderna (CIAM) ¹ realizado em Atenas em 1931, que chegou ao seguinte postulado: “O sol, a vegetação e o espaço são as três matérias primas do urbanismo. A adesão a esse postulado permite julgar as coisas existentes e apreciar as novas propostas de um ponto de vista verdadeiramente humano” (CARTA..., 1931).

O postulado anunciado pelos arquitetos há 82 anos, registrado na Carta de Atenas², indica os fatores essenciais a serem considerados na (re)criação do espaço com aporte na humanização do próprio meio urbano. Sua adesão se faz cada vez mais necessária para a indispensável qualidade de vida nas cidades, nos dias atuais e nos futuros.

A Carta de Atenas percebia as cidades como organismo composto de estruturas funcionais constituídos de espaços livres e com vegetação entre

¹ Evento organizado pelos principais nomes da Arquitetura Moderna internacional a fim de discutir os rumos dos vários domínios da Arquitetura.

² Resolução do IV Congresso Internacional de Arquitetura Moderna em 1931,

edificações; previa o controle da ocupação do solo, a necessidade de planejamento regional e intraurbano, entre outros aspectos. O organicismo conceituado na Carta apresenta a dependência dos diversos matizes estruturais da malha urbana para a formação do seu microclima e da salubridade ambiental.

1.1.1 Salubridade e Microclimas urbanos.

O crescimento populacional urbano sempre vem acompanhado de mudanças na cobertura do solo, na qualidade da água e do ar, em função das necessidades de habitar e circular, conjugando fatores que nem sempre coadunam aos interesses coletivos.

Os dados do Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, atualizados em 25 de abril de 2012, apresentam a perspectiva da urbanização para o Brasil até o ano de 2050. A figura 1(a) informa o grande crescimento das zonas urbanas e declínio das zonas rurais e a figura 1(b) a crescente posição do Brasil em relação a América do Sul, América Latina e Caribe (WORLD U.P., 2011).

PERFIL DO PAÍS: BRASIL

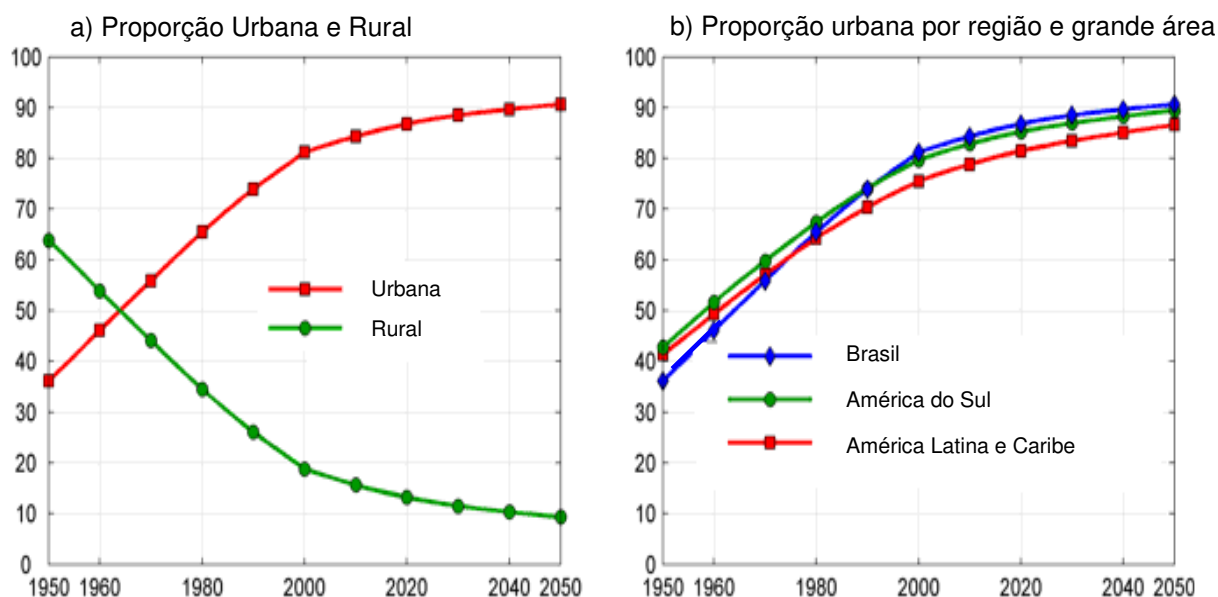


Figura 1 (a): **Proporções de população urbana e rural no Brasil, expressa em percentagem do total da população entre 1950 a 2050.**

(b): **Proporções de população urbana do Brasil do total da população entre 1950 e 2050, em comparação com a grande área e região de localização.**

Fonte: Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (2012).

O mercado imobiliário para atender a crescente necessidade habitacional vem ignorando regras de salubridade domiciliar e urbana, construindo edificações ineficientes economicamente e ambientalmente, com materiais construtivos inadequados ao clima local, com deficientes aberturas para ventilação e iluminação dos cômodos, sem planejar áreas de vegetação no entorno na edificação. Situação agravada nas regiões periféricas onde a degradante infraestrutura domiciliar se estende para as ruas e bairros, suprimindo áreas verdes em nome do digno direito à moradia, mesmo em condições indignas.

1.1.2 Clima urbano e o consumo de energia elétrica.

Até um passado recente a arquitetura bioclimática se destinava exclusivamente às edificações e percebia o edifício como causa primeira do consumo de energia elétrica, sem levantar o olhar para outras áreas edificadas nos espaços públicos, que muito contribuem para o aquecimento do ar urbano, assim como também para os outros efeitos antropogênicos como a poluição sonora e do ar. Atualmente possui um propósito de maior complexidade, visto que envolve diversas ciências e exige a participação de diferentes atores sociais para a prevenção e solução dos agravos microclimáticos naturais e antropogênicos das grandes cidades.

Dessa forma, a arquitetura bioclimática vem com o propósito pertinente de amenizar impactos ambientais e oferecer melhores condições de salubridade nos ambientes construídos, sendo recomendada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2005), que indica grandes aberturas posicionadas de forma a possibilitar a ventilação para mitigar altas temperaturas e umidade relativa do ar em regiões de clima quente e úmido. São medidas necessárias, porém a sua adoção depende de outras medidas de gestão pública, que objetivem reduzir a poluição sonora e do ar, também responsáveis para o refugio de parte da população em ambientes climatizados em grandes centros urbanos.

A atual política energética indica as edificações eficientes para a redução do consumo de energia elétrica oferecendo boas condições de funcionalidade, salubridade, conforto, sendo uma abordagem dos programas de certificação ambiental existentes no Brasil e no mundo, uma grande contribuição para a higienização climática dos grandes centros urbanos.

1.2 Construção climática do município de Belém do Pará.

Belém do Pará é palco de diversas transformações construtivas que vêm ocorrendo na esteira temporal de quatro séculos de existência, algumas incompatíveis com o seu clima, muito embora tenham contribuído para a formação da sua paisagem cultural e urbana. O conhecimento de algumas dessas transformações oferece uma reflexão sobre a atual conjuntura climática da cidade. Dessa forma, foi necessário um resgate da sua história urbana e arquitetônica em documentos deixados pelos historiadores e pesquisadores, sem a pretensão de realizar um estudo profundo sobre o tema, apenas evidenciar alguns recursos arquitetônicos e de infraestrutura urbana que mais marcaram a história do município, que ainda permanecem e contribuem para a formação do seu microclima.

1.2.1 Condições históricas, econômicas e sociais que construíram a paisagem climática de Belém.

Fundada em 12 de janeiro de 1616 como colônia portuguesa em região que compreendia uma estreita faixa de terra limitada em entre as vertentes do rio Guamá e a baía do Guajará, cujo marco inicial foi a construção do Forte do Presépio em local estratégico com vistas ao monitoramento da entrada para a Amazônia.

A partir do Forte do Presépio, surge o 1º núcleo urbano chamado Feliz Lusitânia, definido pelo rio Guajará (Baía do Guajará), pelo rio Guamá e pela baixada do Piri³, conforme descreve Penteado (1968, p. 95-100):

(...) o forte do Presépio, assentado sobre a extremidade mais ocidental de “uma pequena península, fragmento de terraço de 7-8 metros, contornado pelo rio Guamá, ao sul, o rio Guajará (sic), a oeste, e uma pequena baía, ao norte”, ficava a cavaleiro das águas, em posição eminentemente defensiva, como impunha a estratégia daquela época, gozando ainda da vantagem de ficar isolada do continente pela baixada alagadiça do Piri.

As primeiras ruas se apresentavam estreitas, um recurso muito utilizado na arquitetura colonial para impedir a penetração de incidência solar intensa e o combate das altas temperaturas (BRUAND, 2010, p.12).

Os estreitos lotes e de grande profundidade eram ocupados por casas térreas construídas até aos limites laterais, restando apenas o quintal para iluminação e

³ O Piri constituiu uma área alagada que dividiu Belém em dois grandes núcleos, a Cidade e a Campina. Suas águas corriam ao encontro da baía do Guajará e do rio Guamá.

ventilação dos cômodos. As casas de madeira possuíam um único pavimento, fachada com porta e janela, piso de terra batida e cômodos centrais quase escuros, como descreve Meira Filho (1976 p. 27):

(...) erguiam-se de madeira, rústicas moradas, cobertas de palha de pindoba ou ubuçu, chão batido, portadas em ripado leve, urupemas [esteiras] nos vão das janelas e quase nenhuma penetração de luz no interior. Ausentes do lugar materiais especializados e carência absoluta de outros elementos construtivos, os colonos dispunham com habilidade os recursos da terra; seguiam a técnica dos nativos, com emprego de argilas, varas cipós, barro, palha, etc., abundantes na região e de apreciável duração nas construções.

As casas foram se modificando conforme a cidade ia crescendo. Paredes passaram a ser construídas com taipa⁴ e nas residências importantes utilizavam pedra e cal e raramente utilizavam tijolos de adobe⁵. Telhados⁶ despejavam a água da chuva para o quintal e para a rua. A implantação da edificação no limite lateral tinha uma das funções de proteção de infiltrações. Quando a altura da parede superava o limite vertical da edificação vizinha, esta parte era cobertas por telhas (REIS FILHO, 1978, p. 26 - 27).

O 2º núcleo urbano chamado Campina surge na segunda metade do sec. XVII. A transposição entre os dois núcleos urbanos separados pelo Piri acontecia por uma ponte de estiva. Nos fins do século XVII era possível reconhecer o embrião dos dois núcleos urbanos, que constituíam o que se chamava Cidade, junto ao Forte do Presépio e Campina, em torno da rua dos mercedários (PENTEADO, 1968, p. 106 -107).

Belém possuía uma economia baseada na exportação de produtos locais e o mercado do Haver o Peso (Ver-O-Peso) desenvolvia atividades comerciais e portuárias da exportação da borracha. O comércio prosperou e surgiram residências mais espaçosas na região próxima ao mercado, construídas de pedra e barro (PENTEADO, 1968, p. 109).

Surgiram os sobrados, marcando uma estratificação social, cujo elevado assoalho permitia o uso do porão para o comércio ou para abrigo de carruagens, animais e escravos (REIS FILHO, 1978, p. 28).

⁴ Taipa: Parede feita com a mistura de barro e areia socados em engradado de caibros e ripas.

⁵ Adobe: Bloco feito de argila e palha, seco ao sol.

⁶ Telhas introduzidas em Belém em 1617.

A população em 1788 somava 10.620 habitantes e já existiam moradores pelos subúrbios em habitações isoladas na mata (PENTEADO, 1968, p. 111).

Wallace (1923-1913, p. 41-42) descreve as rocinhas com quartos altos e espaçosos tendo cada um, meia dúzia de portas e janelas muito bem apropriadas a um clima tropical. O autor descreve amplas varandas nas casas rurais como elementos arquitetônicos que ajudaram no conforto térmico das casas:

(...) estão as “rocinhas” ou casas de campo, havendo uma, duas ou mais, em cada quarteirão. São de um só pavimento, dispendo de várias salas e quartos, todos muito espaçosos e uma grande varanda, que é utilizada como sala de jantar e é o cômodo mais apropriado para descanso ou para trabalho.

Em 1803 foram iniciadas as obras de ressecamento do Piri, integrando física e definitivamente os bairros da Cidade e da Campina (PENTEADO, 1968, p. 114).

No final do sec. XVIII inicia o processo de interiorização de Belém, destacando duas vias de penetração: o eixo da estrada do Utinga (Nazaré, Magalhães Barata e Almirante Barroso) e estrada de Cruz das Almas (Arcipreste Manoel Teodoro). Esses dois eixos deram origem a áreas afastadas do centro urbano, cujas habitações eram muito próximas aos tipos do início da colonização (PESSOA, 2007, p. 56).

No sec. XIX a permanência dos azulejos enriqueceram as fachadas das residências dos ricos comerciantes ao mesmo tempo protegia as paredes da umidade e do calor do sol (EMBAIXADA DE PORTUGAL NO BRASIL, 2012). No final do sec. XIX, além das transformações físicas e espaciais ocorreram também medidas de higienização urbana.

Os anseios de uma nova ordem econômica, decorrente da Revolução Industrial e da política com vistas ao progresso, permitiram a Antonio Lemos vultosas mudanças na infraestrutura urbana de Belém (LEMOS, 1902). O plano diretor na época previa a ocupação integral da 1ª Léguas Patrimonial ⁷ com ruas largas de 44 metros e travessas com 22 metros sem superposição com o núcleo urbano do sec. XVIII (PESSOA, 2007, p. 56).

Surgiram as construções afastadas dos limites laterais do terreno e em lotes mais largos. Nos lotes estreitos utilizavam áreas laterais abertas que favoreciam a

⁷ 1ª Léguas Patrimonial: Área territorial doada pela Coroa portuguesa em 1746 à Comarca da Cidade, correspondente a uma légua a partir do Forte do Presépio.

iluminação e ventilação dos cômodos posteriores e o porão, com altura menor, possuía elementos vazados para a ventilação. Nos lotes estreitos, os cômodos intermediários tinham aberturas para um avarandado interno, aberto para um pátio ou jardim, por onde recebiam iluminação e ventilação (REIS FILHO, 1978, p. 46).

Com a valorização dos lotes do bairro comercial, as famílias ricas foram ocupando a freguesia de Umarizal, Nazaré e Batista Campos, onde a terra mais barata favorecia a aquisição de grandes lotes onde construíram vivendas mais amplas e confortáveis, em sítios mais ventilados (PENTEADO, 1968, p. 135).

A revolução industrial possibilitou o transporte vertical e assim surgiram os arranha-céus, facilitou a chegada de diversos produtos, desde máquinas, equipamentos, materiais de construção e estruturas de ferro de prédios inteiros, como o Mercado de Peixe do Ver-O-Peso e o Chalé de Ferro do NUMA-UFPA. Os velhos sobrados e casas na região mais alta da cidade foram sendo substituídos gradativamente por prédios de alguns andares com destinação comercial. As edificações assumem escala monumental e, sob a influência do ecletismo, as residências de ricos proprietários foram construídas com materiais mais nobres como o ferro, o vidro e os tijolos de argila cozida.

A implantação das bases militares durante a segunda guerra nos limites das 1ª Léguas Patrimoniais deu origem a um “cinturão institucional”⁸ criou obstáculo para a expansão territorial naquele sentido e gerou um estrangulamento na área central do município, o que proporcionou o aumento da ocupação de baixadas⁹.

A construção da rodovia Belém-Brasília em 1958 intensifica a ocupação urbana favorecendo a integração nacional da Amazônia com o resto do país. Trouxe facilidades comerciais e grandes obras de infraestrutura que oportunizaram o êxodo rural e interestadual, proporcionou uma nova roupagem na prática arquitetônica, com a assimilação de novos modelos advindos do sul do país.

O uso do concreto armado, aliado à plasticidade das formas ditadas pelo Modernismo, ofereceu sólidas estruturas, permitindo edifícios cada vez mais altos e globalizados esteticamente, liberando o tijolo da função de sustentação estrutural e a adoção abundante do vidro na fachada principal. As lajes substituíram os assoalhos

⁸ Grande área territorial constituída na década de 40, pertencentes ao Ministério do Exército, Marinha e Aeronáutica, Universidade Federal do Pará, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Companhia de Saneamento do Pará e outras instituições públicas.

⁹ Áreas urbanas de baixas cotas altimétricas, alagadas ou alagáveis.

e as estruturas de concreto armando, as vigas de madeira. Ocorreu a revisão na escala do ambiente interno, com pés-direitos em até 3 metros e compartimentos mais reduzidos.

A partir da década de 1980 a expansão urbana seguiu em direção ao município de Ananindeua e assim multiplicaram os loteamentos populares além da 1ª Léguas Patrimonial.

A escassez de terrenos firmes dentro da 1ª Léguas patrimonial permitiu a ocupação espontânea de áreas alagadas e alagáveis dos canais e de quintais, onde a vegetação remanescente foi sendo suprimida para a construção de reduzidas edificações, cujo acesso ocorre por estreitos corredores que iluminam e ventilam precariamente seus parques cômodos.

Enquanto isso a valorização da área central do município acentua o processo de verticalização imobiliária, apresentando grandes alterações na rugosidade urbana¹⁰ e no seu microclima. Compactos quarteirões alinhados por edifícios com pouca ou nenhuma área vegetada formam paredões com muros altos (*cânions*), que riscam a cidade em vários sentidos formando túneis de vento, sem oferecer a necessária transversalidade para a ventilação circular entre os lotes no nível mais próximo ao solo, uma característica comum em todos os centros urbanos densamente habitados.

O panorama atual faz rememorar as épocas mais remotas da evolução urbana de Belém quando o sitio urbano se transformou em áreas insalubres, épocas em que era possível recorrer ao isolamento das distantes rocinhas avarandadas e ajardinadas para obter o conforto desejado, distante da poluição do ar e do solo; um recurso ainda muito utilizado nos tempos atuais, porém em “rocinhas” que se resumem em quatro paredes sob refrigeração ativa e dentro de um poluído centro urbano.

¹⁰ Rugosidade urbana: perfil da superfície horizontal de um centro urbano.

1.2.2 Atual quadro climático do município de Belém.

O município de Belém, capital do Estado do Pará, está localizado na latitude 01°27'20" Sul e longitude 48°30'15" Oeste, possui cotas abaixo de 4 metros e clima quente e úmido. É constituído por porção continental e uma região insular formado por 43 ilhas. A população total de 1.393.399 habitantes (IBGE, 2012) encontra-se distribuídas numa área de 1.059,40 km², compreendendo 08 distritos administrativos: DAGUA (Guamá), DAICO (Icoaraci), DABEN (Benguí), DABEL (Belém), DAENT (Entroncamento), DASAC (Sacramento), DAMOS (Mosqueiro) e DAOUT (Outeiro), sendo estes dois últimos os que apresentam domicílios urbanos e rurais (IBGE, 2012), conforme se apresenta a figura 2.

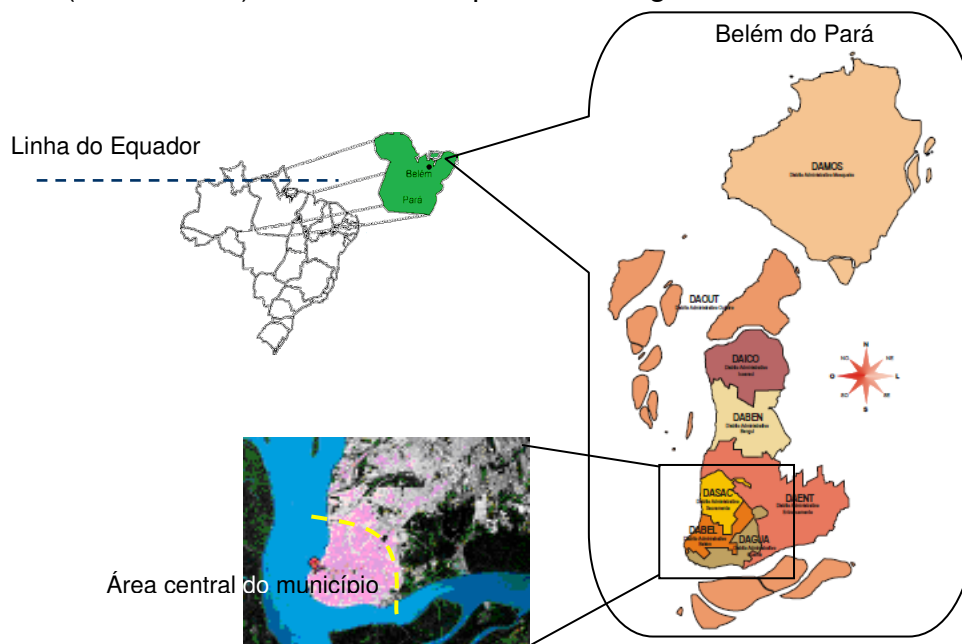


Figura 2: **Localização do município.**

Fonte: adaptado do Anuário Estatístico de Belém, 2012; Google Earth, imagem de 25.07.2011.

A densidade populacional do município em 2000 era 1.196,72 hab./km² e em 2010 acusou 1315,27 hab./km². Aponta o distrito DAGUA como de maior população com 342.742 hab. O número total de domicílios particulares permanentes em 2000 foi de 296.352 e em 2010 acusou 365.658 somente na região urbana (IBGE, 2012).

A busca por melhores condições de renda, educação e saúde estimulam a migração populacional de locais menos assistidos para grandes centros urbanos, que, paulatinamente, absorvem essa população sem oferecer infraestrutura adequada.

A figura 3 apresenta o significativo crescimento populacional na área urbana de Belém e redução na rural, conforme o censo dos últimos 20 anos (IBGE, 2012).

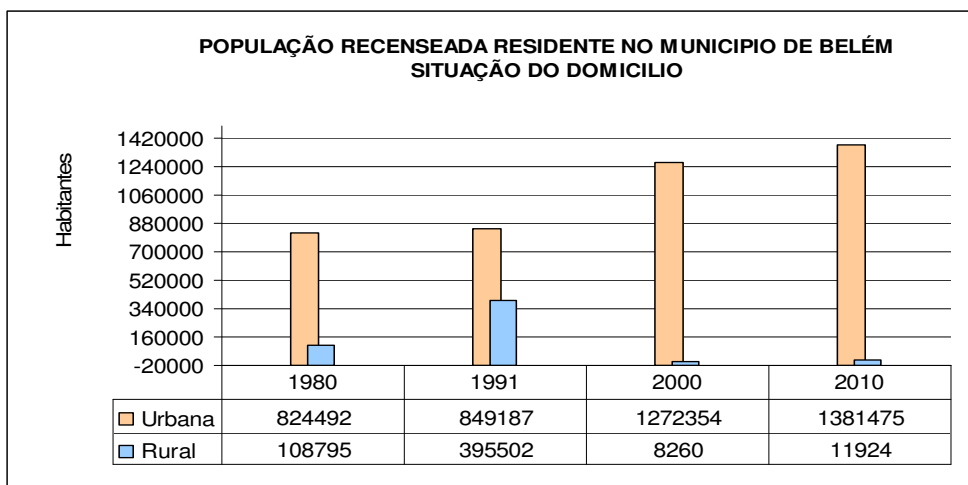


Figura 3: **Evolução populacional no município de Belém do Pará nos censos de 1980 a 2010.**
Fonte: Adaptado Anuário Estatístico de Belém, 2012.

A retirada de remanescentes áreas arborizadas para a ocupação imobiliária, a pavimentação asfáltica e a forma de como está ocorrendo a verticalização do município são fatores que vêm alterando a morfologia urbana e contribuindo para o aumento da temperatura do ar de Belém.

LUZ (2006 apud Rodrigues; LUZ 2007) constata que em 1984 o índice de cobertura vegetal da área dos distritos DAGUA, DABEL e DASAC correspondia a 49% e em 2004 e retraiu para 27%. Os mesmos autores em 2007 mostraram que em 2004 as áreas arborizadas dos distritos DABEL correspondiam a 29,39%, DAGUA a 18,2% e DASAC a 16,9% dos totais de suas respectivas áreas.

O índice de arborização recomendável para um adequado balanço térmico nas áreas urbanas está em torno de 30% e em áreas onde o índice de arborização é inferior a 5% a característica climática assemelha-se a regiões desérticas (LOMBARDO, 1985 apud Rodrigues; Luz, 2007).

CASTRO (2009) em estudo sobre as Ilhas de Calor e Ilhas de Frescor em Belém nos anos de 1997 e 2008 identifica predominância de ilhas de calor dentro da 1ª légua patrimonial de Belém. O autor esclarece que as temperaturas mais elevadas estão onde há prevalência dos históricos galpões industriais no Reduto e as mais baixas em áreas próximas às avenidas arborizadas e em parques ambientais.

Áreas de maior concentração de edificações e baixo índice de vegetação formam bolsões superficiais de ar com temperatura elevada, são as chamadas Ilhas de Calor Urbanas. Conforme a *United State Environmental Protection Agency – EPA* (2013). As temperaturas do ar e as superficiais noturnas nessas áreas são mais elevadas e aproximam-se da temperatura do ar diurna, conforme a figura 4.

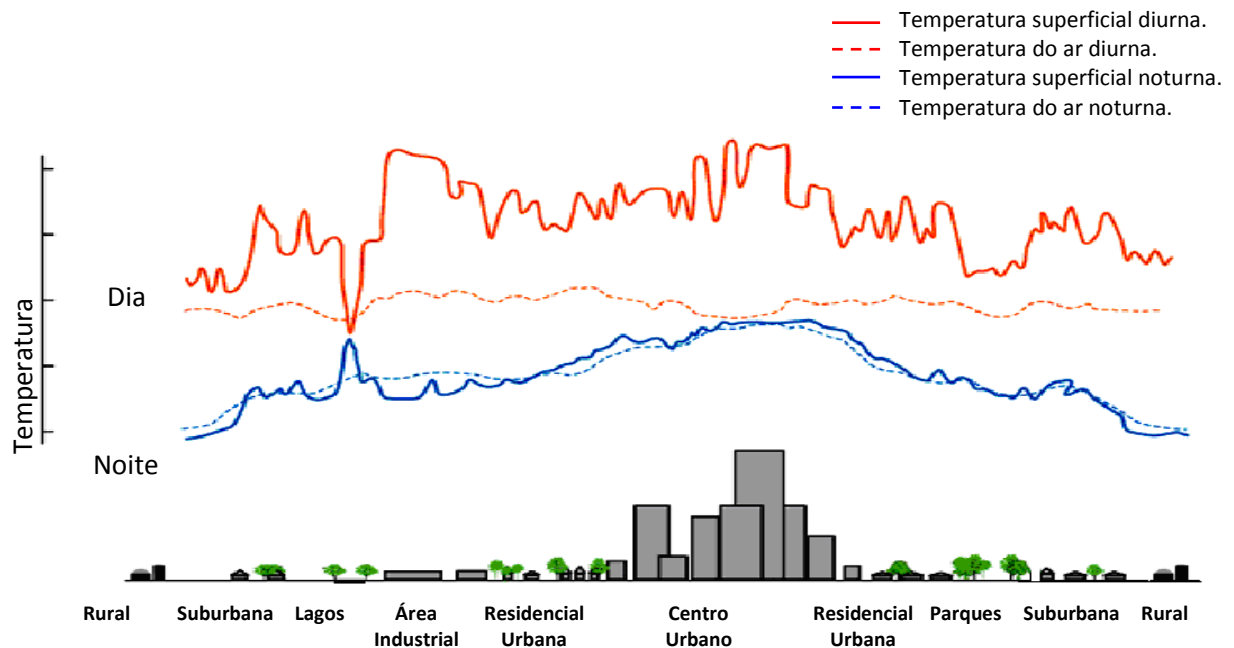


Figura 4: **Ilha de calor urbana.**
Fonte: U.S. EPA

A elevação da temperatura do ar decorrente dos efeitos antropogênicos é potencializada pelas características climáticas naturais das regiões de baixas latitudes, onde predomina elevada incidência solar ao longo do ano.

No Zoneamento Bioclimático brasileiro definido pela Norma Brasileira, NBR 15220 – 3, da ABNT, constam um conjunto de diretrizes construtivas para 08 zonas climáticas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social. A figura 5 apresenta as zonas das cidades brasileiras. Belém do Pará pertence à 8ª zona.

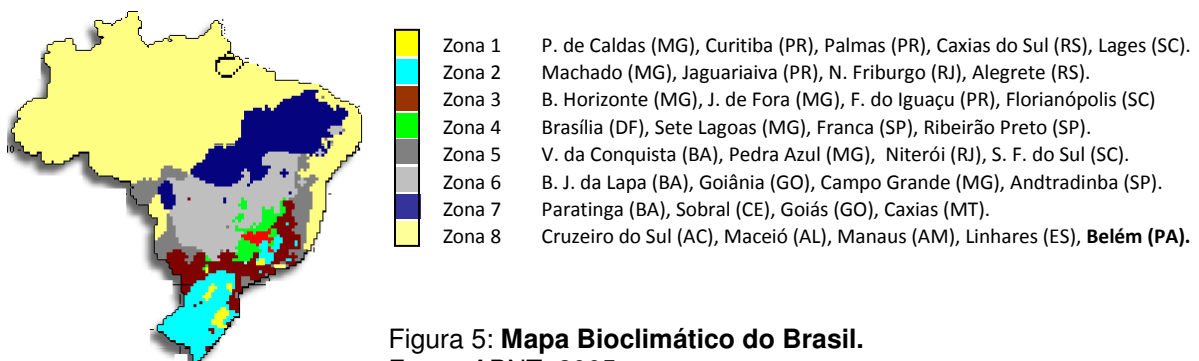


Figura 5: **Mapa Bioclimático do Brasil.**
Fonte: ABNT, 2005.

As diretrizes definidas pela NBR 15220 – 3 para Belém do Pará são baseadas na Carta Bioclimática¹¹, conforme a figura 6, onde aponta a ventilação como principal estratégia para minimizar o desconforto térmico e a umidade do ar, nesse sentido recomenda grandes aberturas na envoltória¹² e a proteção das mesmas contra a incidência solar.

- 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

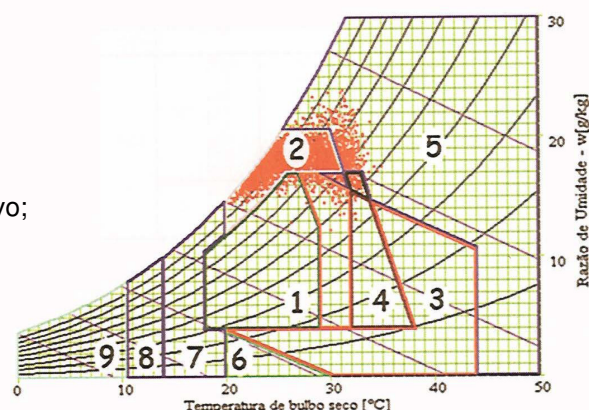


Figura 6: **Carta Bioclimática indicada para Belém do Pará.**

Fonte: Lambert et. al. 2007

A figura 7 mostra a Carta Solar¹³ de Belém onde são definidos dois períodos do ano com a faixa de temperatura horária. No período de 22 de dezembro a 21 de junho a temperatura do ar medida pelo TBS¹⁴ se apresenta superior que 25°C e no período de 22 de junho a 21 de dezembro, período menos chuvoso, essa mesma temperatura acusa desde as 07h30min.

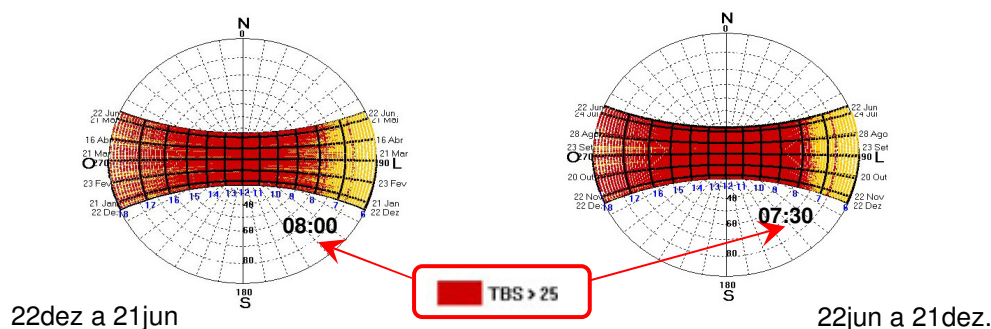


Figura 7: **Carta Solar para Belém.**

Fonte: Software Sol-Ar, LabEEE.

¹¹ Diagrama psicrométrico onde estão definidas a zona de conforto e as demais zonas com as principais estratégias bioclimáticas a serem usadas em projeto de edificação. Modelo adotado pela ABNT que considera somente as variáveis de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar.

¹² Planos que separam o ambiente interno do ambiente externo.

¹³ Diagramas específicos para determinada latitude, que representam o percurso do Sol na abóbada celeste nas diferentes horas do dia e períodos do ano.

¹⁴ Termômetro de Bulbo Seco: medição da temperatura sujeita a corrente de ar e vapor.

Os Boletins Agroclimatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2012) informam que a média das máximas da temperatura do ar de Belém do ano de 2012 subiu 0,76°C em relação à série histórica do período de 1961 a 1990¹⁵. Os índices pluviométricos médios mensais proporcionam elevada umidade do ar, conforme a figura 8, especialmente no período de dezembro a maio, de acordo com a normal climatológica do INMET (2012).

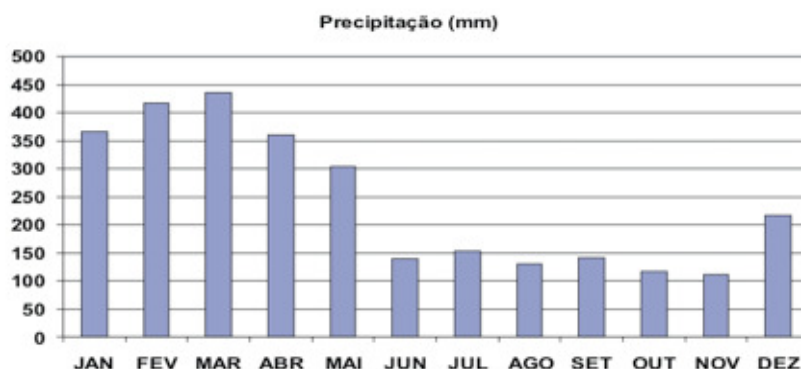


Figura 8: **Precipitação média mensal de Belém do Pará.**

Fonte: Normal climatológica 1961 – 1990, INMET, 2012

O vapor d'água contido no ar possui contribuição significativa para a sensação de conforto térmico. Importante lembrar que toda massa de ar contém uma quantidade limitada de vapor d'água a uma determinada temperatura; quanto mais quente é o ar mais vapor d'água ele comporta, podendo atingir uma umidade relativa de 100%, quando ocorrem as chuvas.

De acordo com o diagrama *Rosa-dos-ventos*, na figura 9, a velocidade média dos ventos em Belém do Pará é de 3m/s, com predominância da direção leste durante todo o ano.

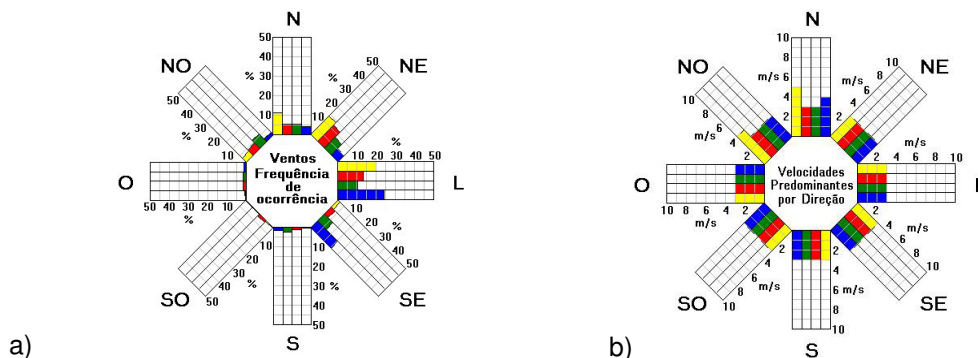


Figura 9: **Rosa-dos-Ventos para a cidade de Belém do Pará. a) Direção, b) Velocidade.**

Fonte: Software Sol-Ar, LabEEE.

¹⁵ Normal climatológica do período de 1961 a 1990 – INMET.

Lambert et al. (2007) esclarece que no clima úmido a alta umidade do ar oferece resistência para a dispersão de calor das camadas mais próximas ao solo, o que não ocorre em lugares de clima seco e, por esse motivo, a temperatura do ar noturno é mais quente em locais úmidos do que em locais secos.

Os ventos aceleram as trocas de calor sendo fundamental para obtenção das condições mínimas de conforto no clima quente e úmido, conforme prescreve a ABNT. Porém, trata-se de um recurso pouco utilizado em Belém do Pará em virtudes de ações antropogênicas como o agravamento da temperatura do ar exterior, a poluição do ar e sonora.

Moraes et al. (2009), através de simulação preditiva, calculou para 2020 o impacto do ruído do trânsito em principais avenidas de acesso à área central de Belém de Pará e estimou níveis de 75dBA a 84dBA em quase toda extensão da Av. Perimetral e na Av. Almirante Barroso os níveis de ruído pode chegar a 90dBA.

O Departamento de Trânsito do Estado do Pará (2012), em estudo sobre a projeção da frota de veículos para 143 municípios paraenses, constata que o município de Belém teve um crescimento anual de 12% entre 2009 e 2010 e estima um crescimento de 121% até o ano de 2017 em relação ao ano de 2010.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2010) constata que o tráfego de veículos é uma das principais fontes emissoras e afirma que os veículos automotores causam mais poluição do ar do que qualquer atividade humana.

Os estudos de Moraes et al. (2009) sobre o nível de ruído urbano em Belém e os dados estatísticos do Departamento de Trânsito do Estado do Pará (2012) sobre o crescimento da frota veicular apresentam preocupantes resultados sobre os efeitos da poluição sonora e do ar no município. São fatores que muito contribuem para o desconforto ambiental e para o isolamento em ambientes climatizados.

A ventilação natural nos ambientes internos depende também de medidas de gestão pública no sentido de reduzir a poluição do ar e sonora. São medidas necessárias para que as ações da engenharia sobre a redução da temperatura do ar urbano venham ser percebidas, de forma a oportunizar a população ventilar os ambientes e reduzir o consumo de energia elétrica com refrigeração ativa.

1.3 Relevância da Pesquisa.

Após o breve panorama apresentado sobre a constituição de clima urbano do município de Belém, torna-se mais fácil entender as origens dos problemas atuais e propor mudanças com medidas pontuais e coletivas, que objetivem um novo direcionamento para que o município continue crescendo, porém em plataformas sustentáveis de desenvolvimento.

São medidas multidisciplinares nas áreas da arquitetura e urbanismo, engenharias, com o fundamental envolvimento da gestão pública na elaboração e coordenação das ações.

Grande é a responsabilidade da arquitetura e das engenharias, considerando a apropriação do conhecimento físico-matemático e urbanístico necessários para a (re)construção de edificações e do meio urbano. Nesse sentido, destaca-se a importância de se utilizar tendências construtivas que ofereçam o direito de viver no ambiente urbano com mais qualidade e menos impacto ambiental.

Este trabalho trata da avaliação do telhado vegetal como tendência construtiva com vistas à redução da temperatura e da umidade relativa do ar no interior de uma sala e a decorrente redução de uso de equipamentos de refrigeração ativa.

Os resultados apresentarão subsídios para identificar outros elementos da edificação que participam da construção do microclima interno da sala, assim como aporte para a possível aplicação dessa técnica de forma a reduzir as ilhas de calor existentes no município de Belém de Pará.

Sua importância ganha corpo pelo caráter atual e envolver saberes interdisciplinares, o que abre um vasto campo para futuras investigações.

1.4 Objetivos do Trabalho.

O Objetivo Geral é avaliar os efeitos higrotérmicos internos sala coberta com telhado vegetal, na cidade de Belém do Pará, com vistas à redução do consumo de refrigeração ativa.

Os Objetivos Específicos são:

- 1 - Observar o comportamento térmico da laje do ambiente analisado, antes e depois da aplicação do telhado vegetal sobre a mesma;
- 2 – Avaliar a participação dos outros elementos da envoltória do ambiente, assim como os elementos do entorno da edificação, que estejam contribuindo para os resultados apresentados;
- 3 - Avaliar a possibilidade dos resultados contribuírem para a conquista de pontos com vistas à certificação de prédios sustentáveis;
- 4 - Subsidiar reflexões sobre a possível implementação da técnica em Belém do Pará com vistas à redução de ilhas de calor;
- 5 – Ampliar o campo de investigações sobre métodos e materiais regionais, objetivando maior acesso e aplicabilidade da técnica em edificações na Amazônia.

1.5 Metodologia adotada.

A construção da metodologia geral se processou em duas etapas: uma teórica bibliográfica e uma instrumental matemática.

A etapa teórica encontra-se fundamentada em pesquisas e publicações de organismos nacionais e internacionais reconhecidos, disponíveis em sítios digitais. Recorreu-se a livros quando na historiografia urbana e arquitetônica de Belém, que subsidiou uma abordagem resumida da conjuntura climática do município e do impacto no consumo de energia elétrica. Nas pesquisas realizadas com telhados vegetais em diversos climas foram identificadas as técnicas, os materiais e as metodologias de aplicação, que subsidiaram as escolhas mais adequadas para a utilização no experimento. Após, foram iniciados os procedimentos para a instalação da estação experimental, cuja execução será detalhada no capítulo específico.

A etapa instrumental matemática se constitui na observação empírica realizada na estação experimental, onde foram mensurados os dados microclimáticos externos, internos e as temperaturas superficiais da laje, antes e depois da aplicação do telhado vegetal.

Os resultados finais oferecerão suporte para possíveis intervenções no ambiente e em toda edificação de forma a melhorar a qualidade do microclima interno, assim como também subsídios para futuros trabalhos.

Apresenta-se sucintamente o quadro metodológico na figura 10.

Definição do objeto e objetivos da pesquisa					
Levantamento de dados	Fontes secundárias	Pesquisas bibliográficas	Histórica e Ambiental de Belém		
			Balanço energético sintético do setor elétrico brasileiro e do município de Belém.		
			Qualificação de técnicas e experiências sobre o método realizadas em outros climas.		
	Fontes primárias	Estações climatológicas	Coleta e compilação de dados de 02 estações locais.		Resultados, Discussões, Conclusões, Propostas.
		Campo experimental matemático	Caracterização do sitio experimental		
			Definição de materiais e métodos do ensaio		
			Montagem e monitoramento da estação		
			Compilação e tratamento de dados coletados		
			Análise das respostas climáticas		

Figura 10 : **Quadro Metodológico.**

1.6 Estrutura dos tópicos abordados.

No primeiro capítulo, na Introdução, apresenta uma abordagem sucinta sobre o contexto regional e climático do município de Belém do Pará, o que fundamentou a pesquisa. Apresenta a relevância, os objetivos a alcançar e a metodologia geral adotada para a construção conceitual do trabalho.

O segundo capítulo apresenta um resumo do estado-da-arte sobre o consumo de energia elétrica de Belém do Pará com base no Balanço Energético Nacional do Setor Elétrico e nos Anuários Estatísticos do Município de Belém. Apresenta ainda o estado-da-arte sobre algumas políticas públicas de eficiência energética e os programas de etiquetagem de edificações no Brasil e no mundo.

O terceiro capítulo apresenta o estado-da-arte sobre a aplicação de telhados vegetais no Brasil e no mundo, técnicas e diversidades de aplicações, o que forneceu subsídios para a escolha do tipo, técnicas e métodos a ser utilizado na parte experimental.

O quarto capítulo apresenta o campo experimental matemático. Os procedimentos quali-quantitativos da montagem, da metodologia de coleta e análise dos dados, os resultados e as discussões decorrentes.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e propostas para futuras pesquisas.

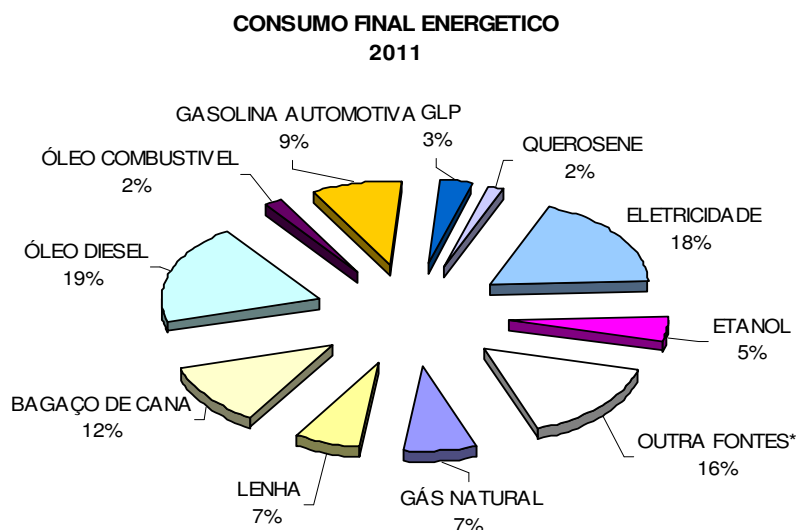
2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.

A eficiência energética está relacionada direta e indiretamente a qualquer projeto de engenharia e sua importância cresce na medida da escassez das fontes, dessa forma, uma visão analítica dos impactos ambientais decorrentes de qualquer obra de construção civil deve prevalecer.

O presente capítulo expõe o consumo da energia elétrica no Brasil, na região norte, no Estado do Pará e no município de Belém do Pará, os programas de certificação ambiental no Brasil e no mundo, assim como o papel que a Arquitetura Bioclimática possui nesse contexto, apontando um novo horizonte com vistas a transformar conceitos e comportamentos.

2.1 Balanço nacional do setor elétrico.

De acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN 2012, divulgado pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), apresentado na figura 11, a eletricidade é responsável por 18% do total de 228.928 milhões de tep.¹⁶ no consumo final energético de 2011; seguindo o óleo diesel, que apresenta a participação de 19% do total, sendo a principal fonte do setor de transportes.



*Inclui carvão(vapor), gás de refinaria, coque de carvão mineral e carvão vegetal, dentre outros.

Figura 11: **Consumo final energético de 2011.**
Fonte: BEN – 2012, EPE.

¹⁶ Tonelada equivalente de petróleo.

A figura 12 informa que o consumo de energia elétrica no Brasil vem mantendo o ritmo médio de crescimento de 4,74% ao ano, acompanhado a oferta interna nacional do período de 2002 a 2008. Em 2009 apresentou um declínio de 0,52% em relação a 2008, atribuindo esta queda à crise financeira internacional (BEN, 2012).

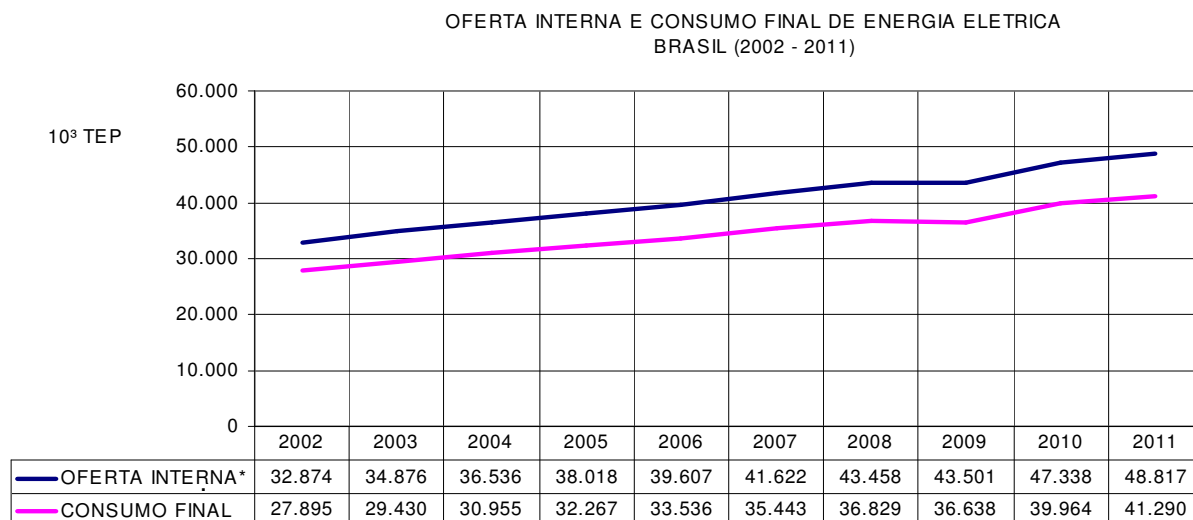
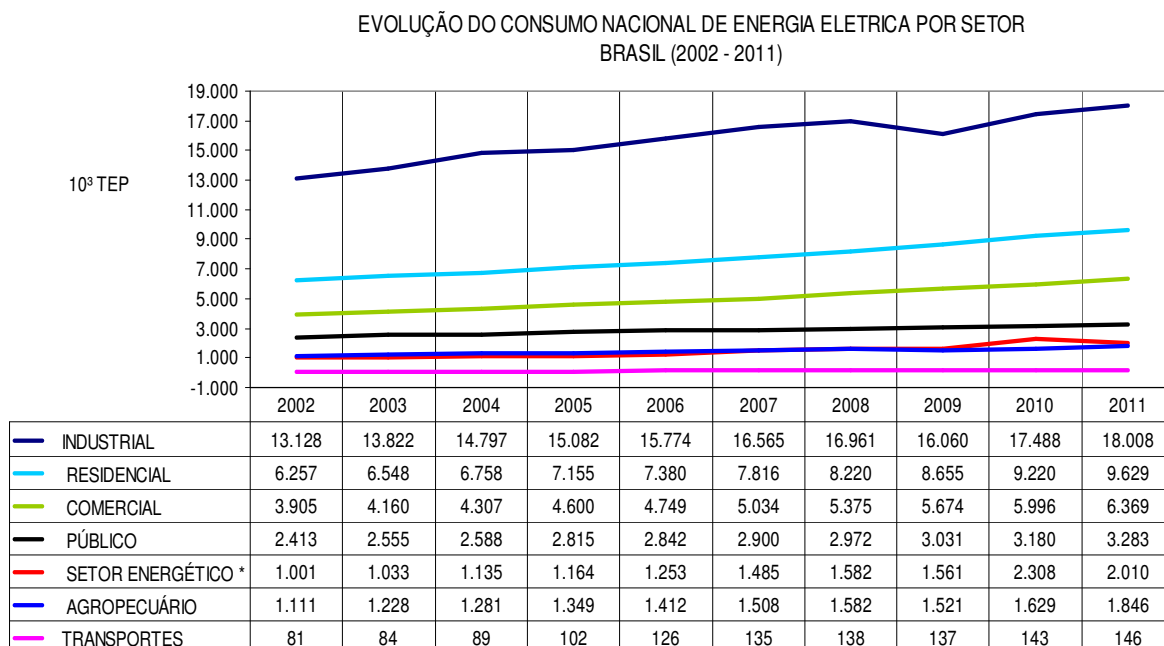


Figura 12: **Oferta Interna e Consumo de Energia Elétrica.**

Fonte: Adaptado do BEN – 2012.

O consumo das classes residenciais e comerciais está relacionado com a envoltória da edificação e são os setores que apresentam ritmo contínuo de crescimento, superiores aos demais, conforme se apresenta na figura 13.



* O setor energético agrega os centros de transformação e/ou processos de extração e transporte interno de produtos energéticos, na sua forma final.

Figura 13: **Evolução do consumo nacional de energia elétrica por setor.**

Fonte: Adaptado do BEN – 2012.

O BEN informa que em 2011 o Brasil teve um consumo final de energia elétrica de 41.290 milhões de tep, apresentando um crescimento de 2,32% em relação a 2010 e tem mantido o percentual de utilização de 84% da oferta interna no decorrer dos últimos 10 anos. A figura 14 apresenta o setor residencial como o segundo maior no consumo de energia elétrica, participando com de 23,3% do consumo total e apresentando ascensão de 4,4% em relação a 2010. O industrial mantém a maior participação com 43,6% e os setores comercial e público somam 23%.

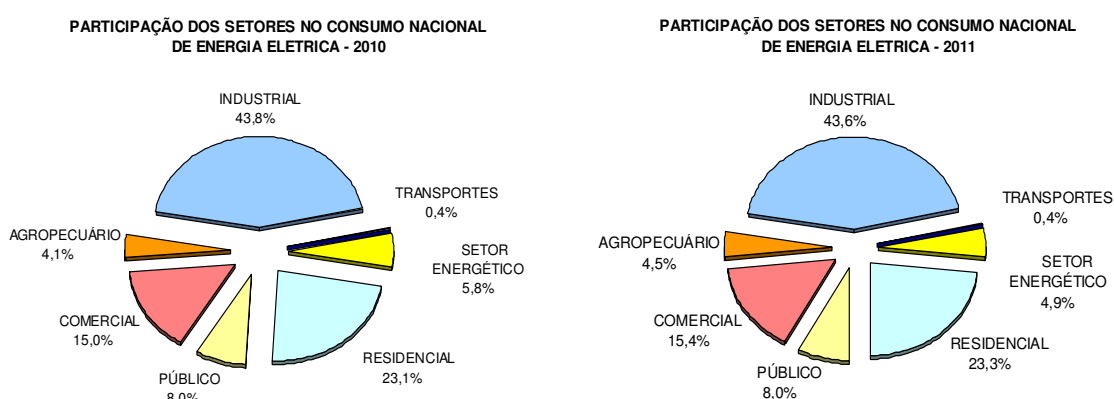


Figura 14: **Participação dos setores no consumo nacional de energia elétrica em 2010 e 2011.** Fonte: Adaptado do BEN – 2012.

A figura 15 informa que a média da participação dos setores residencial e comercial no período de 2002 a 2008 correspondeu a 36% do consumo nacional. Se considerar o período de 2002 a 2011 essa média sobe para 38,7%, impulsionado pelo pico de 39% de 2009 quando ocorreu redução no consumo e na oferta nacional em decorrência da crise energética mundial, o que não afetou estes dois setores.

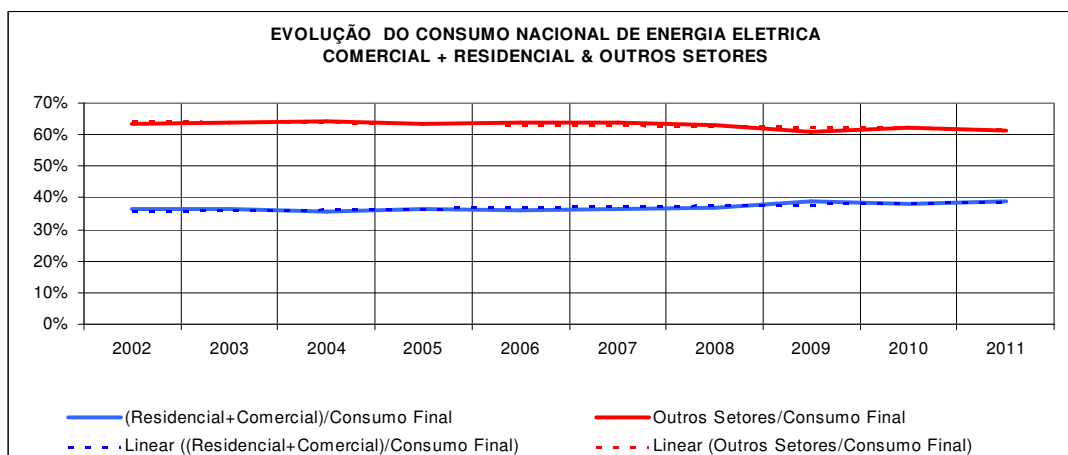


Figura 15: **Evolução comparativa entre os setores comercial + residencial e os outros setores.** Fonte: Adaptado do BEN – 2012.

No período de 2002 a 2011 o setor residencial se manteve no patamar de 19% do consumo em relação à oferta total interna de eletricidade, conforme a figura 16. No decorrer de 2008 esse índice subiu para 20% em 2009 e, em seguida, caiu 0,5% e a partir 2010 se mantém em ascensão. O setor comercial acompanha o crescimento na taxa média de 12% em relação à oferta interna do mesmo período. Quanto ao consumo final, observa-se tendência de crescimento do setor residencial e tênue declínio do setor comercial.

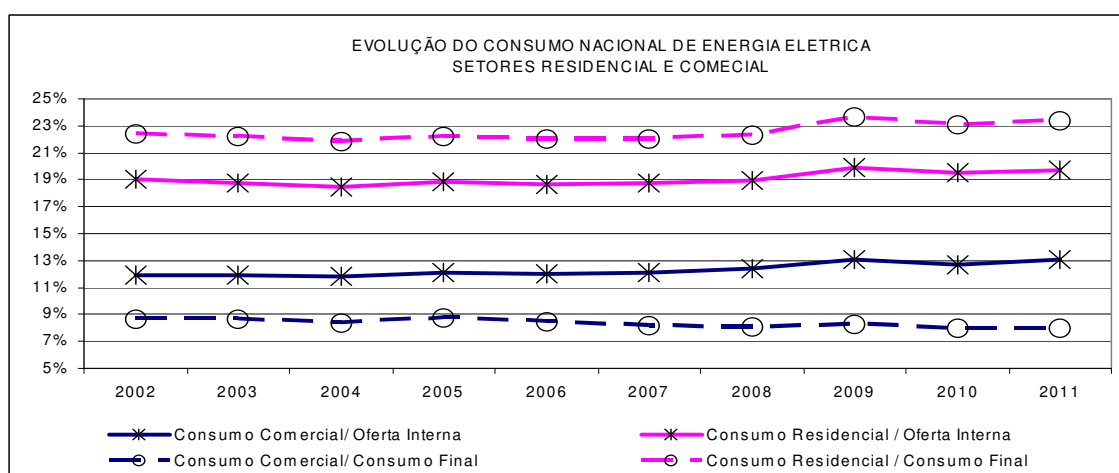


Figura 16: **Evolução do consumo nacional dos setores residencial e comercial.**

Fonte: Adaptado do BEN – 2012.

2.1.1 Consumo de energia elétrica na Região Norte.

A Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica de dezembro de 2012 (EPE, 2012) informa que na região norte o setor residencial cresceu 9,2% e o setor comercial 11,4% em relação a 2011, conforme se apresenta na figura 17.

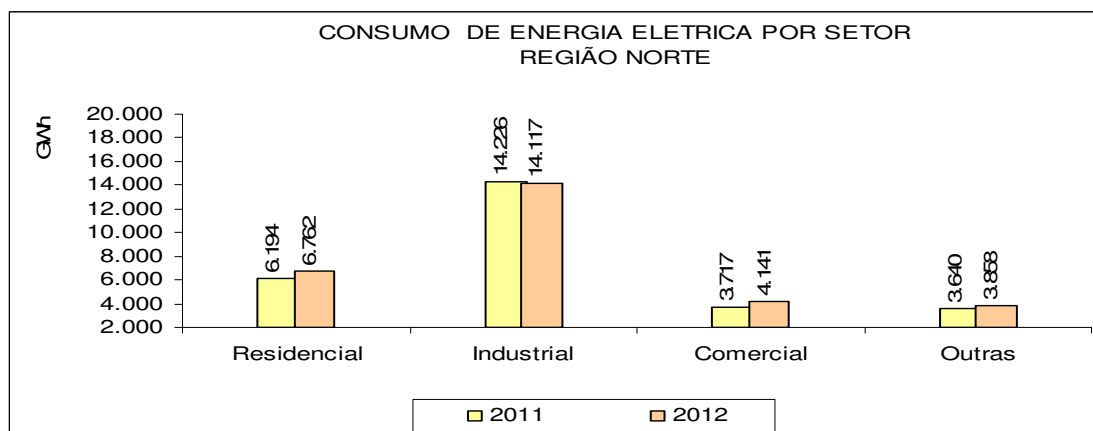


Figura 17: **Consumo de energia elétrica por setor – Região Norte.**

Fonte: Adaptado da Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica | nº 64 | Janeiro de 2013. EPE.

O crescimento do setor comercial vem ocorrendo como resposta da demanda de crescimento do consumo residencial de bens e serviços, da expansão da taxa de emprego e renda da população e da disponibilidade de crédito ao consumidor.

Lima (2006, apud Konigami, 2011) descreve que em uma amostra de hotéis o consumo anual de energia elétrica varia entre 43 e 222 kWh.ano/m², sendo que sua estimativa de uso final de energia é de 75% para condicionadores de ar, 8% para iluminação e 17% para equipamentos. O mesmo autor afirma que em pesquisa de mercado os edifícios comerciais atendidos por alta tensão identificou um uso final médio de 47% devido ao sistema de condicionamento de ar, 22% referente ao sistema de iluminação e 31% pelas outras cargas do edifício.

As pesquisas referenciadas declaram que em edifícios comerciais o consumo maior está concentrado no sistema de refrigeração ativa, seguido dos equipamentos e iluminação. Importante observar que atualmente a maioria das edificações comerciais segue uma uniformização estética que implica no uso abusivo de técnicas construtivas utilizadas em outros climas, demandando maior utilização de refrigeração ativa.

2.1.2 Consumo de energia elétrica no Estado do Pará.

Entre os programas sociais do Governo Federal foi criado em 2003 o Programa Luz Para Todos – LPT com o desafio de universalizar o acesso à energia elétrica de forma a contribuir para a redução da desigualdade no Brasil. O programa iniciou em 2004 e a meta de atender 10 milhões de pessoas foi alcançada em maio de 2009, e até março de 2012 o Programa chegou para cerca de 14,4 milhões de moradores rurais de todo o país (MME, 2012).

Nos últimos 10 anos o Estado do Pará vem apresentando percentual de crescimento médio anual do consumo residencial de energia elétrica na faixa de 5%, enquanto que o município de Belém apresenta a taxa média anual de 3%, conforme se apresenta na figura 18. Comportamento esperado em função do aumento da renda domiciliar e dos programas do Governo Federal que vem oportunizando o acesso à energia elétrica, especialmente as comunidades rurais, e o estímulo para aquisição de eletrodomésticos da linha branca.

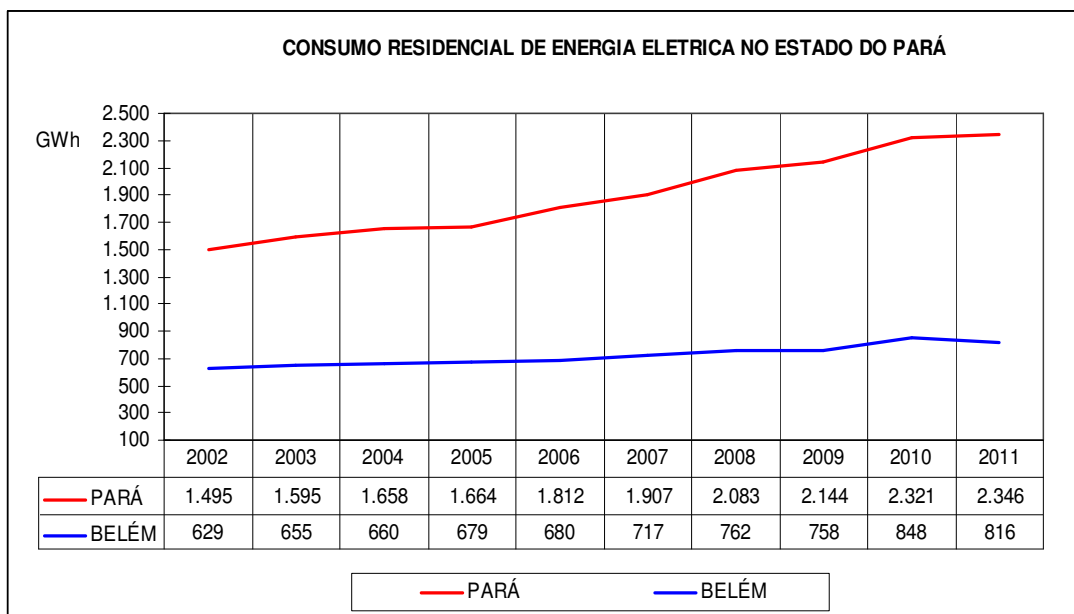


Figura 18: **Consumo residencial de energia elétrica no Estado do Pará.**

Fonte: Adaptado do Anuário Estatístico de Belém – 2011-2012

2.1.3 Consumo de energia elétrica no município de Belém do Pará.

Os setores residencial e comercial representam a maior participação no consumo de energia elétrica em Belém. O setor comercial se destaca no consumo em função da predominância deste setor na economia do município, onde grande parte da energia elétrica está destinada à iluminação e aos sistemas de refrigeração ativa. A figura 19 apresenta o comportamento do consumo de energia elétrica do município de Belém em 2011.

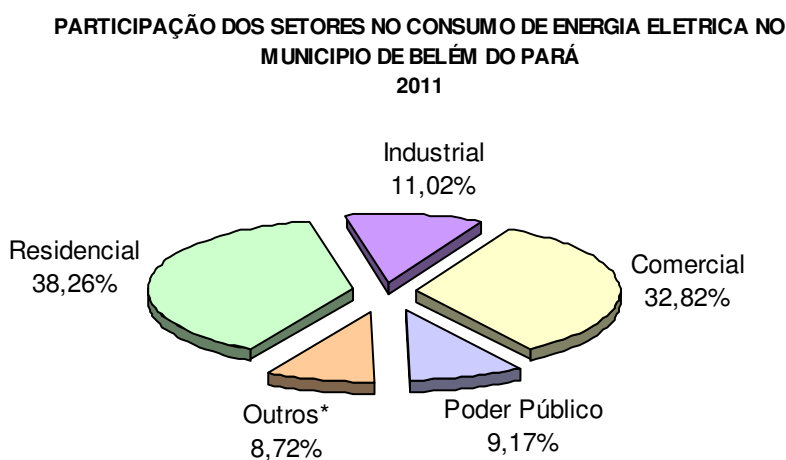


Figura 19: **Participação dos setores no consumo de energia elétrica em Belém do Pará.**

Fonte: Adaptado do Anuário Estatístico de Belém – 2011-2012

De acordo com a série histórica da última década, o consumo de energia elétrica dos setores residencial e comercial do município se apresenta com pleno crescimento, conforme se apresenta a figura 20. O censo de 2010 se destaca no decênio, não sendo possível o acesso aos dados estatísticos do setor comercial de Belém neste censo.

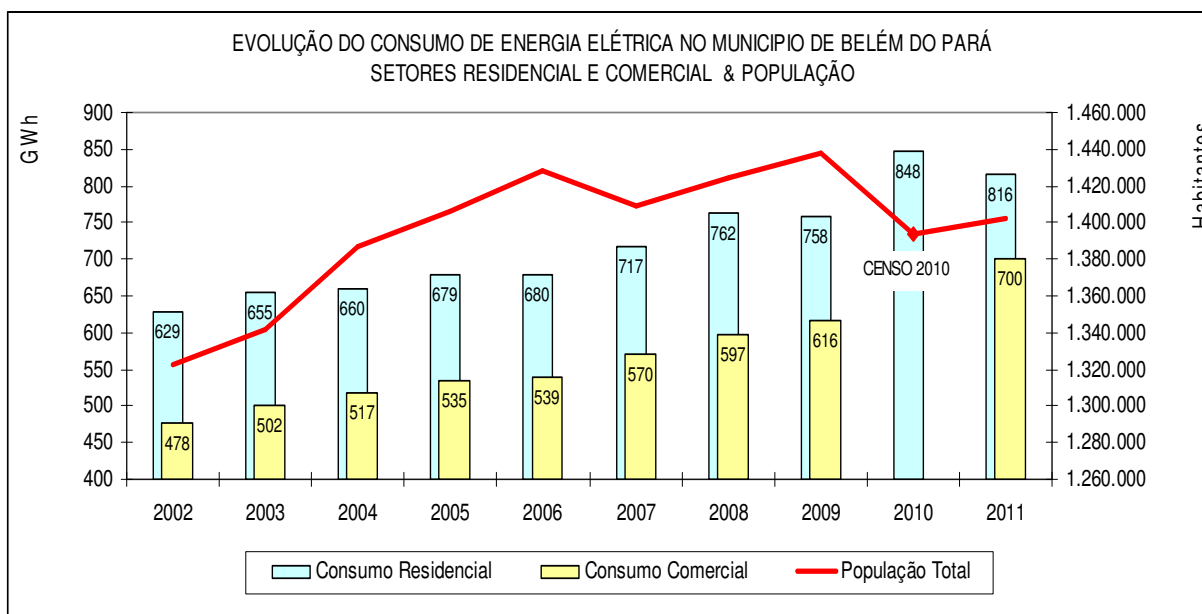


Figura 20: **Evolução do consumo dos setores residencial e comercial em Belém do Pará.**
Fonte: Adaptado do Anuário Estatístico de Belém – 2011-2012

Observa-se um progressivo crescimento do consumo do setor comercial, com diferença cada vez menor em relação ao consumo residencial. Os resultados apontam uma retração do crescimento estimado da populacional e aumento do consumo de energia elétrica no município.

2.2 Programas de certificação ambiental existentes no Brasil e no mundo, destinados a edificações.

Diversos países vêm buscando alternativas para atender a crescente demanda por energia elétrica, motivados pela grande preocupação sobre a finitude dos recursos naturais e a degradação do meio ambiente, decorrentes do uso excessivo destas fontes. Desta forma, muitos instrumentos normativos surgiram em vários países nas últimas décadas, objetivando o desempenho energético nas edificações.

A figura 21 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica por habitante em alguns países. Serão citados os principais países consumidores, seus

respectivos regulamentos voltados à eficiência energética em edificações e os regulamentos utilizados no Brasil para a obtenção de certificação.

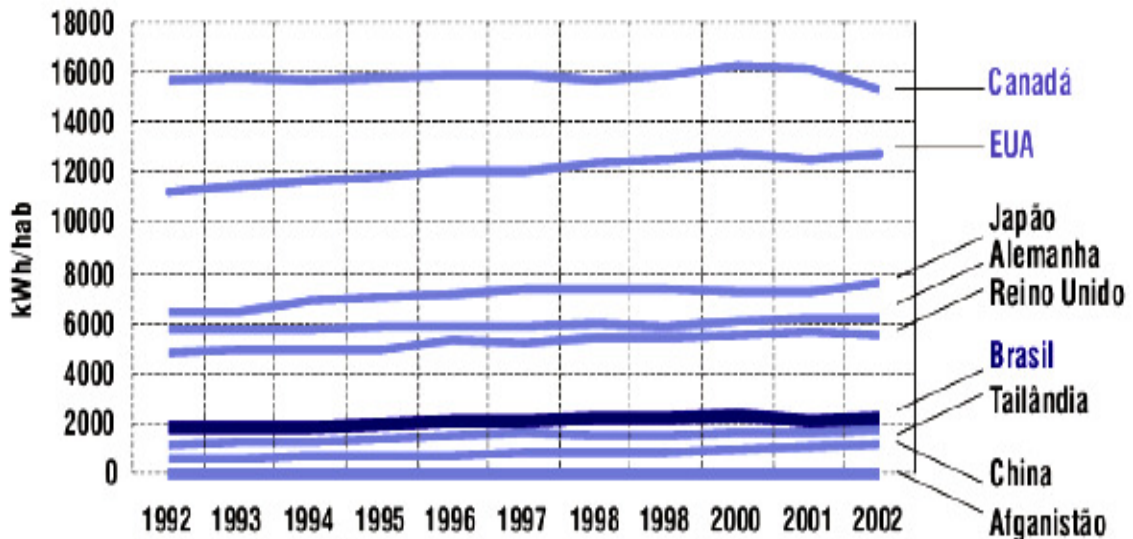


Figura 21: **Evolução do consumo de energia elétrica por habitante em alguns países.**
 Fonte: U.S CENSUS BUREAU; EIAENERGY INFORMATION ADMINISTRATION

- Model National Energy Code of Canada for Buildings – Canada.

O código proposto pelo NRC - *National Research Council* para eficiência energética em edificações é o *Model National Energy Code of Canada for Buildings*, indicado para todas as edificações que não se enquadram no *Model National Energy Code of Canada for Houses*, incluindo edificações residenciais verticais (acima de três pavimentos) e edificações não-residenciais. São utilizadas extensivas análises de custo-benefício, considerando o clima, tipos de combustíveis, custos da energia e da construção. É composto pelos requisitos obrigatórios para a envoltória, iluminação artificial interna e externa, condicionamento do ambiente e sistema de aquecimento de água. Atendidos os requisitos obrigatórios, pode-se optar por utilizar o método prescritivo ou o método de desempenho da edificação (CARLO, 2008, p. 15).

- LEED for homes - Estados Unidos

Em 1993 surgiu o Green Building Council (USGBC) com o objetivo principal de promover a sustentabilidade no setor de construção civil. O LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é um sistema de certificação e orientação ambiental de edificações de maior reconhecimento internacional e o mais utilizado

em todo o mundo, criado em 1998 pela USGBC e adota critérios diferenciados para cada tipo de projeto (USGBC, 2006).

Em edifícios comerciais e bairros devem satisfazer todos os pré-requisitos do LEED e ganhar um mínimo de 40 pontos em uma escala de 110 pontos. Casas devem ganhar um mínimo de 45 pontos em uma escala de 136 pontos (USGBC, 2006).

- CASBEE - Japão

Institute for Building Environmental and Energy Conservation é o responsável pela criação em 2001 do CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency), certificação japonesa que até 2010 compilou os seguintes manuais: CASBEE para Construção Nova, CASBEE para Edifícios Existentes, CASBEE para Reabilitação; CASBEE para avaliação do efeito de ilha térmica em áreas urbanas; CASBEE para Conjuntos Urbanos; CASBEE para Zonas Urbanas + Edifícios; CASBEE para Habitação (moradias isoladas); CASBEE para Avaliação Imobiliária (CASBEE, 2012).

Entre os métodos usados internacionalmente, o CASBEE é o mais indicado para a avaliação do impacto de conjuntos urbanos sobre a sustentabilidade de determinado ecossistema (CASBEE, 2012).

- DGNB – Alemanha

Neste sistema de certificação, desenvolvido pela Sociedade Alemã para a Construção Sustentável (DGNB), o edifício pode obter o certificado DGNB nas categorias ouro, prata ou bronze. O selo abrange todos os temas importantes relacionados a edificação sustentável. Na valoração, segundo o perfil de uso do edifício, são considerados em torno de 60 critérios em seis áreas: Qualidade Ecológica: Influência sobre o meio ambiente local e global na utilização de recursos; Economia: Custos durante o ciclo de vida e estabilidade do valor; Qualidade social: Saúde e bem-estar, funcionalidade e desenho; Qualidade técnica; Qualidade do processo: projeto, construção e atividade; Qualidade de localização (DGNB, 2007).

A categoria Qualidade Ecológica possui peso maior por considerar o balanço ecológico total do edifício, desde a fase de projeto, a vida útil, a remodelação e a demolição, que devem contemplar a utilização racional dos recursos e a fácil

capacidade de reciclagem dos materiais. De janeiro de 2009 a maio de 2012 mais de 80 edifícios foram certificados, tanto dentro como fora da Alemanha (DGNB, 2007).

- BREEAM EcoHomes – Reino Unido

Método de Avaliação Ambiental do Instituto Britânico de Investigação é um método de avaliação do impacto ambiental utilizado para várias tipologias de edifícios, novos e já existentes em qualquer parte do mundo. O BREEAM é uma marca internacionalmente reconhecida por estabelecer padrão para a sustentabilidade no ambiente construído. Mais de 300 edifícios fora do Reino Unido foram registrados para a avaliação e foram avaliadas as instalações permanentes dos Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2012, em Londres, incluindo o Estádio Olímpico, Centro Aquático, Velódromo, Centro de Mídia, Manor Eton e na Arena de Handebol. O âmbito desta avaliação abrange as fases de concepção e construção, desde a fase de pré-jogos, através do legado de transformação, aos pós-jogos (BREEAM, 2012).

- Diretivas Europeias

A Europa foi pioneira na criação de uma regulamentação com intuito de obter redução do uso da energia nas edificações. No final da década de 1970 criou regulamentos sobre a construção das envoltórias objetivando a redução da transferência de calor, a difusão de vapor e o controle de permeabilidade do ar (Pérez-Lombard et al., 2009).

Em 1993 foi promulgada a Diretiva Europeia 93/76/CEE, que considerou a importância da certificação como um instrumento para prestar informação objetiva sobre as características energéticas dos edifícios, documento revogado pela Diretiva 2006/32/CE. A Diretiva 2010/31/EU reforça a aplicação dos requisitos mínimos de desempenho energético para os edifícios novos e existentes, assegura a certificação dos edifícios e exige que os estados membros garantam que até 2021 que todos os novos edifícios sejam do tipo NZEB “nearly zero-energy Buildings” – edifícios com consumo de energia muito baixo e que possam balancear o consumo com a produção de energia através de ciclos de energias renováveis. O Regulamento Delegado (UE) 244/2012 estabelece um quadro metodológico comparativo para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade e requisitos mínimos de desempenho

energético dos edifícios e de seus componentes; a vigor a partir de nove de janeiro de 2013 aos edifícios ocupados por autoridades públicas e a partir de nove de julho de 2013 aos restantes edifícios (Jornal Oficial da União Européia, 2012).

- HQE – França

A Alta Qualidade Ambiental (Haute Qualité Environnemental) é uma avaliação francesa criada em 2002 sob a responsabilidade do CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment) com objetivo inicial de avaliação de edifícios comerciais. Constituído por dois referenciais de certificação: Gestão de Operação do Sistema - SMO (Système de Management de l'Opération), que define as ferramentas necessárias para acompanhar a operação ao longo de um projeto e estruturar a relação entre as partes envolvidas; Construção de Qualidade Ambiental - QEB (Qualité Environnementale e du Bâtiment) constituído por 14 alvos agrupados em quatro categorias principais, que reúnem uma grande variedade de preocupações ambientais sobre a construção e os locais de construção.

Na França, HQE é aplicável desde 2007 a todos os tipos de edifícios novos e existentes nos setores residencial, terciário e industrial, bem como estradas e rodovias (CSTB, 2004).

No Brasil são utilizados critérios de alguns programas internacionais para certificação de edificações eficientes: O LEED - Leadership in Energy and Environmental Design e o AQUA – Alta Qualidade Ambiental.

- LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

O Green Building Council Brasil – GBCB foi criado em março de 2007, sendo um dos 21 membros do World Green Building Council. Conforme a GBCB, até 26 de dezembro de 2012 foram certificadas 39 edificações entre instituições financeiras, unidades de saúde, centros educativos, estabelecimentos comerciais, prédios de escritórios, 640 estavam registrados e aguardam certificação. O Green Building Council Brasil (GBC) realizou uma pesquisa inédita em 2012 que constatou que o Brasil já ocupa o quarto lugar no ranking das construções sustentáveis certificadas. Ficando atrás dos Estados Unidos, seguido pelos Emirados Árabes e China (GBCBRASIL, 2012).

- **AQUA – Alta Qualidade Ambiental**

Certificação concedida pela Fundação Vanzolini, de São Paulo, é destinada a edifícios de escritórios, escolares, habitacionais e complexos esportivos multiuso. Incorporou critérios próprios e normas da ABNT, por meio de um trabalho conjunto entre a Fundação Vanzolini e professores do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Poli/USP. O Processo AQUA é a adaptação para o Brasil da “Démarche HQE” da França, que contém os requisitos para o Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e os critérios de desempenho nas categorias da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE). Criado em 2008, o selo AQUA possui uma abordagem sistêmica do desempenho geral do edifício. Os quesitos são baseados na arquitetura bioclimática e na gestão da energia, da água, dos resíduos de uso e operação do edifício e na manutenção do desempenho ambiental; no conforto higrotérmicos, acústico, visual e olfativo; na saúde e na qualidade sanitária dos ambientes, do ar e da água (Fundação Vanzolini, 2008).

2.3 Políticas nacionais sobre eficiência energética.

A Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, é a primeira no âmbito de legislações efetivamente instituídas com vistas a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. O Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, vem regulamentar a Lei 10.295 e criar o GT Edificações - Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT - MME). Em seu art. 15º propõe: I - Adoção de procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações, II - indicadores técnicos referenciais do consumo de energia das edificações para certificação de sua conformidade em relação à eficiência energética, III - requisitos técnicos para que os projetos de edificações a serem construídas no país atendam os indicadores mencionados no item anterior.

Nos últimos 20 anos o governo brasileiro vem desenvolvendo mecanismos para promoção da conservação de energia elétrica e criou as ações e os programas:

- **PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem.** Lançado em 1984, destinado a fabricantes e fornecedores;
- **PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.** Lançado em 1985;

- PEE da ANEEL – Programa de Eficiência Energética. Lançado em 2000 e aplicado às distribuidoras de energia;
- PROCEL Edifica - Programa de Eficiência Energética em Edificações. Lançado em 2003 com as vertentes: arquitetura bioclimática, indicadores referenciais para edificações, certificação de materiais e equipamentos, regulamentação e legislação, remoção de barreiras à conservação de energia e educação.
- PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética – Premissas e Diretrizes Básicas. Publicado em outubro de 2011, tem a meta de economizar 106,6 mil GWH num período de 20 anos e estabelece um conjunto de ações para uma série de áreas como industrial, edificações, prédios públicos, iluminação pública e saneamento.

2.3.1 Sistemas de etiquetagem de edificações no Brasil

O processo de etiquetagem de edificações no Brasil iniciou com a Portaria INMETRO nº 372, de 17 de setembro de 2010, que estabelecem diretrizes e critérios para a atividade de avaliação da conformidade, com atenção inicial às edificações comerciais, de serviços e prédios públicos - Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos RAC-C; documento complementar ao Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C, revisado em 16 de Janeiro de 2012 pela Portaria nº 17 do INMETRO.

Na avaliação da conformidade são utilizados os métodos prescritivos¹⁷ ou por simulação¹⁸ quando em fase de concepção, e a inspeção local para edifícios construídos; podendo obter a bonificação de até um ponto como incentivo para o aumento da eficiência da edificação na classificação geral do RTQ-C(2010, p. 23).

A verificação é realizada por laboratório de inspeção designado ou acreditado pelo INMETRO, sendo fornecida uma etiqueta para o edifício completo ou para parte deste. As partes correspondem à envoltória, que corresponde a 30% da

¹⁷ Procedimento analítico onde são aplicadas equações que recebem como entrada informações relativas às características da envoltória, iluminação e condicionamento de ar.

¹⁸ Consiste em comparar o desempenho termoenergético da edificação real com edificações de referência.

classificação geral, à iluminação corresponde a 30% e 40% ao condicionamento de ar (RTQ-C, p. 08).

O RTQ-R (Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais) foi publicado em novembro de 2010, pelo INMETRO através da Portaria n.º 449. Em 16 de Janeiro de 2012, através da Portaria n.º 18, o INMETRO determina que a Portaria 449 possa ser utilizada somente para inspeção do nível de eficiência da edificação construída, cujo projeto tenha sido etiquetado com base na mesma, deixando de vigor a partir de janeiro de 2017 (INMETRO, 2012).

No Brasil, até 28.09.2012, foram emitidas 30 etiquetas para edificações comerciais e Institucionais pelo método prescritivo, 1104 etiquetas para unidades habitacionais sendo 1101 pelo método prescritivo e 03 por inspeção local (Procel Info, 2012).

Na figura 22 consta a lista de laboratórios acreditados pelo INMETRO para análise das solicitações de certificação e integram convênios com a Eletrobrás (Procel Info, 2012).

Região	Instituição	Laboratório	Responsável
N	UFPA	GEDAE	João Tavares Pinho
NE	Neoenergia		Ana Christina Romano Mascarenhas
	UFAL	GECA	Leonardo Salazar Bittencourt
	UFRN	LABCON	Aldomar Pedrini
CO	UFMS	LADE	Wagner Augusto Andreasi
DF	UNB	LACAM	Cláudia Naves David Amorim
SE	UFF	LABCECA	Louise Land Bittencourt Lomardo
	UFMG	LABCON	Roberta Vieira Gonçalves de Souza
S	UFPEL	LABCEEE	Antonio Cesar Silveira Baptista da Silva
	PUCPR	LST	Nathan Mendes

Figura 22: **Laboratórios acreditados pelo INMETRO para certificação de edificações.**

Fonte: Procel Info, 2012.

Em Belém do Pará na categoria Comercial, o Edifício Sede da CAIXA em Belém/PA, na Av. Gov. José Malcher, n.º 273, B. São Braz, foi certificado em 2009 pelo Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina- LabEEEE/UFSC, com a classificação geral “A” através do método prescritivo (Procel Info, 2012).

O sistema de certificação no Brasil é voluntário e aplicável somente em edificações com área útil superior a 500 m², ou atendidos por alta tensão.

2.3.2 Políticas públicas em alguns Estados brasileiros destinadas à responsabilidade ambiental.

A responsabilidade social com a sustentabilidade exorbita as salas de projetos e esferas acadêmicas, toma a sociedade num sistema integrado e dependente. Nesse sentido, as políticas públicas possuem a responsabilidade de priorizar ações que reduzam perdas ambientais e energéticas, antevendo problemas ambientais e adotando programas de prevenção dessas perdas.

Municípios brasileiros começam a apresentar programas de incentivo para reduzir os efeitos nocivos da urbanização, alguns regulamentados em lei municipal. O IPTU Verde é um programa que contempla medidas de estímulo à proteção e à recuperação do meio ambiente, através de incentivos para implantação e manutenção de sistemas vegetados, telhados verdes, captação e reuso de água da chuva, construções com materiais sustentáveis, captação de energia solar, entre outros.

No Estado do Paraná, a Lei Estadual nº 17.084/2012 tornou obrigatória, a partir da sua publicação, a instalação de telhados verdes com grama ou jardim plantado, ou o uso de telhas claras ou pintadas com tinta branca, ou os que forem pintados com tinta não branca com pigmentações especiais (Diário Oficial do Município nº 8679/2012).

No ABC paulista, a prefeitura de São Bernardo do Campo criou o IPTU Verde pela Lei Municipal nº 6.091/2010, que concede desconto na taxa para imóveis que estejam recobertos por vegetação. Desconto proporcional à quantidade de área verde construída, podendo chegar a 80%. Em maio de 2008 mais de 500 propriedades foram beneficiadas com o IPTU Ecológico no município.

Na Prefeitura de Guarulhos são concedidos benefícios fiscais previstos na Lei Municipal nº 6.793/2010, que compõem um conjunto de descontos no IPTU, entre eles o telhado verde (3%), arborização (2%), áreas permeáveis (até 2%), sistema de captação de água de chuva (3%), sistema de reuso de água (3%), construções com materiais sustentáveis (3%), podendo atingir até 16% o total.

São iniciativas que advêm do reconhecimento dos efeitos benéficos da arborização urbana para a qualidade de vida na cidade, especialmente pela minimização de ocorrência de ilhas de calor e a conseqüente redução de gastos energéticos com climatização em edificações.

A figura 23 expõe alguns benefícios urbanos oferecidos pela vegetação.

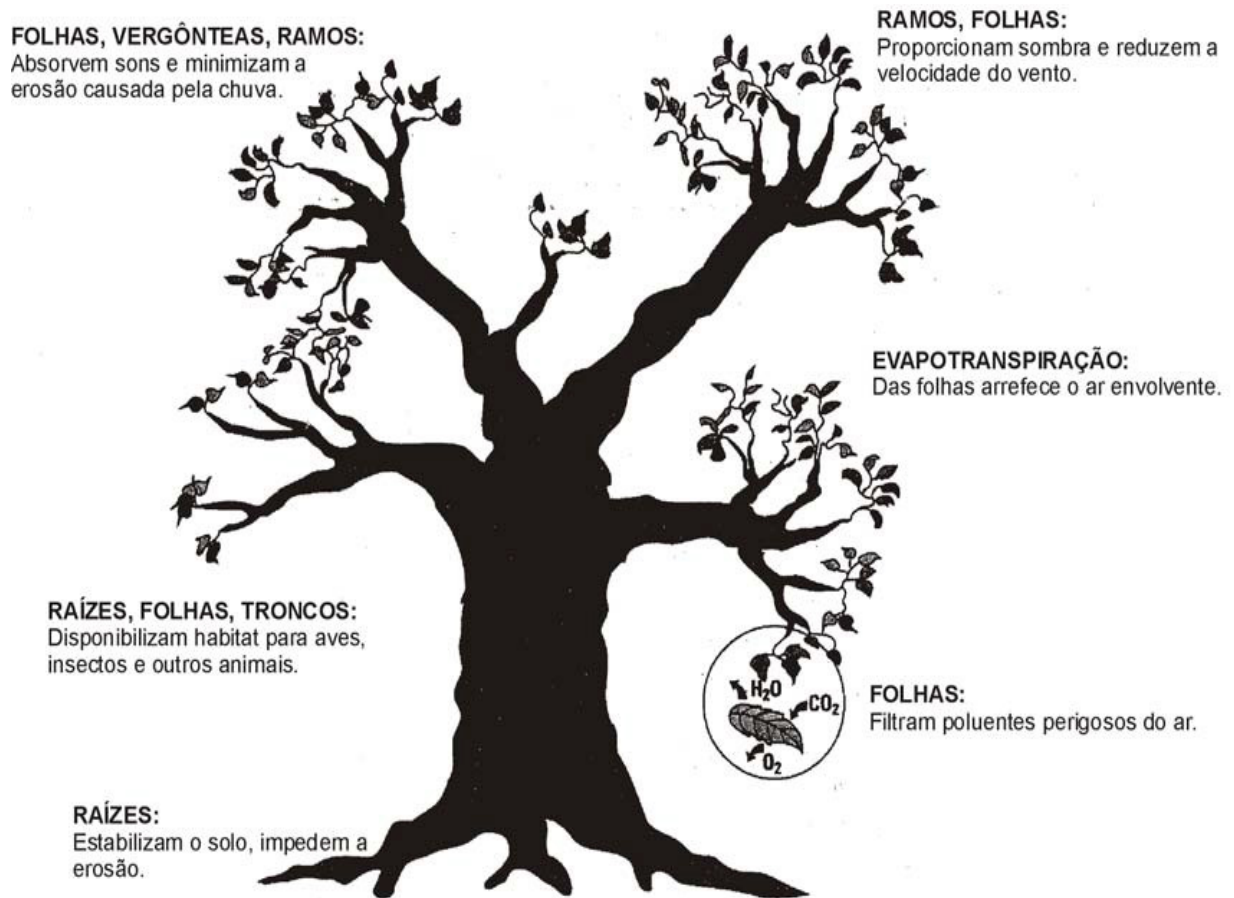


Figura 23: **Benefícios ambientais oferecidos pela vegetação urbana.**

Fonte: Repository.utl.pt

3 TELHADOS VEGETAIS.

Historicamente os telhados vegetais vêm sendo utilizadas no mundo com fins diversos, nem sempre com a filosofia bioclimática. Le Corbusier adotou telhados vegetais como espaço de integração social e urbana e Frank Lloyd Wright utilizou como uma ferramenta para integrar seus Edifícios com a paisagem. Os Arquitetos não estavam intencionalmente voltados para o impacto ambiental e econômico que essa tecnologia poderia ter sobre a paisagem urbana (Peck e Kuhn, 2009).

3.1 Caracterização.

O Telhado Vegetal conhecido também como Cobertura Viva, Ecotelhado, Teto Verde, entre outras denominações, consiste na aplicação de vegetação enraizada em camada de solo sobre a cobertura de edificações. Possui diferentes tipos de camadas de acordo com as diversificadas finalidades.

Em épocas remotas, muitos povos utilizavam essa técnica para criar isolamento térmico nas residências, especialmente pelos povos nórdicos na Europa, que colocavam plantas para garantir a manutenção da temperatura. As primeiras edificações que se têm referências arqueológicas, e que supostamente foram cobertas por vegetação, são os zigurates¹⁹ da antiga Mesopotâmia, atual Iraque. Existe pouca evidência tangível nos documentos oficiais sobre a existência destes jardins, senão na literatura clássica universal, em face do material vegetal ser de fácil decomposição, o que reduz as chances de achados arqueológicos.

A prática de construção vernacular dos telhados vegetais foram substituídas pelas novas tecnológicas de refrigeração e aquecimento, dependentes de onerosas fontes energéticas. Mudanças que vêm reverberando na comunidade internacional, onde se observam crescentes preocupações com o impacto ambiental decorrentes dos processos de produção e manutenção dos sistemas energéticos renováveis e não renováveis.

Desta forma, a adoção das técnicas dos povos antigos tem sido repaginada pela atual civilização, que a vem utilizando em crescente escala em atenção ao apelo ambiental.

¹⁹ O Zigurate é uma construção arquitetônica de caráter religioso que combina um templo com uma torre, edificado na Mesopotâmia Antiga entre o 4.º milênio a. C. e o século VII a. C.

3.2 Tipos de telhados vegetais

Os telhados vegetais são classificados como intensivos e extensivos. Ambos podem ser acessíveis por oferecerem ambiência social, ou inacessíveis os que oferecem acesso restrito para manutenção (Ecotelhado, 2009).

Os tipos intensivos são compostos por uma camada de solo profunda, no mínimo de 20 cm, permitindo a colocação de uma capa de vegetação com peso superior a 120 kg/m² (Ecotelhado, 2009).

O telhado extensivo utiliza uma camada fina de solo ou substrato, possui baixa capacidade de carga e plantas de pouco crescimento. Esse tipo de cobertura é relativamente leve e está mais alinhado às demandas dos projetos atuais pela sua composição e manutenção mínima (Ecotelhado, 2009).

A figura 24 apresenta as características de cada tipo de cobertura vegetal.

Característica	Extensivo	Intensivo
Manutenção	Baixo	Alto
Irrigação	Eventual	Regularmente
Vegetação	Suculentas, herbáceas e gramíneas	Arbustos e árvores
Altura das camadas	10 a 20cm	20 a 40cm
Peso	60 a 150 kg/m ²	120 a 500 kg/m ²
Utilização	Camada de proteção ecológica	Jardim

Figura 24: **Características dos tipos de cobertura vegetal.**

Fonte: Adaptado, Varela, 2011.

3.3 Diversidade dos elementos componentes de um telhado vegetal.

Todos os elementos componentes de um telhado vegetal devem ser previamente analisados, considerando a existência de quesitos determinantes que poderão apresentar eficácia na utilização da técnica escolhida. Os elementos componentes devem estar de acordo com o tipo de superfície a ser coberta e com o objetivo da cobertura.

A escolha de todos os componentes deve atender a capacidade de carga estrutural da edificação, considerando a carga máxima da época invernal, quando ocorre a maior demanda hídrica no sistema.

O grau de pureza vegetal das camadas deve ser avaliado em conformidade com os objetivos da aplicação. A utilização de todos os componentes 100% vegetais demanda maior atenção na manutenção e maior fluxo de trocas, que pode variar em função de clima e do zelo na manutenção. Este tipo de cobertura é muito utilizado em acertos experimentais em diferentes climas, porém é pouco aplicado atualmente pela indústria da construção civil em virtude de sua reduzida vida útil e manutenção exigente.

Camadas formadas com sistema misto são as mais utilizadas no mundo inteiro em função da praticidade que alguns sistemas oferecem e por atenderem exigências sobre conforto térmico e eficiência energética. Desta forma, muitas empresas vêm desenvolvendo pesquisas na área e lançando produtos com estas características, que atendam os quesitos gerais para o suporte de determinados tipos de vegetação.

No mercado brasileiro há produtos variados que oferecem leveza, praticidade de aplicação, baixa manutenção, capacidade de drenagem e filtragem, ainda, alguns com suporte para armazenamento da água da chuva.

- Constituição das camadas.

A constituição das camadas tem obedecido à evolução da técnica no decorrer dos tempos, que depende do tipo de cobertura, da inclinação, da disponibilidade dos materiais e do clima da região.

Em alguns países eram utilizados pedra, madeira e tijolos como materiais de suporte para o solo e a grama. A Vidimyri Church, na figura 25, foi construída em 1834 com troncos e turfa²⁰, materiais disponíveis na região da Islandia.



Figura 25: **Vidimyri Church, Islandia.**
Fonte: NAT Nordic Adventure Travel.

²⁰ Restos vegetais em variados graus de decomposição que se forma dentro da água em lugares pantanosos, onde é escasso o oxigênio.

Os Sod Roofs (telhados de turfa ou telhados gramados) surgiram na Escandinávia, que tinham como principal função o isolamento térmico das baixas temperaturas ocasionadas pelas geadas e a proteção contra os ventos. Foi o tipo mais comum na zona rural da Noruega até o final do sec. XIX. O método era constituído exclusivamente com matéria vegetal, forte e resistente à água. A casca de bétula²¹ era colocada em cima dos telhados e depois recebiam grossas camadas de turfa. A grama era cortada de campos próximos e posicionada sobre a turfa. A definição da espessura era crucial; se fosse mais fino do que 15 cm não suportaria o verão e se fosse mais de 20 cm, acarretaria excesso de peso e risco de desabamento na época invernos. A figura 26 apresenta um desenho esquemático de uma cobertura de turfa.

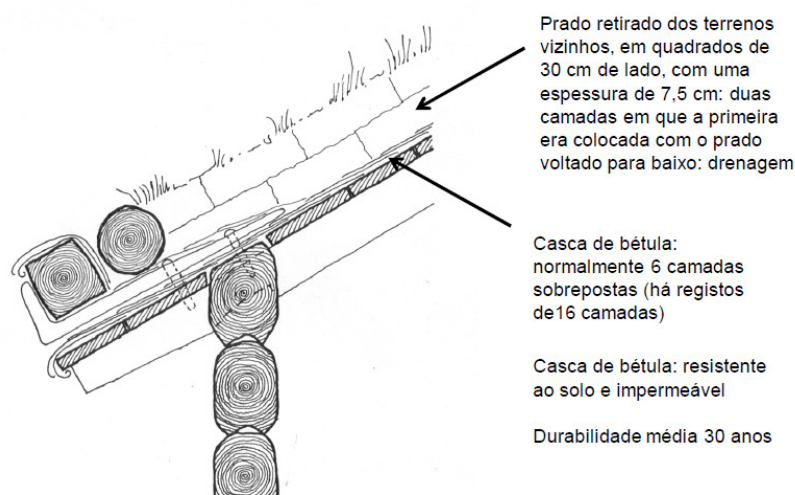


Figura 26: **Telhado de turfa.**
Fonte: odditycentral.com

- Função das Camadas.

Diversas pesquisas indicam variados tipos de materiais para a composição das camadas de drenagem e filtragem; podendo ser naturais, reciclados ou manufaturados. Entre os naturais estão o cascalho, brita, tijolos esmagados, madeira, argila, bambu, fibra de côco e a mineral lã de rocha. Entre os reciclados estão os resíduos de Poliacetato de Etileno Vinil (E.V.A) e o Poliestireno Expandido (EPS ou isopor). Nos manufaturados são utilizados os componentes de reciclados sintéticos e aditivos agregantes, construídos para diversificadas finalidades.

²¹ Árvores e arbustos abundantes nas regiões árticas. Fonte: Dicionário Digital Aurélio.

A figura 27 expõe o posicionamento das camadas.

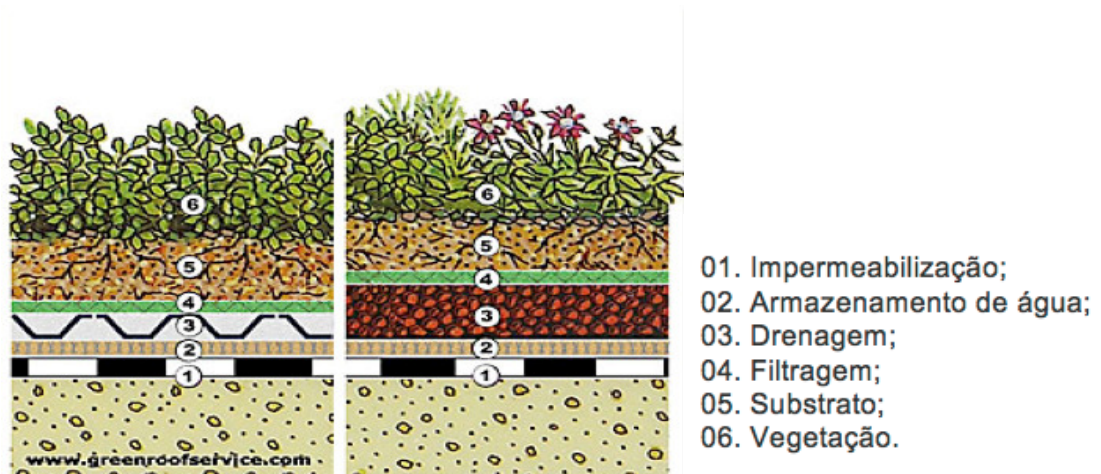


Figura 27: **Camadas componentes de uma cobertura vegetal.**

Fonte: Greenroofplants.com

A camada de impermeabilização tem a função isolar a umidade da estrutura da edificação. Podem ser utilizados diversos materiais como lonas plásticas, pinturas betuminosas ou outro elemento com a mesma função.

Em alguns tipos de telhados vegetais são utilizados reservatório de água sobre a camada impermeabilizante, esse recurso possui a vantagem de garantir a hidratação do sistema ou reutilização da água. A camada de drenagem tem a função de evitar a umidade excessiva, que poderá ocasionar o apodrecimento das raízes e a falência do sistema. A filtragem exerce a função de retenção do substrato. Alguns produtos disponíveis no mercado possuem características drenante e filtrante específicas para cada tipo de cobertura, considerando a função escolhida e a inclinação da superfície.

Quanto à espessura do substrato de uma cobertura verde extensiva, não existe nenhum valor consensual entre os vários construtores e países. Na Alemanha a espessura mínima de substrato aconselhada é 0,06m enquanto em Portugal é 0,08m (Neoturf, 2011).

As plantas devem ser adequadas para cada tipo de clima, especialmente no tipo de cobertura extensiva que exigem plantas tolerantes à seca. Nos climas quentes e secos são recomendadas as que armazenam água nos seus tecidos durante longos períodos, como as suculentas; e as de boa resistência e de escassa manutenção são as gramíneas. Fundamental é a utilização de planta nativa para manutenção do sistema e da fauna local.

3.4 Impactos dos telhados vegetais em edificações.

- Efeitos higrotérmicos

O conforto higrotérmico dos ambientes é determinado pela temperatura, pela umidade e a velocidade do ar e pela temperatura das superfícies que o cercam. Estes condicionantes dependem das características da construção, da influência dos sistemas naturais e artificiais de condicionamento de ar. Algumas escolhas feitas no projeto influenciam no conforto higrotérmico como a posição e a dimensão das superfícies e aberturas, as proteções contra o sol, a escolha dos materiais de revestimento e dos materiais de isolamento.

Segundo Minke (2004), as plantas podem reduzir as oscilações de temperatura do ambiente. Este processo se fortalece ainda mais pela grande capacidade de armazenamento do calor da água existente nas plantas e no substrato, assim como através da fotossíntese. O mesmo autor afirma que dependendo das condições locais e do tipo de vegetação, o efeito de esfriamento se faz perceptível principalmente nos dias mais quentes do verão, que podem demandar até 90% da energia solar.

De acordo com a pesquisa do arquiteto alemão Jörg Spangenberg, aplicada no Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, publicada na Revista *Téchne* (2009), a utilização de coberturas vegetais diminui em cerca de 15°C a temperatura na superfície da laje da edificação, se utilizado em larga escala nas grandes cidades poderia reduzir a temperatura do ar de 1°C a 2°C. Segundo o autor, o processo de evapotranspiração dos vegetais de um telhado vegetal demanda uma redução da carga térmica no andar da cobertura e pode alcançar uma redução de energia para o condicionador de ar de aproximadamente 240kWh/m².

Segundo ROLA & UGALDE (2007) a aplicação de vegetação sobre superfícies construídas, coaduna com as diretrizes da agenda 21, pois busca amenizar os impactos do desenvolvimento urbano, explorando cientificamente respostas às demandas ambientais e redirecionando as cidades para o desenvolvimento sustentável, visando uma maior integração entre espaço urbano - cidadão – natureza.

Em Chicago, uma equipe de cientistas sobrevoou a cidade em 2007 e identificaram a temperatura de mais de 40°C em um edifício com laje preta, enquanto a prefeitura, coberta com telhado vegetal, atingia somente 21°C (Cidades Sustentáveis, 2012).

Pesquisadores estudaram o mês de temperaturas mais quentes em nove cidades mundiais incluindo a subártica Montreal, Londres, a úmida Mumbai e Brasília, constataram que paredes e telhados verdes refrescaram o clima local em todas as cidades, quanto mais quente o clima maior o efeito (Ambiente Brasil, 2011).

As temperaturas máximas de edificações em Londres e Montreal, por exemplo, caíam entre 2,5°C e 3°C. Em Brasília e Hong Kong se for utilizado telhados e paredes verdes a necessidade de ar condicionado de um prédio é eliminada durante o mês mais quente do ano. Edifícios em Riad, na Arábia Saudita, envoltos em vegetação, apresentam o pico com diferença de 9,1°C a menos durante o dia, de acordo com o modelo dos pesquisadores, e o número de horas de ar condicionado seria cortado de 12 para 5 horas (Ambiente Brasil, 2011).

A demanda por condicionadores de ar tende a crescer com a tendência de aquecimento global, então telhados verdes podem ajudar a conter esta demanda (Ambiente Brasil, 2011).

A cobertura da edificação é região mais vulnerável às agressões do clima e do meio externo, especialmente em regiões equatoriais, onde ocorrem elevados índices pluviométrico e alta incidência solar global (Ig)²². Para efeito do controle térmico, a cobertura é o principal responsável pelo ganho e transmissão de calor para o ambiente interior, influenciando nas condições de conforto térmico dos usuários e no consumo de energia para condicionamento do ar.

Em um experimento realizado por Vecchia (2005) no laboratório experimental da Universidade de São Carlos-SP, que avaliou o desempenho térmico de cinco tipos de telhado apresentados na figura 28, num dia de temperatura externa de 34,0°C foi observado que a temperatura máxima no interior do módulo de cobertura vegetal foi de 28,8°C, bem menor do que os demais telhados. A Telha cerâmica apresentou 50,9°C, aço galvanizado 57,8°C, telha de fibrocimento 48,6°C e a laje de concreto 45,0°C.

²² Incidência solar global: Soma dos efeitos da irradiação direta e da difusa.

O atraso térmico observado pelo autor entre a cobertura vegetal e os sistemas tradicionais de cobertura no Brasil (aço, fibrocimento, concreto e cerâmica) é de aproximadamente 4 horas, acompanhado de um amortecimento térmico²³ de cerca de 8°C.

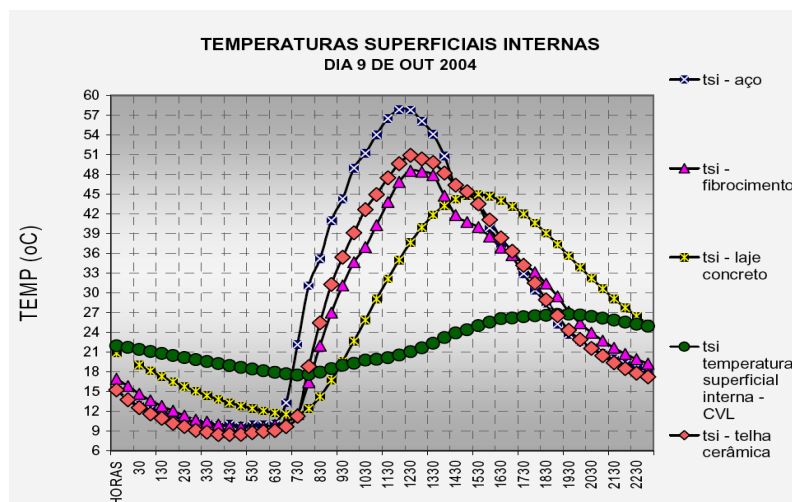


Figura 28: **Análise comparativa de 04 tipos de telhados.**
Fonte: Vecchia, 2005.

- Impacto no Sistema de Drenagem das Águas Pluviais.

Uma cobertura verde leve de 100m², cerca de 1400 litros de água de chuva deixa de ser enviado para a rede pública. Áreas naturalizadas podem reter de 15% a 70% do volume de águas pluviais, prevenindo a ocorrência de enchentes (Obviousmag, 2009).

Conforme Minke (2004), uma cobertura vegetal com 20 cm de substrato, composto por terra e argila expandida, pode armazenar 90 litros/m². O mesmo autor declara que em ensaio realizado pelo Instituto do Estado Federal da Baviera para viticultura e horticultura em Veitshöchheim, na Alemanha, foi verificado que um substrato de somente 10 cm de espessura favoreceu o deságue de 5 litros/m² em uma chuva com intensidade de 20 litros/m² em 15 minutos, enquanto que uma cobertura plana com brita desaguou 16 litros/m² na mesma faixa de tempo. Informa ainda que nas normas alemãs DIN, o coeficiente de deságue para superfícies ajardinadas com no mínimo 10 cm de espessura é de 0,3, ou seja, 30% da chuva precipitada deságuam e 70% é retida para utilização das plantas ou é evaporada.

²³ Diferença entre as temperaturas superficiais máximas externas e internas

3.5 Telhados Vegetais no Brasil, no mundo e suas aplicações.

A prática desse tipo de cobertura está bastante disseminada entre os países europeus, especialmente na Alemanha e em países escandinavos. Na América Latina vem conquistando muitos adeptos nos últimos anos.

Em Chicago-EUA, mais de 359 telhados verdes estavam instalados ou em construção na cidade até 2008, tornando a cidade com maior número de telhados verdes nos Estados Unidos. O City Hall de Chicago, na figura 29, utiliza sistemas intensivos, extensivos e intermediários, e possui ambiência social.



Figura 29: **City Hall.**

Fonte: cidades sustentaveis.org.

O 8 House Complex em Copenhague, Dinamarca, apresentado na figura 30, possui cobertura vegetal inclinada e utilizou mais de 1.700 m² do tipo extensivo, que incluiu pátios e varandas. Esse projeto foi premiado em 2010 como o melhor telhado verde da Escandinávia pela Scandinavian Green Roof Association.



Figura 30: **8 House Complex, Copenhagen, Dinamarca.**

Fonte: ARCO Editorial Ltda.

Com certificação LEED Platinum, a cobertura Vancouver Convention Centre, na figura 31, se destaca pelo sistema de drenagem que ajuda a evitar inundações. São 2,6ha em planos inclinados e recortados, cobertos por 25 espécies de vegetação nativa. O telhado foi dividido em setores de 800 m², abaixo dos quais sistemas de drenos e bacias de retenção ajudam a gerenciar as águas pluviais. Em abril de 2009 foi considerado o maior telhado vivo não-industrial no Canadá e de toda América do Norte.



Figura 31: **Centro de Convenções de Vancouver.**
Fonte: Archdaily.com

O Vancouver Olímpicos e Paraolímpicos Ville, na figura 32, possuem certificação LEED ND Platina pelo Green Building Council. A obra foi concluída em novembro de 2009 e hospedou 2800 atletas dos jogos de Inverno em 2010. Metade dos telhados dos 22 edifícios são gramados e reutilizam a água da chuva para lavar banheiros e irrigar os jardins. O primeiro de seu tipo na América do Norte a fornecer água quente e aquecimento para os moradores da aldeia vizinha, pelo calor advindo do sistema de esgoto.



Figura 32: **Vancouver Olympic and Paralympic Ville.**
Fonte: MSN Real Estate.

O Hospital Bellême, na França, figura 33, possui um telhado verde por baixo de painéis solares, uma abordagem favorável que potencializa benefícios energéticos. É um edifício que possui certificados LEED e HQE.



Figura 33: **Hospital Bellême, na França.**
Fonte: Greenroofs.com

Or Torá Ramot Escola Banim Alto, figura 34, situado em Israel é o primeiro edifício público em Jerusalém a aplicar um telhado verde. Cerca da metade da área é intensiva e a outra metade extensa com uma variedade de vegetação local plantada sobre 12cm de substrato, mantida com a participação dos alunos.



Figura 34: **Torá Ramont Escola Banim Alto.**
Fonte: Greenroofs.com

A cobertura do edifício da Prefeitura do Município de São Paulo – Brasil, figura 35, possui um jardim que pode ser visto do vale do Anhangabaú. São mais de 400 espécies vegetais cultivados na cobertura. São pés de café, cana-de-açúcar, ervas medicinais, mangueira, entre outras espécies.



Figura 35: **Prédio da Prefeitura do Município de São Paulo.**
Fonte: Skyscrapercity.com

O edifício do Fórum do Meio Ambiente e da Fazenda Pública do Distrito Federal - TJDFT, figura 36, inaugurado em 2011, buscou os critérios para a certificação LEED nas diversas etapas da construção. Utiliza gramado com 05 cm de substrato em módulos sobre metal e laje *steel deck*²⁴.



Figura 36: **Vista superior do TJDFT.**
Fonte: Revista AU, 2011.

²⁴ Laje composta por telha de aço galvanizado revestida com concreto.

O sistema utilizado no TJDFE foi desenhado para permitir boa aeração, armazenamento de água e leveza, conforme detalha a figura 37.

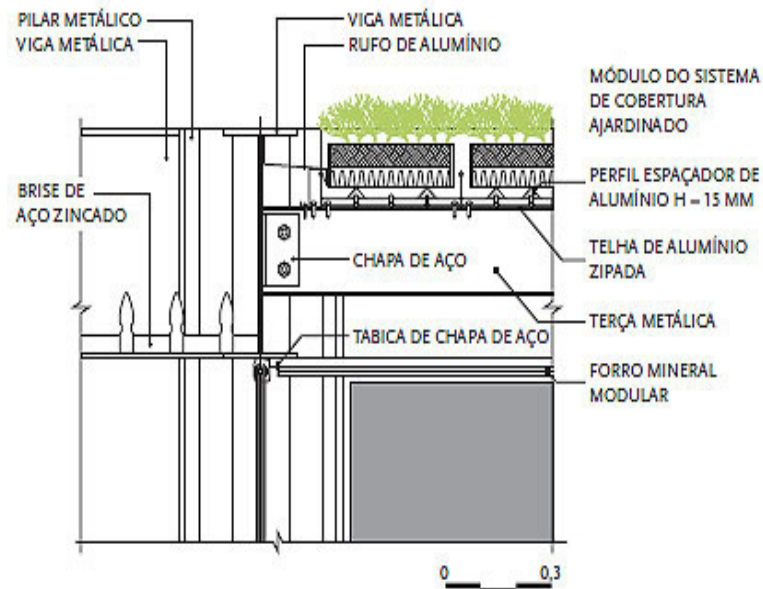


Figura 37: **Detalhes construtivos da cobertura do TJDFE.**
FONTE: Revista AU, 2011.

3.6 Tecnologias disponíveis no mercado brasileiro.

- **Tecgarden, da Remaster.**

O sistema Remaster na figura 38 permite reservar as águas das chuvas e sem utilização de energia elétrica. É composto por pedestais que criam um vão para o reservatório de água e garantem a drenagem do excedente.

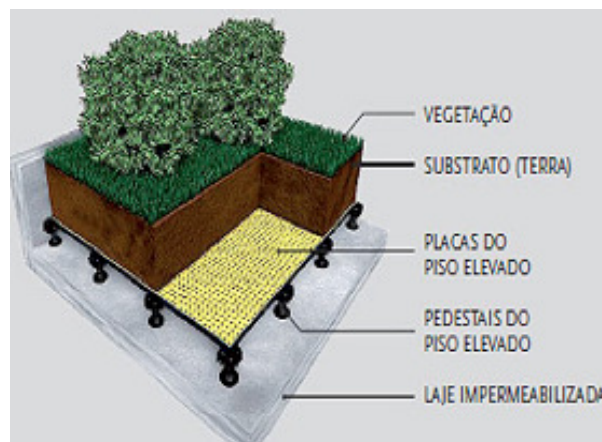


Figura 38: **Detalhe Tecgarden.**
Fonte: Revista Equipe de Obra, 2009.

- **Revestimento Vivo Premium, do Instituto Cidade Jardim**

A figura 39 detalha o sistema que conta com módulos pré-fabricados, nos quais todos os componentes estruturais necessários para o cultivo localizam-se em uma única peça com encaixe lateral, incluindo drenagem, filtro, reservatório de água, substrato leve e plantas. Os módulos podem ser recortados, o que permite desenhos curvos.

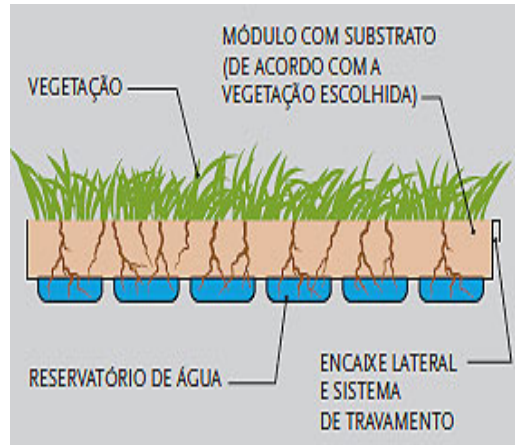


Figura 39: **Detalhe Vivo Premium.**
Fonte: Revista Ambiente Brasil, 2011.

- **Sistema Laminar, da Ecotelhado.**

Ideal para climas secos e construções de lajes planas. O sistema dispõe de uma cisterna para águas pluviais implantada sob piso modular elevado, que garante suprimento de até 200 litros/m², conforme detalhe na figura 40. O peso do conjunto saturado é de 250 kg/m², podendo variar de acordo com o tamanho da vegetação. Permite também a purificação de águas com posterior reutilização.

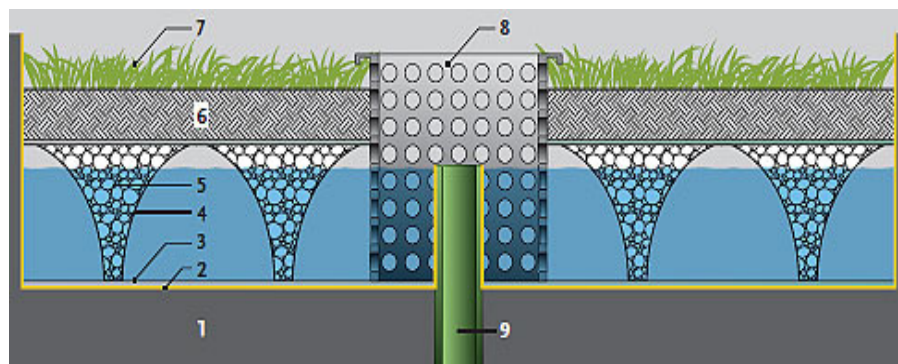


Figura 40: **Detalhe Sistema Laminar.**
Fonte: Revista Equipe de Obra, 2011.

- **Sistema Galocha, da Ecotelhado.**

São sistemas preparados que exercem a função de todas as camadas. A figura 41 detalha a instalação do Módulo Galocha.

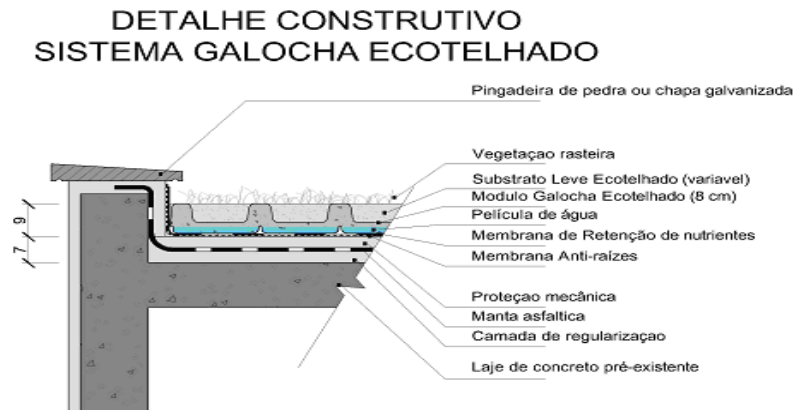


Figura 41: **Detalhe Sistema Galocha.**
Fonte: Ecotelhado.com

O Módulo Galocha da Ecotelhado utiliza o E.V.A nas camadas de suporte da vegetação. Rolim (2007) em pesquisa sobre a viabilidade da incorporação de resíduos de E.V.A no concreto, concluiu que pontos de concreto produzidos pela incorporação desse resíduo apresentaram algumas vantagens em relação aos convencionais fabricados com concreto puro, como leveza, maior uniformidade, excelente capacidade de aderência à argamassa de reboco e à outros tipos de acabamento.

Bayer (2006) em ensaio experimental realizado no Laboratório de Vapor e Refrigeração da UFRGS analisou dois tipos de telhados, um vegetal com reciclado de E.V.A sobre telha de cimento amianto e outro somente com telha de cimento amianto. A figura 42 apresenta os dois protótipos.



Figura 42: **Protótipos telha EVA+grama+cimento amianto & cimento amianto**
Fonte: Bayer, 2006.

No ensaio, Bayer (2006) verificou que a temperatura do ar sob da telha de cimento amianto alcançou valores máximos entre 43 e 47°C e esquentou em torno de 10°C a mais que a telha vegetal com reciclado de EVA. Concluiu que a redução da temperatura do telhado de base, abaixo do telhado vegetal, proporciona menor ganho térmico para o ar interior em situação de incidência solar intensa, com temperaturas externas elevadas.

O autor apresenta os resultados na figura 43. Em azul, a evolução da temperatura externa, em verde a evolução da temperatura do ar sob a telha revestida pela ecotelha e em vermelho a evolução da temperatura do ar com a telha de cimento amianto.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Departamento de Engenharia Mecânica
Laboratório de Vapor e Refrigeração

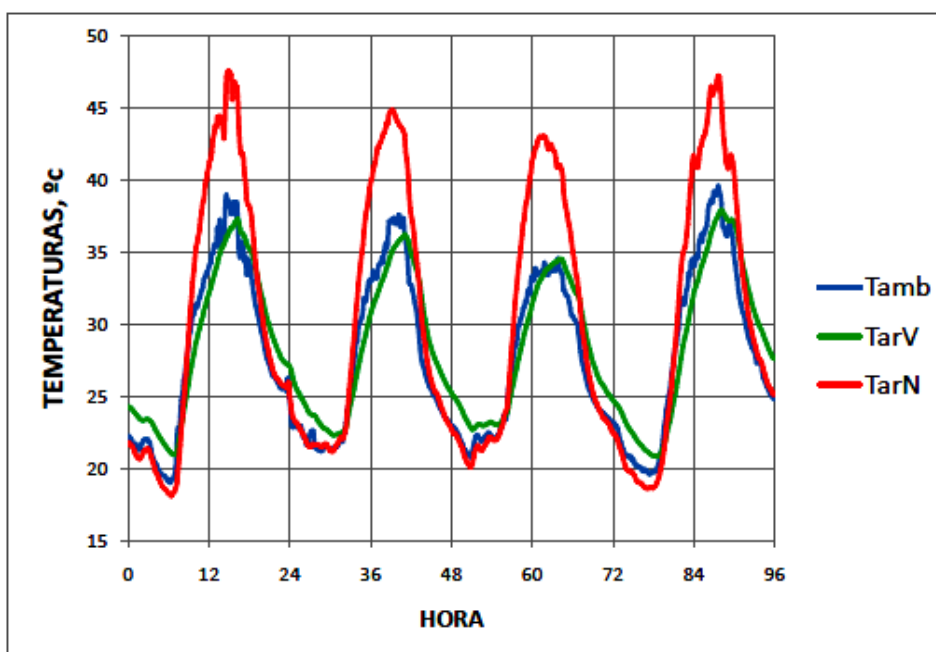


Figura 43: **Resultados EVA+grama & telha de cimento amianto.**
Fonte: Bayer, 2006

Com base nas tecnologias apresentadas será utilizado na etapa experimental deste trabalho o sistema Galocha da empresa Ecotelhado por concentrar em sua composição as camadas de filtragem, drenagem e armazenamento de água, assim como também por atender aos quesitos de leveza, baixa manutenção, resistência a pisoteio e não ser biodegradável.

3.7 Considerações Gerais.

A correlação entre as peças do mosaico de informações apresentadas nos capítulos anteriores sobre o microclima de Belém do Pará passa despercebida para muitos construtores e dirigentes municipais. Dessa forma, práticas construtivas inadequadas se repetem. O desconhecimento, ou negligência, sobre as causas dos agravos climáticos potencializa os efeitos nocivos no ambiente urbano, que impactam negativamente na qualidade de vida da população.

Em escala urbana são os componentes estruturais, arquitetônicos e paisagísticos dos espaços abertos que determinam o clima antropogênico; em escala menor, considerando o edifício dentro do sistema urbano, são as características do entorno da edificação, os materiais e métodos construtivos utilizados na envoltória que definem o microclima interno da edificação e que reverberam para o ambiente exterior. São sistemas dependentes cujo necessário equilíbrio entre as escalas deve ser previsto na fase de concepção projetual, não obstante as necessárias medidas corretivas posteriores.

As pesquisas citadas nos capítulos anteriores sobre o clima antropogênico de Belém apresentam a preocupante substituição da vegetação urbana por materiais construtivos de elevado albedo e de alta absorção térmica, sendo a principal causa do aumento da temperatura do ar na cidade.

Importante destacar que não há registros da utilização de telhados vegetais com finalidades termoenergéticas em edificações dentro do núcleo urbano no município de Belém, apenas em esparsas finalidades paisagísticas em muros, em revestimento de pisos em áreas abertas de grandes condomínios.

O fato novo apresentado neste trabalho será mensurar a eficácia desta técnica no clima amazônico, em condições de isolamento da ventilação do ambiente estudado.

4. CAMPO EXPERIMENTAL MATEMÁTICO.

4.1 Parâmetros climáticos considerados.

Neste experimento serão consideradas somente as variáveis de temperatura e umidade relativa do ar. O isolamento da ventilação visa simular esta condição no centro urbano de Belém, onde foram identificadas ilhas de calor em locais de grande adensamento habitacional e nas áreas dos galpões industriais, conforme as pesquisas citadas.

4.2 Caracterização do sitio experimental

A sala experimental localiza-se em Belém do Pará, na latitude $01^{\circ} 27'S$ e longitude $48^{\circ} 26'W$, no Parque de Ciência e Tecnologia Guamá (PCT- Guamá), em área contígua à Universidade Federal do Pará, em sala pertencente ao Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON).

Na figura 44a observa-se à esquerda do PCT- Guamá, figura 44b, grande densidade habitacional e, à direita, área de preservação ambiental.

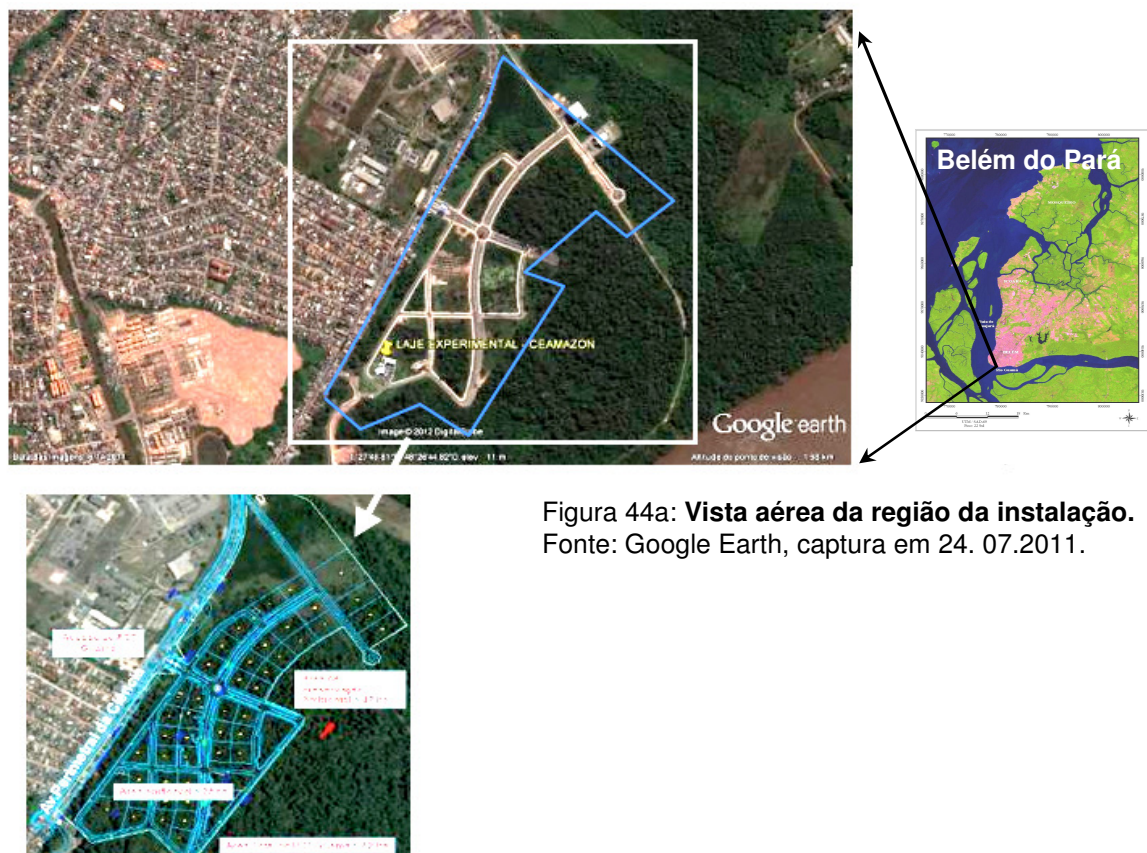


Figura 44a: **Vista aérea da região da instalação.**
Fonte: Google Earth, captura em 24. 07.2011.

Figura 44b: **Projeto de Expansão do PCT- Guamá.**
Fonte: PCT-Guamá, 2011

- **Planta de localização da sala experimental no CEAMAZON.**

A figura 45 apresenta a planta de situação da sala no pavilhão, com o detalhe da vista lateral sul e de uma árvore que projeta sombra na laje no final da tarde.

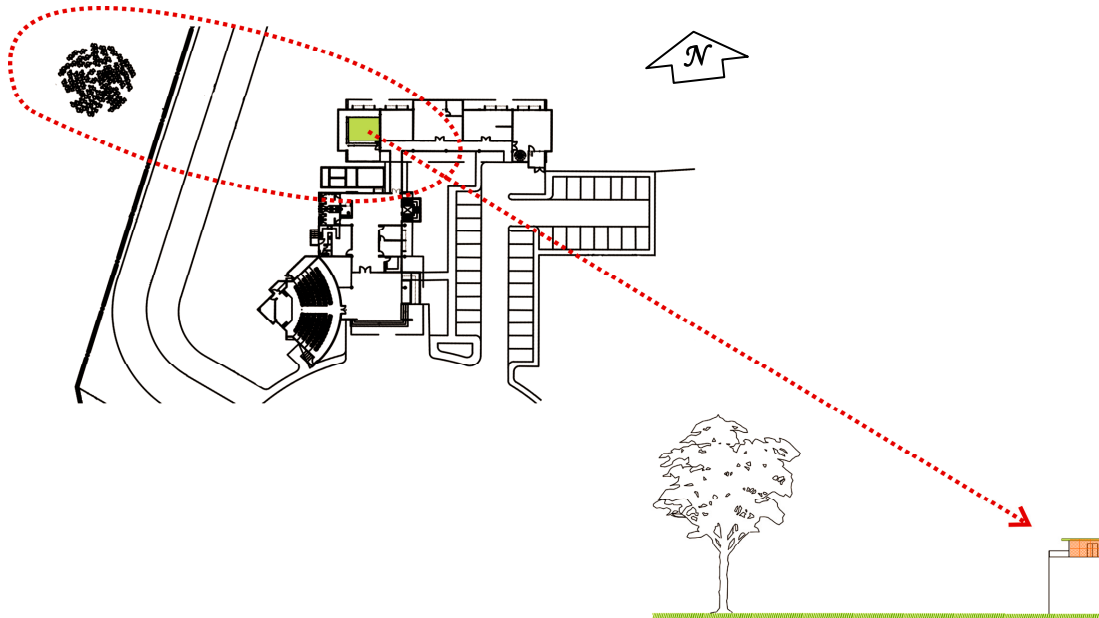


Figura 45: **Planta de situação no pavilhão e vista lateral sul da sala experimental.**
Fonte: Adaptado do CEAMAZON, 2011.

A área pontilhada da figura 46 corresponde ao croqui do deck experimental.

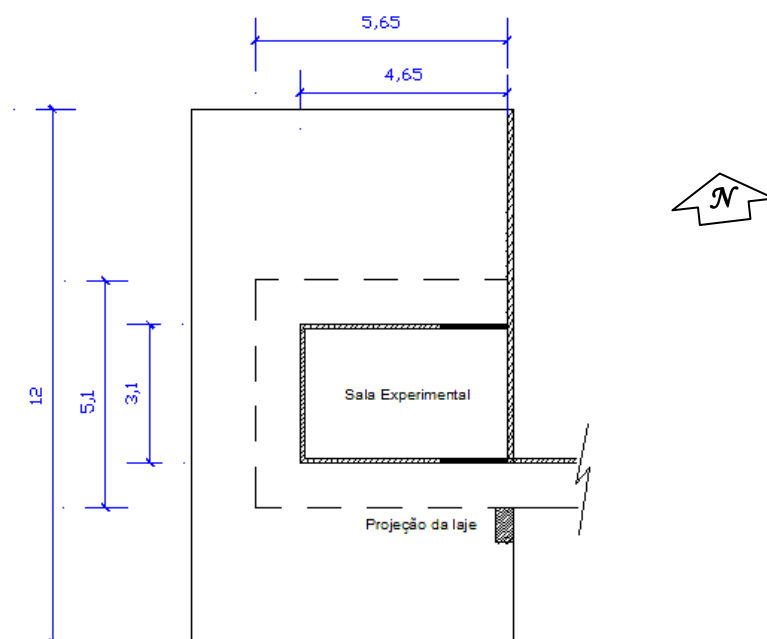


Figura 46 **Croqui da planta baixa do deck experimental.**

4.3 Materiais e métodos adotados na estação experimental.

O tipo de telhado vegetal adotado foi o extensivo em função das características de menor peso e de baixa manutenção. O sistema escolhido foi o galocha da empresa Ecotelhado, por corresponder às camadas de drenagem e filtragem e possuir reserva de água para a própria manutenção. O sistema recebeu substrato orgânico e tapetes de grama esmeralda (*Zoyzia Japônica*) vegetada adulta.

Nesta fase foram executados os procedimentos experimentais em escala reduzida e em escala real.

4.3.1 Procedimentos experimentais em escala reduzida.

O modelo em escala reduzida objetivou: a) Mensurar a carga máxima exigida pelo telhado vegetal; b) Observar a autonomia de regeneração da grama após desidratação; c) Mensurar as diferenças de temperaturas superficiais da grama e da cerâmica branca, expostas à mesma incidência solar, e analisar a contribuição dessas superfícies para o aquecimento da camada de ar imediata.

- a) Mensuração da carga máxima do telhado vegetal que incidirá sobre a laje em escala real.

Foram medidas as massas de dois módulos com substrato e tapete de grama, nas dimensões 0,70x0,35x0,09cm (comprimento, largura e altura) inicialmente umedecidos e, após, plenamente hidratados. Os módulos vegetados foram pesados em balança eletrônica de precisão com capacidade para 30 kg, marca Welmy, autorizada pelo INMETRO²⁵, devidamente calibrada. A tabela 1 apresenta as médias aritméticas das massas dos módulos umedecidos, saturados e o volume d'água necessário para a saturação de cada unidade.

Tabela 1: Especificação da capacidade de carga do sistema (módulo + grama)

Matérial	Dimensões (m)	Umedecido (kgf)	Saturado (kgf)	Volume d'água (litro)
Módulo gramado 1	0,70 x 0,35 (0,245m ²)	16,131	18,221	1,8
Módulo gramado 2	0,70 x 0,35 (0,245m ²)	16,623	18,523	2,2
Médias		16,350	18,350	2,0
01 m ² de módulo gramado		66,735	74,898	8,1
Telhado vegetal	5,10 x 5,65 (28,81m²)	1922,627	2157,81	235,18

²⁵ Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

O telhado vegetal umedecido pesa em média $66,735\text{kgm}^2$ e quando saturado chega a $74,90\text{kgm}^2$. O volume de 8,1 litros de água utilizado para a saturação de 01m^2 varia em função do tipo e da altura do substrato, da umidade natural e do estado da grama de cada módulo. O peso total do telhado vegetal umedecido é de $1922,62\text{kgf}$ e saturado $2157,8\text{kgf}$ distribuídos em $28,81\text{m}^2$.

A carga do sistema saturado de $74,898\text{kgf}$ corresponde a 50% da carga máxima de suporte da estrutura, que é de 150kgfm^2 , conforme declaração no anexo C. Não oferecendo, dessa forma, riscos de falência na estrutura da edificação.

b) Análise da autonomia de regeneração da grama esmeralda.

Este teste visou à capacidade de regeneração da grama nos períodos menos chuvosos de Belém do Pará.

Dois módulos em condições idênticas foram abrigados da chuva no período de 28.03.2012 a 24.04.2012, sendo que somente uma unidade foi mantida hidratada. A partir do dia 24 de abril ambos foram expostos ao ar livre, recebendo sol e chuva. No dia 26 de junho, observou-se significativa regeneração da grama do módulo desidratado, conforme se apresenta na figura 47.



Figura 47: **Estágios de regeneração da grama.**

A grama esmeralda apresentou boa capacidade de regeneração em 64 dias de exposição ao ar livre, após 28 dias sem hidratação. Sua resistência a climas quentes apresenta excelente aplicabilidade no clima do Belém do Pará, favorecida pela alta umidade do ar, mesmo nos meses de baixo índice pluviométrico.

- c) Mensuração das temperaturas superficiais da grama hidratada e desidratada em relação à temperatura da cerâmica branca.

Este teste objetiva identificar as superfícies mais favoráveis à emissão de calor radiante para o ar exterior e qual condição de hidratação da grama impacta menor temperatura na superfície protegida sob o módulo.

Os módulos, posicionados sobre lajota de cor branca, ficaram expostos à plena exposição solar do dia 24 de abril e foram movimentados 30 cm para a lateral para favorecer a medição das temperaturas das áreas do piso protegidas pelos mesmos. Às 16 horas foram medidas as temperaturas superficiais da grama e da lajota. As imagens termográficas da figura 48 foram capturadas por câmera de infravermelho i60 (FLIR), faixa de temperatura -20 à 350°C, sensibilidade térmica de 100mK, precisão de ± 2 °C e resolução infravermelha 21.400 pixels.

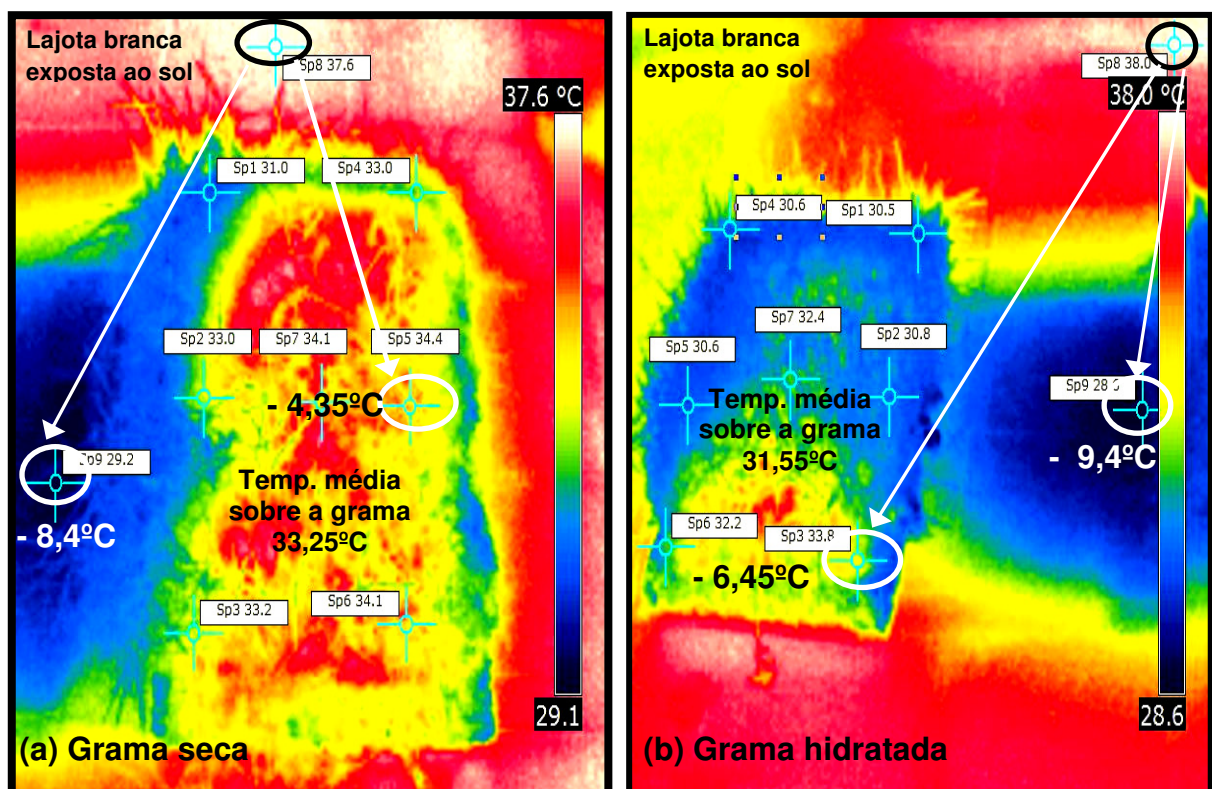


Figura 48: Termogramas dos módulos no dia 24 de abril: (a) grama seca, (b) grama hidratada. Fonte: Imagens exclusivas de Kataoka, 2012.

Na figura 48(a) a temperatura de 29,2°C, sob o módulo desidratado, se apresentou inferior 8,4°C que o ponto de maior temperatura na lajota descoberta, que acusou 37,6°C. A temperatura média sobre a grama foi de 33,25°C, inferior 4,35°C em relação ao ponto máximo da lajota exposta.

Na figura 48(b) a temperatura de 28,6°C sob o módulo hidratado se apresenta inferior 9,4°C que o ponto de maior temperatura da lajota exposta. Sobre a grama, a temperatura média foi de 31,55°C, inferior 6,45°C em relação ao ponto máximo da lajota descoberta. As superfícies da laje protegidas apresentaram a pequena diferença de 0,6°C em função da reduzida área dos módulos, que receberam influência térmica da área do piso, expostos a mesma incidência solar. Trata-se do efeito de borda, que ocorreu quando as temperaturas da laje descoberta, adjacentes ao módulo gramado, influenciaram nas áreas da laje encobertas pelos módulos.

Sob os módulos, a temperatura dos pontos da área protegida diminui na medida em que se afastam da linha limítrofe e tomam o sentido central, tendendo a estabilizar a partir de determinada distância desta linha. Desta forma, a dimensão da área protegida é fator determinante para definir o nível de influência térmica das áreas expostas ao sol.

Observou-se que os módulos, em ambas a condição de hidratação, proporcionaram menor transferência de calor para a camada de ar imediatamente superior que a cerâmica branca utilizada no piso do pavilhão.

4.3.2 Procedimentos experimentais em escala real.

Após identificar a compatibilidade do peso máximo do telhado vegetal e a capacidade da carga estrutural para recebê-lo, foram iniciados os procedimentos preparatórios para a montagem da sala experimental.

A superfície externa da laje foi nivelada com concreto e revestida com porcelanato. Foi utilizado aditivo impermeabilizante no concreto e na argamassa, objetivando o estancamento hídrico da laje. O porcelanato recebeu pintura de cor cinza escura para a maior absorção possível de carga solar direta, com vistas a avaliar a laje nesta condição e compará-la com a condição de coberta com o telhado vegetal. O dreno existente é constituído de um tubo de PVC de 100mm, que apresenta boa capacidade de vazão pluviométrica para a área de 28,81m², considerando a ausência de retenção da água sobre a laje nos dias de chuva intensa, observados em julho e agosto.

Foram utilizadas estações climatológicas locais para a construção dos perfis climáticos diários externos e instrumentos de medição alocados na própria sala para a construção de perfis diários internos.

4.3.2.1 Escolha dos períodos analisados.

A impossibilidade da adoção de telhado testemunha ofereceu como alternativa a análise do mesmo ambiente em dois meses subsequentes dentro do mesmo ciclo sazonal climático da região.

Conforme as normais climatológicas do INMET de 1961 a 1990, o município possui dois períodos climáticos bem definidos. O primeiro de dezembro a maio é o mais chuvoso e o segundo, de junho a novembro, é definido pela redução das precipitações pluviométricas conforme demonstra a figura 49. Desta forma foram escolhidos os meses de julho e agosto de 2012, que apresentam os índices máximos de insolação, acima de 250 horas/mês.

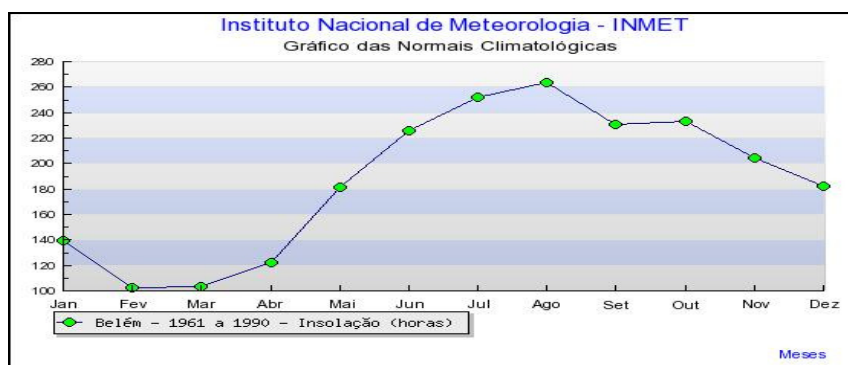


Figura 49: Índices de insolação em Belém do Pará, no período de 1961 a 1990.
Fonte: INMET, 2012.

A figura 50 apresenta a análise comparativa dos índices pluviométricos mensais de 2012 e da normal climatológica de 1961 a 1990. Nas colunas se observa que os meses de junho e julho de 2012 apresentaram índices superiores ao mês de maio, comportamento antagônico com a normal climatológica de 1961 a 1990, que apresenta estes meses em declínio pluviométrico.

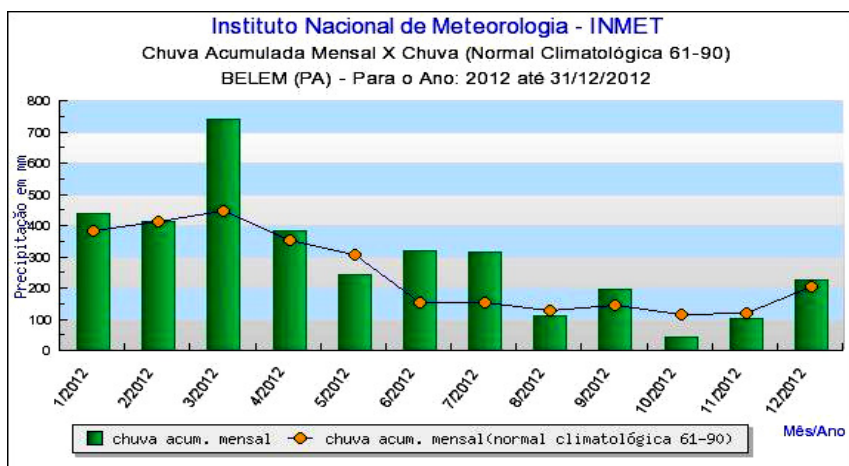


Figura 50: Chuva acumulada no ano de 2012 e no período de 1961 a 1990.
Fonte: INMET, 2012.

Na figura 51 informa que no ano de 2012 houve queda da temperatura do ar em junho e julho em relação ao mês de maio, reação térmica condizente com o comportamento pluviométrico destes meses. Destaca-se a elevação nominal dos índices mensais em relação ao modelo parametrizado do período de 1961 a 1990.

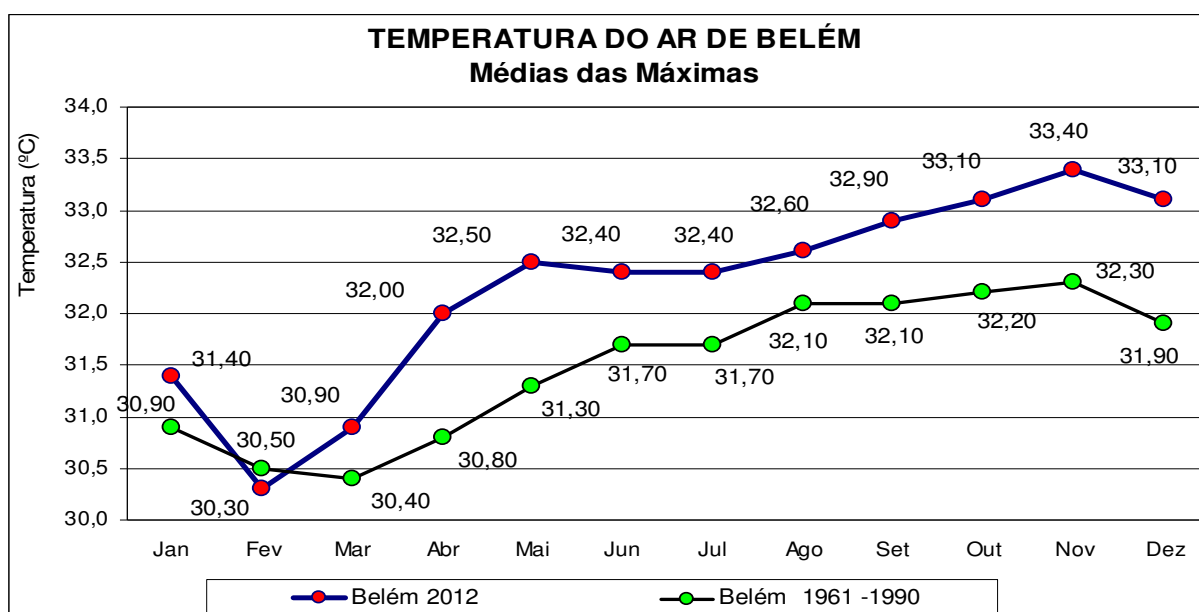


Figura 51: **Temperaturas do ar médias das máximas de 2012 e período de 1961 a 1990.**
Fonte: adaptado do INMET, 2012.

Na tabela 2 constam os índices médios das máximas temperaturas do ar para Belém do Pará, registrados nos Boletins Agroclimáticos de janeiro a outubro de 2012 e na normal climatológica de 1961 a 1990, do INMET.

Tabela 2: Temperatura do ar – Média das máximas de 2012.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Belém 1961-1990	30,9	30,5	30,4	30,8	31,3	31,7	31,7	32,1	32,1	32,2	32,3	31,9	31,49
Belém 2012	31,4	30,3	30,9	32,0	32,5	32,4	32,4	32,6	32,9	33,1	33,4	33,1	32,25
Diferença	+0,5	-0,2	+0,5	+1,2	+1,2	+0,7	+0,7	+0,5	+0,8	+0,7	+1,1	1,2	+0,76

Fonte: adaptado do INMET, 2012.

Segundo os estudos realizados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas da ONU (2012), que reúne cientistas do mundo todo, nos próximos 100 anos poderá haver um aumento da temperatura média global entre 1,8°C e 4,0°C.

Os dados acima apresentados pelo INMET apontam que somente nos últimos doze meses ocorreu o acréscimo em 0,76°C na temperatura do ar de Belém do Pará, tomados como referência a normal climatológica das temperaturas entre os anos de 1961 a 1990.

4.3.2.2 Estações climatológicas adotadas.

Foram utilizados os dados de duas estações locais de superfície, instaladas no Campus Universitário do Guamá. Na figura 52 apresenta o sitio de localização das estações do Laboratório de Conforto Ambiental LABCONF/CEAMAZON e do Grupo de Estudos e Alternativas Energéticas – GEDAE, ambas situadas em área arborizada no Campus Universitário do Guamá. Em destaque, o entorno da estação LABCONF/CEAMAZON.

Observa-se à esquerda das estações densa área habitacional, à direita grande área arborizada e, abaixo, o Rio Guamá distante aproximadamente 620 metros da estação LABCONF/CEAMAZON e 200 metros da estação GEDAE.



Figura 52: **Localização das Estações Climatológicas LABCONF/CEAMAZON e GEDAE.**
Fonte: Adaptado de Google Earth com imagem capturada em 25.07.2011.

A figura 53 detalha o entorno imediato da estação LABCONF/CEAMAZON.



Figura 53: **Detalhe do sitio experimental da estação LABCONF/CEAMAZON.**
Fonte: Adaptado de Google Earth com imagem capturada em 25.07.2011.

Os dados climatológicos foram coletados por duas estações do tipo HOBO. A estação pertencente ao LABCONF/CEAMAZON está instalada sobre a laje experimental na latitude 01° 27'59,49"S e longitude 48° 26'48,77"W, conforme figura 54. A estação do Grupo de Estudos e Alternativas Energéticas – GEDAE está localizada a 400m aproximadamente da laje experimental, na latitude 01° 28'14,39"S e longitude 48° 26'44,61"W.



Figura 54: **Estação climatológica LABCONF/CEAMAZON sobre o telhado vegetal.**

4.3.2.3 Montagem da estação experimental.

A tabela 3 apresenta os materiais utilizados na construção do telhado vegetal.

Tabela 3: Especificação do material utilizado no telhado vegetal	
Qtd.	Materiais
120 unidades	Módulos rígido composto de E.V.A reciclado moído e aglomerado com cimento Portland CP-V, na dimensões externas de 0.70 x 0.36 x 0.09 e profundidade com 04 cm
120 unidades	Bandeja de PVC, na dimensão de 0.70 x 0.36 x 0,02.
30 m ²	Gramma tipo esmeralda (Zoyzia Japônica), vegetada, adulta

4.3.2.4 Instrumentos utilizados na coleta dos dados ambientais internos e superficiais.

Na verificação das temperaturas superficiais foram empregados 08 (oito) termopares tipo T(*cobre-constantin*), posicionados nas superfícies interna e externa, protegidos por placas adesivas isolantes, cujos dados foram armazenados em *datalogger CR1000 da Campbell Scientific Inc.* Na medição da temperatura e da umidade do ar internos foi utilizado o termômetro tipo HOBO, fabricados pela Onset Scientific, conforme a figura 55.

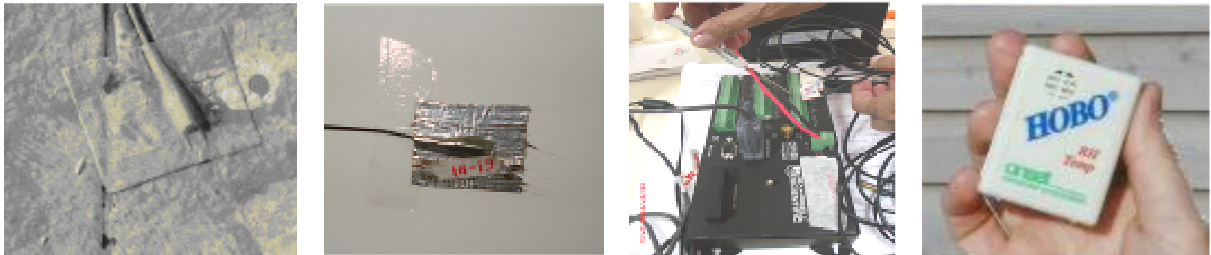


Figura 55: **Termopar externo e interno, Datalogger CR1000, Termômetro Hobo.**

A figura 56 detalha o posicionamento de um termopar externo e a figura 57, os termopares internos.



Figura 56: **Termopar externo.**

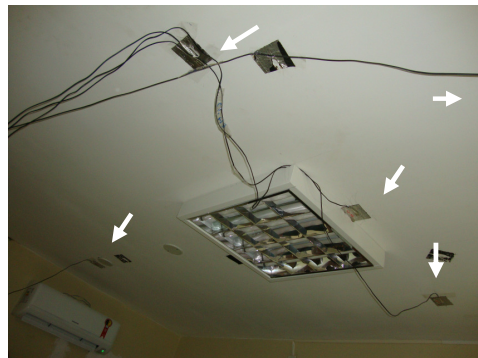


Figura 57: **Termopares internos.**

A figura 58 mostra o desenho esquemático das posições dos instrumentos de medição na estação experimental. O termômetro HOBO da Onset, utilizado para o contínuo armazenamento da temperatura e umidade do ar interior, foi posicionado em tripé a 1,5m de altura do piso, no centro da sala.

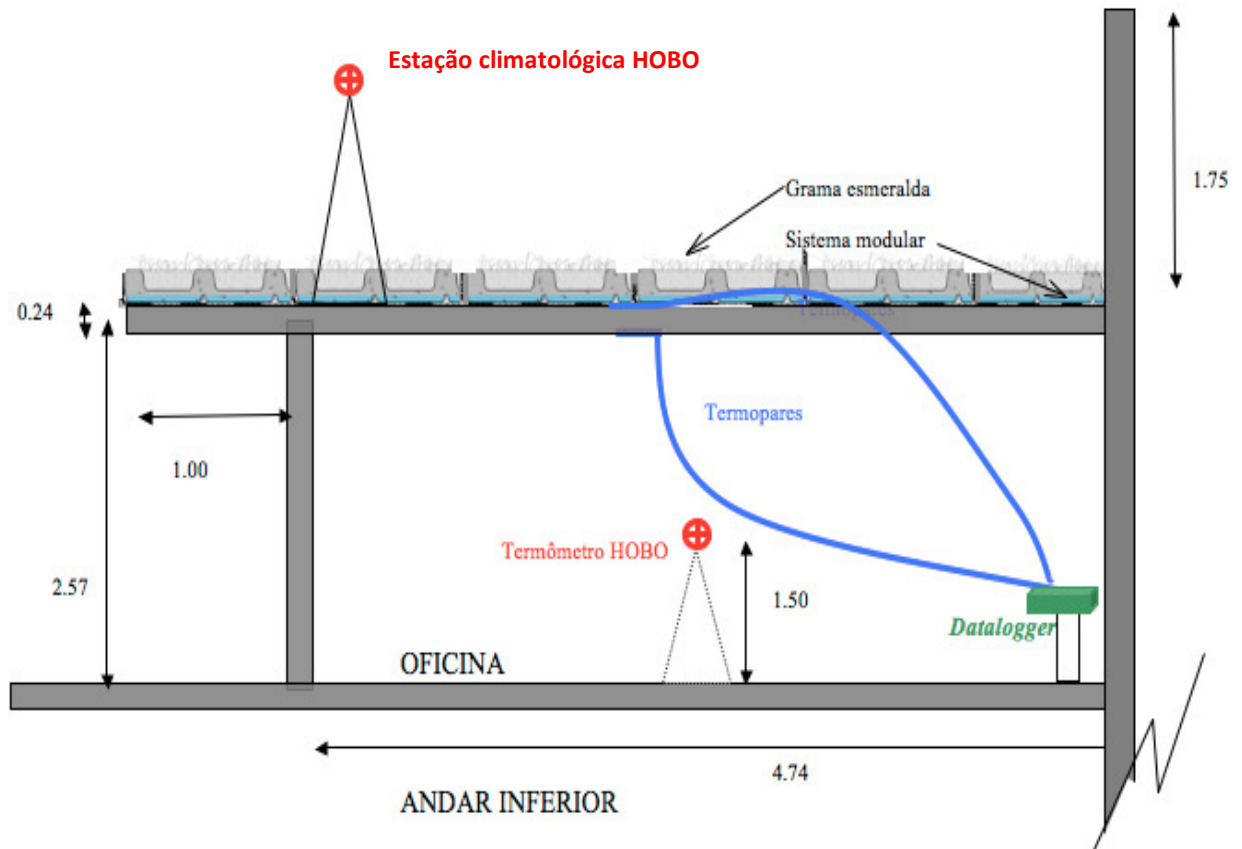


Figura 58: **Vista em corte da estação experimental.**

4.3.2.5 Escolha dos pontos de observação

O critério para escolha dos pontos de instalação dos termopares na laje foi o de temperatura mais elevada.

No período de 11 a 16 de julho de 2012 foram aplicados quatro termopares na superfície interna da laje, simetricamente equidistantes (T1,T3,T4,T5) afastados 0,5 cm das paredes e foi posicionado um no centro (T2).

A figura 59 apresenta a vista lateral sul da sala, correspondendo à elevação da figura 60, com a planta dos termopares.



Figura 59: **Vista lateral sul da laje experimental**

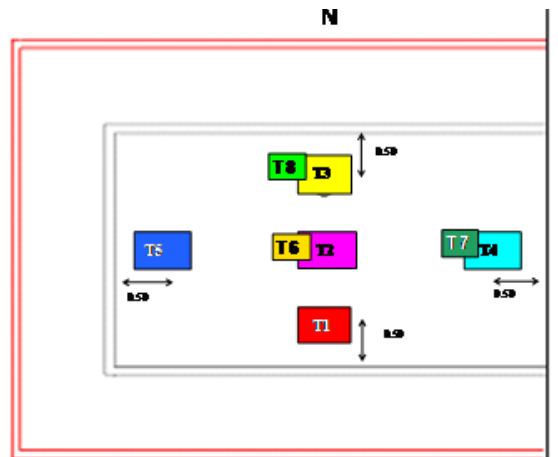


Figura 60: **Planta dos termopares na laje experimental.**

Os pontos internos T2, T3 e T4 apresentaram temperaturas superficiais mais elevadas. No dia 17 de julho foram instalados três termopares externos sobre estes pontos, compondo os blocos de sensoriamentos T8/T3, T6/T2, T7/T4.

4.3.2.6 Aplicação do telhado vegetal

No dia 25 de julho de 2012 foi instalado o sistema modular com grama esmeralda, como se observa na figura 61.



Figura 61: **Aplicação do telhado vegetal.**

Para garantir o enraizamento, a grama foi regada até o dia 10 de agosto, sempre no horário em que as temperaturas estavam em queda, de forma a não interferir nos dados medidos do horário de pico.

4.3.2.7 Análise dos perfis climatológicos diários.

Na coleta de dados, nos meses de julho e agosto de 2012, foram escolhidos dias sem ocorrência de chuva. O primeiro período, com a laje descoberta, ocorreu de 19 a 24 de julho e no segundo, de 26 de julho a 31 de agosto, com a laje coberta pelo telhado vegetal.

Foram verificadas as condições climáticas ambientais externas como os índices de incidência solar, temperaturas e umidades relativas do ar dos dias selecionados.

A tabela 4 apresenta as máximas dos parâmetros climáticos externos dos dias analisados.

Tabela 4: Índices máximos diários dos parâmetros climáticos externos de cada período.

Índice Pluviométrico 0,0mm		Temp Ar (°C)	UR (%)	Rad Solar(W/m²)
1º Período Sem Grama	19.07.2012	32,38	97,80	836
	20.07.2012	32,07	98,60	879
	23.07.2012	32,23	99,70	987
	24.07.2012	31,51	96,80	1051
2º Período Com Grama	01.08.2012	38,95	99,40	919
	05.08.2012	38,28	99,00	858
	11.08.2012	44,44	98,00	919
	22.08.2012	36,39	98,80	928
	30.08.2012	38,64	99,00	988

Fonte: adaptado do INMET, 2012.

4.3.3 Método de coleta e tratamento de dados.

A Organização Mundial de Meteorologia - OMM (2008) estabelece intervalos de aquisição de registros horários. Foram utilizados os registros tomados pelas estações na UFPA a cada 15 minutos, permitindo um acompanhamento mais aproximado dos fenômenos climáticos considerando o limitado período destinado para a coleta dos dados.

Após o tratamento individualizado dos dados climáticos externos, internos e das temperaturas superficiais, conforme os anexos A e B, foram construídos perfis de dois dias fictícios com as médias das máximas dos dados externos, obtidos das duas estações climatológicas da UFPA, que subsidiaram a identificação de dois dias

reais, cujos dados foram comparados e que fomentaram a análise conclusiva da pesquisa.

4.3.3.1 Dados climáticos externos.

As estações climatológicas do CEAMAZON e do GEDAE registram informações a cada 05 minutos, sendo necessária a adoção de gradiente temporal em escala maior para melhor percepção do comportamento horário de cada estação, conforme detalhamento abaixo:

- **Primeiro passo:** Construção da serie horária.

Os índices máximos de temperatura, precipitação pluviométrica e incidência solar de cada estação climatológica foram transportados para planilhas do Excel para identificação das médias aritméticas no intervalo de 15 minutos, conforme a fórmula (1). Após, foram tiradas as médias aritméticas dos índices horários das duas estações e formada uma única série com intervalos de 15 minutos para cada parâmetro climático, conforme a fórmula (2).

$$TMedia(10h15)A = \frac{T(10h05)+T(10h10)+T(10h15)}{3} \quad \dots(1)$$

$$TMedia(10h15) = \frac{TMedia(10h15)A + TMedia(10h15)B}{2} \quad \dots(2)$$

Onde:

$TMedia(10h15)A$ = Média das temperaturas máximas do ar tomadas no intervalo entre 10h05 e 10h15 minutos de determinado dia, da estação local A.
 $TMedia(10h15)$ = Média das temperaturas máximas do ar, tomadas pelas 02 estações locais.

- **Segundo passo:** Construção das médias das séries horárias dos dias de cada período.

O perfil das médias horárias representa as médias aritméticas do mesmo horário dos dias de cada período analisado.

A fórmula (3) foi utilizada para identificação da média temperatura do ar no horário de 10h45 dos dias analisados. A mesma fórmula foi aplicada também para o cálculo das médias da umidade relativa do ar exterior e da incidência solar.

$$TMediaArExt(10h45) = \frac{\sum TArExt(10h45)}{(n^\circ \text{ de dias})} \quad \dots(3)$$

Onde:

$TMediaArExt(10h45)$ = Média da Temperatura Máxima do Ar Externo do n° de dias analisados, no horário de 10h45.
 $TArExt$ = Temperatura do Ar Externo do n° de dias analisados, no horário de 10h45.

4.3.3.2 Dados climáticos internos.

A metodologia de cálculo usada do 2º passo foi utilizada para a identificação das médias aritméticas horárias de temperatura do ar do interior da sala, sendo também adotado para a umidade relativa do ar interno.

4.3.3.3 Dados das temperaturas dos pontos de sensoramento.

As temperaturas superficiais internas e externas formaram duas séries com as médias de cada superfície. A fórmula 06 detalha a média das temperaturas superficiais internas dos pontos 2, 3 e 4 no horário de 10h45 de cada dia estudado.

$$MTS (10h45) = \frac{T2+T3+T4}{3} \quad \dots(4)$$

Onde:

MTS(10h45) = Média da Temperatura Superficial de hora específica.

T2, T3, T4 = Temperaturas superficiais internas nos pontos 2, 3 e 4 de hora específica.

4.3.4 Construção dos dias fictícios de cada período.

Após a obtenção das médias horárias dos parâmetros climáticos externos, foram construídos dois perfis de dias fictícios correspondentes a cada período conforme se apresentam na figura 62 e 63. Perfis que serão utilizados para a definição de dias reais de referência.

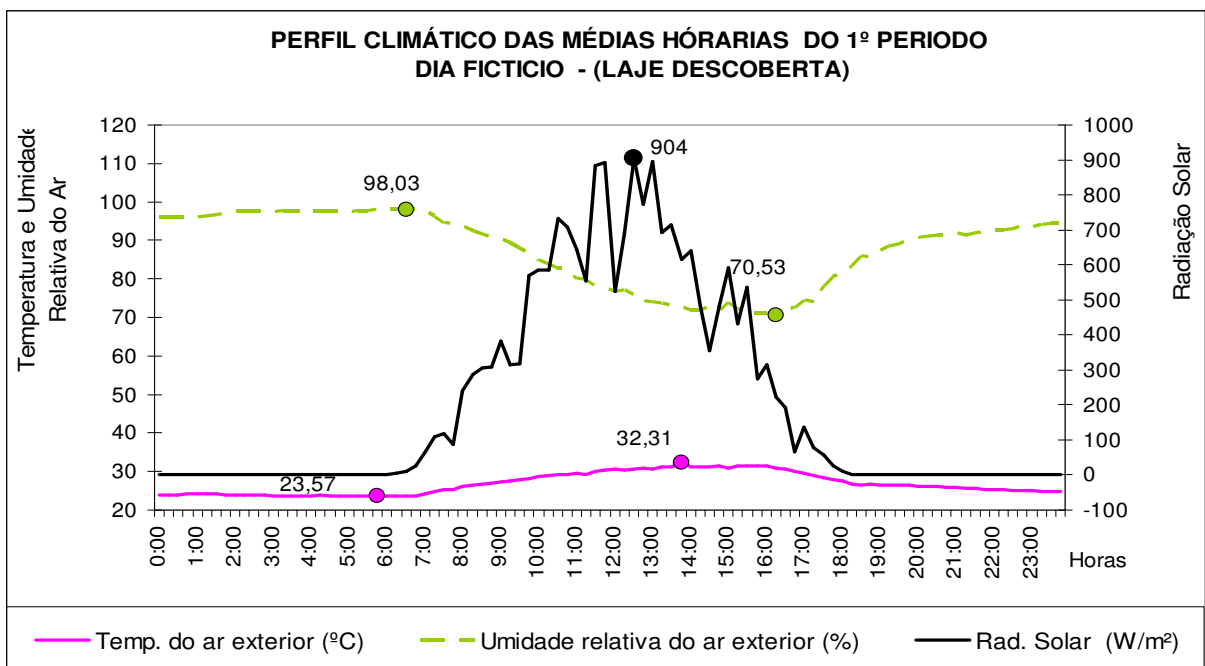


Figura 62: Perfil climático do dia fictício do primeiro período.

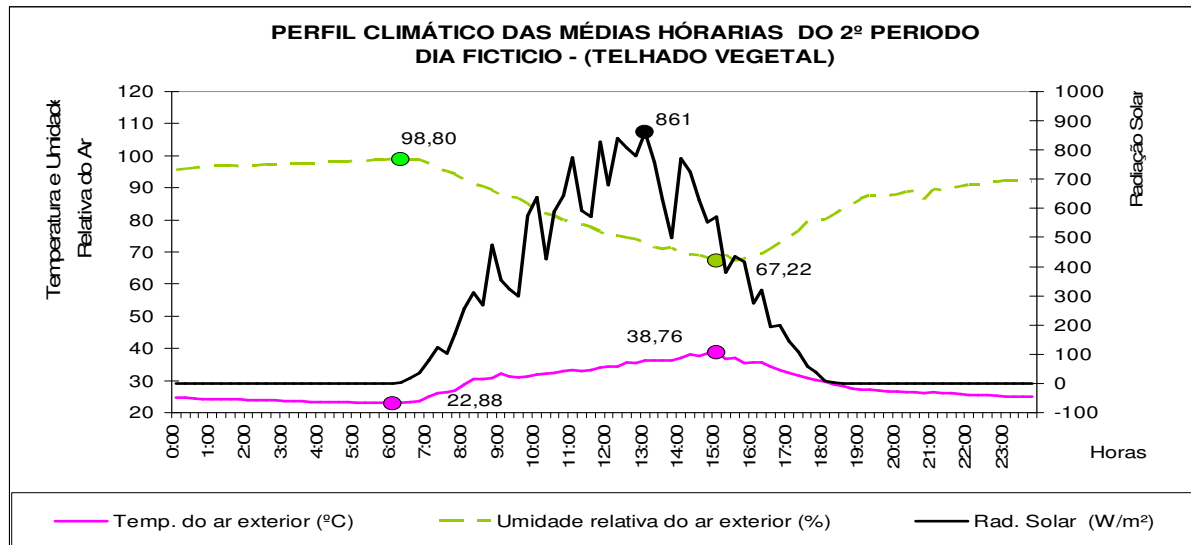


Figura 63: Perfil climático do dia fictício do segundo período.

4.3.5 Definição dos dias reais de referência de cada período.

A figura 64 detalha o fluxo adotado para a definição dos dias reais para a análise comparativa final.

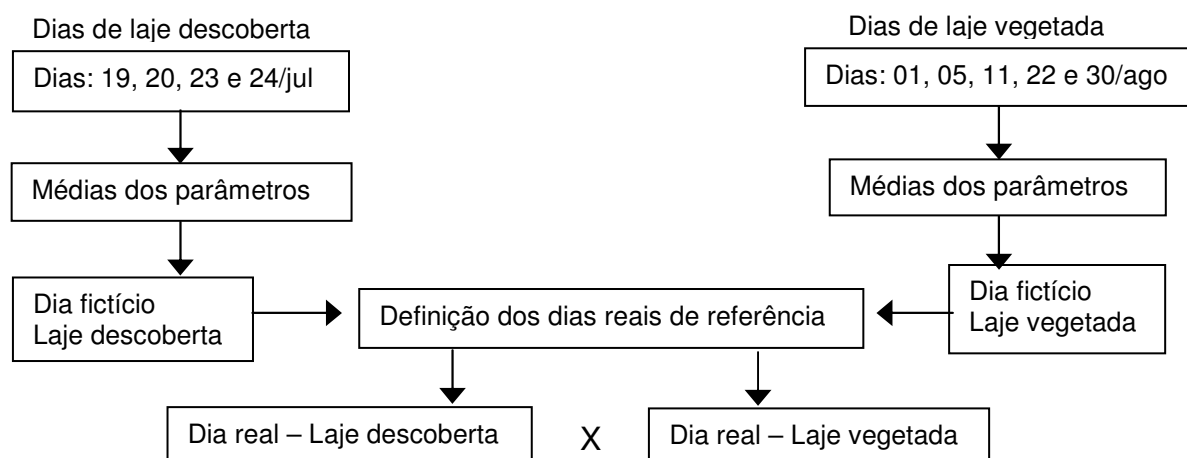


Figura 64: Fluxo adotado para definição dos dias reais comparativos.

Os dias reais de referência foram escolhidos por critérios eletivos:

- **Primeiro critério:** Será escolhido um dia real em cada período que apresentar maior frequência de aproximação com os parâmetros climáticos externos ao dia fictício do respectivo período. Na ocorrência de um único parâmetro por dia, será adotado um segundo nível na escala de aproximação, privilegiando o parâmetro de incidência solar (I_g) em função da influência deste parâmetro nos outros índices.

A tabela 5 identifica os índices climáticos dos dois períodos que mais se aproximaram aos do dia estatístico.

Tabela 5: Índices de maior aproximação aos dos dias fictícios.							
Índice Pluviométrico 0,0mm		Temp Ar (°C)		UR (%)		Ig(W/m²)	
		TAE	TADF-TAE	URE	URDF-URE	Ig	IgDF-Ig
1º período Sem grama	19.07.2012 *	32,38	0,07	97,8	0,23	836	68
	20.07.2012	32,07	0,24	98,6	0,57	879	25
	23.07.2012	32,23	0,08	99,7	1,67	987	83
	24.07.2012	31,51	0,80	96,8	1,23	1051	147
	DIA FICTÍCIO	32,31	---	98,03	---	904	---
2º período Com grama	01.08.2012 *	38,95	0,19	99,40	1,37	919	58
	05.08.2012 *	38,28	0,48	99,00	0,97	858	03
	11.08.2012 *	44,44	5,68	98,00	0,03	919	58
	22.08.2012	36,39	2,37	98,80	0,77	928	67
	30.08.2012	38,64	0,12	99,00	0,97	988	127
	DIA FICTÍCIO	38,76	---	98,80	---	861	---

* Dia eletivo real que mais se aproximou dos dias fictícios.

Onde:

TAE : Temperatura do ar exterior (pico máximo).

TADF: Temperatura do ar exterior do dia fictício (média dos picos de máxima).

URE: Umidade relativa do ar exterior (pico máximo).

URDF: Umidade relativa do ar exterior do dia fictício (média dos picos de máxima).

Ig: Incidência solar global (pico máximo).

IgDF: Incidência solar global do dia fictício (dos picos de máxima).

No primeiro período, em julho, foi escolhido o dia 19 (Temp. Ar e UR) por ter apresentado maior frequência de aproximação ao respectivo dia fictício. No segundo período, em agosto, os dias mais aproximados foram 05(Ig), 11(UR) e 30(Temp. Ar). Neste caso foi utilizado um segundo nível na escala de aproximação e assim foram identificados os dias 01 (Temp. Ar e Ig), 05 (UR e Ig) e o dia 11(UR e Ig).

- **Segundo critério:** Dia que apresentar o menor índice de incidência solar entre os dias dos dois períodos. Partindo do princípio de que a incidência solar global (Ig) impacta diretamente na temperatura das superfícies e diante a impossibilidade da utilização de telhado testemunha, será adotado o dia que apresentar menor índice de incidência solar no período de laje descoberta, cujo objetivo é minimizar a diferença entre a temperatura superficial externa deste dia e a do dia quando a superfície externa estiver protegida com o telhado vegetal.

O presente critério aponta o dia 19 de julho com o menor índice de todas as máximas dos dias considerados. Este critério não será adotado para a identificação

do dia do segundo período, considerando a proteção proporcionada pelo telhado vegetal que impedirá a incidência solar direta sobre a laje.

- **Terceiro critério:** Dia que apresentar curva de incidência solar mais aproximada a do dia fictício.

No primeiro período, a figura 65 apresenta a sobreposição da curva de irradiação de solar do dia fictício nos perfis dos dias 19, 20, 23 e 24 de julho de 2012.

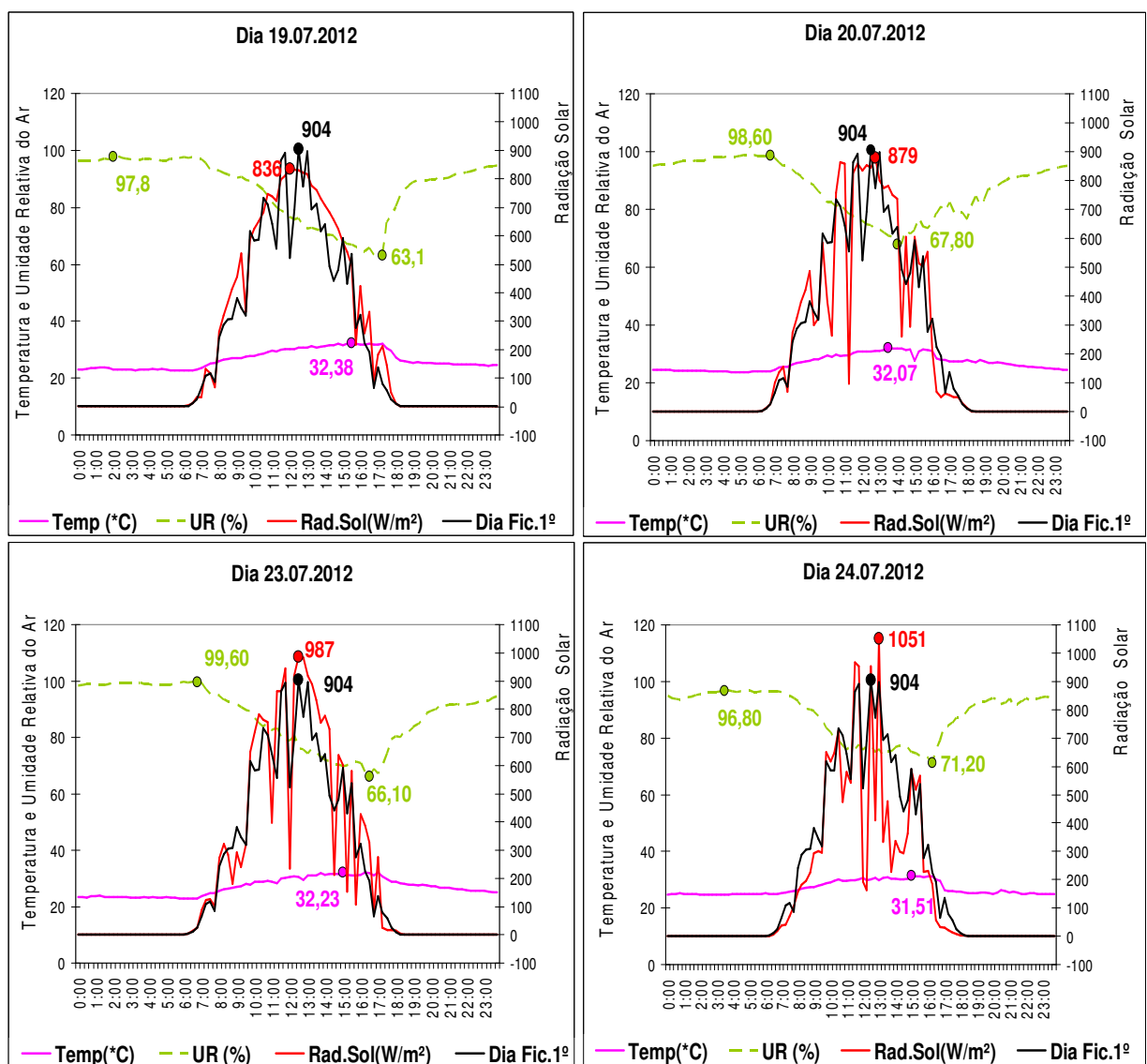


Figura 65: Panorama dos dias amostrais do primeiro período.

Entre os quatro dias mensurados, o dia 19 de julho apresentou maior aproximação ao perfil do dia fictício, sendo assim considerado o dia real representativo do primeiro período.

No segundo período, a figura 66 apresenta a sobreposição da curva de incidência solar do dia fictício sobre os perfis dos dias 01, 05, 11, 22 e 30 de agosto de 2012. Observa-se grande aproximação entre as curvas de incidência solar do dia fictício do segundo período e a do dia 19 de julho de 2012.

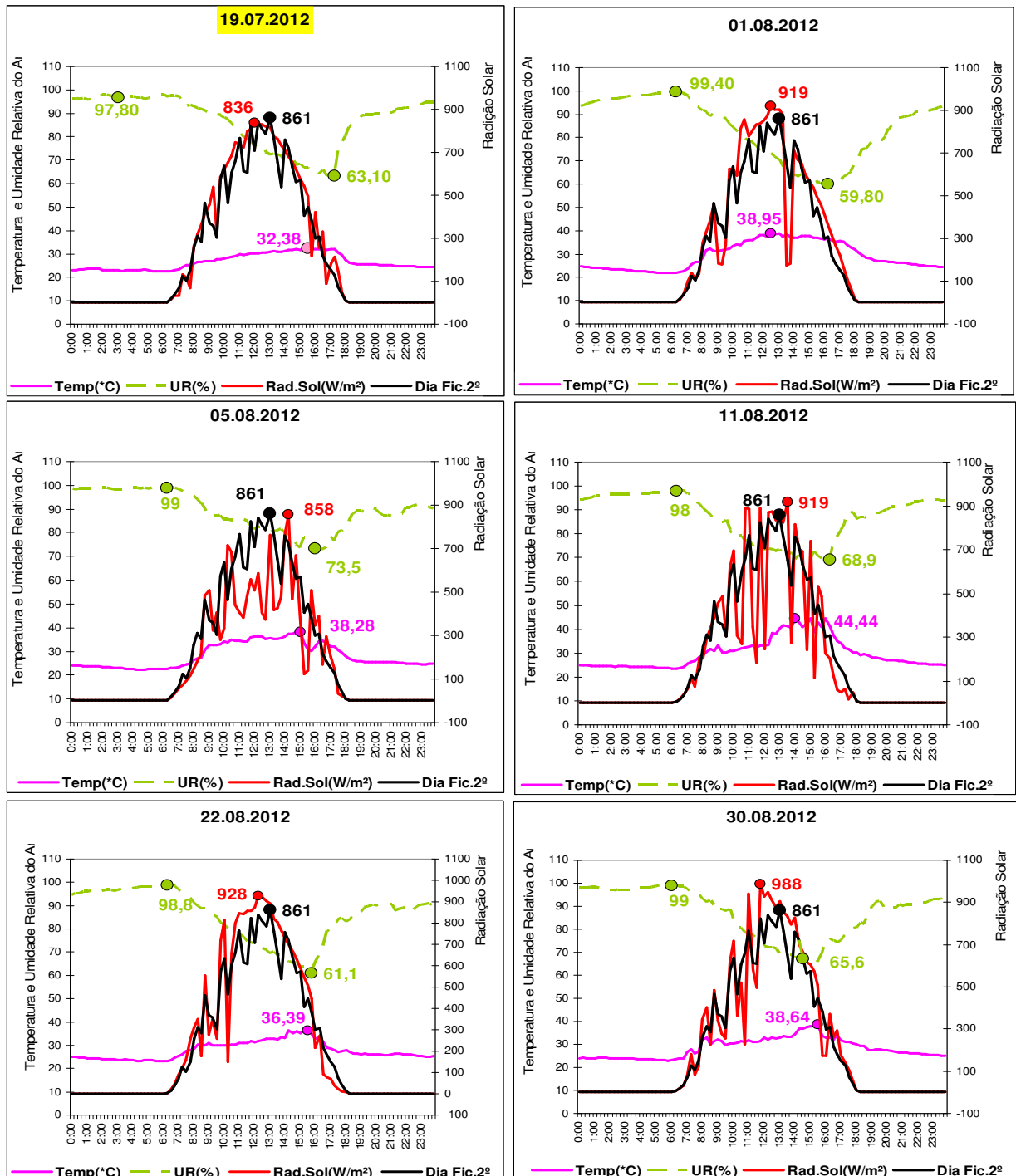


Figura 66: Panorama dos dias amostrais do segundo período.

Neste critério se observa que os dias 01, 22 e 30 de agosto apresentam maior aproximação à curva de incidência solar do dia fictício.

O dia representativo do segundo período foi definido pelo primeiro e terceiro critério. O primeiro critério apontou os dias 01, 05 e 11 de agosto por apresentarem maior frequência de parâmetros climáticos aproximados ao do dia fictício. O terceiro critério apontou o dia 01, 22 e 30 de agosto. Desta forma, o dia 01 de agosto foi escolhido como dia real representativo do segundo período.

Em todas as figuras ocorre freqüente oscilação da incidência solar pela presença de nuvens, o que contribui para a redução das temperaturas das superfícies expostas durante o dia e dificultando a dissipação do calor para a atmosfera durante o horário noturno, de acordo com FROTA (2007, p. 63).

4.3.6 Perfis climáticos horários dos dias reais.

➤ Dia 19 de julho de 2012.

A figura 67 detalha os parâmetros climáticos externos, internos e as temperaturas superficiais na laje no dia 19 de julho de 2012, sem o telhado vegetal.

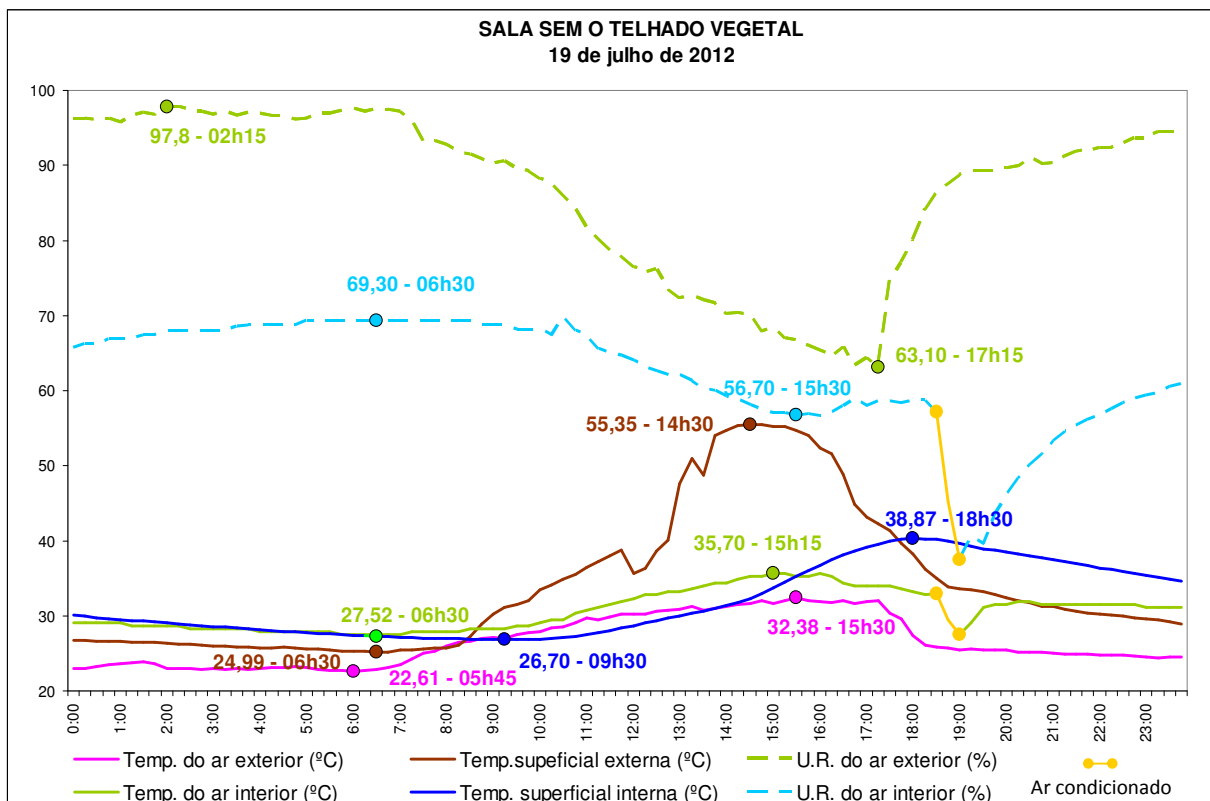


Figura 67: Perfil climático horário do dia 19 de julho de 2012.

A temperatura do ar interior se apresentou acima da do ar exterior em todas as horas. O índice mínimo de 27,52°C ocorreu às 06h30 e máximo de 35,70°C ocorreu às 15h15.

Observa-se que os índices máximos e mínimos na umidade relativa do ar interior ocorreram no mesmo intervalo de hora que os índices mínimos e máximos da temperatura do ar interno.

A figura 68 detalha as amplitudes térmicas²⁶ relativas à inércia térmica²⁷ das superfícies da laje. O pico máximo de temperatura na superfície interna de 38,87°C ocorreu às 18h30 com atraso de 04h e amortecimento térmico de 16,48°C, em relação ao pico máximo da superfície externa.

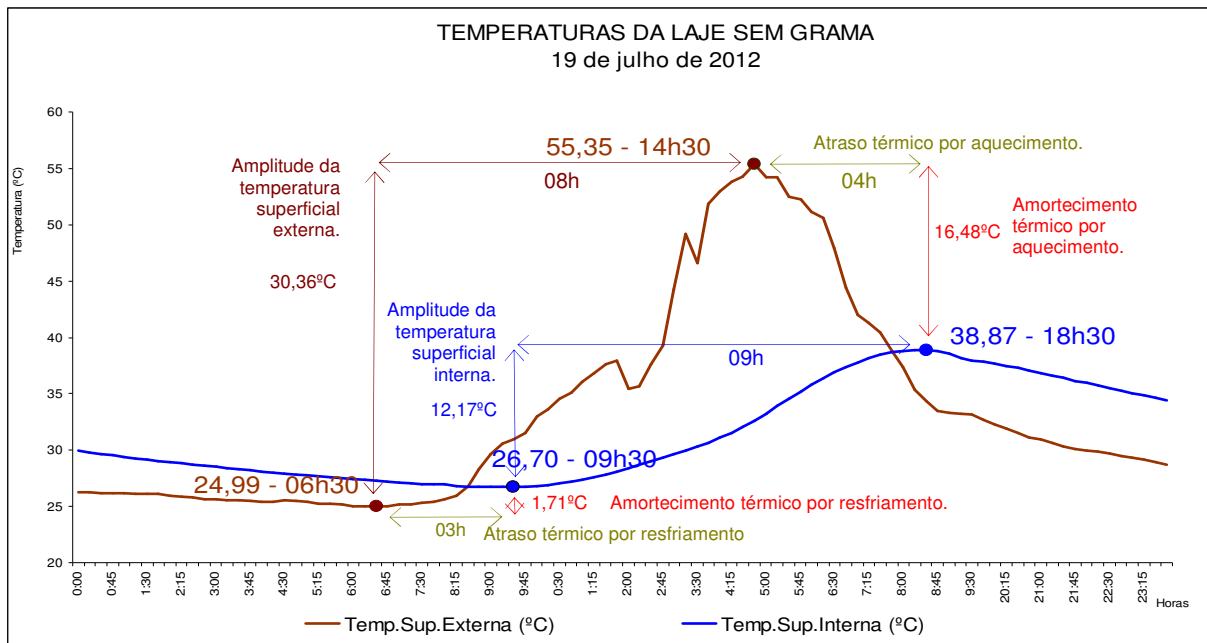


Figura 68: **Variação das temperaturas superficiais do dia 19 de julho de 2012.**

A máxima nominal para a amplitude térmica na curva da temperatura superficial externa registrou 30,36°C e ocorreu em 08 horas, entre 06h30min e 14h30min; na temperatura superficial interna a amplitude de 12,17°C ocorreu em 09h, entre 09h30 e 18h30.

A inércia térmica para os índices mínimos de 1,71°C implica em 03 horas de atraso, dentro do intervalo entre 06h30 e 09h30. Durante o horário noturno a temperatura superficial externa se mantém inferior à interna, invertendo a posição a partir das 08h30 com a elevação da incidência da incidência solar sobre a laje.

²⁶ Amplitude térmica: Diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima registradas no dia.

²⁷ Inércia térmica: Atraso e o amortecimento térmico entre os picos das temperaturas superficiais externas e internas.

➤ Dia 01 de agosto de 2012.

A figura 69 apresenta o perfil climático horário do dia 01 de agosto de 2012, com o telhado vegetal.

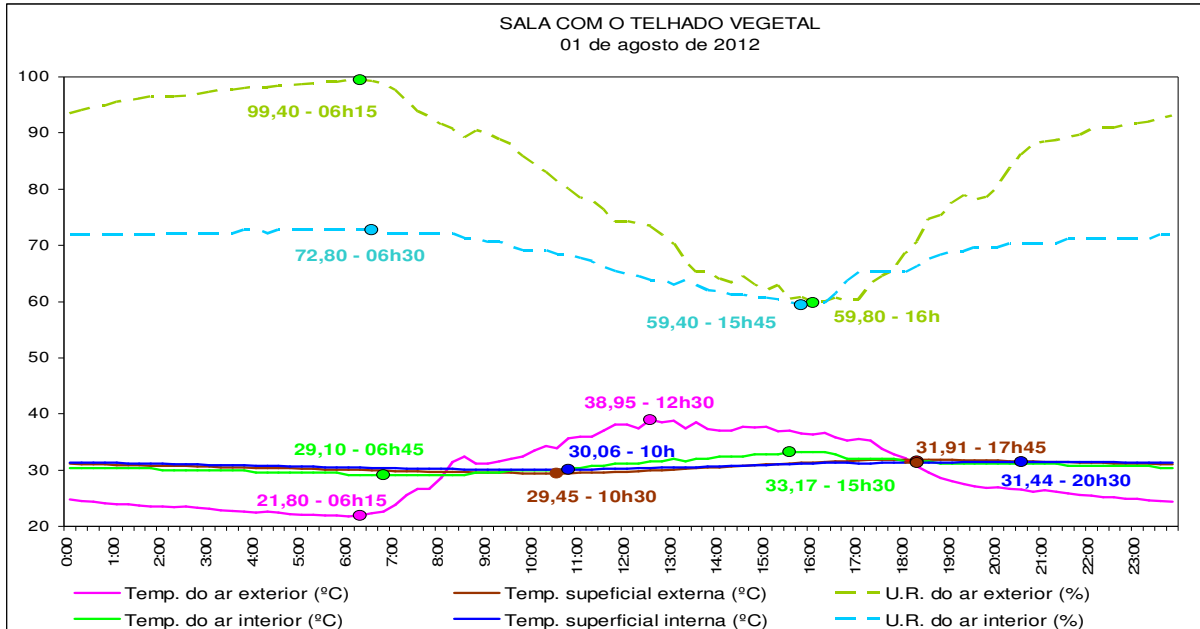


Figura 69: Perfil climático horário do dia 01 de agosto de 2012.

A incidência solar máxima de 919W/m^2 , cumulativa ocorrida durante o período da manhã, propiciou a elevação da temperatura do ar exterior que se manteve acima da temperatura do ar interior durante o horário de insolação, onde a mínima acusou $21,80^\circ\text{C}$ às 06h15 e a máxima de $38,95^\circ\text{C}$ às 12h30, apresentando a amplitude de $17,15^\circ\text{C}$ num intervalo temporal de 06h15.

A figura 70 mostra o nivelamento na faixa de 30°C entre a temperatura superficial interna e externa, sob o telhado vegetal. A amplitude na superficial externa acusou $2,46^\circ\text{C}$ em 07h15 e na superficial interna de $1,38^\circ\text{C}$, ocorrida em 10h30 com pico às 20h30.

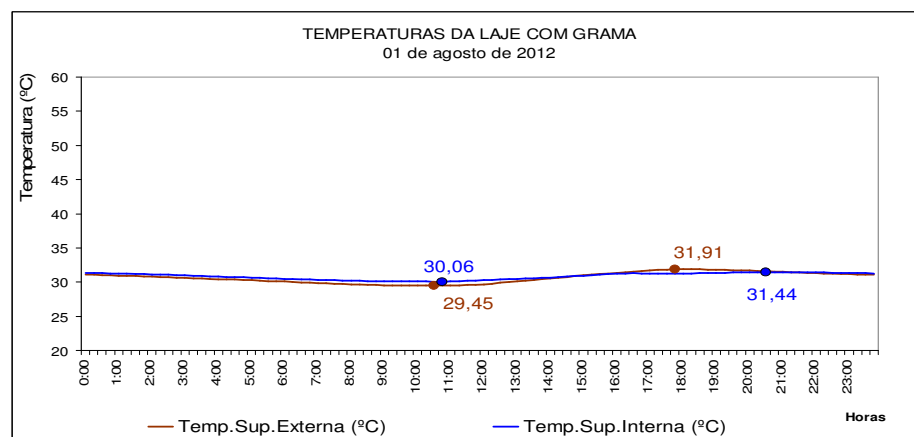


Figura 70: Variação das temperaturas superficiais do dia 01 de agosto de 2012.

4.4 Análise comparativa dos perfis horários dos dois dias reais.

A figura 71 apresenta o comportamento horário dos parâmetros climáticos da sala no dia 19.07.2012, com a laje descoberta, e no dia 01.08.2012, com a laje coberta pelo telhado vegetal. O objetivo é avaliar as diferenças entre as amplitudes, os amortecimentos e os atrasos nas temperaturas dos dois dias.

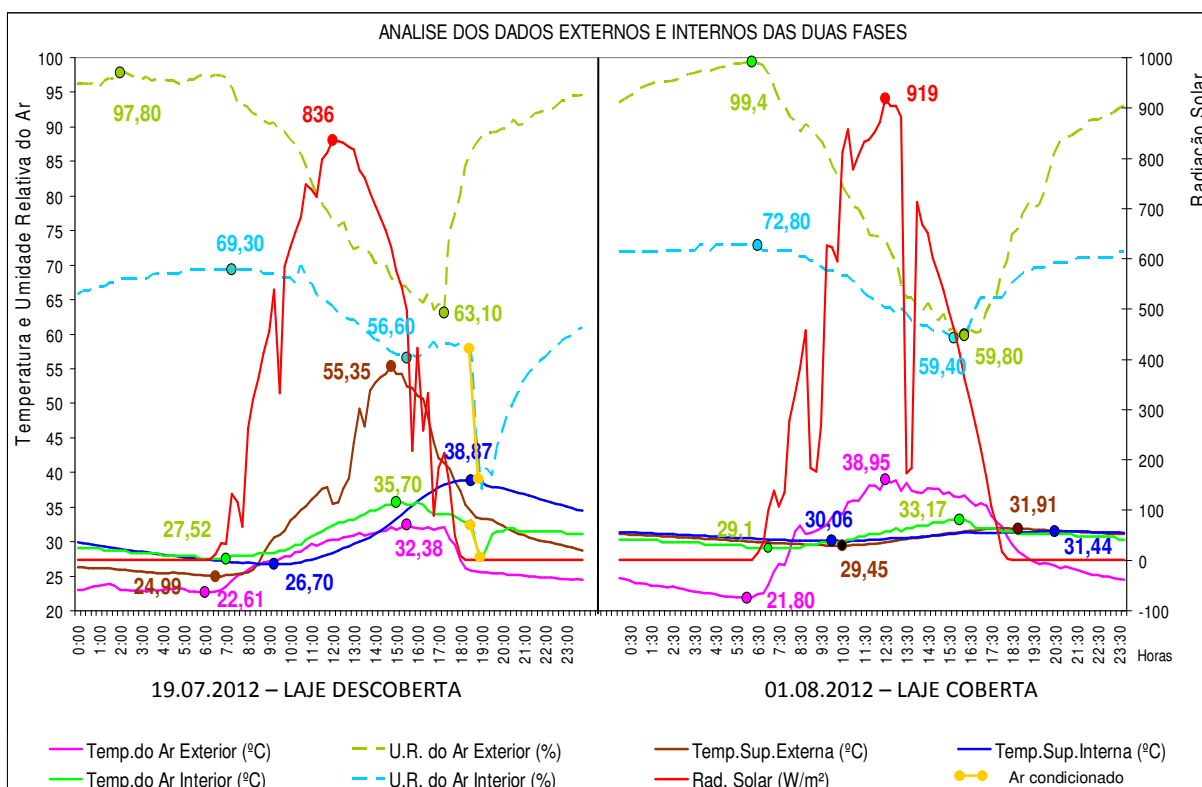


Figura 71: Dados climáticos externos e internos das duas fases.

O lg mais elevado ocorre entre 12h e 12h30 em virtude da baixa latitude equatorial, horário de menor ângulo entre os raios solares e o zênite (FROTA et al., 2007, p. 57).

A evolução da carga térmica incidente do dia 19.07.2012, com o pico de 836W/m² (ocorrido às 12 horas), proporcionou a temperatura máxima na superfície exposta da laje de 55,35°C às 14h30. No dia 01.08.2012 o lg de 919W/m², ocorrido às 12h30, proporcionou a temperatura máxima de 31,91°C às 17h45 na superfície protegida pelo telhado vegetal. As diferenças temporais das ocorrências entre os índices máximos de lg e de temperatura na superfície externa são de 2h20 com a laje descoberta e de 05h15 com a laje protegida pelo telhado vegetal.

As amplitudes das curvas de temperaturas superficiais apresentaram redução após a aplicação do telhado vegetal. No dia 19 de julho a amplitude da temperatura

superficial externa registrou a diferença de 30,36°C e no dia 01 de agosto a diferença foi de 2,46°C. A amplitude da temperatura superficial interna no dia 19 de julho foi de 12,17°C e no dia 01 de agosto foi de 1,38°C, conforme se apresenta na tabela 6.

Tabela 6: Amplitudes das temperaturas superficiais dos dias 19 de julho e 01 de agosto de 2012.					
2012	Temperaturas Superficiais.	Máximo (°C)	Mínimo (°C)	Amplitude (°C)	Δt (horas)
19 de julho (sem grama)	Externa	55,35	24,99	30,36	08 horas
	Interna	38,87	26,70	12,17	09 horas
01 de agosto (com grama)	Externa	31,91	29,45	2,46	07h15
	Interna	31,44	30,06	1,38	10h30

Ocorreu um deslocamento da escala temporal, em horas, para as amplitudes térmicas superficiais da laje entre os dois dias. A amplitude na temperatura superficial externa do dia 19 de julho, sem a grama, ocorreu entre 06h30 e 14h30 e no dia 01 de agosto, com a grama, ocorreu entre 10h30 e 17h45. A amplitude da temperatura superficial interna no dia 19 de julho ocorreu entre 09h30 e 18h30 e no dia 01 de agosto, entre 10 e 20h30.

A tabela 7 sintetiza o comportamento da inércia térmica da laje. No dia 19 de julho foi registrado o amortecimento de 16,48°C com atraso de 04h e no dia 01 de agosto o amortecimento térmico de 0,47°C ocorreu com atraso de 02h45.

Tabela 7: Inércia térmica das temperaturas superficiais do dia 19 de julho e 01 de agosto de 2012.				
Temperaturas Superficiais.	Máxima externa (°C)	Máxima Interna (°C)	Amortecimento (°C)	Atraso (horas)
19 de julho (sem grama)	55,35	38,87	16,48	04h
01 de agosto (com grama)	31,91	31,44	0,47	02h45

A temperatura do ar interior sofreu redução de 2,53°C com o telhado vegetal no mesmo intervalo de hora quando descoberta.

A umidade relativa do ar no ambiente interno apresentou índice mais elevado com o telhado vegetal. O índice mínimo registrado com a laje descoberta foi de 56,60% e com a laje coberta este índice subiu para 59,40%, ocorridos no horário de maior temperatura do ar interior. Comportamento esperado considerando que a inércia térmica do telhado vegetal oferece resistência à liberação de calor para o ambiente exterior durante o horário noturno e, ainda, a condição de isolamento da ventilação da sala durante todo o período contribuiu para este resultado.

.O aumento de 2,8% na umidade relativa ocorreu concomitante à redução de 2,53°C da temperatura do ar, de acordo com a carta psicrométrica de Koenigsberger na figura 72 (FROTA et al., 2007, apud Koenigsberger, 1977, p. 180), fenômeno que independe do tipo de proteção aplicada sobre a laje, que ocorre tão somente de acordo com a capacidade de suporte de H₂O (água) do ar.

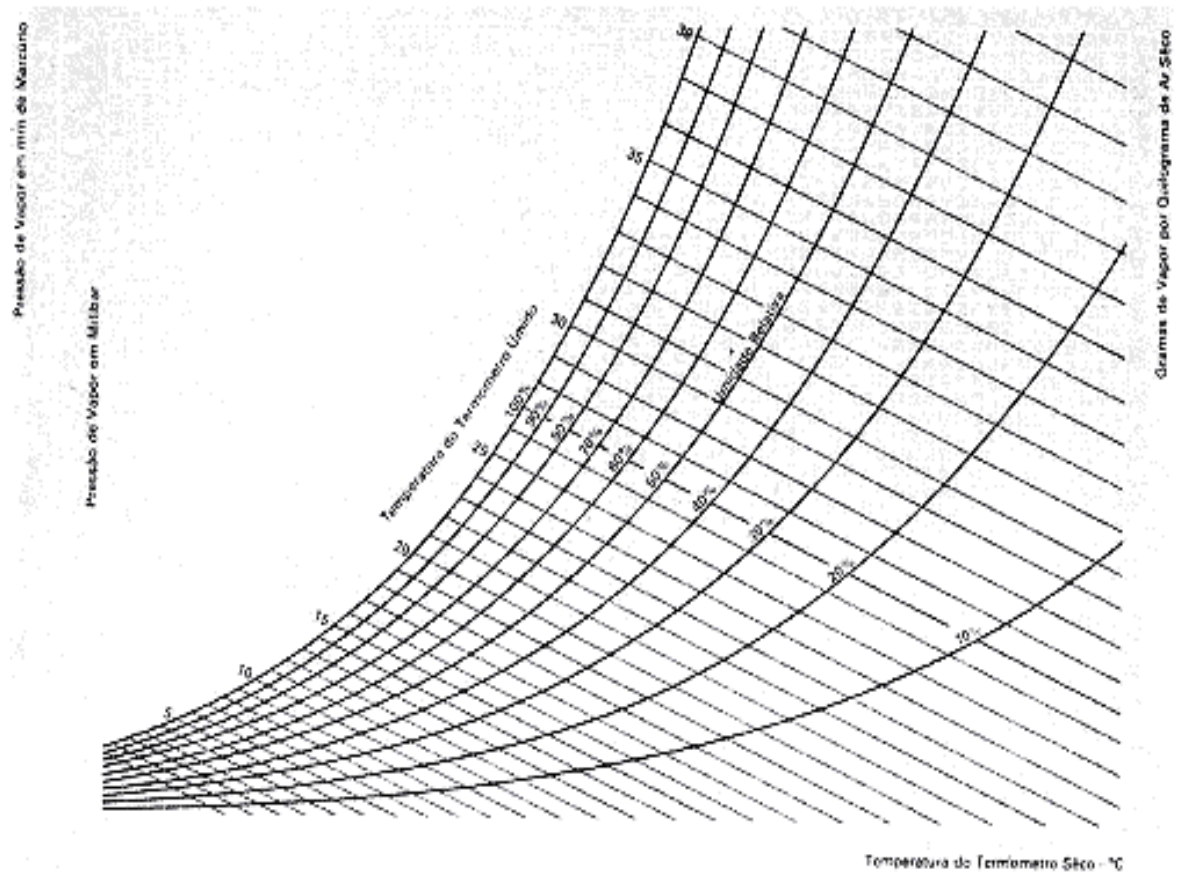


Figura 72: Carta Psicrométrica para cidades ao nível do mar.
Fonte: Frota apud Koenigsberger.

4.5 Resultados e discussões

Este capítulo apresenta as análises e discussões dos principais resultados obtidos neste trabalho.

4.5.1 Comportamento higrotérmico interno da sala, antes e após a aplicação do telhado vegetal.

A figura 73 apresenta os dados comparativos dos índices higrotérmicos dos ambientes internos e externos nos dias 19.07.2012 e 01.08.2012, nas condições de laje sem grama e laje com grama, respectivamente.

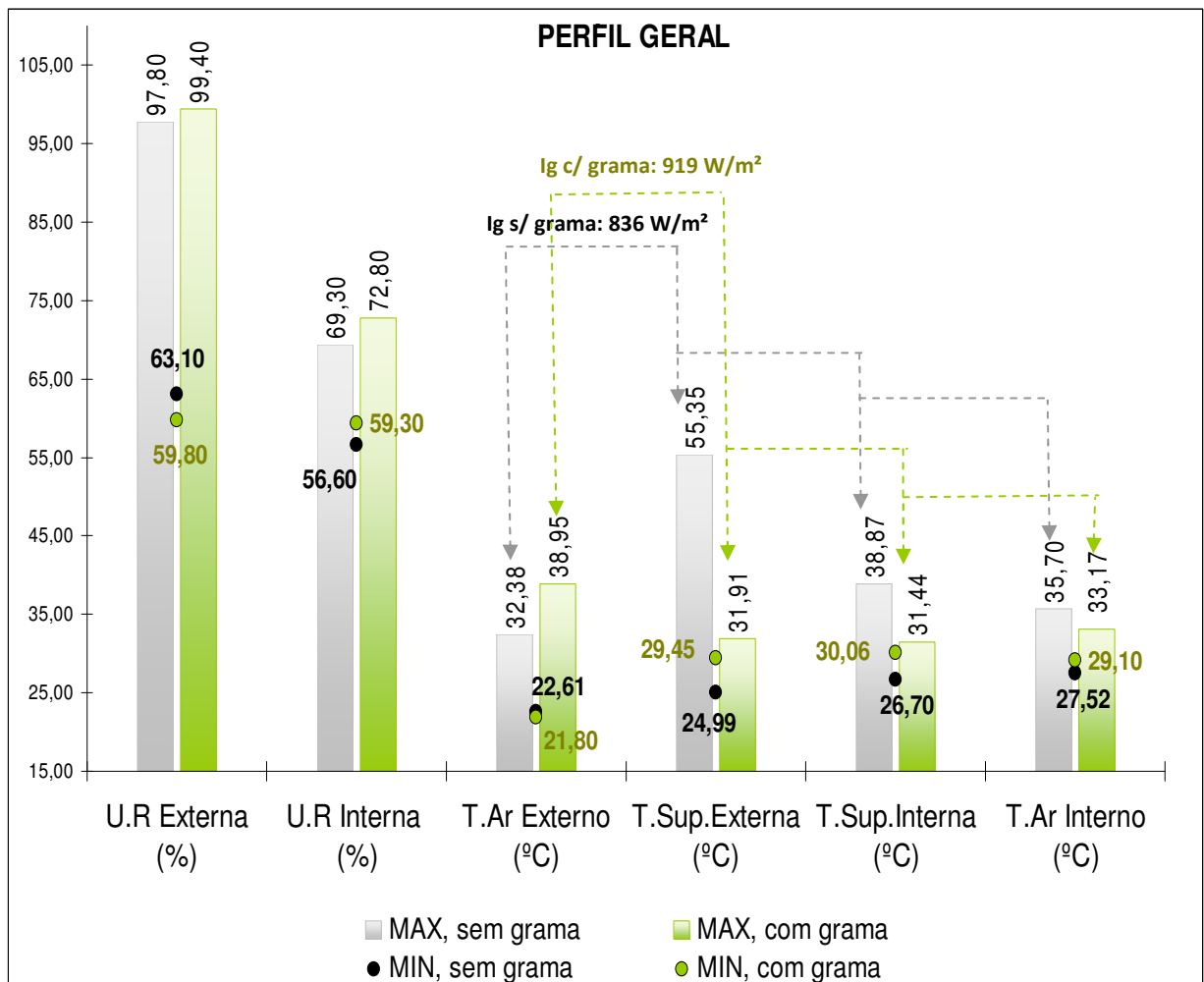


Figura 73: Dados climáticos comparativos das condições de laje sem grama e com grama

No dia 01.08.2013 a incidência solar máxima de 919W/m² favoreceu índices climáticos externos mais agressivos. A temperatura do ar externo se apresentou superior em 6,57°C e a umidade relativa do ar uma redução de 3,3% do índice mínimo, quando comparados com os dados do dia 19.07.2013.

4.5.1.1 Transporte de carga térmica - Horário diurno.

Durante o horário de sol, as temperaturas apresentam os índices mais elevados e a umidade relativa do ar os menores índices.

O sentido do fluxo de calor ocorre de fora para dentro do ambiente, quando as superfícies externas apresentam temperatura de maior intensidade que as superfícies internas, segundo o conceito de fluxo do ponto de maior energia para o ponto de menor energia.

Da carga térmica absorvida, foi retida uma parte na estrutura da laje e outra foi dissipada para o ar interior. O transporte da carga térmica através da laje durante o horário diurno se comportou conforme a figura 74.

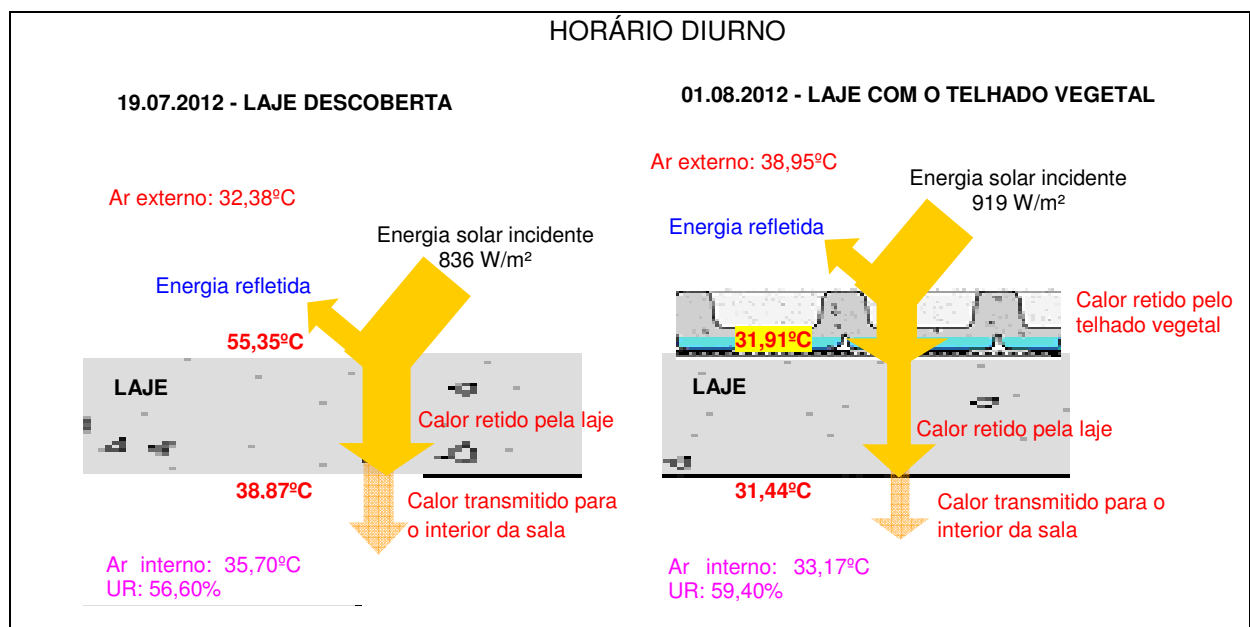


Figura 74: Transporte de carga térmica através da laje descoberta, no horário diurno.

➤ Dia 19.07.2012.

A evolução da incidência solar, que atingiu o pico de 836 W/m², demandou a máxima temperatura na superfície externa de 55,35°C e na superfície interna de 38,87°C. A pintura na superfície externa de cor cinza escura possui um coeficiente de absortividade entre 70% a 90% da energia térmica solar incidente, conforme Lambert et al. (2007, p. 57). Ou seja, a cor escura na superfície externa absorveu entre 70% a 90% da energia solar, dissipando para o exterior a diferença entre 10% a 30%, por reflexão e convecção.

A superfície interna da laje descoberta apresentou um amortecimento térmico de 16,48°C em relação à superfície externa, ver fig. 67; diferença que corresponde à retenção do fluxo do calor exclusivamente pela laje.

➤ Dia 01.08.2013.

De acordo com FROTA (2007, p. 67), quanto mais seco for o clima, mais acentuada será a amplitude térmica. A amplitude da temperatura do ar ocorrido no dia 01.08.2012 caracteriza um dia mais seco que o dia 19.07.2012, o que determina maior carga térmica solar nas superfícies expostas.

Com o Ig máximo de 919W/m² do dia 01.08.2012, pode-se inferir que, se a laje estivesse descoberta, a temperatura na superfície externa seria superior a do dia 19.07.2012, que apresentou o Ig máximo de 836W/m². Nesse entendimento, o telhado vegetal absorveu maior carga térmica que a mensurada, de 23,44°C, correspondente à diferença entre as temperaturas da superfície externa dos dois dias.

A quantidade de carga térmica retida pela camada vegetal implicou na estabilização da temperatura superficial externa na faixa de 31,91°C e na superfície interna de 31,44°C. Uma aproximação que comprova que a estrutura da laje deixa de exercer influência no transporte de massa térmica para o interior do ambiente, quando coberta pelo telhado vegetal.

O fluxo de carga térmica sofreu redução durante a transposição das camadas do telhado vegetal e da laje, sendo dissipada para o interior do ambiente a energia residual desta transposição, resultando em menores amplitudes térmicas superficiais externas e internas.

A temperatura da superfície interna com a laje coberta contribuiu para a redução da temperatura do ar interior durante o dia; antes do telhado vegetal apresentou 35,70°C e, após a laje coberta, reduziu para 33,17°C.

A temperatura do ar interior durante o horário de sol, com a laje protegida pelo telhado vegetal, se manteve abaixo da temperatura do ar exterior, ocorrendo o inverso com a laje desprotegida, mesmo com a energia incidente mais elevada.

4.5.1.2 Transporte de carga térmica - Horário Noturno.

Durante o horário noturno, as temperaturas apresentam os menores índices e umidades relativas do ar mais elevadas.

O fluxo de calor ocorre no sentido de dentro para fora do ambiente através da envoltória, em virtude desse horário apresentar índices mais baixos de temperatura do ar exterior e temperatura da superfície externa mais amena quando submetida ao ar livre, potencializando o resfriamento superficial.

A figura 75 detalha o comportamento do fluxo de calor no horário noturno.

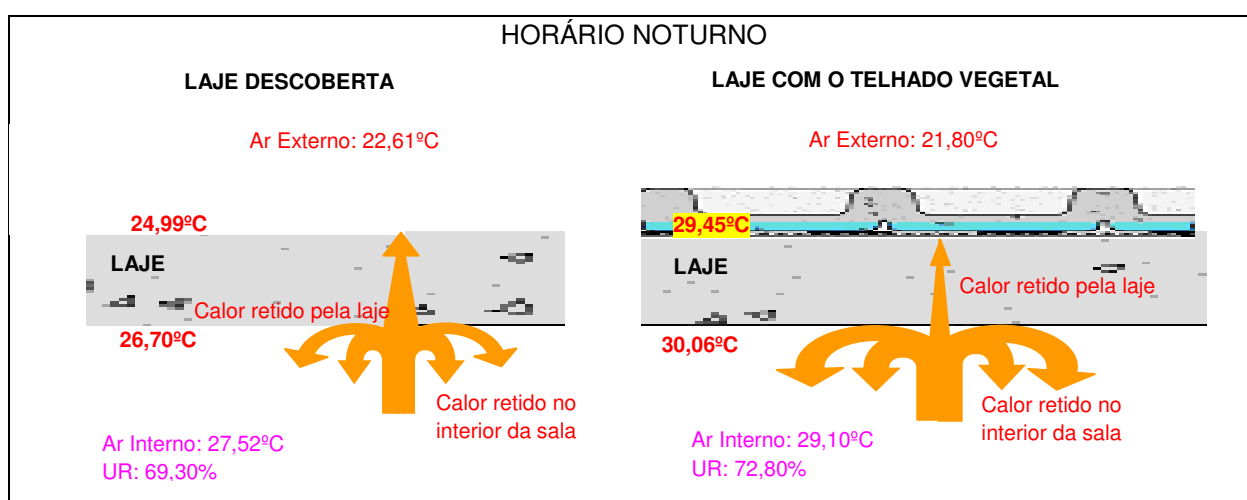


Figura 75: **Transporte de carga térmica através da laje descoberta, no horário noturno.**

No ambiente estudado os materiais componentes da estrutura das paredes e da laje apresentaram aumento da resistência térmica com a associação do telhado vegetal incrementando a resistência ao fluxo de perdas de cargas noturnas, que se conservou no interior da sala.

A proteção oferecida pelo telhado vegetal bloqueou o arrefecimento evaporativo da superfície externa durante o período noturno, registrando na superfície externa a temperatura de 29,45°C sob o telhado vegetal, e se manteve superior 4,46°C que mesma superfície quando descoberta, contribuindo, desta forma, para manter elevada a temperatura do ar interno em 29,10°C; sem o telhado vegetal esta temperatura registrou-se 27,52°C. A temperatura do ar interno com o telhado vegetal ficou 0,96°C abaixo da temperatura da superfície interna da laje. Portanto o horário mais benéfico para o transporte de cargas térmicas é o diurno.

4.5.1.3 Elevação da umidade relativa do ar interior após a aplicação do telhado vegetal.

Durante o dia a umidade relativa do ar interno teve acréscimo de 2,8%, que passou de 56,60% sem a grama para 59,40% com a grama. Durante a noite ocorreu acréscimo de 3,5%, que alterou de 69,30% para 72,80% com a laje gramada.

Esta resposta pode ocorrer com outros sistemas construtivos que favoreçam o isolamento térmico da envoltória nas mesmas condições de isolamento utilizadas neste experimento.

4.5.1.4 Sensação térmica no interior da sala.

Os resultados de temperatura e umidade relativa do ar interior foram utilizados na plataforma do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM para o cálculo da sensação térmica, conforme figura 76.

A plataforma utiliza valores inteiros e assim foram calculadas as temperaturas e as respectivas umidades relativas no interior da sala, para cada condição de laje. A temperatura do ar interno do dia 19.07.2013, sem o telhado vegetal registrou 35,70°C e 56,60% de umidade relativa do ar. Dessa forma, foram utilizados os valores inteiros de 35°C para temperatura do ar e de 56% para a umidade relativa do ar. O resultado apresenta o índice de calor é de 43°C e o ponto de orvalho 25°C. Para a temperatura de 33°C e a umidade relativa do ar de 59% do dia 01.08.2012, o índice de calor acusou 39°C e o ponto de orvalho 24°C.



Figura 76: **Simulações de sensação térmica.**
Fonte: SIPAM, 2012.

Os resultados apresentados em ambas as condições de cobertura não oferecem condições mínimas de conforto higrotérmico à permanência humana no ambiente sem a devida renovação de ar, ainda com a significativa redução da temperatura da laje protegida pelo telhado vegetal.

A desumidificação do ambiente através da renovação do ar interno e a proteção de toda a envoltória são medidas imprescindíveis para a redução dos índices registrados e a melhoria da sensação térmica do local.

4.5.2 Migração dos pontos de maior temperatura após a aplicação do telhado vegetal.

Durante a coleta dos dados das temperaturas superficiais foi possível fazer boas correlações entre as diferenças das marchas diárias de cada ponto de sensoramento, de forma a identificar quais elementos do entorno e da envoltória da edificação exercem influência para o acréscimo, ou amenização, da carga térmica.

Na figura 77 apresenta os pontos de monitoramento na laje. Antes do telhado vegetal o ponto externo T7 e o interno T4 foram os de temperatura mais elevada, após o incremento do telhado vegetal, passou a ser o T8/T3. Observa-se certa homogeneidade térmica na faixa de 30°C após a instalação do telhado vegetal entre os pontos de sensoramento térmico.

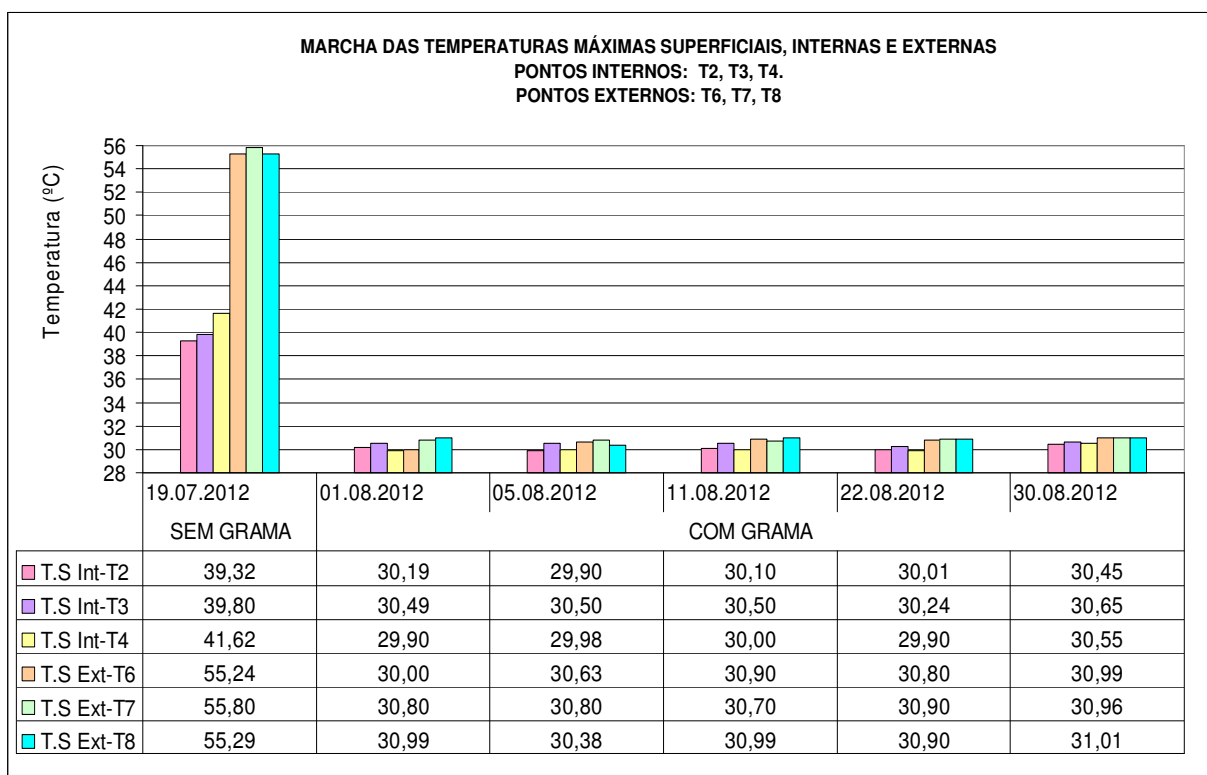


Figura 77: Temperaturas dos pontos de monitoramento na laje sem grama e com grama.

A desconformidade dos ganhos de cargas térmicas se origina das cargas rebatidas pela extensão vertical da parede leste, acima da laje experimental.

4.5.3 Participação dos outros componentes da envoltória nos resultados.

As condições atuais da envoltória exercem influência considerável para a elevação dos índices higrotérmicos internos. No decorrer do ano, a marquise oferece proteção parcial da incidência solar direta nas paredes norte, observada na figura 78, sul e nas portas de vidro localizadas nestas paredes, que permanecem expostas à radiação indireta.



Figura 78: Fachada norte.

As portas de vidro branco transparente possuem sistema de abertura deslizante, com sobreposição em 50% da largura do vão, e estão localizados nas paredes norte e sul, conforme a figura 79. A ventilação ocorre sem o necessário trânsito transversal em função do posicionamento das portas.

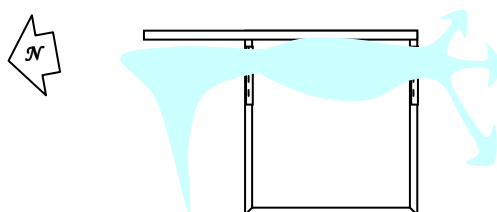
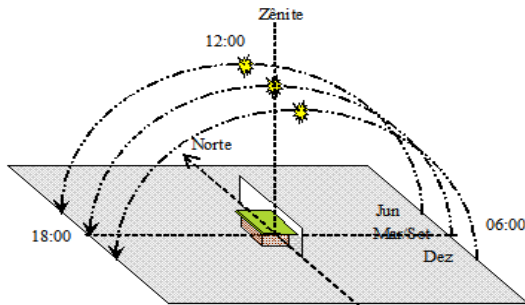


Figura 79: Planta baixa da sala, ventilação no sentido norte-sul.

Nos meses de julho e agosto a parede norte recebeu maior carga térmica que as outras fachadas devido ao solstício de junho e tornou-se a principal responsável pelo ganho de calor após a cobertura vegetal e explica os ganhos térmicos por insolação direta, indireta e difusa, bem como a assimetria de carga térmica por insolação e seus aspectos sazonais.

A extensão da parede leste oferece proteção horária gradual durante a parte da manhã e a partir das 12 horas transmite carga térmica indireta para o bloco térmico

T7/T4, por refletância solar na mesma, conforme a figura 80, ocorrência não identificada na segunda fase com a laje gramada.

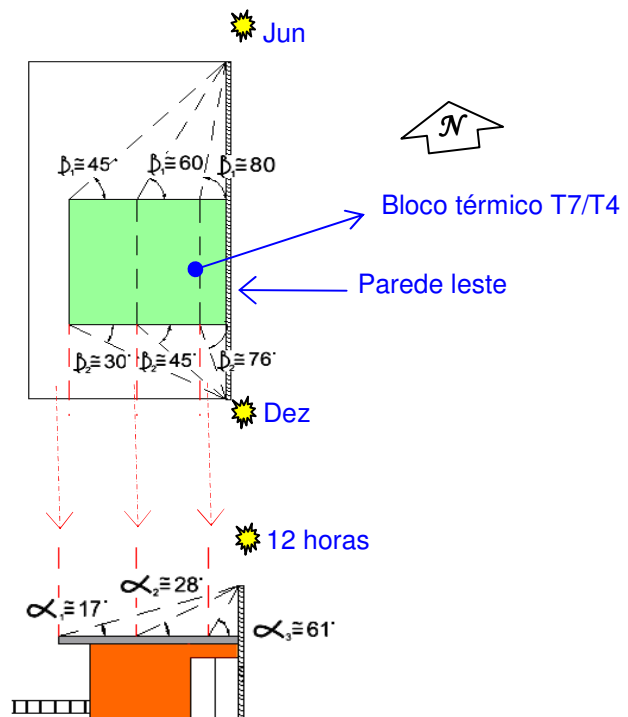


Trajetória solar mensal e horária.

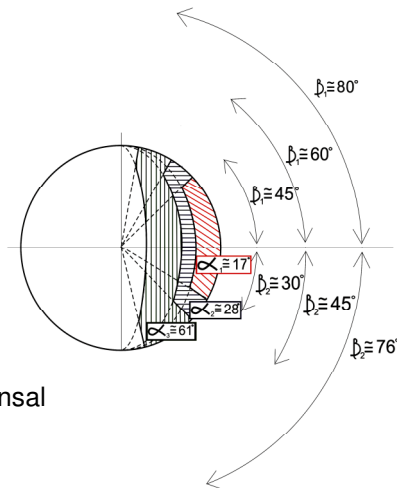


Refletância solar horária da parede leste.

Vista superior - angulação solar mensal sobre a laje.



Vista lateral sul - angulação solar horária sobre a laje.



Projeção angular horária e mensal sobre a laje

Figura 80: Ângulos de sombra gerados pela extensão vertical da parede leste até as 12 horas.

A incidência solar na laje experimental varia conforme o trânsito intermediário entre os solstícios, conforme detalha a figura 81.

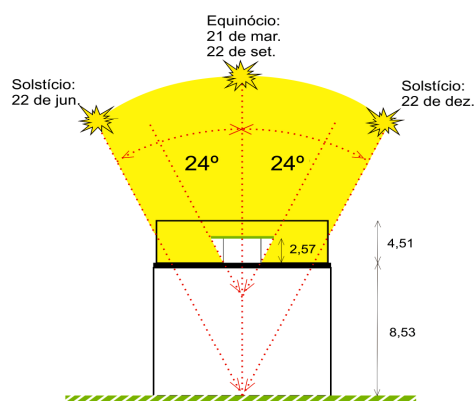


Figura 81: Trânsito solar entre solstícios. Vista lateral oeste.

A fachada oeste na figura 82 encontra-se parcialmente protegida durante o ano pela marquise e pela arborização alta, distante aproximadamente 45,44 metros do pavilhão.



Figura 82: Fachada oeste.

4.5.4 Participação de elementos do entorno da sala nos resultados.

Uma árvore de grande porte localizada no sentido oeste da sala, figura 83, oferece sombra gradual na laje a partir da 16 horas, permitindo ao bloco amostral T7/T4 maior tempo de exposição solar, sendo o último a ser sombreado.

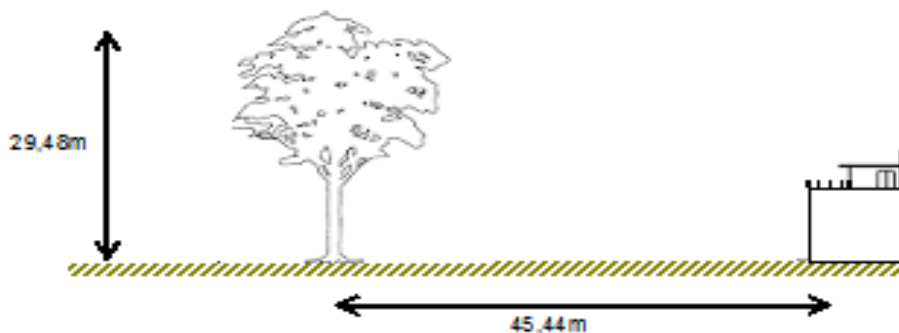


Figura 83: Vegetação alta.

4.5.5 Influência da proporção das áreas protegidas da envoltória na temperatura do ar interior.

A laje é o principal componente da envoltória na recepção de carga solar, sendo exposta a maior número de horas diárias e anuais e a proteção deste componente ameniza a temperatura interna; no entanto, a proporção de área protegida em relação à área total exposta possui fundamental importância nos resultados.

A envoltória do ambiente analisado possui uma área de superfície de 83m², considerando quatro paredes, piso, laje de cobertura e beirais. Deste total somente 60,67m² estão expostos à incidência solar durante o ano, que são as paredes norte, sul, oeste, a laje e os beirais. A laje e os beirais possuem 28,81m², correspondendo a 47,48% do total da área exposta, uma grande contribuição para a redução da temperatura do ar interno; porém, os resultados apresentados exigem a proteção de outros elementos da envoltória com revestimentos externos de baixa condutibilidade térmica (λ), de forma a reduzir as temperaturas das superfícies internas e a redução da temperatura do ar interno.

4.5.6 Emissão do calor refletido de revestimento de cor clara e de telhados vegetais.

No experimento em escala reduzida foi utilizada a superfície de cor clara do piso externo como parâmetro térmico, comparativo para a superfície vegetada. A superfície clara apresentou maior temperatura superficial que a superfície vegetada. O baixo índice de absorção das cores claras favorece temperaturas mais amenas para o interior dos ambientes e podem também contribuir para a elevação da temperatura do ar exterior pelo elevado albedo, embora em níveis inferiores que superfícies escuras.

Os resultados subsidiam uma análise crítica sobre a utilização de materiais de baixo índice de absorção e alta refletância térmica. O piso branco, externo da sala, favorece ventos quentes na ocorrência da ventilação, assim como transmite carga térmica para as paredes da sala. Da mesma forma a extensão vertical da parede leste contribui para o aquecimento da laje pela refletância da cor clara, fato comprovado em virtude da migração do ponto de maior temperatura da laje, próximo desta parede; o que reduz a importância da participação da condutância dos

materiais desta parede na adição de temperatura da laje. O revestimento vegetal no piso externo à sala proporcionaria uma camada de ar menos aquecida, conforme o ensaio em pequena escala.

4.5.7 Influência da ventilação.

A ventilação pode ter uma ação negativa quando a temperatura do ambiente exterior estiver superior a do ambiente interior, fenômeno comum na cidade de Belém. O resfriamento das superfícies por perdas de carga (Q'_{Vent}), conforme FROTA (2007, pg. 163), é um recurso pouco utilizado em cidades poluídas localizadas em baixa latitudes, onde o perfil de comportamento é manter os ambientes fechados nos horários de ocupação e intensiva utilização da refrigeração ativa, especialmente ambientes administrativos e comerciais.

No município de Belém, o albedo das superfícies oferece ventos quentes e as limitações dos lotes não permitem grandes flexibilizações quanto ao posicionamento das aberturas, o que impõe a determinada camada da sociedade a utilização de refrigeração ativa, com respectivos custos energéticos e econômicos associados. Sobre este aspecto, o local onde foi instalado o telhado experimental oferece vantagem de estar localizado 09 metros acima do solo e exposto a ventilação abundante, considerando a predominância de vegetação e a inexistência de obstáculos no entorno, o que favorece ventos com temperatura mais amena.

4.5.8 Contribuição do telhado vegetal para a aquisição de pontos com vistas à certificação na classificação da envoltória.

A proteção solar das superfícies expostas e a adoção de cores claras com coeficientes de absorção abaixo de 0,5 (FROTA, 2007, anexo X, p. 193) são recomendações da ABNT para reduzir o calor interno da edificação e o consumo de refrigeração, assim como favorecem o incremento de pontuação para certificação de edificações sustentáveis na classificação da envoltória, de acordo com o RTQ-C.

O RTQ-C apresenta critérios de classificação completa do nível de eficiência energética do edifício ou parciais através de classificações da envoltória, dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Na classificação da envoltória é considerado o edifício inteiro e corresponde a 30% da pontuação geral. No cálculo da avaliação da envoltória são considerados os critérios de transmitância térmica de

cada camada do componente da envoltória, assim como também a absorvência das superfícies externas.

Os resultados encontrados contribuem na somatória dos cálculos com vistas à conquista de pontos na classificação da envoltória, conforme o item 3.1.1.2 do RTQ-C, diante da substancial redução da transmitância térmica observada pela retenção de calor no sistema gramado, que demandou menores temperaturas nas superfícies externas e internas da laje, assim como a redução em 2,53°C na temperatura do ar interno. Outras intervenções nos demais componentes da envoltória são necessárias para potencializar o rebaixamento da temperatura do ar e redução de carga para condicionamento de ar.

5 CONCLUSÕES.

O presente trabalho comprovou numericamente a redução da temperatura do ar da sala na condição extremada de ausência total da ventilação, assim como contribuiu com menor calor radiante para o ar exterior. Os resultados apresentam a técnica como tendência favorável para a redução do uso de aparelhos de ar condicionado.

A cobertura vegetal sobre a laje da sala apresentou os seguintes resultados numéricos e experimentais:

- Redução de 23,44°C na superfície externa, submetida à condição de radiação solar mais intensa, em relação ao dia quando descoberta. Redução que decorreu, exclusivamente, da inércia térmica proporcionada pelo sistema vegetado, sem a contribuição de qualquer outro elemento construtivo, visto que foram preservadas as mesmas condições físicas anteriores ao telhado vegetal, o que comprova a eficácia do tipo de cobertura, corroborando com os resultados de Vecchia (2005).
- A estrutura da laje deixa de exercer influência no transporte de carga térmica quando coberta pelo telhado vegetal. Resultado comprovado pela aproximação entre a temperatura superficial externa e interna, que, no horário diurno acusou 31,91°C na superfície externa e na interna 31,44°C, no noturno a superfície externa acusou 29,45°C e de 30,06°C na interna.
- A temperatura de 31,44°C na superfície interna, no dia 01 de agosto de 2012, com a laje coberta pelo telhado vegetal contribuiu para a redução de 2,53°C da temperatura do ar interior em dia de temperatura do ar exterior mais elevada. Antes do telhado vegetal a temperatura do ar apresentou 35,70°C e após, com a laje coberta, reduziu para 33,17°C. Durante a noite o sistema ofereceu resistência à dissipação do calor do ambiente, cuja temperatura do ar se apresentou superior em 1,58°C em relação à laje descoberta.
- No ensaio em escala reduzida, sob à mesma incidência solar, foi verificado que a superfície da grama seca apresentou redução de 4,35°C e sobre a grama hidratada a diferença foi de 6,45°C, tomando como referência o piso branco onde os módulos vegetados estavam posicionados. O que comprova que a grama utilizada no telhado vegetal contribui com menor carga de albedo para o ar exterior que a lajota branca.

Embora a redução da carga térmica advinda da cobertura seja expressiva, os índices higrotérmicos internos do ambiente analisado não atingiram nível desejado à ocupação da sala sem refrigeração ativa, de acordo com os cálculos do SIVAM. Fato que ofereceu importantes informações sobre a necessidade de intervenção nas demais partes da envoltória da sala e de todo edifício, como a escolha adequada dos tipos de revestimentos, materiais e cores de pisos e paredes externas.

A substancial redução da transmitância térmica da cobertura, proporcionada pela retenção de calor no sistema gramado, contribui para a somatória dos cálculos com vistas à conquista de pontos na classificação da envoltória, conforme o item 3.1.1.2 do RTQ-C. O experimento realizado na sala aponta alternativas para intervenções na envoltória do edifício, visto que deve ser considerada a totalidade da edificação, que corresponde a 30% da classificação geral.

O calor refletido da cerâmica branca, utilizada no piso exterior, oferece ganhos térmicos nas ocasiões de ventilação da sala, assim como o aquecimento das suas paredes, conforme o ensaio em pequena escala. Da mesma forma se comporta a pintura branca na extensão vertical da parede leste, que emite energia térmica por reflexão para a laje e contribui para o aquecimento da mesma quando descoberta; esta influencia deixa de existir com o bloqueio oferecido pelo telhado vegetal, comprovado pelo nivelamento dos pontos de sensoriamento.

Os resultados deste experimento apresentam a eficácia da técnica na redução da temperatura do ar interno e com potencial redução no consumo de refrigeração ativa, considerando as significativas reduções das temperaturas superficiais da laje após a aplicação do telhado vegetal. Em escala urbana, poderá contribuir para mitigar as ilhas de calor já existentes no município de Belém, identificadas por CASTRO (2009), corroborando com as constatações de Jörg Spangenberg (2009).

A análise circunstanciada sobre o local em qualquer obra de construção civil deve antecipar a tomada de decisão na escolha dos materiais e métodos de aplicação. Nesse sentido os ensaios laboratoriais, assim como as ferramentas de simulação, podem auxiliar na análise da eficácia das posturas normatizadas nas NBR's 15.220-1,2,3, assim como oportunizam diagnósticos e esclarecem a fenomenologia entre causas e efeitos, apontando quais tipos de materiais construtivos e em quais condições podem ser utilizados.

A percepção holística necessária em projetos de edificações exige o envolvimento não somente da edificação em si como também da sua influência no contexto urbano onde se situa. Dessa forma, a contribuição da interdisciplinaridade na produção de projetos arquitetônicos sustentáveis permite a identificação de soluções com vistas ao conforto térmico em edificações e a mitigação das ilhas de calor dos centros urbanos. Nesse sentido, deve ser considerada a geografia física, especificamente a climatologia urbana natural e antropogênica. O olhar no contexto histórico da cidade permite tecer uma análise crítica sobre a contribuição da produção arquitetônica para a formação microclimática da cidade, que muito pode auxiliar na seleção dos materiais disponíveis e das práticas construtivas herdadas dos antepassados. O olhar no futuro impulsiona pesquisas que objetivem cidades sustentáveis com soluções de baixo impacto ambiental, considerando a finitude das fontes energéticas naturais e o custo socioambiental decorrentes das obras de infraestrutura para geração de energia limpa. Especialmente, deve permear as pesquisas o conhecimento das propriedades termofísicas dos materiais e seus impactos no meio ambiente, campo de estudo das engenharias dos materiais e ambiental. Fundamental que todas as soluções sejam embasadas na arquitetura bioclimática, que remeta importante parcela qualitativa para a formação das cidades do futuro.

O passo balizar para a formação de conceitos sustentáveis de construções foi dado com a publicação dos regulamentos e diretrizes construtivas de acordo com a Carta Bioclimática brasileira definida pela NBR 15.220-2 e com os programas de certificação de edificações, que permitiram ao Brasil o relevante patamar no panorama mundial em certificações de prédios sustentáveis. Grandes passos estão sendo dados por alguns Estados e municípios brasileiros, no sentido de equalizar conforto térmico urbano e eficiência energética nas edificações. Ainda assim são práticas incipientes considerando todo o território brasileiro, porém se espera, num futuro próximo, a adesão de maior número de municípios, especialmente no clima quente e úmido do Estado do Pará.

5.1 Perspectivas futuras.

Na sala experimental:

- Estudo quantitativo da redução de carga de refrigeração ativa e seus impactos na economia de energia elétrica;
- Estudo do comportamento térmico utilizando renovação de ar e proteção das paredes;
- Estudo da viabilidade de bombeamento da água excedente, extravasada pelo dreno com vista à sua reutilização;
- Estudo da capacidade de retenção de águas pluviais com vistas à prevenção de situações pluviométricas críticas.

Os resultados deste trabalho propõem a continuidade das pesquisas e sugere novas sobre técnicas e métodos construtivos com a utilização de materiais regionais, que apresente características termomecânicas para o suporte de vegetação em substituição do sistema com E.V.A. utilizado neste experimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR15220-3 - **Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro- RJ: ABNT, 2005.

ARCO Editorial Ltda. **8 House**. [Site institucional]. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/big-bjarke-ingels-group-8-house-22-12-2010.html>>. Acesso em 22.12.2012.

ARVORES E FLORESTAS URBANAS DE LISBOA. Disponível em: <<https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/469/6/CAPITULO3.pdf>>. Acesso em 22.12.2012.

BEYER, P. O. **Desempenho térmico de sistema modular**. 2006. [Site institucional]. Disponível em: <www.ecotelhado.com.br/InformacoesInterna/Desempenho%20termico.pdf>. Acesso em 25.02.2012

BRASIL. **Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Brasília-DF: Diário Oficial da União, 2001a. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/lei10295.pdf> >. Acesso em: 22/12/2012.

_____. Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Brasília-DF: Diário Oficial da União, 2001b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm>. Acesso em: 22.12.2012.

_____. Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. Brasília-DF: Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial - NMETRO. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em 22.12.2012.

_____. Portaria nº 17, de 16 de janeiro de 2012. Brasília-DF: Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). 2012.

_____. Portaria nº 449, de 25 de novembro de 2010. Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). Brasília-DF, disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001627.pdf>>. Acesso em 24.12.2012.

_____. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). Brasília-DF, disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em 22.12.2012

_____. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional de 2012: Ano Base 2011**. Rio de Janeiro - RJ: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2102.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Pesquisa quantitativa domiciliar de avaliação de satisfação e de impacto do programa luz para todos: principais resultados**. Brasília, 2012, [Site institucional]. Disponível em: <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp>. Acesso: 21.12.2012.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Programa nacional de conservação de energia elétrica – Procel**. Brasília: Eletrobras, 1985. [Site institucional]. Disponível em: www.eletrobras.gov.br/procel. Acesso em: 21.12.2012.

_____. Departamento Nacional de Transito. **Frota Estadual de Veículos no Estado do Pará**. [Site institucional]. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>. Acesso em: 26. 04.2012.

BREEAM OFFICE BRE. ECOHOMES: **The Environmental rating for Homes**: Worksheets. Watford, UK. [Site institucional]. Disponível em; < <http://www.breeam.org/about.jsp?id=66> >. Acesso em 21.12.2012.

BRUAND, Y. **Arquitetura contemporânea no Brasil**. 5 ed. São Paulo: Perspectiva, 1981.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARTA de Atenas. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/portal/baixaFcdAnexo.do?id=232>. Acesso em 26.12.2012.

CASTRO, A. R. C. **Aplicação do sensoriamento remoto na análise temporal das ilhas de calor e ilhas de frescor urbanas no município de Belém, Pará, nos anos de 1997 e 2008**. 2009. 69 f. Dissertação (mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Pará, Belém-Pa, 2009.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB). **Référentiel technique de certification bâtiments tertiaires**: Démarche HQE® Bureau et Enseignement. Paris, 2004. [Site institucional]. Disponível em: <http://assohqe.org/hqe/>, Acesso em 21.12.2012.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR NACHHALTIGES BAUEN. [Site institucional]. Disponível em: <http://www.dgnb.de/en/council/dgnb/>. Acesso em 21.12.2012.

EMBAIXADA DE PORTUGAL NO BRASIL. [Site institucional]. Disponível em: <http://embaixada-portugal-rasil.blogspot.com.br/2011/01/azulejos-portugueses-nos-edificios-do.html>. Acesso em 20.02.2013.

ECOTELHADO. Disponível em: <http://www.ecotelhado.com.br/Port/Informacoes/sitepages/noticias.aspx?IDNoticia=37> >. Acesso em: 22.02.2012.

EFFICIENCY (CASBEE). CASBEE-NC (for New Construction). [Site institucional]. Disponível em: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm>. Acesso em: 21.12.2012.

FILHO, N. G. R. **Quadro da Arquitetura no Brasil**. Belém-Pa: Perspectiva S.A, 1970.

FILHO, A. M. **Evolução Histórica de Belém do Pará**. vol. I, 1ª edição. Belém, 1976.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de Conforto Térmico. São Paulo, Editora Nobel, 2007.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. [Site institucional]. Disponível em: http://www.vanzolini.org.br/hotsite104.asp?cod_site=104. Acesso em 21.12.2012.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL – Gbc. [Site institucional]. Disponível em: www.gbcbrasil.org.br/?p=imprensadetalhes&l=343. Acesso em: 26.12.2012.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2010**. São Paulo: Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103. Disponível: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-doar/31-publicacoes-e-relatorios>. Acesso em 26.12.2012.

GOVERDO DO ESTADO DO PARANÁ. **Lei estadual n 17.084, e 13.03.2012**. Disponível em: <http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=66473&indice=2&noSpan=2012&anoSelecionado=2012&mesSelecionado=0&isPaginado=true>. Acesso em 24.12.2012.

GREEN ROOF FOR HEALTH CITIES. [Site institucional]. Disponível em: <http://www.greenroofs.org/>. Acesso em: 01.01.2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. Censo Demográfico 2010. [Site institucional]. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 11.09.2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET (Brasil). Boletins Agroclimatológicos Mensais. Brasília - DF: INMET. 2012.

_____. Normais Climatológicas 1961 – 1990. Brasília, DF: INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>. Acesso em 06.09.2012.

JORNAL DA UNIÃO EUROPÉIA. [Site institucional]. Disponível em: <http://ec.europa.eu/internal_market/score/docs/relateddocs/list-dir/im-directives_pt.pdf>. Acesso em 21.12.2012.

KONIGAMI, T. R. M. T. **Eficiência energética em edificações comerciais, serviços e públicas**. 2011. 185 f. Dissertação (Mestrado em Energia Elétrica) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

LEMONS, A. J. **O Município de Belém**: Relatório apresentado no Conselho Municipal de Belém, na sessão de 15 de novembro de 1902. Pará-Brasil: Typographia de Alfredo Augusto Silva. 1902. p 39, 93, 140, 159, 164, 168, 178, 250, 253, 293, 294.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. (1997). **Eficiência Energética na Arquitetura**. 192 p. São Paulo: PW, 1997. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf>. Acesso em 01.05.2012.

LAMBERT, R; TRIANA, M. A. **Levantamento do estado da arte**: Energia. 2007. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo: Projeto Finesp 2386/04.

REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS - RTQ-C. Brasília: Eletrobrás/Procel Edifica; Inmetro, 2010.

MORAES, E.; SIMÓN F.; GUIMARAES F.H. **Mapa de Predicción del Ruido Ambiente en Belém – Brasil**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 2009.

MINKE, Gernot: **Techos Verdes**. Uruguai: Ed. Fin Del Siglo. 2004.

NAT Nordic Adventure Travel. **Vidimiry Church**. Disponível em: <http://nat.is/Churches/vidimiry_church.htm>. Acesso em 23.12.2012

NEOTURF. Disponível em: <URL: <http://www.neoturf.pt/main.php?id=66>>. Consultado em Março de 2012.

NOVOS CADERNOS - NAEA. **Crescimento econômico na fronteira e dinâmica urbana na Amazônia**: uma abordagem histórica. Disponível em: <http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/viewFile/936/1341#page=239> . v. 15, n. 1, p. 239-272, jun. 2012, ISSN 1516-6481. Acesso em: 20.01.2013.

OBVIOUS MAGAZINE. **Telhados Verdes**. 06 ed. - 2009. Disponível em: <http://obviousmag.org/archives/2009/06/telhados_verdes.html#ixzz0w9n8yizG>. Acesso em: 29.12.2011.

ODDITY CENTRAL. **Telhado de Turfa**. Disponível em: <<http://www.odditycentral.com/pics/the-turf-covered-houses-of-norway.html>>. Acesso em 23.12.2012.

PECK, S Kuhn, M. **Design Guidelines for Green Roofs**. 2009. Disponível em: <http://www.cmhc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/loader.cfm?url=/commonspot/security/getfile.cfm&PageID=70146>. Acesso em 11.12.2012.

PÉREZ-LOMBARD, L. et al. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy and Buildings*, v. 41, n. 3, p. 272–278, mar. 2009.

PENTEADO, A. R. **Belém do Pará**: Estudos de Geografia Urbana. v. 1. Belém: Edufpa, 1968,

PESSOA, J.; PICCINATO, G. **Atlas de Centros Históricos do Brasil**. Rio de Janeiro: Casa da Palavra Produção Editorial, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. **Anuário Estatístico do Município de Belém. 2011.** v. 16. p. 411. Belém-Pará: Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão. 2011.

_____. **Anuário Estatístico do Município de Belém. 2012.** v. 17 p. 456. Belém-Pará: Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO BERNARDO DO CAMPO. **Lei Municipal 6.091/2010.** Disponível em: <<http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/showinglaw.pl>>. Acesso em 26.12.2012.

PREFEITURA DO MUNICIPIO DE GUARULHOS. **Lei Municipal nº 6.793/2010.** Disponível em: <http://www.guarulhos.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=4163:prefeitura-dara-desconto-de-iptu-para-casas-com-recursos-de-sustentabilidade&catid=51:financas&Itemid=105>. Acesso em 26.12.2012.

PROGRAMA Cidade Sustentáveis. City Hall. [Site institucional]. Disponível em: <http://www.cidadessustentaveis.org.br/boas_praticas/exibir/121>. Acesso em 22.12.2012.

PROGRAMA ANALYSIS SOL-AR, LABEEE/UFSC, 2005.

RESENHA MENSAL DO MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA - EPE. Ano VI, nº 64, janeiro de 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

REVISTA AMBIENTE BRASIL. **Telhados verdes podem refrescar as cidades**, 2011. Disponível em: <<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/arquitetura/construcoesverdes/telhadosverdespodemrefrescarcidades.html>>. Acesso em 26.02.2012.

REVISTA AU. **Coberturas verdes: conheça os critérios de especificação e os sistemas construtivos disponíveis no Brasil.** Edição 212 - 2011. Disponível em: <<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/212/artigo240828-1.asp>>. Acesso em 26.02.2012.

REVISTA EQUIPE DE OBRA. **Jardim sobre piso elevado.** Edição 40 – 2011. Disponível em : <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/179/sustentabilidade-tripla-especialista-alemao-defende-impacto-ambiental-nulo-na-249981-1.asp>>. Acesso em 25.02.2012.

ROLA, S.; UGALDE, J. **Sustentabilidade de cidades por telhados ajardinados.** Disponível em: <http://www.ivig.coppe.ufrj.br/pbr/areas_proj_nat.html>. Acesso em 24/02/2012.

RODRIGUES, J. E. C.; LUZ, L. M. **Mepeamento da cobertura vegetal da área central do município de Belém PA, através de sensores remotos de base orbital (sensor TM, LANDSAT 5 e sensor CCD, CBERS 2).** In: Simposio Brasileiro de Sensoramento Remoto, Florianópolis, 2007. Anais XIII, Florianópolis, 2007, p. 1063-1070.

ROLIM, A. M. **A reciclagem de resíduos de EVA da indústria calçadista.** Porto Alegre: UFRGS, [s.d.] 10 p. Disponível em: <http://globalsus.net/acervo/art/gr_art_03.pdf>. Acesso em: 18.12.2010.

SKYSCRAPER CITY. [Site institucional]. Disponível em: skyscrapercity.com. Acesso em: 22.12.2012.

TÉCHNE. Construções Eficientes. **Telhados verdes.** Ed. 148 - 2009. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/148/telhados-verdes-telhado-verdes-projetadas-no-brasil-oferecem-sistemas-diferenciados-144157-1.asp>>. Acesso em 25.02.2012.

_____. **40 perguntas - Arquitetura e Urbanismo.** Ed. 162 – 2010. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/162/artigo185622-1.asp>>. Acesso em 25.02.2012.

UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION (2012): **World urbanization prospects: The 2011 Revision.** New York. Disponível em: http://esa.un.org/unpd/wup/Country-Profiles/country-profiles_1.htm. Acesso em: 26.12.2012.

U.S. UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Disponível em: <<http://www.epa.gov/heatisland/mitigation/greenroofs.htm>>. Acesso em 15.02.2012.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED for existing buildings**. V.2.0. Reference Guide. [S.l.] U.S. Green Building Council, out. 2006. Disponível em: (<http://new.usgbc.org/leed>). Acesso em: 15.02.2012.

VARELA, A. F. S. A **Utilização de revestimentos de vegetação intensivos e extensivos em projecto de arquitectura paisagista em cobertura**. 2011. 105 f. Dissertação (mestrado em Arquitectura Paisagista - Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa-Pt, 2011.

VECCHIA, F. **Cobertura verde leve (CVL):** Ensaio Experimental. Maceió, In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC), 2005.

WALLACE, A. R. **Viagens pelo Amazonas e Rio Negro**. Vol. 17, Brasília-DF: Edição do Senado Federal. 2004.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) – Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Geneva, Switzerland, 2008.

ANEXOS

ANEXO A – Parâmetros climáticos e de temperatura da laje do mês de julho de 2012

HORA	Temp. superficial interna (°C)					Temp. superficial externa (°C)					Temp. do ar exterior (°C)					Temp. do ar interior (°C)				
	19	20	23	24	MEDIA	19	20	23	24	MEDIA	19	20	23	24	MEDIA	19	20	23	24	MEDIA
0:00	30,17	30,75	30,95	34,36	31,56	26,29	28,34	29,69	28,34	28,24	23,04	24,46	23,50	24,75	23,94	29,10	31,17	29,90	30,31	30,12
0:15	30,02	30,72	30,92	34,15	31,45	26,24	28,17	29,67	28,17	28,14	23,02	24,41	23,30	24,87	23,90	29,10	31,12	29,90	30,31	30,11
0:30	29,88	30,71	30,88	33,96	31,36	26,17	27,99	29,64	27,99	28,05	23,30	24,46	23,26	24,97	24,00	29,10	31,12	29,90	29,90	30,01
0:45	29,74	30,68	30,86	33,76	31,26	26,15	27,88	29,59	27,88	27,99	23,47	24,46	23,62	25,06	24,15	29,10	30,71	29,90	29,90	29,90
1:00	29,61	30,64	30,83	33,57	31,16	26,16	27,79	29,57	27,79	27,93	23,62	24,46	23,79	24,99	24,22	29,10	30,71	29,50	29,90	29,80
1:15	29,46	30,61	30,80	33,38	31,06	26,12	27,68	29,53	27,68	27,85	23,76	24,34	23,83	24,97	24,23	28,70	30,71	29,50	29,90	29,70
1:30	29,36	30,58	30,76	33,19	30,97	26,12	27,55	29,48	27,55	27,77	23,83	24,22	23,47	24,94	24,12	28,70	30,71	29,50	29,90	29,70
1:45	29,24	30,54	30,75	33,01	30,88	26,09	27,37	29,46	27,37	27,67	23,57	24,19	23,38	24,87	24,00	28,70	30,71	29,50	29,90	29,70
2:00	29,11	30,51	30,71	32,82	30,79	25,94	27,28	29,42	27,28	27,58	23,04	24,22	23,33	24,75	23,84	28,70	30,31	29,50	29,90	29,60
2:15	29,00	30,48	30,70	32,64	30,71	25,87	27,16	29,38	27,16	27,48	22,97	24,22	23,30	24,70	23,80	28,70	30,31	29,50	29,90	29,60
2:30	28,90	30,44	30,67	32,46	30,62	25,78	27,04	29,36	27,04	27,40	22,94	24,29	23,40	24,75	23,85	28,31	30,31	29,50	29,90	29,51
2:45	28,78	30,41	30,63	32,29	30,53	25,67	26,93	29,32	26,93	27,30	22,90	24,29	23,33	24,75	23,82	28,31	30,31	29,50	29,90	29,41
3:00	28,68	30,38	30,61	32,12	30,45	25,62	26,84	29,27	26,84	27,23	22,94	24,12	23,26	24,73	23,76	28,31	30,31	29,10	29,50	29,31
3:15	28,57	30,34	30,57	31,96	30,36	25,58	26,72	29,24	26,72	27,15	22,80	24,00	23,23	24,63	23,67	28,31	30,31	29,10	29,50	29,31
3:30	28,47	30,31	30,55	31,79	30,28	25,52	26,59	29,21	26,59	27,06	22,99	24,00	23,18	24,65	23,71	28,31	29,90	29,10	29,50	29,20
3:45	28,36	30,28	30,51	31,63	30,20	25,48	26,47	29,17	26,47	26,97	22,90	23,93	23,40	24,77	23,75	28,31	29,90	29,10	29,50	29,20
4:00	28,26	30,23	30,49	31,48	30,11	25,41	26,33	29,12	26,33	26,87	23,02	23,91	23,21	24,80	23,74	27,91	29,90	29,10	29,50	29,10
4:15	28,16	30,19	30,45	31,32	30,03	25,44	26,21	29,07	26,21	26,80	23,14	23,91	23,28	24,85	23,80	27,91	29,90	29,10	29,50	29,10
4:30	28,06	30,14	30,43	31,16	29,95	25,52	26,09	29,02	26,09	26,74	23,09	23,81	23,18	24,85	23,73	27,91	29,90	29,10	29,50	29,10
4:45	27,97	30,09	30,39	31,03	29,87	25,47	26,02	28,99	26,02	26,69	23,26	23,71	23,21	24,80	23,75	27,91	29,90	29,10	29,50	29,10
5:00	27,88	30,06	30,37	30,89	29,80	25,39	25,93	28,96	25,93	26,62	23,09	23,74	23,35	24,87	23,76	27,91	29,50	29,10	29,50	29,00
5:15	27,80	30,02	30,33	30,74	29,72	25,28	25,83	28,95	25,83	26,53	22,80	23,71	23,11	24,99	23,65	27,91	29,50	28,70	29,50	28,90
5:30	27,71	30,00	30,30	30,60	29,65	25,22	25,73	28,89	25,73	26,45	22,78	23,76	23,02	25,04	23,65	27,91	29,50	28,70	29,10	28,80
5:45	27,63	29,94	30,26	30,46	29,57	25,14	25,65	28,85	25,65	26,38	22,66	23,83	22,80	24,99	23,57	27,52	29,50	28,70	29,10	28,71
6:00	27,55	29,91	30,23	30,33	29,50	25,04	25,56	28,83	25,56	26,30	22,61	23,86	22,75	25,06	23,57	27,52	29,50	28,70	29,10	28,71
6:15	27,47	29,89	30,20	30,19	29,43	25,03	25,54	28,80	25,54	26,28	22,70	23,86	22,85	25,02	23,61	27,52	29,10	28,70	29,10	28,61
6:30	27,38	29,85	30,17	30,09	29,36	24,99	25,65	28,78	25,65	26,32	22,80	23,83	22,78	24,94	23,59	27,52	29,10	28,70	29,10	28,61
6:45	27,30	29,83	30,13	29,92	29,29	25,00	25,86	28,72	25,86	26,42	23,06	23,93	22,94	25,02	23,74	27,52	29,10	28,70	29,10	28,61
7:00	27,23	29,78	30,10	29,79	29,22	25,16	26,12	28,66	26,12	26,57	23,52	24,51	23,69	25,19	24,23	27,52	29,50	28,70	29,10	28,71
7:15	27,15	29,72	30,08	29,67	29,16	25,20	26,43	28,63	26,43	26,73	24,32	25,21	24,29	25,33	24,79	27,91	29,50	28,70	29,10	28,80
7:30	27,07	29,70	30,06	29,58	29,10	25,31	26,67	28,61	26,67	26,87	25,04	25,50	24,73	25,65	25,23	27,91	29,50	29,10	29,10	28,90
7:45	27,02	29,68	30,02	29,47	29,05	25,42	27,01	28,57	27,01	27,06	25,28	25,62	24,85	25,96	25,43	27,91	29,50	29,10	29,50	29,00
8:00	26,96	29,64	30,00	29,36	28,99	25,60	27,57	28,57	27,57	27,36	25,96	26,30	25,55	26,30	26,03	27,91	29,50	29,10	29,50	29,00
8:15	26,90	29,63	30,00	29,27	28,95	25,95	29,93	28,56	29,93	28,59	26,45	26,79	26,11	26,70	26,51	27,91	29,50	29,10	29,50	29,00
8:30	26,85	29,60	29,98	29,19	28,91	26,84	33,54	28,57	33,54	30,40	26,62	27,04	26,50	26,99	26,79	28,31	29,50	29,10	29,90	29,20
8:45	26,79	29,58	29,97	29,10	28,86	28,27	36,82	28,58	36,82	32,80	26,96	27,36	26,77	27,23	27,08	28,31	29,50	29,50	29,90	29,30
9:00	26,77	29,57	29,96	29,05	28,84	29,66	38,34	28,63	38,34	33,89	27,11	27,51	26,89	27,38	27,22	28,31	29,90	29,90	30,31	29,61
9:15	26,75	29,55	29,95	29,02	28,82	30,59	38,86	28,71	38,86	34,39	27,04	28,05	27,21	27,83	27,53	28,31	29,90	29,90	30,31	29,61
9:30	26,74	29,54	29,94	29,02	28,81	30,97	41,84	28,80	41,84	36,02	27,51	28,15	28,00	28,17	27,96	28,70	30,31	30,31	30,71	30,01
9:45	26,77	29,52	29,93	29,08	28,83	31,53	39,89	28,91	39,89	35,17	27,80	28,62	27,70	28,84	28,24	28,70	30,31	30,31	30,71	30,01
10:00	26,83	29,51	29,89	29,18	28,85	32,99	41,85	29,01	41,85	36,55	27,87	29,44	28,77	29,07	28,79	29,10	30,31	30,31	30,71	30,11
10:15	26,92	29,50	29,92	29,33	28,92	33,64	43,90	29,12	43,90	37,75	28,39	28,89	28,84	29,41	28,88	29,50	30,31	30,31	30,71	30,11
10:30	27,03	29,49	29,87	29,53	28,98	34,54	44,53	29,22	44,53	38,31	28,59	29,64	28,74	29,94	29,23	29,50	30,71	30,31	30,71	30,31
10:45	27,18	29,48	29,88	29,76	29,08	35,10	47,04	29,33	47,04	39,72	29,11	29,21	29,11	29,66	29,27	30,31	31,12	30,71	31,12	30,82
11:00	27,37	29,49	29,91	30,01	29,19	36,01	45,58	29,45	45,58	39,24	29,69	29,49	28,89	29,51	29,40	30,71	31,12	31,12	31,52	31,12
11:15	27,58	29,50	29,93	30,29	29,32	36,82	45,06	29,63	45,06	39,22	29,46	29,59	28,42	29,87	29,34	31,12	31,12	31,52	31,12	31,93
11:30	27,79	29,50	29,97	30,59	29,46	37,60	49,18	29,79	49,18	41,52	29,82	30,22	29,99	29,89	29,98	31,52	31,12	30,71	32,34	31,42
11:45	28,05	29,53	30,01	30,94	29,63	37,89	52,77	29,96	52,77	43,56	30,17	30,90	30,29	30,12	30,37	31,93	31,93	31,52	32,34	31,93
12:00	28,33	29,56	30,03	31,33	29,81	35,43	53,54	30,16	53,54	43,02	30,27	30,75	30,55	30,62	30,55	32,34	32,34	31,52	31,93	32,03
12:15	28,62	29,58	30,07	31,73	30,00	35,68	56,35	30,36	56,35	44,43	30,22	30,72	30,65	29,84	30,36	32,76	32,34	31,52	32,34	32,24
12:30	28,91	29,61	30,09	32,17	30,20	37,60	57,88	30,57	57,88	45,82	30,67	30,72	30,60	30,17	30,54	32,76	32,76	31,93	31,93	32,35
12:45	29,22	29,66	30,11	32,66	30,41	39,24	56,76	30,79	56,76	45,77	30,70	31,13	30,80	30,55	30,80	33,17	33,17	31,93	32,76	32,76
13:00	29,53	29,70	30,17	33,17	30,64	44,23	58,05	31,01	58,05	48,16	30,85	31,10	30,90	29,92	30,69	33,17	33,17	31,93	32,76	32,76
13:15	29,84	29,74	30,21	33,74	30,88	49,16	58,78	31,21	58,78	49,89	31,28	31,41	31,13	30,72	32,31	33,59	33,59	32,34	32,34	32,97
13:30	30,15	29,76	30,28	34,39	31,14	46,62	59,54	31,36	59,54	49,81	30,80	32,07	31,08	30,92	31,22	34,01	34,01	32,34	32,76	32,78
13:45	30,50	29,83	30,32	35,01	31,42	51,89	57,14	31,4												

ANEXO A – Parâmetros climáticos e de temperatura da laje do mês de julho de 2012

Hora	Umidade relativa do ar interior (%)					Umidade relativa do ar exterior (%)					Radiação Solar(W/m²)				
	19	20	23	24	MEDIA	19	20	23	24	MEDIA	19	20	23	24	MEDIA
0:00	65,70	61,01	74,60	73,60	68,73	96,20	94,90	98,30	94,80	96,05	1	1	1	1	1
0:15	66,20	61,30	74,60	73,60	68,93	96,30	95,20	98,50	94,10	96,03	1	1	1	1	1
0:30	66,20	61,70	74,60	73,60	69,03	96,10	95,50	98,70	93,70	96,00	1	1	1	1	1
0:45	66,80	62,10	74,60	73,60	69,28	96,20	95,50	98,70	93,40	95,95	1	1	1	1	1
1:00	66,80	62,60	74,60	73,70	69,43	95,70	95,50	98,30	94,10	95,90	1	1	1	1	1
1:15	66,80	62,60	74,60	73,70	69,43	96,60	95,80	98,40	94,30	96,28	1	1	1	1	1
1:30	67,40	63,00	74,60	73,70	69,68	97,00	96,20	98,50	94,60	96,58	1	1	1	1	1
1:45	67,40	63,10	74,60	73,70	69,70	96,80	96,60	98,90	95,00	96,83	1	1	1	1	1
2:00	68,00	63,50	74,60	73,70	69,95	97,80	96,70	99,10	95,40	97,25	1	1	1	1	1
2:15	68,00	64,00	74,60	73,70	70,08	97,80	96,70	99,40	95,90	97,45	1	1	1	1	1
2:30	68,00	64,00	74,60	73,70	70,08	97,30	96,80	99,30	96,10	97,38	1	1	1	1	1
2:45	68,00	64,50	74,60	73,70	70,20	97,10	96,80	99,20	96,20	97,33	1	1	1	1	1
3:00	68,00	64,50	74,60	73,70	70,20	96,80	96,90	99,20	96,20	97,28	1	1	1	1	1
3:15	68,00	65,00	74,60	73,70	70,33	97,20	97,30	99,20	96,50	97,55	1	1	1	1	1
3:30	68,60	65,00	74,60	73,70	70,48	96,60	97,80	99,20	96,80	97,60	1	1	1	1	1
3:45	68,70	65,00	74,60	73,70	70,50	97,00	97,80	98,70	96,60	97,53	1	1	1	1	1
4:00	68,70	65,60	74,60	73,70	70,65	96,90	98,00	98,70	96,40	97,50	1	1	1	1	1
4:15	68,70	65,60	74,60	74,60	70,88	96,60	98,10	98,60	96,20	97,38	1	1	1	1	1
4:30	68,70	66,10	74,60	73,70	70,78	96,60	98,00	98,60	96,40	97,40	1	1	1	1	1
4:45	68,70	66,10	74,60	74,60	71,00	96,10	98,20	98,60	96,40	97,33	1	1	1	1	1
5:00	69,30	66,10	74,60	74,60	71,15	96,20	98,50	98,50	96,60	97,45	1	1	1	1	1
5:15	69,30	66,20	74,60	74,60	71,18	96,90	98,60	98,40	96,20	97,53	1	1	1	1	1
5:30	69,30	66,20	74,70	74,60	71,20	96,90	98,60	99,00	96,10	97,65	1	1	1	1	1
5:45	69,30	66,20	74,70	74,60	71,20	97,30	98,60	99,30	96,40	97,90	1	1	1	1	1
6:00	69,30	66,70	74,70	74,60	71,33	97,60	98,50	99,60	96,40	98,03	1	1	1	1	1
6:15	69,30	66,70	74,70	74,60	71,33	97,20	98,50	99,60	96,50	97,98	3	3	3	1	3
6:30	69,30	67,30	74,70	74,60	71,48	97,50	98,50	99,60	96,50	98,03	13	14	13	6	12
6:45	69,30	67,30	74,70	74,60	71,48	97,40	98,60	99,60	96,40	98,00	34	27	24	18	26
7:00	69,30	67,30	74,70	73,70	71,25	97,10	98,00	99,20	96,10	97,60	33	101	87	39	65
7:15	69,30	67,30	74,70	73,70	71,25	95,70	96,40	97,20	95,70	96,25	132	137	123	42	109
7:30	69,30	66,80	74,70	73,70	71,13	93,10	95,00	95,60	94,80	94,63	116	154	127	71	117
7:45	69,30	66,80	74,70	73,70	71,13	93,30	95,00	95,40	93,90	94,40	68	69	101	106	86
8:00	69,30	66,80	73,70	73,70	70,88	92,70	93,80	94,80	92,90	93,55	264	273	273	156	242
8:15	69,30	66,80	73,70	73,70	70,88	91,90	92,50	93,20	91,40	92,25	319	323	323	183	287
8:30	69,30	66,80	73,70	72,80	70,65	91,50	91,20	92,60	90,20	91,38	364	379	284	194	305
8:45	68,70	66,80	73,70	72,80	70,50	90,80	89,90	92,20	89,90	90,70	413	422	179	224	310
9:00	68,70	66,80	73,70	72,80	70,50	90,30	89,30	91,80	89,40	90,20	456	488	291	294	382
9:15	68,70	66,80	72,80	72,00	70,08	90,60	88,10	90,50	87,90	89,28	538	300	241	302	345
9:30	68,10	66,80	72,00	72,00	69,73	89,50	86,30	89,50	86,20	87,88	333	323	322	296	319
9:45	68,10	66,20	72,00	71,20	69,38	89,30	84,90	89,20	83,80	86,80	586	584	648	649	617
10:00	68,10	66,20	72,00	71,20	69,38	88,20	82,30	86,90	82,10	84,88	623	378	718	617	584
10:15	67,40	66,20	72,00	71,20	69,20	87,40	82,30	85,20	80,10	83,75	652	262	782	648	586
10:30	69,90	65,60	72,00	71,20	69,68	86,00	81,00	83,80	79,20	82,50	683	759	763	727	733
10:45	68,00	65,10	71,20	70,40	68,68	84,20	82,50	84,70	77,60	82,25	748	862	754	473	709
11:00	67,30	64,60	71,20	69,70	68,20	81,80	80,00	82,40	75,80	80,00	738	857	399	581	644
11:15	65,60	64,00	70,40	69,00	67,25	80,20	78,40	83,40	76,60	79,65	723	98	862	541	556
11:30	65,10	64,00	70,40	67,70	66,80	78,80	77,70	79,60	75,80	77,98	798	827	863	967	864
11:45	64,60	63,10	69,70	67,10	66,13	77,90	76,20	78,50	77,80	77,60	811	857	946	954	892
12:00	64,00	62,10	69,00	67,70	65,70	76,50	75,70	78,80	75,90	76,73	836	833	234	193	524
12:15	63,10	61,30	69,00	67,10	65,13	75,60	74,70	80,50	77,20	77,00	834	852	917	162	691
12:30	62,60	60,50	69,00	67,70	64,95	76,20	74,50	76,10	77,10	75,98	831	844	987	954	904
12:45	62,10	60,00	68,30	67,70	64,53	73,50	73,20	75,60	74,90	74,30	822	879	982	409	773
13:00	62,10	59,70	67,70	67,00	64,13	72,30	72,90	74,20	76,00	73,85	817	801	919	1051	897
13:15	61,30	58,90	67,70	67,00	63,73	72,60	71,90	75,90	74,00	73,60	776	773	888	333	693
13:30	60,40	57,80	68,30	66,50	63,25	72,10	70,80	74,60	75,20	73,18	761	782	833	478	714
13:45	60,00	57,50	67,70	66,50	62,93	71,60	70,20	73,00	75,30	72,53	731	751	753	229	616
14:00	59,20	57,10	66,50	67,00	62,45	70,20	67,90	71,90	76,60	71,65	707	738	776	337	640
14:15	58,80	56,10	65,90	67,60	62,10	70,40	67,80	71,70	77,10	71,75	682	260	729	298	492
14:30	58,10	56,70	65,30	68,30	62,10	70,10	73,00	70,10	77,60	72,70	656	605	213	294	442
14:45	57,40	56,70	64,80	68,30	61,80	67,90	71,50	70,10	76,70	71,55	623	294	637	364	480
15:00	57,00	57,00	65,30	67,00	61,58	68,40	81,90	69,70	75,10	73,78	576	604	601	587	592
15:15	57,00	55,60	64,80	65,80	60,80	67,00	77,10	69,90	74,60	72,15	543	512	153	517	431
15:30	56,70	55,00	64,30	65,80	60,45	66,70	73,90	70,90	73,60	71,28	497	502	581	566	537
15:45	56,90	54,00	64,30	64,70	59,98	65,90	73,50	71,30	73,70	71,10	218	553	106	228	276
16:00	56,60	53,80	65,90	65,30	60,40	65,30	75,20	70,70	73,00	71,05	423	207	427	231	322
16:15	57,20	55,50	67,00	65,80	61,38	64,50	78,80	67,60	71,20	70,53	258	68	386	184	224
16:30	57,90	57,10	65,30	66,40	61,68	65,80	81,10	66,10	75,00	72,00	333	49	328	58	192
16:45	59,00	57,80	66,40	68,20	62,85	63,40	79,20	68,80	79,10	72,63	89	63	78	32	66
17:00	57,90	57,80	67,60	69,60	63,23	64,40	82,50	67,10	83,90	74,48	184	58	276	29	137
17:15	58,60	57,80	68,90	69,60	63,73	63,10	79,00	69,50	84,20	73,95	213	51	26	23	78
17:30	58,60	57,80	69,60	70,30	64,08	74,90	78,60	74,20	85,20	78,23	146	49	17	14	57
17:45	58,30	57,80	70,30	70,30	64,18	77,10	79,00	79,30	87,30	80,68	49	28	17	8	26
18:00	58,60	58,60	70,30	71,10	64,65	80,10	76,50	80,30	87,30	81,05	9	12	14	4	10
18:15	58,70	58,60	71,10	57,10	61,38	84,20	81,20	80,10	88,60	83,53	1	1	3	2	2
18:30	57,10	58,84	71,10	60,00	61,76	86,40	84,60	82,40	90,30	85,93	1	1	1	1	1
18:45	45,30	59,08	71,80	59,70	58,97	87,60	81,40	82,30	91,40	85,68	1	1	1	1	1
19:00	37,50	59,32	71,80	56,20	56,21	88,70	83,50	83,60	92,50	87,08	1	1	1	1	1
19:15	40,60	59,56	71,80	54,10	56,52	89,20	87,00	84,70	92,60	88,38	1	1	1	1	1
19:30	39,60	59,80	72,70	58,80	57,73	89,20	87,40	86,60	92,70	88,98	1	1	1	1	1
19:45	43,60	59,40	72,70	59,40	58,78	89,30	87,80	88,40	93,40	89,73	1	1	1		

ANEXO B – Parâmetros climáticos e de temperatura da laje do mês de agosto de 2012

HORA	Temp. superficial interna (°C)						Temp. superficial externa (°C)						Temp. do ar exterior (°C)						Temp. do ar interior (°C)					
	1	5	11	22	30	MEDIA	1	5	11	22	30	MEDIA	1	5	11	22	30	MEDIA	1	5	11	22	30	MEDIA
0:00	31,37	30,21	29,66	30,78	31,14	30,63	31,11	29,19	29,82	30,89	31,16	30,44	24,73	24,17	25,02	25,04	24,03	24,60	30,31	29,50	29,10	30,31	30,31	29,91
0:15	31,37	30,13	29,65	30,76	31,11	30,60	31,06	29,17	29,78	30,84	31,11	30,40	24,53	24,10	24,90	24,87	24,32	24,54	30,31	29,50	29,10	29,50	30,31	29,74
0:30	31,32	30,06	29,62	30,72	31,07	30,56	31,03	29,13	29,74	30,79	31,07	30,35	24,34	24,05	24,82	24,77	23,98	24,39	30,31	29,50	28,70	29,50	29,90	29,58
0:45	31,30	30,00	29,59	30,71	31,03	30,53	31,00	29,08	29,70	30,75	31,03	30,31	24,03	23,88	24,60	24,63	23,98	24,22	30,31	29,50	28,70	29,50	29,90	29,58
1:00	31,27	29,94	29,58	30,66	31,01	30,49	30,94	29,07	29,66	30,71	30,99	30,27	23,95	23,79	24,53	24,46	24,00	24,15	30,31	29,50	28,70	29,50	29,90	29,58
1:15	31,23	29,86	29,54	30,65	30,98	30,45	30,90	29,02	29,61	30,68	30,93	30,23	23,91	23,83	24,51	24,48	24,12	24,17	30,31	29,50	28,70	29,50	29,90	29,58
1:30	31,20	29,81	29,53	30,61	30,94	30,42	30,89	29,01	29,58	30,65	30,90	30,20	23,66	23,79	24,53	24,46	24,22	24,13	30,31	29,50	28,70	29,50	29,90	29,58
1:45	31,16	29,76	29,50	30,59	30,91	30,38	30,83	28,98	29,53	30,59	30,86	30,15	23,59	23,66	24,51	24,27	24,15	24,04	30,31	29,10	28,70	29,50	29,90	29,50
2:00	31,13	29,71	29,45	30,55	30,87	30,34	30,78	28,96	29,46	30,55	30,81	30,11	23,50	23,52	24,44	24,33	24,07	23,89	29,90	29,10	28,70	29,50	29,90	29,42
2:15	31,08	29,64	29,43	30,51	30,84	30,30	30,73	28,94	29,42	30,51	30,76	30,07	23,40	23,47	24,36	24,05	24,05	23,87	29,90	29,10	28,70	29,50	29,90	29,42
2:30	31,05	29,58	29,41	30,49	30,80	30,27	30,70	28,91	29,38	30,46	30,72	30,03	23,50	23,35	24,41	23,93	24,03	23,84	29,90	29,10	28,70	29,50	29,90	29,42
2:45	31,01	29,54	29,38	30,46	30,77	30,23	30,65	28,88	29,34	30,42	30,69	29,99	23,28	23,18	24,39	24,12	23,93	23,78	29,90	29,10	28,31	29,50	29,50	29,26
3:00	30,97	29,51	29,34	30,41	30,73	30,19	30,61	28,87	29,30	30,37	30,62	29,94	23,14	23,04	24,39	24,12	23,93	23,65	29,90	29,10	28,31	29,90	29,50	29,34
3:15	30,94	29,45	29,31	30,37	30,70	30,15	30,56	28,85	29,26	30,32	30,59	29,90	22,90	22,90	24,32	23,45	23,93	23,50	29,90	28,70	28,31	29,80	29,50	29,24
3:30	30,90	29,40	29,27	30,36	30,67	30,12	30,51	28,83	29,21	30,29	30,55	29,87	22,73	22,75	24,34	23,81	23,83	23,49	29,90	28,70	28,31	29,70	29,50	29,22
3:45	30,85	29,35	29,23	30,32	30,64	30,08	30,47	28,80	29,15	30,24	30,52	29,82	22,63	22,63	24,24	23,76	23,66	23,38	29,90	28,70	28,31	29,60	29,50	29,20
4:00	30,81	29,30	29,21	30,27	30,60	30,04	30,42	28,78	29,11	30,19	30,46	29,78	22,49	22,47	24,17	23,57	23,59	23,26	29,50	28,70	28,31	29,10	29,50	29,02
4:15	30,77	29,28	29,19	30,24	30,57	30,01	30,38	28,75	29,07	30,16	30,41	29,74	22,56	22,44	24,19	23,40	23,74	23,27	29,50	28,70	28,31	29,10	29,50	29,02
4:30	30,73	29,25	29,15	30,20	30,53	29,97	30,34	28,72	29,03	30,12	30,38	29,70	22,42	22,42	24,15	23,35	23,66	23,20	29,50	28,70	28,31	29,10	29,50	29,02
4:45	30,69	29,20	29,11	30,17	30,50	29,93	30,30	28,70	29,00	30,09	30,34	29,67	22,23	22,25	24,03	23,71	23,5	23,16	29,50	28,70	28,31	29,10	29,50	29,02
5:00	30,65	29,16	29,08	30,12	30,46	29,89	30,25	28,67	28,96	30,04	30,31	29,63	22,03	22,03	24,00	23,71	23,23	23,10	29,50	28,70	28,31	29,10	29,50	29,02
5:15	30,60	29,11	29,04	30,09	30,42	29,85	30,19	28,63	28,92	30,00	30,26	29,58	22,03	22,51	23,88	23,62	23,09	23,03	29,50	28,31	28,31	29,10	29,10	28,86
5:30	30,54	29,07	29,00	30,05	30,38	29,81	30,15	28,63	28,85	29,95	30,23	29,55	21,96	22,61	23,93	23,28	23,06	22,97	29,50	28,31	27,91	29,10	29,10	28,78
5:45	30,52	29,04	28,97	30,01	30,35	29,78	30,11	28,59	28,81	29,90	30,16	29,50	21,89	22,68	23,88	23,26	23,02	22,95	29,50	28,31	27,91	29,10	29,10	28,78
6:00	30,48	29,02	28,93	29,98	30,32	29,75	30,07	28,55	28,78	29,86	30,13	29,46	21,8	22,61	23,64	23,23	23,14	22,88	29,50	28,31	27,91	29,10	29,10	28,70
6:15	30,45	28,99	28,90	29,95	30,27	29,71	30,02	28,54	28,75	29,83	30,10	29,43	21,91	22,68	23,59	23,35	23,62	23,03	29,10	28,31	27,91	29,10	29,10	28,70
6:30	30,40	28,96	28,85	29,92	30,22	29,67	29,95	28,51	28,69	29,79	30,04	29,38	22,37	22,85	23,83	23,66	23,76	23,29	29,10	28,31	27,91	29,10	29,10	28,70
6:45	30,34	28,92	28,81	29,89	30,21	29,63	29,92	28,49	28,64	29,74	30,00	29,34	22,58	23,02	24,15	24,53	23,98	23,65	29,10	28,31	27,91	29,10	29,10	28,70
7:00	30,31	28,90	28,80	29,87	30,18	29,61	29,87	28,45	28,60	29,70	29,96	29,30	23,76	23,50	25,48	25,5	26,70	24,99	29,10	28,70	28,31	29,10	29,50	28,94
7:15	30,28	28,87	28,78	29,85	30,16	29,59	29,82	28,41	28,56	29,65	29,91	29,25	25,62	23,91	26,30	26,18	27,80	25,96	29,10	28,70	28,31	29,10	29,50	28,94
7:30	30,25	28,86	28,76	29,83	30,14	29,57	29,78	28,38	28,53	29,61	29,88	29,22	26,70	24,56	26,62	27,33	26,16	26,27	29,10	28,70	28,31	29,10	29,50	28,94
7:45	30,22	28,85	28,74	29,82	30,12	29,55	29,74	28,35	28,48	29,58	29,86	29,18	26,62	24,92	26,47	28,00	26,62	26,93	29,10	28,70	28,31	29,10	29,90	29,10
8:00	30,19	28,85	28,73	29,81	30,10	29,54	29,69	28,33	28,44	29,54	29,82	29,14	28,52	26,13	29,02	28,67	32,15	28,90	29,10	29,10	28,70	29,90	29,90	29,34
8:15	30,16	28,84	28,72	29,79	30,08	29,52	29,66	28,30	28,42	29,52	29,78	29,12	28,46	26,87	30,60	30,29	32,74	30,39	29,10	29,10	28,70	29,90	29,90	29,34
8:30	30,14	28,83	28,70	29,77	30,07	29,50	29,62	28,28	28,38	29,50	29,75	29,08	32,36	27,41	31,51	30,75	29,87	30,38	29,10	29,50	28,70	30,31	29,90	29,50
8:45	30,11	28,83	28,69	29,77	30,07	29,49	29,58	28,26	28,34	29,47	29,74	29,05	31,15	30,44	30,9	30,09	31,31	30,78	29,50	29,50	29,10	30,31	30,31	29,74
9:00	30,11	28,84	28,70	29,78	30,07	29,50	29,53	28,24	28,31	29,43	29,71	29,02	31,18	32,74	33,21	30,85	32,2	32,04	29,50	29,90	29,10	30,31	30,31	29,82
9:15	30,11	28,86	28,70	29,79	30,07	29,51	29,50	28,23	28,27	29,40	29,67	28,99	31,59	32,79	33,32	29,92	31,31	31,19	29,50	29,90	29,10	30,71	30,71	29,98
9:30	30,11	28,86	28,70	29,80	30,11	29,52	29,48	28,22	28,24	29,37	29,65	28,96	31,97	32,87	30,22	29,84	29,69	30,92	29,90	29,90	29,50	30,31	31,12	30,15
9:45	30,11	28,85																						

ANEXO B – Parâmetros climáticos e de temperatura da laje do mês de agosto de 2012

HORA	Umidade relativa do ar interior (%)						Umidade relativa do ar exterior (%)						Radiação Solar(W/m²)					
	1	5	11	22	30	MEDIA	1	5	11	22	30	MEDIA	1	5	11	22	30	MEDIA
0:00	71,90	72,80	74,60	72,00	68,40	71,94	93,50	98,40	94,20	94,60	97,70	95,68	1	1	1	1	1	1
0:15	71,90	72,80	73,70	72,00	68,40	71,76	94,00	98,30	94,30	95,20	97,80	95,92	1	1	1	1	1	1
0:30	71,90	72,80	73,70	72,00	68,40	71,76	94,50	98,40	94,60	95,30	97,90	96,14	1	1	1	1	1	1
0:45	71,90	73,70	74,60	72,00	68,40	72,12	94,80	98,60	95,00	95,80	98,30	96,50	1	1	1	1	1	1
1:00	71,90	73,70	74,60	72,00	68,40	72,12	95,50	98,60	95,60	96,00	98,30	96,80	1	1	1	1	1	1
1:15	71,90	73,70	74,70	72,00	69,00	72,26	95,90	98,60	95,90	96,20	98,00	96,92	1	1	1	1	1	1
1:30	71,90	73,70	73,70	72,00	69,10	72,08	96,10	98,30	96,00	96,10	97,60	96,82	1	1	1	1	1	1
1:45	71,90	73,70	74,70	72,00	69,10	72,28	96,40	98,60	96,10	95,90	96,90	96,78	1	1	1	1	1	1
2:00	72,00	73,70	74,70	72,00	69,10	72,30	96,50	98,70	96,40	96,40	96,70	96,94	1	1	1	1	1	1
2:15	72,00	73,70	74,70	72,00	69,10	72,30	96,50	98,70	96,50	96,50	96,80	97,00	1	1	1	1	1	1
2:30	72,00	73,70	74,70	72,00	69,10	72,30	96,60	98,50	96,60	96,60	97,30	97,12	1	1	1	1	1	1
2:45	72,00	73,70	74,70	72,00	69,10	72,30	96,90	98,30	96,50	96,40	97,30	97,08	1	1	1	1	1	1
3:00	72,00	73,70	74,70	72,00	69,10	72,30	97,30	98,10	96,60	96,70	97,20	97,18	1	1	1	1	1	1
3:15	72,00	73,70	74,70	72,00	69,10	72,30	97,60	98,30	96,60	97,10	97,20	97,36	1	1	1	1	1	1
3:30	72,00	73,70	74,70	72,00	69,10	72,30	97,70	98,50	96,50	97,20	97,50	97,48	1	1	1	1	1	1
3:45	72,80	73,70	74,70	72,00	69,10	72,46	97,90	98,70	96,60	97,20	97,50	97,58	1	1	1	1	1	1
4:00	72,80	73,70	74,70	72,00	69,80	72,60	98,10	98,90	96,90	97,40	97,80	97,82	1	1	1	1	1	1
4:15	72,00	73,70	74,70	72,00	69,80	72,44	98,10	98,80	96,90	97,80	98,00	97,92	1	1	1	1	1	1
4:30	72,80	73,70	74,70	72,00	69,80	72,60	98,30	98,60	96,80	98,10	98,00	97,96	1	1	1	1	1	1
4:45	72,80	73,70	74,70	72,00	69,80	72,60	98,50	98,80	97,20	98,00	98,20	98,14	1	1	1	1	1	1
5:00	72,80	73,70	74,70	72,00	69,80	72,60	98,70	98,60	97,30	98,00	98,40	98,20	1	1	1	1	1	1
5:15	72,80	73,70	74,70	72,00	69,80	72,60	98,80	98,70	97,30	98,00	98,80	98,32	1	1	1	1	1	1
5:30	72,80	73,70	74,70	72,00	69,80	72,60	99,10	98,60	97,50	98,30	98,90	98,48	1	1	1	1	1	1
5:45	72,80	73,80	74,70	72,00	69,80	72,62	99,10	98,90	97,30	98,60	98,90	98,56	1	1	1	1	1	1
6:00	72,80	73,80	74,70	72,80	69,80	72,78	99,30	99,00	97,70	98,70	99,00	98,74	1	1	1	1	1	1
6:15	72,80	73,80	74,70	72,00	69,80	72,62	99,40	99,00	98,00	98,80	98,80	98,80	2	1	3	4	7	3,4
6:30	72,80	73,80	74,70	72,00	69,80	72,62	99,20	98,90	97,90	98,70	98,70	98,68	14	13	19	22	16	16,8
6:45	72,00	73,80	74,70	72,00	69,80	72,46	98,80	98,90	97,80	98,30	98,40	98,44	36	33	38	48	31	37,2
7:00	72,00	73,80	73,80	72,00	69,10	72,14	97,70	98,20	96,80	97,00	97,60	97,46	99	57	64	88	82	78
7:15	72,00	73,80	73,80	72,00	69,10	72,14	95,60	97,40	95,70	95,70	96,20	96,12	139	71	112	119	179	124
7:30	72,00	72,90	73,80	72,00	69,10	71,96	93,80	96,80	93,80	94,40	95,70	94,90	108	93	74	158	83	103,2
7:45	72,00	72,90	73,80	72,00	69,10	71,96	92,90	96,10	92,60	93,30	95,50	94,08	136	117	206	258	122	167,8
8:00	72,00	72,90	73,80	71,20	68,50	71,68	91,50	95,70	90,90	91,20	93,70	92,60	279	147	201	313	346	257,2
8:15	72,00	72,90	72,90	71,30	68,50	71,52	90,80	94,20	89,50	89,80	91,70	91,20	331	181	298	349	401	312
8:30	71,20	72,10	72,90	71,40	68,50	71,22	89,30	92,30	88,00	88,90	92,50	90,20	381	212	342	176	228	267,8
8:45	71,20	72,10	72,90	71,50	67,80	71,10	90,50	89,90	86,60	89,00	89,80	89,16	457	484	389	552	483	473
9:00	70,50	71,30	72,90	70,50	67,80	70,60	89,90	87,50	85,50	87,00	87,90	87,56	184	509	454	277	339	352,6
9:15	70,50	71,30	72,10	70,50	67,20	70,32	88,80	87,30	84,90	86,00	88,40	87,08	177	322	486	348	276	321,8
9:30	69,70	71,30	72,10	70,50	66,60	70,04	87,90	86,90	85,90	84,80	88,00	86,70	268	406	304	258	256	298,4
9:45	69,10	71,20	71,30	70,50	66,60	69,74	86,00	87,50	81,40	82,80	88,50	85,24	627	281	619	719	617	572,6
10:00	69,10	71,20	70,60	69,10	66,00	69,20	84,40	85,60	79,00	81,70	84,00	82,94	624	337	697	817	717	638,4
10:15	69,10	70,50	70,60	69,20	66,00	69,08	83,10	85,40	79,00	80,30	81,10	81,78	596	716	309	149	364	426,8
10:30	68,40	69,80	70,50	69,20	65,50	68,68	81,40	85,20	79,10	80,20	80,60	81,30	813	684	268	658	519	588,4
10:45	68,40	69,10	69,80	68,20	65,50	68,20	80,10	85,70	77,00	78,40	78,80	80,00	857	442	891	801	227	643,6
11:00	67,70	69,10	69,10	67,10	64,90	67,58	78,40	85,50	77,20	78,20	77,70	79,40	777	406	888	847	942	772
11:15	67,10	69,10	67,80	67,00	64,00	67,00	78,00	85,60	75,10	76,50	77,40	78,52	806	382	348	841	583	592
11:30	66,00	69,10	67,20	66,40	63,40	66,42	76,40	85,00	75,70	74,70	76,10	77,58	832	481	182	857	497	569,8
11:45	65,40	68,40	66,60	65,80	62,10	65,66	74,30	82,90	75,80	74,10	74,60	76,34	838	559	892	858	988	827
12:00	64,90	67,70	66,00	64,30	61,30	64,84	74,20	81,50	73,50	73,80	72,60	75,12	852	507	246	872	927	680,8
12:15	64,40	67,20	64,90	64,30	60,80	64,32	73,90	82,50	73,70	72,70	72,30	75,02	873	586	871	928	947	841
12:30	63,80	67,70	64,40	64,20	60,40	64,10	73,40	82,30	73,20	71,50	72,10	74,50	919	404	876	923	913	807
12:45	63,80	68,40	63,90	63,60	60,00	63,94	71,90	82,70	72,50	70,80	71,40	73,86	903	376	837	902	874	778,4
13:00	62,90	67,70	63,40	62,40	59,60	63,20	70,30	81,70	73,30	69,60	69,20	72,82	903	763	842	892	905	861
13:15	63,80	67,70	63,40	62,40	59,20	63,30	67,20	80,70	70,80	70,30	68,40	71,48	882	418	823	819	853	759
13:30	62,90	67,70	63,40	62,30	58,80	63,02	65,20	81,00	70,80	68,80	68,10	70,78	173	424	919	802	836	630,8
13:45	62,00	67,10	62,90	62,00	58,50	62,50	65,30	81,50	72,10	68,60	68,80	71,26	184	477	271	767	796	499
14:00	61,90	65,90	62,50	61,00	58,10	61,88	64,00	80,20	69,50	67,10	67,90	69,74	713	761	816	732	827	769,8
14:15	61,10	64,80	62,00	61,40	57,70	61,40	63,30	78,20	71,20	65,80	67,00	69,10	668	858	702	701	698	725,4
14:30	61,10	65,30	62,00	61,20	58,80	61,68	64,50	77,60	69,70	65,40	67,90	69,02	652	467	692	664	663	627,6
14:45	60,60	64,30	61,90	61,00	59,20	61,40	63,10	75,10	68,20	65,50	67,90	67,96	601	668	243	632	617	552,2
15:00	60,60	63,80	61,90	60,10	61,10	61,50	62,00	73,80	69,00	63,50	68,60	67,38	568	359	737	587	606	571,4
15:15	60,30	64,90	61,90	60,30	61,90	61,86	62,90	77,90	72,50	63,50	68,60	69,08	539	123	113	546	574	379
15:30	59,80	66,50	61,90	60,40	60,30	61,78	60,50	78,00	70,70	61,30	65,60	67,22	494	138	532	509	509	436,4
15:45	59,40	66,50	64,30	61,00	61,90	62,62	60,80	77,80	69,90	61,10	69,80	67,88	461	506	488	448	174	415,4
16:00	59,80	67,60	66,40	61,00	63,40	63,64	59,80	73,50	72,10	65,40	74,00	68,96	413	348	226	214	172	274,6
16:15	59,80	65,90	67,60	62,40	63,80	63,90	59,90	74,10	68,90	69,00	76,00	69,58	361	389	201	273	372	319,2
16:30	61,40	67,00	68,30	63,00	64,90	64,92	60,60	73,00	75,30	72,00	75,00	71,18	317	167	123	93		

ANEXO C – Declaração de sobrecarga da laje.



A

Universidade Federal do Estado do Pará - UFPA

Att. Profª e Drª. Maria Emilia Tostes - Diretora do ITEC

Nesta,

Belém/PA, 29 de Maio de 2012.

Ref: Sobrecarga utilizada no projeto estrutural do prédio da CEAMAZON nas lajes de forro da oficina.

1 – SITUAÇÃO DAS LAJES:

1.1 – Laje 16 e 17 do segundo pavimento sobrecarga de cálculo - 150kgfm².

2 - COMPOSIÇÃO DAS LAJES:

2.1 - Espessura total 13cm.

2.2 - Espessura em concreto 5cm.

2.3 - Espessura em EPS (isopor) 8cm.

Atenciosamente,

ARCHIMINO C. ATHAYDE NETO
CPF: 009.161.882-72
CREA 1861-D PA/PA

Rua dos Caripunas, 2829 – Cremação – CEP 66.063-040 – Belém – PA
Tel/Fax (91) 3073 5151 – Cel: 8115 7946 – Email: kimico@intelpre.com