

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM
ARQUITETURA

MINÉIA JOHANN SCHERER

**Cortinas Verdes na arquitetura:
desempenho no controle solar e na
eficiência energética de edificações**

Porto Alegre, RS
2014

MINÉIA JOHANN SCHERER

**Cortinas Verdes na arquitetura:
desempenho no controle solar e na
eficiência energética de edificações**

Tese de Doutorado para obtenção do título de Doutor em Arquitetura, apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, área de concentração Projeto de Arquitetura e Urbanismo, linha de pesquisa Habitabilidade da Edificação.

Orientadora: **Dra. BEATRIZ MARIA FEDRIZZI**

Porto Alegre, RS
2014

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, por ter me ensinado a amar as plantas e a nunca desistir dos sonhos. Teu jardim estará sempre florido em minhas lembranças...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de uma forma ou outra
contribuíram para a concretização deste trabalho.

À minha orientadora, Beatriz, pela paciência e
auxílio em todos os momentos.

Em especial ao meu companheiro de todos os dias,
Marcelo, pela compreensão e incentivo a seguir em frente.

RESUMO

As *cortinas verdes* caracterizam-se pelo plantio e desenvolvimento de uma vegetação trepadeira, com auxílio de suportes, posicionada em frente e afastada das superfícies verticais da edificação. Seu aspecto funcional mais relevante está associado à capacidade de proporcionar sombra, atuando como dispositivo de controle solar em arquitetura. Diferente dos sistemas convencionais, o uso da vegetação apresenta benefícios em termos de desempenho, na medida que responde de forma dinâmica às variações do clima e das estações, além de ser um elemento natural e de baixo impacto ambiental, o que vai ao encontro às premissas de uma arquitetura mais sustentável. Desta forma, o objetivo principal desta tese consiste no estudo da aplicabilidade das *cortinas verdes* como elemento de controle solar em arquitetura, com ênfase em sua contribuição para a eficiência energética de edificações, no contexto climático brasileiro. Para tanto, primeiro foi realizado o embasamento e a discussão teórica sobre o tema, reforçando sua pertinência e relevância, observando o atual estado da arte das pesquisas científicas na área e apresentando exemplares arquitetônicos executados com as *cortinas verdes*. A seguir, um estudo experimental foi conduzido, com vistas a gerar parâmetros médios sobre a capacidade de sombreamento de quatro diferentes espécies trepadeiras, determinando o Percentual de Transmissão Solar em cada mês, durante um ano de avaliação. Por fim, foram realizadas simulações computacionais de eficiência energética em uma edificação genérica de escritórios, utilizando os dados originados no experimento e comparando o desempenho das *cortinas verdes* com outros sistemas de sombreamento convencionais. Os resultados do experimento demonstraram o comportamento dinâmico e particular de cada espécie no que diz respeito à capacidade de proporcionar sombra, dependendo da época do ano e de suas características formais. Já quanto aos dados obtidos com as simulações, a maioria dos resultados foi favorável ao uso das *cortinas verdes* no controle solar da edificação, resultando em economia de energia para refrigeração ou aquecimento artificial, dependendo da região climática e da espécie considerada. Assim, as principais conclusões desta pesquisa estão relacionadas ao potencial positivo do uso das *cortinas verdes* em arquitetura, atendendo ao duplo propósito da funcionalidade e da expressão formal. As espécies de trepadeiras apropriadas dependerão de cada região, embora, de uma forma geral, as decíduas serão mais favoráveis em climas com estação quente e fria, enquanto as perenes serão mais adequadas para uso em edificações de climas com predomínio de altas temperaturas o ano todo.

Palavras-chave: cortinas verdes; controle solar; eficiência energética; sustentabilidade.

ABSTRACT

Green curtains are characterized by planting and development of climbing vegetation, by the use of supports, positioned in front of vertical surfaces of a building and away from these. Its most important functional aspect is associated to the ability to provide shade, acting as a solar control device in architecture. Different from conventional systems, the use of vegetation shows benefits in terms of performance, as it responds dynamically to changes in climate and seasons, besides it is a natural and low environmental impact element, which is coherent regards to the assumptions of a more sustainable architecture. Thus, the main goal of this thesis is the analysis of the applicability of *green curtains* as solar control element in architecture, with emphasis on their contribution to the energy efficiency of buildings in the context of Brazilian climate. For this, first of all it has been accomplished the theoretical basement and discussion on the subject, by enhancing its relevance and pertinence, observing the current context of scientific research in the area and presenting architectural projects executed using *green curtains*. After, an experimental analysis was conducted in order to generate mean parameters on the ability of shading of four different species of climbing plants, determining the Solar Transmission Percentage in each month during a year of observing. Finally, computer simulations of energy efficiency were executed in a generic office building, using data derived in the experiment and comparing the performance of *green curtains* with other conventional shading systems. The results of the experiment demonstrated the dynamic and particular behavior of each species in relation to the ability of providing shade, depending on the season of the year and its formal characteristics. Regards to the data obtained from simulations, most of results were favorable to the use of *green curtain* sinthe solar control of the building, which saves energy for artificial heating or cooling, depending on the climatic region and the species concerned. Thus, the main conclusions of this research are related to the positive potential of using *green curtains* in architecture, serving both purposes of functionality and formal expression. The fact of one or more species of climbing plants be appropriate depend on each region, although, in general, the deciduous plants are more favorable in climates with hot and cold seasons, while perennial plants are more appropriate for the use in buildings with a predominance of high temperatures throughout the year.

Keywords: green curtains; solar control; energy efficiency; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Edificações construídas com <i>cortinas verdes</i> . a) Arquiteto Enrique Browne no Chile; b) Arquiteto Mario Cucinella, na Itália; c) WOHA Arquitetos em Cingapura; d) Arquiteto Edward Suzuki no Japão	25
Figura 02: Representação de um jardim de castelo na Idade Média	30
Figura 03: a) Colheita de uvas em videiras plantadas junto à edificação; b) Videira em edificação na Alemanha	31
Figura 04: Revestimento vegetal de hera inglesa (<i>Hedera helix</i>) de aproximadamente 100 anos de idade	31
Figura 05: Arranjo com bromélias sobre estrutura metálica no Sítio Roberto Burle Marx; b) Jardim do Banco Safra	32
Figura 06: Fachada do Museu Quai Branly, criação de Patrick Blanc	33
Figura 07: O MFO Park, em Zurich, Alemanha	33
Figura 08: Espaço <i>Bio Lung</i> , na mostra EXPO 2005, no Japão	34
Figura 09: <i>Cortinas verdes</i> nas fábricas da Kyocera, Japão	34
Figura 10: a) Pele verde de crescimento espontâneo; b) Pele verde integrada ao projeto arquitetônico	36
Figura 11: Sistema modular da Empresa GSKy Plant Systems	37
Figura 12: a) Sistema com treliça do Edifício Consorcio, Santiago, Chile; b) Edifício Ex-Ducati, Itália	37
Figura 13: Sistema com cabos da Empresa Ecotelhado	38
Figura 14: Prédio Rosa da Universidade Feevale, com aplicação do Brise Vegetal da Empresa Ecotelhado	38
Figura 15: Edifício Bosque, projeto Boeri Studio, Milão, Itália	39
Figura 16: Sistema com módulos fixados em estrutura metálica	40
Figura 17: Sistema Canguru, com módulos fixados em estrutura metálica	40
Figura 18: a) Processo de planejamento; b) Execução do sistema	40
Figura 19: Muxarabi típico de edificações paulistas do século XVIII	50
Figura 20: Cobogós tradicionais em concreto ou cerâmica	51
Figura 21: Croquis de Le Corbusier com estudos sobre proteções solares e a solução para o prédio de apartamentos em Barcelona	53
Figura 22: a) Croquis de Le Corbusier; b) Maquete para o prédio de apartamentos <i>Ponsich</i> em Argel	53
Figura 23: Estudos de Oscar Niemeyer para os brises do Ministério da Educação e Saúde, RJ	54
Figura 24: Fachada sul do Pavilhão do Brasil em Nova York, com a colméia adotada como solução de proteção solar	55
Figura 25: a) Detalhe da fachada oeste de um dos edifícios do Parque Guinle, com as diferentes composições de proteção solar; b) Vista interna dos apartamentos	56

Figura 26: Obras contemporâneas com uso do <i>brise soleil</i>	57
Figura 27: Obras contemporâneas com releitura dos cobogós	58
Figura 28: a) Gran Casino em Talca, Chile; b) Pavilhão da XVI Bienal de Arquitetura de Santiago, Chile	58
Figura 29: Edificações com as <i>cortinas verdes</i> atuando como elemento de controle solar. a) Edifício Consorcio em Santiago; b) Edifício Consorcio em Concepción	59
Figura 30: Croquis do arquiteto chileno Enrique Browne com estudos para aplicação das “parrones” horizontais e verticais como elemento de sombreamento para edificações	59
Figura 31: Efeito visual interno dos cobogós	60
Figura 32: Efeito visual interno das <i>cortinas verdes</i>	61
Figura 33: Efeito visual decorrente da sazonalidade das <i>cortinas verdes</i>	61
Figura 34: Efeito visual à noite, com uso dos cobogós e das <i>cortinas verdes</i>	61
Figura 35: Experimento com a vegetação localizada no interior da fachada dupla	63
Figura 36: Instituto de Física de Berlim e detalhe das <i>cortinas verdes</i> em frente às áreas envidraçadas	64
Figura 37: a) Imagem da fachada; b) Imagem em infravermelho das temperaturas da fachada (vermelho = quente, azul = frio)	64
Figura 38: Experimento realizado com as espécies trepadeiras	66
Figura 39: Estudo de caso acompanhado na pesquisa	66
Figura 40: a) <i>Cortinas verdes</i> instaladas para a pesquisa; b) Esquema dos equipamentos e locais de medição	67
Figura 41: Imagens das diferentes camadas estabelecidas	67
Figura 42: Gráfico das camadas de cobertura foliar ao longo do tempo	68
Figura 43: Localização do experimento, na Faculdade de Arquitetura da Universidade de Kasetsart	68
Figura 44: a) Arranjo do experimento, com as cinco diferentes espécies e os painéis; b) Método de obtenção da área de cobertura foliar	69
Figura 45: Experimento realizado com células-teste	70
Figura 46: Área ocupada pelo edifício e sua projeção no jardim vertical	71
Figura 47: a) Detalhe das <i>cortinas verdes</i> ; b) Funcionamento térmico do edifício	72
Figura 48: a) O edifício em 1993; b) em 2007; c) Atualmente	72
Figura 49: a) As mudanças sazonais na coloração da vegetação; b) O efeito visual à noite	73
Figura 50: a) A vegetação no verão; b) No inverno	73
Figura 51: Interior dos escritórios	74
Figura 52: O Edifício Consorcio em Concepción, Chile	74
Figura 53: A composição arquitetônica da edificação	75
Figura 54: Detalhes da <i>cortina verde</i>	75
Figura 55: Implantação do conjunto <i>Swiss Re</i> , na Alemanha	76

Figura 56: A malha que envolve o edifício, com desenvolvimento da vegetação	76
Figura 57: O efeito sazonal com mudança na coloração da vegetação	77
Figura 58: As fachadas do prédio, envolvido com as <i>cortinas verdes</i>	77
Figura 59: Vista do interior dos escritórios, com a vegetação atuando como proteção solar	78
Figura 60: a) Fachada norte do Edifício CH2, com as janelas de tamanhos; b) Fachada norte com os balcões protegidos lateralmente pela vegetação trepadeira e fachada oeste, com brises móveis de madeira	79
Figura 61: Esquemas das estratégias de sombreamento adotadas na fachada norte do Edifício CH2	79
Figura 62: Detalhe das floreiras	80
Figura 63: Fachada principal do edifício, com as treliças e vegetação trepadeira	81
Figura 64: Fachada com grelha de aço e vegetação trepadeira	81
Figura 65: Varanda com a vegetação trepadeira e detalhe técnico das jardineiras	82
Figura 66: O Edifício de Viviendas Vilela, Buenos Aires, Argentina, com as <i>cortinas verdes</i> envolvendo os espaços de transição	82
Figura 67: a) A solução formal da edificação, com as fachadas de vidro protegidas pela <i>cortina verde</i> ; b) Detalhe das sacadas do edifício	83
Figura 68: a) A vegetação protege a fachada da insolação excessiva; b) Ao mesmo tempo permite privacidade visual	83
Figura 69: a) O edifício em Cingapura, com as <i>cortinas verdes</i> em todas as fachadas; b) Detalhe das <i>cortinas verdes</i> atuando no sombreamento dos espaços	84
Figura 70: A fachada principal do edifício <i>Vent Vert</i> , com a segunda-pele de vegetação	85
Figura 71: a) As <i>cortinas verdes</i> visualizadas a partir do interior; b) A passarela que permite a manutenção	85
Figura 72: Entorno do local de implantação do protótipo experimental; a) Direção Leste; b) direção Oeste	88
Figura 73: Imagem aérea do local de implantação do protótipo, com marcação da posição do suporte com tela metálica	88
Figura 74: Projeto técnico da estrutura do protótipo experimental	89
Figura 75: Estrutura do protótipo executada no local de implantação, com as divisões para cada espécie	89
Figura 76: a) Componentes para correção do solo e adubação pré-plantio; b) Distribuição no local destinado ao plantio	90
Figura 77: a) Componentes para adubação da cova; b) Plantio das espécies	91
Figura 78: a) Exemplo de aplicação; b) Plantio da espécie <i>Wisteria floribunda</i> no protótipo experimental	92
Figura 79: a) Exemplo de aplicação; b) Plantio da espécie <i>Campsis grandiflora</i> no protótipo experimental	93
Figura 80: a) Exemplo de aplicação; b) Plantio da espécie <i>Trachelospermum jasminoides</i> no protótipo experimental	93

Figura 81: a) Exemplo de aplicação; b) Plantio da espécie <i>Lonicera japonica</i> no protótipo experimental	94
Figura 82: a) Exemplo de aplicação; b) Plantio da espécie <i>Thunbergia grandiflora</i> no protótipo experimental	94
Figura 83: a) Preparação com pesagem e mistura dos componentes; b) Adubação ao redor da planta	95
Figura 84: a) Imagem original da espécie <i>Wisteria floribunda</i> ; b) imagem recortada nos limites do painel; c) área delimitada para tratamento das imagens	97
Figura 85: Exemplo do tratamento das imagens, na espécie <i>Wisteria floribunda</i> . a) Situação inicial; b) Com subtração das regiões vazadas marcadas em vermelho	97
Figura 86: a) Suporte metálico com delimitação dos 81 pontos de medição; b) Posicionamento do medidor de energia solar em cada ponto; c) Medidor de ângulo solar, exemplificando a projeção de sombra na altura solar de 40°	99
Figura 87: Quantificação do PTS nas nove sub-regiões. a) Na espécie <i>Wisteria floribunda</i> ; b) Na espécie <i>Trachelospermum jasminoide</i>	100
Figura 88: Comparativo entre os dados de PTS e de Transmitância Solar (10°). a) Na espécie <i>Wisteria floribunda</i> ; b) Na espécie <i>Trachelospermum jasminoide</i>	102
Figura 89: Esquema elucidativo do primeiro caso	104
Figura 90: Esquema elucidativo do segundo caso	104
Figura 91: Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie <i>Wisteria floribunda</i>	106
Figura 92: Gráfico do PTS da espécie <i>Wisteria floribunda</i> , calculado através das imagens, durante um ano de observação	107
Figura 93: Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie <i>Campsis grandiflora</i>	108
Figura 94: Gráfico do PTS da espécie <i>Campsis grandiflora</i> , calculado através das imagens, durante um ano de observação	109
Figura 95: Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie <i>Lonicera japônica</i>	110
Figura 96: Gráfico do PTS da espécie <i>Lonicera japonica</i> , calculado através das imagens, durante um ano de observação	111
Figura 97: Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie <i>Trachelospermum jasminoide</i>	112
Figura 98: Gráfico do PTS da espécie <i>Trachelospermum jasminoide</i> , calculado através das imagens, durante um ano de observação	112
Figura 99: Gráfico comparativo do PTS de cada uma das quatro espécies avaliadas, nos doze meses do ano	113
Figura 100: Planta baixa do pavimento térreo, sem escala	116
Figura 101: Planta baixa do pavimento tipo, sem escala	116
Figura 102: Corte transversal, sem escala	117
Figura 103: Modelagem do edifício base no <i>Design Builder</i> . a) Com 20% de área de aberturas; b) Com 45% de área de aberturas	118

Figura 104: Definição das zonas térmicas, na modelagem com o <i>Design Builder</i>	119
Figura 105: a) Parede real; b) Camadas da parede equivalente configurada no <i>Design Builder</i>	120
Figura 106: Camadas da cobertura configurada no <i>Design Builder</i>	120
Figura 107: Zoneamento Bioclimático brasileiro, segundo a NBR 15220	122
Figura 108: a) Detalhamento dos brises horizontais nos edifícios com 20% de área de aberturas; b) E nos edifícios com 45% de área de aberturas	124
Figura 109: Modelagem do edifício com brise horizontal. a) Com 20% de área de aberturas e dois brises; b) Com 45% de área de aberturas e três brises	124
Figura 110: Exemplo de máscara de sombra para o brise projetado; a) Orientação Norte; b) Orientação Oeste	125
Figura 111: Modelagem do edifício com adição dos componentes que simulam a aplicação das <i>cortinas verdes</i>	125
Figura 112: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 1	130
Figura 113: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 1	130
Figura 114: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para iluminação, na Zona Bioclimática 1	131
Figura 115: Gráfico do consumo anual total de energia elétrica, na Zona Bioclimática 1	132
Figura 116: Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 1	133
Figura 117: Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 1	134
Figura 118: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 2	135
Figura 119: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 2	135
Figura 120: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para iluminação, na Zona Bioclimática 2	137
Figura 121: Gráfico do consumo anual total de energia elétrica, na Zona Bioclimática 2	137
Figura 122: Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 2	138
Figura 123: Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 2	139
Figura 124: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 8	140
Figura 125: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para iluminação, na Zona Bioclimática 8	141
Figura 126: Gráfico do consumo anual total de energia elétrica, na Zona Bioclimática 8	141
Figura 127: Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 8	142

Figura 128: Matrizes das espécies iniciais, plantadas em setembro de 2011	172
Figura 129: Desenvolvimentos das espécies em novembro de 2011, com substituição da <i>Thunbergia grandiflora</i> por outra matriz	172
Figura 130: Desenvolvimentos das espécies em janeiro de 2012	172
Figura 131: Desenvolvimentos das espécies em abril de 2012, com substituição da <i>Jasminun polyanthum</i> por outra espécie: <i>Campsis grandiflora</i>	173
Figura 132: Desenvolvimentos das espécies em julho de 2012	173
Figura 133: Desenvolvimentos das espécies em setembro de 2012, com acréscimo de mais uma matriz nas espécies: <i>Wisteria floribunda</i> , <i>Trachelospermum jasminoide</i> e <i>Pyrostegia venusta</i>	173
Figura 134: Desenvolvimentos das espécies em novembro de 2012	174
Figura 135: Desenvolvimentos das espécies em janeiro de 2013, com substituição da <i>Pyrostegia venusta</i> por outra espécie: <i>Lonicera japonica</i>	174
Figura 136: Desenvolvimentos das espécies em abril de 2013, na época da avaliação piloto	174
Figura 137: Início das avaliações definitivas, em junho de 2013	175
Figura 138: Desenvolvimentos das espécies em julho de 2013; a <i>Thunbergia grandiflora</i> começa a perder as folhas devido ao forte frio e geada da estação	175
Figura 139: Desenvolvimentos das espécies em agosto de 2013; <i>Thunbergia grandiflora</i> totalmente sem folhas, situação atípica, que inviabilizou sua avaliação	175
Figura 140: Desenvolvimentos das espécies em setembro de 2013	176
Figura 141: Desenvolvimentos das espécies em outubro de 2013	176
Figura 142: Desenvolvimentos das espécies em novembro de 2013; <i>Thunbergia grandiflora</i> retoma a brotação	176
Figura 143: Desenvolvimentos das espécies em dezembro de 2013; <i>Trachelospermum jasminoide</i> perde totalmente as folhas e morre após uma doença em sua raiz	177
Figura 144: Desenvolvimentos das espécies em janeiro de 2014, com as três trepadeiras que continuaram com seu pleno desenvolvimento	177
Figura 145: Desenvolvimentos das espécies em fevereiro de 2014	177
Figura 146: Desenvolvimentos das espécies em março de 2014	178
Figura 147: Desenvolvimentos das espécies em abril de 2014	178
Figura 148: Desenvolvimentos das espécies em maio de 2014, último mês das avaliações definitivas	178

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Classificação dos jardins verticais	35
Quadro 02: Resultado da análise de solo e sua interpretação	90
Quadro 03: Resumo dos períodos e datas de coleta dos dados em cada espécie	105
Quadro 04: Parâmetros geométricos e construtivos adotados na modelagem do edifício base	118
Quadro 05: Características físicas dos materiais utilizados para definir as paredes e cobertura do edifício base	119
Quadro 06: Características térmicas e de superfície adotadas no componente <i>cortina verde</i>	126
Quadro 07: Listagem geral das simulações realizadas, com as variáveis configuradas em cada caso	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Normais Climatológicas de Santa Maria, RS (período de 1961 a 1990)	87
Tabela 02: Valores de PTS total e de cada sub-região em cada espécie	100
Tabela 03: Valores de Transmitância Solar (τ) média total e de cada sub-região na <i>Wisteria floribunda</i>	101
Tabela 04: Valores de Transmitância Solar (τ) média total e de cada sub-região na <i>Trachelospermum jasminoide</i>	101
Tabela 05: Comparativo entre os dados de PAF e de Transmitância Solar (τ) no ângulo de altura solar 10°, na espécie <i>Wisteria floribunda</i>	102
Tabela 06: Comparativo entre os dados de PAF e de Transmitância Solar (τ) no ângulo de altura solar 10°, na espécie <i>Trachelospermum jasminoide</i>	102
Tabela 07: Temperaturas do solo adotadas para as simulações em cada cidade	123
Tabela 08: Valores de PTS adotados nas simulações, para cada espécie e em cada mês do ano	127
Tabela 09: Consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 1	179
Tabela 10: Consumo anual de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 1	179
Tabela 11: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 20% aberturas, ZB 1	179
Tabela 12: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Leste-Oeste, 20% aberturas, ZB 1	180
Tabela 13: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 45% aberturas, ZB 1	180
Tabela 14: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Leste-Oeste, 45% aberturas, ZB 1	180
Tabela 15: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 20% aberturas, ZB 1	181
Tabela 16: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Norte-Sul, 20% aberturas, ZB 1	181
Tabela 17: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 45% aberturas, ZB 1	181
Tabela 18: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Norte-Sul, 45% aberturas, ZB 1	182
Tabela 19: Consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 2	182
Tabela 20: Consumo anual de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 2	182
Tabela 21: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 20% aberturas, ZB 2	183
Tabela 22: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Leste-Oeste, 20% aberturas, ZB 2	183

Tabela 23: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 45% aberturas, ZB 2	183
Tabela 24: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Leste-Oeste, 45% aberturas, ZB 2	184
Tabela 25: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 20% aberturas, ZB 2	184
Tabela 26: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Norte-Sul, 20% aberturas, ZB 2	184
Tabela 27: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 45% aberturas, ZB 2	185
Tabela 28: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Norte-Sul, 45% aberturas, ZB 2	185
Tabela 29: Consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 8	185
Tabela 30: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 20% aberturas, ZB 8	186
Tabela 31: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 45% aberturas, ZB 8	186
Tabela 32: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 20% aberturas, ZB 8	186
Tabela 33: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 45% aberturas, ZB 8	187

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	23
1.1. CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	23
1.2. DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	25
1.3. HIPÓTESE	26
1.4. OBJETIVOS	27
1.4.1. Objetivo geral	27
1.4.2. Objetivos específicos	27
1.5. METODOLOGIA DA PESQUISA	27
1.6. ESTRUTURA DA TESE	28
CAPÍTULO II – JARDINS VERTICAIS: POTENCIALIDADES PARA O AMBIENTE URBANO	30
2.1. BREVE HISTÓRICO NO CONTEXTO ARQUITETÔNICO	30
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS JARDINS VERTICAIS	35
2.2.1. Fachada verde tradicional	36
2.2.2. Cortina verde	36
2.2.3. Jardineiras perimetrais	39
2.2.4. Parede viva	39
2.3. IMPACTO AMBIENTAL DA VEGETAÇÃO NO MICROCLIMA URBANO	41
2.3.1. Particularidades dos jardins verticais	42
2.4. BENEFÍCIOS PSICOLÓGICOS AO SER HUMANO	45
CAPÍTULO III – OS SISTEMAS DE CONTROLE SOLAR E SUA EXPRESSÃO ARQUITETÔNICA	48
3.1. BREVE HISTÓRICO SOBRE O CONTROLE SOLAR NA ARQUITETURA	48
3.1.1. Le Corbusier e a origem do <i>brise soleil</i>	52
3.1.2. A Arquitetura Moderna no Brasil e a consolidação do <i>brise soleil</i>	54
3.2. TIPOLOGIAS CONTEMPORÂNEAS E AS CORTINAS VERDES	56
CAPÍTULO IV – CORTINAS VERDES: CONTROLE SOLAR E COMPOSIÇÃO FORMAL EM ARQUITETURA	62
4.1. ESTUDOS CIENTÍFICOS SOBRE O DESEMPENHO DAS CORTINAS VERDES	62
4.2. A EXPRESSÃO ARQUITETÔNICA DAS CORTINAS VERDES: EXEMPLOS MATERIALIZADOS	70
4.2.1. Edifício Consorcio Nacional de Seguros I	71
4.2.2. Edifício Consorcio Nacional de Seguros II	74
4.2.3. Edifício Swiss Re	76
4.2.4. Edifício Pergola	77
4.2.5. Edifício Council House 2 (CH2)	78
4.2.6. Edifício Biopark	80
4.2.7. Edifício Ex Ducati	81
4.2.8. Edifício de Viviendas Vilela	82
4.2.8. Edifício Escola das Artes	84
4.2.9. Edifício Vent Vert	84

CAPÍTULO V – ESTUDO EXPERIMENTAL: CAPACIDADE DE SOMBREAMENTO DAS CORTINAS VERDES	86
5.1. OBJETIVO DO EXPERIMENTO	86
5.2. MATERIAIS E MÉTODOS	86
5.2.1. Caracterização da região de implantação	87
5.2.2. Estrutura do protótipo experimental	88
5.2.3. Preparação do solo e procedimento de plantio das espécies	89
5.2.4. Seleção das espécies	91
5.2.5. Protocolo de acompanhamento e manutenção	95
5.2.6. Procedimento de coleta e tratamento dos dados	96
5.2.7. Avaliações definitivas	105
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	106
5.3.1. <i>Wisteria floribunda</i> (Glicínia)	106
5.3.2. <i>Campsis grandiflora</i> (Trombeta-chinesa)	108
5.3.3. <i>Lonicera japonica</i> (Madressilva-creme)	109
5.3.4. <i>Trachelospermum jasminoide</i> (Jasmim-leite)	111
5.3.5. Análise comparativa entre as espécies	113
CAPÍTULO VI – SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DAS CORTINAS VERDES	115
6.1. OBJETIVO E DEFINIÇÕES GERAIS	115
6.2. DEFINIÇÃO DO EDIFÍCIO BASE	115
6.2.1. Geometria da edificação e componentes construtivos	116
6.2.2. Modelagem da envoltória e definição das zonas térmicas	118
6.2.3. Definição dos padrões de ocupação e atividade	121
6.2.4. Densidade de carga interna (DCI) e sistema de condicionamento artificial	121
6.2.5. Arquivos climáticos	121
6.2.6. Definição da temperatura do solo	122
6.3. CONFIGURAÇÃO DAS VARIAÇÕES NO EDIFÍCIO BASE	123
6.3.1. Edifício com persiana interna	123
6.3.2. Edifício com brise horizontal	123
6.3.3. Edifício com as <i>cortinas verdes</i>	125
6.3.4. Quadro geral de configuração das simulações	127
6.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	129
6.4.1. Zona Bioclimática 1 – Curitiba	129
6.4.2. Zona Bioclimática 2 – Santa Maria	135
6.4.3. Zona Bioclimática 8 – Fortaleza	139
CAPÍTULO VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS	144
7.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	146
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
ANEXO A - Resultado da análise do solo	156
APÊNDICE A - Ficha de espécies recomendadas para utilização em <i>cortinas verdes</i> no clima subtropical da região Sul do Brasil	157
APÊNDICE B - Evolução do desenvolvimento das vegetações trepadeiras no protótipo experimental	172
APÊNDICE C - Resultados das simulações	179

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

O objeto de estudo desta tese, as **cortinas verdes**, se caracteriza pelo plantio e desenvolvimento de uma vegetação trepadeira, com auxílio de suportes, posicionada em frente e afastada das superfícies verticais da edificação, sejam elas fachadas opacas ou transparentes. A denominação vem do termo em inglês “*green curtain*”, mais aceito mundialmente, sendo considerada um tipo específico de jardim vertical, que tem como particularidade sua posição estratégica “descolada” das fachadas. O aspecto funcional mais relevante da utilização das **cortinas verdes**, sendo o foco principal deste estudo, está associado à sua capacidade de proporcionar sombra, atuando como dispositivo de controle solar em arquitetura.

Presenciamos atualmente uma urbanização acelerada das cidades, com impactos que aumentam a degradação ambiental e, conseqüentemente, diminuem a qualidade de vida dos cidadãos. Um dos pontos de maior relevância é a escassez de áreas vegetadas no meio urbano, cada vez mais dominado por edifícios e pavimentações. Mesmo que os benefícios do uso da vegetação para a qualificação ambiental e a sustentabilidade sejam de amplo conhecimento, nos deparamos com a intensificação de uso e ocupação do solo urbano, desordenado e seguindo principalmente critérios econômicos. As áreas destinadas ao verde são reduzidas aos índices mínimos previstos no lote e praticamente inexistem novas áreas que possam ser contempladas com praças ou parques. Isto, além de limitar o importante contato do ser humano com a natureza, influencia no desempenho energético das edificações e no conforto ambiental das cidades, alterando o seu microclima e intensificando o fenômeno da “ilha de calor” urbano, onde as temperaturas tendem a ser mais elevadas do que em regiões próximas, porém menos densificadas.

Dentro deste contexto, o emprego de componentes naturais em arquitetura vem sendo explorado como forma de minimizar os impactos ao ambiente local, de integrar o meio construído ao meio natural e de aumentar a área vegetada nas cidades. A arquitetura denominada verde, ecológica, bioclimática ou mais sustentável, são considerados sinônimos, segundo Yeang (1999), a uma forma de projetar edificações e cidades associadas com a natureza, de modo ambientalmente responsável. Garrido (2011, p.7) reforça que “o objetivo de uma verdadeira arquitetura sustentável consiste em realizar uma atividade construtiva conceitualmente integrada com a natureza”. Este mesmo autor defende que a utilização adequada da vegetação nas edificações é uma das importantes ações que podem trazer vantagens ao comportamento ambiental e energético do edifício. No entanto, lembra que o uso da vegetação em arquitetura também causa forte impacto visual e, por isto, “deve ser vista como um elemento de composição arquitetônica adicional na sintaxe do novo paradigma da arquitetura sustentável” (GARRIDO, 2011, p.7).

Assim, ressalta-se que o componente, *cortina verde*, que está sendo analisado por este trabalho, deve ser fruto de decisões projetuais fundamentadas, excluindo-se manifestações espontâneas da vegetação ou adaptações posteriores. Desta forma, sua utilização está vinculada ao processo de projeto arquitetônico,

integrando, de forma criativa e inovadora, aspectos funcionais, conceituais e de composição formal.

Conceber edificações que ofereçam conforto térmico aos ocupantes, com baixo consumo de energia, depende do alinhamento entre variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas, de modo que as soluções tirem partido, da melhor forma possível, das potencialidades do clima local, reduzindo a necessidade de equipamentos de climatização e o consequente consumo de energia para obtenção de conforto.

Assim, a performance térmica de um edifício está ligada a decisões projetuais que vão desde estudos de implantação e orientação solar, até a adequada escolha de materiais e técnicas construtivas. Antes de tudo, a análise do sítio e das possibilidades naturais oferecidas pelo entorno deve ser priorizada: livre acesso ou controle da luz, calor e vento. Depois, aplica-se o uso de dispositivos arquitetônicos que favoreçam a correção de aspectos indesejáveis.

A maior parte do território brasileiro possui grande incidência de radiação solar, umidade e altas temperaturas o ano todo. Nestes casos, o arranjo arquitetônico precisa conciliar o acesso à ventilação natural sem, no entanto, permitir excesso de insolação aos interiores, o que provoca indesejável ofuscamento e carga térmica. A solução, na maioria das vezes, pode ser obtida com a adoção de dispositivos de controle solar, sobretudo para as áreas transparentes de fachada, de forma a bloquear, minimizar ou redirecionar a incidência dos raios solares.

O uso da vegetação, na forma das *cortinas verdes*, constitui uma alternativa para este propósito, uma vez que, de forma semelhante aos sistemas de controle solar convencionais, possui capacidade de bloquear os raios solares através de sua estrutura de galhos e folhas. A aplicação, devidamente planejada, das *cortinas verdes* como componente de arquitetura, pode desta forma contribuir para o conforto térmico das edificações e para a minimização de gastos energéticos com climatização artificial, com a vantagem de ser um elemento natural, mais sustentável e com impacto ambiental praticamente nulo.

No entanto, apesar dos indicadores positivos quanto aos benefícios do uso das *cortinas verdes*, identificou-se a carência de estudos sobre a aplicação deste elemento em edificações enquanto componente formal e funcional para sombreamento. Existem, no contexto mundial, exemplos construídos e técnicas diferentes para a implementação das *cortinas verdes*, mas são poucos os estudos sistematizados com dados técnicos ou recomendações gerais que possam auxiliar os projetistas na sua aplicação prática. Alguns exemplares significativos de edificações construídas com esta técnica já podem ser encontrados em todas as partes do mundo, como se observa nas imagens da Figura 01, de edificações no Chile, Europa e Países Asiáticos.

No Brasil, a utilização das *cortinas verdes* em arquitetura ainda é insipiente, com poucos exemplares, alguns em fase projetual e outros com adaptação posterior à construção. No âmbito científico, o cenário nacional é ainda mais defasado, já que não existem pesquisas concluídas sobre critérios de aplicação das *cortinas verdes*, especialmente sob a ótica do desempenho como elemento de controle solar. Por outro lado, é de conhecimento que existem pretensões de aplicação prática do elemento, expressas na forma de projetos arquitetônicos publicados em revistas especializadas, que recebem premiações em concursos ou estão em fase de estudos por profissionais da área, mas que muitas vezes esbarram na insuficiência de conhecimento técnico para sua efetiva execução.



Figura 01 – Edificações construídas com *cortinas verdes*. a) Arquiteto Enrique Browne, no Chile; b) Arquiteto Mario Cucinella, na Itália; c) WOHA Arquitetos, em Cingapura; d) Arquiteto Edward Suzuki, no Japão. (Fontes: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012; MARIO CUCINELLA ARCHITECTS, 2012; ARCHDAILY, 2012; EDWARD SUZUKI, 2013).

Também se tem ciência da escassez de dados técnicos confiáveis que comprovem o desempenho das *cortinas verdes* como elemento de controle solar, e que sejam plausíveis de utilização em métodos que antevêm a eficiência energética de uma edificação, como é o caso das simulações computacionais. Por todos estes motivos, entende-se como de grande relevância a realização de investigações como a proposta por este estudo, que busquem caracterizar a aplicabilidade das *cortinas verdes* para a realidade tecnológica, cultural e climática de nosso País.

Assim, a formulação do problema de pesquisa desta tese partiu do entendimento sobre a importância da vegetação para a qualificação ambiental e o conforto térmico do ambiente construído, aliado ao incentivo de novas formas de revegetação das cidades. A opção pela *cortina verde* se deu pela observação da crescente proposição deste elemento em projetos arquitetônicos e a defasagem de informações técnicas mais consistentes para orientar seu uso e para justificar sua contribuição energética. Também pela identificação que, dentre os diversos tipos de jardim vertical, esta se sobressai pelo aspecto funcional que agrega ao edifício, e não somente pelo sentido estético. Além disso, constitui um sistema mais econômico e sustentável, do ponto de vista da facilidade de execução e manutenção, se comparado a outras formas de jardim vertical.

Por fim, ressalta-se a contribuição desta pesquisa para o avanço na área do conhecimento, uma vez que aborda um tema atual e relevante, com poucas investigações sistematizadas, especialmente no campo científico do nosso País. Os dados gerados nesta tese podem servir como parâmetro para a aplicação prática das *cortinas verdes* em arquitetura, permitindo o sucesso de seu aproveitamento como elemento de controle solar, com vistas ao desempenho energético e à composição formal da edificação.

1.2. DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Quando o projetista define o uso de dispositivos para controle solar em uma edificação, como estratégia passiva para redução no consumo de energia, muitas variáveis devem ser levadas em consideração, como seu tipo, forma e material, a viabilidade de execução e manutenção, a relação custo benefício, entre outras.

Para tanto são necessários estudos detalhados e informações técnicas suficientes que comprovem o desempenho do elemento proposto.

Quando limitamos este desempenho ao fator sombreamento, é possível projetar e dimensionar um dispositivo de controle solar convencional, como uma veneziana ou um *brise soleil*, a fim de proporcionar maior ou menor grau de sombra na fachada, em diferentes orientações solares e épocas do ano. Os elementos terão um tamanho fixo, que não se altera com o tempo, sendo que a maior possibilidade de variação estará relacionada ao movimento de abrir ou fechar suas aletas ou orifícios.

As *cortinas verdes*, no entanto, representam um tipo de proteção solar com características muito particulares, em comparação com os sistemas usuais. Elas serão vastamente dinâmicas em sua capacidade de sombreamento, por tratar-se de um elemento vivo e que sofre alterações ao longo do seu crescimento, das variações sazonais, da ação do vento ou por causas adversas, seja interferência humana, mudanças climáticas ou problemas de adaptabilidade. Além disso, cada espécie de vegetal possui características diferenciadas que irão influenciar no desempenho como elemento de proteção solar, como por exemplo, o maior ou menor grau de fechamento da folhagem, sua velocidade de crescimento, seu porte, folhas perenes ou decíduas. Estes aspectos também sofrem variações dependendo das condições de plantio, adubação e irrigação, podendo ser intensificados ou apassivados.

Este dinamismo gera dificuldade de previsão da condição da vegetação ao longo do tempo e, por conseguinte, de quantificação de sua capacidade de sombreamento, de forma a ser possível avaliar sua influência no desempenho energético das edificações. Por este motivo, o intuito principal deste estudo é gerar parâmetros médios de sombreamento de algumas espécies trepadeiras aplicáveis nas *cortinas verdes*, considerando a variação no grau de fechamento de sua folhagem ao longo de um ano, ou seja, perpassando todas as estações e variações climáticas. A principal delimitação está relacionada, portanto, ao estudo de somente uma das variáveis que influencia no desempenho energético das *cortinas verdes* – a capacidade de sombreamento, não considerando outros fatores como absorção e emissão de radiação, influência da evapotranspiração do vegetal, entre outras. Além disso, será considerado na análise um reduzido número de espécies e sua condição de adaptação e desenvolvimento está condicionada ao clima subtropical, situação real a que estão submetidas.

1.3. HIPÓTESE

A hipótese principal que norteia esta pesquisa é que o uso das *cortinas verdes* como estratégia de controle solar em arquitetura, pode repercutir em um desempenho energético igual ou até mesmo superior, quando comparado ao uso dos sistemas de controle solar convencionais.

Neste estudo, a verificação da hipótese baseia-se unicamente, como já delimitado, no fator de sombreamento proporcionado pela vegetação. No entanto, seu uso agrega outros importantes valores que vão ao encontro das premissas de uma arquitetura mais humana e sustentável: ser um componente natural, de baixo impacto ambiental, proporcionar contato do ser humano com a natureza, ser dinâmico, modificando-se ao longo dos anos e das variações das

estações, trazerem informações visuais e sensoriais sobre cores, texturas e aromas, da intensidade e direção do vento.

Neste sentido, as *cortinas verdes* possuem um diferencial que pode proporcionar um desempenho superior aos elementos de proteção solar convencionais, sobretudo em climas que possuem as estações do ano bem definidas: justamente sua resposta às variações climáticas. Nas épocas de temperaturas mais elevadas e maior necessidade de sombreamento – primavera e verão – a vegetação se renova, brota e cresce com maior vigor. Já nos períodos mais frios e quando é desejável um grau maior de acesso da radiação solar para aquecimento – outono e inverno – muitas perdem as folhas ou seu crescimento é moderado. Ainda, a vegetação tem a capacidade de adiantar ou retardar esses efeitos, pois reage às variações de temperatura e não aos ângulos solares, ou seja, pode antecipar sua brotação em um ano em que o aquecimento da primavera começa mais cedo ou vice-versa. Da mesma forma, pode perder antes ou permanecer com as folhas mais tempo, dependendo da condição de início do outono.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo geral

Estudar a aplicabilidade das *cortinas verdes* como elemento de controle solar para edificações no contexto brasileiro.

1.4.2. Objetivos específicos

- Explorar as potencialidades funcionais e compositivas das *cortinas verdes* enquanto elemento de controle solar em arquitetura;
- Gerar parâmetros médios sobre a capacidade de sombreamento de algumas espécies de trepadeiras utilizadas para compor as *cortinas verdes*;
- Verificar o desempenho energético das *cortinas verdes*, em comparação com outros sistemas convencionais de controle solar utilizados em arquitetura.

1.5. METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia que orienta esta pesquisa e tem como finalidade atingir os objetivos propostos, compreendeu algumas técnicas e fases, a saber:

- Levantamento bibliográfico e análise teórica dos assuntos relevantes para a compreensão do tema, bem como verificação do estado da arte das pesquisas científicas e estudo de obras arquitetônicas que utilizam as *cortinas verdes*. Esta etapa tem como principal intuito reforçar a pertinência e relevância arquitetônica do tema, do ponto de vista funcional e compositivo, assim como identificar as lacunas do conhecimento e a contribuição desta pesquisa para o avanço científico da área;

- Realização de um estudo experimental de campo, com algumas espécies trepadeiras adaptadas ao clima subtropical do Brasil e que possam ser utilizadas nas *cortinas verdes*, com a finalidade de obter dados médios sobre sua capacidade de sombreamento ao longo de um ano de observação;
- Realização de simulações computacionais, com vistas à verificação do consumo energético de uma edificação genérica de escritórios, com o uso das *cortinas verdes*, utilizando os dados coletados no experimento e testando sua performance para diferentes orientações solares e situações climáticas. As simulações computacionais comparam o desempenho das *cortinas verdes* em relação à edificação sem proteções solares e com o uso de outros sistemas de sombreamento convencionais.

Os materiais e procedimentos envolvidos nas etapas do experimento e das simulações são expressos em detalhes nos capítulos V e VI.

1.6. ESTRUTURA DA TESE

No primeiro capítulo são apresentados os itens introdutórios da pesquisa, com contextualização e justificativa do tema, definição das delimitações pertinentes, hipótese e objetivos do trabalho. Também são apresentadas as etapas metodológicas que organizaram o andamento do estudo.

O segundo, terceiro e quarto capítulos são dedicados à revisão bibliográfica dos assuntos pertinentes para o embasamento teórico do tema, tendo como intuito reforçar sua pertinência e relevância, bem como identificar as lacunas do conhecimento e a contribuição desta pesquisa para o avanço científico da área.

Desta forma, o segundo capítulo é destinado ao estudo dos jardins verticais, com sua definição, classificação e histórico no contexto arquitetônico. Além disto, os aspectos gerais, no âmbito funcional e psicológico, do uso da vegetação nas cidades e edificações também são explorados.

No terceiro capítulo, são discutidos os valores de expressão arquitetônica dos sistemas de controle solar utilizados nas edificações, fazendo um percurso histórico sobre suas tipologias e culminando com a proposição das *cortinas verdes* como elemento contemporâneo e integrado ao novo paradigma da arquitetura mais sustentável.

Já no quarto capítulo, o foco passa a ser direcionado para as *cortinas verdes*, aprofundando os estudos sobre sua contribuição energética, para o conforto ambiental e também sobre as potencialidades compositivas para a edificação. Para tanto, serão referenciadas e discutidas as mais relevantes e recentes pesquisas científicas sobre a aplicação das *cortinas verdes* em arquitetura, especialmente do ponto de vista de sua capacidade de sombreamento e de seu desempenho na redução do consumo de energia das edificações. Após, são apresentados alguns exemplares de edificações executadas mundialmente, que utilizam as *cortinas verdes* enquanto elemento de controle solar e também de composição arquitetônica.

O quinto capítulo é dedicado à descrição detalhada do experimento realizado nesta pesquisa, bem como à apresentação e discussão dos resultados obtidos. Já o sexto capítulo aborda todos os aspectos envolvidos nas simulações

computacionais de eficiência energética propostas por esta tese, desde os procedimentos metodológicos até a análise dos resultados.

Por fim, o sétimo capítulo apresenta as conclusões mais relevantes identificadas por esta tese, com vistas ao atendimento dos objetivos e também com o intuito de auxiliar os projetistas para a aplicação prática das *cortinas verdes* em arquitetura. Ainda, são identificadas sugestões para trabalhos futuros, que possam vir a complementar ou aprofundar esta pesquisa. Na última parte deste documento são listadas as referências bibliográficas citadas no decorrer do texto e relatados os anexos e apêndices pertinentes ao entendimento do estudo.

CAPÍTULO II - JARDINS VERTICAIS: POTENCIALIDADES PARA O AMBIENTE URBANO

2.1. BREVE HISTÓRICO NO CONTEXTO ARQUITETÔNICO

A origem dos jardins verticais ou das fachadas cobertas de plantas não pode ser datada de forma precisa. Pode-se supor que eles apareceram quando as pessoas começaram a se estabelecer em habitações permanentes. No entanto, as espécies trepadeiras provavelmente não eram planejadas pelos moradores e se desenvolviam de forma espontânea, ao encontrar nas edificações um suporte. É possível que tais espécies vegetais tenham sido consideradas uma praga e muitas pessoas tenham tentado se livrar delas (FASSADENGRUEN, 2012).

A forma mais primitiva de jardim vertical planejado pelo homem, que se tem notícia, data do século III a. C. na região do Mediterrâneo, com o cultivo de videiras em treliças apoiadas nas paredes (SHARP et al, 2008). Na Idade Média, além das videiras, o uso de treliças com rosas nos jardins das mansões e castelos era muito valorizado, como mostra a Figura 02, uma ilustração de 1465 (KÖHLER, 1993).

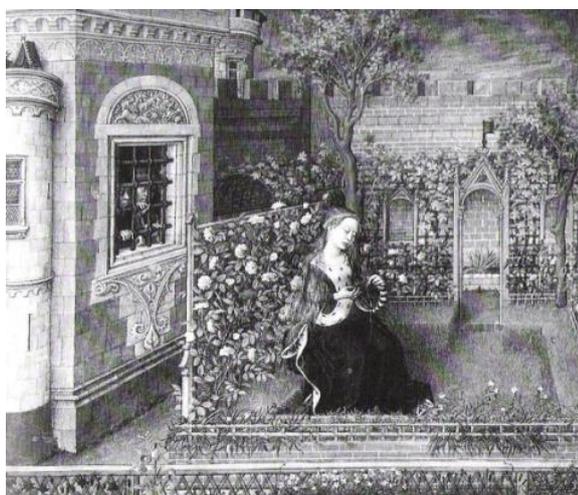


Figura 02: Representação de um jardim de castelo na Idade Média (Fonte: KÖHLER, 1993, p.57)

Desde a introdução da videira na Europa Central pelos romanos durante o primeiro milênio depois de Cristo, o amadurecimento das uvas na época certa para a produção de um bom vinho foi problema constante, pois nem todas as videiras recebiam calor do sol suficiente. Aos poucos notou-se que, ao cultivá-las ao longo de muros de pedra ou alvenarias (Figura 03), as uvas amadureciam mais rapidamente e adquiriam um sabor mais adocicado se comparado aos outros locais de plantio, produzindo, inclusive, um vinho de melhor qualidade (FASSADENGRUEN, 2012).

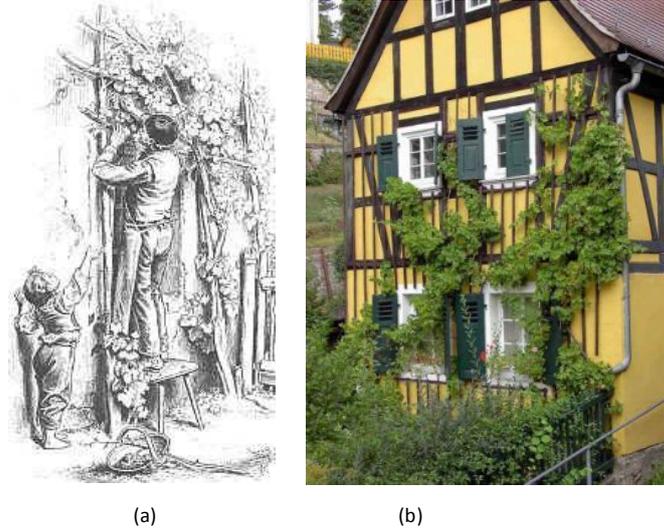


Figura 03: a) Colheita de uvas em videiras plantadas junto à edificação; b) Videira em edificação na Alemanha (Fonte: FASSADENGRUEN, 2012)

No início do século XX, como afirma Köhler (2008), essa longa tradição do uso de revestimento vegetal em fachadas manteve-se presente em alguns países da Europa. Em cidades como Berlim e Munique, era comum que proprietários de edificações de aluguel utilizassem este revestimento em substituição aos acabamentos externos das alvenarias. Também era tradicional na Alemanha o plantio de vegetação em fachadas de moinhos, servindo como uma camada de isolamento adicional a fim de evitar o excessivo aquecimento do maquinário no interior da edificação.



Figura 04: Revestimento vegetal de hera inglesa (*Hedera helix*) de aproximadamente 100 anos de idade (Fonte: KÖHLER, 2008, p.433)

Já o uso dos jardins verticais como elemento funcional e de composição arquitetônica surgiu com o movimento *Art Nouveau*, no início do século XX, novamente nos países de língua alemã. Nesta época, o uso de pérgulas e outras estruturas semelhantes para apoio de plantas trepadeiras já era comum em jardins e parques de todo o mundo, mas foi somente na Alemanha, e de certa forma na França, que as fachadas verdes foram efetivamente incorporadas nas edificações (DUNNETT; KINGSBURY, 2004).

Segundo Sharp et al (2008), outro movimento que incentivou seu uso como componente arquitetônico iniciou em 1920 na Inglaterra e Estados Unidos. Chamado cidade-jardim, visava promover a integração entre a casa e o jardim,

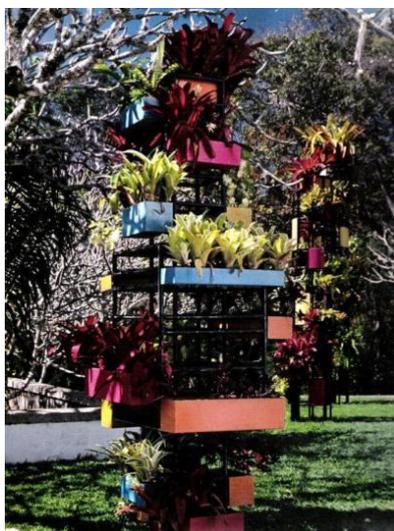
com o uso de plantas trepadeiras auto-aderentes nas paredes, ou apoiadas em pérgulas e treliças.

A partir de então, com o fortalecimento do movimento moderno, a integração da vegetação com a arquitetura aconteceu especialmente com o conceito de teto-jardim. O uso das trepadeiras aderentes em fachadas decaiu, pois a necessidade de podas e demais cuidados regulares desestimulavam seu uso (DUNNETT; KINGSBURY, 2004).

No entanto, nesta mesma época no Brasil, o paisagista Roberto Burle Marx seria o primeiro a colocar em prática a técnica do jardim vertical, inspirando-se em espécies nativas que crescem no meio das rochas ou em caules de árvores, como as orquídeas, bromélias e epífitos.

Segundo Leenhardt (1994, p.18), “vários foram os estratagemas inventados por Burle Marx para forçar o olho a levar em conta a verticalidade. Quando necessário, não hesitará em construir estruturas metálicas nas quais pendurará cascatas de bromélias.” Em sua própria casa, no Sítio Burle Marx, o artista usa este artifício para criar verdadeiras esculturas verdes em meio ao jardim predominantemente horizontal (Figura 05-a).

Em 1988, na cidade de São Paulo, projetou o jardim do Banco Safra (Figura 05-b), combinando canteiros em diferentes níveis, aproveitando os muros divisórios do terreno e inserindo colunas verticais com plantas de várias espécies, incluindo as epífitas. Com estas intervenções, Burle Marx abriu caminho para o uso dos jardins verticais em contextos urbanos (SIQUEIRA, 2004; LEENHARDT; LAMBERTINI, 2007).



(a)



(b)

Figura 05: a) Arranjo com bromélias sobre estrutura metálica no Sítio Roberto Burle Marx; b) Jardim do Banco Safra (Fonte: MARX, 2004, p.8; SIQUEIRA, 2004, p.111)

A partir dos anos 70, juntamente com os movimentos em defesa da ecologia e do meio ambiente, na Alemanha e em outros países da Europa, o uso da vegetação em coberturas e fachadas foi gradativamente retomada, ainda com grandes desafios técnicos a serem superados. Foi reconhecido que as fachadas verdes eram relativamente simples de se construir e, por isso, desenvolveu-se um programa de incentivo ao seu uso em Berlim (DUNNETT; KINGSBURY, 2004).

Köhler (2008) comenta que, entre os anos de 1983 e 1997, período de duração do programa, 245 mil metros quadrados de fachadas verdes foram instaladas.

Patrick Blanc, especialista francês em botânica, destaca-se no paisagismo atual por suas criações de jardins verticais em edificações, revolucionando a integração entre arquitetura e paisagem. Em 2001, Patrick Blanc projetou seu primeiro jardim vertical, no contexto do projeto de interiores do Hotel Pershing Hall, em Paris. Em 2004, o renomado arquiteto Jean Nouvel solicita a criação de um jardim vertical para o Museu Quai Branly, em Paris (Figura 06). A partir de então, a repercussão de suas criações, consideradas por muitos como obras de arte, se acentuou e hoje são encontradas em praticamente todas as partes do mundo.



Figura 06: Fachada do Museu Quai Branly, criação de Patrick Blanc (Fonte: VERTICAL GARDEN PATRICK BLANC, 2012)

Com um conceito e uma técnica diferente, em Zurich, foi inaugurada em 2002, uma área revitalizada de lazer e comércio onde antes existia um estacionamento. A característica central do projeto do MFO Park é o conceito de jardim vertical, com uma estrutura metálica, uma grande pérgula que conduz o crescimento da vegetação trepadeira plantada na base. O espaço possui patamares em desníveis para que o público possa ter uma visão do todo e interagir com o ambiente, o que oferece uma nova interpretação de parque urbano, vertical e espacial. O espaço foi projetado e executado pelo escritório de arquitetura Burckhardt & Partner (DUNNETT; KINGSBURY, 2004).

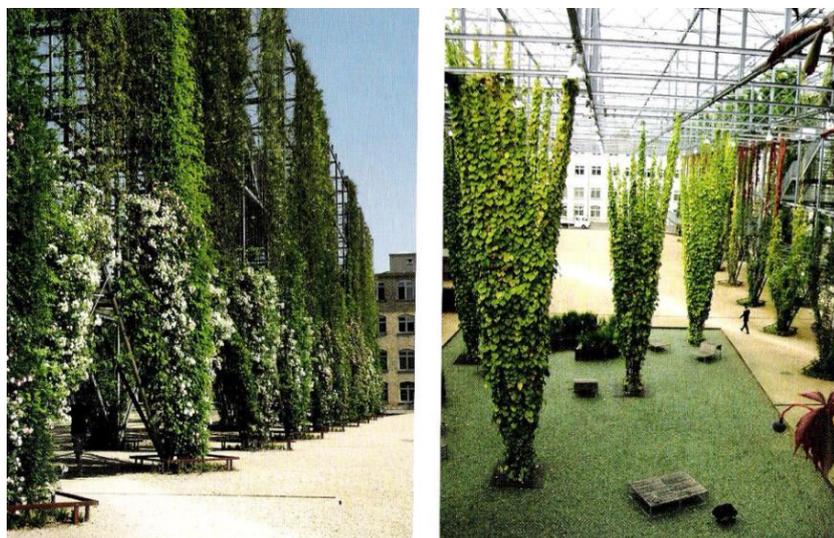


Figura 07: O MFO Park, em Zurich, Suíça (Fonte: UFFELEN, 2011, p.46)

Na mostra EXPO 2005, que aconteceu em Aichi, o governo japonês patrocinou um espaço denominado *Bio Lung*, composto por um jardim vertical de 1.800 m² e 30 diferentes sistemas modulares disponíveis no mercado do Japão na época (HOPKINS; GOODWIN, 2011). Este espaço tornou-se uma amostra das possibilidades de execução de alguns sistemas de jardins verticais, incentivado ainda mais o seu uso no país (Figura 08).



Figura 08: Espaço *Bio Lung*, na mostra EXPO 2005, no Japão (Fonte: EXPO 2005, 2012)

Ainda no Japão, durante o verão de 2008, a empresa Kyocera, fabricante de componentes eletrônicos e sistemas fotovoltaicos, alavancou o projeto lançado pela cidade de Okaya, construindo *cortinas verdes* com vegetação trepadeira em cinco de suas fábricas no país. Segundo a empresa, em decorrência da sombra das *cortinas verdes*, raramente é necessário usar o ar-condicionado nas edificações. Além disso, os produtos cultivados, como um tipo de pepino de gosto amargo chamado *goya*, são servidos nas refeições ou distribuídos gratuitamente aos funcionários. A empresa passou a incentivar e auxiliar na execução de *cortinas verdes*, mantendo em seu site um manual e atualizações sobre o assunto (KYOCERA GLOBAL, 2012).



Figura 09: *Cortinas verdes* nas fábricas da Kyocera, Japão (Fonte: KYOCERA GLOBAL, 2012)

Assim, a introdução do jardim vertical nos espaços abertos e na arquitetura foi influenciada pela própria verticalidade da planta e da paisagem do entorno. O uso de suportes e estruturas artificiais como colunas, pérgolas ou grelhas para o desenvolvimento da vegetação, tornaram-se frequentes nos jardins atuais.

Atualmente, o uso da vegetação integrada com a fachada da edificação é considerada uma técnica coerente com os princípios de sustentabilidade e de eficiência energética, sendo que existe cada vez mais incentivo e movimentos em nível internacional que tratam deste assunto. Conforme avalia Falcón (2007), o paisagismo vertical vem ganhando destaque, como solução estética e de qualificação ambiental, representando uma forma inovadora de aumentar exponencialmente a biomassa vegetal de uma cidade. Grandes centros urbanos, tais como Londres na Inglaterra, Seattle nos Estados Unidos e Toronto no Canadá, implantaram nos últimos anos políticas de incentivo ao uso de telhados verdes, jardins verticais e demais aplicações da vegetação. Da mesma forma, campanhas nacionais no Japão e em Singapura incentivam pesquisas e aplicações dos jardins verticais como forma de redução no consumo energético para climatização (DESIGN FOR LONDON, 2008; PECK et al, 2007 e SHARP et al, 2008).

2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS JARDINS VERTICAIS

A denominação de fachada verde, dos termos em inglês *green wall*, *green façade* ou *bio façade*, refere-se ao revestimento de alvenarias ou outras estruturas verticais, por meio do desenvolvimento em sua superfície de vegetação auto-aderente ou com auxílio de suportes, nos quais as raízes do vegetal estão na base desta estrutura, em contato direto com o solo ou com outro tipo de substrato (DUNNETT; KINGSBURY, 2004). Sendo assim, diversos tipos de coberturas vegetais em paredes podem ser identificados atualmente, para os quais autores propõem classificações e denominações diferenciadas. Neste estudo vamos adotar o termo “jardim vertical” como designação genérica para todos os tipos de sistemas de fachadas com vegetação, por compartilhar a ideia de Costa (2011), de que jardim é um artifício humano, sendo, portanto, um elemento de fachada planejado para uma finalidade.

Para a classificação e definições gerais dos jardins verticais, neste trabalho vamos adotar o proposto por Sharp et al (2008) e Pérez (2010), onde há distinção de basicamente quatro tipos: os sistemas extensivos tradicionais, as *cortinas verdes*, as jardineiras perimetrais e o sistema intensivo denominado parede viva (Quadro 01).

Quadro 01: Classificação dos jardins verticais

	Sistemas extensivos		Sistemas intensivos
Fachadas verdes	Fachada verde tradicional		
	Dupla fachada verde ou cortina verde	Modular	
		Treliça	
		Com fio ou cabeada	
		Malha	
Jardineiras perimetrais			
Paredes vivas			Em vasos ou cavidades
			Painéis geotêxteis

Fonte: PÉREZ, 2010, adaptado

A diferença entre os sistemas está, basicamente, na forma e local de plantio, repercutindo assim na manutenção e sustentabilidade do jardim vertical. A

maioria dos sistemas extensivos caracteriza-se pelo plantio de espécies trepadeiras diretamente no solo ou em jardineiras, enquanto que no sistema intensivo praticamente não há presença de solo e as espécies, geralmente de pequeno porte, são fixadas em painéis ou módulos especiais. Por este motivo, sistemas extensivos são, no geral, mais fáceis de construir e demandam pouca manutenção, enquanto que o sistema intensivo tem implantação mais complexa e exige um elevado nível de manutenção posterior, bem como maiores gastos com adubação e irrigação.

2.2.1. Fachada verde tradicional

Os sistemas extensivos tradicionais se caracterizam pela presença de espécies trepadeiras auto-aderentes que são capazes de se fixar diretamente nas alvenarias, por meio de raízes adventícias ou gavinhas ramificadas, formando um revestimento que remete a uma pele verde na edificação. Algumas das espécies mais comuns são a *Parthenocissus tricuspidata* (falsa-vinha), *Hedera helix* (hera-inglesa) e a *Ficus pumila* (unha-de-gato ou falsa-hera).

A maioria das espécies auto-aderentes tende a crescer em direção à luz, portanto, é preciso observar a posição em que será plantada a muda quando o objetivo é o revestimento de fachadas. É interessante plantá-la na região mais sombreada, pois desta forma seu crescimento naturalmente irá ser direcionado para o restante da superfície (DUNNETT; KINGSBURY, 2004).

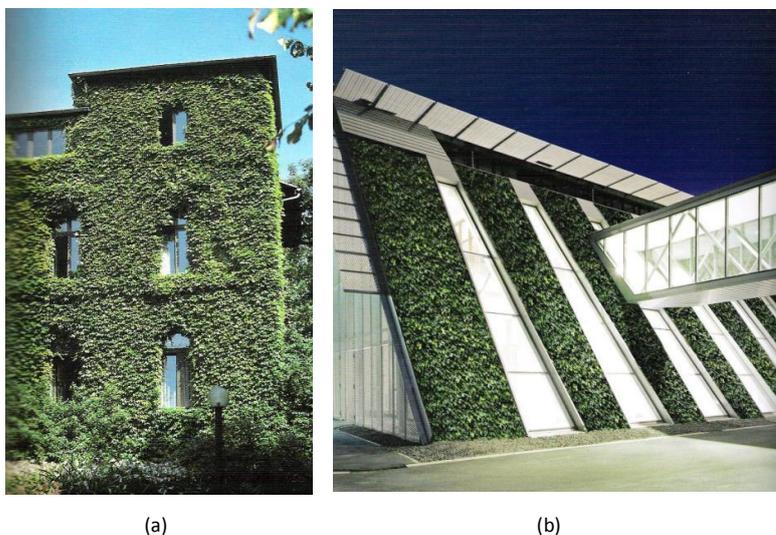


Figura 10: a) Pele verde de crescimento espontâneo; b) pele verde integrada ao projeto arquitetônico (Fonte: KÖHLER, 1993, p.97 e UFFELEN, 2011, p.148)

2.2.2. Cortina verde

Também denominada dupla fachada verde, são sistemas em que é necessária a instalação de algum tipo de suporte ao longo do qual a vegetação trepadeira irá se desenvolver. Os suportes podem variar quanto aos materiais usados, ao formato, a distância entre os apoios e também quanto ao afastamento da parede. As espécies propícias são inúmeras, dependendo de cada região. Alguns exemplos para o sul do Brasil são a *Lonicera japonica* (madressilva), *Wisteria floribunda* (glicínia), *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul).

Como já citado, o sistema *cortina verde* é o objeto de estudo deste trabalho. A particularidade mais relevante em relação aos outros tipos de jardim vertical é a possibilidade da vegetação estar sobreposta às aberturas ou regiões envidraçadas da edificação, e não somente às paredes opacas. Esta é a característica dominante que vai classificar a *cortina verde* como elemento de controle solar em arquitetura.

A classificação das *cortinas verdes* se subdivide em:

a) **Modular:** consiste na combinação de módulos metálicos prontos, com jardineira e treliça, fixados na fachada das edificações. Neste caso, a vegetação trepadeira possui uma área de substrato e de crescimento limitada, o que facilita a manutenção e controle na expansão do vegetal. Algumas empresas executam o serviço completo, instalando os módulos já com a vegetação desenvolvida. Um exemplo é a empresa Norte Americana GSKyPlant System, conforme ilustra a Figura 11.



Figura 11: Sistema modular da Empresa GSKy Plant Systems (Fonte: GSKY PLANT SYSTEMS, 2012)

b) **Treliça:** ao contrário do sistema anterior, o plantio das espécies se dá diretamente no solo ou em grandes jardineiras contínuas, o que propicia um desenvolvimento maior da trepadeira. As treliças permitem maior flexibilidade e possibilidade de variação nas composições de fachada, na utilização de diferentes materiais e na distância em relação à parede para sua execução.

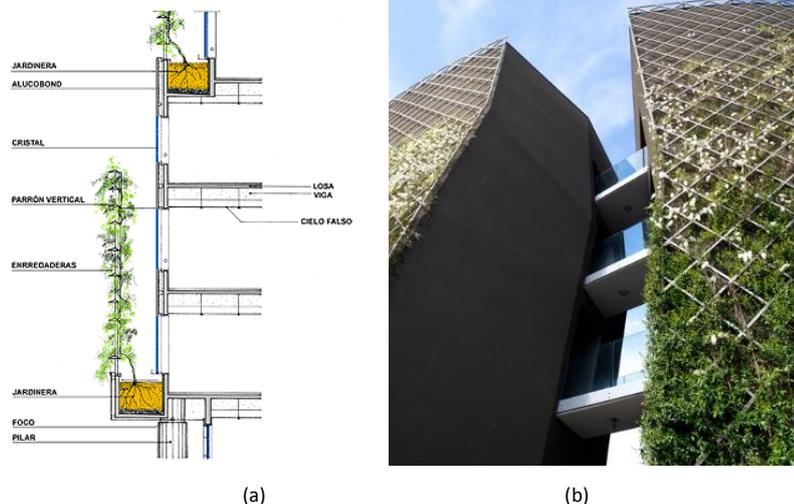


Figura 12: a) Sistema com treliça do Edifício Consorcio, Santiago, Chile; b) Edifício Ex-Ducati, Itália (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012 e MARIO CUCINELLA ARCHITECTS, 2012)

c) **Cabeada:** cabos, geralmente em aço inox, servem de suporte para a condução da vegetação, que pode estar fixada no solo ou em jardineiras. O afastamento e disposição dos cabos permitem controle no grau de densidade da folhagem, ou seja, maior ou menor área sombreada. A empresa brasileira Ecotelhado oferece este tipo de jardim vertical, denominado Brise Vegetal[®], como demonstrado na Figura 13.



Figura 13: Sistema com cabos da Empresa Ecotelhado (Fonte: ECOTELHADO, 2013)

A Figura 14 apresenta uma aplicação deste sistema, em uma edificação da Universidade Feevale, em Novo Hamburgo, RS. O brise vegetal foi executado posteriormente à obra, sendo adaptado na fachada oeste, como forma de minimizar o acesso do sol e os ganhos térmicos. Esta edificação é um dos poucos exemplares existentes no Brasil que utiliza a técnica das *cortinas verdes* para controle solar. No entanto, como foi explicitado, trata-se de uma adaptação posterior, e não um elemento de projeto planejado para esta finalidade.



Figura 14: Prédio Rosa da Universidade Feevale, com aplicação do Brise Vegetal da Empresa Ecotelhado (Fonte: ECOTELHADO, 2012)

d) **Malha:** semelhante ao sistema treliçado, difere por adotar uma malha ou tela com células menores e maleáveis como suporte para a vegetação trepadeira. Esta malha pode ser confeccionada em gramaturas e materiais diferentes, como aço ou fios sintéticos.

2.2.3. Jardineiras perimetrais

Além dos sistemas mencionados, onde as superfícies verticais são o principal suporte, também podem ser considerados jardins verticais os projetos que utilizam jardineiras perimetrais ou terraços em vários pavimentos da edificação, com plantio de arbustos, árvores de pequeno porte ou vegetação pendente. Esta técnica também é uma tendência da arquitetura contemporânea, como pode ser observado em Milão, no “Edifício Bosque”, que já está em fase de construção e abrigará diversas espécies de árvores e arbustos (Figura 15).



Figura 15: Edifício Bosque, projeto Boeri Studio, Milão, Itália (Fonte: ARCHIDAILY, 2012)

2.2.4. Parede viva

Também chamado de sistema modular, classifica-se como intensivo e diferencia-se dos anteriores por adotar módulos especiais para o desenvolvimento das plantas, sendo constituídos por painéis geotêxteis, vasos ou blocos com cavidades para o substrato, não havendo contato da raiz da planta com o solo na base da estrutura. Comumente adotam o sistema hidropônico, onde não há substrato, somente irrigação com fertilizantes solúveis.

Podem utilizar uma grande variedade de espécies, geralmente samambaias, bromélias e arbustos de pequeno porte, formando uma parede com grande impacto visual, sendo muitas vezes tratada como obra de arte.

Atualmente diversos profissionais e empresas em nível mundial executam diferentes sistemas de paredes vivas, sendo que a classificação pode ser subdividida em basicamente dois grandes grupos, conforme segue.

a) Vasos ou cavidades: este sistema utiliza módulos onde, geralmente, a vegetação já está desenvolvida. Um exemplo é o sistema desenvolvido pela empresa Norte Americana GSKy Plant System, onde a execução é realizada com a fixação dos módulos a uma estrutura metálica anexada às paredes (Figura 16).

No sul do Brasil, a empresa Ecotelhado aplica o sistema denominado Ecoparede Canguru[®], com módulos de PVC que são fixados em uma estrutura metálica na parede. Neste caso, o substrato e a vegetação dos módulos estão na horizontal, o que facilita a fixação e manutenção (Figura 17).



Figura 16: Sistema com módulos fixados em estrutura metálica (Fonte: GSKY PLANT SYSTEMS, 2012)



Figura 17: Sistema Canguru, com módulos fixados em estrutura metálica (Fonte: ECOTELHADO, 2013)

b) **Painéis geotêxteis:** a técnica do botânico Patrick Blanc é pioneira e consiste no plantio de arbustos de pequeno porte e forrações ao longo de uma manta geotêxtil fixada e estruturada em uma grelha metálica ou de PVC, sem a presença de solo. Os minerais necessários para desenvolvimento da vegetação são oferecidos durante as freqüentes regas do sistema. Também pode ser aplicado no interior de edificações, desde que exista iluminação, natural ou artificial, suficiente.

O processo de planejamento do painel leva em consideração as características das espécies escolhidas, como seu porte e coloração (Figura 18-a). Já o resultado final depende da velocidade de crescimento das plantas (Figura 18-b).



Figura 18: a) Processo de planejamento; b) execução do sistema (Fonte: STYLEPARK, 2012)

2.3. IMPACTO AMBIENTAL DA VEGETAÇÃO NO MICROCLIMA URBANO

Nos centros urbanos, com grande concentração de edificações e superfícies pavimentadas, ocorre o fenômeno denominado “ilha de calor”, no qual a temperatura do ar é mais alta do que na paisagem natural circundante. Isto é agravado, entre outros fatores, pela pequena quantidade de vegetação e pela poluição do ar nas cidades e ocorre porque as superfícies pavimentadas absorvem, retêm e refletem mais energia solar do que superfícies vegetadas. Esta elevação da temperatura em torno das edificações afeta o conforto térmico e, conseqüentemente, aumenta a necessidade de energia para o condicionamento artificial dos ambientes internos.

As contribuições positivas do uso da vegetação integrada ao ambiente construído já são de amplo conhecimento e discutidas por diversos autores. Para Mascaró e Mascaró (2009, p.53), “a vegetação atua sobre os elementos climáticos em microclimas urbanos, contribuindo para o controle da radiação solar, temperatura e umidade do ar, ação dos ventos e da chuva e para amenizar a poluição do ar”. Além disso, a vegetação absorve gás carbônico para efetuar o processo de fotossíntese, liberando oxigênio e auxiliando na purificação do ar (IZARD; GUYOT, 1983). Isto é um fator de grande importância para diminuir o “efeito estufa” nas cidades. Este, por sua vez, ocorre quando a radiação de onda longa, o calor que é reemitido pelos materiais de construção, fica preso na atmosfera poluída urbana (HOPKINS; GOODWIN, 2011). Johnston e Newton (2004) complementam que a folhagem também contribui na medida em que possui capacidade de capturar partículas em suspensão, como poeira ou gases poluentes.

Porém, um dos efeitos mais evidentes do uso da vegetação está na redução da temperatura do ar através do processo de evapotranspiração, também chamado resfriamento evaporativo: a energia do sol é absorvida pela planta, resultando na perda de calor na atmosfera e na umidificação do ambiente. Além disso, o sombreamento causado pela vegetação diminui as temperaturas superficiais dos pavimentos e fachadas das edificações, uma vez que intercepta grande parte da radiação solar incidente (LYLE, 1994; CANTUÁRIA, 1995; DE LA TORRE, 1999; MASCARÓ; MASCARÓ, 2005).

Um espaço gramado pode absorver maior quantidade de radiação solar e, por sua vez, irradiar uma quantidade menor de calor que qualquer outra superfície construída, uma vez que grande parte da energia absorvida pelas folhas é utilizada para seu processo metabólico, enquanto em outros materiais toda a energia absorvida é transformada em calor (ROMERO, 2000, p.32).

Rivero (1986) acrescenta que as folhas têm comportamento seletivo frente à radiação solar recebida, ou seja, absorvem, refletem e transmitem quantidades diferentes dependendo do comprimento de onda. Quase a totalidade do que absorvem, por exemplo, fica na faixa do espectro visível, necessário para as funções vitais da planta. Desta forma, apesar da quantidade de energia absorvida, a temperatura superficial da folha não é elevada, mantendo-se sempre abaixo da temperatura dos corpos inertes vizinhos.

Por outro lado, a densidade foliar da vegetação e, por conseguinte, sua capacidade de sombreamento, são também as variáveis de maior correlação com a iluminância natural sob ou através dela. Segundo Mascaró e Mascaró (2005;

2009), a transmitância de luz natural decresce com o aumento da densidade foliar, sendo mínima junto a superfícies opacas como troncos e ramos e máxima sob vazios entre as folhas. Assim, devem-se comparar as vantagens oferecidas pelo sombreamento da vegetação, em relação à redução de consumo com climatização, e sua repercussão na necessidade de iluminação artificial dos espaços da edificação durante o dia.

A presença da vegetação, em uma proporção compatível com as áreas construídas, é, portanto, uma importante estratégia para manutenção da qualidade ambiental das cidades, atuando como termorregulador microclimático, uma vez que ameniza os extremos de temperatura e promove a umidificação do ambiente. Na escala da edificação, conforme avalia Givoni (1998) pode representar um modificador da ação dos ventos, favorecendo seu acesso ou resguardando a edificação, dependendo da situação climática de verão ou inverno. Conjuntamente, a exposição ao sol também pode ser alterada, beneficiando a condição de conforto interno e demandando menor consumo de energia para aquecimento no inverno e, principalmente, resfriamento no verão.

2.3.1. Particularidades dos jardins verticais

Os mesmos fenômenos e benefícios já explicitados ocorrem quando utilizamos a vegetação nas superfícies verticais, seja ela auto-aderente ou trepadeira com necessidade de suporte. Em uma escala urbana, Peck et al (2007) ressaltam que o efeito dos jardins verticais pode ser superior ao obtido com telhados verdes, principalmente no caso de edifícios com vários pavimentos. Isso porque a área de superfície vertical é geralmente superior e abrange todos os pavimentos e não somente a cobertura. Em pesquisa recente, Alexandri e Jones (2008) estudaram a possibilidade de redução de temperatura em *canyons* urbanos com a adoção de telhados e paredes vegetadas. Concluíram que, no caso de clima quente e seco, nas áreas altas a temperatura pode reduzir em média 12,8°C e no interior do *canyon*, em média 9,1°C. Para os climas úmidos o efeito percebido é menor, mas mesmo assim a redução de temperatura pode chegar próximo de 8,4°C.

Já na escala da edificação, os jardins verticais podem contribuir de forma significativa para o conforto térmico e, conseqüentemente, para a redução no consumo de energia para climatização das edificações. Köhler (2008) comenta que a redução na temperatura interna das edificações está relacionada tanto à área revestida por vegetação, quanto à espessura da camada vegetal.

Os diferentes tipos de jardim vertical atuam na melhoria do desempenho térmico das edificações pela combinação de diversos fatores. As fachadas verdes, com espécies trepadeiras auto-aderentes às paredes, por exemplo, agem como um revestimento isolante, mantendo uma camada de ar permanente entre a folhagem e a alvenaria. Cria-se, portanto, uma pele envolvendo o edifício, capaz de reduzir a energia necessária, tanto para aquecer, como para resfriar os ambientes internos (DUNNETT; KINGSBURY, 2004).

Os mesmos autores sugerem que, para regiões climáticas nas quais o inverno é uma estação marcada por temperaturas baixas, é preferível se utilizar uma trepadeira caducifólia na fachada com maior incidência de raios solares, e uma espécie perene nas fachadas sem incidência. Assim, se permite um maior ganho térmico por meio da fachada ensolarada e se evita a perda de calor nas demais. Espécies perenes, além de criarem uma camada isolante de ar, também protegem

a edificação do vento frio de inverno. Já as espécies caducifólias, permitem a passagem dos raios solares no inverno e barram parcialmente a ação do vento por meio de seus galhos.

Sobre as espécies decíduas, Cantuária (1995) comenta sobre a propriedade de adaptação às variações climáticas a curto e longo prazo, já que, de acordo com o ângulo de incidência dos raios solares e a intensidade da temperatura da primavera, as folhas são reorganizadas, inclinadas ou até mesmo tem seu brotamento antecipado. Dessa forma, a sombra adequada à edificação é fornecida também no momento adequado.

Johnston e Newton (2004) acrescentam que, ao contrário da crença popular, fachadas cobertas com vegetação são menos úmidas, outro fator que reduz a perda de calor por condutividade. As folhas evitam a penetração de excesso de água até a parede, que permanece seca.

Wong et al (2010) realizou um estudo em Cingapura para avaliar a influência térmica na edificação e entorno de oito diferentes sistemas de jardim vertical. De um modo geral, todos os sistemas apresentaram temperatura superficial menor que a parede sem vegetação utilizada como parâmetro de comparação. Os autores destacam que, além do benefício térmico, a menor flutuação de temperatura prolonga a vida útil da estrutura e diminui custos de manutenção. Já o efeito sobre a temperatura do ambiente foi percebido em menores proporções, considerando que a área efetivamente coberta pelos sistemas experimentais era pequena. Uma vez que grandes áreas verticais da cidade recebam a vegetação, o efeito poderá ser promissor.

Sobre os sistemas de jardim vertical intensivos, que utilizam módulos ou painéis especiais, alguns autores ressaltam que os benefícios para a regulação térmica da edificação não são significativos, se comparados aos altos custos de implantação e manutenção. Garrido (2011), comenta que a estrutura conceitual de um jardim vertical do tipo intensivo, ou parede viva, se assemelha a uma fachada ventilada, uma vez que a forma de fixação dos módulos gera uma camada de ar entre a parede. Por este motivo, suas vantagens são restritas ao verão e em locais de clima muito quente. O mesmo autor resalta que, em casos muito específicos de locais com clima seco, podem-se obter benefícios com a umidificação do ar e, por conseguinte, com a diminuição da temperatura do entorno.

Desta forma, a aparente sustentabilidade no uso desses sistemas é contraditória, na medida em que seu custo-benefício para a edificação é pequeno. O aspecto estético, neste caso, supera as vantagens ambientais. No entanto, é consenso que qualquer forma de jardim vertical representa um modo de aumentar a oxigenação do ar do entorno e, portanto o bem estar humano.

Por outro lado, as *cortinas verdes*, com espécies trepadeiras que necessitam de suporte e, por isso, podem ser posicionadas com certo afastamento das paredes ou áreas envidraçadas, representam uma importante estratégia de sombreamento da edificação. O bloqueio da radiação solar direta irá reduzir a carga térmica da edificação no verão e possibilitar menores gastos com climatização. Além disso, a evaporação e transpiração das plantas realizam naturalmente a refrigeração do ar, antes que este penetre no interior da edificação. Ainda, dependendo da forma de instalação, promove a ventilação pelo “efeito chaminé”, ou seja, o ar com temperatura mais amena entra pela parte inferior da *cortina verde* e o ar quente é expelido pela parte superior (DOERNACH, 1979 apud JOHNSTON; NEWTON, 2004).

Conforme comentam Hopkins e Goodwin (2011), a quantidade de sombreamento a ser fornecido pode ser manipulada, dependendo das espécies selecionadas, do sistema utilizado para fixação e apoio da planta e da altura definida como área a ser coberta pela vegetação. As densidades podem ser pensadas desde uma camada muito leve com até 10% de cobertura, até um fechamento quase total, de 80% ou mais.

Nesta mesma linha de pensamento, um fator importante é planejar a utilização de algumas espécies caducifólias, especialmente em regiões de clima composto, para que no inverno a densidade da *cortina verde* seja menor, permitindo que o sol penetre no interior da edificação e aqueça os ambientes. No verão, ao contrário, a presença da folhagem será maior, evitando o superaquecimento do prédio e reduzindo gastos com a utilização de sistemas de ar-condicionado.

Outra contribuição para a estação fria está relacionada ao efeito do vento, uma vez que a trepadeira pode atuar como uma barreira, diminuindo sua ação sobre a fachada do edifício. Isto também pode significar uma redução no consumo energético para aquecimento no inverno (GIVONI, 1998; BASS, 2007).

Por outro lado, conforme afirma De La Torre (1999), quando se considera o uso da vegetação como um modificador do efeito do vento sobre edifícios, deve-se ter cuidado para não para obstruir a ventilação no verão e não favorecer a circulação excessiva de ar no inverno. Ou seja, deve-se estar atento à escolha correta das espécies, para a densidade de sua folhagem, sua disposição e manutenção periódica. Desta forma, percebe-se que, no inverno, a *cortina verde* pode favorecer o conforto térmico e a redução no consumo por dois caminhos: com espécies caducifólias pela maior penetração dos raios solares; ou com espécies perenes pelo maior isolamento térmico e ação como barreira contra os ventos frios.

Kwok e Grondzik (2013) complementam a atuação das *cortinas verdes* com uma constatação importante: a de que o uso da vegetação pode ser mais eficiente que o sombreamento realizado por elementos de proteção solar fixos, tendo em vista que os ângulos solares nem sempre estão correlacionados com a temperatura do ar e, por conseguinte, com a necessidade de refrigeração ou calefação.

Por exemplo: no hemisfério sul, os ângulos solares do equinócio de primavera (21 de setembro) são idênticos aos ângulos solares do equinócio de outono (21 de março). Contudo, no hemisfério sul, costuma ser muito mais quente no fim de março do que no fim de setembro, o que exige mais sombreamento em março que em setembro. As plantas decíduas reagem mais à temperatura que à posição solar. Suas folhas talvez não estejam presentes no início de setembro, permitindo que o sol aqueça a edificação, mas ainda estarão nas espécies no início de março, fazendo sombra (KWOK; GRONDIK, 2013, p. 118).

Além disso, enquanto os materiais usualmente utilizados em proteções solares, como plásticos ou metais, absorvem mais calor aquecendo o ar circundante, a vegetação, ao contrário, resfria o ar pelo processo de evapotranspiração. Isto é mais uma evidência das vantagens no uso da vegetação como elemento de controle solar em edificações.

Todos estes estudos evidenciam que os aspectos positivos, os benefícios do uso da vegetação superam os possíveis pontos negativos, embora estes possam ser decisivos no momento do planejamento da edificação. Certamente ainda existe

uma grande hesitação na área da arquitetura e construção civil em implementar mais sistemas verticais com vegetação. Isto se deve, entre outros aspectos, aos custos iniciais envolvidos, à necessidade de conhecimento técnico adequado, de manutenção extra, possibilidade de gerar patologias ou atrair fauna indesejada.

Van Bohemen, Fraaij e Ottele (2008) comentam que existe uma crença generalizada de que as plantas causam deterioração nos edifícios, que danificam o revestimento e suas raízes podem comprometer o sistema estrutural. Os mesmos autores sugerem, no entanto, que esses problemas são tratados de forma muito exagerada, salvo em situações de escolha inadequada do tipo de vegetação ou quando já existem patologias que são aceleradas pelo crescimento das plantas. É o caso da existência de rachaduras que acabam servindo de local para a vegetação se fixar ou crescer. Na maioria dos casos, o oposto é verdadeiro, a cobertura vegetal serve como proteção para os componentes da parede, prolongando sua vida útil.

Em uma análise financeira, desta forma, deve-se considerar no cálculo do custo/benefício outros aspectos que direta ou indiretamente afetam o ciclo de vida em longo prazo da edificação: menores custos de energia para climatização, aumento do valor estético e ecológico, possibilidade de valorização do imóvel ou de melhor condição de vida para os ocupantes.

Ainda, considerando a diminuição de disponibilidade de luz natural para os espaços quando a camada de vegetação for muito densa, devem-se ponderar os ganhos na redução de consumo com climatização, com o aumento da necessidade de uso da iluminação artificial. Este balanço energético vai depender de variáveis relacionadas à localização e uso da edificação, bem como decisões sobre as espécies e suportes adotados. A vegetação pode, desta forma, ser “manipulada” para oferecer proteção mais intensiva contra a ação do sol ou, por outro lado, permitir maior passagem de luz natural.

Assim, obviamente diversas recomendações devem ser observadas para o sucesso na implementação de sistemas verticais com vegetação, sendo que Sheweka e Mohamed (2012) recentemente resumiram alguns:

- A vegetação a ser introduzida na fachada deve ser cuidadosamente escolhida, considerando sua estrutura natural, adaptabilidade climática e também ao ambiente árduo da área urbana.
- A vegetação deve ser localizada de forma a receber quantidade necessária de sol, a maior parte do tempo possível.
- Para a manutenção das plantas introduzidas no plano vertical, deve ser previsto que elas necessitam de quantidade de água e nutrientes suficientes e também de cortes regulares para evitar riscos ou danos.

2.4. BENEFÍCIOS PSICOLÓGICOS AO SER HUMANO

Além do grande potencial ambiental e de regulação térmica, como foi visto, o uso da vegetação também influencia no bem-estar social e psicológico do homem, o que vem sendo investigado por diversos autores. A psicologia ou percepção ambiental estuda, segundo Gifford (1996), a relação entre os indivíduos e seu ambiente, como suas ações modificam e são também modificadas pelo ambiente

físico que o cerca. Para o mesmo autor, a natureza atua como um agente restaurador, revigorante, que proporciona bem estar e redução do stress.

Givoni (1998) explica que, nas áreas urbanas, a utilização da vegetação tem um efeito positivo no sentido estético e psicológico. O efeito estético, pelas propriedades ornamentais de cada espécie vegetativa, pela cor, textura, forma, altura, flores que modificam os ambientes visualmente, tornando espaços agradáveis dentro das zonas urbanas. No estado psicológico, traz ao usuário a sensação de bem estar, melhora o humor, melhora a relação social em praças, bosques, parques e onde há equipamentos de lazer e esporte. Enfim, a presença de áreas verdes nos centros urbanos é extremamente importante e positiva.

Uma das explicações para o ser humano sentir-se bem ao estar na presença da natureza está relacionada com a capacidade de concentração e com os reflexos emocionais e inconscientes do homem. Segundo Rachel e Stephen Kaplan, em um ambiente de trabalho constantemente estamos aplicando atenção direta, o que leva à fadiga. Em um ambiente natural, com vegetação, ocorre o contrário, a atenção involuntária é acionada, o que não requer tanta energia (KAPLAN; KAPLAN, 1989 apud GRAHN, 1994).

Esta capacidade dos ambientes naturais no alívio do stress e no estímulo das habilidades recreativas do ser humano pode ser, em parte, explicada pela ausência de características bastante recorrentes em ambientes produzidos pelo homem: complexidade, contrastes acentuados, níveis intensos de estimulação e movimentos frenéticos. Ou seja, a natureza funciona como um refúgio porque cria a oportunidade do indivíduo interromper o contato com as pressões e tensões dos relacionamentos interpessoais e da vida nas cidades (WOHLWILL, 1983).

Outra explicação, desenvolvida por Ulrich (1993), trata dos conceitos de biofilia e biofobia. Conforme o autor, a biofilia é o conjunto de sensações positivas que a vegetação e os elementos naturais despertam no ser humano. Estas sensações são percebidas quando, em contato com elementos naturais que favoreciam a sobrevivência na pré-história, e que estavam associados às necessidades básicas do homem, tais como comida, água e segurança. Já a biofobia manifesta-se através das sensações negativas, como medo ou aversão, a certos elementos naturais, inclusive animais tais como predadores e penhascos.

Por muitos anos, Ulrich (1986) realizou experiências de campo a fim de comprovar a função psicológica benéfica do contato dos humanos com a vegetação. Um dos experimentos foi observar a reação e monitorar a atividade cerebral das pessoas ao verem imagens de paisagens rurais e urbanas. Concluindo que cenas rurais despertavam mais interesse e atitudes positivas.

Mais recentemente, outros pesquisadores da área de percepção ambiental promoveram pesquisas de opinião para melhor entender os fenômenos relacionados com o contato com a vegetação no comportamento dos humanos. White e Gatersleben (2011), após observarem o crescente incentivo ao uso de coberturas e paredes verdes no Reino Unido, realizaram entrevistas *online* com o uso de fotografias de edificações com esses sistemas, em diferentes combinações. O objetivo foi avaliar o impacto estético e o nível de restauração, de bem-estar percebido pelos respondentes (se houvesse), quando se utilizam telhados ou fachadas verdes em edificações.

Os resultados demonstraram que as edificações com os sistemas de vegetação integrados à cobertura ou paredes foram, em sua maioria, significativamente os

preferidos, considerados esteticamente bonitos, restauradores, obtendo mais qualidades afetivas positivas do que as edificações sem vegetação.

Estudo semelhante foi realizado no Brasil, por Valesan, Fedrizzi e Sattler (2010), que procuraram identificar vantagens e desvantagens no uso das peles verdes com vegetação aderente em edificações de Porto Alegre, a partir da percepção dos moradores destes locais. Concluíram, com base nas entrevistas realizadas, que as principais vantagens da técnica são embelezamento da paisagem, a integração do ambiente urbano e da natureza, os efeitos positivos para o bem-estar do homem e a melhoria da temperatura interna das edificações. A principal desvantagem citada foi a necessidade de manutenção do revestimento vegetal.

Diante destes aspectos positivos, constatamos nas grandes cidades o adensamento populacional e predial, a verticalização exagerada, a proliferação de congestionamentos e outros fatores que contribuem para o caos urbano e deterioram a qualidade de vida da população. Neste sentido, é grande a possibilidade de que, nos dias atuais, o contato com a natureza seja ainda mais importante, uma vez que as pessoas vivem mais tempo nas cidades, confinadas em espaços de trabalho, com pouco ou nenhum contato com a vegetação.

Sobre isto, Roberto Burle Marx, o maior paisagista brasileiro, complementa:

Com relação aos jardins, é por meio deles que podemos amenizar a nossa vida, tão cheia de altos e baixos, no contexto da civilização industrial. Estou convencido de que o jardim comunal, praça ou parque, terá uma importância maior na nossa vida, na busca de um equilíbrio relativo, dentro dessa instabilidade da civilização (MARX, 2004, p. 207).

CAPÍTULO III - OS SISTEMAS DE CONTROLE SOLAR E SUA EXPRESSÃO ARQUITETÔNICA

3.1. BREVE HISTÓRICO SOBRE O CONTROLE SOLAR NA ARQUITETURA

Na antiguidade, a capacidade humana de sobrevivência em diferentes regiões do planeta esteve intimamente ligada à criação de construções e abrigos capazes de minimizar os efeitos das adversidades climáticas. Na arquitetura vernacular¹, resultante da observação e bagagem cultural de um povo, havia a clara preocupação com o desenvolvimento de tipologias construtivas adaptadas ao clima local e que utilizassem recursos regionais.

O Sol, fonte de vida, luz e calor para o planeta, também é o principal agente dos ganhos térmicos das edificações. Os fechamentos externos atuam como filtros, permitindo a maior ou menor passagem de calor entre o ambiente externo e interno. Nos materiais transparentes, diferentemente dos opacos, existe uma grande parcela de radiação solar que é transmitida rapidamente para o interior, o que os torna os principais responsáveis pelo aquecimento dos edifícios. Em contrapartida, a transparência permite o contato visual entre os meios interno e externo, bem como o acesso à luz no interior das edificações, sempre valorizada na arquitetura seja pela sua importância simbólica ou por sua função salutar.

A fachada representa a linha tênue entre o interior da edificação e seu contato com o meio externo. É através dela que esses dois mundos interagem, em maior ou menor grau, seja no âmbito visual, olfativo ou sensorial. A frequência dos vãos de abertura e das regiões envidraçadas representa o grau de permeabilidade da fachada, desde uma situação de maior opacidade até a completa transparência. As construções seculares necessitavam das paredes opacas e portantes para sua sustentação, sendo, portanto, permitido poucas e pequenas aberturas, que ritmicamente compunham subtrações na fachada. A partir do início do século XX essa lógica gradualmente se inverte, uma vez que a função estrutural se dissocia dos fechamentos laterais, permitindo a liberação dos vãos para áreas vazadas ou envidraçadas cada vez maiores. Da mesma forma, também se modifica o nexo do controle ao acesso de luz e calor ao interior do edifício.

A teoria da Arquitetura Moderna, que surge a partir da década de 1920, concebe o modelo do edifício desmaterializado, com a dissociação entre estrutura e vedações, permitindo que as fachadas sejam compostas de finas membranas sem função estrutural. O vidro torna-se o material ícone a partir de então, preferido pela sua transparência e possibilidade de contato visual com o exterior, que gera fluidez e continuidade aos espaços.

⁽¹⁾ Arquitetura vernacular: denomina-se como o tipo de arquitetura que faz uso de formas e materiais regionais próprios de uma localidade. Também chamada arquitetura vernácula ou popular (BURDEN, 2006, p. 54).

Por volta da metade do século XX, as áreas envidraçadas das edificações já substituem por completo os fechamentos opacos. O chamado “Estilo Internacional” promove a arquitetura dos edifícios com fachadas inteiras de vidro, em todas as faces, aliado ao advento das tecnologias de mecanização e climatização, que “resolvem” os problemas impostos pelas adversidades climáticas. Este “modelo” de edificação é difundido pelo mundo sem nenhuma preocupação com a adequação climática das diferentes regiões, ocasionando sérios problemas de conforto térmico e consequentes consumos energéticos exorbitantes em países com clima quente, como é o caso do Brasil.

Uma situação ou outra, maior opacidade ou transparência, será desejável dependendo do tipo de clima onde a edificação será inserida. Em climas de frio extremo, o sol é ansiosamente esperado como fonte de aquecimento e luz natural, sendo benéfico o efeito estufa causado pelo vidro. Em climas desérticos, por outro lado, a parede maciça representa a barreira contra o acesso do calor. Já em locais ensolarados e úmidos, de clima tropical, é necessário conjugar ventilação natural com limitação na insolação direta. Em uma situação ainda mais seletiva, edificações inseridas no clima temperado ou subtropical deverão contemplar estratégias de aquecimento no inverno e resfriamento no verão.

Por este motivo, ao longo da história, a arquitetura das regiões de clima quente tem a preocupação de incorporar dispositivos de controle solar, evitando o excesso de insolação através das áreas transparentes. Com a crescente valorização do uso do vidro pela arquitetura, a partir do início do século passado, essas soluções tornam-se ainda mais relevantes, induzidas pela maior vulnerabilidade das edificações ao calor.

Os dispositivos de controle solar, segundo Goodwin (1943), são seguidamente denominados “quebra-luzes”, “para-sóis”, “quebra-sol” ou “brise-soleil”, sendo esta expressão francesa muito usada no Brasil por influência do Arquiteto Modernista Le Corbusier. É comum inclusive a popularização do termo de maneira simplificada: “brise”.

Desta forma, entende-se por dispositivo de controle solar todo componente arquitetônico que sirva como anteparo à incidência solar em fachadas, sendo capazes de controlar eficientemente a quantidade de radiação que penetra no interior dos prédios e contribuir para a amenização dos ganhos térmicos.

De maneira geral, podem ser considerados dispositivos de controle solar externos os beirais, venezianas, cobogós, persianas, toldos, chapas perfuradas, telas especiais, a vegetação e, de maneira destacada na história da arquitetura moderna no Brasil, o *brise soleil*. Para um melhor desempenho e aproveitamento, equilibrando o controle térmico com a manutenção da iluminação e ventilação natural, as proteções solares externas devem ser devidamente planejadas, sob o ponto de vista técnico e geométrico, para cada situação de construção. Esse planejamento inclui o conhecimento das características climáticas do local, especialmente da orientação e trajetória solar, para o correto posicionamento e dimensionamento dos protetores. Também devem ser estudados os materiais a serem empregados e o sistema de funcionamento, para o caso de proteções móveis.

Assim, além de atuar no desempenho térmico das edificações, os elementos de proteção solar podem favorecer a boa distribuição da luminosidade, controlando a incidência solar direta e, através de reflexões, tornando a luz difusa e bem distribuída nos ambientes.

A arquitetura brasileira, por ser um país predominantemente tropical, sempre buscou soluções para amenizar os efeitos do calor intenso. Desde a época colonial, também por influência da arquitetura moura, os portugueses priorizaram soluções projetuais de claro vínculo com o rigor climático, para efeitos de sombreamento da edificação. São exemplos os beirais avantajados, os alpendres e varandas, e o uso freqüente de rótulas, muxarabis e venezianas nas janelas.

As rótulas ou gelósias antecederam as venezianas, que só aparecem no século XIX. Elas preenchem os vãos das janelas e, eventualmente, de portas, sendo compostas de pequenas tiras de madeira que se cruzam diagonalmente. Permitem privacidade, com interiores agradáveis, com sombra e ventilação permanente (CORONA e LEMOS, 1998).

De forma e função semelhante às rótulas, os muxarabis² constituem uma das marcantes testemunhas da influência árabe na arquitetura Ibérica, transplantada para o Brasil colonial. Estes elementos eram espécies de balcões que se projetavam sobre as vias públicas, sendo que também permitiam a visualização do exterior sem ser visto, e a obtenção de sombreamento (Figura 19). No nordeste, aparece uma variação do muxarabi chamada urupema, onde a madeira era substituída pela palha trançada.

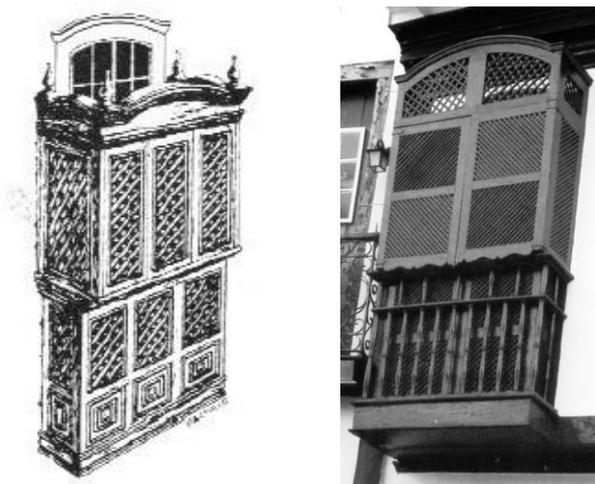


Figura 19: Muxarabi típico de edificações paulistas do século XVIII (Fonte: CORONA; LEMOS, 1998; ARQUITETÔNICO, 2013)

A veneziana foi, no entanto, o elemento de proteção solar da arquitetura tradicional mais difundido no Brasil, com uso que se mantém durante o período da arquitetura moderna e persiste até os dias atuais, sempre buscando adaptações. Constituída de palhetas paralelas e inclinadas, que podem inclusive ser dotadas de mobilidade, impedem a entrada de água da chuva e da radiação solar e permitem a passagem da ventilação. O principal inconveniente, devido à proximidade das aletas, é a obstrução da visibilidade para o exterior.

Por sua vez, o *brise soleil* foi o sistema de controle solar desenvolvido e amplamente utilizado no movimento moderno, sobretudo no Brasil, a partir de sua invenção, na década de 1930, pelo arquiteto francês Le Corbusier.

⁽²⁾ Muxarabi: nome que se dá ao anteparo perfurado colocado na frente de uma janela com o intuito de oferecer sombra e privacidade (CORONA; LEMOS, 1998, p. 330).

O *brise soleil*, ou quebra-sol, é constituído geralmente por lâminas, fixas ou móveis, externas à fachada e organizadas de forma a serem parte integrante da composição arquitetônica da edificação. Sua função primordial é a de barrar o excesso de incidência dos raios solares, sem, no entanto, impedir a visão exterior e a ventilação natural. Diferentemente das venezianas, o desenho dos brises pressupõe certo afastamento entre as aletas, suficiente para manter o contato visual com o exterior. Assim, sua sistematização está intimamente ligada aos próprios princípios modernistas, de que a forma deve seguir a função, alicerçado da compreensão técnica e expressão estética dos elementos compositivos.

Nesta mesma época, outro elemento com função de filtrar os raios solares é criado e fabricado no Brasil: os cobogós³, que ganham destaque nos arranjos arquitetônicos, fazendo parte, juntamente com os brises, da composição das fachadas e da solução para o excesso de insolação. Os cobogós são constituídos por blocos perfurados industrializados, confeccionados originalmente de concreto ou cerâmica, que são assentados sobrepostos para formar divisórias permeáveis à luz e ao vento (Figura 20). São versáteis, podendo substituir uma parede inteira, apenas um pequeno vão ou ser usado como divisória.

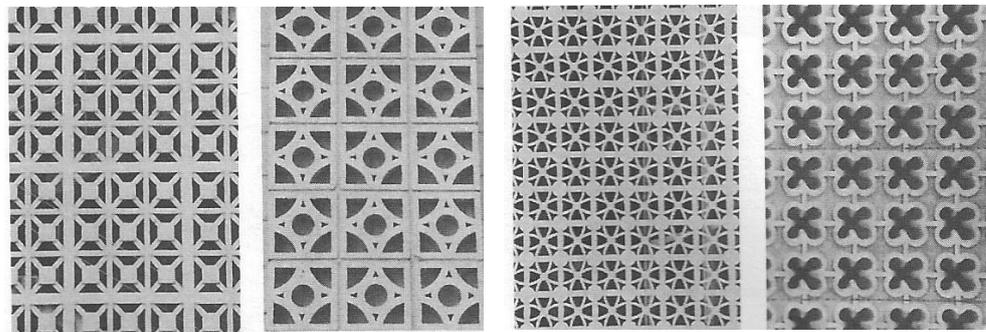


Figura 20: Cobogós tradicionais em concreto ou cerâmica (Fonte: BURDEN, 2006, p. 96)

Apesar da inserção dos componentes para controle solar na arquitetura estarem intimamente ligados ao seu aspecto funcional, na medida em que atuam como sistema passivo de controle ambiental, interferindo no comportamento energético do edifício e na qualidade térmica e lumínica dos espaços, é imprescindível analisar sua contribuição também no âmbito plástico e de composição formal para tratamento das envolventes da edificação. Sobretudo a partir da sistematização do uso do *brise soleil* e dos cobogós pela arquitetura modernista, as proteções solares passaram a representar um elemento importante na definição da composição plástica do edifício, tendo desde uma participação discreta, sendo um detalhe de valorização da fachada, até constituir a principal expressão formal de uma obra.

Assim, conforme avalia Cunha (2011) “independentemente da maior ou menor ênfase compositiva, o *brise-soleil* reforça o caráter da edificação, ou seja, a definição do material que o compõe como também sua forma final, são resultados de diretrizes estruturais iniciais do projeto de arquitetura”.

⁽³⁾ Cobogó: foram criados ainda na década de 20, em Pernambuco, mas se popularizaram pra valer a partir dos anos 50, sendo facilmente avistados no Nordeste brasileiro ou em Brasília. Seu nome engraçado foi herdado dos sobrenomes de seus três criadores: Amadeu Oliveira Coimbra, Ernest August Boeckmann e Antônio de Góis (ARQUITETÔNICO, 2013)

Os autores Olgay e Olgay (1957, p. 15), complementam evidenciando que os elementos de controle solar oferecem possibilidades enriquecedoras para a expressão visual da edificação. Se alguns servem apenas para tratar a superfície, outros participam do jogo de luzes e sombras e criam efeitos espaciais, enquanto outros constituem por si só a definição plástica do conjunto arquitetônico. Ao seu aspecto estético são adicionados efeitos visuais como ritmo, luz, cores e texturas. Além disso, em outra publicação, Olgay (2006) comenta que as tipologias e materiais com função de interceptar os raios solares podem criar um forte caráter espacial, adicionar novos elementos à linguagem arquitetônica e expressar uma autêntica consciência regional.

3.1.1. Le Corbusier e a origem do *brise soleil*

O *brise soleil* é caracterizado como um elemento externo à edificação, composto por uma ou mais lâminas horizontais, verticais ou combinadas, o que admite infundáveis composições. Ainda, estas lâminas podem ser fixas ou móveis, de diferentes formas e dimensões. Os brises fixos são geralmente sistemas mais fáceis e econômicos de instalar e manter. Já os brises móveis, apesar do custo inicial mais alto e de necessitarem maior manutenção, possuem a vantagem do ajuste, manual ou automatizado, da posição das lâminas em relação à trajetória solar. Isto aumenta a eficiência do sistema, inclusive em relação à possibilidade de captar luz natural.

Para Mindlin (1999), a linguagem desse novo elemento extrapola a referência histórica trazendo base científica na sua elaboração, avaliação da necessidade de sombra e luz, passando a compor a estrutura da edificação; sua forma e a multiplicidade de soluções definem texturas, planos, profundidade, ritmo e movimento, enfim, possui uma identidade e estética próprias.

Olgay (1998) complementa que o *brise soleil* surge como resposta às novas funções e características dos fechamentos na arquitetura moderna. Os autores evidenciam as possibilidades compositivas dos brises, afirmando que eles oferecem enriquecedoras alternativas para a expressão visual. Se alguns servem apenas para tratar a superfície, outros participam do jogo de luzes e sombras, criam efeitos espaciais e podem assumir, como elementos arquitetônicos, valores formais diversos, participando na definição plástica do conjunto arquitetônico, com maior ou menor ênfase.

Corona e Lemos (1998, p. 81) comentam sobre a origem desse dispositivo e da sua originalidade de linguagem:

O elemento arquitetônico com função de quebrar a direção dos raios solares já comparece em muitas arquiteturas, mesmo de épocas mais remotas. Porém, do gênero placas horizontais ou verticais, móveis ou fixas, com o nome específico de 'brise soleil', constitui uma sistematização criada por Le Corbusier para um de seus projetos de 1933.

Este projeto a que o autor se refere é um conjunto residencial não construído em Barcelona. O último piso era protegido por varandas profundas, o piso intermediário por venezianas horizontais pivotantes de concreto e o piso inferior todo aberto criava grande área sombreada (Figura 21).



Figura 21: Croquis de Le Corbusier com estudos sobre proteções solares e a solução para o prédio de apartamentos em Barcelona (Fonte: OLGAY; OLGAY, 1957, p.10)

Ainda em 1933, no projeto do edifício de apartamentos *Ponsich* em Argel, o princípio do *brise soleil* foi efetivado (Figura 22). A grelha externa formada por lâminas horizontais e verticais evitava a incidência direta do sol no vidro, permitindo a visibilidade sem prejudicar ingresso da luz natural. Le Corbusier incorporou, nesse estudo, um novo elemento, dotado de expressivo caráter espacial, ao vocabulário da arquitetura.

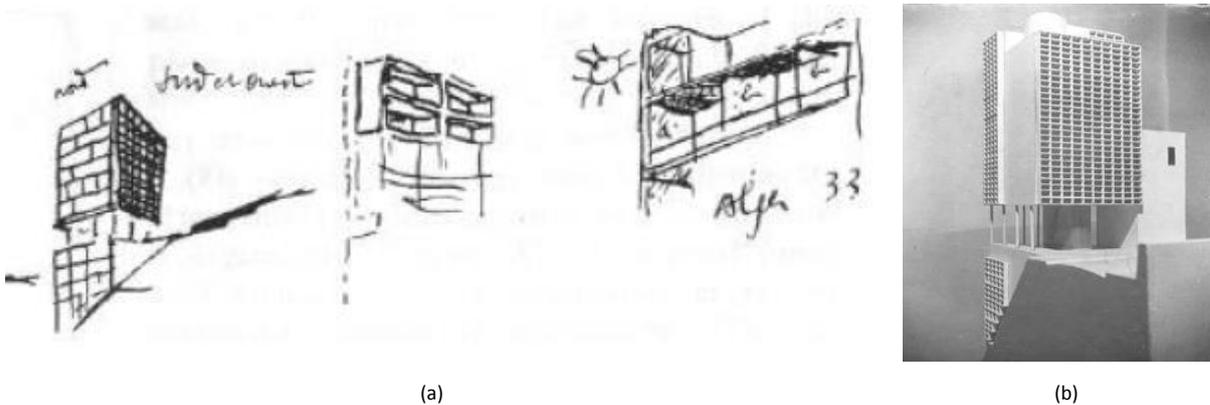


Figura 22: a) Croquis de Le Corbusier; b) maquete para o prédio de apartamentos *Ponsich* em Argel (Fonte: OLGAY & OLGAY, 1957, p.10 e FONDATION LE CORBUSIER, 2012)

Segundo Olgay e Olgay (1957), no desenvolvimento do plano para Argel houve uma integração orgânica entre a composição dos elementos de controle solar e a própria construção. Para eles, as elevações são modeladas com unidade através de um uso teatral desse novo elemento de arquitetura: o *brise soleil*.

Assim, apesar da concepção desse elemento possuir origem basicamente funcional, sua aplicação passa a dialogar com a composição arquitetônica modernista, enquadrando-se nos preceitos racionalistas e destacando-se pela expressividade formal que confere às edificações.

Ainda que, em certa medida, qualquer tipo de *brise soleil* possa ser considerado uma imitação dos velhos e tradicionais métodos de proteção contra a ofuscação e o calor, mesmo assim o *brise soleil* adicionou um novo elemento à nossa arquitetura, seja por sua independência com relação às janelas, seja por sua integração plástica às fachadas, dando-lhes, mesmo quando fixo, mas mais especialmente quando móvel, uma característica dinâmica (MINDLIN, 1999, p. 33).

3.1.2. A Arquitetura Moderna no Brasil e a consolidação do *brise soleil*

Le Corbusier é a inspiração para os jovens arquitetos brasileiros que buscam a introdução da arquitetura moderna no país. Esta, no entanto, vai ser incorporada de um forte caráter nacionalista e regionalista, consagrando um período de grande valor arquitetônico ao país, reconhecido internacionalmente. Será no Brasil que a solução do *brise soleil* se materializará pela primeira vez, onde este elemento vai compor alguns dos exemplares arquitetônicos mais significativos desta técnica.

A linguagem da arquitetura moderna encontrou terra fértil no Brasil onde se desenvolveu e criou características próprias. O *brise soleil*, desenvolvido por Le Corbusier primeiramente para o norte da África como resposta à necessidade de proteção solar, incorporou-se imediatamente ao repertório dos arquitetos brasileiros, não somente pela natureza tropical do clima do país, mas, também, por ter encontrado referências similares em elementos da nossa arquitetura tradicional (MARAGNO, 2000, p.52).

Le Corbusier vem ao Brasil pela segunda vez em 1936, onde lança os primeiros estudos para o Ministério da Educação e Saúde do Rio de Janeiro, sugerindo a adoção do *brise soleil*, como forma de integrar a paisagem local e controlar a radiação solar. A equipe de arquitetos brasileiros responsáveis pela obra, liderada por Lúcio Costa, aprimora o sistema pensado, adotando lâminas verticais e horizontais, fixas e móveis (Figura 23). A edificação é finalizada em 1945, sendo considerada, no Brasil, um marco na aplicação em escala monumental dos princípios e elementos compositivos corbusianos, conjugando soluções técnicas, funcionais, climáticas e formais.

No edifício do Ministério da Educação e Saúde foram aplicados todos os princípios de *Le Corbusier*: o terraço jardim, a pele de vidro, a estrutura independente, a planta livre e o uso de pilotis. Nesse edifício, além dos brises, estão presentes também características que passaram a compor a arquitetura brasileira, como as formas livres, a integração dos espaços internos e externos, as curvas e a estrutura com intenção plástica (MIANA, 2005, p. 27).

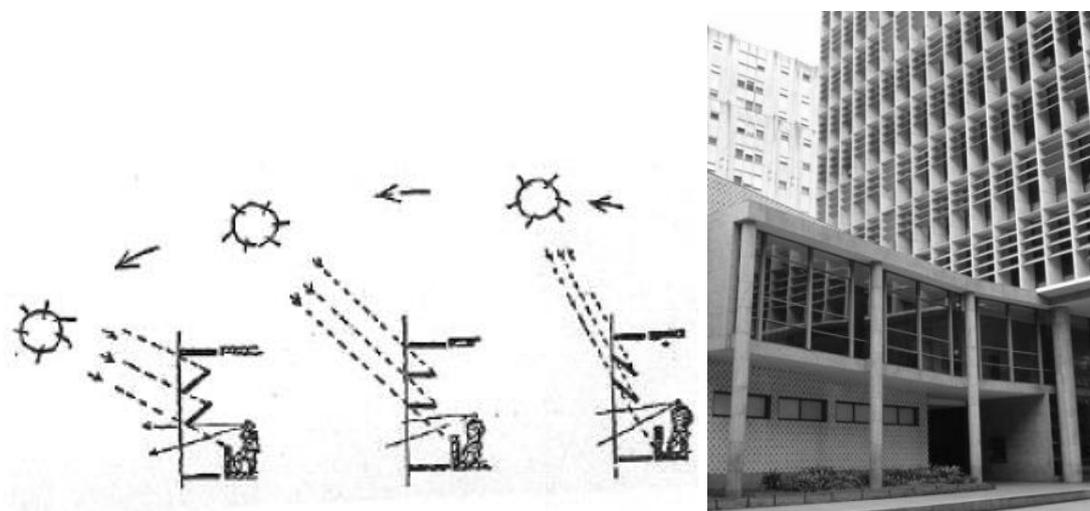


Figura 23: Estudos de Oscar Niemeyer para os brises do Ministério da Educação e Saúde, RJ (Fonte: SÉRIE ARQUITETOS BRASILEIROS, 1999 e ACERVO PESSOAL, 2012).

Na mesma época, antes de ser concluído o prédio do Ministério da Educação e Saúde, duas outras edificações no Rio de Janeiro incorporam o elemento *brise soleil* como solução arquitetônica para o controle da radiação solar: o prédio da Associação Brasileira de Imprensa (ABI), em 1937, de autoria dos irmãos Maurício e Milton Roberto, e a Obra do Berço, em 1939, de Oscar Niemeyer.

A criatividade e conhecimento técnico na aplicação do *brise soleil* dominada pelos arquitetos brasileiros é revelada ao mundo no Pavilhão do Brasil na Feira Mundial de Nova York, em 1939. Os arquitetos Lucio Costa e Oscar Niemeyer propuseram para a fachada sul da edificação um painel fixo em formato de colmeia, lembrando a linguagem dos cobogós (Figura 24).



Figura 24: Fachada sul do Pavilhão do Brasil em Nova York, com a colmeia adotada como solução de proteção solar (Fonte: CAVALCANTI, 2001, p.382)

Ainda sobre a arquitetura desta edificação, Cavalcanti (2001, p.381) acrescenta:

A fachada sul apresenta uma das mais belas composições do modernismo brasileiro: a colmeia de tijolos vazados, a fina moldura da laje que integrava os volumes, o balanço sobre o pavimento térreo, o vazio do pórtico, a curva da marquise do balcão superior, o eco da curva do auditório e um pequeno volume cilíndrico, correspondente à caixa d'água, na cobertura acima da superfície de cobogós.

A partir de então, especialmente até 1960, diversas obras de arquitetos brasileiros desvendaram o uso do *brise soleil* e dos cobogós de maneira eficaz e criativa. Bruand (2003) comenta que as soluções de *brise soleil* no Brasil extrapolaram a finalidade puramente prática, transformando-se em meio de expressão plástica, que marcou profundamente a arquitetura brasileira de determinado período.

Nessa fase, a busca da transparência, empreendida por uma geração de arquitetos conhecedora de sua realidade cultural, econômica e física, num contexto histórico de afirmação da identidade nacional, produz obras de caráter nitidamente brasileiro. Ao invés de expor o interior do edifício à incansável insolação tropical, o muro externo não se abstém da tarefa de intermediação entre dois ambientes em conflito. Utilizar o pano de vidro, sim, mas, protegê-lo da inclemência do clima com os recursos disponíveis, utilizando a própria arquitetura como solução. Ao invés do condicionamento mecânico, a climatização interna adequada é atingida através de soluções de projeto, como são os protetores de fachada (PEIXOTO, 2002, p.125).

Mais tarde, no Parque Guinle, conjunto residencial construído na década de 1950, no Rio de Janeiro, Lúcio Costa explora a composição das fachadas, utilizando diferentes configurações de brises e cobogós. Segundo Bruand (2003), a fachada principal que estava voltada ao parque interno do condomínio possuía orientação oeste, desfavorável quanto ao excesso de insolação. A solução do arquiteto foi elaborar um sistema de proteção solar, sem cortar a visibilidade para o exterior. As dependências voltadas para esta fachada estão recuadas, precedidas por varandas fechadas ora por brises verticais fixos, ora por elementos vazados de diferentes tamanhos. Esses painéis reforçam a unidade do conjunto e representam a principal identidade visual das edificações (Figura 25).

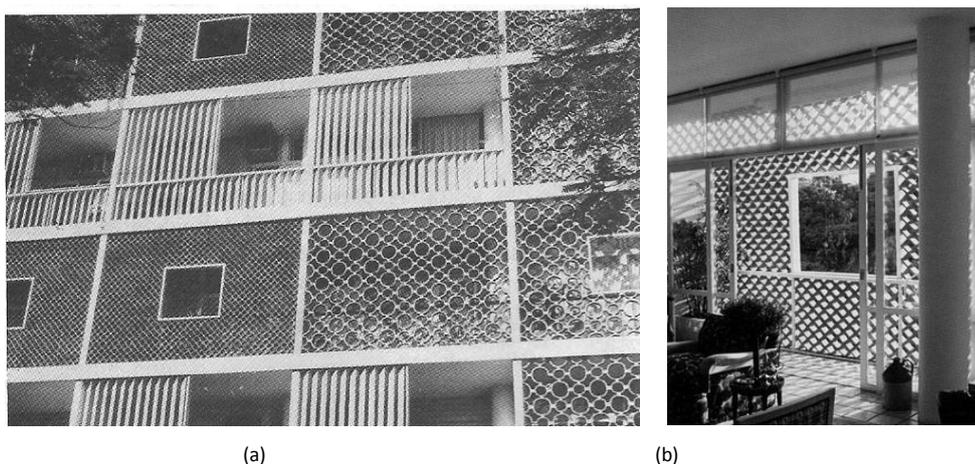


Figura 25: a) Detalhe da fachada oeste de um dos edifícios do Parque Guinle, com as diferentes composições de proteção solar; b) Vista interna dos apartamentos (Fonte: BRUAND, 2003, p. 135; ARCHDAILY, 2012)

A partir da construção de Brasília inicia-se uma nova fase na arquitetura brasileira e, por alguma razão, os condicionantes climáticos, tão intrínsecos no processo de projeto, deixam de ser relevantes. Como já fora comentado, a arquitetura do “Estilo Internacional”, com fachadas totalmente envidraçadas, chega aos trópicos brasileiros, desvinculada do contexto de nosso clima.

Até hoje, apesar da forte campanha mundial por um desenvolvimento sustentável e economia dos recursos energéticos, presenciamos inúmeros edifícios que adotam a fachada cortina de vidro, ficando inteiramente desprotegida da ação do sol, em qualquer latitude do país e orientação solar. As consequências quanto ao desconforto térmico são sentidas pelos usuários e a dependência dos sistemas de climatização torna-se acentuada, sendo, muitas vezes, a única forma de manter o edifício em funcionamento.

Neste momento é necessário repensar nossos paradigmas, olhar para o passado e aprimorar soluções, aliando conhecimento e novas possibilidades técnicas, para realizar uma arquitetura mais responsável e condizente com os preceitos da sustentabilidade.

3.2. TIPOLOGIAS CONTEMPORÂNEAS E AS CORTINAS VERDES

Já discutimos a importância que as proteções solares têm na arquitetura, sobretudo em climas quentes; e como o elemento *brise soleil* tornou-se expoente da arquitetura moderna brasileira, com destaque entre os anos 30 e 60. No

entanto, após este período, identifica-se uma ruptura da utilização das proteções solares na arquitetura, no que tange o duplo propósito: proteger a edificação do excesso de radiação solar e, ao mesmo tempo, ser parte integrante da composição arquitetônica. Em alguns casos, tornou-se elemento meramente compositivo, ou ainda, solução anexada às fachadas, sem preocupação contextual e formal, seja pela tipologia ou material empregado.

Recentemente, a arquitetura contemporânea tem experimentado soluções para a problemática que envolve a necessidade de controle da radiação solar, aplicando uma diversa gama de materiais e tecnologias, revivendo os conceitos do passado ou inovando de forma criativa. Em alguns casos, ocorre somente a substituição por materiais mais atuais, permanecendo o modelo já consagrado. Em outros, há uma maior flexibilização das modulações e formas, resultando em composições dinâmicas e atraentes. Podemos exemplificar isto através das imagens da Figura 26, em recentes aplicações com releitura do *brise soleil* na arquitetura contemporânea: a) uma edificação na China, de autoria dos arquitetos do Atelier Deshaus; b) o edifício da Agência Loducca, do escritório de arquitetura paulista, Triptyque.

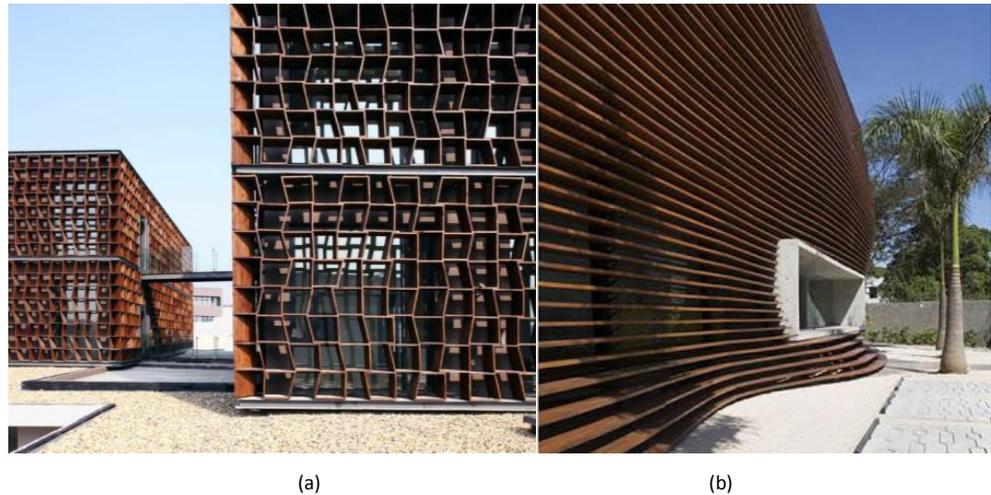


Figura 26: Obras contemporâneas com uso do *brise soleil* (Fonte: ATELIER DESHAUS, 2012; ARCHDAILY, 2012)

Apesar de sua origem ser geométrica e rigidamente modulada, os cobogós atualmente exploram formas, texturas, diferentes padrões e arranjos compositivos, o que confere um efeito visual marcante para a obra. Podemos observar essa diversidade nas edificações da Figura 27: a) Casa Cobogó, do Studio MK27; b) Resort Sanya, na China, do grupo Woha Architects; c) edifício em Shanghai, de autoria do Studio 505.

Em outras situações, a aplicação de novos materiais e tecnologias disponíveis para as proteções solares, confere um ar mais *high tech* às obras. É o caso, por exemplo, dos revestimentos perfurados e telas especiais desenvolvidos pela empresa Hunter Douglas e utilizados em obras arquitetônicas contemporâneas (Figura 28).

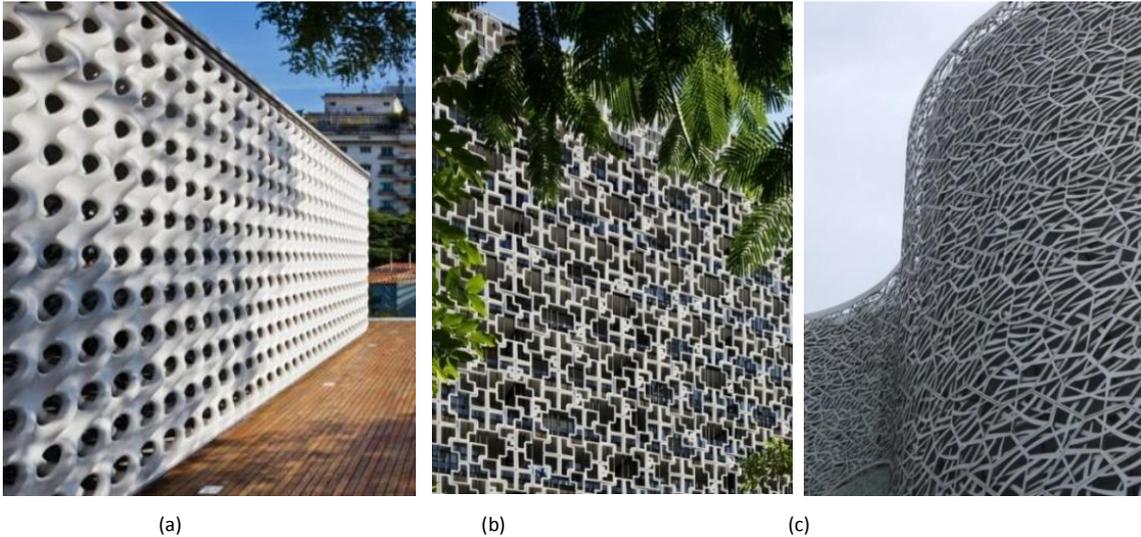


Figura 27: Obras contemporâneas com releitura dos cobogós (Fonte: STUDIO MK27, 2012; WOHA ARCHITECTS, 2013; STUDIO 505, 2013).



Figura 28: a) Gran Casino em Talca, Chile; b) pavilhão da XVI Bienal de Arquitetura de Santiago, Chile (Fonte: PLATAFORMA ARQUITETURA, 2012).

Por outro lado, inovar nem sempre significa o uso de tecnologias avançadas, automações ou materiais de última geração. Inovação também se faz com soluções criativas, releituras do passado e adaptação para os novos preceitos que estão aflorando. As *cortinas verdes*, objeto de estudo desta tese, remontam de antigas aplicações, especialmente residenciais, quando a vegetação era conduzida em treliças, pérgolas e outras estruturas, nem sempre com o compromisso de cumprir a função de sombreamento, mas geralmente com posição de destaque na casa ou pátio.

Atualmente, com conhecimento e disponibilidade técnica, as *cortinas verdes* estão assumindo seu papel na arquitetura, sistematizando o uso da vegetação trepadeira como dispositivo de controle solar e também de composição arquitetônica, cumprindo uma importante função e proporcionando marcante efeito visual. Possui como principais vantagens ser um elemento natural e de baixo impacto ambiental; responder de forma dinâmica às variações do clima e das estações; além de ser uma nova possibilidade de revegetação para as cidades.

Ressalta-se como elemento contemporâneo, integrado ao novo paradigma da arquitetura mais sustentável.

O arquiteto chileno Enrique Browne é um dos precursores nesta técnica, projetando e executando edificações com fachadas envidraçadas protegidas do sol por *cortinas verdes*, conforme exemplificado na Figura 29.



Figura 29: Edificações com as *cortinas verdes* atuando como elemento de controle solar. a) Edifício Consorcio em Santiago; b) Edifício Consorcio em Concepción (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012)

O interesse do arquiteto pelo uso da vegetação evidencia-se desde o início de sua carreira, quando em seus primeiros projetos utilizava pérgolas com videiras e outras espécies para sombrear os espaços de transição entre as edificações ou entre os ambientes internos e externos. A partir da constatação que estes espaços proporcionavam grande conforto climático nas estações quentes, Enrique Browne levantou a hipótese de aplicar a vegetação para sombrear não somente superfícies horizontais, mas também fachadas verticais que sofrem intensa ação do sol, como é o caso da orientação solar Oeste. As “*parrones*” foram posicionadas de forma vertical, afastadas em frente às fachadas, proporcionando sombreamento também quando a altura solar é menor (Figura 30).

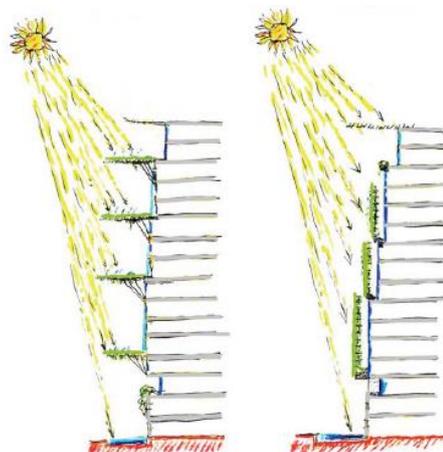


Figura 30: Croquis do arquiteto chileno Enrique Browne com estudos para aplicação das “*parrones*” horizontais e verticais como elemento de sombreamento para edificações (Fonte: BROWNE, 2007, p.04)

Assim, percebe-se que as tipologias utilizadas para o controle solar presentes na história da arquitetura surgem com uma necessidade e acabam tornando-se importantes elementos plásticos das obras, não só pela composição externa, mas também pelo dinamismo visual e sensorial que conferem aos espaços interiores. Os elementos arquitetônicos com função de filtrar os raios solares, sejam eles tradicionais ou contemporâneos, também são expressões do acesso da luz nas edificações, desenhando padrões mutantes de cheios e vazios, de sombras que se movimentam de acordo com a trajetória solar, animando os ambientes internos e proporcionando consciência do tempo percorrido. Podemos perceber isto nos exemplos da Figura 31: a) os tradicionais cobogós da arquitetura moderna, na edificação de Carlos Villanueva, em Caracas; b) e as tipologias contemporâneas de elementos vazados, na Casa Cobogó.

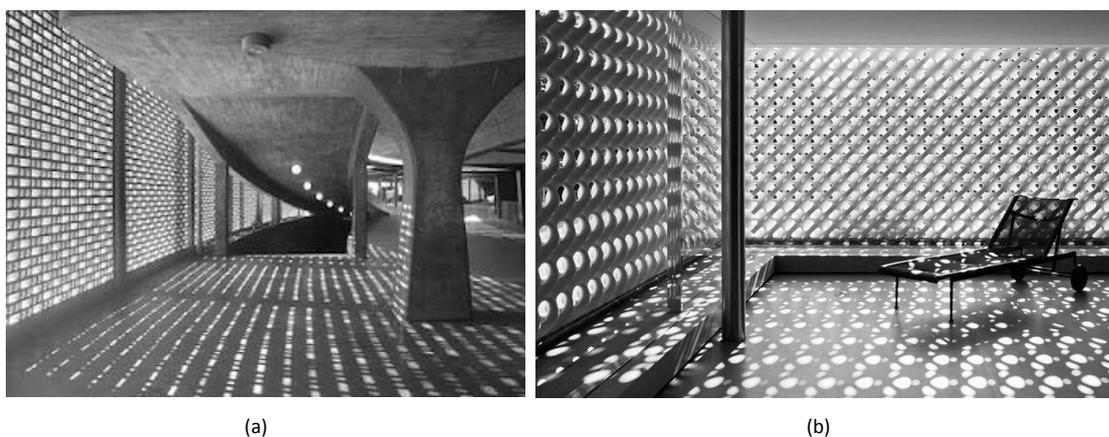


Figura 31: Efeito visual interno dos cobogós (Fonte: ARCHDAILY, 2012; STUDIO MK27, 2012)

Para Mindlin (1999), as proteções solares correspondem à afirmação de Le Corbusier que “a arquitetura é o jogo sábio, correto e magnífico dos volumes sob o efeito da luz”, oferecendo a esse jogo e aos volumes uma riqueza infinita de modulações, em certo sentido, uma quarta dimensão, pelo deslocamento constante das sombras sobre as superfícies, do nascer ao por do sol.

As *cortinas verdes*, como podemos facilmente identificar, proporcionam este surpreendente efeito visual de luz e sombra aos recintos arquitetônicos. Mais do que isso, o contato com a vegetação no dia-a-dia em um espaço, nos revela importantes informações sobre ocorrência e velocidade dos ventos, permite acompanhar a variação das estações do ano, com suas mutações e particularidades, entre outros aspectos que contribuem para uma relação mais próxima das pessoas com a natureza (Figuras 32 e 33).

Outro interessante efeito visual proporcionado por elementos de controle solar vazados ocorre à noite. As variadas tipologias de cobogós, placas perfuradas ou as *cortinas verdes*, possuem em seu arranjo estrutural alternância de cheios e vazios, texturas e profundidades, que são ressaltadas quando iluminados artificialmente pela parte interna da edificação. Os raios de luz interceptam o elemento, de forma direta ou refletida, criando efeitos de sombra que dão destaque ao componente (Figura 34-a). No caso da vegetação, o efeito da luz diferencia as regiões com maior ou menor densidade de folhas, com tons distintos de verde (Figura 34-b).



Figura 32: Efeito visual interno das *cortinas verdes* (Fonte: ARCHDAILY, 2012; ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012)



Figura 33: Efeito visual decorrente da sazonalidade das *cortinas verdes* (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012; PLATAFORMA ARQUITECTURA, 2012)



(a)

(b)

Figura 34: Efeito visual à noite, com uso dos cobogós e das *cortinas verdes* (Fonte: WOHA ARCHITECTS, 2013; PLATAFORMA ARQUITECTURA, 2012)

CAPÍTULO IV - CORTINAS VERDES: CONTROLE SOLAR E COMPOSIÇÃO FORMAL EM ARQUITETURA

4.1. ESTUDOS CIENTÍFICOS SOBRE O DESEMPENHO DAS CORTINAS VERDES

Como já foi anteriormente elucidado, a utilização dos jardins verticais, especialmente da tradicional fachada verde com vegetação aderente, vêm de longa data. Atualmente, diversos sistemas que utilizam o verde em fachadas estão sendo disponibilizados e executados em todo o mundo. No entanto, ainda são recentes os estudos científicos com dados técnicos sobre os benefícios e cuidados na aplicação desses sistemas para as edificações e para o meio urbano.

Segundo Köhler (2008), o interesse científico pelo uso da vegetação em fachadas e em seu benefício ambiental é recente. Na Alemanha, no final dos anos 70, eclodiu um movimento que propôs mudanças nos paradigmas da arquitetura, onde o uso da fachada verde era visto como alternativa de revestimento para projetos de edifícios ecológicos. Reconheceu-se que as fachadas verdes eram relativamente fáceis de construir, com isso um programa de incentivo foi desenvolvido em Berlin para seu uso. Neste período são identificadas algumas pesquisas na Alemanha sobre uso de espécies aderentes, como os estudos do autor iniciam em 1980, a Alemanha se caracteriza como centro das discussões nesta área e Manfred Köhler como um dos primeiros pesquisadores sobre fachadas verdes de nosso tempo.

Por este motivo, até poucos anos atrás, a maioria das publicações sobre o assunto restringiam-se ao idioma alemão, o que dificultou a difusão e o incentivo para novas pesquisas no resto do mundo.

A partir da década de 80, diversos estudos que tratam a respeito dos benefícios do uso da vegetação em geral no ambiente construído são publicados, abordando o sombreamento das espécies arbóreas e o desempenho dos telhados verdes. Um exemplo é o trabalho desenvolvido por Hoyano (1988), onde diferentes configurações de uso das plantas são avaliadas quanto ao desempenho no controle da radiação solar e na redução de temperatura nas edificações. Neste estudo um dos arranjos foi o sombreamento de uma varanda com vegetação trepadeira, disposta em posição inclinada em relação à janela. Todos os experimentos demonstraram a habilidade da vegetação em melhorar o ambiente térmico interno e, com isso, reduzir a necessidade de carga de refrigeração.

Por outro lado, um dos primeiros estudos relevantes focados no uso da vegetação como componente de fachadas foi desenvolvido por Stec, Passen e Maziarz (2005), com o objetivo de avaliar o rendimento térmico e as habilidades como sistema de sombreamento das plantas usadas em fachadas duplas. O experimento foi realizado através de testes em laboratório, com a vegetação localizada na cavidade da fachada dupla, entre a parede opaca e o vidro. Os testes foram comparativos, com a simulação do desempenho da fachada dupla sem elemento de sombreamento, utilizando uma veneziana convencional e o uso da vegetação (Figura 35).

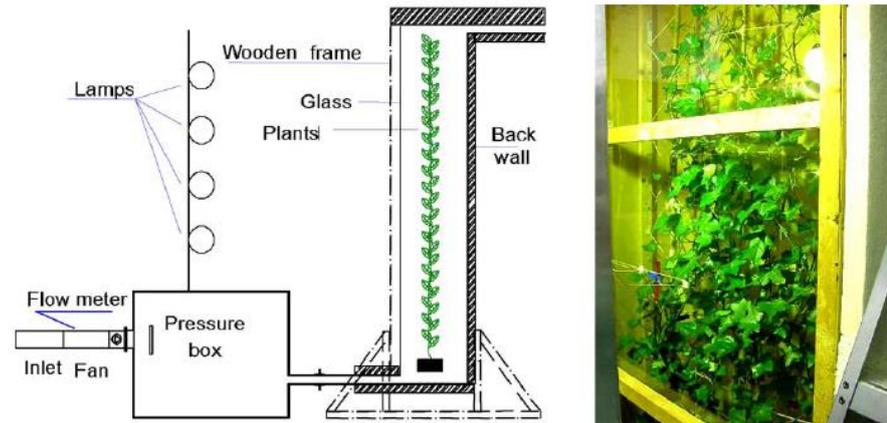


Figura 35: Experimento com a vegetação localizada no interior da fachada dupla (Fonte: STEC; PASSEN; MAZIARZ, 2005, p.422)

Os resultados demonstraram que, de modo geral, o sistema de sombreamento com plantas se mostra mais eficaz do que com venezianas. A temperatura de cada camada da fachada dupla foi menor com o uso das plantas. Além disso, a temperatura superficial da planta nunca ultrapassou os 35°C, enquanto as venezianas podem exceder os 55°C. Também foi constatado que a instalação de plantas dentro de uma fachada dupla pode reduzir o consumo de ar condicionado em até 20%. A magnitude deste efeito depende da densidade da folhagem, ou seja, do número de camadas de folhas.

No entanto, de acordo com os autores, para que haja sucesso na aplicação de plantas na fachada dupla, algumas questões precisam ser investigadas, como por exemplo, quais espécies são adequadas para a aplicação. As condições na fachada dupla estão longe das exigidas pela maioria das plantas. A temperatura na cavidade pode variar entre 10 e 40°C, a umidade é menor que o ambiente externo e a fachada pode estar exposta à forte radiação solar. Todas estas características limitam as possíveis espécies de plantas que podem ser aplicadas sendo que, para diferentes zonas climáticas, diferentes espécies de plantas serão adequadas na aplicação na fachada dupla. Para este estudo, a hera (*Hedera helix*) foi selecionada como a mais apropriada, considerando as condições exigidas, a compra e custos de manutenção.

Outro estudo importante, realizado *in loco*, foi a avaliação do comportamento energético do edifício Consorcio, em Santiago do Chile, que utiliza as *cortinas verdes* como elemento de controle solar. O edifício foi analisado comparativamente com outros dez prédios de escritórios da cidade, em um trabalho desenvolvido por Reyes (2002 apud BROWNE, 2007) e apresentou um resultado superior ao inicialmente esperado.

O estudo apontou um índice 48% menor do consumo energético que a média dos outros dez analisados, correspondendo a cerca de 28% menos de custos econômicos. Como muitos fatores relacionados com diferenças entre prédios podem ter superestimado os resultados, foi realizada uma comparação entre dois pavimentos do edifício Consorcio: um sem a vegetação como elemento de sombreamento e outro com a *cortina verde*. O resultado apontou que o pavimento protegido consome 35% menos de energia, com uma redução de 25% nos custos. Isto demonstra, mesmo que ainda empiricamente, os benefícios térmicos e energéticos da adoção desta solução.

Já o prédio do Instituto de Física da Universidade Humboldt de Berlim vem sendo, desde 2003, um laboratório a céu aberto para estudos de diversos pesquisadores, uma vez que incorpora soluções de construções mais sustentáveis, dentre elas o uso de *cortinas verdes* (Figura 36). Este elemento proporciona um resfriamento passivo da edificação, uma vez que as espécies vegetais agem por meio da evaporação e também no sombreamento das fachadas. Além disso, a água pluvial é coletada e armazenada em cisternas, sendo usada para irrigar o sistema de *cortinas verdes*.



Figura 36: Instituto de Física de Berlim e detalhe das *cortinas verdes* em frente às áreas envidraçadas (Fonte: INSTITUTE OF PHYSICS IN BERLIN-ADLERSHOF, 2010)

O projeto inclui, entre outras coisas, o acompanhamento contínuo do consumo de água nas diferentes espécies de plantas que constituem a fachada verde, além do monitoramento da evaporação e refrigeração, juntamente com seus efeitos sobre o consumo de energia do edifício. Medições e análises já realizadas demonstram o desempenho do uso das *cortinas verdes*, em relação às temperaturas na fachada, e, conseqüentemente, no interior da edificação, conforme ilustrado na Figura 37 (INSTITUTE OF PHYSICS IN BERLIN-ADLERSHOF, 2010).

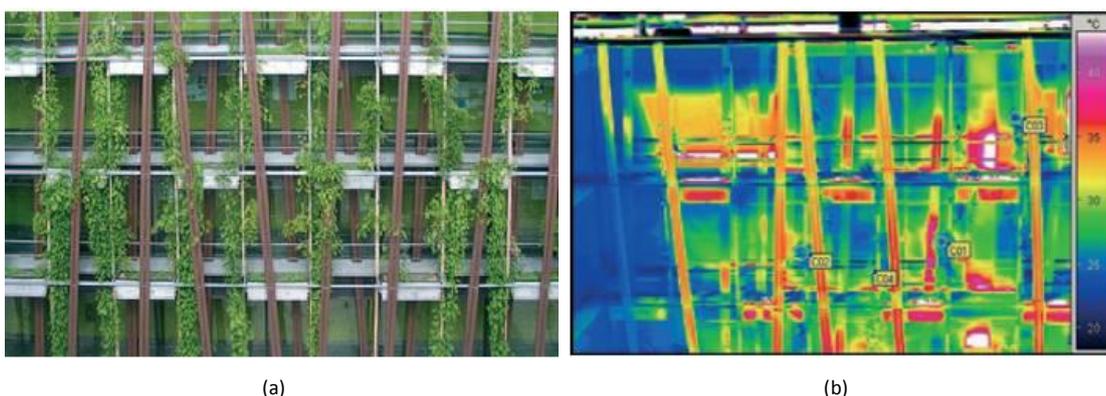


Figura 37: a) Imagem da fachada; b) Imagem em infravermelho das temperaturas da fachada (vermelho = quente, azul = frio) (Fonte: INSTITUTE OF PHYSICS IN BERLIN-ADLERSHOF, 2010)

Outro estudo, este de simulação computacional, foi desenvolvido por Wong et al (2009), com o objetivo de simular diferentes sistemas de vegetação em fachadas e seus efeitos na temperatura e no consumo energético de um prédio. O trabalho foi desenvolvido em Cingapura, onde diversas pesquisas estão sendo incentivadas

pelo governo, a fim de combater as consequências da “ilha de calor”, promovendo formas inovadoras de integrar a vegetação nos centros urbanos.

Empregando o software de simulação TAS, uma edificação hipotética de 10 andares foi estudada em cenários diferentes: 1A - totalmente opaco; 2A - totalmente coberta por vegetação e sem aberturas; 1B - com aberturas; 2B - com aberturas e com as paredes cobertas por vegetação; 1C - totalmente envidraçado; 2C - envidraçado e com 50% de vegetação na fachada; 3C - envidraçado e com 100% de vegetação na fachada. Os resultados demonstraram que a vegetação ajudou a reduzir a temperatura e o consumo energético no edifício, tanto pelo sombreamento no caso das fachadas envidraçadas, quanto a capacidade de isolamento quando em contato com as paredes. Também confirmou que este desempenho está diretamente relacionado à espessura da camada vegetal ou a sua área de cobertura foliar, o que é um indicativo importante no momento de seleção das espécies a serem utilizadas.

Pérez et al (2011) publicou uma investigação sobre o comportamento de *cortinas verdes* no clima mediterrâneo continental seco da Espanha. Segundo os autores, essa tipologia foi escolhida por sua facilidade de montagem, de integração na construção e por exigir pouca manutenção posterior. A pesquisa foi dividida em duas formas de investigação: a implementação do experimento e o acompanhamento de um estudo de caso.

O experimento foi elaborado com o objetivo de comparar o crescimento de quatro diferentes espécies de vegetação trepadeira e sua capacidade de fornecer sombra. As espécies escolhidas, adaptadas às características do clima local e às funções da cortina verde, foram: *Hedera helix* e *Lonicera japonica* (perenes), *Clematis sp* e *Parthenocissus quinquefolia* (caducifólias).

O arranjo foi construído na orientação norte-sul, onde quatro módulos de treliça serviram de suporte para o desenvolvimento das espécies, plantadas em recipientes com substrato adequado (Figura 38). O crescimento foi acompanhado durante um ano e as medições ocorreram em julho, mês de maior insolação no local. Os dados coletados no experimento foram de iluminância, na frente e atrás da vegetação, em cada espécie, sendo repetidos a cada hora, das 9h às 17 horas. Os resultados demonstraram que a capacidade de sombreamento das plantas pode ser comparada aos melhores índices alcançados por barreiras artificiais, o que favorece a sua aplicação como elemento de controle solar em fachadas. A capacidade de sombreamento mais favorável foi o da *Parthenocissus quinquefolia*, que atingiu uma média de transmissão de luz de 0,15.

No entanto, os próprios autores consideraram algumas limitações do experimento, como a dificuldade de prever o comportamento, adaptação e crescimento das espécies. O período das medições, que ocorreu somente na estação do verão, também não forneceu dados completos sobre o ciclo sazonal das plantas. Esta, inclusive, foi uma recomendação da pesquisa: que dados fossem coletados durante um ano, não só de iluminâncias, mas também de radiação solar transmitida.

Já o estudo de caso foi realizado com o monitoramento, durante um ano, de uma edificação com a espécie *Wisteria sinensis* formando uma *cortina verde* em três fachadas (Figura 39).



Figura 38: Experimento realizado com as espécies trepadeiras (Fonte: PÉREZ, 2010, p.119)



Figura 39: Estudo de caso acompanhado na pesquisa (Fonte: PÉREZ, 2010, p.125)

Os parâmetros foram medidos semanalmente às 14 horas, na área externa e na cavidade intermediária entre a edificação e a *cortina verde* sendo eles: iluminância; temperatura do ambiente e das superfícies; umidade relativa do ar e velocidade do vento. Como se trata de uma vegetação caducifólia, a variação dos fatores medidos acompanhou o ciclo da folhagem, verificando sua capacidade de produzir sombra sendo mais acentuada no período de verão (julho e agosto). Da mesma forma, quando a vegetação estava mais densa, a temperatura na cavidade intermediária foi menor e a umidade relativa maior, comparadas com os valores exteriores e com o período de inverno.

Este estudo foi importante por demonstrar, em uma situação real, a capacidade de a *cortina verde* gerar um microclima mais ameno ao redor da edificação, fator atribuído, principalmente, ao sombreamento e a evapotranspiração das plantas. Por ser um estudo de caso avaliado em profundidade durante um longo período de tempo, acredita-se que os resultados sejam válidos e aplicáveis às situações semelhantes, não enquanto valores absolutos, mas como parâmetros gerais que indicam os benefícios do sistema.

Outro experimento, realizado na Universidade de Brighton (Reino Unido) por Ip, Lam e Miller (2010), teve como objetivo principal a elaboração de uma metodologia para a determinação de um coeficiente de sombreamento dinâmico, chamado *bioshading*, que refletisse um ciclo anual de crescimento da planta. Para tanto, foram instaladas duas *cortinas verdes* em salas de escritório, com área de

2,52 m² cada e com a espécie *Parthenocissus quinquefolia*, sendo os dados de radiação solar coletados regularmente, em frente e atrás da vegetação (Figura 40).

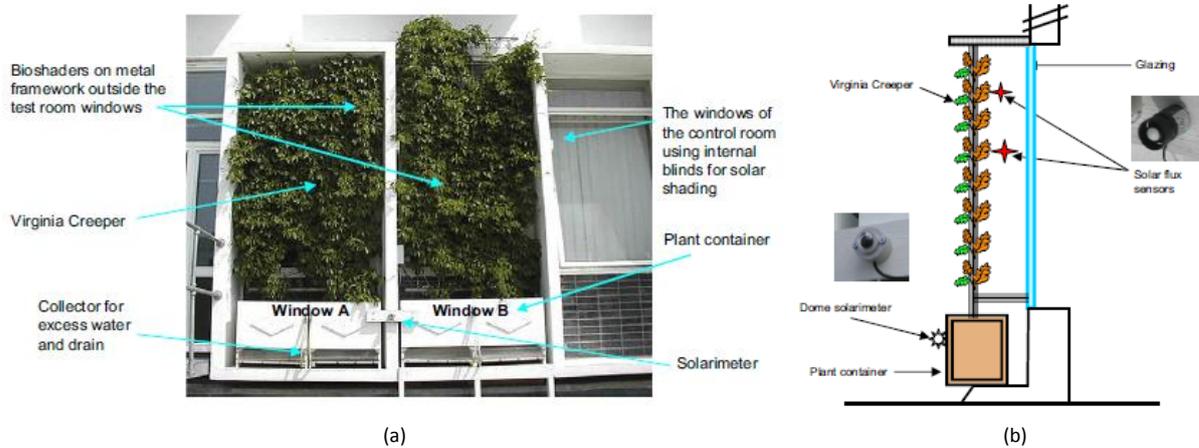


Figura 40: a) Cortinas verdes instaladas para a pesquisa; b) Esquema dos equipamentos e locais de medição (Fonte: IP, LAM e MULLER, 2010, p.83 e p.84)

Antes do período das medições, as *cortinas verdes* foram fotografadas durante seis meses e as imagens analisadas por meio da técnica de reconhecimento de pixels (com o auxílio do software Adobe Photoshop®), de modo a identificar as regiões com mais ou menos camadas de folhas. Foi estipulado o intervalo de uma a cinco camadas, de acordo com a tonalidade de verde detectada. Cada imagem gerou, assim, cinco outras derivadas como é exemplificado na Figura 41.

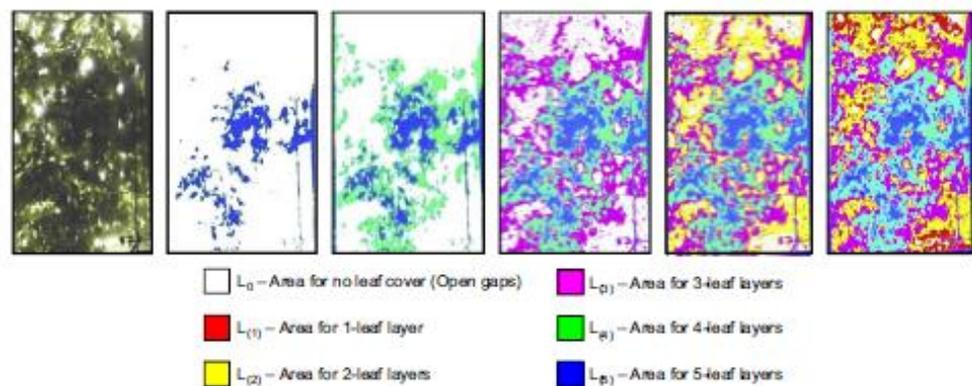


Figura 41: Imagens das diferentes camadas estabelecidas (Fonte: IP, LAM e MULLER, 2010, p.85)

De posse das imagens tratadas, para cada período de desenvolvimento das plantas, foi gerado um gráfico de cobertura foliar, com as áreas correspondentes a cada camada de folhas, como demonstra a Figura 42. Neste gráfico verificam-se claramente os diferentes ciclos da planta caducifólia, com folhagem mais densa no verão e praticamente sem folhas no inverno.

A transmitância solar da folhagem foi medida no período de maior desenvolvimento da planta, atrás de cada região das camadas de 1 a 5. Os resultados variaram de 0,45 com uma camada de folhas, até 0,12 com cinco camadas de folhas. Essas médias foram tratadas matematicamente, de modo a gerar os coeficientes *bioshading* representativos de cada estágio de

desenvolvimento das plantas. O fator de sombra máximo chegou a 0,47 no verão, reduzindo gradativamente até 0,95 no período sem folhas.

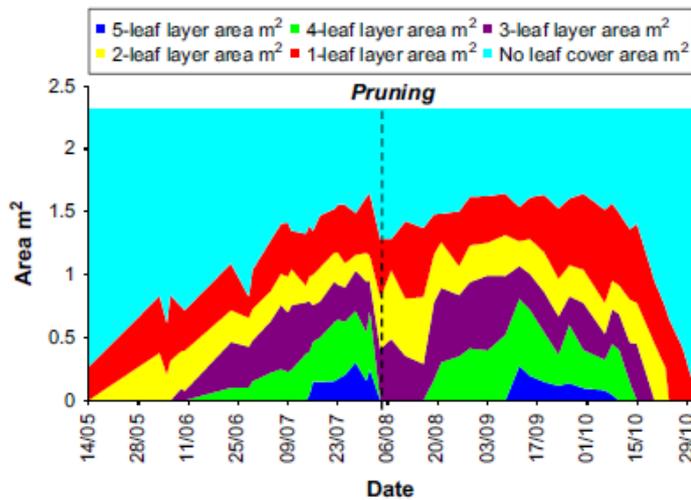


Figura 42: Gráfico das camadas de cobertura foliar ao longo do tempo (Fonte: IP, LAM e MULLER, 2010, p.85)

As dificuldades e limitações identificadas neste trabalho decorrem, novamente, do caráter dinâmico do comportamento das espécies vegetais. No entanto, observa-se um avanço no sentido da aplicação de uma metodologia mais confiável e baseada em medições de radiação solar. Como expressam os próprios autores, a pesquisa deve abrir caminho para uma série de novas pesquisas, incluindo o uso de técnicas de medição mais eficazes, a viabilidade de aplicar os resultados para outras situações, além de explorar estratégias para o que uso das *cortinas verdes* equalizem os benefícios do conforto térmico com a manutenção da visibilidade e luminosidade dos ambientes.

Na Tailândia, país que também vem adotando políticas de incentivo de adesão à vegetação em jardins verticais e, especialmente, na forma das *cortinas verdes* para sombreamento, os pesquisadores Sunakorn e Yimprayoon (2011) estudaram o uso de plantas trepadeiras como dispositivos de sombra verticais, aplicando a espécie *Thunbergia grandiflora* na fachada oeste de uma sala de aula ventilada naturalmente. O objetivo principal do experimento era comparar a temperatura interna desta sala com outra de mesmas condições, localizada ao lado, porém sem a *cortina verde* (Figura 43).



Figura 43: Localização do experimento, na Faculdade de Arquitetura da Universidade de Kasetsart (Fonte: SUNAKORN; YIMPRAYOON, 2011, p.36)

As medições aconteceram no período diurno e noturno, em situações com passagem de ventilação natural e sem corrente de ar. Os resultados demonstraram que a temperatura interna ficou menor no ambiente com a vegetação, sobretudo durante o dia, devido ao sombreamento causado pela planta e também pelo processo de evapotranspiração. Durante a noite, pelo contrário, a *cortina verde* não ajudou na diminuição da temperatura, podendo ter atuado inclusive como elemento de barreira para a dissipação de calor. No entanto, na situação de ventilação noturna, esse efeito negativo foi compensado, evidenciando que as folhas não obstruem a passagem de ar.

Os pesquisadores concluíram que, embora o uso da vegetação não tenha sido suficiente para que fosse atingida a temperatura de conforto durante o dia (22 °C a 28 °C), a aplicação da *cortina verde* pode representar uma importante forma de pré-arrefecimento do ar antes de atingir os ambientes internos. Isto vai contribuir para a demanda do sistema de condicionamento artificial, com redução de consumo energético.

Recentemente, Koyama et al (2013) realizou um experimento com cinco diferentes espécies de trepadeiras, a fim de verificar quais as principais características que contribuem para o efeito de resfriamento das *cortinas verdes*. As espécies foram conduzidas em frente a painéis que representavam a parede de uma edificação, sendo que no último painel não havia vegetação, para fins de comparação dos resultados (Figura 44-a). Uma série de parâmetros foram medidos e analisados durante o experimento, como temperatura na superfície do painel e na superfície das folhas, área de cobertura foliar e transmissão solar pela folha. O método para obtenção da porcentagem de área foliar merece destaque, pois assemelha-se ao que será utilizado nesta pesquisa, através do tratamento de imagens, com separação entre a vegetação e o fundo (Figura 44-b).

Os resultados identificaram a área de cobertura foliar como característica fundamental para determinar a influência na diminuição de temperatura no painel. Isto se deve principalmente à capacidade da folhagem de proporcionar sombra. Além disso, outro fator identificado que pode contribuir para o resfriamento são os diferentes percentuais de transmissão solar pelas folhas, que dependem das características genotípicas de cada espécie.

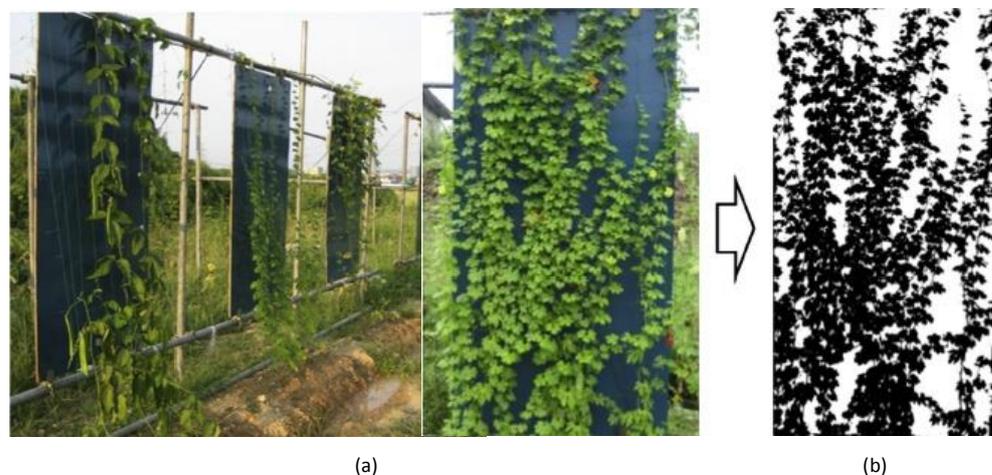


Figura 44: a) Arranjo do experimento, com as cinco diferentes espécies e os painéis; b) Método de obtenção da área de cobertura foliar (Fonte: KOYAMA et al, 2013, p.97 e p.98)

No Brasil, as pesquisas científicas sobre sistemas verdes em fachadas são recentes e escassas. Um dos poucos estudos na área foi desenvolvido por Morelli (2009), com o objetivo de avaliar o desempenho térmico de paredes verdes, na cidade de Campinas, SP, comparando duas edificações idênticas, uma com e outra sem trepadeira aderente na fachada (*Parthenocissus tricuspidata*), através de medições das variáveis ambientais com equipamentos específicos. Nesta pesquisa, constatou-se que a temperatura interna nos ambientes ficou em média de 1°C a 1,5°C menor na edificação que possuía vegetação aderente.

No mesmo trabalho, o autor realizou um experimento no qual fez medições em três células-teste, cubos de aproximadamente 1,0 m³: uma sem trepadeira, a segunda com trepadeira aderente e a última com trepadeira sobre treliça, afastada 20 cm da parede (Figura 45). Com esta metodologia, novamente comprovou o melhor desempenho das fachadas com vegetação, especialmente no verão. Observou uma diminuição em média de 0,9°C na célula-teste com trepadeira aderente e de até 2,6°C na célula-teste com trepadeira sobre treliça.



Figura 45: Experimento realizado com células-teste (Fonte: MORELLI, 2009, p.86)

Por fim, o que se observou em todos os trabalhos discutidos foi a grande dificuldade na avaliação do sombreamento com o uso da vegetação, uma vez que não existe regularidade de seu estado no decorrer do tempo de crescimento e das estações do ano. A maioria das pesquisas limita-se a uma avaliação pontual, um estudo de caso, que nos fornece parâmetros gerais quanto ao uso da vegetação como elemento de proteção solar, porém, pouca possibilidade de generalização dos dados para outros casos. Alguns autores internacionais, no entanto, já somam esforços na tentativa de criar métodos capazes de generalizar os estudos para outras aplicações e possibilitar o uso das *cortinas verdes* de forma científica e com dados mais confiáveis.

4.2. A EXPRESSÃO ARQUITETÔNICA DAS CORTINAS VERDES: EXEMPLOS MATERIALIZADOS

A seguir serão apresentadas algumas edificações já executadas mundialmente, que utilizam as *cortinas verdes* enquanto elemento de controle solar e também como destaque na composição arquitetônica. A seleção destas edificações teve como principal critério o fato das *cortinas verdes* serem elementos de projeto, planejadas desde a fase inicial da concepção arquitetural. Desta forma, cumprem uma função e assumem um forte caráter de expressão para a obra.

4.2.1	<i>Edifício Consorcio Nacional de Seguros I</i>	
	Localização	Santiago, Chile. Latitude aprox. 33°Sul
	Projeto Arquitetônico	Arquiteto Enrique Browne
	Ano	1990 – 1993

Alguns dos exemplares pioneiros e mais significativos de arquitetura utilizando as *cortinas verdes* encontram-se no Chile. O edifício de escritórios ‘Consorcio’, localizado em Santiago, é um exemplo. O terreno de implantação é delimitado por três ruas e possui a testada de maior dimensão que está voltada para a via principal, de orientação solar oeste. Este fator foi o principal condicionante do projeto, que fez o arquiteto optar por uma solução nada convencional para a época: a utilização de vegetação nesta fachada, pressupondo que os ganhos térmicos seriam por ela regulados. Assim, foram construídas grandes floreiras em pavimentos alternados, onde crescem espécies de trepadeiras que se fixam em um suporte metálico afastado das aberturas.

Como afirma o próprio autor do projeto, Enrique Browne, o maior problema térmico dos edifícios de escritórios é o aquecimento interno, dado que as pessoas e os equipamentos, como lâmpadas e computadores, geram muito calor. Por isso mesmo, o sistema de ar condicionado incide decisivamente no consumo e custos com energia (BROWNE, 2007).

Além disto, a orientação oeste apresenta graves problemas térmicos no verão em virtude da incidência solar constante no período da tarde. No edifício foram usados meios técnicos e naturais, com a execução de uma fachada dupla: uma interior envidraçada e outra exterior com vegetação. Esta fachada verde reduz a absorção solar e ainda a transforma em um grande jardim vertical, o qual alegra o edifício e proporciona um efeito de transformação durante as estações do ano (CÓX; FERNÁNDEZ, 1998).

Outra vantagem é que este jardim vertical possui praticamente a mesma área horizontal ocupada pelo edifício, o que permite devolver para a cidade a vegetação retirada do solo (Figura 46).

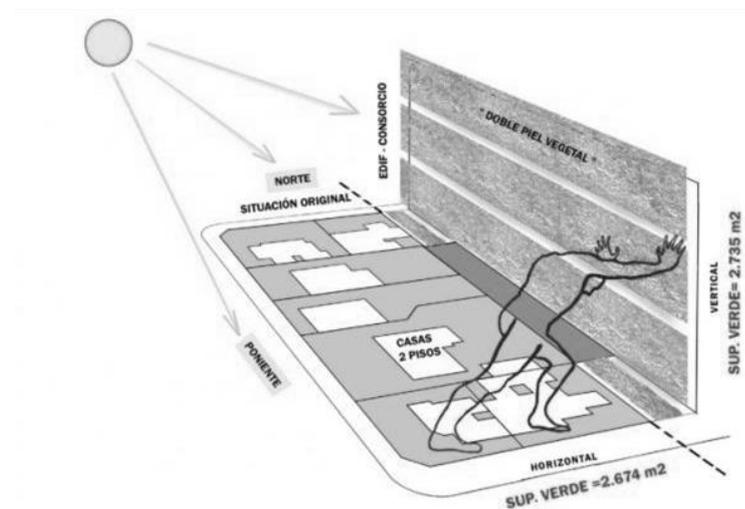


Figura 46: Área ocupada pelo edifício e sua projeção no jardim vertical (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012)

A *cortina verde* se distancia 1,4 m da parede externa do edifício, quase toda envidraçada (Figura 47-a). Esta separação assegura a passagem de correntes ascendentes de ar (Figura 47-b) e proporciona espaço para generosas jardineiras inferiores, com rega programada por gotejamento. Ainda, este espaço permite fácil acesso para limpeza da fachada e também para um jardineiro que faça a poda, desinfecção e adubação da vegetação (BROWNE, 2007).

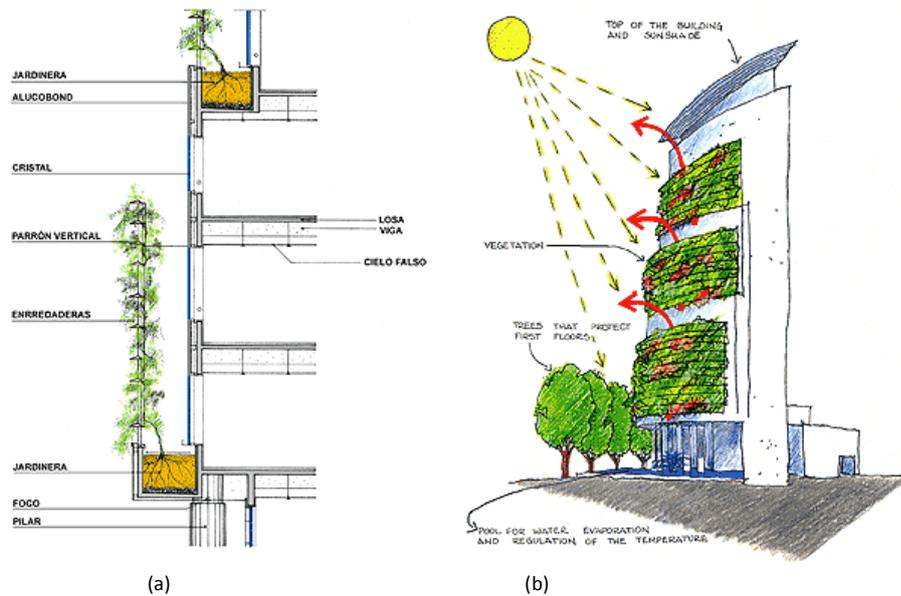


Figura 47: a) Detalhe das *cortinas verdes*; b) Funcionamento térmico do edifício (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012)

Com a utilização da vegetação como componente do projeto, ressalta-se o efeito visual interessante e as transformações que a fachada apresenta ao longo dos anos. Ao contrário dos materiais de construção usuais, que se deterioram com o tempo ou que são substituídos por novas tecnologias, a vegetação se desenvolve, cresce e revigora a imagem do edifício com o passar dos anos (Figura 48). A vegetação também muda de coloração com as variações sazonais e é ressaltada à noite, com a iluminação interna do prédio (Figura 49).



Figura 48: a) O edifício em 1993; b) Em 2007; c) Atualmente (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012)



Figura 49: a) As mudanças sazonais na coloração da vegetação; b) O efeito visual à noite (Fonte: PLATAFORMA ARQUITECTURA, 2012)

Um cuidado importante foi na escolha das espécies vegetais, pois algumas possuem folhagem caducifólia e por isso perdem as folhas no inverno, permitindo o aquecimento dos espaços na época fria (Figura 50).

Elas apresentam a vantagem de que a folhagem é desencadeada pela temperatura externa e não pela posição solar. Portanto, a vegetação pode apresentar um desempenho superior ao desempenho dos elementos fixos de proteção. As plantas decíduas também respondem às variações sazonais do clima, ou seja, quando este está mais frio ou mais quente do que a média. Em uma primavera fria, suas folhas irão brotar tardiamente; em um outono quente, suas folhas irão cair mais tarde (BROWN; DEKAI, 2004, p.291).



Figura 50: a) A vegetação no verão; b) No inverno (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012)

Além dos benefícios térmicos, outro fator que se pode evidenciar como positivo, e torna os ambientes internos qualificados ambientalmente, é a possibilidade dos ocupantes desfrutarem do contato visual com a natureza, deixando seu cotidiano mais harmônico e menos monótono (Figura 51).



Figura 51: Interior dos escritórios (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012)

4.2.2 <i>Edifício Consorcio Nacional de Seguros II</i>	
Localização	Concepción, Chile. Latitude aprox. 36°Sul
Projeto Arquitetônico	Arquiteto Enrique Browne
Ano	2003 - 2004

Após a bem sucedida obra em Santiago, Enrique Browne desenvolveu outro projeto utilizando novamente o componente verde como proteção solar. Foi na cidade de Concepción, também no Chile (Figura 52).



Figura 52: O Edifício Consorcio em Concepción, Chile (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012)

Segundo o arquiteto, o edifício é composto basicamente por três elementos: a) um volume de plantas livres, com fachadas para o leste, norte e oeste, protegido do sol por perfis de madeira que sustentam uma pele vegetal com trepadeiras caducifólias, cuja vegetação cobrirá 700m² de fachadas; b) um volume plano

vertical, de orientação sul; c) um grande plano horizontal, que serve de arremate para a cobertura e protege a varanda do último pavimento do sol poente (Figura 53).

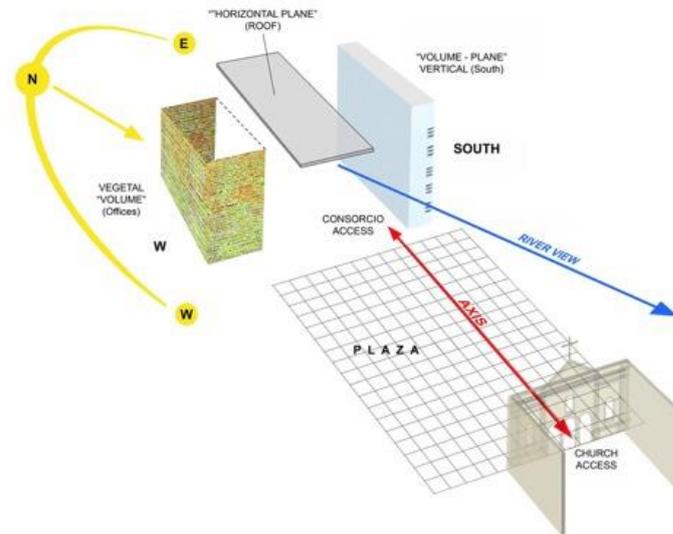


Figura 53: A composição arquitetônica da edificação (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012)

Novamente, conforme observamos na Figura 54, identificam-se grandes floreiras, a cada dois pavimentos, onde se desenvolvem espécies trepadeiras perenes e caducifólias, que protegem da insolação excessiva no verão e permitem o aquecimento da edificação no inverno.

No entanto, este projeto, por algum motivo, foi construído sem a execução das *cortinas verdes*. Somente a estrutura de suporte foi realizada, funcionando como brises horizontais.

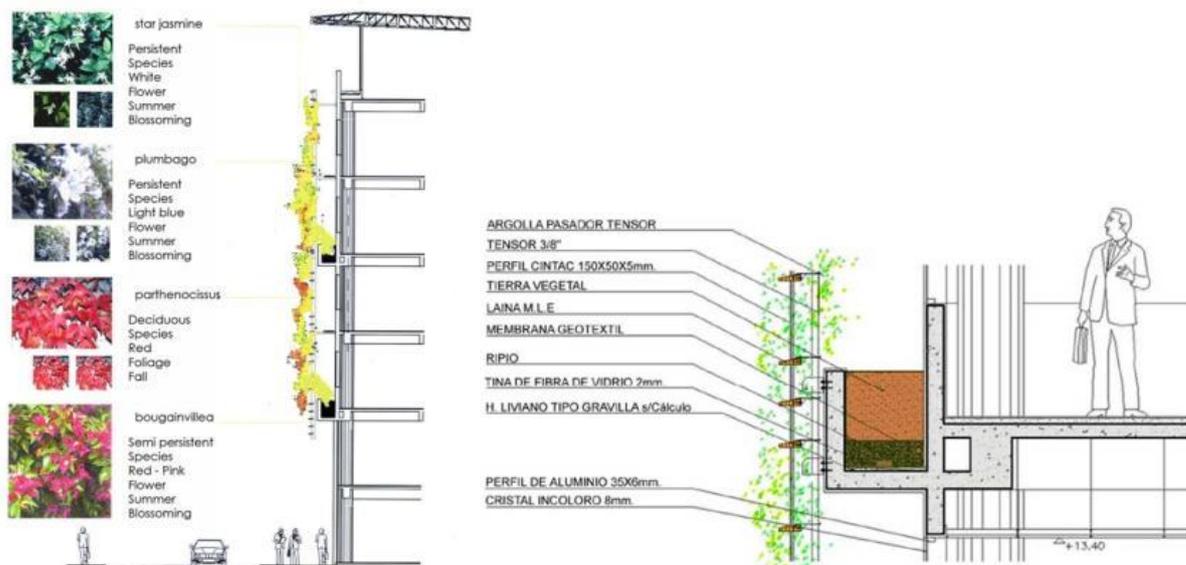


Figura 54: Detalhes da *cortina verde* (Fonte: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2012)

4.2.3 <i>Edifício Swiss Re</i>	
Localização	Munique, Alemanha. Latitude aprox. 48°Norte
Projeto Arquitetônico	BRT - Bothe, Richter e Teherani Arquitetos
Ano	1999 – 2001

O conjunto de edifícios que compõe a sede da *Swiss Re*, na Alemanha, possui uma arquitetura de forte caráter industrial, utilizando basicamente elementos estruturais em aço e fechamentos em vidro. Os diversos prédios do complexo possuem cobertura verde e pátios internos com áreas de convivência e presença de vegetação.

No entanto, o diferencial marcante deste projeto é a presença de uma malha externa que envolve todo o perímetro do conjunto. Nesta estrutura se desenvolve uma *cortina verde* com vegetação trepadeira que por vezes tangencia os prédios, estando afastada das fachadas e, em outros momentos, configura o fechamento dos pátios internos.



Figura 55: Implantação do conjunto *Swiss Re*, na Alemanha (Fonte: BRT ARCHITEKTEN, 2012)

Esta *cortina verde* funciona como proteção solar para as áreas envidraçadas e pátios internos, além de garantir maior privacidade para o conjunto e proporcionar um microclima agradável. A vegetação cresce a partir do solo, utilizando os pontos de apoio estruturais para vencer o primeiro pavimento (Figura 56). Novamente neste projeto, destaca-se o efeito sazonal com mudança na coloração da vegetação e a integração com o entorno natural (Figura 57).



Figura 56: A malha que envolve o edifício, com desenvolvimento da vegetação (Fonte: BRT ARCHITEKTEN, 2012)



Figura 57: O efeito sazonal com mudança na coloração da vegetação (Fonte: BRT ARCHITEKTEN, 2012)

4.2.4 <i>Edifício Pergola</i>	
Localização	San Antonio de Belén, Costa Rica. Latitude aprox. 10°Norte
Projeto Arquitetônico	Arquiteto Bruno Stagno
Ano	2003 - 2004

O arquiteto Bruno Stagno destaca-se na Costa Rica por realizar uma arquitetura adaptada às condições de clima regional, mais sustentável, com soluções de climatização natural e minimização no uso do ar-condicionado. Mesmo em um clima tropical, com calor o ano todo, suas respostas arquitetônicas favorecem um menor consumo de energia.

O edifício ‘Pergola’ é um exemplo disto, onde “ele assume plenamente a importância dos componentes ecológicos como determinantes da imagem formal, cuja qualificação estética se baseia nas proporções e na utilização ascética dos materiais” (SEGRE, 2007).

Neste projeto, como os recursos econômicos da empresa para a execução do prédio eram limitados, ele optou por adotar uma caixa retangular com estrutura pré-fabricada de concreto e fachada de vidro. Para proteger da insolação excessiva, conforme avalia Segre (2007) “a caixa de concreto foi envolvida externamente por uma leve estrutura metálica modulada. Esta serve de suporte para o crescimento de plantas trepadeiras, que estabelecem um filtro climático responsável por diminuir significativamente a temperatura interna” (Figura 58).



Figura 58: As fachadas do prédio, envolvido com as *cortinas verdes* (Fonte: SEGRE, 2007)

As fachadas com as *cortinas verdes* tornam-se elementos dinâmicos de proteção solar e de composição arquitetônica, além de conferir aos ambientes internos o contato visual com a vegetação, aproximando a paisagem natural em contraste com os materiais de construção brutos, como o concreto e o metal (Figura 59).



Figura 59: Vista do interior dos escritórios, com a vegetação atuando como proteção solar (Fonte: BRUNO STAGNO, 2012)

4.2.5 Edifício Council House 2 (CH2)	
Localização	Melbourne, Austrália. Latitude aprox. 37°Sul
Projeto Arquitetônico	Arquiteto Mick Pearce
Ano	2004 – 2006

O edifício foi projetado para abrigar a expansão da Prefeitura de Melbourne, sendo um exemplo bem sucedido de arquitetura sustentável, onde soluções já conhecidas e outras em fase de experimentação foram incorporadas para garantir eficiência energética, conservação da água e geração de energia. Foram minimizados os impactos ambientais de sua construção e sua vida útil, potencializando todos os recursos naturais disponíveis, com o objetivo de fazer um edifício orgânico, que interage com o meio ao qual está inserido.

A cidade de Melbourne está localizada na latitude 37° sul e possui como característica climática as quatro estações do ano bem definidas, com invernos frios e verões muito quentes. Esta condicionante de projeto suscitou soluções arquitetônicas que atendem situações de inverno e verão, como os brises verticais móveis de madeira reciclada da fachada oeste, que respondem aos ângulos solares com horários de acionamento programados de acordo com a estação e são alimentados por células fotovoltaicas (KEELER; BURLE, 2010).

O uso da vegetação como estratégia de projeto aparece no terraço jardim e também nos balcões da fachada norte. As fenestraçãos dessa fachada possuem dimensões diferentes, que se ampliam na medida em que se aproximam do solo (proporção inversa à penetração de radiação solar). O sombreamento das aberturas se dá através de balcões e treliças com vegetação trepadeira, conforme se observa na Figura 60 (MURDOCH; FIGUEIREDO, 2009).

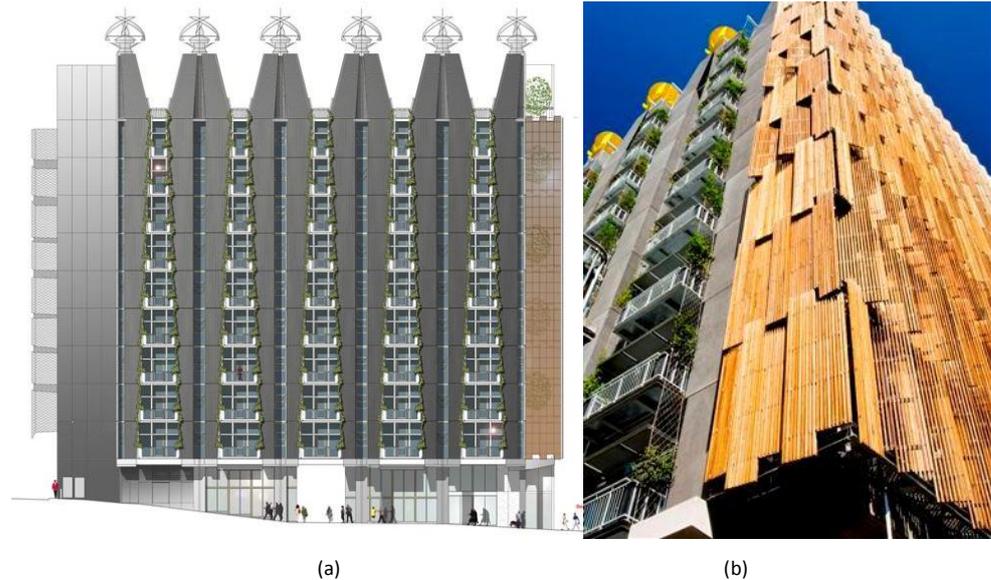


Figura 60: a) Fachada norte do Edifício CH2, com as janelas de tamanhos; b) Fachada norte com os balcões protegidos lateralmente pela vegetação trepadeira e fachada oeste, com brises móveis de madeira (Fonte: PLATAFORMA ARQUITECTURA, 2012)

Os esquemas da Figura 61, abaixo, demonstram a estratégia de sombreamento proporcionado pelos balcões da fachada norte. No primeiro esquema, a situação de verão e inverno, nos horários próximos do meio-dia, quando o sol incide com ângulo de altura solar maior. No verão, as marquises e as bandejas de luz horizontais protegem do sol direto, refletindo luz para os ambientes internos. No inverno, a radiação penetra um pouco mais, favorecendo o aquecimento dos ambientes. Já o segundo esquema ressalta o efeito das *cortinas verdes* posicionadas nas laterais do balcão, atuando como elemento de sombra especialmente no início da manhã e final da tarde, quando a altura solar é menor. Ao mesmo tempo, o componente verde cria um ambiente agradável de interação com a natureza.

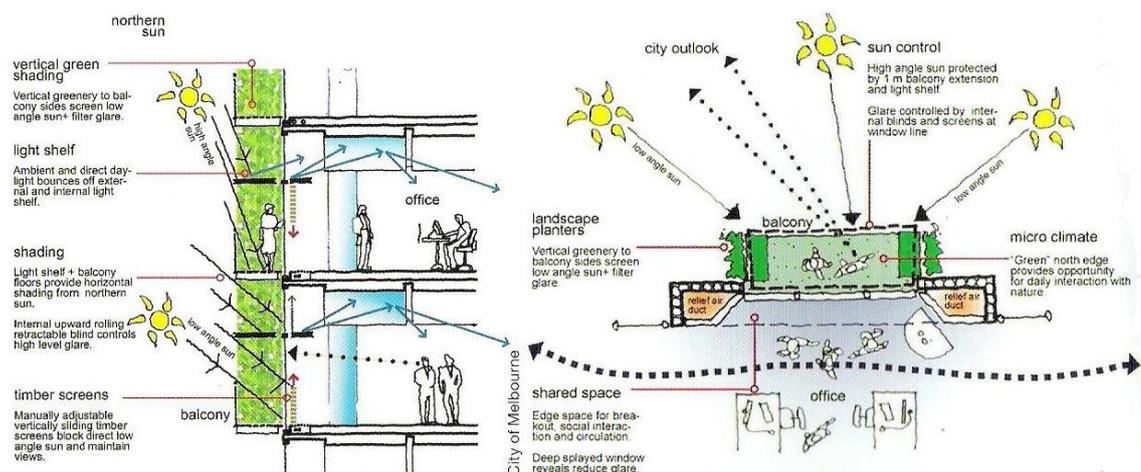


Figura 61: Esquemas das estratégias de sombreamento adotadas na fachada norte do Edifício CH2 (Fonte: HOPKINS; GOODWIN, 2011; p.138)

As trepadeiras foram plantadas em recipientes (floreiras) em cada andar (Figura 62), recebendo um sistema automático de irrigação com reaproveitamento da água da chuva. Foram instalados sensores que limitam a quantidade de água nas

bandejas dos recipientes. As espécies instaladas na *cortina verde* que demonstraram boa adaptação foram, principalmente, a *Pandorea pandorana*, muito cultivada da Austrália e, em alguns locais, a *Muehlenbeckia axillaris* (HOPKINS; GOODWIN, 2011).

Como visto, há uma combinação de sistemas para o melhor aproveitamento da luz natural, controle do ofuscamento e do excesso de radiação solar, de acordo com a orientação da fachada e estação do ano. O uso da vegetação, na forma das *cortinas verdes*, foi concebida para ser beneficiada por suas propriedades de sombreamento, mas neste caso em particular, não está posicionada em frente às esquadrias e sim lateralmente, o que demonstra diferentes possibilidades compositivas, que dependem primordialmente da realização de detalhados estudos sobre a trajetória solar em cada local de implantação.



Figura 62: Detalhe das floreiras (Fonte: HOPKINS; GOODWIN, 2011; p.139)

4.2.6	Edifício Biopark	
	Localização	Paris, França. Latitude aprox. 49°Norte
	Projeto Arquitetônico	Valode & Pistre Arquitetos
	Ano	2006

O edifício Biopark abriga um centro de pesquisas em biotecnologias, às margens do Rio Sena, em Paris. Foi realizada no projeto original uma intervenção, cuja principal característica foi sobrepôr às fachadas uma treliça metálica que serve de suporte para o desenvolvimento de vegetações trepadeiras, que são plantadas em vasos dispostos ao longo da estrutura nos diferentes pavimentos. A solução, além de revigorar o edifício, confere sombreamento aos escritórios e proporciona maior contato visual com a natureza.



Figura 63: Fachada principal do edifício, com treliças e vegetação trepadeira (Fonte: UFFELEN, 2011, p.108 e 111)

4.2.7 <i>Edifício Ex Ducati</i>		
	Localização	Rimini, Itália. Latitude aprox. 44°Norte
	Projeto Arquitetônico	Arquiteto Mario Cucinella
	Ano	2004 – 2006

O edifício tem função comercial no térreo e abriga escritórios nos demais pavimentos. A característica marcante é a fachada curva que está voltada para a rua, coberta com uma *cortina verde*, na qual a espécie trepadeira cresce auxiliada por uma grelha de aço que abrange toda a fachada frontal e também as laterais do prédio. Esta solução de fachada, segundo o arquiteto, cria a aparência de jardins verticais suspensos e remete à ideia aos edifícios tradicionais cobertos com hera (UFFELEN, 2011).



Figura 64: Fachada com grelha de aço e vegetação trepadeira (Fonte: MARIO CUCINELLA ARCHITECTS, 2012)

A vegetação cresce a partir do solo e também em jardineiras dispostas ao longo do segundo pavimento, formando na varanda dos escritórios um espaço permeável ao ar e à luz, além de permitir o contato dos ocupantes com a natureza (Figura 65).

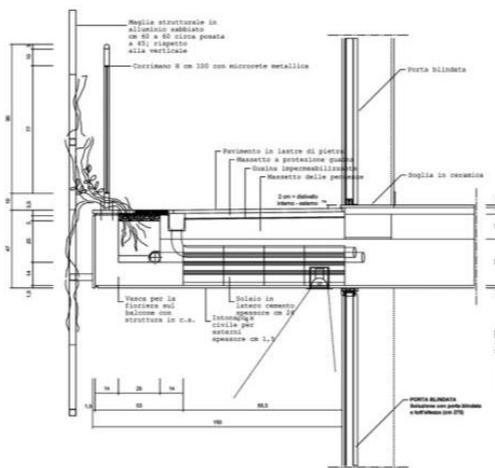


Figura 65: Varanda com a vegetação trepadeira e detalhe técnico das jardineiras (Fonte: PLATAFORMA ARQUITECTURA, 2012)

4.2.8	<i>Edificio de Viviendas Vilela</i>	
	Localização	Buenos Aires, Argentina. Latitude aprox. 34°Sul
	Projeto Arquitetônico	Arquiteta Ana Rascovsky
	Ano	2008

Esta obra diferencia-se das demais apresentadas, pois possui função residencial, sendo um edifício de quatro pavimentos, com dez apartamentos de distintas soluções funcionais priorizando a existência de áreas externas e o contato com a vegetação, presente na forma das *cortinas verdes* que compõem as fachadas.

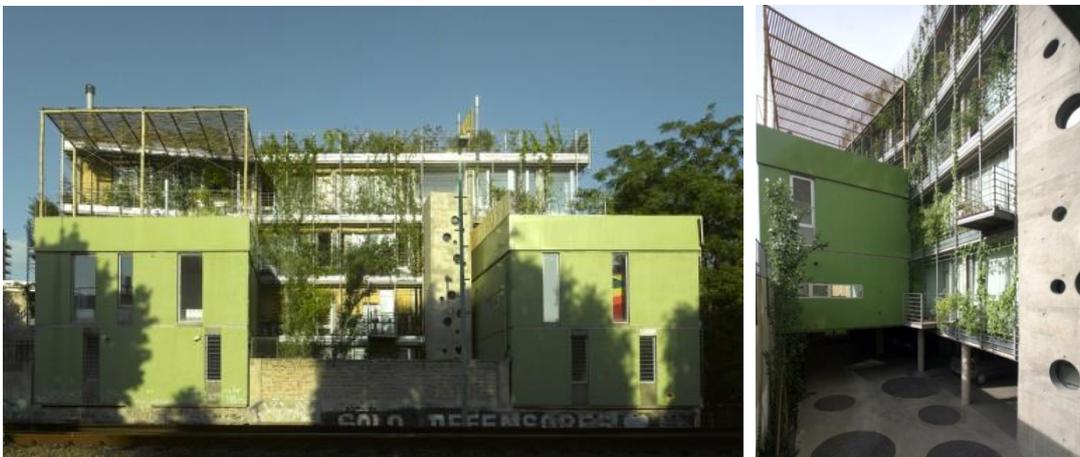


Figura 66: O Edifício de Viviendas Vilela, Buenos Aires, Argentina, com as *cortinas verdes* envolvendo os espaços de transição (Fonte: PLATAFORMA ARQUITECTURA, 2012)

O projeto é composto por uma caixa de vidro cercada por uma cortina de vegetação (Figura 67-a). Entre os dois elementos criam-se espaços de transição e contato com o exterior, formando sacadas ou amplas varandas (Figura 67-b). Segundo os autores do projeto, a intenção foi permitir o contato visual através do vidro, ao mesmo tempo em que a privacidade é mantida pela presença da vegetação, cuja densidade pode ser regulada pelo proprietário, com vãos mais ou menos abertos ao exterior (ANA RASCOVSKY, 2013).

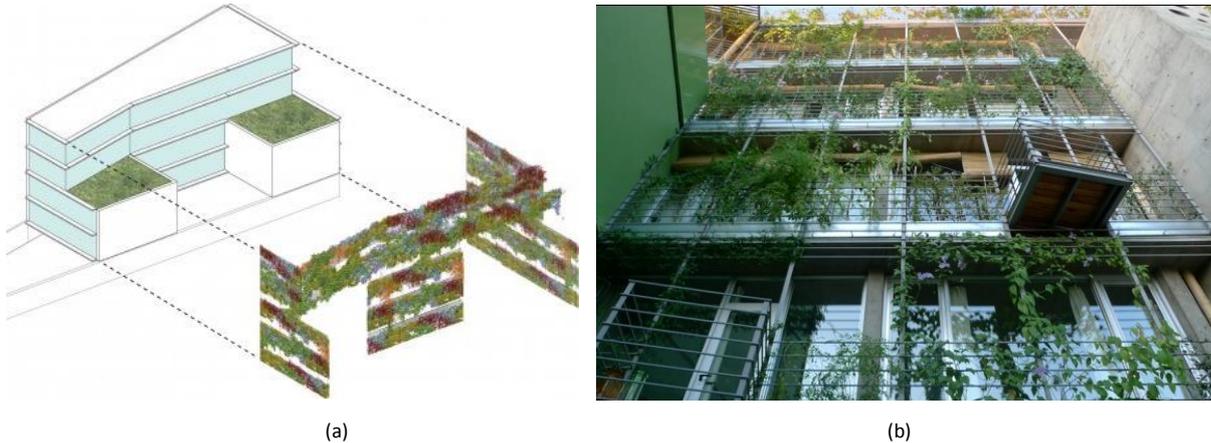


Figura 67: a) A solução formal da edificação, com as fachadas de vidro protegidas pela *cortina verde*; b) Detalhe das sacadas do edifício (Fonte: PLATAFORMA ARQUITECTURA, 2012)

A presença do jardim vertical permite aos moradores um contato mais próximo com a natureza, com a vegetação, flores e perfumes. Os suportes que conduzem as plantas foram projetados de forma a compor um ritmo de fachada e são interrompidos nos diferentes pavimentos na altura dos olhos, não impedindo o contato visual com o exterior. Ao mesmo tempo, para quem está no nível da rua, as *cortinas verdes* são um impedimento ao acesso visual interno, garantindo a privacidade residencial (Figura 68-b).

Sua função de qualificação ambiental também é expressa nos estudos dos projetistas, uma vez que a vegetação protege da insolação direta ou excessiva, mantendo o edifício com temperatura agradável no verão (Figura 68-a).

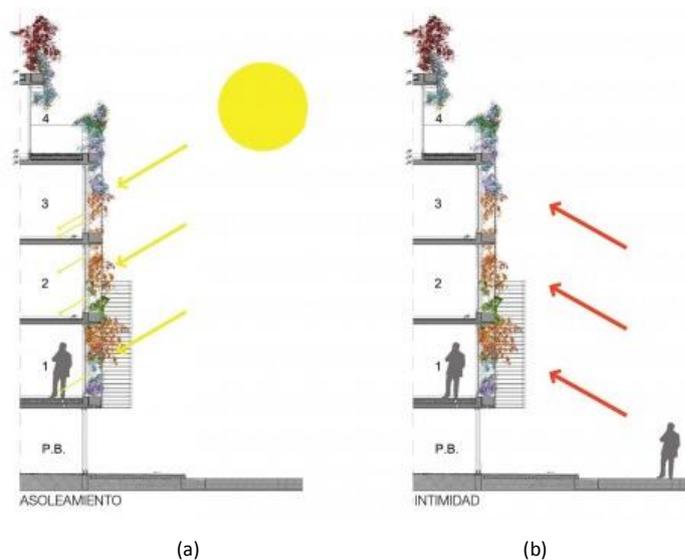


Figura 68: a) A vegetação protege a fachada da insolação excessiva; b) Ao mesmo tempo permite privacidade visual (Fonte: PLATAFORMA ARQUITECTURA, 2012)

4.2.9	Edifício Escola das Artes	
	Localização	Singapura. Latitude aprox. 1°Norte
	Projeto Arquitetônico	WOHA Arquitetos
	Ano	2009

Este projeto destina-se a uma escola especializada em artes visuais e performativas, localizado no coração do bairro Civic, em Singapura. O conceito adotado no projeto prioriza a ventilação e a luz natural em todos os espaços, revelando os novos paradigmas da arquitetura em Singapura, voltada aos preceitos do bioclimatismo e da sustentabilidade.

Uma das características plásticas e funcionais marcantes no projeto é a presença das *cortinas verdes*, em todas as fachadas do edifício (Figura 69-a). Como comentado anteriormente, Singapura está incentivando a aplicação dos jardins verticais na cidade e nas edificações, como estratégia de redução no consumo energético com climatização artificial. A vegetação atua como filtro ambiental, contra o excesso de luz, calor e poluentes, além de promover o resfriamento evaporativo da ventilação que entra nos espaços (Figura 69-b).



Figura 69: a) O edifício em Singapura, com as *cortinas verdes* em todas as fachadas; b) detalhe das *cortinas verdes* atuando no sombreamento dos espaços (Fonte: ARCHDAILY, 2012)

4.2.10	Edifício Vent Vert	
	Localização	Tóquio, Japão. Latitude aprox. 35°Norte
	Projeto Arquitetônico	Arquiteto Edward Suzuki
	Ano	2012

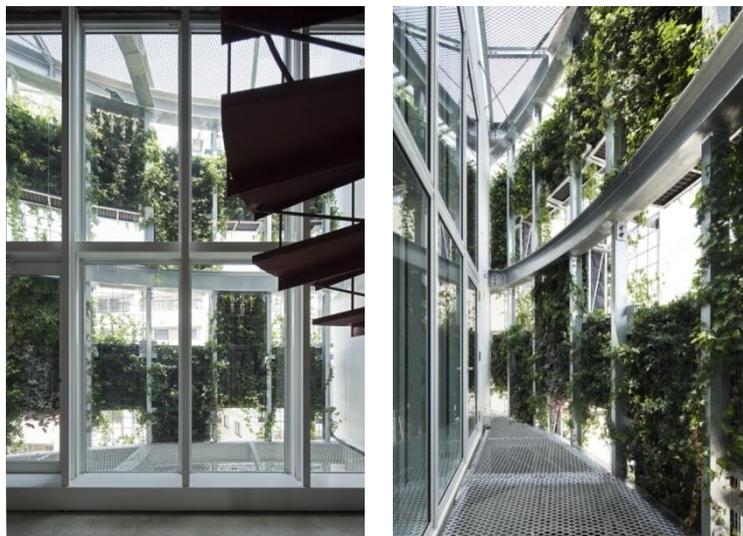
Recentemente inaugurado, estes edifícios de escritórios em Tóquio se destacam na paisagem construída circundante, de geometrias puras e tons de cinza. A fachada principal curva é coberta por uma segunda-pele de vegetação, com um jogo de cheios e vazios, cores e texturas que se modificam ao longo do tempo (Figura 70).



Figura 70: A fachada principal do edifício Vent Vert, com a segunda-pele de vegetação (Fonte: EDWARD SUZUKI, 2013)

Ocupando um espaço total de 117 m², o *Vent Vert* - “vento verde” em francês, tem como objetivo oferecer uma experiência única aos seus ocupantes em comparação com os edifícios vizinhos. Para tanto, a principal característica é a *cortina verde*, que dá forma à fachada principal e pode ser apreciada tanto pelas pessoas que passam na rua, quanto pelos ocupantes do prédio, que interagem com a vegetação, desfrutando de uma bela paisagem e de benefícios para sua saúde (DESIGN BOOM, 2013).

A função técnica principal da *cortina verde* é filtrar o acesso dos raios solares através das áreas envidraçadas que delimitam os ambientes internos. A instalação das treliças possui posição afastada em relação ao vidro, o que configura um local intermediário que pode ser acessado para manutenção da vegetação (Figura 71). Essa manutenção é facilitada pelo sistema automatizado de irrigação, com sensores de umidade que irão entrar em ação conforme a necessidade da vegetação, de acordo com as alterações climáticas.



(a)

(b)

Figura 71: a) As *cortinas verdes* visualizadas a partir do interior; b) a passarela que permite a manutenção (Fonte: EDWARD SUZUKI, 2013)

CAPÍTULO V - ESTUDO EXPERIMENTAL: CAPACIDADE DE SOMBREAMENTO DAS CORTINAS VERDES

5.1. OBJETIVO DO EXPERIMENTO

A estratégia de pesquisa denominada experimento, segundo Yin (2001), pode ser aplicada à questões da espécie “como” e “porquê” e para fenômenos contemporâneos. A principal diferenciação em relação ao estudo de caso é que o pesquisador possui maior controle sobre os eventos, realiza a manipulação dos elementos e variáveis, de acordo com os objetivos e interesses do estudo. Tem como principal foco ser uma avaliação explicativa de causa e efeito.

Neste caso, a avaliação não é realizada em cima de objetos concretos, e sim, a partir dos modelos de objetos ou eventos que estão sendo estudados, construídos na forma de protótipos que simulem a situação real (SERRA, 2006). Esses protótipos podem reproduzir mais ou menos detalhes do objeto real, de acordo com os objetivos da pesquisa e das limitações de execução, ou seja, podem ser simplificados.

Yin (2001) pondera ainda que os experimentos são realizados, geralmente, em ambientes controlados, como laboratório. Mas existe a variação denominada “quase-experimento”, onde algumas variáveis são controladas e outras não. Esta é a circunstância deste estudo, uma vez que o experimento não será executado em laboratório e sim ao ar-livre.

Com base nessas definições, optamos por designar o estudo realizado de “protótipo experimental”, por ser uma simplificação, em pequena escala, da condição de aplicação das *cortinas verdes* em edificações.

O objetivo principal da realização do protótipo experimental é coletar dados sobre a capacidade de bloqueio da radiação solar de algumas espécies vegetais trepadeiras, adaptadas ao clima subtropical do sul do Brasil, que podem ser utilizadas na tipologia de proteção solar denominada *cortina verde*. Desta forma, os dados coletados objetivam caracterizar a área de preenchimento de folhagem de cada vegetação, quantificando o Percentual de Transmissão Solar (identificado a partir de agora pela sigla PTS), variável ao longo de um ano de observação, para fins de utilização em simulações computacionais de desempenho energético de edificações.

5.2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento consiste na construção de um protótipo simplificado, que simula a aplicação das *cortinas verdes*, em pequena escala. O modelo está sendo considerado simplificado por não agregar o elemento edificação ao arranjo, ou seja, considerar somente a *cortina verde*, de forma isolada, sem vínculo com uma área construída específica. Ressalta-se que, para o estudo em questão, que tem

como meta avaliar a capacidade de sombreamento do elemento, é mais fácil a manipulação e sem prejuízo para a pesquisa, considerar a *cortina verde* de forma isolada e, posteriormente, generalizar os resultados para diferentes formas de aplicação, como por exemplo, em conjunto com vidraças.

5.2.1. Caracterização da região de implantação

O protótipo foi executado na cidade de Formigueiro, região central do Estado do Rio Grande do Sul, cuja localização geográfica é de, aproximadamente, latitude 30°S e longitude 53°30'W.

Formigueiro caracteriza-se como cidade de pequeno porte e está distante aproximadamente 65 km de Santa Maria, a cidade de médio porte mais próxima. Da capital do Estado, Porto Alegre, está a 287 km de distância. A altitude média da cidade é de 100 metros acima do nível do mar.

Os dados meteorológicos disponíveis mais próximos do local são da cidade de Santa Maria - RS, que possui duas estações, uma convencional (código 83936, operando desde 2012) e outra automática (código A803, instalada em 2001), posicionadas na latitude 29,7°S e longitude 53,7°W (INMET, 2012).

As Normais Climatológicas, segundo dados obtidos na Estação Convencional de Santa Maria – RS, para o período de 1961 a 1990, estão listadas na Tabela 01. O clima da região caracteriza-se, portanto, como subtropical úmido, com as estações do ano bem definidas, e médias de temperatura que variam de 13,9°C no período de inverno até 24,2°C no verão. A umidade relativa do ar é alta durante todo o ano e as chuvas são regularmente distribuídas.

Tabela 01: Normais Climatológicas de Santa Maria, RS (período de 1961 a 1990)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Temp. Média (°C)	24,2	23,9	21,9	18,4	15,9	13,9	14,1	14,2	16,5	18,6	21,0	23,3	18,8
Temp. Média Máxima (°C)	30,4	30,0	28,2	25,0	22,1	19,2	19,6	20,3	22,5	24,8	27,3	29,5	24,9
Temp. Média Mínima (°C)	19,1	19,5	17,9	14,5	11,8	9,3	9,5	10,4	11,3	13,5	15,9	18,3	14,3
Umidade Rel. Média (%)	71,0	76,0	79,0	80,0	82,0	81,0	80,0	78,0	78,0	73,0	71,0	69,0	76,5
Precipitação Média (mm)	163,0	127,2	136,2	121,4	127,5	139,3	144,9	142,1	124,3	128,2	120,5	142,2	1616
Vel. Média Vento (m/s)	2,93	2,89	2,51	2,18	2,17	2,64	2,91	2,91	3,12	3,30	3,18	3,08	2,82

Fonte: INMET, 2012

Quanto ao local de implantação do protótipo, este se situa em campo aberto, não existindo obstruções significativas no entorno que possam causar sombreamento durante o dia. As edificações mais próximas estão a aproximadamente 30,0 metros de distância para Leste e para Oeste, o que ocasiona sombra somente nos primeiros momentos da manhã e ao final do dia (Figura 72). Esta condição de interferência mínima do sombreamento do entorno é importante para a coleta dos dados, no entanto, ressalta-se que algumas espécies de vegetação adaptam-

se melhor em situações de meia sombra, o que possivelmente ocorra em uma aplicação real em um contexto urbano consolidado.



Figura 72: Entorno do local de implantação do protótipo experimental; a) direção Leste; b) direção Oeste

5.2.2. Estrutura do protótipo experimental

Para a estrutura do protótipo, foi fixada ao terreno, com auxílio de dois suportes nas extremidades, uma tela metálica de 6,30 m de largura por 1,20 m de altura, estando afastado a 0,30 m do solo, o que totalizou uma altura de 1,50 m. A posição de implantação, em relação à orientação solar, foi seguindo o eixo Norte-Sul, estando, portanto, as faces da tela metálica voltadas para as orientações Leste e Oeste (Figura 73).

O correto posicionamento em relação à orientação solar foi obtido com o cruzamento de três técnicas: através da imagem aérea disponível (com a posição do Norte geográfico); com a fixação do primeiro suporte e observação da sombra do mesmo ao meio-dia (marcação do sentido Norte-Sul); bem como com o auxílio de uma bússola, sendo que a declinação magnética foi obtida a partir dos dados disponibilizados no site do Observatório Nacional (MCT, 2011), correspondendo, no dia 04 de junho de 2011, a $-14^{\circ}24'L$.



Figura 73: Imagem aérea do local de implantação do protótipo, com marcação da posição do suporte com tela metálica (Fonte: GOOGLE EARTH, 2011, adaptado)

Essa tela serve de suporte para o crescimento das espécies trepadeiras selecionadas, sendo que o comprimento total foi dividido em cinco partes, de aproximadamente 1,10 m cada, com espaçamento de 0,20 m, de forma a delimitar a área de crescimento de cada espécie de vegetação, sem sobreposição.

A tipologia da tela metálica, um aramado que forma células em losango, foi escolhida por possuir pequena área de superfície em metal, em relação aos vazados de sua célula. Este fator é relevante para a pesquisa, uma vez que o objetivo é verificar o sombreamento da espécie em si, com o mínimo de influência do suporte agregado a ela.

A seguir, é apresentado o projeto técnico da estrutura do protótipo, bem como imagens da implantação, que aconteceu em julho de 2011.

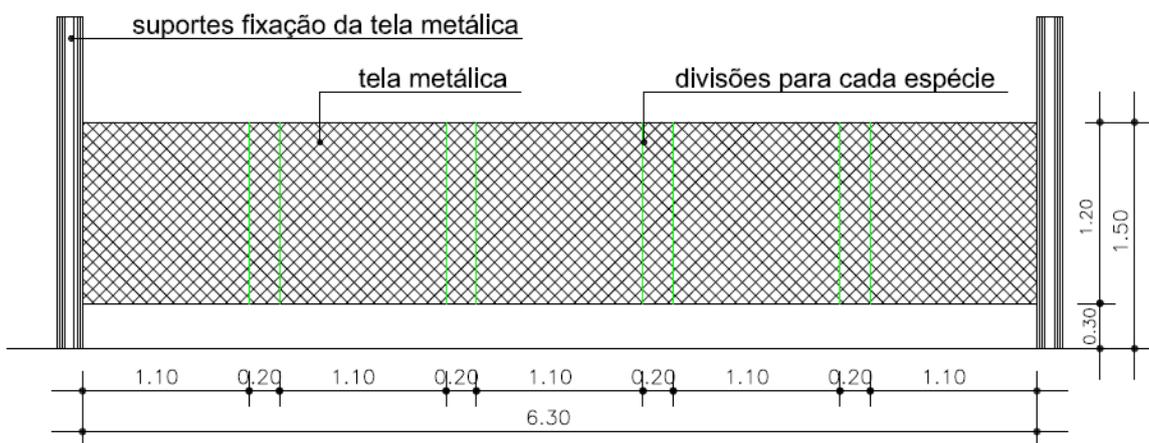


Figura 74: Projeto técnico da estrutura do protótipo experimental

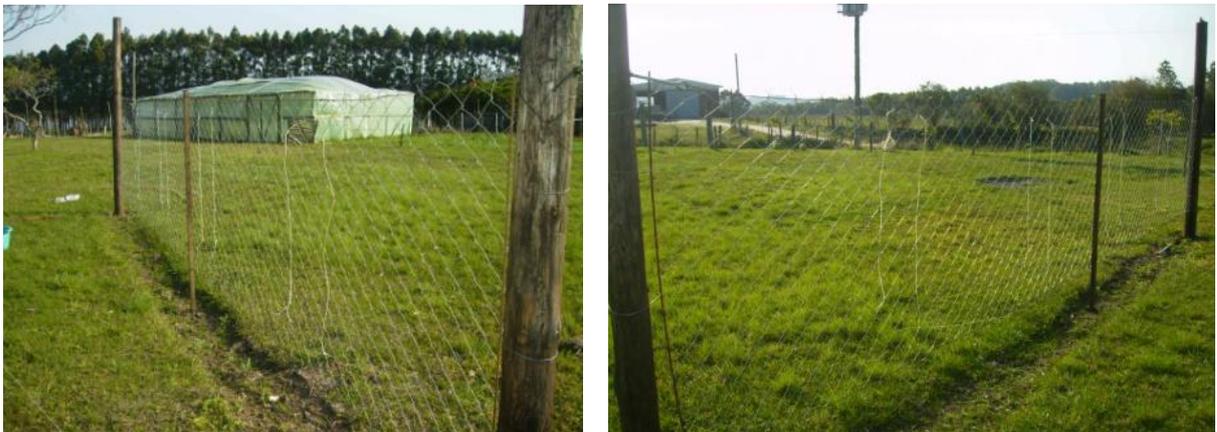


Figura 75: Estrutura do protótipo executada no local de implantação, com as divisões para cada espécie

5.2.3. Preparação do solo e procedimento de plantio das espécies

Antes do plantio das espécies, foi realizada a análise do solo do local, verificando suas condições e aplicando as correções pertinentes. A amostra de solo foi retirada de diferentes pontos próximos à estrutura do protótipo, até a profundidade de aproximadamente 0,30 m. Esta amostra foi encaminhada ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, cujos resultados do laudo técnico encontram-se no Anexo A.

A partir dos resultados obtidos no laudo, realizou-se uma consultoria com o Engenheiro Agrônomo Gilmar Schafer, docente da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que interpretou os dados e instruiu a forma adequada de preparação do solo antes do plantio das espécies. O Quadro 02 resume a análise e a interpretação dos resultados.

Quadro 02: Resultado da análise de solo e sua interpretação

pH	5,2	Baixo
Ca	9,3 cmol _d /dm ³	Alto
Mg	1,3 cmol _d /dm ³	Alto
MO	2,2 %	Baixo
S	10,5 mg/dm ³	Alto
P	6,8 mg/dm ³	Médio
K	0,072 cmol _d /dm ³	Muito baixo
Cu	1,0 mg/dm ³	Alto
Zn	33,9 mg/dm ³	Alto
B	0,4 mg/dm ³	Alto

Fonte: CCR – UFSM (2011) e SCHAFFER (2011)

A correção do solo e adubação pré-plantio foi assim sugerida e detalhada por Schafer (2011), sendo realizada em agosto de 2011:

- Realizar uma mistura dos seguintes componentes, nas proporções: Calcário Filler – 370 g/m²; Superfosfato triplo – 9 g/m²; Cloreto de potássio – 18,5 g/m² (Figura 76-a).
- Espalhar a mistura de forma uniforme na superfície a ser cultivada e também incorporar aos primeiros 0,20m de solo (Figura 76-b).



(a)

(b)

Figura 76: a) Componentes para correção do solo e adubação pré-plantio; b) Distribuição no local destinado ao plantio.

Para o plantio de cada espécie foi demarcado o local de abertura da cova, em posição central em relação ao espaço delimitado na estrutura de suporte. Cada cova foi aberta com tamanho aproximado de 30 cm x 30 cm, e profundidade também de 30 cm. Esta profundidade foi regulada para cada muda, de acordo com a altura do recipiente em que estava acondicionada, de modo que ficasse no mesmo nível do solo depois de plantada.

Para a preparação da adubação de plantio, foi realizado o procedimento sugerido por Schafer (2011), com base em recomendações bibliográficas para plantas ornamentais de forma geral. Ressalta-se que as quantidades propostas de insumos no plantio e, posteriormente, no crescimento das espécies, são para a condição de cultivo diretamente no solo. No caso de plantio em floreiras, novas recomendações devem ser estudadas. Desta forma, ao solo retirado da cova foram acrescentados os seguintes componentes: 5 litros de esterco decomposto (bovino); 150 gramas de superfosfato triplo; 300 gramas de calcário (Figura 77-a). Os componentes foram misturados de forma homogênea e recolocados na cova, já com a muda na posição adequada (Figura 77-b). Após o plantio, o local foi irrigado de forma abundante, com pelo menos 20 litros de água em cada cova.



Figura 77: a) Componentes para adubação da cova; b) Plantio das espécies

5.2.4. Seleção das espécies

A seleção das espécies para plantio no protótipo partiu após a confecção de uma lista prévia de plantas consideradas aptas para o uso em *cortinas verdes*, para o clima subtropical do Sul do Brasil (Apêndice A). Assim, os critérios mais relevantes considerados nesta lista foram:

- Adaptação ao clima local, que possui inverno rigoroso;
- Estrutura e forma de fixação apta para cultivo em suportes verticais;
- Rusticidade, vigor e altura que podem alcançar;
- Grau de fechamento das folhas e sua condição perene ou caducifólia;
- Plasticidade.

Além disso, para a seleção das espécies que iriam compor o experimento, considerou-se a disponibilidade de mudas para aquisição na região, que já estivessem com maior porte, tendo em vista o pouco tempo disponível para o seu desenvolvimento no protótipo (aproximadamente dois anos, antes do início das coletas de dados) e por não ser possível uma previsão detalhada do seu comportamento.

Em um primeiro momento, em setembro de 2011, cinco espécies diferentes foram selecionadas, sendo adquirida somente uma muda de cada tipo com o porte variando entre 1,0 a 1,5 metros. A época para o plantio escolhida foi o início da primavera, quando as temperaturas estão mais amenas. Além dos critérios de

escolha, já mencionados, procurou-se a seleção de espécies com algumas características diferenciadas entre si, em relação a sua estrutura e densidade de fechamento dos galhos e folhas, quanto à época de floração e, principalmente, quanto à permanência ou não da folhagem (perenes ou caducifólias) - aspecto relevante para a caracterização de desempenho das *cortinas verdes* em climas compostos, com estação quente e fria.

Desde o plantio das primeiras matrizes, até o início do período de coleta dos dados definitivos (junho de 2013), algumas mudas foram acrescentadas para acelerar o processo de fechamento da vegetação e outras espécies foram substituídas por apresentarem problemas de adaptação.

Desta forma, as cinco espécies que constituíram o protótipo experimental estão descritas a seguir, sendo que as informações detalhadas de cada vegetação encontram-se no Apêndice A.

Nome científico: *Wisteria floribunda*

Nome Popular: Glicínia

Folhagem: caducifólia

CrITÉRIOS da escolha: selecionada principalmente pela folhagem caducifólia, aspecto importante para a utilização nas *cortinas verdes* em climas compostos. Esta espécie perde as folhas no inverno, mantendo somente a floração, o que proporciona grande efeito ornamental neste período.



Figura 78: a) Exemplo de aplicação (Fonte: PPOW, 2011); b) Plantio da espécie *Wisteria floribunda* no protótipo experimental.

Nome científico: *Campsis grandiflora*

Nome Popular: Trombeta-chinesa

Folhagem: caducifólia

CrITÉRIOS da escolha: Selecionou-se por ser outra espécie de folhagem caducifólia, diferenciando-se da *Wisteria floribunda* por perder totalmente folhas e flores no inverno, evidenciando seus galhos, que tendem a ser mais densos e de maior diâmetro.



Figura 79: a) Exemplo de aplicação (Fonte: PLANTA SONYA, 2012); b) Plantio da espécie *Campsis grandiflora* no protótipo experimental.

Nome científico: *Trachelospermum jasminoides*

Nome Popular: Jasmim-leite

Folhagem: perene

Critérios da escolha: Escolhida por possuir folhagem perene e folhas brilhantes, bem como flores muito perfumadas – o que gera um aspecto plástico e sensorial agradável. Também por ser uma espécie de crescimento menos vigoroso, com uma densidade menor de folhas e galhos.



Figura 80: a) Exemplo de aplicação (Fonte: THE GARDEN SAGE, 2011); b) Plantio da espécie *Trachelospermum jasminoides* no protótipo experimental

Nome científico: *Lonicera japonica*

Nome Popular: Madressilva-creme

Folhagem: Perene

Critérios da escolha: Foi selecionada por ser vigorosa e de crescimento rápido. Também por adaptar-se bem ao clima da região sul do país, onde é encontrada com frequência.

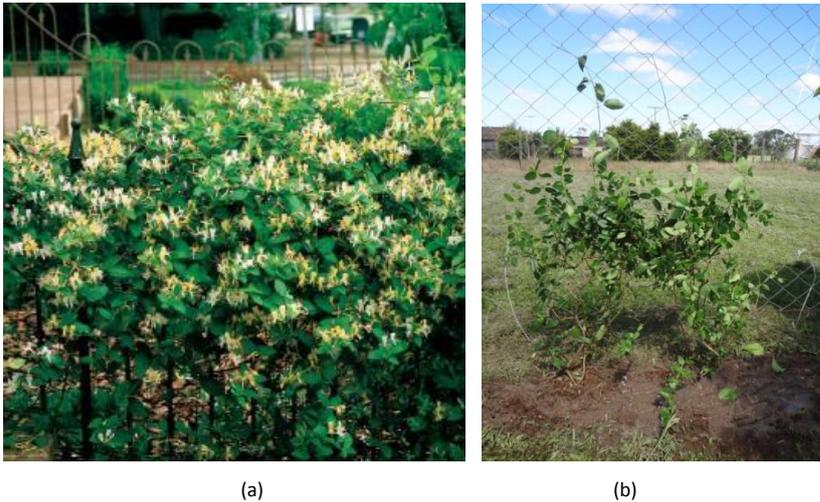


Figura 81: a) Exemplo de aplicação (Fonte: LA JARDINERIA, 2012); b) Plantio da espécie *Lonicera japonica* no protótipo experimental.

Nome científico: *Thunbergia grandiflora*

Nome Popular: Tumbérgia-azul

Folhagem: Perene

Critérios da escolha: Espécie selecionada mais vigorosa, com o crescimento mais rápido e que tende a ter a folhagem mais densa. Além disso, é perene e possui flores quase o ano todo, mantendo as mesmas propriedades praticamente em todas as estações.



Figura 82: a) Exemplo de aplicação (Fonte: PLANTTHIS, 2011); b) Plantio da espécie *Thunbergia grandiflora* no protótipo experimental

5.2.5. Protocolo de acompanhamento e manutenção

Após o plantio, e durante todo o período de desenvolvimento das espécies, foi realizado o acompanhamento e manutenção, da seguinte forma:

- Visita com periodicidade de, no mínimo, uma vez por semana para irrigação e controle de pragas, principalmente formigas cortadeiras. A irrigação aconteceu de forma manual, com mangueira, sendo a água proveniente de cisterna que recolhe a água da chuva, de um poço ou água tratada, de acordo com a disponibilidade. As formigas foram combatidas com formicidas, nos arredores da área de plantio.
- Visita semanal/quinzenal ao local para verificação das condições de desenvolvimento das mudas e fixação dos novos brotos, conforme necessidade de distribuição da planta no espaço a ela destinado.
- Registro mensal do seu desenvolvimento, por meio de fotografias. Para facilitar o contraste das trepadeiras em relação à vegetação de fundo, foi colocada uma superfície de cor branca atrás das plantas. O Apêndice B apresenta alguns dos registros da evolução do desenvolvimento das espécies.
- Além disso, foi realizado o procedimento de adubação de crescimento, seguindo as recomendações de Schafer (2011). As doses e periodicidade foram as seguintes: Nitrogênio (uréia) - dose de 23g por planta por aplicação, parcelar em cinco vezes ao ano; Fósforo (superfosfato triplo) – dose de 250g por planta, dose única no início da primavera; Potássio (cloreto de potássio) - dose de 26g por planta por aplicação, duas doses por ano, sendo uma no início da primavera (todas as espécies) e outra no início do verão (espécies que entram em dormência) ou no início do outono (espécies que não entram em dormência). Desta forma, a adubação era realizada colocando os componentes de maneira uniforme, ao redor da planta, respeitando uma distância de 10 a 15 cm do tronco/haste. A Figura 83 ilustra a realização deste processo.



Figura 83: a) preparação com pesagem e mistura dos componentes; b) Adubação ao redor da planta

Mesmo seguindo todos os procedimentos de manutenção, fatores adversos influenciaram no desenvolvimento de algumas espécies, sendo que nem todas se apresentaram aptas no período de coleta dos dados definitivos. Foi o caso da *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul), que não resistiu a um período de intenso

frio e geada (junho e julho de 2013), inviabilizando sua inclusão no período de análise. Já o *Trachelospermum jasminoides* (jasmim-leite), morreu após a ocorrência de uma doença em sua raiz. Neste caso, ainda foi possível o aproveitamento e tratamento dos dados, a partir das imagens de um período anterior.

5.2.6. Procedimento de coleta e tratamento dos dados

De acordo com o objetivo do experimento e com as delimitações desta pesquisa, foram testadas duas diferentes possibilidades de método para coleta e tratamento dos dados, relacionados com a capacidade de sombreamento das espécies: a quantificação da área de preenchimento da folhagem de cada vegetação, denominado Percentual de Transmissão Solar (PTS), através de imagens fotográficas; e a determinação da Transmitância Solar (λ) média das espécies, com o uso de medidores de radiação solar.

Com a finalidade de comparar os dois métodos e optar pelo procedimento definitivo, realizou-se uma avaliação piloto em duas espécies (*Wisteria floribunda* e *Trachelospermum jasminoides*), no início do mês de abril de 2013. Os dados da avaliação piloto demonstraram que existia equivalência nos resultados entre os dois métodos, quando era considerada a pior situação de acesso e transmissão da radiação solar, ou seja, com incidência aproximadamente frontal e perpendicular dos raios solares na vegetação. Por este motivo, a metodologia para quantificação do Percentual de Transmissão Solar (PTS), obtido através do tratamento de imagens fotográficas, foi a escolhida para este estudo, uma vez que se mostrou mais fácil e de rápida execução, gerando dados mais precisos, possíveis de serem utilizados em programas de simulação computacional e também de serem coletados em situações reais para outras espécies.

A seguir são detalhados os dois métodos testados, analisando os resultados obtidos de forma a detectar as principais vantagens e desvantagens de cada um, as possíveis falhas, dificuldades e limitações, bem como justificando a indicação do procedimento mais adequado para a realização das avaliações definitivas.

a) Método para determinação do Percentual de Transmissão Solar (PTS)

O primeiro método testado na avaliação piloto, e que foi o escolhido também para as avaliações definitivas, baseou-se na quantificação da área de preenchimento da folhagem de cada espécie, ou seja, na determinação da porcentagem de cheios e vazios existentes em cada metro quadrado de vegetação. Esta porcentagem expressa a transmissão solar através da planta (área vazada), em relação à área total de vegetação considerada ($1,0 \text{ m}^2$).

Desta forma, o Percentual de Transmissão Solar (PTS), foi determinado com o tratamento de imagens obtidas no protótipo experimental. As imagens fotográficas foram tomadas frontal e perpendicularmente às plantas, pelo lado de incidência do sol do período da tarde (Oeste), com câmera digital, modelo DSC-WX7, do fabricante Sony, tomando o cuidado para ocorrerem em dia sem vento, de modo que não houvesse movimentação das folhas. Para facilitar o tratamento das imagens, com melhor identificação dos cheios e vazios por contraste, foi posicionado atrás da vegetação um painel de madeira pintado na cor branca. A

localização do painel foi definida como o mais próximo possível da vegetação, sem, no entanto, interferir na disposição dos galhos ou “amassar” suas folhas.

A partir das imagens fotográficas originais do local, foi utilizado o software Adobe Photoshop® para tratamento e compilação dos dados. Inicialmente cada imagem foi recortada nos limites do painel de madeira (1,06 m x 1,60 m); após foi delimitada uma área de 1,0 m² de cada planta, na região onde a vegetação apresentava a melhor condição de desenvolvimento. A Figura 84 exemplifica esta sequência: a) imagem original; b) recortada nos limites do painel; c) delimitação da área de 1,0 m² a ser analisada.

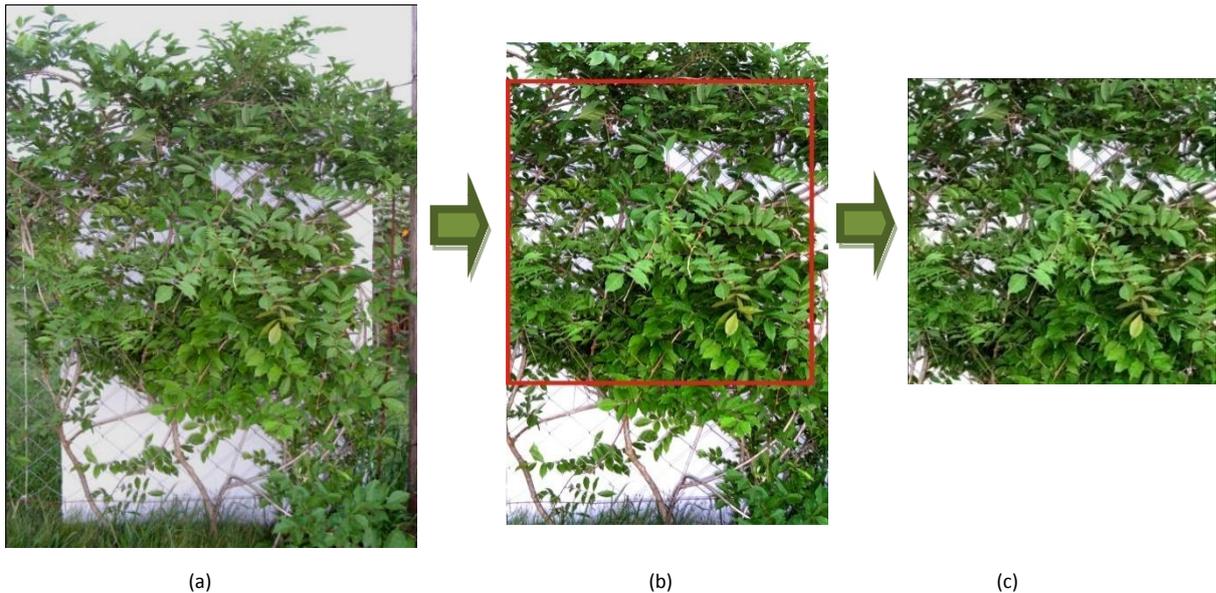


Figura 84: a) Imagem original da espécie *Wisteria floribunda*; b) imagem recortada nos limites do painel; c) área delimitada para tratamento das imagens

A partir de então, cada imagem foi recortada neste limite e iniciou-se o processo de separação entre o que efetivamente é componente da vegetação e o que está vazado ou faz parte da estrutura metálica entre as folhas. Foi desta forma, subtraído da imagem qualquer elemento ou região visível que não fazia parte da planta, com auxílio das ferramentas do software Adobe Photoshop® “varinha mágica” e “borracha”, como se observa na Figura 85. O fundo de cor vermelho foi adotado para facilitar a visualização das regiões vazadas.



Figura 85: Exemplo do tratamento das imagens, na espécie *Wisteria floribunda*. a) situação inicial; b) com subtração das regiões vazadas marcadas em vermelho

Em posse das imagens tratadas, com a separação das regiões que compunham o objeto e o fundo, foi utilizada a ferramenta de contagem de pixels, de modo a calcular a área preenchida pela vegetação e a área vazada. Para a contagem dos pixels, inicialmente é necessário dimensionar a imagem, sendo que foi definida a ocorrência de 20 px/cm, ou seja, para a área delimitada de 1,0 m², 2000 pixels na horizontal e 2000 pixels na vertical, totalizando 4,0 x 10⁶ pixels. Então eram selecionados todos os objetos existentes na imagem, no caso as regiões de folhagem, e realizada a contagem dos pixels, sendo que o resultado já é expresso em fração da área total. Por fim, realizava-se a seleção “inversa”, ou seja, dos vazios entre as folhas e calculava-se novamente a fração da área total.

No exemplo da imagem anterior, a área vazada da *Wisteria floribunda* correspondeu a 0,10 m², sendo, portanto, o Percentual de Transmissão Solar (PTS) igual a:

$$\text{PTS} = 0,10 \text{ m}^2 / 1,0 \text{ m}^2 = 0,10 \text{ ou } \mathbf{10,0\%}$$

b) Determinação da Transmitância Solar (τ)

O segundo método testado na avaliação piloto baseou-se em medições de radiação solar, com equipamentos específicos, buscando um valor médio de Transmitância Solar (τ), em cada vegetação e em diferentes ângulos de altura solar.

Assim, para quantificação da Transmitância Solar (τ) média da vegetação, foi considerada a mesma região de cada espécie já delimitada para a análise do PTS, ou seja, a área de 1,0 m². Esta área total foi dividida em uma malha de 9 sub-regiões e estas novamente subdivididas em uma malha de 3 x 3, totalizando 9 pontos de medição em cada sub-região e 81 pontos de medição na área total de 1,0 m². Para auxiliar na localização e repetibilidade dos pontos de coleta, foi confeccionado um suporte metálico que era afixado ao terreno, atrás da vegetação (Figura 86a), onde uma trama de fios delimitava a região de cada ponto.

A quantificação da Transmitância Solar (τ) média ocorreu com a coleta de dados de radiação solar, em frente e atrás de cada vegetação, utilizando dois medidores de energia solar portáteis, modelo MES-100, do fabricante Instrutherm (Figura 86b). Foram realizados procedimentos de calibração e verificação da precisão dos equipamentos.

As medições de radiação foram tomadas em diferentes ângulos de altura solar: 30°, 20° e 10° em relação ao horizonte, com a finalidade de verificar possíveis variações de desempenho no sombreamento. Para a identificação do momento de iniciar a coleta dos dados, foi confeccionado um medidor de ângulos solares. Este medidor foi executado com a utilização de um transferidor e de uma haste metálica que projeta a sombra solar. Como podemos observar na Figura 86c, o ângulo solar corresponde ao momento em que a sombra está projetada no centro do transferidor. Para maior precisão do equipamento, foram incluídas duas bolhas de nivelamento.

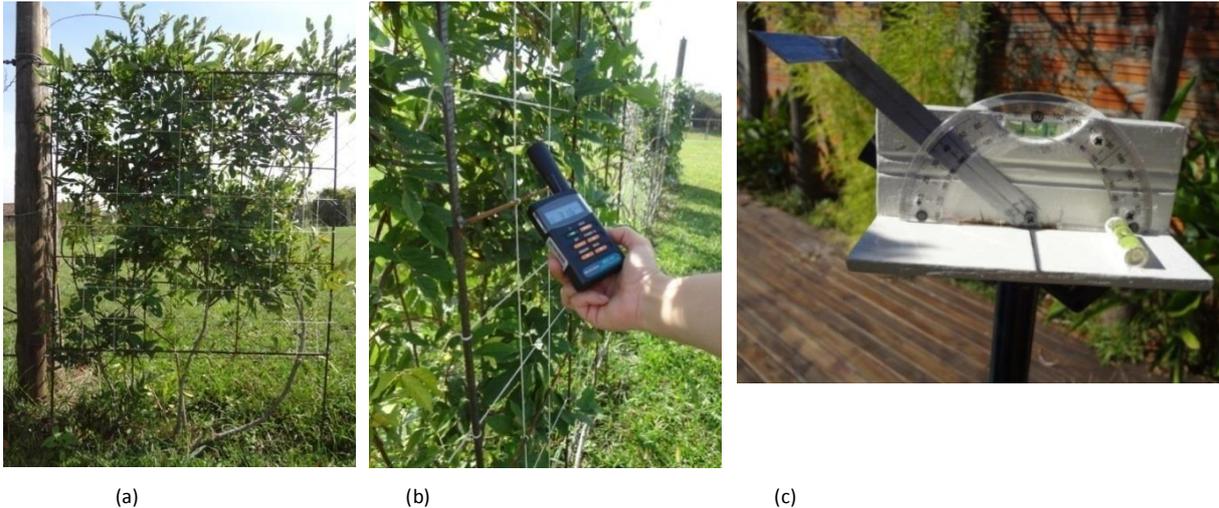


Figura 86: a) Suporte metálico com delimitação dos 81 pontos de medição; b) Posicionamento do medidor de energia solar em cada ponto; c) Medidor de ângulo solar, exemplificando a projeção de sombra na altura solar de 40°

Desta forma, o procedimento para a realização da medição piloto, seguiu as etapas a seguir descritas:

- Posicionamento e nivelamento do medidor de ângulo de altura solar, em frente ao protótipo experimental com as vegetações, fixado a um tripé;
- Ajuste deste medidor para o primeiro ângulo de altura solar a ser medido, ou seja, 30° e também em relação ao ângulo de azimute;
- No momento de início dos registros, quando o sol atinge o primeiro ângulo, a memória dos medidores de radiação solar está zerada, eles são ligados e sua escala de medição é ajustada, ou seja, em W/m^2 ;
- O primeiro registro a ser tomado é com a célula fotovoltaica do medidor direcionada para o sol, em frente à vegetação;
- Em seguida iniciam-se os registros atrás da vegetação, em cada um dos pontos estabelecidos. A cada sub-região de nove pontos mapeados, um novo valor de radiação solar é registrado em frente à vegetação. São, assim, armazenados na memória do aparelho, 81 valores de radiação solar obtidos atrás da vegetação e 10 valores intercalados obtidos na frente, sob ação direta do sol;
- Os dados da memória dos medidores foram, então, transcritos para uma planilha de cálculo do Excel®. Após, as memórias são zeradas e aguarda-se o início da próxima medição, no ângulo de 20°. Todo o procedimento é refeito para este ângulo e, por fim, para o último ângulo, de 10°;
- Na planilha de cálculo, os valores de Transmitância Solar, em porcentagem, são dados pela razão entre as médias das leituras realizadas atrás da vegetação (sombra), pela média das leituras na frente da vegetação (sol), ambas em W/m^2 . Os resultados foram tratados de forma a representar a média para cada uma das nove sub-regiões e também para o total analisado, de 1,0 m^2 de vegetação.

c) Análise comparativa dos resultados para os métodos testados

O resultado da análise das duas espécies testadas na avaliação piloto, seguindo a metodologia de tratamento de imagens, são apresentados na Figura 87 e na Tabela 02, a seguir. Para aprimorar a comparação entre os dois métodos, as imagens também foram divididas em 9 sub-regiões, calculando-se o percentual em cada sub-região e também na área total de 1,0 m².

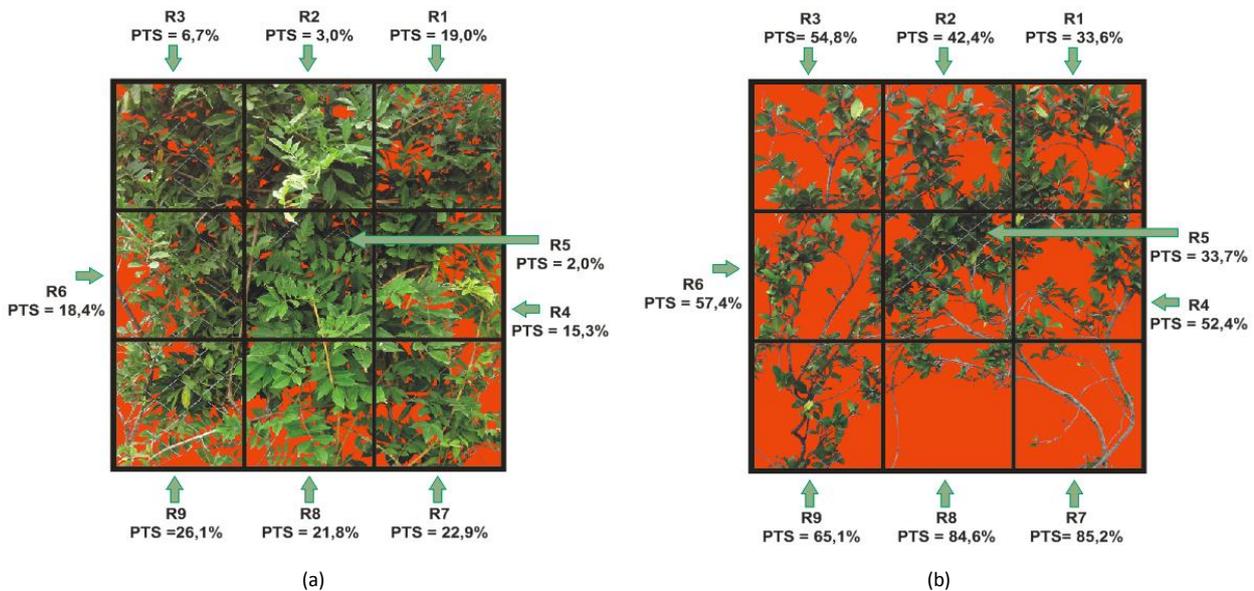


Figura 87: Quantificação do PTS nas nove sub-regiões. a) na espécie *Wisteria floribunda*; b) na espécie *Trachelospermum jasminoide*

Tabela 02: Valores de PTS total e de cada sub-região em cada espécie

ESPÉCIE	PTS total	PTS R1	PTS R2	PTS R3	PTS R4	PTS R5	PTS R6	PTS R7	PTS R8	PTS R9
<i>Wisteria floribunda</i>	13,9%	19,0%	3,0%	6,7%	15,3%	2,0%	18,4%	22,9%	21,8%	26,1%
<i>Trachelospermum jasminoide</i>	55,8%	33,6%	42,4%	54,8%	52,4%	33,7%	57,4%	85,2%	84,6%	65,1%

Este método se mostrou eficiente e de fácil execução, repercutindo através de números percentuais o grau de fechamento da folhagem de cada vegetação, quando consideramos os cheios e vazios observados frontalmente. Nesta situação, o acesso dos raios solares acontecerá de forma direta, nas regiões em que atravessar a vegetação pelos vazados. Já onde existe folhagem, será projetada sombra na fachada atrás da planta. Desta forma, o PTS total em cada m² será tanto menor quanto mais fechada for a folhagem e galharia da vegetação. Isto pode ser observado na espécie *Wisteria floribunda*, que é mais vigorosa e possui uma densidade maior de folhas. Por outro lado, a espécie *Trachelospermum jasminoide* possui crescimento mais lento, folhas de tamanho pequeno e menor grau de fechamento da folhagem, resultando em um PTS maior.

Este valor de PTS total, por conclusão, corresponde à média para cada metro quadrado da *cortina verde* que compõem uma fachada, considerando uma situação aproximadamente homogênea de distribuição de uma mesma espécie (dentre as avaliadas), nesta condição de crescimento e na estação climática da avaliação piloto (início do outono).

No caso da metodologia para determinação da Transmitância Solar média, os resultados obtidos são apresentados a seguir, em cada ângulo de altura solar medido, por sub-região e também para o total de 1,0 m² de cada vegetação. A Tabela 03, abaixo, demonstra os resultados de transmitância solar calculados para a espécie Glicínia (*Wisteria floribunda*), nos ângulos de altura solar de 30°, 20° e 10°.

Tabela 03: Valores de Transmitância Solar (τ) média total e de cada sub-região na *Wisteria floribunda*

ÂNGULO ALTURA SOLAR	τ Média Total	τ Média R1	τ Média R2	τ Média R3	τ Média R4	τ Média R5	τ Média R6	τ Média R7	τ Média R8	τ Média R9
30°	14,0%	10,9%	5,0%	12,3%	6,8%	12,4%	24,2%	8,8%	17,2%	28,2%
20°	20,3%	18,8%	6,3%	30,2%	13,7%	10,1%	42,2%	7,0%	22,9%	31,2%
10°	16,0%	12,6%	8,1%	8,9%	18,1%	8,3%	20,5%	22,6%	20,2%	24,3%

Considerando os resultados, pode-se observar que a média total de transmitância solar em 1,0 m² da planta, variou de 14,0% até 20,3%, dependendo do ângulo de altura solar. Esta variação repercute a estrutura morfológica da vegetação, onde, se a direção de acesso dos raios solares se modifica, também será diferenciado o caminho para atravessar as camadas de folhagem. Pelo grande dinamismo tridimensional do arranjo de folhas e galhos da planta, por vezes os raios solares atravessarão regiões mais vazadas ou, em outros momentos, incidirão em barreiras físicas mais carregadas. Além disso, dependendo da característica das folhas, mais brilhosas ou opacas, mais translúcidas ou densas, as parcelas de energia refletidas ou transmitidas irão influenciar no resultado da transmitância solar.

Em relação à outra espécie analisada nesta medição piloto, o Jasmim-leite (*Trachelospermum jasminoide*), os resultados são apresentados na Tabela 04. Neste caso, a média total de transmitância solar, por metro quadrado da vegetação, variou de 35,8% (maior capacidade de bloqueio dos raios solares) até 55,7%, dependendo do ângulo de incidência em relação à altura solar. Como já comentado, esta porcentagem é variável de acordo com o grau de fechamento da folhagem e também pela existência de mais ou menos camadas de folhas que possam interceptar os raios solares nos diferentes ângulos. Quando o ângulo de altura solar é maior (30°), os raios são forçados a atravessar mais camadas de folhas, resultando em uma capacidade de bloqueio maior. Por outro lado, à medida que o sol desce e incide de forma mais perpendicular (20° e depois 10°), os vazados entre as folhas são caminho direto para a passagem da radiação, não existindo, por vezes, praticamente nada de obstrução.

Tabela 04: Valores de Transmitância Solar (τ) média total e de cada sub-região na *Trachelospermum jasminoide*.

ÂNGULO ALTURA SOLAR	τ Média Total	τ Média R1	τ Média R2	τ Média R3	τ Média R4	τ Média R5	τ Média R6	τ Média R7	τ Média R8	τ Média R9
30°	35,8%	29,5%	45,3%	46,3%	20,7%	7,5%	33,3%	50,4%	43,6%	45,8%
20°	47,0%	44,3%	34,1%	50,5%	48,7%	29,5%	26,8%	61,9%	80,5%	46,5%
10°	55,7%	38,6%	45,7%	48,4%	56,7%	28,8%	61,1%	84,8%	67,6%	69,8%

Em posse dos dados coletados na avaliação piloto, seguindo cada uma das metodologias, foi realizada uma tabela comparativa entre os resultados no ângulo de altura solar 10° e as porcentagens calculadas de PTS. Esta comparação tem o intuito de observar possíveis correlações entre os dois métodos, já que a incidência dos raios solares de forma mais perpendicular aproxima-se da situação de cheios e vazios captados pelas imagens utilizadas na quantificação do PTS. As Tabelas 05 e 06, a seguir, contêm estes resultados e, para uma melhor visualização das correlações aferidas entre os dois métodos, as informações de PTS e transmitância solar foram reunidas nas imagens das vegetações (Figura 88).

Tabela 05: Comparativo entre os dados de PAF e de Transmitância Solar (τ) no ângulo de altura solar 10° , na espécie *Wisteria floribunda*.

	Média Total	Média R1	Média R2	Média R3	Média R4	Média R5	Média R6	Média R7	Média R8	Média R9
PTS	13,9%	19,0%	3,0%	6,7%	15,3%	2,0%	18,4%	22,9%	21,8%	26,1%
Altura Solar 10°	16,0%	12,6%	8,1%	8,9%	18,1%	8,3%	20,5%	22,6%	20,2%	24,3%

Tabela 06: Comparativo entre os dados de PAF e de Transmitância Solar (τ) no ângulo de altura solar 10° , na espécie *Trachelospermum jasminoide*.

	Média Total	Média R1	Média R2	Média R3	Média R4	Média R5	Média R6	Média R7	Média R8	Média R9
PTS	55,8%	33,6%	42,4%	54,8%	52,4%	33,7%	57,4%	85,2%	84,6%	65,1%
Altura Solar 10°	55,7%	38,6%	45,7%	48,4%	56,7%	28,8%	61,1%	84,8%	67,6%	69,8%

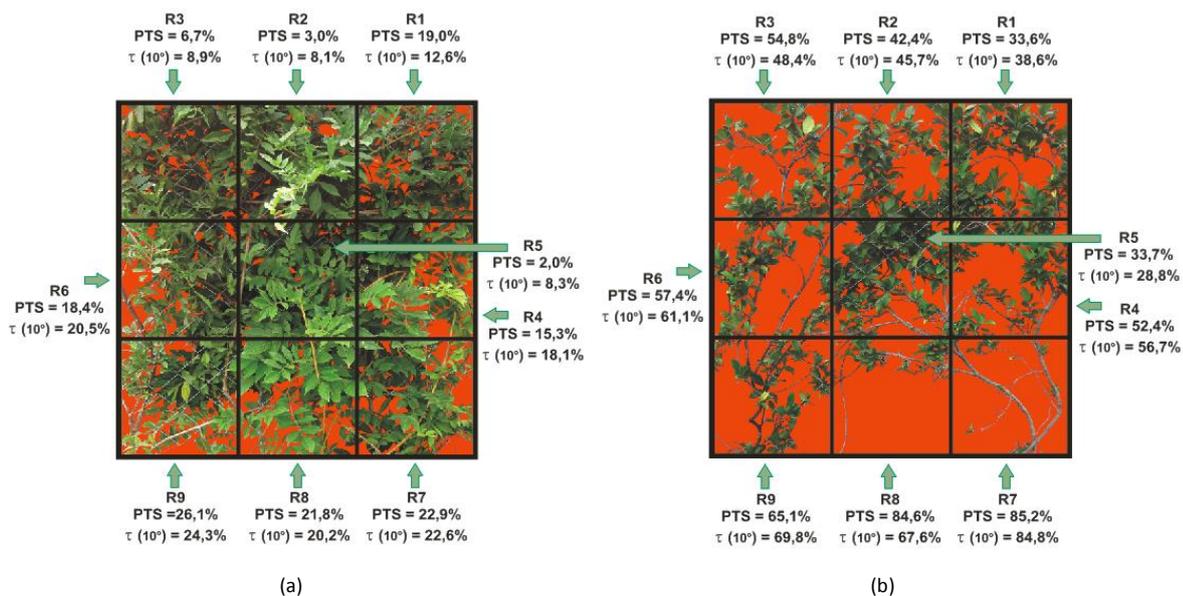


Figura 88: Comparativo entre os dados de PTS e de Transmitância Solar (10°). a) Na espécie *Wisteria floribunda*; b) Na espécie *Trachelospermum jasminoide*

De acordo com os dados organizados de forma comparativa, pode-se observar uma estreita relação entre os métodos, no que diz respeito à lógica e proximidade dos resultados obtidos, tanto na média total para uma área de $1,0 \text{ m}^2$, como para

cada sub-região analisada de forma isolada, cada uma com suas particularidades de maior ou menor grau de fechamento e camadas de folhas. Como dito anteriormente, havia uma expectativa que essas duas situações resultassem em porcentagens com valores parecidos, tendo em vista a semelhança entre a direção de tomada das fotos e de acesso da radiação solar.

Vale destacar que a medição piloto ocorreu em um período do ano (início de abril) em que a incidência dos raios solares, em relação ao azimute, acontece de forma inclinada no protótipo experimental, e não perpendicular como é a posição de tomada das imagens fotográficas. Por este motivo os resultados não poderiam ser idênticos, porém próximos, como foi o caso encontrado. Em uma situação de início dos equinócios de primavera e outono, a incidência irá ocorrer de forma mais perpendicular e a tendência será uma aproximação ainda maior dos valores.

Após esta constatação, optou-se neste trabalho por utilizar a metodologia de tratamento de imagens para realizar as avaliações definitivas, uma vez por mês, durante o período de 12 meses, passando todas as estações do ano e modificações climáticas. Este método se mostrou mais viável e eficiente, mesmo levando em conta a quantidade de variáveis envolvidas e de difícil previsão, quando tratamos de elementos vivos e não estáticos. O intuito principal é gerar parâmetros médios, plausíveis de serem aplicados para situações reais, bem como utilizados em programas de simulação computacional sobre eficiência energética, segundo as próprias simplificações admitidas.

Assim, os principais fatores que influenciaram nesta escolha, além da verificação de proximidade dos resultados entre os dois métodos, foram:

- Dificuldade de execução das medições de radiação solar, tendo em vista a quantidade de equipamentos disponíveis, sua precisão e capacidade de memória. Além disto, haveria dificuldade em realizar as medições com condições climáticas ideais, ou seja, com pleno sol durante todo o período, de acordo com a disponibilidade de tempo para a pesquisa;
- Imprecisão na localização e repetibilidade dos dados nos pontos de coleta, uma vez que os equipamentos são portáteis e direcionados ao sol de forma manual. Devido ao preenchimento muito heterogêneo da vegetação, os valores de radiação solar variam muito com uma pequena mudança de posição.

Ainda, a determinação e escolha da referida metodologia, também foi baseada na intenção de caracterizar a pior situação quanto à possibilidade de redução no consumo energético de uma edificação, considerando diferentes situações climáticas e o comportamento das plantas ao longo do ano, seguindo o raciocínio a seguir.

a) 1º Caso: vegetação com folhagem perene

Nesta situação, primeiramente devemos considerar que as espécies perenes, que mantem sua folhagem durante as diferentes estações do ano, são mais adequadas para compor uma *cortina verde* em regiões de clima quente o ano todo, e também para os períodos com temperaturas mais altas em regiões de clima composto (durante primavera e verão). Isto porque a intenção será aumentar o sombreamento durante estes períodos e, conseqüentemente, reduzir a carga térmica na edificação. Sendo assim, a pior situação de acesso dos raios solares, quando encontrarão maior vazão para atravessar a vegetação de forma

direta, acontecerá quando a incidência for perpendicular, resultando em um PTS maior, conforme captado pelas imagens fotográficas. No caso da incidência com ângulos de maior altura solar, as diversas camadas de vegetação formarão uma barreira mais densa para a transmissão dos raios, o que resultará em um PTS menor que o calculado através das imagens. A Figura 89, a seguir, esquematiza este primeiro caso.

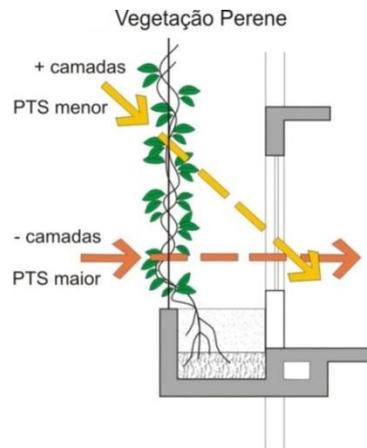


Figura 89: Esquema elucidativo do primeiro caso

a) 2º Caso: vegetação com folhagem caducifólia

Já para os casos em que a vegetação perde suas folhas no período de inverno, total ou parcialmente, seu uso será mais favorável para edificações localizadas em clima composto, como é o caso do clima subtropical da região sul do Brasil. Isto porque, na época do ano em que prevalece o frio, será necessário aumentar o acesso dos raios solares, proporcionando certo grau de aquecimento para a edificação. Assim, no verão, quando a folhagem está vigorosa, a situação será igual à descrita no primeiro caso. Mas, no inverno, o PTS irá aumentar, uma vez que os vazios prevalecerão em relação à folhagem. Ainda, comparando o resultante da incidência dos raios de forma perpendicular ou com alturas solares maiores, irá se perceber que não ocorre diferenciação tão marcante como no primeiro caso, uma vez que não existirão camadas sobrepostas de folhagem, prevalecendo também os vazios. Este raciocínio está esquematizado na Figura 90, justificando que também neste segundo caso, a metodologia do tratamento de imagens se mostra adequada.

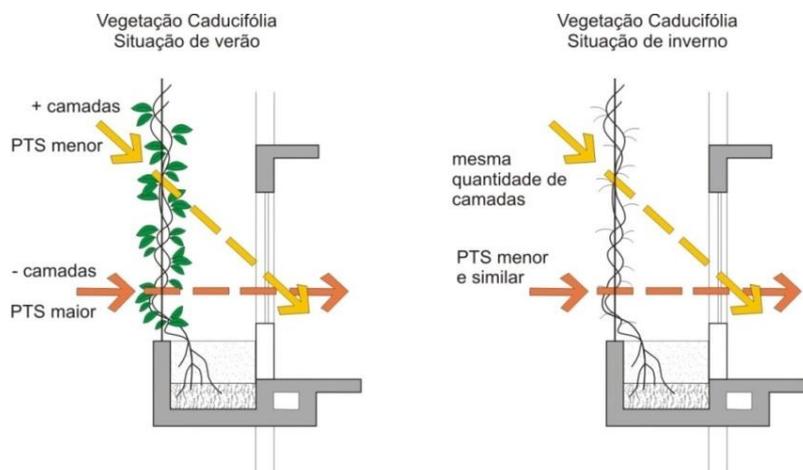


Figura 90: Esquema elucidativo do primeiro caso

5.2.7. Avaliações definitivas

O Quadro 03 apresenta um resumo dos períodos considerados para a coleta dos dados definitivos de cada espécie, uma vez por mês, durante um ano de observação, cujos resultados são analisados a seguir. As imagens foram tomadas entre os dias 15 e 20 de cada mês, de forma que os intervalos estivessem próximos dos 30 dias. Como já mencionado, três espécies foram efetivamente avaliadas no mesmo período, uma espécie foi avaliada tomando-se um período de amostras anterior e a última espécie não foi avaliada.

Quadro 03: Resumo dos períodos e datas de coleta dos dados em cada espécie

ESPÉCIES	PERÍODO DE COLETA DOS DADOS	DATAS
<i>Wisteria floribunda</i> (Glicínia)	Junho de 2013 a maio de 2014	1) 16/junho/2013
<i>Campsis grandiflora</i> (Trombeta-chinesa)		2) 15/julho/2013
		3) 18/agosto/2013
		4) 19/setembro/2013
		5) 19/outubro/2013
		6) 16/novembro/2013
		7) 15/dezembro/2013
		8) 17/janeiro/2014
		9) 16/fevereiro/2014
		10) 15/março/2014
		11) 18/abril/2014
		12) 18/maio/2014
<i>Trachelospermum jasminoide</i> (Jasmim-leite)	Dezembro de 2012 a novembro de 2013	1) 16/dezembro/2012
		2) 18/janeiro/2013
		3) 16/fevereiro/2013
		4) 17/março/2013
		5) 19/abril/2013
		6) 18/maio/2013
		7) 16/junho/2013
		8) 15/julho/2013
		9) 18/agosto/2013
		10) 19/setembro/2013
		11) 19/outubro/2013
		12) 16/novembro/2013
<i>Thunbergia grandiflora</i> (Tumbérgia-azul)	Não foi avaliada	----

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados os resultados após um ciclo anual de observação, coleta de dados e tratamento das imagens de cada vegetação, realizando a análise e discussão sobre o Percentual de Transmissão Solar (PTS) obtido em cada espécie, bem como sua variação ao longo das estações do ano. Primeiramente os resultados obtidos para cada espécie são avaliados individualmente e, após, é realizada uma análise comparativa.

5.3.1. *Wisteria floribunda* (Glicínia)

O resultado das imagens tratadas e do cálculo do Percentual de Transmissão Solar (PTS) da primeira espécie a ser apresentada, no decorrer de um ano de observação, encontra-se a seguir, ilustradas pela Figura 91.

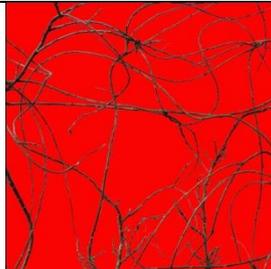
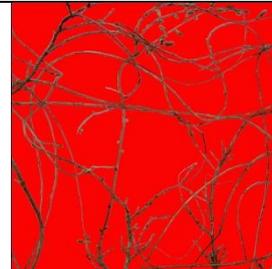
			
JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
PTS = 0,78 ou 78%	PTS = 0,86 ou 86%	PTS = 0,84 ou 84%	PTS = 0,38 ou 38%
			
OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO
PTS = 0,10 ou 10%	PTS = 0,08 ou 8%	PTS = 0,07 ou 7%	PTS = 0,05 ou 5%
			
FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
PTS = 0,05 ou 5%	PTS = 0,04 ou 4%	PTS = 0,04 ou 4%	PTS = 0,06 ou 6%

Figura 91: Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie *Wisteria floribunda*

Observando a sequência de imagens, percebe-se a significativa variação na densidade de folhagem desta espécie ao longo das estações do ano. A glicínia é caducifólia, perdendo suas folhas justamente no período do inverno – junho até agosto, e revelando sua expressiva floração entre o final do inverno e início da primavera. A partir daí, retoma rapidamente a brotação de sua folhagem, até atingir o maior índice de fechamento no verão.

O gráfico da Figura 92 expressa esses diferentes períodos através da variação do PTS. Nos meses de inverno em que as folhas caem (junho, julho e agosto), os índices de transmissão solar são maiores, ficando entre 78% e 86%. Em setembro, início da primavera, o PTS é intermediário devido à presença da floração (38%). Já entre outubro e maio, nos períodos mais quentes do ano, os percentuais de transmissão solar ficaram abaixo de 10%, chegando até um mínimo de 4%. Isto indica um alto grau de fechamento da folhagem, com poucos vazios que permitam a passagem direta da radiação solar.

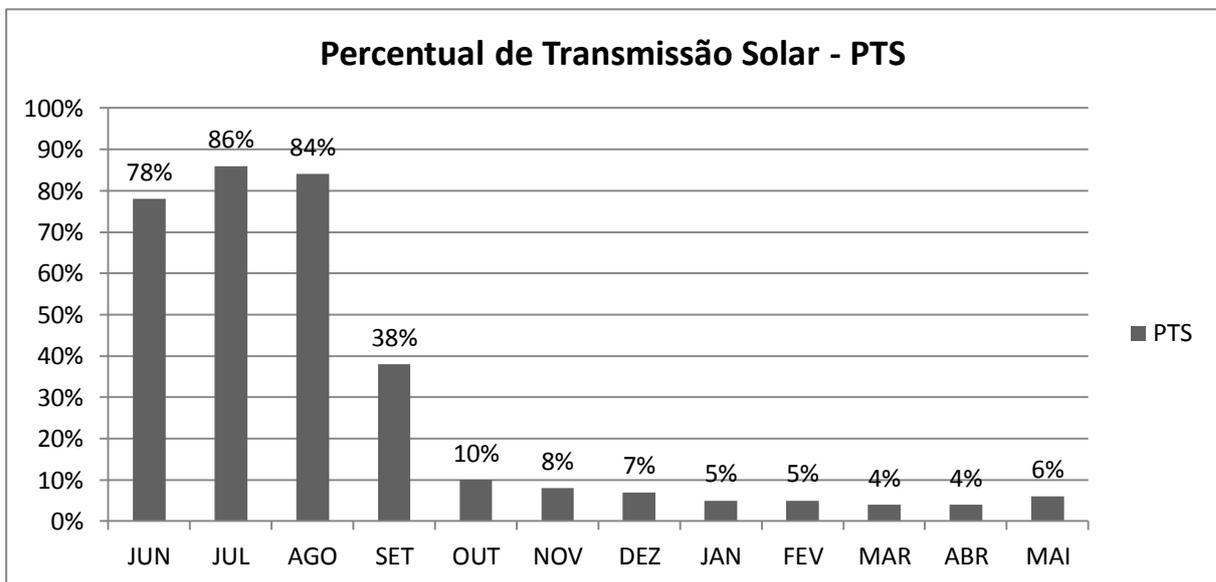


Figura 89: Gráfico do PTS da espécie *Wisteria floribunda*, calculado através das imagens, durante um ano de observação.

Esta variação sazonal de bloqueio da radiação solar, demonstrado na espécie *Wisteria floribunda*, pode ser considerada um ponto positivo para sua utilização em *cortinas verdes* no caso do clima temperado ou subtropical, onde há estação fria e quente. Devido ao seu dinamismo, o uso desta espécie como proteção solar pode representar condição favorável para o desempenho energético da edificação, tanto no verão quanto no inverno, em regiões de altitude e para o sul do país, onde o clima é mais apropriado ao seu desenvolvimento.

Na situação de verão, um maior sombreamento da fachada, principalmente das regiões envidraçadas, será desejável de maneira a reduzir a insolação direta e, por conseguinte, a carga térmica que chega ao edifício. Já no período de inverno, o acesso do calor às áreas internas é útil ao aquecimento do prédio, sobretudo em edificações de uso residencial, onde os ganhos internos de calor são menores. Nestas duas condições extremas, assim como nas situações intermediárias da primavera e do outono, o uso da vegetação caducifólia na *cortina verde* pode auxiliar na redução do consumo de energia para resfriamento ou aquecimento da edificação.

5.3.2. *Campsis grandiflora* (Trombeta-chinesa)

O resultado das imagens tratadas e do cálculo do Percentual de Transmissão Solar (PTS) da segunda espécie apresentada, no decorrer de um ano de observação, encontra-se a seguir, ilustradas pela Figura 93.

JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
PTS = 0,93 ou 93%	PTS = 0,94 ou 94%	PTS = 0,93 ou 93%	PTS = 0,34 ou 34%
OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO
PTS = 0,07 ou 7%	PTS = 0,07 ou 7%	PTS = 0,30 ou 30%	PTS = 0,57 ou 57%
FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
PTS = 0,58 ou 58%	PTS = 0,82 ou 82%	PTS = 0,86 ou 86%	PTS = 0,87 ou 87%

Figura 93: Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie *Campsis grandiflora*

De forma semelhante à primeira espécie analisada, o grau de fechamento da folhagem na Trombeta-chinesa é variável ao longo do ano. Esta espécie também é caducifolia, perdendo totalmente suas folhas e flores no período do outono e inverno. As imagens demonstram que a brotação é retomada no início da primavera, quando a folhagem se desenvolve de forma rápida e vigorosa. A floração aparece no período de verão, quando as folhas vão gradativamente diminuindo.

No entanto, vale ressaltar que a perda gradativa da folhagem nesta espécie ocorre, normalmente, no início do outono, quando as temperaturas médias começam a baixar. Assim, a condição observada pelo experimento foi, em certo grau, atípica para o ano avaliado, com redução da área foliar justamente no período de verão.

O gráfico da Figura 94 demonstra a variação do PTS ao longo das estações do ano. No período do outono e inverno (março até agosto), a trepadeira está sem folhas, o que permite maior transmissão da radiação solar, com valores de PTS altos, entre 82% e 94%. Na época da primavera ocorrem os menores índices de PTS (7% em novembro e dezembro) e no verão a transmissão solar é intermediária, entre 30% e 58%.

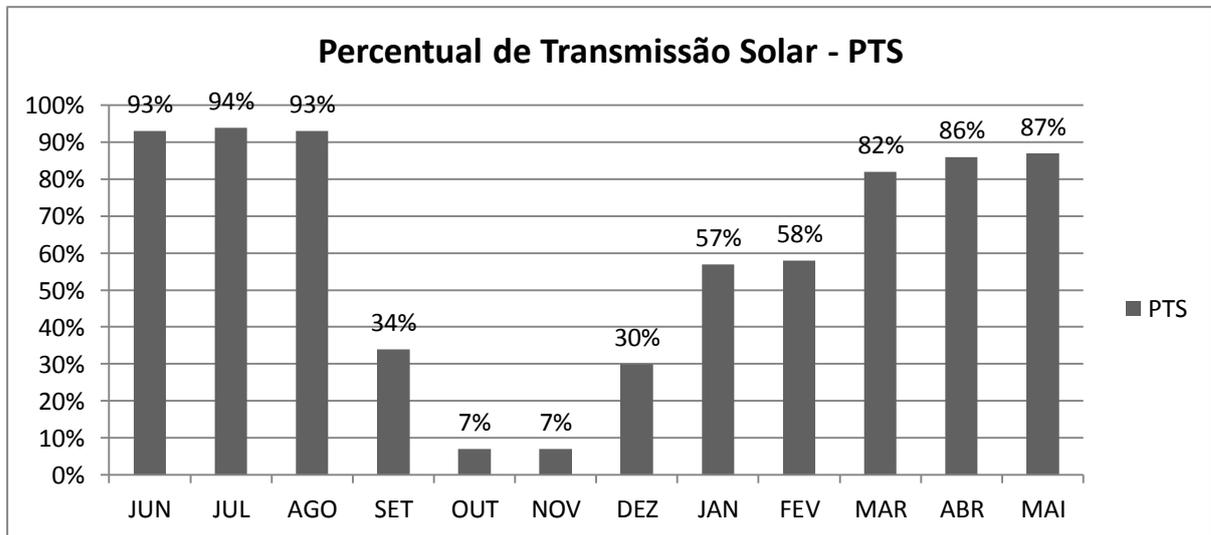


Figura 94: Gráfico do PTS da espécie *Campsis grandiflora*, calculado através das imagens, durante um ano de observação

Sua utilização em elementos de controle solar do tipo *cortina verde* também se revela mais adequada para climas com estação fria e quente. No entanto, para o caso do clima subtropical, os índices de sombreamento medidos para o verão, por não serem muito elevados, podem representar ganhos de calor em demasia. Como já dito, esta situação foi atípica, o que resultará no aumento no consumo de energia com refrigeração artificial quantificados nas simulações, nos períodos com temperaturas altas e forte radiação solar.

5.3.3. *Lonicera japonica* (Madressilva-creme)

O resultado das imagens tratadas e do cálculo do Percentual de Transmissão Solar (PTS) da terceira espécie a ser apresentada, no decorrer de um ano de observação, encontra-se a seguir, ilustradas pela Figura 95.

Observando a sequência das imagens tratadas, primeiramente devemos ressaltar que essa espécie não estava em seu pleno desenvolvimento no início do período de avaliação, em junho de 2013. Isto é claramente visível pelo gradativo fechamento de sua folhagem e lembrando que se trata de uma espécie perene, ou seja, que não perde suas folhas em nenhum momento do ciclo anual. A espécie é bem adaptada ao frio e, mesmo neste período, não há significativa mudança no comportamento da Madressilva-creme, sendo que as folhas existentes permanecem. A floração ocorre praticamente o ano todo, alternando períodos com e sem flores, que são pequenas e têm um agradável perfume.

Por este motivo, optou-se pela realização de uma correção nos valores de PTS medidos, para os meses de junho a outubro, de modo que fosse possível uma avaliação mais condizente do desempenho desta espécie em uma situação real de aplicação. Foi adotado para este período, o valor de PTS resultante da média dos

outros meses, onde a vegetação encontrava-se com seu desenvolvimento máximo. Assim, tomando-se os valores de PTS dos meses de novembro até maio, a média resultou em 0,03 ou 3% de vazados.

			
JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
PTS = 0,41 ou 41%	PTS = 0,41 ou 41%	PTS = 0,16 ou 16%	PTS = 0,09 ou 9%
			
OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO
PTS = 0,07 ou 7%	PTS = 0,04 ou 4%	PTS = 0,03 ou 3%	PTS = 0,03 ou 3%
			
FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
PTS = 0,02 ou 2%	PTS = 0,02 ou 2%	PTS = 0,01 ou 1%	PTS = 0,01 ou 1%

Figura 95: Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie *Lonicera japonica*

No gráfico da Figura 96, a seguir, serão apresentados os resultados originais do PTS e os resultados corrigidos, que serão utilizados posteriormente nas simulações de desempenho energético para esta espécie.

Os dados da *Lonicera japonica* evidenciam sua grande vigorosidade e boa adaptação às condições climáticas do local, tolerando temperaturas baixas e geadas. Trata-se de uma espécie perene e com grau de fechamento da folhagem elevado, o que garante um sombreamento quase total, com poucos vazios entre as folhas que permitam a passagem da radiação solar. Por este motivo, os valores de PTS encontrados ou estimados foram baixos, entre 1% a 4%.

O desempenho energético para aplicação desta espécie em *cortinas verdes*, do ponto de vista térmico, será melhor em climas com predomínio de altas temperaturas o ano todo, onde o sombreamento das áreas envidraçadas é desejável e necessário. Para o clima temperado e subtropical, continuará tendo um desempenho positivo para as épocas mais quentes (primavera e verão),

evitando o excesso de aquecimento da edificação. Por outro lado, durante as estações mais frias, este alto grau de fechamento da folhagem provavelmente será negativo para o consumo de energia, obstruindo praticamente todo o acesso do sol e repercutindo na necessidade de climatização artificial para aquecimento.

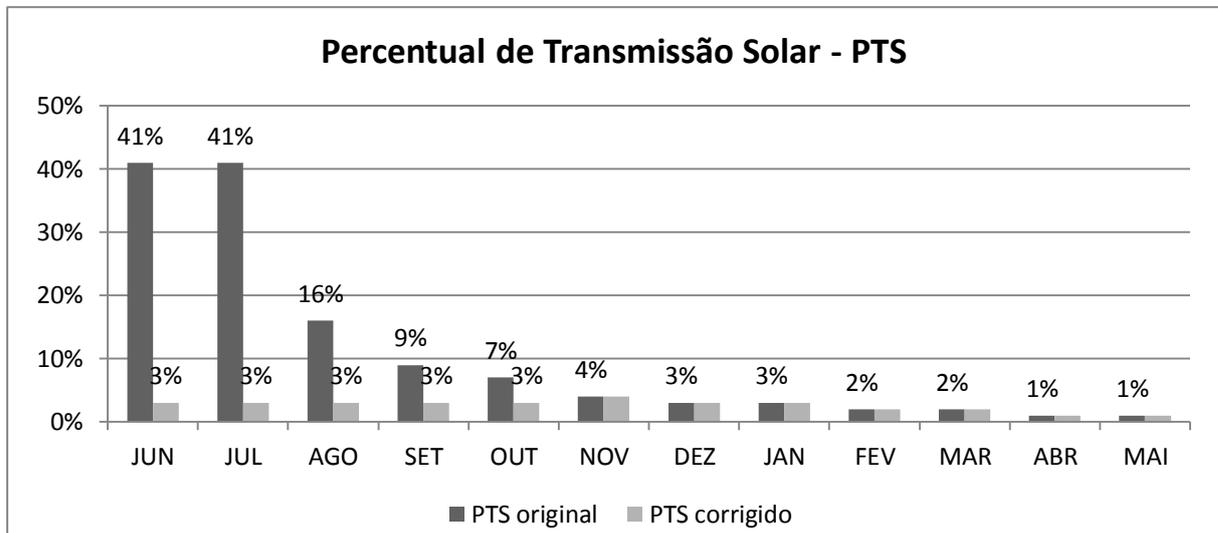


Figura 96: Gráfico do PTS da espécie *Loniceria japonica*, calculado através das imagens, durante um ano de observação

5.3.4. *Trachelospermum jasminoide* (Jasmim-leite)

O resultado das imagens tratadas e do cálculo do Percentual de Transmissão Solar (PTS) da quarta e última espécie avaliada, no decorrer de um ano de observação, encontram-se a seguir, ilustradas pela Figura 97. Como já explicitado, esta espécie foi avaliada em um período anterior às demais, iniciando o ciclo em dezembro de 2012 e terminando em novembro de 2013, motivo pelo qual a ordem das imagens está diferente.

Podemos observar, analisando as imagens com tratamento dos cheios e vazios, que esta espécie apresenta uma condição de fechamento da folhagem intermediária durante todas as estações do ano. O PTS possui pouca variação, oscilando em torno dos 50% (mínimo de 42% e máximo de 51%) nos diferentes meses, independente da estação fria ou quente. Portanto, trata-se de uma espécie perene, típica de clima tropical sendo tolerante a temperaturas mais amenas, mas que possui uma velocidade de crescimento e uma vigorosidade menor que as outras espécies analisadas. A floração é perfumada e ocorre nos meses de primavera e verão.

O gráfico da Figura 98 demonstra a variação do PTS em cada mês ao longo do ano, confirmando a relativa homogeneidade quanto à transmissão solar desta espécie. Ainda em comparação com as demais trepadeiras analisadas neste estudo, podemos considerar que o Jasmim-leite se encontra em uma situação média em relação à capacidade de sombreamento. Não é tão fechada como a Madressilva-creme e nem possui períodos de total exposição, como ocorre nas duas espécies caducifólias (Glicínia e Trombeta-chinesa). Por este motivo, seu desempenho energético enquanto elemento de proteção solar possa ser favorável para uso em diferentes climas, adaptando-se de forma equilibrada tanto para uma condição de calor o ano todo, como também para regiões onde há estação fria.

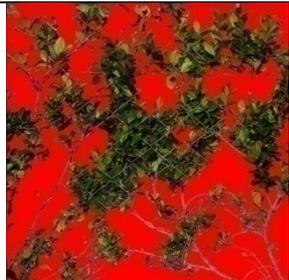
			
DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO
PTS = 0,48 ou 48%	PTS = 0,50 ou 50%	PTS = 0,46 ou 46%	PTS = 0,44 ou 44%
			
ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO
PTS = 0,47 ou 47%	PTS = 0,48 ou 48%	PTS = 0,45 ou 45%	PTS = 0,49 ou 49%
			
AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
PTS = 0,48 ou 48%	PTS = 0,51 ou 51%	PTS = 0,42 ou 42%	PTS = 0,50 ou 50%

Figura 97: Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie *Trachelospermum jasminoides*

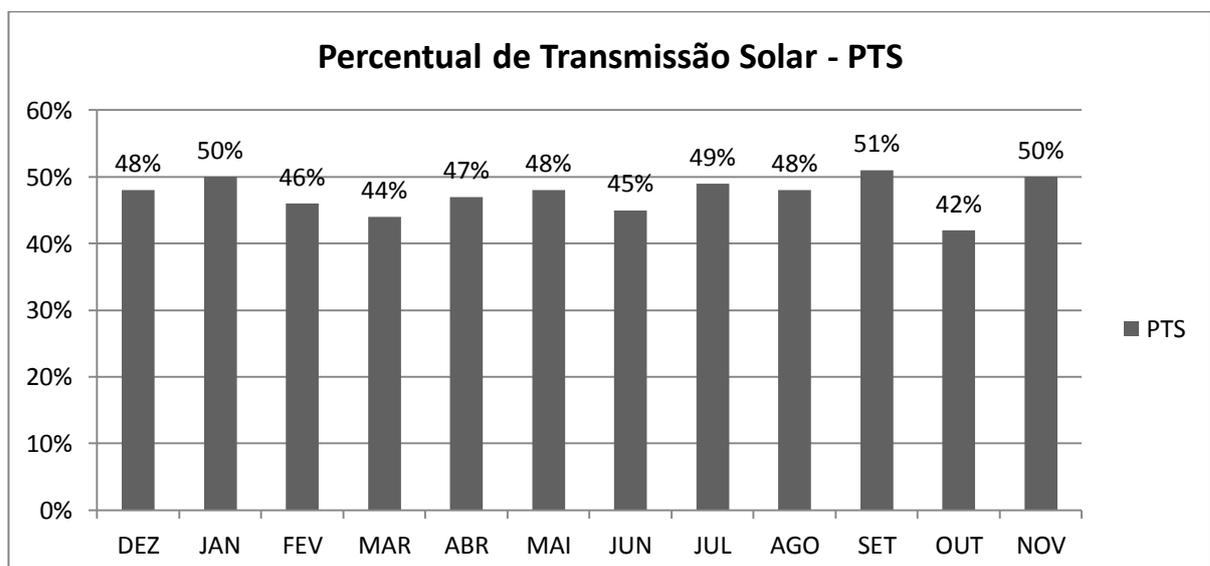


Figura 98: Gráfico do PTS da espécie *Trachelospermum jasminoides*, calculado através das imagens, durante um ano de observação

5.3.5. Análise comparativa entre as espécies

O gráfico da Figura 99 apresenta os resultados do Percentual de Transmissão Solar – PTS das quatro espécies avaliadas nesta pesquisa, organizados de forma paralela e seguindo a sequência convencional dos meses do ano, ou seja, iniciando em janeiro até dezembro.

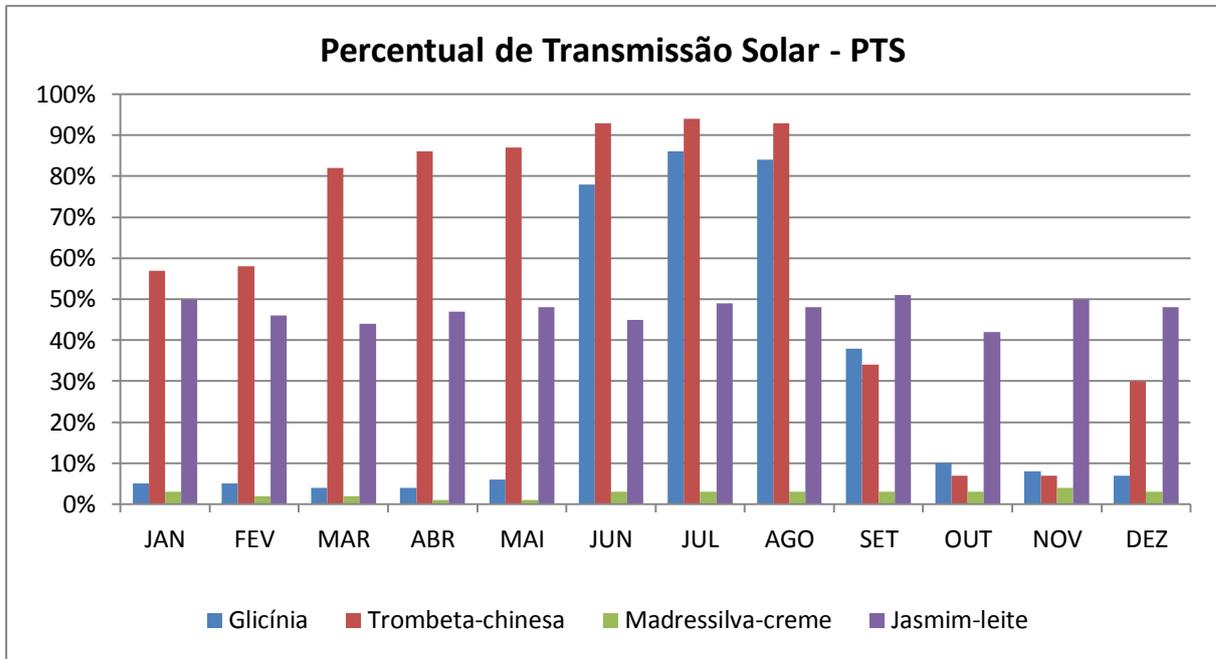


Figura 99: Gráfico comparativo do PTS de cada uma das quatro espécies avaliadas, nos doze meses do ano

Analisando a variação do PTS das quatro espécies, podemos verificar que cada uma possui particularidades distintas e relevantes em sua capacidade de sombreamento:

- A espécie *Wisteria floribunda* (Glicínia) é decídua, apresentando o maior fechamento de sua folhagem entre os meses de outubro e maio, coincidindo com os períodos mais quentes do ano – primavera, verão e início do outono, no caso do clima temperado e subtropical. A média da transmissão solar nesta época é baixa, em torno de 6%. Já de junho a agosto, período mais frio do ano, perde praticamente todas as folhas, permitindo maior transmissão solar, amenizada pela ramificada galharia. Neste caso, a média do PTS durante três meses ficou em 83%. A situação intermediária (PTS de 38%) ocorre no início da primavera, com o período da floração que é bastante expressiva e numerosa.
- A outra espécie decídua avaliada foi a *Campsis grandiflora* (Trombeta-chinesa). Essa apresentou um período reduzido de fechamento da folhagem, somente nos meses de outubro e novembro, com PTS de 7%. O que chama a atenção foi a redução gradativa de suas folhas justamente na época mais quente do ano, entre os meses de dezembro a fevereiro, sendo que a média de transmissão solar ficou em 48%. A intensidade e antecipação deste fato, como já comentado, foi atípica, uma vez que normalmente a espécie inicia o processo de perda das folhas mais tarde. Já nos meses mais frios do ano (entre março e agosto para a situação do sul do país), as folhas caem totalmente e a transmissão solar é alta, com

média de PTS em torno de 89%. No início da primavera as folhas voltam a brotar com crescimento rápido.

- A terceira espécie analisada foi a *Lonicera japonica* (Madressilva-creme), que é perene e não apresenta variação significativa em sua capacidade de sombreamento ao longo do ano. Esta espécie é muito vigorosa, desenvolve-se em várias camadas, permitindo pouca possibilidade de transmissão solar, com média anual de apenas 2,6%. Desta forma, comporta-se como uma barreira quase opaca, com sombreamento praticamente total, independente da estação do ano.
- Por fim, a espécie de trepadeira *Trachelospermum jasminoide* (Jasmim-leite) também é perene, porém seu crescimento é lento e o grau de fechamento das folhas é menor. Durante todo o ano apresentou uma situação intermediária de capacidade de sombreamento, ficando seu PTS com média de 47%.

A partir desta análise comparativa, podemos resumir as principais conclusões sobre a capacidade de sombreamento de cada espécie nas diferentes estações do ano, bem como sua adequabilidade para utilização em *cortinas verdes*, do ponto de vista da eficiência energética para a edificação, em diferentes condições climáticas. No entanto, é necessário lembrar que as espécies avaliadas talvez não se desenvolvam em outros climas, ou apresentem um comportamento diferente do visto na região de implantação do protótipo experimental. Por este motivo, os parâmetros aqui gerados são válidos para estas espécies e na condição do clima subtropical. No entanto, também são úteis como base para a escolha de outras espécies com características semelhantes, mas que sejam adaptadas em outras regiões, como no clima equatorial ou tropical.

Por fim, podemos realizar uma análise compositiva e sensorial sobre o uso destas espécies em *cortinas verdes*, uma vez que seu posicionamento, em frente às regiões transparentes e com aberturas para ventilação, permitirá o alcance visual e olfativo dos usuários das edificações. Neste sentido, destacamos o expressivo efeito ornamental da espécie Glicínia quando sua floração está em evidência, entre final do inverno e início da primavera. Talvez esta seja a espécie de maior destaque neste sentido, já que possui a característica particular de perder as folhas e permanecer por um período de tempo somente com a floração, composta por inúmeras pequenas flores azuis-violeta, organizadas em longos e pendentes “cachos”.

Na espécie Trombeta-chinesa, a floração também possui efeito visual marcante, com grandes e numerosas flores de cor vermelho-alaranjado e formato de trombeta, o que dá origem ao seu nome popular. O período de permanência da floração é prolongado, geralmente durante o verão e outono.

Já nas espécies Jasmim-leite e Madressilva-creme, provavelmente o efeito que resultará no maior marco de identidade será o perfume de suas flores. Nas duas espécies, a floração ocorre durante a primavera e verão, com inúmeras flores pequenas que exalam um adocicado perfume. São também muito apreciadas por beija-flores, destacando a possibilidade de aproximação da fauna ao ambiente construído.

CAPÍTULO VI – SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DAS CORTINAS VERDES

6.1. OBJETIVO E DEFINIÇÕES GERAIS

O objetivo das simulações é comparar o desempenho energético, quanto ao consumo de energia para aquecimento, resfriamento e iluminação, de uma edificação de escritórios sem nenhum tipo de proteção solar, denominada edifício base, com esta mesma edificação adotando-se diferentes sistemas de controle solar nas aberturas: persianas internas, brises horizontais e as *cortinas verdes*, com as quatro espécies estudadas no experimento e com a variação do PTS ao longo do ano. Também são realizadas combinações com diferentes orientações solares e áreas de aberturas transparentes.

As simulações computacionais foram realizadas com o *software Design Builder*, versão 3.4.0.041 (2014), considerando a localização da edificação em três contextos climáticos brasileiros, de acordo com a divisão adotada no Zoneamento Bioclimático da NBR 15220: Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005). Assim, foram simuladas situações de inserção da edificação nas Zonas Bioclimáticas 1 e 2, que correspondem à maior parte do sul do país onde o clima predominante é subtropical e, portanto, ocorrem as temperaturas mais baixas do território brasileiro; e na Zona 8, onde predominam os climas equatorial e tropical, com temperaturas altas o ano todo.

As etapas para a realização das simulações envolveram, primeiramente, a definição e modelagem do edifício base, com a entrada de todos os parâmetros necessários, como as características construtivas, os padrões de ocupação e a utilização dos equipamentos. Na segunda etapa foram determinadas as variações no modelo base, em relação ao tamanho e orientação das aberturas, aos tipos de proteção solar, bem como definidos e carregados os arquivos climáticos de cada cidade representativa das três zonas bioclimáticas avaliadas. A terceira etapa compreendeu a realização das simulações propriamente ditas, para cada uma das combinações pré-definidas, e a análise comparativa dos principais resultados, buscando-se uma correlação entre as variáveis envolvidas e focando no desempenho energético das *cortinas verdes*.

6.2. DEFINIÇÃO DO EDIFÍCIO BASE

Para a definição das características arquitetônicas e construtivas da edificação a ser modelada como caso base para as simulações, partiu-se do estudo realizado por Joyce Carlo, em sua Tese de Doutorado, que objetivou a elaboração de uma metodologia para avaliação da eficiência energética da envoltória em edifícios comerciais e institucionais (CARLO, 2008). Este estudo foi base para as definições do RTQ-C: Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (INMETRO, 2010), sendo este o regulamento adotado pelo Brasil para a etiquetagem de edificações. A aplicação do regulamento já é obrigatório para edifícios públicos federais, que devem ser

projetados e executados com vistas ao atendimento dos requisitos para obtenção do selo de eficiência Nível “A”. A tendência de obrigatoriedade deve estender-se, nos próximos anos, para todos os tipos de edificações, inclusive residenciais, que possuem um regulamento com características específicas (RTQ-R).

Deste modo, a edificação base foi planejada utilizando-se a maioria dos parâmetros do modelo para grandes escritórios (com cinco pavimentos), definido por Joyce a partir de sua pesquisa de campo. A escolha pelo modelo de grandes escritórios foi baseada na observação das características de uso, dimensões e número de pavimentos dos edifícios com *cortinas verdes*, apresentados como estudos de caso no Capítulo IV. Concluiu-se que a maioria são edifícios comerciais e que possuem, em média, seis pavimentos, aproximando-se do definido pelo modelo.

6.2.1. Geometria da edificação e componentes construtivos

O edifício base foi projetado com cinco pavimentos, sendo um pavimento térreo e quatro pavimentos tipo, conforme as Figuras 100, 101 e 102, a seguir.

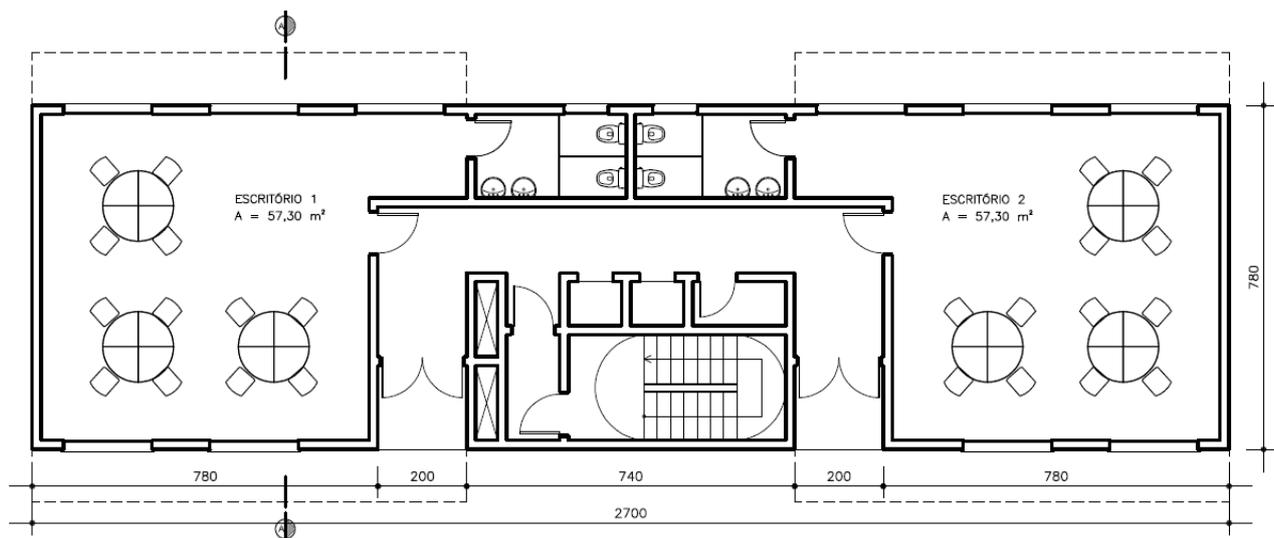


Figura 100: Planta baixa do pavimento térreo, sem escala

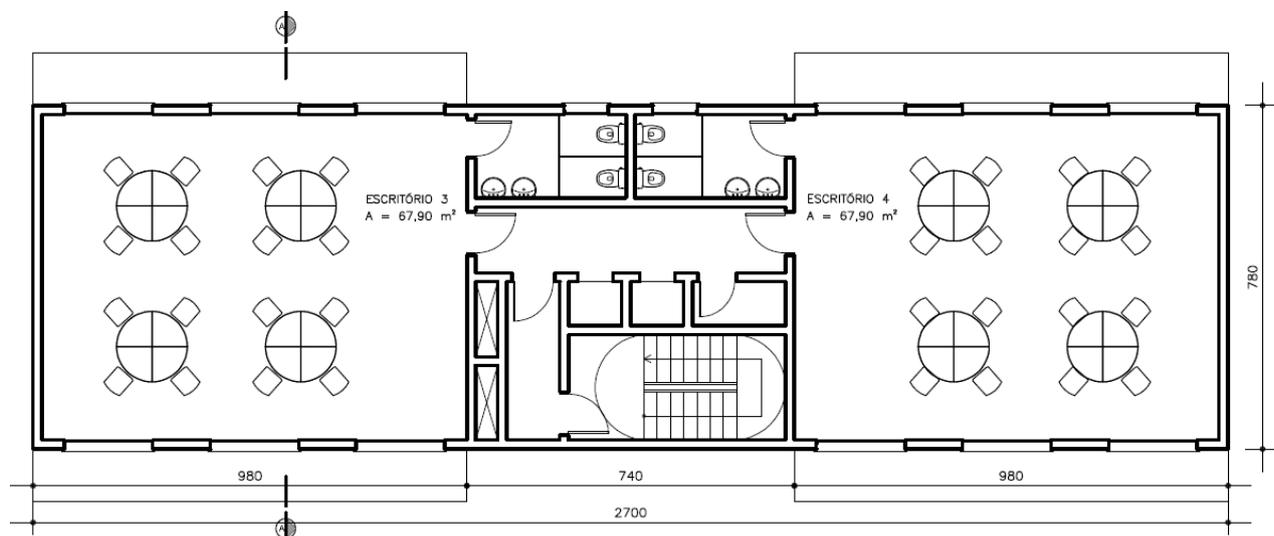


Figura 101: Planta baixa do pavimento tipo, sem escala

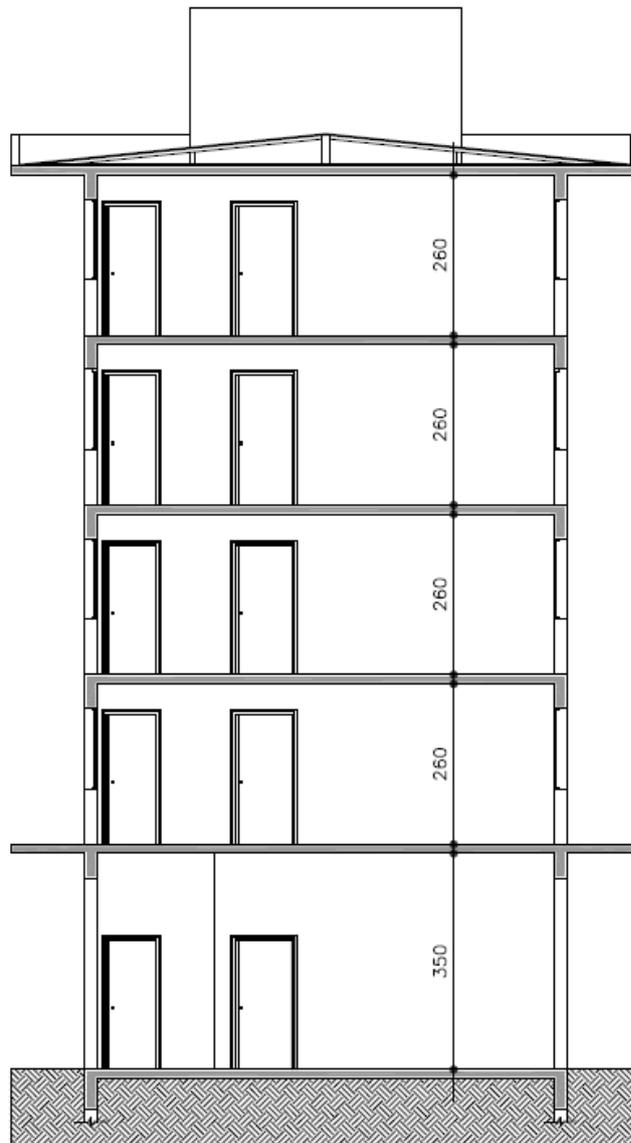


Figura 102: Corte transversal, sem escala

A planta caracteriza-se pela seguinte disposição: na parte central estão as circulações e sanitários; e nas laterais encontram-se dois escritórios de planta livre, com aberturas somente nas fachadas principais e de maior dimensão. A área das aberturas foi simulada com duas variações: 20% e 45% da área do piso. O valor de 20% foi considerado como mínimo adequado em termos de área compatível para a ventilação e iluminação dos espaços. Já o valor de 45% foi determinado como o máximo disponível para as regiões transparentes em cada sala, descontando a altura da verga e o peitoril necessário para a execução das floreiras que irão abrigar o sistema de *cortinas verdes*. Estas aberturas, que estão localizadas somente nas fachadas principais, foram simuladas com orientação solar em duas condições: Norte-Sul e Leste-Oeste.

Assim, com base no modelo de Carlo (2008), as características geométricas e construtivas utilizadas na modelagem do edifício base foram definidas conforme os parâmetros do Quadro 04.

Quadro 04: Parâmetros geométricos e construtivos adotados na modelagem do edifício base

PARÂMETRO		ADOTADO
Dimensões em planta		27,0 x 7,8 m
Pé-direito	Térreo	3,5 m
	Pavimento tipo	2,6 m
Número de pavimentos		5
Percentual de aberturas nas fachadas principais		20% ou 45%
Orientação solar das fachadas principais		N-S ou L-O
Paredes	Tipo	Alvenaria de blocos de concreto vazados, rebocada nos dois lados
	Transmitância térmica	2,39 W/m ² K
	Absortância	0,35
Cobertura	Tipo	Fibrocimento com poliestireno expandido, sobre laje de concreto
	Transmitância térmica	1,17 W/m ² K
	Absortância	0,60
Aberturas	Tipo	Alumínio, com padrão maxi-ar
	Cor do vidro	Transparente
	Espessura do vidro	4 mm
	Fator Solar do vidro	0,82
Pisos (térreo e entrepisos)	Tipo	Cerâmico sobre laje de concreto

6.2.2. Modelagem da envoltória e definição das zonas térmicas

A modelagem da edificação base, no *software Design Builder*, foi realizada a partir das plantas baixas do térreo e do pavimento tipo, seguindo suas dimensões e inserindo as aberturas conforme a porcentagem de área do piso desejada, ou seja, 20% e depois 45%. A Figura 103 demonstra o resultado da modelagem nos dois casos.

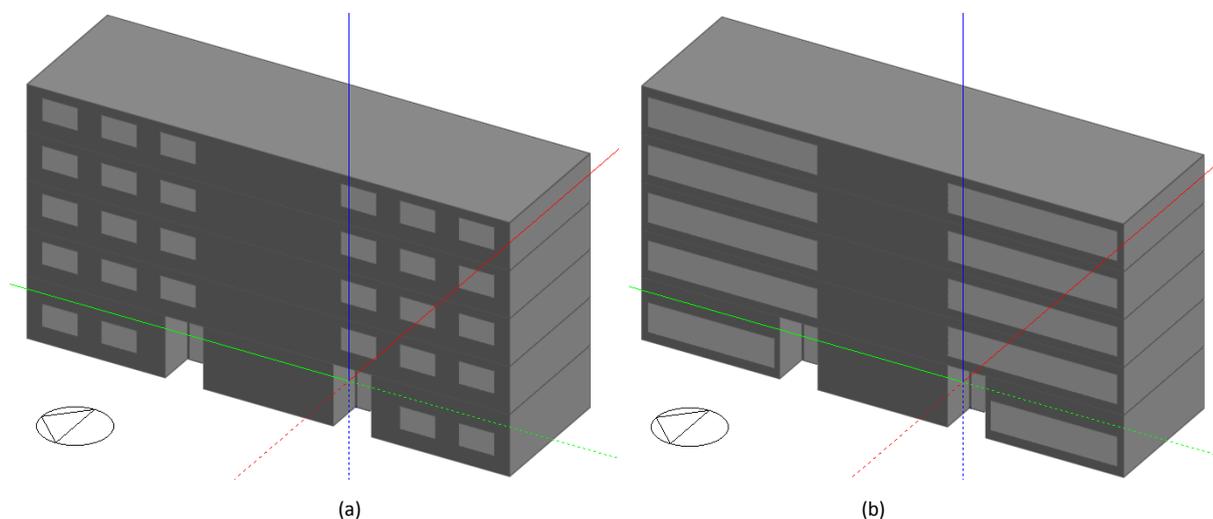


Figura 103: Modelagem do edifício base no *Design Builder*. a) Com 20% de área de aberturas; b) Com 45% de área de aberturas

No decorrer da modelagem é necessária a definição das zonas térmicas da edificação, em cada pavimento. As zonas térmicas, em um conceito geral, configuram espaços com características semelhantes quanto à orientação solar, materiais dos fechamentos, relação com os demais compartimentos, mesmo perfil de carga térmica, entre outros (KNOP, 2012). Portanto, o edifício base foi dividido em três zonas térmicas: duas que correspondem aos escritórios (zona 1 e 2) e uma central, onde estão localizadas as circulações e sanitários (zona 3). Os escritórios serão condicionados artificialmente, enquanto a zona central terá ventilação natural. A Figura 104 ilustra a divisão realizada no *software*.

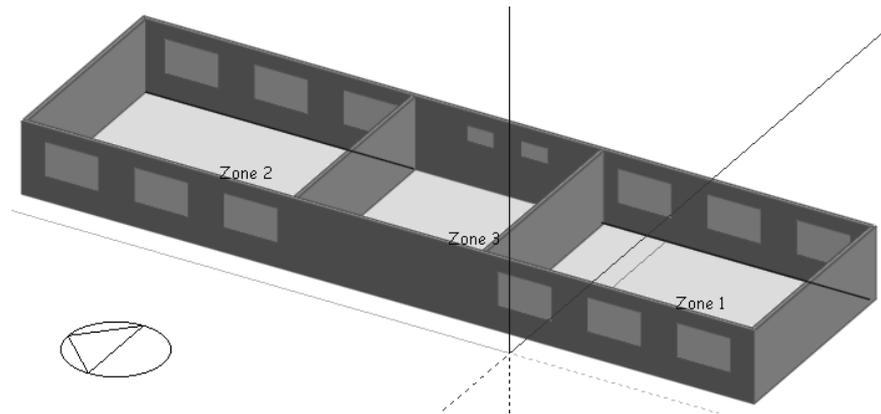


Figura 104: Definição das zonas térmicas, na modelagem com o *Design Builder*.

Para a definição dos componentes construtivos de fechamento da edificação modelo, adotou-se o definido por Carlo (2008): paredes de blocos de concreto vazados e cobertura de fibrocimento sobre laje com camada de isolamento. Assim, o cálculo das transmitâncias térmicas das paredes e coberturas levou em consideração as características físicas dos materiais, definidas pela NBR 15220 (ABNT, 2005), conforme o Quadro 05, a seguir.

Quadro 05: Características físicas dos materiais utilizados para definir as paredes e cobertura do edifício base

MATERIAL	DENSIDADE (Kg/m ³)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m.K)	CALOR ESPECÍFICO (J/Kg.K)
Concreto	2400	1,75	1,0
Argamassa	2000	1,15	1,0
Fibrocimento	1900	0,95	0,84
Poliestireno expandido	15	0,04	1,42

Fonte: ABNT (2005)

No entanto, o *software Design Builder* interpreta somente fechamentos constituídos por camadas homogêneas. Como as paredes do edifício base são de blocos de concreto vazados, portanto um material heterogêneo (concreto e ar), foi necessário configurar uma parede equivalente, com camadas homogêneas e que obtivesse o mesmo comportamento térmico. De forma que o valor da Transmitância Térmica fosse mantido ($U=2,39 \text{ W/m}^2\text{K}$), a parede equivalente foi calculada com as camadas de reboco externo e interno, com duas camadas de

concreto e com uma câmara de ar, conforme ilustra a Figura 105, que também compara as espessuras da parede real e as espessuras resultantes na parede equivalente. A Resistência Térmica da camada de ar foi considerada $0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$, para uma espessura de 2 à 5 cm e fluxo horizontal, conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005). A absorvância considerada na camada de reboco externo foi 0,35, conforme já definido pelo Quadro 05.

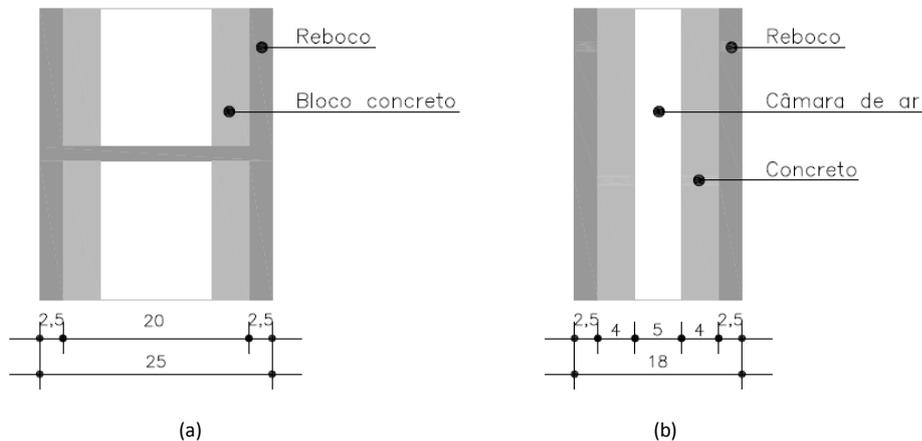


Figura 105: a) parede real; b) camadas da parede equivalente configurada no *Design Builder*

No caso da cobertura, as camadas já são homogêneas e foram configuradas no programa com sendo: laje de concreto, poliestireno expandido, câmara de ar e telha de fibrocimento. A Figura 106 mostra esta composição, com as respectivas espessuras, de forma que a Transmitância Térmica resultou em $1,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. A Resistência Térmica da camada de ar foi considerada $0,21 \text{ m}^2\text{K/W}$, para uma espessura maior que 5 cm e fluxo descendente, conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005). A absorvância considerada na telha de fibrocimento foi 0,60, conforme já definido pelo Quadro 05.

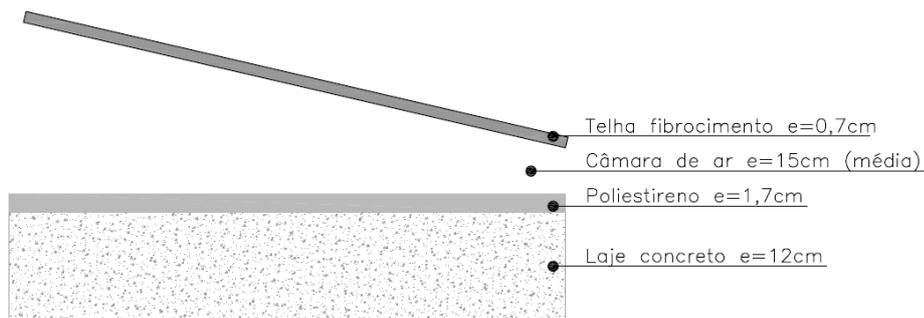


Figura 106: Camadas da cobertura configurada no *Design Builder*

Em relação ao piso térreo, este foi considerado isolado do solo, pela existência de subsolo para estacionamentos no modelo definido por Carlo (2008). Por este motivo, adotou-se a mesma configuração para piso térreo e para entrepisos.

Em resumo, a configuração da envoltória da edificação base, ficou assim definida:

- Paredes externas e internas - $U=2,39 \text{ W/m}^2\text{K}$: argamassa reboco (0,025m) + concreto (0,04m) + câmara de ar (0,05m) + concreto (0,04m) + argamassa reboco (0,025m)

- Cobertura - 1,17 W/m²K: telha de fibrocimento (0,007m) + câmara de ar (0,15m) + poliestireno expandido (0,017m) + laje de concreto (0,12m)
- Pisos: cerâmico (0,01m) + argamassa reboco (0,02m) + laje de concreto (0,12m)

6.2.3. Definição dos padrões de ocupação e atividade

Ainda considerando o modelo de grandes escritórios estabelecido por Carlo (2008), a densidade de ocupação foi definida com 0,28 pessoas/m², com metabolismo de 120 W/pessoa (trabalho leve de escritório). O padrão de uso adotado foi o funcionamento diário, durante cinco dias na semana, de segunda a sexta-feira, das 8h às 18h.

6.2.4. Densidade de carga interna (DCI) e sistema de condicionamento artificial

Os ganhos de calor provenientes dos equipamentos e do sistema de iluminação foram considerados com um total de 20,0 W/m². Destes, 10,0 W/m² são originários dos equipamentos e 10,0 W/m² do sistema de iluminação, estimado com 500 Lux para os escritórios e 150 Lux para as circulações e sanitários. O controle do sistema de iluminação foi dimerizado, de forma que sua intensidade se ajusta automaticamente de acordo com a disponibilidade de luz natural.

Já o sistema de condicionamento artificial especificado foi o de Expansão Direta, do tipo Split Reverso, com COP = 3,21 W/W, considerado com nível de eficiência energética “A” pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE (INMETRO, 2014). A temperatura de *set point* para aquecimento foi determinada como 18° e para resfriamento 24° (CARLO, 2008), ou seja, o sistema de condicionamento artificial é acionado quando as temperaturas internas encontram-se abaixo ou acima desses parâmetros, consideradas temperaturas de conforto térmico.

6.2.5. Arquivos climáticos

Os arquivos climáticos utilizados nas simulações foram obtidos da base de dados do *Energy Plus*, em extensão .epw (ENERGYPLUS, 2014). Para cada uma das três zonas bioclimáticas brasileiras consideradas, foi escolhida uma cidade representativa, a saber:

- Zona Bioclimática 1: cidade de Curitiba, PR
(arquivo: BRA_CURITIBA_AFONSO_PEN_SWERA.epw)
- Zona Bioclimática 2: cidade de Santa Maria, RS
(arquivo: BRA_SANTA_MARIA_SWERA.epw)
- Zona Bioclimática 8: cidade de Fortaleza, CE
(arquivo: BRA_FORTALEZA_PINTO_MAR_SWERA.epw)

Como já comentado, essas três zonas foram escolhidas por apresentarem características diferentes e extremas, em relação aos tipos de clima do Brasil, conforme a classificação da NBR-15220 (Figura 107).



Figura 107: Zoneamento Bioclimático brasileiro, segundo a NBR 15220 (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014)

Assim, a Zona Bioclimática 1, representada pela cidade de Curitiba, mas que também abrange as regiões de altitude do sul do País, é a que apresenta as temperaturas médias mensais mais baixas do Brasil. Apesar da classificação do macroclima ser denominado como subtropical, são estas regiões do país que apresentam maior proximidade com o clima temperado. Já a Zona Bioclimática 2, representada pela cidade de Santa Maria, corresponde à maioria das cidades localizadas na região Sul do país, com clima subtropical. Neste caso, as estações do ano são bem definidas, com ocorrência de temperaturas baixas no inverno. Estas duas zonas também foram escolhidas por propiciarem boa adaptação às espécies de trepadeira estudadas no experimento.

Por outro lado, a Zona Bioclimática 8 é a que representa grande parte da região norte e nordeste, sobretudo o litoral do nordeste, onde as médias de temperatura são altas o ano todo e os climas predominantes são o equatorial e o tropical. Neste caso, nem todas as espécies estudadas no experimento terão boa adaptação, sendo utilizadas nas simulações somente como parâmetro para o uso de outras trepadeiras típicas dessas regiões e com características similares.

6.2.6. Definição da temperatura do solo

A temperatura do solo, dado importante a ser inserido na configuração do sítio, foi considerada em todas as simulações como a média das temperaturas do ar mensais de cada cidade. Esta escolha partiu da recomendação de Venâncio e Pedrini (2008), e da observação de que a edificação base possui subsolo, ou seja, não está em contato direto com o solo, sendo que as temperaturas consideradas aproximam-se da condição real. Assim, as temperaturas médias mensais foram obtidas diretamente do arquivo climático de cada localidade, carregados no *Design Builder*, sendo que constam detalhadas na Tabela 07.

Tabela 07: Temperaturas do solo adotadas para as simulações em cada cidade

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CURITIBA	20,9	21,1	20,1	18,7	14,9	13,1	13,6	13,3	15,3	16,8	18,8	19,8
SANTA MARIA	24,8	23,9	22,4	20,2	15,3	15,3	15,1	17,2	16,3	19,2	21,3	23,9
FORTALEZA	27,8	27,7	26,7	26,9	27,0	27,2	26,5	26,9	27,3	27,6	27,8	27,5

6.3. CONFIGURAÇÃO DAS VARIAÇÕES NO EDIFÍCIO BASE

Além das variações de porcentagem na área das aberturas e na orientação solar destas, conforme já mencionado, as simulações foram realizadas com alterações no edifício base, quanto ao tipo de proteção solar: com acréscimo de persiana interna; com brise horizontal e com as *cortinas verdes*. A seguir, serão apresentadas as especificações adotadas na modelagem da edificação, em cada variação de sombreamento.

6.3.1. Edifício com persiana interna

Nesta primeira variação adotou-se um sistema de sombreamento com persiana interna de alumínio, com alta refletividade. O tipo de controle adotado foi o fechamento de acordo com a incidência de radiação solar, onde ficou estabelecido que as persianas serão fechadas quando a radiação solar incidente superar o limite de 300 W/m². Este valor foi estabelecido como média para as diferentes latitudes e orientações solares, de acordo com os dados de radiação disponibilizados por Frota (2003).

6.3.2. Edifício com brise horizontal

A segunda variação proposta foi o sombreamento das aberturas com um elemento externo, sendo utilizados brises horizontais de alumínio. O dimensionamento dos brises foi padronizado e levou em consideração uma situação intermediária de eficiência no sombreamento, para as diferentes zonas bioclimáticas e orientações solares consideradas nas simulações. Assim, o elemento é composto de lâminas horizontais, resultando em um ângulo de altura solar limite de $\alpha = 55^\circ$, de modo a proporcionar sombra nos períodos mais quentes do ano e nos horários de incidência solar mais intensa. A Figura 108 apresenta o detalhamento dos brises, enquanto a Figura 109 demonstra o resultado na modelagem dos edifícios com 20% e 45% de área de aberturas.

O *software Sun Tool*, versão 1.10, foi utilizado como ferramenta de projeto para definição do ângulo de altura solar a ser adotado como média ($\alpha = 55^\circ$), através da análise das diferentes máscaras de sombra resultantes em latitudes e orientações solares variadas. Como exemplificação, a Figura 110 apresenta a máscara de sombra para as orientações Norte e Oeste, na cidade de Curitiba-PR (Latitude 25,5° Sul). Observa-se que, no caso da orientação Norte, o sombreamento acontecerá, principalmente, no período de verão e primavera. Já na orientação Oeste, a sombra na fachada será total até aproximadamente

14h30min no verão. Por conseguinte, este mesmo elemento garantirá sombra na fachada Sul durante o verão, e a partir das 9h30min na orientação Leste.

Para a cidade de Santa Maria, localizada na latitude aproximada 30°Sul, o sombreamento do brise será muito próximo ao obtido em Curitiba. Assim, para as fachadas Norte e Sul também proporcionará sombra nos períodos mais quentes do ano, entre primavera e verão. Na fachada Leste, a sombra total no verão acontece a partir de aproximadamente 9h30min e, na fachada Oeste, permanece até pouco mais de 14h30min.

Já para a cidade de Fortaleza, que encontra-se em uma latitude próxima da Linha do Equador (3,7°Sul), a eficiência de sombreamento do elemento adotado para as fachadas Norte e Sul será praticamente total nos períodos dos equinócios de primavera e outono, permitindo a entrada da radiação solar somente no início do dia e final da tarde, nos meses dos solstícios de inverno e verão. Para as orientações Leste e oeste, a sombra total ocorrerá a partir das 9h30min e até aproximadamente 14h30min, em todos os meses do ano.

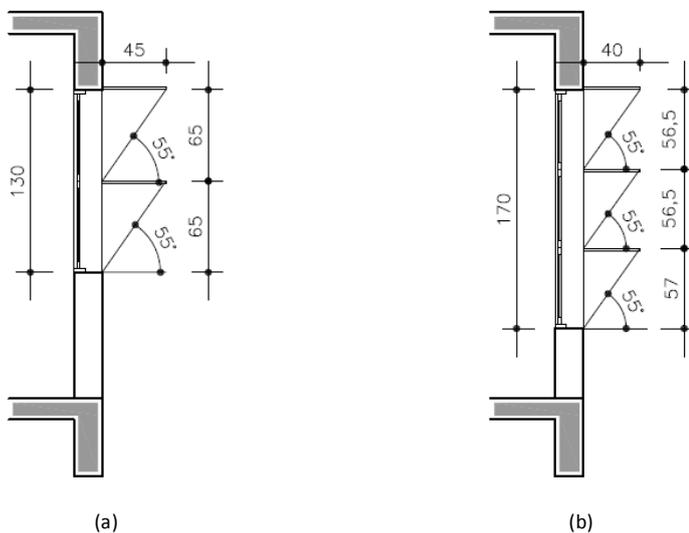


Figura 108: a) Detalhamento dos brises horizontais nos edifícios com 20% de área de aberturas; b) E nos edifícios com 45% de área de aberturas

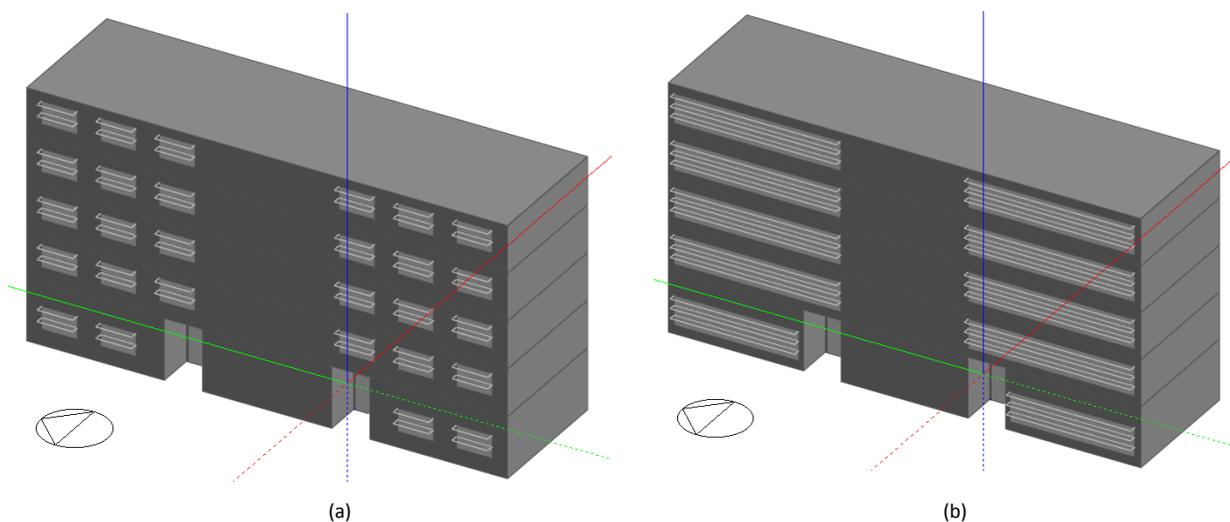


Figura 109: Modelagem do edifício com brise horizontal. a) Com 20% de área de aberturas e dois brises; b) Com 45% de área de aberturas e três brises

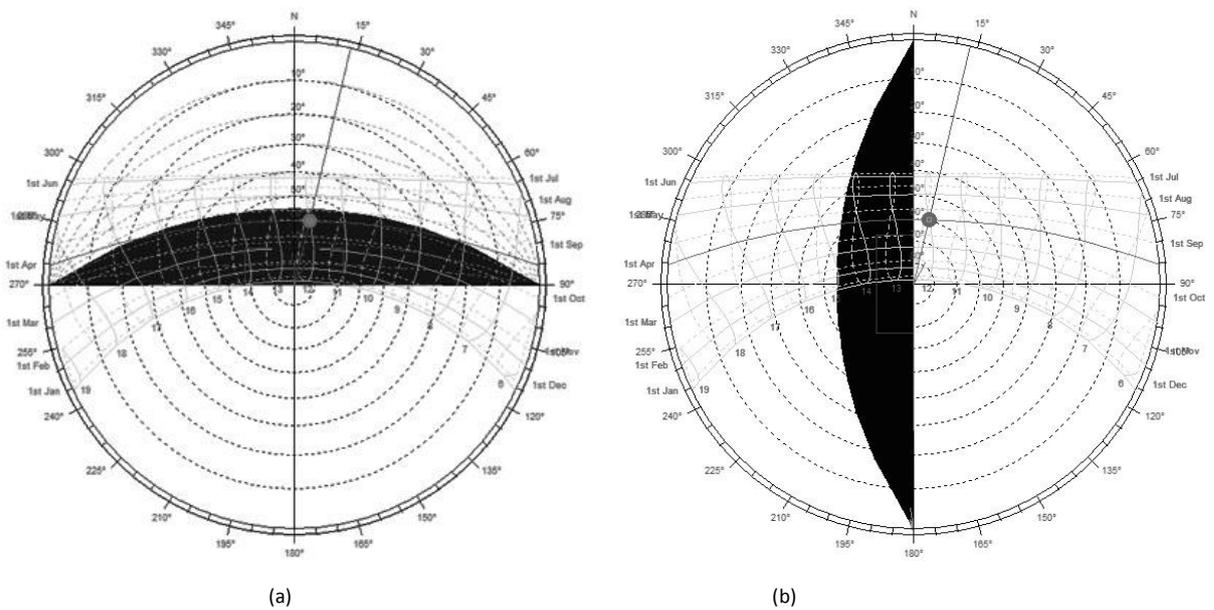


Figura 110: Exemplo de máscara de sombra para o brise projetado; a) Orientação Norte; b) Orientação Oeste

6.3.3. Edifício com as *cortinas verdes*

Por fim, a terceira variação nas opções de sombreamento foi modelada justamente com a inserção do elemento *cortina verde* em frente e afastado das aberturas. Para tanto, foi necessário a inclusão de alguns elementos adicionais ao projeto do edifício base: o prolongamento das lajes de concreto do 2º e 4º piso, bem como da cobertura, avançando 1,20 m além dos limites da fachada; e a criação de um “componente” em frente às aberturas, que receberá uma série de configurações específicas, representando as propriedades térmicas, de superfície e de transmissão solar das *cortinas verdes*. A Figura 111 ilustra o resultado da modelagem no *Design Builder*.

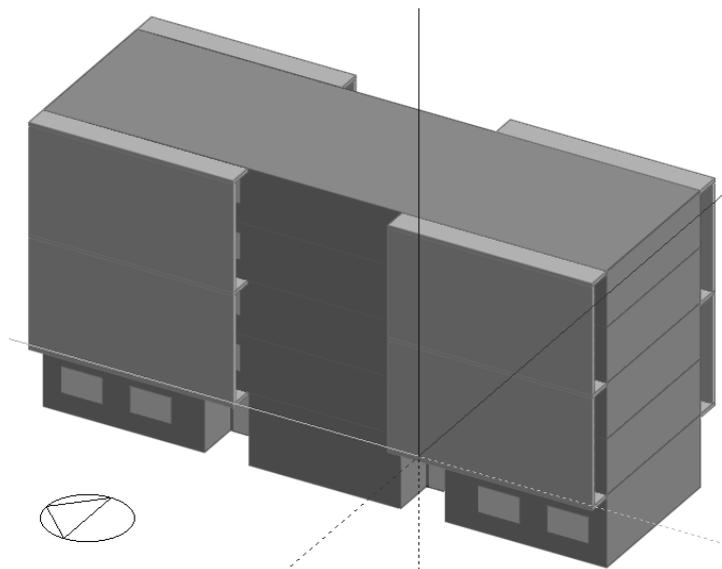


Figura 111: Modelagem do edifício com adição dos componentes que simulam a aplicação das *cortinas verdes*

Os valores adotados para a caracterização térmica do componente *cortina verde* foram baseados aos estimados ou medidos em outras pesquisas, uma vez que não existem parâmetros médios disponíveis em nenhuma norma técnica. Para a resistência térmica do elemento vegetal, portanto, foi utilizado um valor médio igual a $R=0,36 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, para uma espessura média de 0,12 m, segundo o medido por Susorova et al (2013). Obviamente, a variação no tipo de vegetação, na espessura da camada, na temperatura e na umidade, são alguns dos fatores que influenciam no resultado da resistência. Porém, observa-se que os valores são baixos e variam pouco, o que é condizente com as características da vegetação, uma vez que as folhas têm pequena capacidade de armazenar calor, na ordem de somente $6 \text{ W}/\text{m}^2$ (OKE, 1978 apud PEREZ, 2010) e, devido aos vazios entre a folhagem, esse calor é facilmente retirado pela passagem do ar.

Já as propriedades da superfície do componente *cortina verde* são de mais fácil determinação, tendo em vista o maior conhecimento sobre as médias de emissividade e absorvidade das folhas e também considerando sua coloração. Segundo Oke (1978, apud PEREZ, 2010), a emissividade de um elemento vegetal para radiação de onda longa (energia absorvida e emitida na forma de calor) fica entre 0,94 e 0,99. Neste estudo utilizou-se a média de emissividade igual a 0,96, considerando as diferenças entre as espécies e suas fases de desenvolvimento. O mesmo autor define como médias para a absorvidade da folhagem: 70% para a radiação solar global e 85% para a radiação solar na faixa do visível, sendo estes os valores utilizados nas simulações desta pesquisa. Completando os parâmetros necessários a serem definidos para as características da superfície, a rugosidade foi considerada alta e a coloração adotada foi um tom de verde médio-escuro.

O Quadro 06, a seguir, resume as configurações adotadas no *Design Builder* para caracterizar o elemento *cortina verde*.

Quadro 06: Características térmicas e de superfície adotadas no componente *cortina verde*

PARÂMETRO	VALOR ADOTADO
Resistência térmica (R)	0,34 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
Espessura média	0,12 m
Emissividade (ϵ)	0,96
Absortividade radiação global	0,70
Absortividade radiação visível	0,85

Por fim, os valores correspondentes à transmissão solar do componente *cortina verde* precisam ser definidos. Este parâmetro caracteriza a permeabilidade do elemento à passagem da radiação solar, ou seja, sua porcentagem de transparência ou de regiões vazadas. Neste caso, os valores adotados foram os obtidos no experimento, ou seja, o Percentual de Transmissão Solar – PTS, para cada vegetação e considerando sua variação para cada mês do ano. Por este motivo, as simulações não foram realizadas para um ano inteiro, e sim individualmente para cada mês do ano, variando o PTS adotado. A Tabela 08 apresenta os dados de PTS utilizados na simulação de cada espécie e em cada mês do ano.

Tabela 08: Valores de PTS adotados nas simulações, para cada espécie e em cada mês do ano

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<i>Wisteria floribunda</i>	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,78	0,86	0,84	0,38	0,10	0,08	0,07
<i>Campsis grandiflora</i>	0,57	0,58	0,82	0,86	0,87	0,93	0,94	0,93	0,34	0,07	0,07	0,30
<i>Lonicera japonica</i>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
<i>Trachelospermum jasminoide</i>	0,50	0,46	0,44	0,47	0,48	0,45	0,49	0,48	0,51	0,42	0,50	0,48

Ressalta-se que, para este estudo, o parâmetro fundamental que está sendo avaliado é o efeito de sombreamento da *cortina verde* na fachada, conforme deixado claro desde o início do trabalho. Portanto, não estão sendo considerados os possíveis efeitos da passagem de ventilação pelo elemento, como o resfriamento evaporativo do ar proporcionado pelo vegetal. Por este motivo, as simulações foram realizadas com o condicionamento artificial dos espaços principais, e não com ventilação natural. Da mesma forma, as análises avaliam o consumo de energia para a climatização artificial e não a caracterização de conforto térmico que possa ser proporcionada pela *cortina verde*.

6.3.4. Quadro geral de configuração das simulações

Levando em consideração todas as variações propostas no edifício base, explicitadas anteriormente, segue abaixo o quadro geral das configurações simuladas por esta pesquisa, resultando em um total de 84 combinações diferentes.

Quadro 07: Listagem geral das simulações realizadas, com as variáveis configuradas em cada caso

Nº SIMULAÇÃO	ZONA BIOCLIMÁTICA	ORIENTAÇÃO ABERTURAS	% ABERTURAS ÁREA PISO	PROTEÇÃO SOLAR	TIPO VEGETAÇÃO
C1	ZB 1	L - O	20%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Madressilva-creme Jasmim-leite
C2				PERSIANA INTERNA	
C3				BRISE HORIZONTAL	
C4				CORTINA VERDE	
C5					
C6					
C7					
C8	ZB 1	N - S	20%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Madressilva-creme Jasmim-leite
C9				PERSIANA INTERNA	
C10				BRISE HORIZONTAL	
C11				CORTINA VERDE	
C12					
C13					
C14					

C15	ZB 1	L - O	45%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Madressilva-creme Jasmim-leite
C16				PERSIANA INTERNA	
C17				BRISE HORIZONTAL	
C18				CORTINA VERDE	
C19					
C20					
C21					
C22	ZB 1	N - S	45%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Madressilva-creme Jasmim-leite
C23				PERSIANA INTERNA	
C24				BRISE HORIZONTAL	
C25				CORTINA VERDE	
C26					
C27					
C28					
C29	ZB 2	L - O	20%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Madressilva-creme Jasmim-leite
C30				PERSIANA INTERNA	
C31				BRISE HORIZONTAL	
C32				CORTINA VERDE	
C33					
C34					
C35					
C36	ZB 2	N - S	20%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Madressilva-creme Jasmim-leite
C37				PERSIANA INTERNA	
C38				BRISE HORIZONTAL	
C39				CORTINA VERDE	
C40					
C41					
C42					
C43	ZB 2	L - O	45%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Madressilva-creme Jasmim-leite
C44				PERSIANA INTERNA	
C45				BRISE HORIZONTAL	
C46				CORTINA VERDE	
C47					
C48					
C49					
C50	ZB 2	N - S	45%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Madressilva-creme Jasmim-leite
C51				PERSIANA INTERNA	
C52				BRISE HORIZONTAL	
C53				CORTINA VERDE	
C54					
C55					
C56					
C57	ZB 8	L - O	20%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Jasmim-leite Madressilva-creme
C58				PERSIANA INTERNA	
C59				BRISE HORIZONTAL	
C60				CORTINA VERDE	
C61					
C62					
C63					

C64	ZB 8	N – S	20%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Jasmim-leite Madressilva-creme
C65				PERSIANA INTERNA	
C66				BRISE HORIZONTAL	
C67				CORTINA VERDE	
C68					
C69					
C70					
C71	ZB 8	L - O	45%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Jasmim-leite Madressilva-creme
C72				PERSIANA INTERNA	
C73				BRISE HORIZONTAL	
C74				CORTINA VERDE	
C75					
C76					
C77					
C78	ZB 8	N - S	45%	SEM PROTEÇÃO	Glicínia Trombeta-chinesa Jasmim-leite Madressilva-creme
C79				PERSIANA INTERNA	
C80				BRISE HORIZONTAL	
C81				CORTINA VERDE	
C82					
C83					
C84					

6.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os principais resultados das simulações de consumo de energia são organizados e discutidos em forma de gráficos comparativos, para cada zona bioclimática e considerando as variáveis envolvidas. Os dados completos, com apresentação de todos os valores numéricos encontrados, estão relacionados nas tabelas do Apêndice C.

6.4.1. Zona Bioclimática 1 – Curitiba

Os resultados das simulações realizadas na Zona Bioclimática 1, que foi representada pela cidade de Curitiba-PR, encontram-se ilustrados pelos gráficos que seguem. Primeiramente, os dados de consumo anual de energia para resfriamento, aquecimento e iluminação foram expostos, considerando cada orientação solar e porcentagem das aberturas envidraçadas, para a edificação base (sem proteção solar) e com as seis diferentes opções de sombreamento. Após, o consumo total anual é apresentado, somando-se os valores obtidos para resfriar, aquecer e também iluminar a edificação.

Analisando de forma geral os gráficos das Figuras 112, 113 e 114, pode-se verificar que a maior porcentagem de consumo de energia elétrica será destinada ao sistema de condicionamento artificial para resfriamento da edificação, para fins de manter a temperatura interna nas condições de conforto. O resfriamento também é mais dispendioso quando a área de abertura é maior (45%) e quando a orientação solar destas é Leste e Oeste. Isto se deve, fundamentalmente, devido à maior transferência de calor na área transparente do vidro, em relação às paredes opacas. Da mesma forma, nas orientações Leste e Oeste, o sol incide nas fachadas praticamente todo o dia, desde a manhã até à tarde. Já nas orientações Norte e

Sul, para a latitude que se encontra a cidade de Curitiba (25° Sul), há poucos horários de incidência dos raios solares no Sul e menor intensidade destes na fachada Norte, durante boa parte do ano.

Ainda sobre o consumo para resfriamento (Figura 112), comparando a edificação sem nenhum tipo de proteção solar nas áreas envidraçadas, com as diferentes opções simuladas de sombreamento, vemos que o consumo de energia com o uso das *cortinas verdes* é significativamente menor em todas as situações de orientação solar e área das aberturas. Como média nessas diferentes situações, o uso da espécie Glicínia reduz 38% no consumo de energia; a Trombeta-chinesa reduz 24%; a Madressilva-creme 42% e o Jasmim-leite 27%. As reduções foram mais acentuadas na configuração com orientação Leste-Oeste e 45% de área de vidro, onde a Madressilva-creme se destacou reduzindo 53% do consumo, seguida da Glicínia, consumindo 49% menos energia.

Outra constatação relevante foi sobre o bom desempenho das *cortinas verdes* em relação ao sistema convencional com brises horizontais. Tratando-se uma média entre as diferentes opções de orientação solar e área das aberturas, a espécie Glicínia consumiu 15% menos de energia; com a Madressilva-creme essa redução fica em torno de 20%; já com o Jasmim-leite o consumo é praticamente o mesmo; e somente com a Trombeta-chinesa há um pequeno acréscimo, na ordem de 5%.

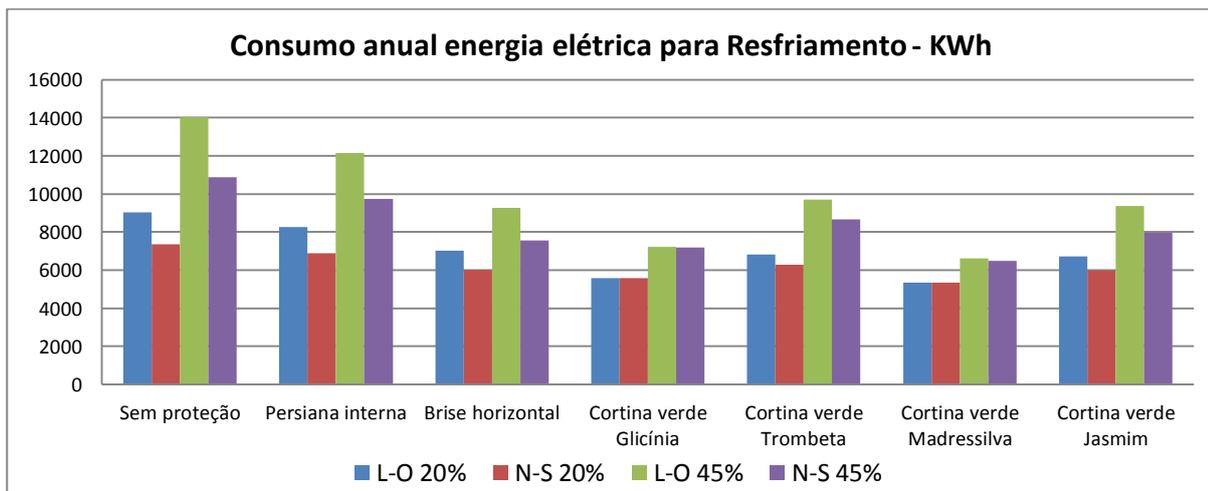


Figura 112: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 1

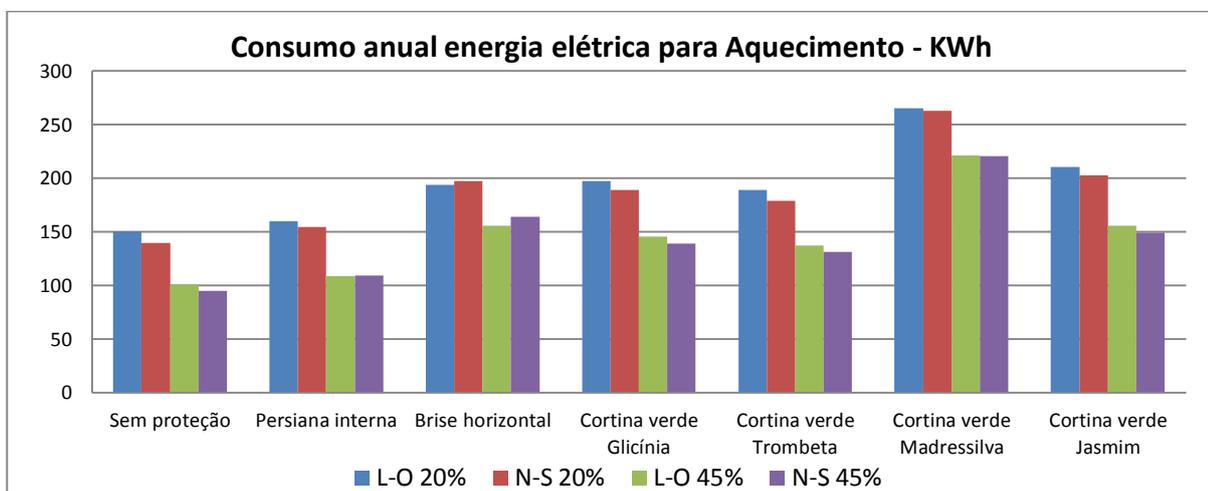


Figura 113: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 1

No caso do consumo anual para aquecimento (Figura 113), percebe-se que, para o clima de Curitiba, as *cortinas verdes* com espécies decíduas (Glicínia e Trombeta-chinesa) são mais favoráveis se comparadas às *cortinas verdes* com espécies perenes. Estas, principalmente a Madressilva-creme, por ter a folhagem mais densa, permite pouco acesso do sol nos períodos frios, quando o aquecimento passivo da edificação é desejável para contribuir com o conforto térmico. As *cortinas verdes* com espécies decíduas, quando comparadas aos brises horizontais, apresentam um desempenho energético melhor, consumindo cerca de 9% menos energia para aquecimento.

Sobre o sistema de iluminação (Figura 114), o uso das *cortinas verdes* com a espécie Trombeta-chinesa e com Jasmim-leite, que possui menor grau de fechamento da folhagem, foram as mais favoráveis, consumindo praticamente o mesmo que os demais sistemas de sombreamento. No caso da Glicínia, o consumo médio ficou 11% maior que na edificação com persiana interna ou brise horizontal. Já a Madressilva-creme foi a que representou um maior acréscimo no consumo de iluminação, em média 37%. Vale lembrar que o sistema de iluminação foi configurado com dimerização no *software*, de forma que se ajustasse automaticamente às variações de luminosidade natural vindas do exterior. Por este motivo, é esperado que o uso das *cortinas verdes* com vegetação mais densa, que causam mais sombreamento, acabe influenciando na maior necessidade de utilização da iluminação artificial, como foi constatado. No entanto, como veremos a seguir, em um balanço de consumo total de energia considerando os três sistemas analisados, as *cortinas verdes* aparecem com um desempenho positivo, representando uma opção que auxilia na redução do consumo global de energia para a edificação estudada.

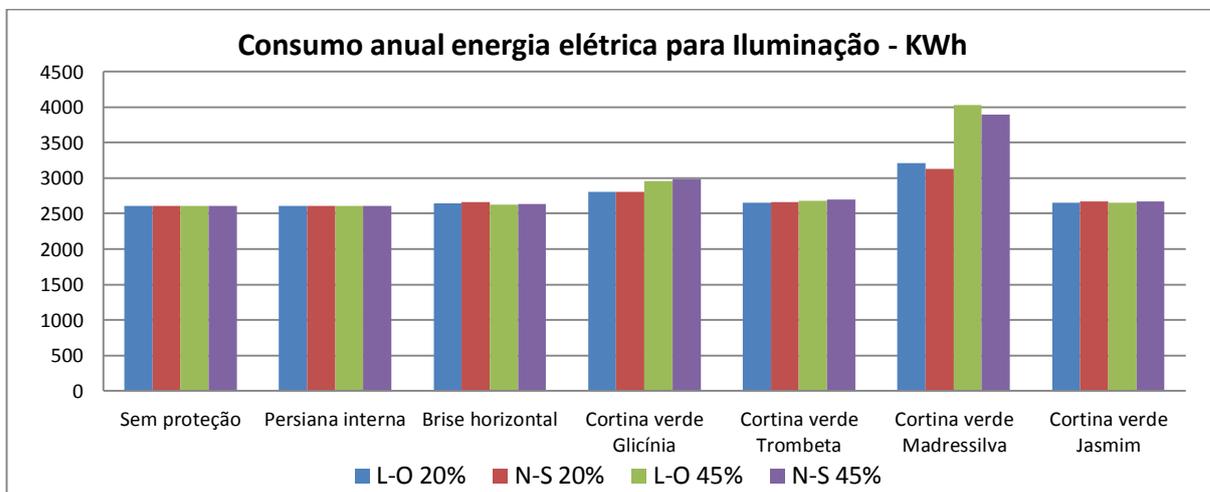


Figura 114: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para iluminação, na Zona Bioclimática 1

O consumo anual total de energia elétrica, considerando o somatório dos sistemas utilizados para resfriamento, aquecimento e iluminação do edifício, é apresentado no gráfico da Figura 115. Analisando os resultados, verifica-se a confirmação do bom desempenho do uso das *cortinas verdes* como sistema de controle solar para a edificação. Isto porque, em comparação com o edifício desprotegido, a redução média de consumo para as distintas situações simuladas de orientação solar e porcentagem de aberturas, ficou em torno dos 28% com o uso da espécie Glicínia; 25% com a Madressilva-creme; 21% com o Jasmim-leite e 18% utilizando a Trombeta-chinesa. Novamente, em relação ao consumo total, a

combinação na orientação solar Leste-Oeste com 45% de área envidraçada, foi a mais beneficiada na redução do consumo de energia, chegando a 38% com a Glicínia; 35% com a Madressilva-creme; 27% com uso do Jasmim-leite e 25% com a espécie Trombeta-chinesa.

Em comparação com a solução que utilizou brises horizontais, ocorreu redução no consumo com o uso das *cortinas verdes* com a espécie Glicínia (em média 8%) e com a Madressilva-creme (média de 5%). As outras espécies de trepadeira resultaram em um consumo médio muito próximo ao alcançado pelos brises. Assim, os resultados totais demonstraram que, para a cidade de Curitiba, as espécies mais favoráveis para uso nas *cortinas verdes* no caso simulado foram a Glicínia e a Madressilva-creme, mesmo que em alguns momentos o consumo para aquecimento ou iluminação tenha sido maior com estas espécies.

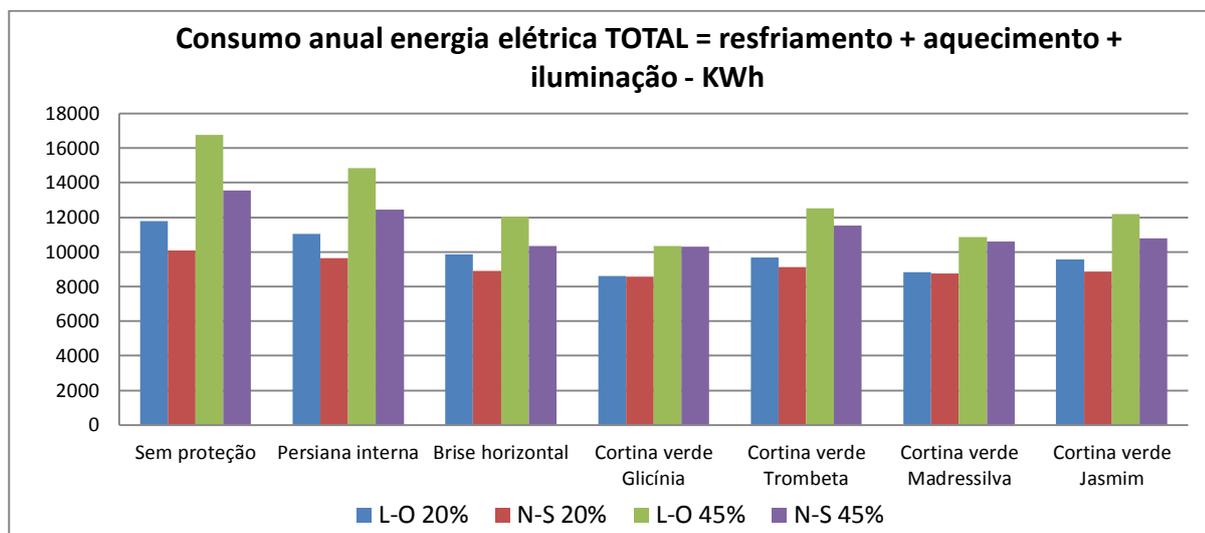


Figura 115: Gráfico do consumo anual total de energia elétrica, na Zona Bioclimática 1

Para cada Zona Bioclimática, foram confrontados também os resultados de consumo para resfriamento e aquecimento em cada mês do ano. Esta análise é de grande importância, especialmente para as regiões com clima composto de estação fria e quente, se considerarmos a variação na capacidade de sombreamento das *cortinas verdes* ao longo do ano, investigadas no experimento. Os dados coletados foram inseridos nas configurações do programa, possibilitando uma análise mais criteriosa sobre a relevância e consequência da variação do PTS para a eficiência energética da edificação.

Verificou-se que o comportamento das alternativas de proteção solar avaliadas segue um padrão similar no decorrer dos meses do ano, para as diferentes orientações solares e áreas de abertura. Os resultados mensais de consumo, tanto de resfriamento como de aquecimento, são proporcionais aos já estudados de forma anual. Portanto, selecionamos a situação mais desfavorável no consumo de energia anual resultante em cada cidade para a realização da discussão dos resultados mensais. Como já dito, todos os demais resultados encontram-se disponíveis no Apêndice C.

Desta forma foi observado que, para Curitiba, a situação de maior consumo geral para resfriamento identificada foi quando a área de aberturas é de 45%, direcionadas para as orientações Leste e Oeste. O gráfico da Figura 116 ilustra os resultados.

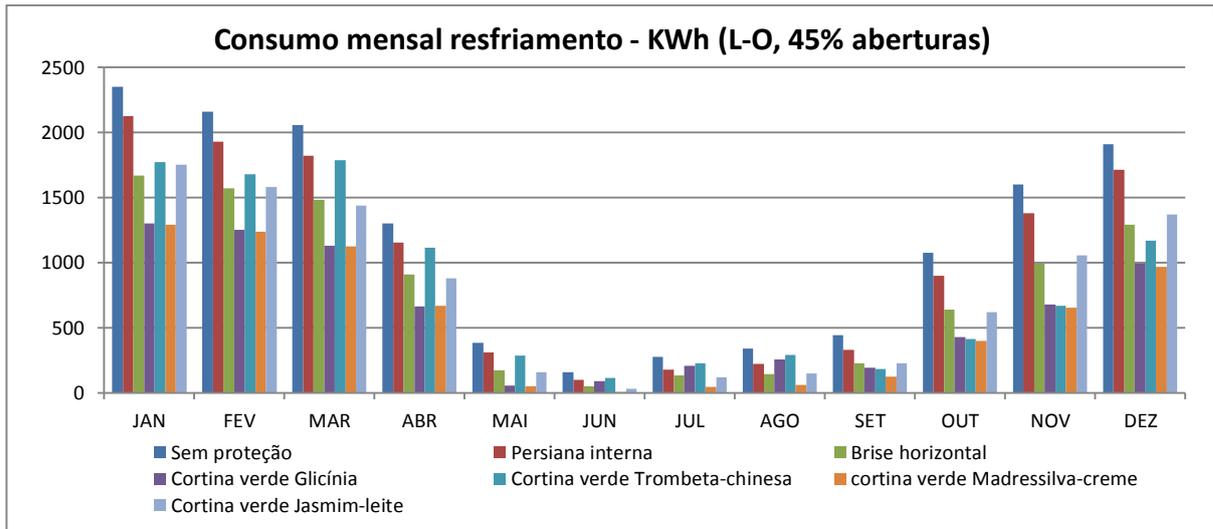


Figura 116: Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 1

Primeiramente, podemos observar que o consumo de energia elétrica para resfriamento, independente da opção de proteção solar, é maior nos meses do verão (de janeiro a março); intermediária nos meses de primavera e início do outono (de outubro a dezembro e em abril); e menor nos outros meses que correspondem à época mais fria do ano na cidade. Mesmo estando na região bioclimática do país com clima mais próximo do temperado, ainda permanece um pequeno consumo para resfriamento no inverno, por tratar-se de uma edificação de escritórios, que por sua atividade gera uma quantidade significativa de calor interno pela ocupação, equipamentos e sistema de iluminação.

Desta forma, analisando o desempenho das *cortinas verdes* no período mais quente do ano, que ocorre de outubro a abril, percebemos variações significativas de comportamento, dependendo da espécie e época do ano:

- A Glicínia e a Madressilva-creme foram as espécies com melhor desempenho, obtendo valores praticamente iguais de consumo para resfriamento neste período. A redução média de energia consumida, em comparação ao edifício sem proteção solar, chegou aos 50%. Já se comparada aos brises, ficou em 27%.
- O Jasmim-leite é uma espécie perene, porém possui grau de fechamento da folhagem intermediária durante todo o ano, com muitos vazados que permitem o acesso da radiação solar. Por este motivo, sua performance também foi intermediária em relação às outras espécies. O consumo de energia para resfriamento foi em média 31% menor que no edifício sem proteção e praticamente igual ao desempenho dos brises horizontais.
- Já a *cortina verde* com a espécie Trombeta-chinesa obteve em média 33% de redução de consumo no período mais quente, em relação à edificação sem proteção solar. No entanto, este melhor desempenho se concentrou nos meses de outubro a dezembro. Entre janeiro e abril sua performance diminuiu bastante, em virtude da já comentada redução antecipada de sua folhagem. Em relação aos brises, inclusive, consumiu mais energia nestes meses. Desta forma, podemos dizer que dentre as espécies avaliadas, a Trombeta-chinesa obteve o pior desempenho para utilização nas *cortinas verdes* para a Zona Bioclimática 1.

Em relação ao consumo para aquecimento, a condição mais desfavorável ocorreu quando a área de aberturas é de 20%, nas orientações Leste e Oeste. O gráfico da Figura 117 ilustra os resultados.

Em situação oposta ao resfriamento, como era esperado, o consumo para aquecimento se concentra nos meses mais frios do ano na cidade, de forma mais acentuada em julho e moderada em junho, agosto e setembro. Cabe ressaltar, no entanto, que a quantidade de energia utilizada para aquecer uma edificação de escritórios é muito menor que a necessária para o resfriamento. No caso simulado, enquanto o consumo médio anual para resfriamento da edificação sem nenhuma proteção solar, considerando as diferentes orientações solares e área de aberturas, ficou em torno de 10.300 KWh, para o aquecimento o valor cai para menos de 120 KWh, sendo considerado praticamente desprezível. Isto justifica a maior preocupação com o estudo das alternativas de controle solar que minimizem os ganhos térmicos nos períodos quentes e, por consequência, reduzam de forma significativa o consumo de energia elétrica para resfriamento do edifício.

Mesmo assim, no caso das Zonas Bioclimáticas 1 e 2, onde o clima possui estação fria, a identificação de variáveis que possam influenciar também no consumo de aquecimento são importantes. Obviamente, a utilização de qualquer tipo de elemento de controle solar, seja interno ou externo, resultará em um maior consumo de energia, se comparada à edificação sem nenhuma opção de anteparo ao sol. No entanto, no caso das *cortinas verdes*, já foi comentado como a vegetação pode adaptar-se mais dinamicamente às variações de temperatura do que os sistemas de controle solar fixos, especialmente quando utilizamos uma trepadeira caducifólia, que perde total ou parcialmente suas folhas, permitindo maior acesso do sol na edificação nos períodos frios.

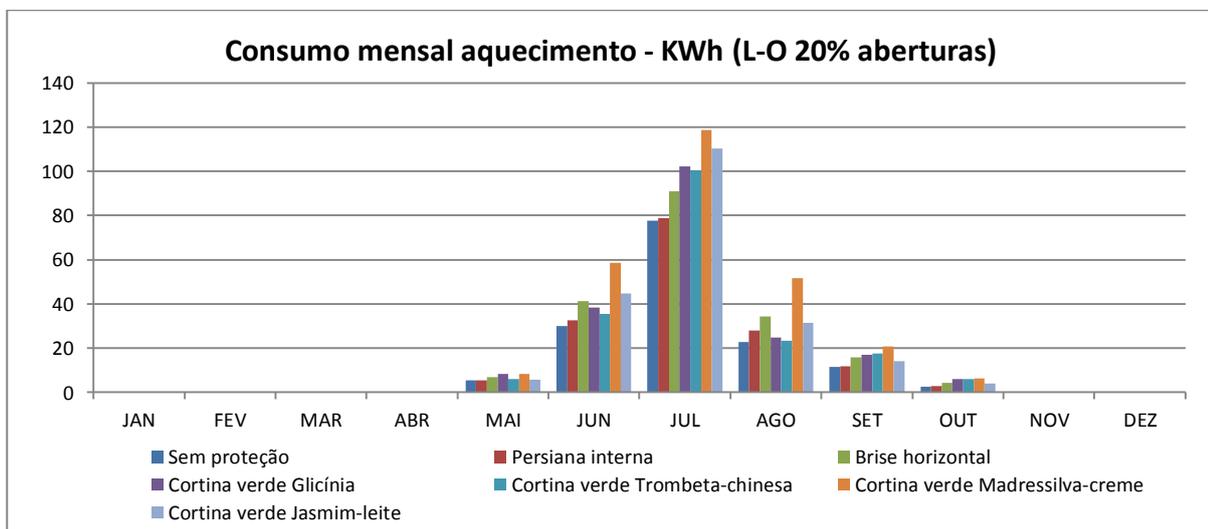


Figura 117: Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 1

Assim, comparando os resultados de consumo de energia para aquecimento, verificamos que as *cortinas verdes* com as espécies caducifólias (Glicínia e Trombeta-chinesa), realmente são as opções que podem concorrer com o desempenho das persianas internas e brises horizontais. No caso simulado, no mês de agosto o consumo foi inclusive menor entre essas opções e em junho foi menor que no caso do uso dos brises, ficando em desvantagem significativa

somente no mês de julho. As espécies perenes, por outro lado, elevam o consumo de energia, por serem mais densas e possuírem menos vazados entre as folhas que permitam a passagem dos raios solares. Nestes casos e nesta época do ano, uma boa recomendação seria a realização de poda nas espécies, diminuindo a concentração de folhas e elevando o percentual de transmissão solar – PTS.

6.4.2. Zona Bioclimática 2 – Santa Maria

Os gráficos das Figuras 118, 119 e 120 apresentam os resultados de consumo anual dos três sistemas avaliados nas simulações realizadas na Zona Bioclimática 2, que foi representada pela cidade de Santa Maria-RS.

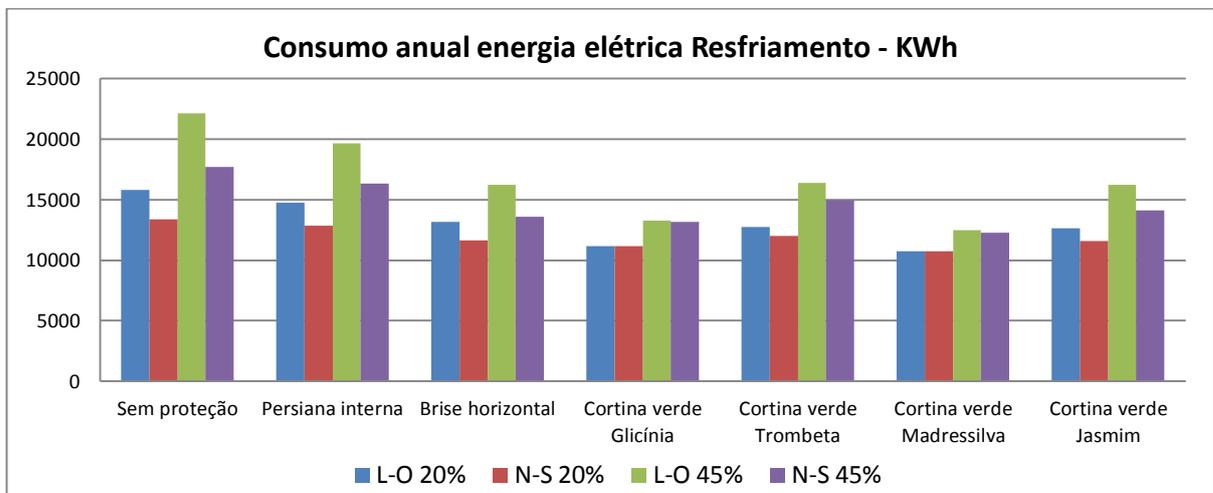


Figura 118: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 2

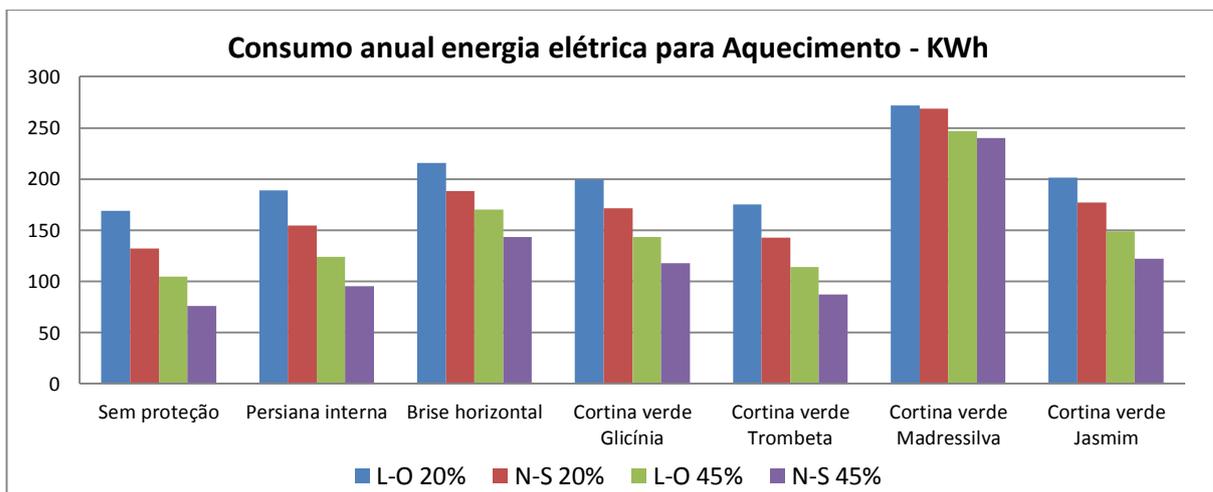


Figura 119: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 2

Nesta Zona Bioclimática, que representa a maior parte das cidades da região sul do Brasil, o clima característico é subtropical, com as estações do ano bem definidas, porém com as médias de temperatura um pouco mais elevadas do que as da Zona Bioclimática 1, anteriormente estudada. Por este motivo, o consumo anual de energia para resfriamento na cidade de Santa Maria resultou maior do que em Curitiba, independente da opção de sombreamento adotada. Ainda

assim, as diferentes configurações de orientação solar, área de aberturas e sistema de sombreamento, conservam proporcionalmente os mesmos resultados de consumo, com efeito semelhante ao que ocorre na primeira zona avaliada.

O desempenho das *cortinas verdes* é novamente significativo em relação ao edifício sem nenhum dispositivo de controle solar. Analisando as médias de consumo energético para resfriamento, nas diferentes orientações solares e áreas de vidro, o uso da espécie Glicínia diminui o consumo em 30%; com a Trombeta-chinesa a redução ficou em 19%; chegando aos 33% com a Madressilva-creme e aos 21% com o Jasmim-leite. A redução proporcionalmente mais acentuada revela-se na orientação Leste-Oeste com 45% de área de aberturas, onde as *cortinas verdes* com as espécies Glicínia e Madressilva-creme contemplam uma diminuição no consumo para resfriamento de 40% e 44%, respectivamente.

A situação comparativa com os brises horizontais planejados também é favorável, ou pelo menos igual, quando usamos as *cortinas verdes*. Nesse caso, a espécie Glicínia reduziu o consumo em média 11% e a Madressilva-creme 15%. Já com a Trombeta-chinesa e com o Jasmim-leite, o consumo energético para resfriamento ficou praticamente o mesmo que no caso dos brises.

Outro aspecto que chama a atenção, e que já ocorreu na Zona Bioclimática 1, é o comportamento das *cortinas verdes* quando há alteração na orientação solar das fachadas com aberturas. No caso das espécies com maior fechamento da folhagem, durante todo o ano ou nos períodos mais quentes (Madressilva-creme e Glicínia), a energia consumida é praticamente igual nas diferentes orientações, porém, nas espécies com maior transmissão solar, ou seja, menor densidade da folhagem, o consumo é variável. Percebe-se que na orientação Leste-Oeste, a energia gasta para resfriamento é maior do que na orientação Norte-Sul.

Em relação ao consumo de energia para aquecimento da edificação (Figura 119), observa-se que, de uma forma média, os valores anuais são muito próximos aos encontrados em Curitiba. No entanto, acentua-se a diferença de consumo entre as opções de orientação solar das fachadas com aberturas: na Leste-Oeste o gasto de energia é proporcionalmente maior que na orientação Norte-Sul, em praticamente todas as opções de sombreamento. Somente com a *cortina verde* que utilizou a espécie Madressilva-creme é que os resultados mantiveram-se próximos nas duas opções de orientação solar.

Comparando agora as opções de sombreamento e sua repercussão na necessidade de aquecimento da edificação para manter o conforto térmico, novamente as opções de *cortinas verdes* com espécies decíduas ou de menor densidade são as mais favoráveis. Já quando adotamos uma espécie muito fechada, no caso a Madressilva-creme, o consumo para aquecimento aumenta em média 113% em relação à edificação sem proteção e na ordem de 43% em comparação ao uso dos brises. No entanto, como já foi ressaltado, o consumo de energia para aquecimento é muito pequeno em relação ao necessário para resfriamento, não influenciando significativamente nos resultados de consumo total que serão discutidos a seguir.

Ainda, da mesma forma que ocorreu na Zona Bioclimática 1, os gastos com iluminação artificial resultaram em valores praticamente iguais nas diferentes opções de sombreamento, salvo no uso das *cortinas verdes* com a espécie Madressilva-creme que, por ser muito fechada, acaba obstruindo a passagem de luz natural para o interior do prédio. Como podemos observar no gráfico da Figura

120, como média nas distintas orientações solares e áreas de abertura, o consumo de iluminação com esta espécie ficou 33% maior.

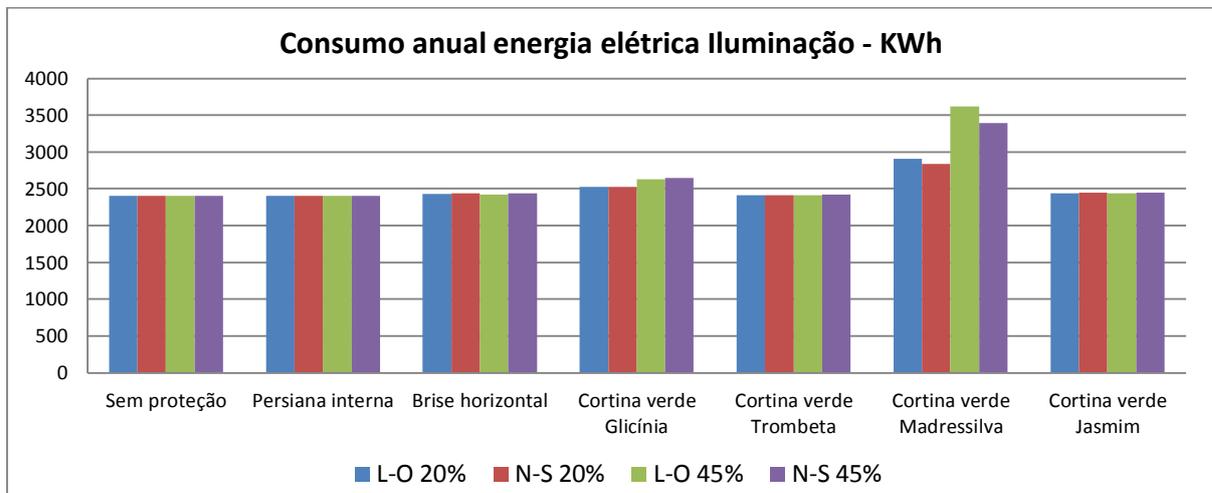


Figura 120: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para iluminação, na Zona Bioclimática 2

O gráfico da Figura 121, abaixo, representa os resultados de consumo total de energia elétrica para Santa Maria, considerando a soma do necessário para aquecer, resfriar e iluminar a edificação. Podemos verificar que os resultados foram próximos aos encontrados para a primeira cidade avaliada, e que o desempenho das *cortinas verdes* se destacou novamente na orientação Leste-Oeste com 45% de área de aberturas. Neste caso, em comparação com o edifício sem proteções solares, o uso da espécie Glicínia reduziu o consumo total de energia em 35%; seguida da Madressilva-creme com 34%. Já com a Trombeta-chinesa e com o Jasmim-leite, a diminuição ficou em torno dos 23%.

Ainda, considerando as diferentes orientações solares e áreas de vidro, o consumo médio de energia diminuiu com o uso das *cortinas verdes*, em relação à edificação sem proteção, na ordem de 24% com a Glicínia ou a Madressilva-creme; e 17% com as outras duas espécies. Se a comparação for em relação ao uso dos brises horizontais, o consumo médio foi 8% menor com a Glicínia e a Madressilva-creme, ficando praticamente igual no caso das *cortinas verdes* com a Trombeta-chinesa e o Jasmim-leite.

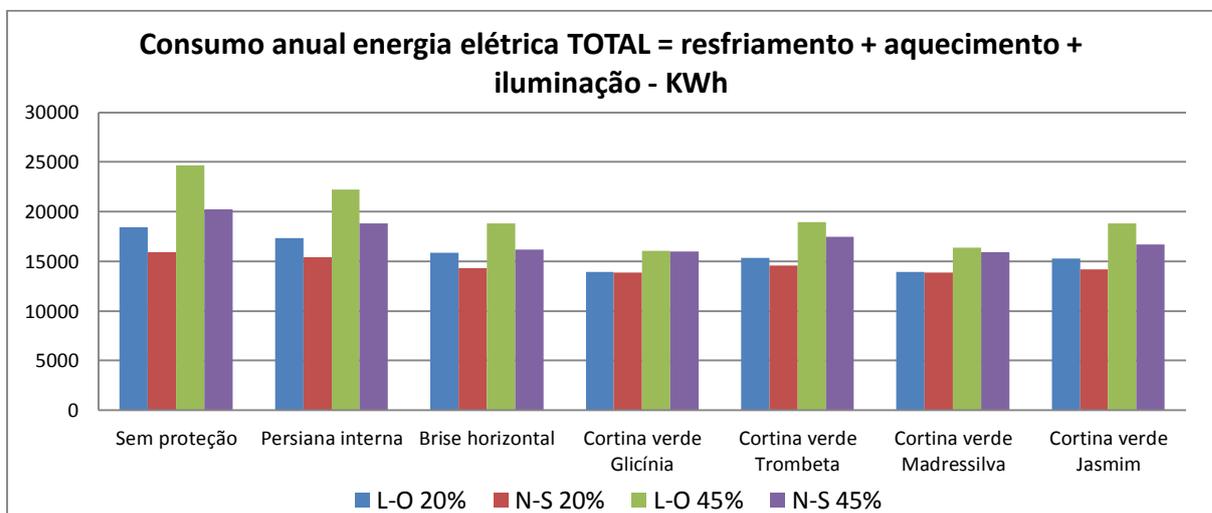


Figura 121: Gráfico do consumo anual total de energia elétrica, na Zona Bioclimática 2

Desta forma, pode-se constatar que também para a cidade de Santa Maria, os resultados mais favoráveis em um balanço de consumo para resfriamento, aquecimento e iluminação da edificação simulada, foram com as espécies Glicínia e Madressilva-creme, que possuem valores baixos de PTS durante todo o ano ou nos períodos com temperaturas mais altas.

Analisando agora os resultados de consumo de energia mensal para resfriamento, a condição identificada como pior situação para a cidade de Santa Maria foi a orientação Leste-Oeste, com 45% de área das aberturas, conforme ilustrado pelo gráfico da Figura 122.

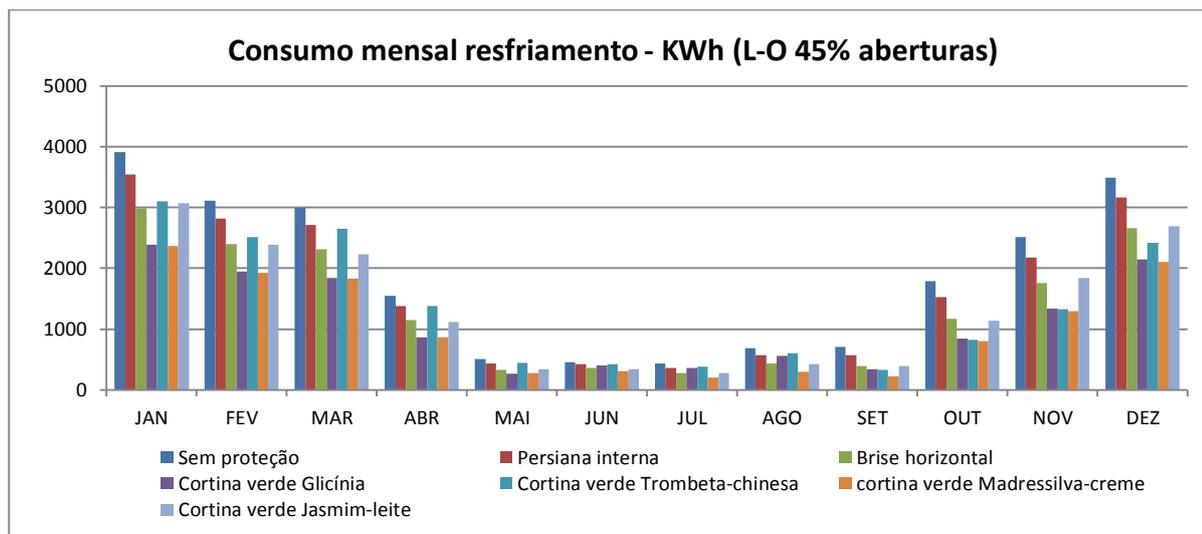


Figura 122: Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 2

No caso da Zona Bioclimática 2, os meses com maior necessidade de resfriamento para manutenção do conforto térmico, vão de outubro a abril. Entre os meses de maio a setembro, ainda há necessidade de momentos com resfriamento artificial, por tratar-se, com já explicado, de uma edificação comercial que gera elevada carga térmica interna. Este consumo nos meses mais frios do ano é, inclusive, maior que no caso da cidade de Curitiba (aproximadamente o dobro), já que as médias de temperatura são mais elevadas.

Comparando o desempenho energético das quatro espécies de trepadeira que compõem as *cortinas verdes* com a edificação sem nenhuma proteção, podemos observar uma situação muito próxima ao que ocorreu na Zona Bioclimática 1, guardando as devidas proporções de aumento de consumo já citadas. Assim, no período mais quente do ano – de outubro a abril, a redução média de consumo de energia para resfriamento utilizando a espécie Glicínia ou a Madressilva-creme foi de 43%; com a Trombeta-chinesa chegou a 28% e com o Jasmim-leite ficou em torno dos 26%.

Em um paralelo com o uso dos brises horizontais planejados, também as espécies Glicínia e Madressilva-creme foram as mais favoráveis no período mais quente, com redução próxima aos 23%, enquanto o Jasmim-leite apresentou comportamento energético praticamente igual aos brises. Já a opção de sombreamento com a espécie Trombeta-chinesa foi melhor somente nos meses de outubro a dezembro, consumindo em média 21% menos energia. Entre janeiro e abril superou o consumo de todas as demais opções de *cortina verde* e também de brises, sendo esta em média 11% maior.

Sobre o consumo para aquecimento, a condição mais desfavorável ocorreu também nas orientações Leste e Oeste, porém quando a área de abertura é menor, ou seja, de 20%. O gráfico da Figura 123 demonstra os resultados.

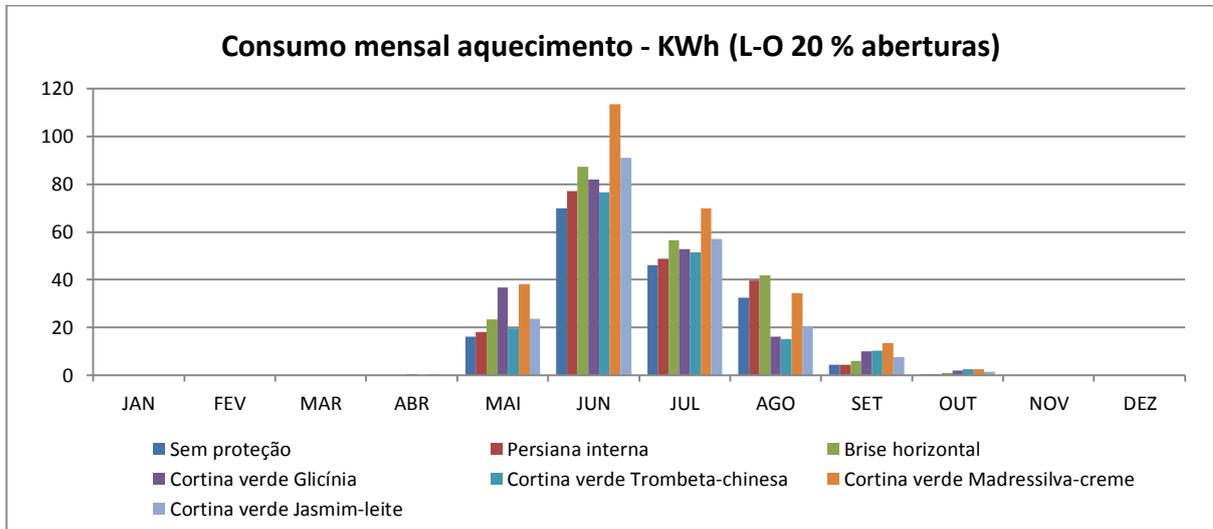


Figura 123: Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 2

Analisando o gráfico de aquecimento, observamos que a principal diferenciação em relação ao que ocorreu na Zona Bioclimática 1, é que o mês do ano com maior consumo em Santa Maria é junho e não julho. Já os meses de maio, julho e agosto resultaram em um consumo moderado. Confirmando o já dito anteriormente, as *cortinas verdes* com espécies decíduas (Glicínia e Trombeta-chinesa) e com menor grau de fechamento da folhagem (Jasmim-leite) são as que têm um desempenho médio mais próximo ao uso dos brises nesta época do ano. Já o uso da espécie Madressilva-creme, por ter o PTS muito baixo mesmo no inverno, acaba elevando o consumo da edificação para aquecimento. Mesmo assim, como sua performance nos períodos quentes é favorável à redução de consumo para resfriamento da edificação, permanece sua recomendação de uso nas *cortinas verdes*, desde que seja realizada a manutenção com poda no inverno.

6.4.3. Zona Bioclimática 8 – Fortaleza

Com a finalidade de verificar a adequação e comparar o uso das *cortinas verdes* para outra situação climática, agora de calor o ano todo, foram realizadas simulações na edificação para a Zona Bioclimática 8, representada pela cidade de Fortaleza-CE. Os gráficos das Figuras 124, 125 e 126 apresentam, respectivamente, os resultados de consumo anual de energia elétrica para resfriamento, iluminação e consumo total, com as diferentes configurações adotadas. No caso desta cidade, como já era esperado, não existe necessidade de climatização artificial de aquecimento em nenhum mês do ano.

Analisando primeiramente o consumo para resfriamento (Figura 124), constata-se que a quantidade de energia necessária para manter a temperatura interna na zona de conforto térmico, é muito maior na Zona Bioclimática 8 do que nas situações anteriores. Isto se deve à latitude da cidade de Fortaleza, aproximadamente 4° Sul, logo abaixo da linha do Equador, e ao clima da região, que apresenta altas temperaturas o ano todo. De uma forma geral, considerando

a média entre as diferentes opções de orientação solar e área de aberturas, o consumo anual de energia para resfriamento em Fortaleza ficou em 40.000 KWh, enquanto em Curitiba esta média não chegou a 8.000 KWh e em Santa Maria ficou em torno dos 14.000 KWh.

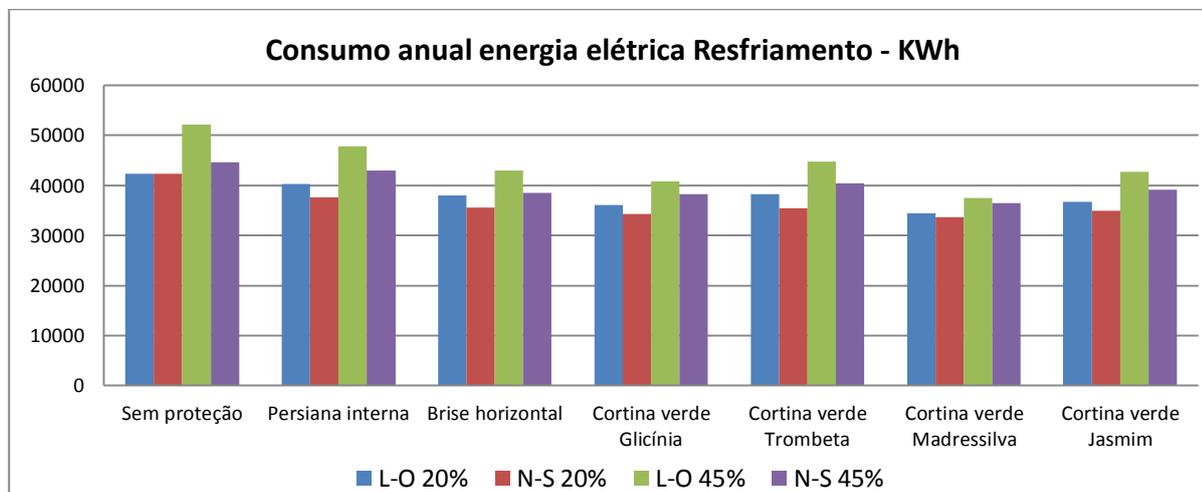


Figura 124: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 8

Esta constatação reforça a necessidade da adoção de um sistema de sombreamento eficiente para as áreas envidraçadas em todas as orientações solares, uma vez que até mesmo o lado sul recebe elevada carga térmica. O brise horizontal planejado, por exemplo, reduziu em média 15% o consumo de energia em relação à edificação sem nenhuma proteção solar. Quando adotamos as *cortinas verdes*, considerando a média obtida nas opções de orientação solar e área de vidro, o melhor desempenho foi com a espécie Madressilva-creme, reduzindo 22% no consumo de energia. Com a Glicínia a redução foi de 18%; seguida do Jasmim-leite com 15% e da Trombeta-chinesa com 12%.

Em comparação aos brises, a redução média fica em torno dos 8% para a espécie Madressilva-creme, que tem a folhagem mais fechada o ano todo; e 4% com a Glicínia, que, apesar de ser decídua, apresenta um PTS baixo durante boa parte do ano. Já quando utilizamos as espécies com maior percentual de transmissão solar (Trombeta-chinesa e Jasmim-leite), praticamente não há ganho em relação ao uso do brise, resultando em consumos de energia anual parecidos.

Sobre o consumo para o sistema de iluminação em Fortaleza, apresentado na Figura 125, podemos destacar um diferencial em relação às Zonas Bioclimáticas 1 e 2: ocorreu um aumento significativo de consumo de energia com o uso das *cortinas verdes*, para todas as espécies analisadas e não somente com a de maior densidade de folhagem. Considerando uma média nas distintas orientações solares e áreas de abertura, o aumento em relação aos outros sistemas adotados foi de 16% com a Glicínia; 10% com a Trombeta-chinesa; chegou aos 27% com a Madressilva-creme e a 20% com o Jasmim-leite. Ainda, salvo no caso do jasmim-leite onde praticamente não ocorreu diferença de consumo para iluminação nas quatro situações simuladas, o aumento de energia necessária foi expressivamente maior na orientação Norte-Sul: em média 27% com a Glicínia; 19% com a Trombeta-chinesa; chegando aos 37% com a Madressilva-creme.

Podemos supor que este resultado diferenciado de necessidade de iluminação artificial para as orientações Norte-Sul tenha relação com a latitude da cidade de

Fortaleza e, conseqüentemente, com a trajetória solar ao longo do ano. Nas situações anteriores, em Curitiba e em Santa Maria, a trajetória aparente do sol possui inclinação diferenciada no inverno e verão, incidindo por mais tempo na fachada Norte. Já na cidade de Fortaleza, que está muito próxima da Linha do Equador, a trajetória do sol ocorre de forma mais perpendicular e praticamente igual o ano todo, resultando em incidências parecidas nas fachadas Norte e Sul. Neste caso, além do sombreamento proporcionado pela vegetação, também influenciaram na redução de luz natural a presença das marquises e floreiras, que se prolongam em relação às fachadas e bloqueiam o sol nas duas orientações (Norte e Sul), durante boa parte do dia.

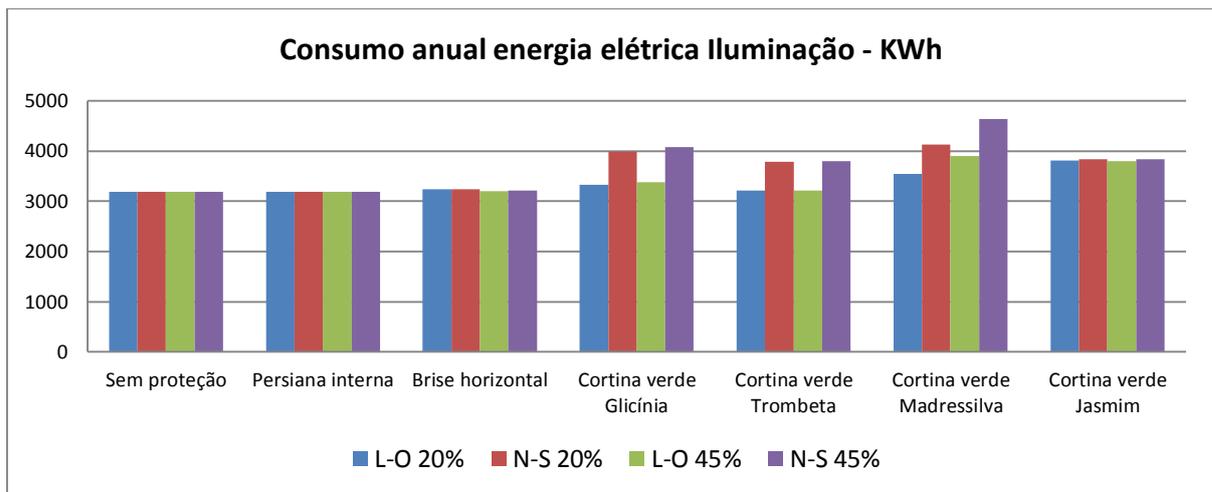


Figura 125: Gráfico do consumo anual de energia elétrica para iluminação, na Zona Bioclimática 8

Para uma análise global, o gráfico da Figura 126 organiza o consumo total anual de energia elétrica, somando-se o gasto com resfriamento e iluminação, para a simulação realizada na Zona Bioclimática 8.

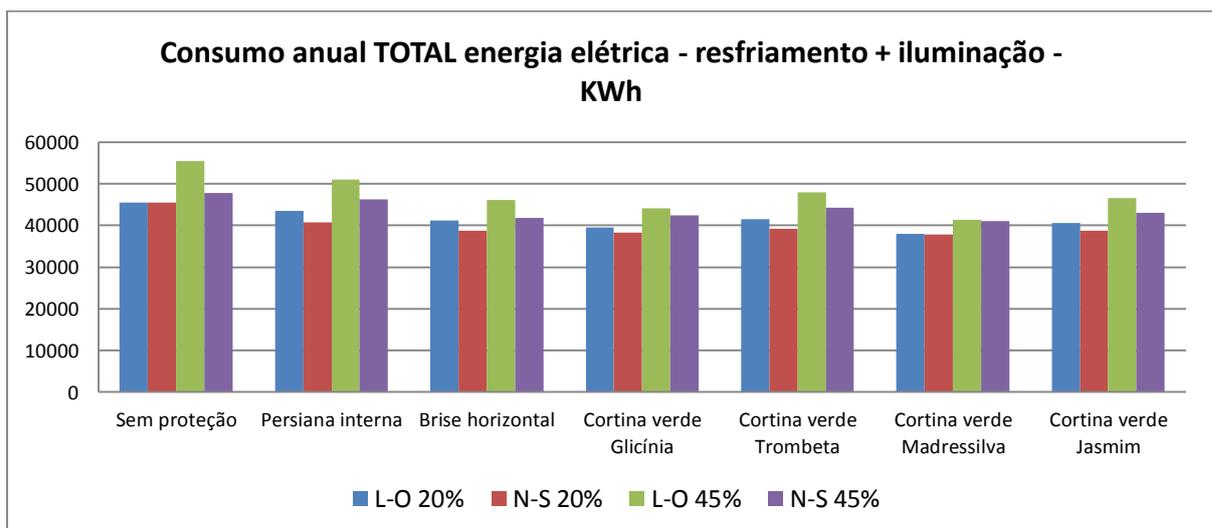


Figura 126: Gráfico do consumo total anual de energia elétrica, na Zona Bioclimática 8

Analisando os resultados observamos que, proporcionalmente, as reduções de consumo de energia com as *cortinas verdes* foram menores em Fortaleza do que nas cidades anteriores. Se compararmos o gasto total para as diferentes

orientações solares e áreas de vidro, o melhor desempenho foi com uso da espécie Madressilva-creme, que consumiu em média 19% menos energia em relação ao edifício sem proteção solar; seguida da Glicínia que reduziu 15%; do Jasmim-leite que chegou aos 13% e da Trombeta-chinesa com 11% menos.

No caso de um comparativo com os brises horizontais, o levantamento do consumo total indicou que a espécie Madressilva-creme gerou uma pequena economia de energia na ordem de 6%; com a Glicínia esta redução foi ainda menor, de 2%. Ainda, constatou-se que essas minimizações ocorreram especialmente na situação de orientação Leste-Oeste, com 45% de área de aberturas. Já o desempenho do Jasmim-leite e da Trombeta-chinesa foi igual ou, em alguns momentos, gerou até um consumo de energia um pouco maior.

Por fim, o gráfico da Figura 127 apresenta os resultados de consumo mensais para a simulação realizada na Zona Bioclimática 8, com 45% de área de aberturas, orientadas para Leste e Oeste. Novamente esta foi a condição de maior gasto energético com climatização para resfriamento.

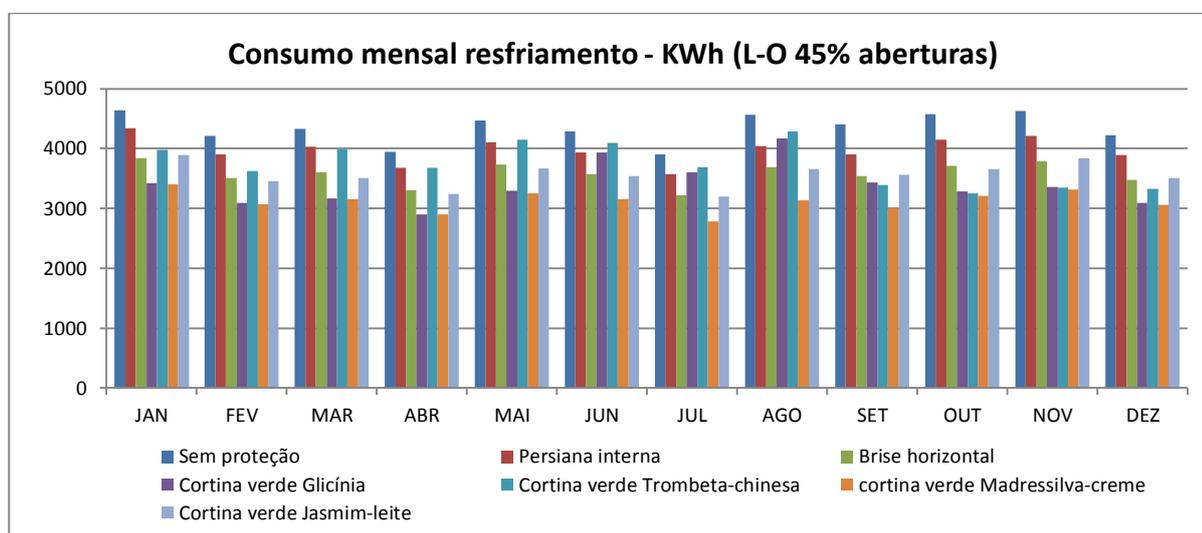


Figura 127: Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 8

Como já era esperado, diferentemente do que ocorre nas duas zonas bioclimáticas analisadas anteriormente, em todos os meses do ano existe necessidade de resfriamento na cidade de Fortaleza, repercutindo em valores de consumo de energia mensais aproximadamente constantes no decorrer do ano.

No entanto, dependendo da opção de sombreamento adotado, a redução de consumo pode ter maior significado. Quando utilizamos somente a persiana interna, por exemplo, o consumo médio mensal diminui em torno de 10% em relação ao prédio sem proteção solar. Com os brises horizontais planejados, esta redução pode se aproximar de 20%. No caso da adoção das *cortinas verdes* como elemento de controle solar dependendo da espécie utilizada e da época do ano, o desempenho mensal poderá sofrer oscilações, resultando em maior ou menor economia de energia. Isto ocorre, principalmente, com as espécies caducifólias, uma vez que nos períodos em que as folhas caem o percentual de transmissão solar aumenta e contribui para o demasiado aquecimento do edifício. Observando o gráfico, percebemos resultados diferenciados para cada espécie:

- No caso da *cortina verde* com a espécie Glicínia, o desempenho é baixo nos meses de junho, julho e agosto, quando suas folhas caem e a edificação fica mais exposta ao acesso da radiação solar. Nestes meses, até mesmo a persiana interna alcança melhores resultados. Já nos períodos com maior densidade de folhagem (setembro até maio), a redução média no consumo de energia, se comparado ao edifício sem proteção solar, foi de 26% e ao uso dos brises, 11%. Assim, em um balanço anual, proporcionou 22% de economia em relação ao edifício desprotegido e 5% em relação ao uso dos brises.
- A outra espécie decídua (Trombeta-chinesa) foi a que apresentou os resultados mais desfavoráveis para uso em *cortinas verdes* na Zona Bioclimática 8. Isto porque esta trepadeira permaneceu muito tempo do ano sem folhagem ou com um grau de fechamento pequeno, permitindo muita exposição da edificação ao sol. Somente entre os meses de setembro a dezembro seu desempenho foi melhor ao alcançado pelos brises (na ordem de 8%). Nos outros meses do ano, no entanto, chegou a apresentar um consumo de energia em média 11% maior que com os brises. De uma forma geral, considerando todos os meses do ano, seu uso reduziu em média 14% no consumo de energia para resfriamento, em relação ao prédio sem proteção. Porém, em comparação aos brises horizontais, a média foi de 4% a mais de energia utilizada.
- O Jasmim-leite foi a espécie que apresentou resultados intermediários de performance para esta condição climática, reduzindo em média 18% no consumo de energia para resfriamento em relação à edificação sem proteção solar. Já comparado aos brises, seu desempenho resultou praticamente igual, independente do mês do ano. Isto se deve ao grau de fechamento intermediário de sua folhagem, cujo PTS medido ficou em torno dos 50%. Podemos concluir que, neste caso, a porcentagem de sombreamento médio se equivale ao proporcionado pelos brises horizontais planejados, embora sejam sistemas com características bem diferentes.
- Por fim, a espécie que apresentou os melhores resultados para a cidade de Fortaleza foi, como já citado na análise anual, a Madressilva-creme. A densidade alta e constante de sua folhagem, com várias camadas que interceptam a passagem dos raios solares, garantiu uma redução média de 28% no consumo com resfriamento, se comparado à edificação sem uso de proteções solares; e de 13% no caso do sistema convencional com brises horizontais.

Como dito anteriormente, as espécies analisadas nesta pesquisa possuem boa adaptação ao clima subtropical. Por conseguinte, para a execução de *cortinas verdes* em outras regiões climáticas do Brasil, primeiramente, é necessário o estudo das espécies trepadeiras apropriadas a cada local. No entanto, com as simulações realizadas, fica perceptível que espécies com folhagem mais densa e, portanto, menor PTS durante todo o ano, serão as mais recomendadas como sistema de sombreamento para as zonas com temperaturas médias mais elevadas. Foi o caso da Madressilva-creme, que reduziu de forma mais eficaz o consumo de energia em relação aos sistemas com persiana interna e com brises, independente da área das aberturas e da orientação solar das fachadas.

CAPÍTULO VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os objetivos propostos por esta pesquisa, podemos resumir neste capítulo final as principais conclusões do estudo:

- A utilização das *cortinas verdes* em arquitetura demonstrou potencial positivo, no entanto deve ser fruto de decisões e estudos fundamentados, de forma que atenda seu duplo propósito: ser um componente de controle solar e, ao mesmo tempo, parte integrante da forma e expressão da arquitetura. Para tanto, seu planejamento envolve um processo criativo de integração ao conceito arquitetônico da obra. Além disso, se faz necessário o conhecimento aprofundado sobre as características do clima local, da trajetória solar e das espécies com melhor adaptação em cada região. São imprescindíveis estudos de viabilidade técnica para a execução e manutenção do sistema: escolha dos materiais e dimensionamentos adequados, planejamento da irrigação, adubação, limpeza e poda regular das espécies.
- Dentre as atuais e diversas tipologias de jardim vertical com aplicação em arquitetura, as *cortinas verdes* se destacam pelo aspecto funcional de proporcionar sombreamento, o que pode repercutir na eficiência energética da edificação, e não somente pelo resultado estético. Além disso, é um sistema mais econômico e sustentável, uma vez que sua execução e manutenção são mais fáceis e menos dispendiosas em termos energéticos, de consumo de água para irrigação e insumos para manutenção da vegetação.
- Além de sua capacidade de sombreamento, as *cortinas verdes* possuem outras vantagens que vão ao encontro às premissas de uma arquitetura mais sustentável, com baixo impacto ao meio ambiente, eficiente energeticamente e saudável aos usuários: são componentes naturais, que se integram mais facilmente à paisagem, proporcionam contato do ser humano com a natureza, são dinâmicas, modificando-se ao longo dos anos e das variações das estações, trazem informações visuais e sensoriais sobre luz e sombra, profundidade, cores, texturas, aromas, da intensidade e direção do vento. Também auxiliam na oxigenação e resfriamento evaporativo do ar, diminuindo os efeitos das ilhas de calor urbanas.
- Sobre o estudo experimental realizado, podemos concluir que cada espécie vegetal apta a ser utilizada em *cortinas verdes*, dependendo da região, possui características particulares em relação à capacidade de sombreamento ao longo do ano. Dependendo de sua estrutura, tamanho e grau de fechamento da folhagem, condição perene ou decídua, o Percentual de Transmissão Solar (PTS) pode ser aproximadamente constante ou ter variação acentuada nos diferentes meses do ano.
- No caso das espécies avaliadas no experimento, duas eram perenes e duas caducifólias. Das espécies perenes, a *Lonicera japonica* (Madressilva-creme) foi a que apresentou os menores valores de PTS durante o ano todo (entre 1% a 4%) e a *Trachelospermum jasminoide* (Jasmim-leite) teve um comportamento intermediário, com variação do PTS entre 42% a 51%.

Já entre as espécies caducifólias, a *Wisteria floribunda* (Glicínia) foi a que apresentou maior correlação entre as estações climáticas e o grau de fechamento de sua folhagem, com valores de PTS altos no inverno, intermediários na primavera e outono e baixos no verão. Por fim, a *Campsis grandiflora* (Trombeta-chinesa) também apresentou variações sazonais, porém com maior período do ano sem folhas ou com folhagem parcial.

- A partir do comportamento das espécies no experimento, podemos concluir que, de uma forma geral, as decíduas são mais indicadas para uso em *cortinas verdes* de edificações em climas temperados ou subtropicais, onde há estação fria e quente, porque o dinamismo de sua folhagem proporcionará sombra nos períodos quentes e maior acesso da radiação solar nas épocas frias. Isto irá repercutir em um balanço energético mais natural e passivo, evitando o excesso de consumo de energia com climatização artificial, tanto para resfriamento como para aquecimento. Já as espécies perenes, com maior ou menor grau de densidade da folhagem, serão favoráveis para evitar o aquecimento demasiado de edifícios em climas tropicais ou equatoriais, com temperaturas altas o ano todo. No entanto, vale destacar a possibilidade de “manipulação” das espécies em uma aplicação real na edificação, intensificando seu crescimento com adubação e irrigação adequadas ou diminuindo a concentração de sua folhagem com a realização de podas. Ainda, a disposição e distância das mudas e dos suportes, bem como a organização e distribuição da galharia, podem determinar um grau de fechamento diferenciado, com maior ou menor densidade, de acordo com o clima ou a necessidade de climatização do edifício para diferentes usos.
- Já sobre os dados gerados com as simulações computacionais de eficiência energética para uma edificação com atividade de escritório e com as características construtivas sugeridas, podemos concluir de uma forma geral, que o desempenho do uso das *cortinas verdes* enquanto elemento de controle solar é favorável, se comparado aos sistemas convencionais com persiana interna ou brises horizontais. Na maioria das combinações simuladas em diferentes zonas bioclimáticas, orientações solares e área das aberturas, a performance na redução do consumo de energia elétrica para resfriamento ou aquecimento da edificação foi melhor quando o sistema de sombreamento adotado foi a vegetação. Novamente é perceptível a influência na variação do PTS de cada espécie nos diferentes meses do ano, adaptando-se às variações de temperatura, enquanto os elementos convencionais, sobretudo os brises, foram simulados fixos e sem opções de regulação.
- Considerando os resultados em cada zona bioclimática simulada, podemos dizer que, para o caso das cidades de Curitiba e Santa Maria (Zonas Bioclimáticas 1 e 2), as espécies que melhor repercutiram na redução de energia total, em um balanço que considerou o gasto com resfriamento, aquecimento e iluminação artificial, foram a Glicínia e a Madressilva-creme, por apresentarem menor PTS durante todo o ano ou nos meses com temperaturas mais altas. O Jasmim-leite e a Trombeta-chinesa refletiram em consumos médios totais semelhantes aos brises. No entanto, em uma análise mensal, a Trombeta-chinesa consumiu muita energia para resfriamento no verão, devido a já comentada situação

atípica de diminuição antecipada de sua folhagem. Ainda, as espécies perenes foram desfavoráveis nos meses de inverno quanto ao consumo para aquecimento. Apesar disso, o gasto foi mínimo e praticamente não influenciou nos resultados totais.

- Para a Zona Bioclimática 8, representada nas simulações pela cidade de Fortaleza, somente o resfriamento é necessário, independente da época do ano. Neste caso, o consumo médio total, considerando o gasto com resfriamento e iluminação, também foi menor na aplicação das *cortinas verdes* com a espécie Madressilva-creme, que possui folhagem mais densa e pouca transmissão dos raios solares; seguida da Glicínia. Analisando o consumo mês a mês, vemos que os resultados da Madressilva-creme são expressivos durante todo o ano, enquanto o uso da Glicínia repercute em um aumento de consumo entre junho e agosto, época em que suas folhas caem.
- Em relação aos resultados de consumo com o sistema de iluminação, houve uma elevação, como era esperado, proporcional ao efeito de sombreamento causado pelas vegetações com menor PTS. No entanto, este consumo é significativamente menor que o necessário para o resfriamento da edificação, não repercutindo nas particularidades de desempenho global das espécies.
- Outra constatação relevante foi que a combinação simulada com orientação solar Leste-Oeste e 45% de área envidraçada, foi a mais beneficiada na redução do consumo de energia em todas as zonas bioclimáticas e com todas as espécies utilizadas. Isto indica uma aplicação mais favorável das *cortinas verdes* para esta orientação.

7.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para fechamento desta tese de doutorado, serão indicadas sugestões para trabalhos futuros, que possam dar sequência, envolver assuntos não abordados ou amenizar as limitações encontradas no decorrer da pesquisa, sobretudo nas fases do experimento e das simulações:

- Avaliar outras espécies de trepadeiras que possam vir a ser usadas em *cortinas verdes*, em diferentes realidades climáticas e regiões do País;
- Aprimorar a metodologia de obtenção do PTS através das imagens, com maior número de registros fotográficos em cada mês do ano, realizando análises estatísticas e tornando os resultados mais precisos;
- Retomar e aperfeiçoar a metodologia testada na avaliação piloto, de forma a obter também dados de transmitância da radiação através da vegetação e considerando diferentes ângulos de altura e azimuth solar;
- Realizar simulações para as outras Zonas Bioclimáticas brasileiras, bem como para edificações com outras características e, principalmente, outros usos, como o residencial;
- Estudar outras variáveis envolvidas no desempenho energético das *cortinas verdes*, como, por exemplo, o efeito do resfriamento evaporativo;

- Analisar aspectos importantes referentes à execução das *cortinas verdes*, como os tipos e materiais para os suportes de desenvolvimento das trepadeiras, quanto ao dimensionamento das floreiras, tipos de substratos, sistemas de irrigação, entre outros;
- Avaliar a ambiência resultante do uso das *cortinas verdes* para os espaços internos, tanto do ponto de vista do conforto ambiental como dos aspectos sensoriais trazidos ao usuário;
- Ampliar a discussão dos argumentos econômicos, das vantagens e desvantagens que o uso das *cortinas verdes* representam nos gastos de implantação e manutenção da edificação durante sua vida útil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**. Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ALEXANDRI, Eleftheria; JONES, Phil. Temperature Decreases in an Urban Canyon Due to Green Walls and Green Roofs in Diverse Climates. **Building and Environment**, n. 43, p. 480-493, 2008.

ANA RASCOVSKY. Arquitectos. Disponível em <<http://www.anarascovsky.com/>> acesso em 10 mar. 2013

ARCHDAILY. Disponível em <<http://www.archdaily.com>>, acesso em 11 mar. 2012.

ARQUITETÔNICO. Disponível em <<http://www.arquitetonico.ufsc.br>>, acesso em 10 dez. 2013.

ATELIER DESHAUS. Disponível em <<http://www.deshaus.com>>, acesso em 24 jul. 2012.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

BASS, B. Green roofs and green walls: potential energy savings in the winter. **Reporton Phase**, n. 1, 2007.

BROWN, G. Z.; DEKAI, Maek. **Sol, Vento & Luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

BROWNE, Enrique. **El Edificio “Consortio-Santiago” 14 Años Después**. Santiago, 2007. Disponível em: <<http://www.ebrowne.cl>>, acesso em: 10 mar. 2011.

BRUAND, Yves. **Arquitetura contemporânea no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 2003.

BRUNO STAGNO. Disponível em <<http://www.brunostagno.info>>, acesso em 08 ago. 2012.

BRT ARCHITEKTEN. Disponível em <<http://www.brt.de>>, acesso em 08 ago. 2012.

BURDEN, Ernest. **Dicionário ilustrado de arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CANTUÁRIA, G. A. C. **Microclimatic impact of vegetation on building surfaces**. 1995. Dissertação (mestrado). Environment and Energy Studies Programme, A. A. School of Architecture, London, 1995.

CAVALCANTI, Lauro. **Quando o Brasil era moderno: guia de arquitetura 1928-1960**. Rio de Janeiro: Aeroplano, 2001.

CCR – UFSM. Departamento de solos. **Laudo de análise de solo**. Santa Maria, 2011.

CORONA, Eduardo; LEMOS, Carlos Alberto Cerqueira. **Dicionário da Arquitetura Brasileira**. São Paulo : Companhia das Artes, 1998.

COSTA, Carlos Smaniotto. Jardins Verticais – uma oportunidade para as nossas cidades? **Arquitextos**, 133.6, 2011. Disponível em <<http://www.vitruvius.com.br/revistas>>, acesso em 04 jul. 2011.

CÓX, C. F. & FERNÁNDEZ, A. T. **América Latina: nueva arquitectura – una modernidad pos racionalista**. México D.F: G. Gili, 1998.

CUNHA, Eduardo Grala da. Mitos e verdades sobre o *brise-soleil*: da estética à eficiência energética. **Arquiteturarevista**, v.7, n.1, p. 73-80, 2011.

DE LA TORRE, José Manuel Ochoa. **La vegetación como instrumento para el control microclimático**. 1999. Tese (doutorado). Programa de Doctorado Ámbits de Recerca de la Construcció i l'Energía a l'Arquitectura. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1999.

DESIGNBOOM. Disponível em <<http://www.designboom.com/architecture/edward-suzuki-architecture-vent-vert-green-tower/>>, acesso em 24 abr. 2013.

DESIGN BUILDER. **Design Builder v. 3.4.0.041**. Design Builder Software Ltd, 2014. Disponível em <<http://www.designbuilder.co.uk/>>, acesso em 12 mai. 2014.

DESIGN FOR LONDON. **Living Roofs and Walls**. Technical report: Supporting London plan policy. London: Greater London Authority, 2008. Disponível em <http://www.designforlondon.gov.uk/uploads/media/5_Living_Roofs_technical_report.pdf> acesso em 25 jul. 2012.

DUNNETT, Nigel; KINGSBURY, Noël. **Planting Green Roofs and Living Walls**. Portland: Timber Press, 2004.

ECOTELHADO. Disponível em <<http://ecotelhado.blog.br>>, acesso em 02 ago. 2012.

ECOTELHADO. Disponível em <<http://www.ecotelhado.com.br>>, acesso em 10 jul. 2013.

EDWARD SUZUKI. Disponível em <<http://edward.net/>>, acesso em 24 abr. 2013.

ENERGYPLUS. **Arquivos climáticos**. Disponível em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm 2014>, acesso em 21 jul. 2014.

ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS. Disponível em <<http://www.ebrowne.cl>>, acesso em 18 mar. 2012.

EXPO 2005. Disponível em <<http://www.antonraubenweiss.com/expo/week22.html>>, acesso em 29 jun. 2012.

FALCÓN, Antoni. **Espacios verdes para una ciudad sostenible: planificación, proyecto, mantenimiento y gestión.** Barcelona: Gustavo Gili, 2007.

FASSADENGRUEN. Disponível em <<http://www.fassadengruen.de>>, acesso em 15 mai. 2012.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FONDATION LE CORBUSIER. Disponível em <<http://www.fondationlecorbusier.fr>>, acesso em 10 jan. 2012.

GARRIDO, Luis de. **Sustainable architecture green in green.** Barcelona: Monsa, 2011.

GIFFORD, R. **Environmental Psychology: Principles and Practice.** Boston: Allyn and Bacon, 1996.

GIVONI, Baruch. **Climate Considerations in Building and Urban Design.** New York: Vnr, 1998.

GOODWIN, Philip L. **Brazil Builds.** New York: The Museum of Modern Art, 1943.

GOOGLE EARTH. Disponível em <<https://maps.google.com.br>>, acesso em 02 jun. 2011.

GRAHN, P. **The importance of green urban areas for people's well-being.** European Regional Planning, nº 56, p. 1-18, 1994.

GSKY PLANT SYSTEM. Disponível em <<http://www.g-sky.com>>, acesso em 02 ago. 2012.

HOPKINS, Graeme; GOODWIN, Christine. **Living architecture: green roofs and walls.** Collingwood: CSIRO Publishing, 2011. Disponível em <<http://books.google.com.br>>, acesso em 20 mai. 2012.

HOYANO, A. Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. **Energy and Buildings**, n. 11, p.181-199, 1988.

INMET. **Normais Climatológicas no Brasil 1961-1990.** Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>, acesso em 01 jun. 2012

INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria nº 372.** Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos – RTQ-C. Rio de Janeiro: INMETRO, 2010.

INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Tabelas de consumo/eficiência energética.** Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>>, acesso em 14 jun. 2014.

INSTITUTE OF PHYSICS IN BERLIM-ADLERSHOF. **Urban Ecological Model Projects**. Material publicitário. Berlim: Berlin Senate for Urban Development. Disponível em <http://www.a.tu-berlin.de/GtE/forschung/Adlershof/faltblatt_institut_physik_engl.pdf>, acesso em 02 ago. 2010.

IP, K.; LAM, M.; MILLER, A. Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. **Building and Environment**, n. 45, p. 81-88, 2010.

IZARD, Jean-Louis; GUYOT, Alain. **Arquitetura bioclimática**. México D.F: G. Gili, 1983.

JARDINEIRO.NET. Disponível em < <http://www.jardineiro.net>>, acesso em 15 jun. 2011.

JOHNSTON, Jacklyn; NEWTON, John. **Building Green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements**. London: Greater London Authority, 2004.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto alegre: Bookman, 2010.

KÖHLER, Manfred. **Fassaden-und dachbegrünung**. Stuttgart: Ulmer, 1993.

KÖHLER, Manfred. Green facades - a view back and some visions. **Urban Ecosyst**, n. 11, p. 423-436, 2008.

KNOP, Stifany. **Comportamento termo energético de edificação histórica com novo uso na cidade de Pelotas: O caso do Casarão 2 – Secretaria Municipal da Cultura**. 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

KOYAMA T., YOSHINAGA, M., HAYASHI, H., MAEDA, K. Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. **Building and Environment**, n.66, p. 96-103, 2013.

KWOK, Alison G; GRONZIK, Walter T. **Manual de arquitetura ecológica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

KYOCERA GLOBAL. Disponível em <<http://global.kyocera.com>>, acesso em 29 jun. 2012.

LA JARDINERIA. Disponível em <<http://la-jardineria.net/wp-content/uploads/2010/10/Lonicera-jap%C3%B3nica.jpg>>, acesso em 28 dez. 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2014. Disponível em < <http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>>, acesso em 10 ago. 2014.

LEENHARDT, Jacques (org.). **Nos jardins de Burle Marx**. São Paulo: Perspectiva, 1994.

LEENHARDT, J.; LAMBERTINI, A. **Vertical Gardens**. London: Verbavolant, 2007.

LORENZI, Harri; SOUZA, Hermes Moreira. **Plantas ornamentais no Brasil:** arbustivas, herbáceas e trepadeiras. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2001.

LYLE, John Tillman. **Regenerative design for sustainable development.** New York: John Wiley & Sons, 1994.

MARAGNO, Gogliardo Vieira. **Eficiência e forma do brise-soleil na Arquitetura de Campo Grande – MS.** 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MARIO CUCINELLA ARCHITECTS. Disponível em <<http://www.mcarchitects.it>>, acesso em 11 mar. 2012.

MARX, Roberto Burle. **Arte & Paisagem.** José Tabacow (org.). São Paulo: Studio Nobel, 2004.

MASCARÓ, Lúcia; MASCARÓ, Juan. **Vegetação Urbana.** Porto Alegre: Mais Quatro Editora, 2005.

MASCARÓ, Lúcia; MASCARÓ, Juan. **Ambiência Urbana.** Porto Alegre: Mais Quatro Editora, 2009.

MCT, OBSERVATÓRIO NACIONAL. **Cálculo da declinação magnética.** Disponível em <<http://www.on.br/conteudo/modelo.php?endereco=servicos/servicos.html>>, acesso em 01 junho. 2011.

MIANA, Anna Christina. **Avaliação do desempenho térmico de brises transparentes: ensaios em células-teste.** 2005. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MINDLIN, H. E. **Arquitetura Moderna no Brasil.** Rio de Janeiro: Aeroplano, 1999.

MORELLI, Denise Damas de Oliveira. **Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído.** 2009. Dissertação (mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MURDOCH, C.; FIGUEIREDO, A. **Caderno de boas práticas em arquitetura:** Eficiência energética nas edificações: Edificações comerciais. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS: IAB, Departamento do Rio de Janeiro, 2009.

OLGYAY, Aladar; OLGAY, Victor;. **Solar control and shading devices.** Princeton University Press, 1957.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y Clima:** manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

PECK, S. et al. Greenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canadá. **Research Highlight**, Technical Series 01-101. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation, 2007. Disponível em <<http://www.cmhc-schl.gc.ca/odpub/pdf/62665.pdf>>, acesso em 7 jan. 2012.

PEIXOTO, Marta Silveira. Sistemas de proteção de fachadas na escola carioca: de 1935 a 1955. **Arquitexto**, Porto Alegre, n. 2, p. 122-137, 2002-1.

PÉREZ, Gabriel. **Façanes vegetades**: estudi del seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental. Tese (doutorado). Programa de Doctorado Àmbits de Recerca de la Construcció i l'Energia a l'Arquitectura. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2010.

PÉREZ, Gabriel; et al. Behavior of green facades in Mediterranean Continental climate. **Energy Conversion and Management**, n. 52, p. 1861-1867, 2011.

PLANTA SONYA. Disponível em <<http://www.plantasonya.com.br/trepadeiras-e-ornamentais/trombeta-da-china-campsis-grandiflora.html>>, acesso em 20 mar. 2012.

PLANTTHIS. Disponível em <<http://www.plantthis.com.au/plant-information.asp?gardener=23546&tabview=photos&plantSpot=>>>, acesso em 13 out. 2011.

PLATAFORMA ARQUITECTURA. Disponível em <<http://www.plataformaarquitectura.cl>>, acesso em 08 ago. 2012.

PPOW. Disponível em <<http://www.ppow.com.br/portal/2011/09/01/trepadeiras/>>, acesso em 13 out. 2011.

REFLORA. **Lista de espécies da flora do Brasil**. Disponível em <<http://www.reflora.jbrj.gov.br>>, acesso em 20 fev. 2014.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima**: acondicionamento térmico natural. Porto Alegre: D. C. Luzzatto, 1986.

ROMAHN, Valério. **Enciclopédia ilustrada 2200 plantas e flores**: trepadeiras e arbustos. São Paulo: Europa: 2007.

ROMERO, Marta A. Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Pro Editores, 2000.

SCHAFER, Gilmar. **Recomendações para correção do solo e adubação das espécies** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[mineiaarq@yahoo.com.br](mailto:mineaarq@yahoo.com.br)> em 12 jul. 2011

SEGRE, Roberto. Bruno Stagno: agência bancária e edifícios de escritórios, Costa Rica. **Projeto Design**. Edição 323, Janeiro de 2007. Disponível em <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/bruno-stagno-agencia-bancaria-13-02-2007.html>>, acesso em 08 ago. 2012.

SÉRIE ARQUITETOS BRASILEIROS. **Affonso Eduardo Reidy**. São Paulo: Instituto Lina Bo Bardi, 1999.

SERRA, Geraldo G. **Pesquisa em arquitetura e urbanismo**: guia prático para o trabalho de pesquisadores de pós-graduação. São Paulo: Edusp: Mandarim, 2006.

SHARP, Randy; et al. **Introduction to Green Walls: Technology, Benefits & Design**. In: Green Roofs for Healthy Cities, 2008. Disponível em <http://www.greenroofs.net/components/com_lms/flash/Green%20Walls%20Intro%20908b.pdf>, acesso em 08 out. 2009.

SHEWEKA, Samar M.; MOHAMED, Nourhan M. Green facades as a new sustainable approach towards climatechange. **Energy Procedia**, n. 18, p. 507 - 520, 2012.

SIQUEIRA, Vera Beatriz. **Burle Marx**. São Paulo: Cosac & Naify, 2004.

SUSOROVA, I.; ANGULO, M.; BAHRAMI, P.; STEPHENS, B. A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. **Building and Environment**, n. 67, 1-13, 2013.

STEC, W. J., PASSEN, A. H. C., MAZIARZ, A. Modelling the Double skin façade with plants. **Energy and Buildings**, n. 37, p. 419-427, 2005.

STUDIO 505. Disponível em <<http://www.studio505.com.au>>, acesso em 10 dez. 2013.

STUDIO MK27. Disponível em <<http://www.marciokogan.com.br>>, acesso em 19 dez. 2012.

STYLEPARK. Disponível em <<http://www.stylepark.com/en/architecture/anatomy-of-a-green-facade/299143>>, acesso em 02 ago. 2012.

SUNAKORN, Pasinee; YIMPRAYOON, Chanikarn. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. **Procedia Engineering**, n. 21, p. 34-41, 2011.

THE GARDEN SAGE. Disponível em <<http://www.thegardensage.co.uk/>> acesso em 13 out. 2011.

UFFELEN, Chris Van. **Façade Greenery: contemporary landscaping**. Ed. Braun, 2011.

ULRICH, R., S. Human responses to vegetation and landscapes. **Landscape and Urban Planning**, n. 13, p. 24-26, 1986.

ULRICH, R. S. Biophilia, biophobia and natural landscapes. In S. R. Kellert & E. Wilson (ed). **The biophilia hypothesis**. Washington: Island Press / Shearwater Books, 1993.

VALESAN, Mariene; FEDRIZZI, Beatriz; SATTLER, Miguel. A. Vantagens e desvantagens da utilização de peles-verdes em edificações residenciais em Porto Alegre segundo seus moradores. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 55-67, jul./set. 2010.

VAN BOHEMEN, H.D.; FRAAIJ, A.L.A.; OTTELE, M. Ecological engineering, green roofs and the greening of vertical walls of buildings in urban areas. **Ecocity World Summit**, San Francisco, 2008.

VENÂNCIO, Raoni; PEDRINI, Aldomar. **Treinamento para o programa Design Builder**. Apostila. Natal: Labcon/UFRN, 2008.

VERTICAL GARDEN PATRICK BLANC. Disponível em <<http://www.verticalgardenpatrickblanc.com>>, acesso em 29 jun. 2012.

WHITE, Emma V.; GATERSLEBEN, Birgitta. Greenery on residential buildings: Does it affect preferences and perceptions of beauty? **Journal of Environmental Psychology**, n. 31, p. 89 -98, 2011.

WOHA ARCHITECTS. Disponível em <<http://www.woha.net>>, acesso em 10 dez. 2013.

WOHLWILL, Joachim. The Concept of Nature: A Psychologist's View. In: Altman, Irwin e Wohlwill, Joachim (ed). **Behavior and the Natural Environment**. New York: Plenum Press, 1983.

WONG, N. H.; et al. Energy simulation of vertical greenery systems. **Energy and Buildings**, n. 41, p. 1401-1408, 2009.

WONG, N. H.; et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and Environment**, n. 45, 663-672, 2010.

YEANG, Ken. **Proyectar com La naturaleza**. Barcelona: Gustavo Gili, 1999.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXO A – Resultado da análise do solo (Fonte: CCR-UFSM, 2011)

	MEC - Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos	
	Santa Maria/RS Cep: 97105-900 Fone/Fax: (55)3220-8153 http://www.ufsm.br/solos Laudo de Análise de Solo	

Nome: MINEIA JOHANN SCHERER **Solicitante:** MINEIA JOHANN SCHERER
Município: FORMIGUEIRO **Endereço:**
Localidade: **Entrada:** 15/06/11 **Emissão:** 28/06/2011

Registro	Cx.	Cel.	Identificação da amostra	Área (ha)	Sistema de cultivo	Prof. (cm)	Georef.
10036	C176	31					

Diagnóstico para acidez do solo e calagem

Registro	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
		----- cmol _c /dm ³ -----					Al	Bases	
10036	5,2	9,3	1,3	0,2	4,9	10,8	1,9	68,4	5,9

Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S

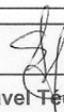
Registro	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	P-resina	K	CTC pH7	K
	----- m/v -----			----- mg/dm ³ -----			----- cmol _c /dm ³ -----		mg/dm ³
10036	2,2	48,0	2,0	10,5	6,8	--X--	0,072	15,5	28,0

Diagnóstico para micronutrientes e relações molares

Registro	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações Molares		
	----- mg/dm ³ -----						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) ^{1/2}
10036	1,0	33,9	0,4	--X--	--X--	--X--	7,3	146,20	0,022

Vinculado à ROLAS-RS/SC
Impressa, S 1ª via




Responsável Técnico
 Eng. Agr. Sandro José Giacomini
 CREA 100472

**APÊNDICE A - Ficha de espécies recomendadas para
utilização em *cortinas verdes* no clima subtropical da região
Sul do Brasil**

As fichas de espécies apresentadas abaixo serviram, em um primeiro momento, de base para a escolha das trepadeiras utilizadas no protótipo experimental. Foram pesquisadas as principais características das espécies adaptadas ao clima subtropical da região Sul do país, e que estão aptas a serem empregadas nas *cortinas verdes* em arquitetura.

As fichas também representam, por conseguinte, uma fonte de dados para a especificação das espécies em uma aplicação prática.

Para a compilação das informações pertinentes sobre cada espécie, foram utilizadas as referências: LORENZI; SOUZA (2001), ROMAHLN (2007), JARDINEIRO.NET (2011) e REFLORA (2014). O porte quando adulta está indicado nas fichas como o de menor valor encontrado, pois foi observada grande variação dependendo da bibliografia.

01	<i>Allamanda cathartica</i> L.		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Apocynaceae	
	Nome popular	Alamanda-amarela	
	Origem	Brasil	
	Características	Trepadeira lactescente, semi-lenhosa, muito vigorosa. Inflorescências com flores amarelas em forma de funil, formadas durante quase o ano todo. Cultivada a pleno sol, em caramanchões, portais e cercas. Apesar de tropical tolera o frio.	
Exemplos de aplicação			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>			
	Época de floração	Primavera e verão	
	Clima	Tropical e subtropical	
	Folhagem	Perene	
	Porte quando adulta	Até 3,6 metros de altura	
	Forma de fixação	Ascendente, precisa ser tutorada e amarrada ao suporte.	
	Multiplicação	Estacas	

02	<i>Antigonon leptopus</i> Hook. & Arn.		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Polygonaceae	
	Nome popular	Amor-agarradinho	
	Origem	México	
Características	Trepadeira semi-herbácea, de ramagem densa e fina. Inflorescências com flores muito duráveis, de cor rosa ou branca. Cultivada a pleno sol, em cercas, muros e pórticos. Pode ser cultivada em todo o país.		
Exemplos de aplicação			
			
Época de floração	Primavera e verão		
Clima	Tropical e subtropical		
Folhagem	Perene		
Porte quando adulta	Até 6,0 metros de altura		
Forma de fixação	Sarmentosa, possui gavinhas que se enrolam ao suporte.		
Multiplicação	Sementes, estacas e alporque		

03	<i>Campsis grandiflora</i> (Thunb.) K. Schum.		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Bignoniaceae	
	Nome popular	Trombeta-chinesa	
	Origem	China e Japão	
	Características	Trepadeira semi-lenhosa, vigorosa. Inflorescência terminal, com flores de cor vermelha-alaranjada, grandes, em forma de trombeta. Indicada para grades, cercas, pórticos e caramanchões. Resistente a geadas, desenvolve-se melhor no sul do país.	
	Exemplos de aplicação		
	 		
	Época de floração	Verão e outono	
	Clima	Subtropical	
	Folhagem	Caducifólia	
	Porte quando adulta	Até 9,0 metros de altura	
	Forma de fixação	Possui raízes adventícias que aderem ao suporte disponível. Também podem ser tutoradas e amarradas.	
	Multiplicação	Estacas e sementes.	

04 <i>Clerodendron thomsonae</i> Balf.		
Ordem	Angiospermae	
Família	Verbenaceae	
Nome popular	Lágrima-de-cristo	
Origem	África ocidental	
Características	<p>Trepadeira semi-herbácea, muito ramificada, de ramagem longa, folhagem e florescimento decorativos. Flores que lembram pequenos pingentes, brancas com corola vermelha. Seu crescimento é moderado e sensível a geadas. Apropriada para grades, cercas e pórticos.</p>	
Exemplos de aplicação		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		
Época de floração	Primavera e verão	
Clima	Tropical e subtropical	
Folhagem	Perene	
Porte quando adulta	Até 3,6 metros de altura	
Forma de fixação	Ascendente, precisa ser tutorada e amarrada ao suporte.	
Multiplicação	Estacas e alporque	
		

05	<i>Jasminum azoricum</i> L.		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Oleaceae	
	Nome popular	Jasmim-dos-açores	
	Origem	Ilhas Canárias	
	Características	Trepadeira semi-lenhosa, muito ramificada, com ramagem densa, folhagem e florescimento ornamentais. Flores estreladas brancas, muito perfumadas. É resistente a geadas, sendo adequada para revestir pérgolas, grades, cercas e pórticos.	
Exemplos de aplicação			
			
	Época de floração	Verão e outono	
	Clima	Tropical e subtropical	
	Folhagem	Perene	
	Porte quando adulta	Até 2,0 metros de altura	
	Forma de fixação	Volúvel, seu caule e ramos jovens são capazes de se enrolar na estrutura de suporte, durante o crescimento da planta.	
	Multiplicação	Estacas e alporque	

06	<i>Jasminun polyanthum</i> Franch.		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Oleaceae	
	Nome popular	Jasmim-dos-poetas	
	Origem	China	
	Características		<p>Trepadeira semi-herbácea, de crescimento moderado, ramificada. Flores perfumadas, brancas por dentro e róseas por fora. Cultivada a pleno sol e adequada para ser apoiada em colunas e pilares, bem como para revestir cercas, grades e pórticos.</p>
Exemplos de aplicação			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>			
	Época de floração	Outono e inverno	
	Clima	Subtropical ou de altitude, como no sul do país.	
	Folhagem	Perene	
	Porte quando adulta	Até 3,0 metros de altura	
	Forma de fixação	Volúvel, seu caule e ramos jovens são capazes de se enrolar na estrutura de suporte, durante o crescimento da planta.	
	Multiplicação	Estacas	

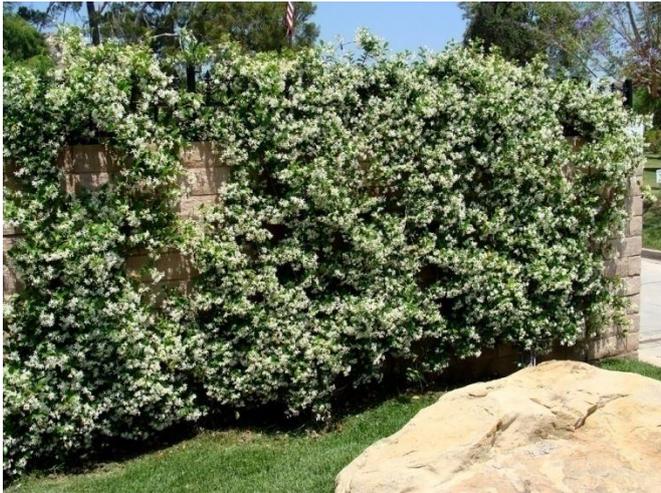
07	<i>Lonicera japonica</i> Thunb.		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Caprifoliaceae	
	Nome popular	Madressilva-creme	
	Origem	China e Japão	
	Características	Trepadeira semi-lenhosa, muito vigorosa. Inflorescências axilares, flores branco-amareladas muito perfumadas. Aprecia o frio, por isso é encontrada em estado espontâneo na região sul do país. Cultivada a pleno sol, em cercas, muros e pérgolas.	
Exemplos de aplicação			
			
	Época de floração	Primavera e verão	
	Clima	Subtropical, temperado e tropical de altitude	
	Folhagem	Perene	
	Porte quando adulta	Até 2,0 metros de altura	
	Forma de fixação	Volúvel, seu caule e ramos jovens são capazes de se enrolar na estrutura de suporte, durante o crescimento da planta.	
	Multiplicação	Estacas	
			

08	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Vitaceae	
	Nome popular	Hera-japonesa; falsa-vinha	
	Origem	Japão e China	
	Características	Trepadeira semi-lenhosa, vigorosa, muito ramificada. As folhas caem no inverno, mas antes passam pelas cores outonais avermelhadas e roxas. É utilizada para revestimento de muros e paredes, pois se adere firmemente a essas superfícies.	
Exemplos de aplicação			
			
Época de floração	-		
Clima	Subtropical e temperado		
Folhagem	Caducifólia		
Porte quando adulta	Até 12,0 metros de altura		
Forma de fixação	Sarmentosa com raízes adventícias		
Multiplicação	Estacas		

09	<i>Passiflora alata</i> Curtis		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Passifloraceae	
	Nome popular	Maracujá-doce	
	Origem	Brasil	
	Características	Trepadeira semi-lenhosa, de crescimento vigoroso. Apesar de muito ornamental quando em flor, é mais cultivada pelo fruto, comestível e apreciado. Flores perfumadas, com nuances avermelhadas. Pode ser conduzida em cercas, pérgolas e caramanchões, a pleno sol.	
	Exemplos de aplicação		
			
	Época de floração	Verão	
	Clima	Tropical e subtropical	
	Folhagem	Perene	
	Porte quando adulta	Até 5,0 metros de altura	
	Forma de fixação	Sarmentosa, possui gavinhas que se enrolam ao suporte.	
	Multiplicação	Sementes	

10	<i>Podranea ricasoliana</i> (Tanfani) Sprague		
Ordem	Angiospermae		
Família	Bignoniaceae		
Nome popular	Sete-léguas		
Origem	Oceania		
Características	Trepadeira semi-lenhosa, muito vigorosa e de rápido crescimento. Inflorescências terminais com flores de cor rósea , formadas durante quase o ano todo. Cultivada a pleno sol, em cercas, muros e caramanchões grandes.		
Exemplos de aplicação			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>			
Época de floração	Outono, primavera e verão		
Clima	Subtropical		
Folhagem	Perene		
Porte quando adulta	Até 4,0 metros de altura		
Forma de fixação	Ascendente, precisa ser tutorada e amarrada ao suporte.		
Multiplicação	Estacas		
			

11	<i>Pyrostegia venusta</i> (Ker Gawl.) Miers		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Bignoniaceae	
	Nome popular	Cipó-de-são-joão	
	Origem	Brasil	
	Características	Trepadeira semi-lenhosa, vigorosa, de ramagem densa, encontrada com frequência em barrancos, margens de estrada e revestindo cercas. Inflorescências numerosas, densas, longas, de cor alaranjada. Aprecia sol pleno e é indicada para revestir cercas, pérgolas e caramanchões.	
Exemplos de aplicação			
 			
	Época de floração	Inverno	
	Clima	Tropical ou subtropical	
	Folhagem	Perene	
	Porte quando adulta	Até 10,0 metros de altura	
	Forma de fixação	Sarmentosa, possui gavinhas que se enrolam ao suporte.	
	Multiplicação	Estacas e sementes	

12	<i>Trachelospermum jasminoides</i> (Lindl.) Lem.		
Ordem	Angiospermae		
Família	Apocynaceae		
Nome popular	Jasmim-leite		
Origem	Himalaia		
Características	<p>Trepadeira lactescente, volúvel, lenhosa, muito ramificada. Flores muito numerosas, brancas, brilhantes e perfumadas. Planta de boa rusticidade, cultivada a pleno sol, tolera até baixas temperaturas. Adequada para revestir caramanchões, pérgolas, pórticos e grades.</p>		
Exemplos de aplicação			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>			
Época de floração	Final da primavera e verão		
Clima	Tropical ou subtropical.		
Folhagem	Perene		
Porte quando adulta	Até 3,0 metros de altura		
Forma de fixação	Volúvel, seu caule e ramos jovens são capazes de se enrolar na estrutura de suporte, durante o crescimento da planta.		
Multiplicação	Alporque e sementes		

13	<i>Thunbergia grandiflora</i> Roxb.		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Acanthaceae	
	Nome popular	Tumbérgia-azul	
	Origem	Índia	
Características	Trepadeira semi-lenhosa, muito vigorosa, de folhagem ornamental. Flores azuis com centro claro, formadas no decorrer de quase todo o ano. Cultivada a pleno sol, é indicada para cercas, muros, pérgolas e caramanchões, com grande espaço. Muito rústica, tolera temperaturas amenas.		
Exemplos de aplicação			
			
Época de floração	Primavera e verão		
Clima	Tropical ou subtropical		
Folhagem	Perene		
Porte quando adulta	Até 6,0 metros de altura		
Forma de fixação	Volúvel, seu caule e ramos jovens são capazes de se enrolar na estrutura de suporte, durante o crescimento da planta.		
Multiplicação	Estacas		

14	<i>Wisteria floribunda</i> (Willd.) DC.		
	Ordem	Angiospermae	
	Família	Leguminosae-Papilionoideae	
	Nome popular	Glicínia	
	Origem	Japão	
Características	Trepadeira volúvel, lenhosa, vigorosa e ramificada, de grande efeito ornamental. No fim do outono perde totalmente as folhas e surgem inflorescências pêndulas, com flores azuis-violeta. Indicada para cultivo em cercas, pérgolas e caramanchões.		
Exemplos de aplicação			
 			
Época de floração	Outono e inverno		
Clima	Regiões de altitude, clima temperado ou subtropical		
Folhagem	Caducifolia		
Porte quando adulta	Até 12,0 metros de altura		
Forma de fixação	Volúvel, seu caule e ramos jovens são capazes de se enrolar na estrutura de suporte, durante o crescimento da planta.		
Multiplicação	Sementes, estacas ou alporques		

APÊNDICE B – Evolução do desenvolvimento das vegetações trepadeiras no protótipo experimental

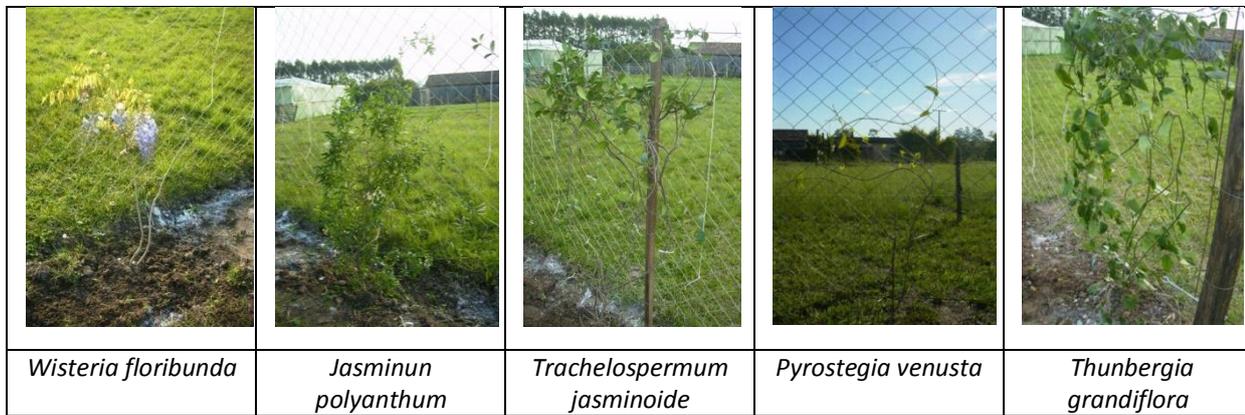


Figura 128: Matrizes das espécies iniciais, plantadas em setembro de 2011

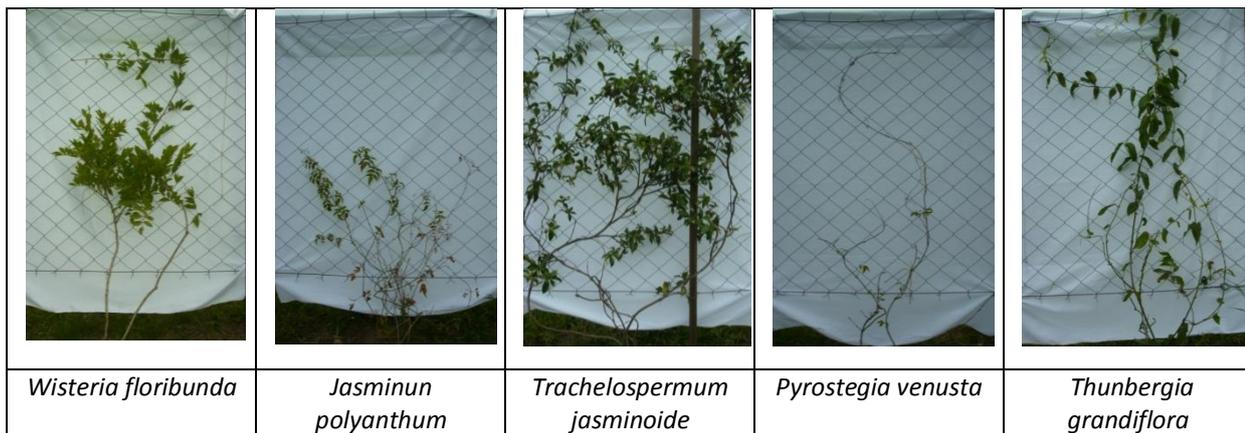


Figura 129: Desenvolvimentos das espécies em novembro de 2011, com substituição da *Thunbergia grandiflora* por outra matriz

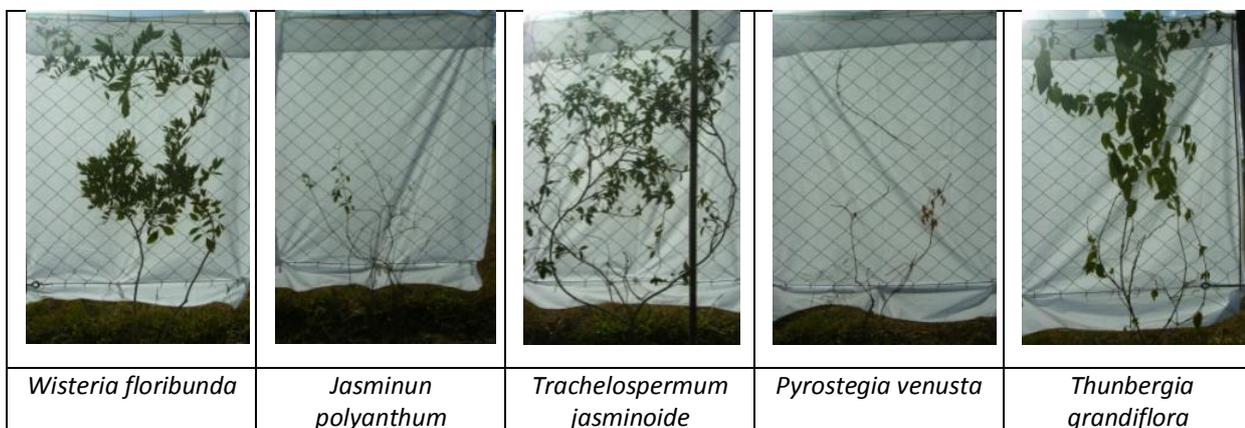


Figura 130: Desenvolvimentos das espécies em janeiro de 2012

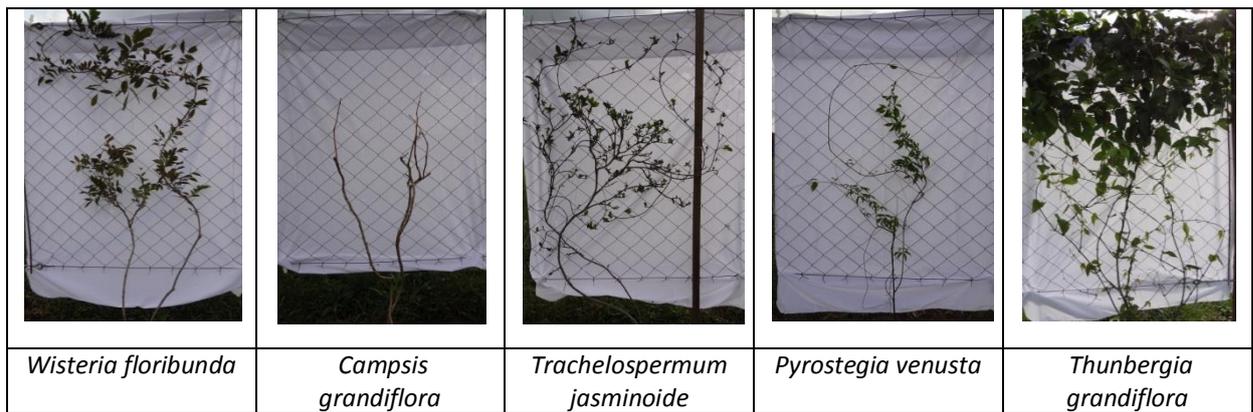


Figura 131: Desenvolvimentos das espécies em abril de 2012, com substituição da *Jasminun polyanthum* por outra espécie: *Campsis grandiflora*

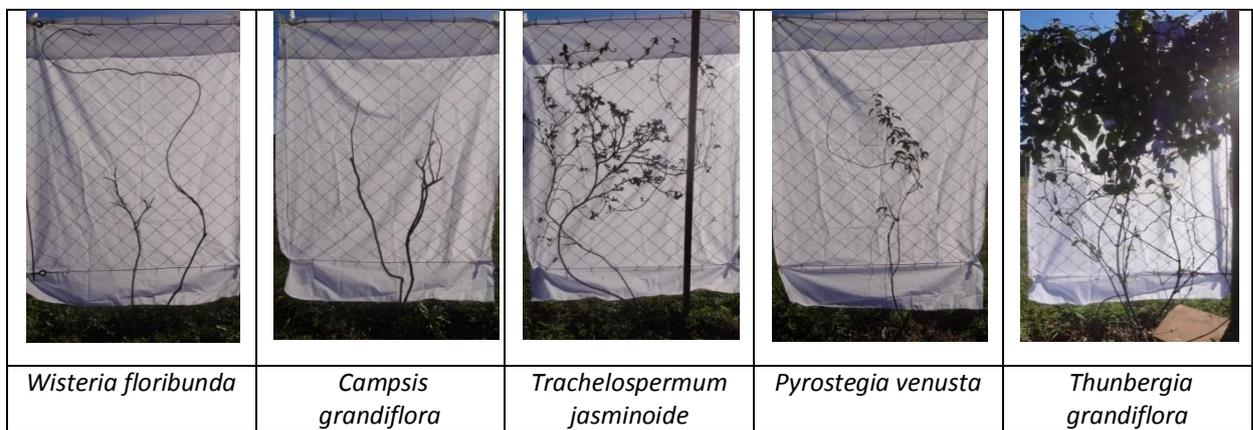


Figura 132: Desenvolvimentos das espécies em julho de 2012

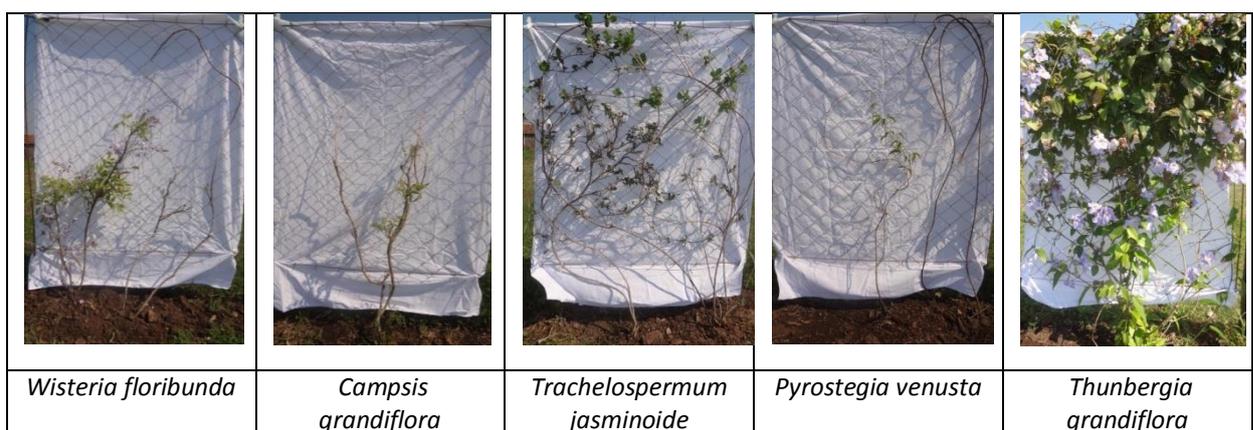


Figura 133: Desenvolvimentos das espécies em setembro de 2012, com acréscimo de mais uma matriz nas espécies: *Wisteria floribunda*, *Trachelospermum jasminoide* e *Pyrostegia venusta*



Figura 134: Desenvolvimentos das espécies em novembro de 2012



Figura 135: Desenvolvimentos das espécies em janeiro de 2013, com substituição da *Pyrostegia venusta* por outra espécie: *Lonicera japonica*

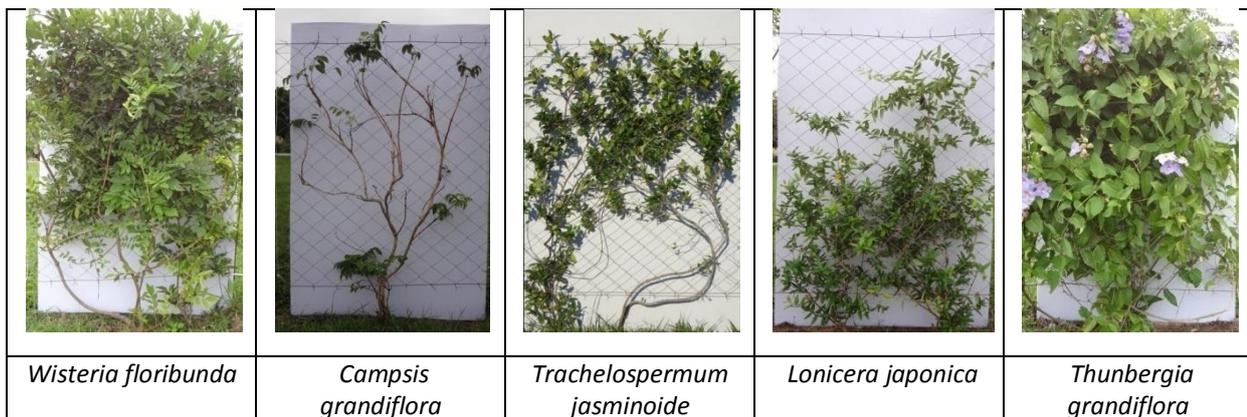


Figura 136: Desenvolvimentos das espécies em abril de 2013, na época da avaliação piloto

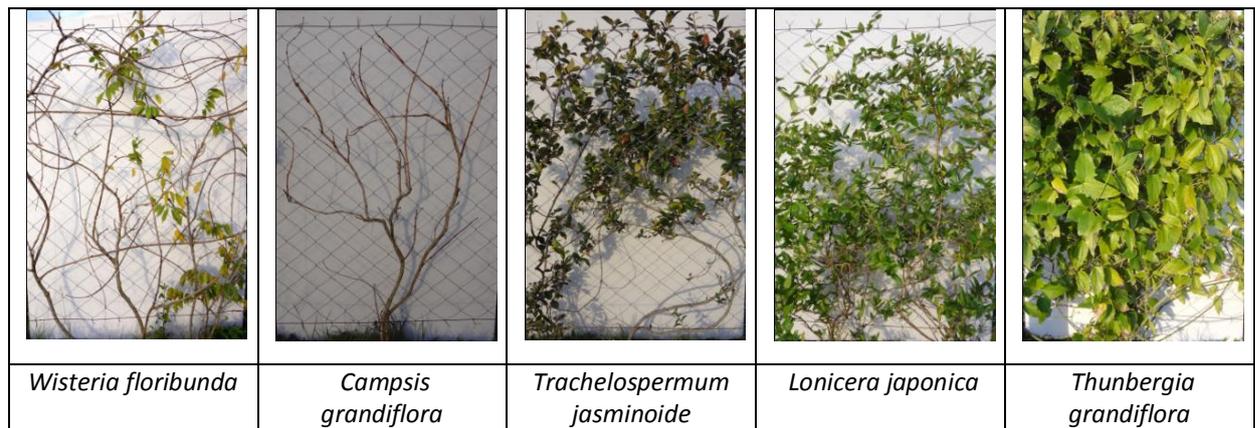


Figura 137: Início das avaliações definitivas, em junho de 2013

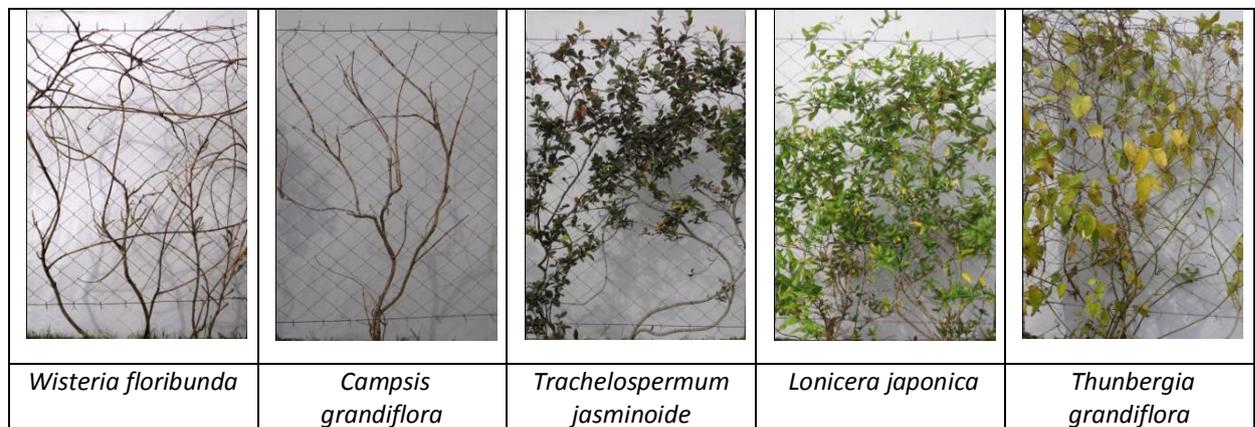


Figura 138: Desenvolvimentos das espécies em julho de 2013; a *Thunbergia grandiflora* começa a perder as folhas devido ao forte frio e geada da estação

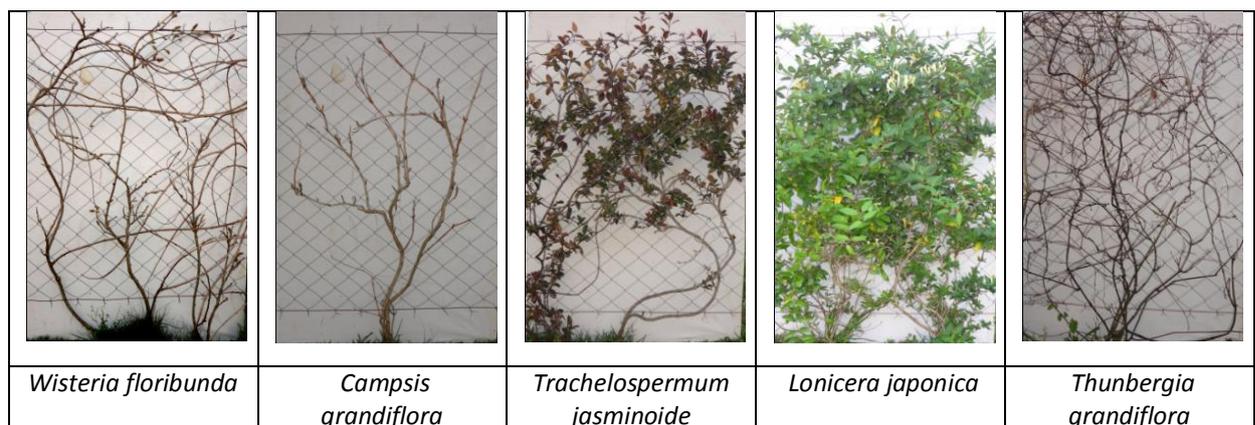


Figura 139: Desenvolvimentos das espécies em agosto de 2013; *Thunbergia grandiflora* totalmente sem folhas, situação atípica, que inviabilizou sua avaliação

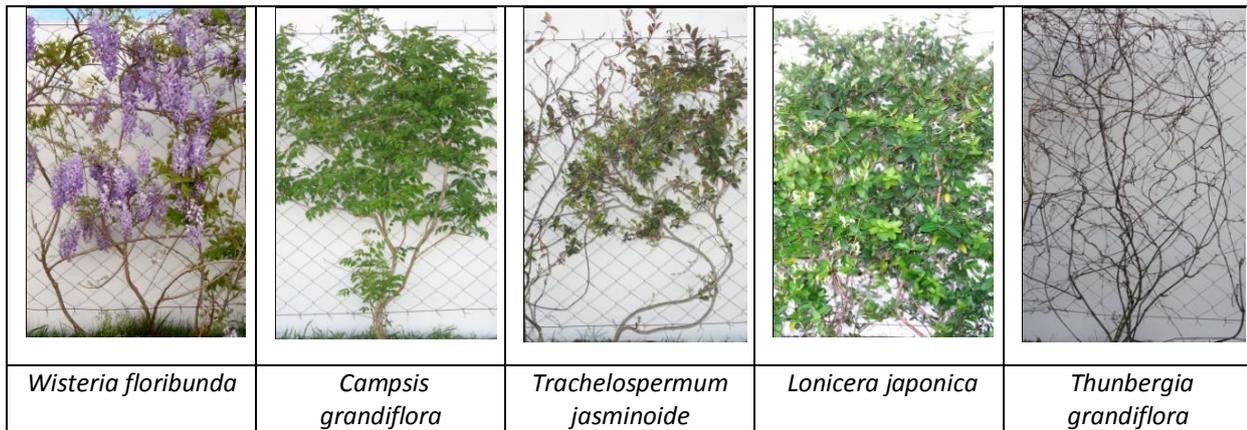


Figura 140: Desenvolvimentos das espécies em setembro de 2013

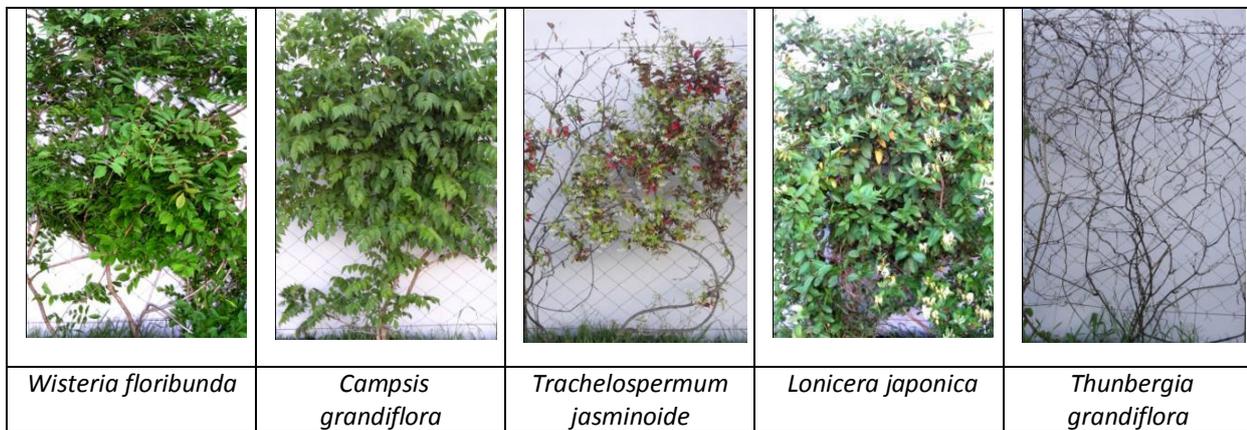


Figura 141: Desenvolvimentos das espécies em outubro de 2013

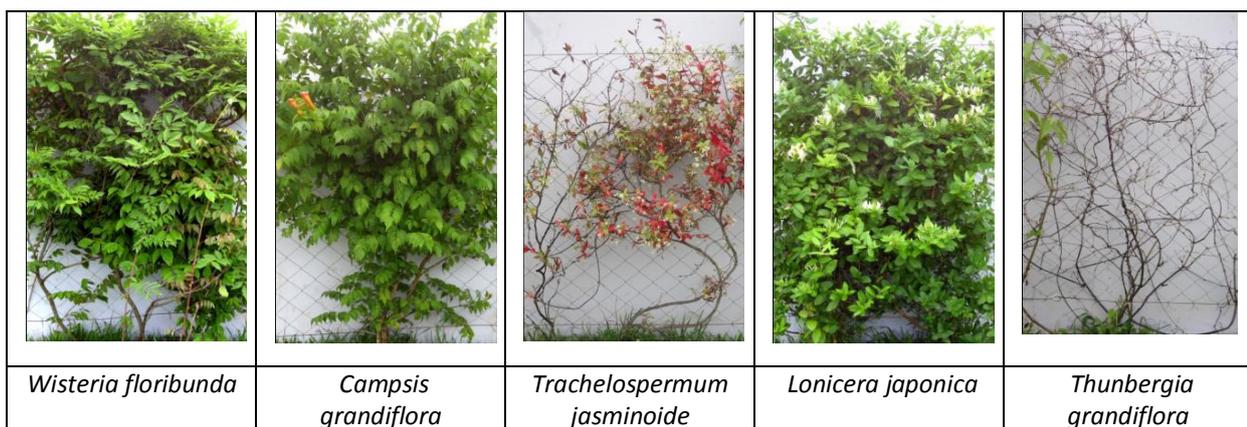


Figura 142: Desenvolvimentos das espécies em novembro de 2013; *Thunbergia grandiflora* retoma a brotação

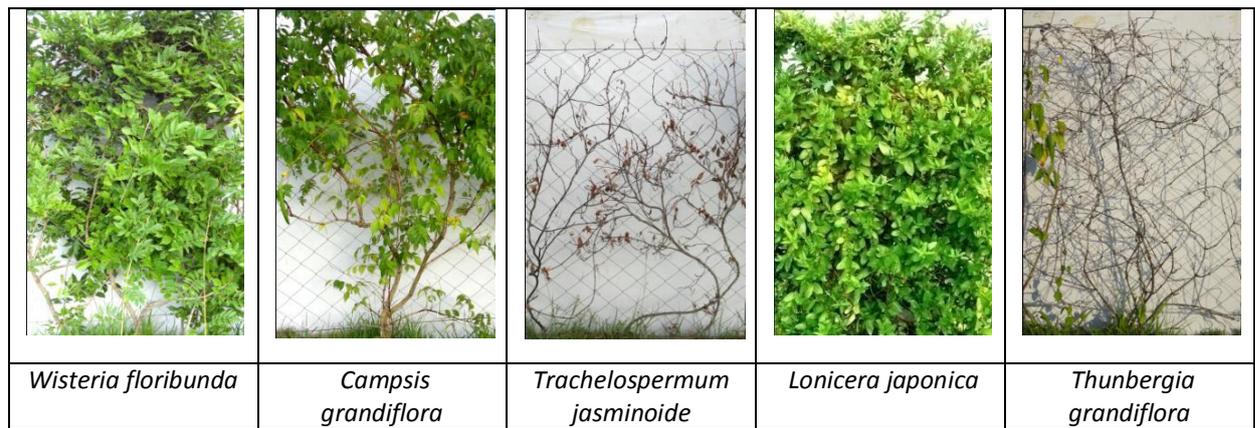


Figura 143: Desenvolvimentos das espécies em dezembro de 2013; *Trachelospermum jasminoide* perde totalmente as folhas e morre após uma doença em sua raiz

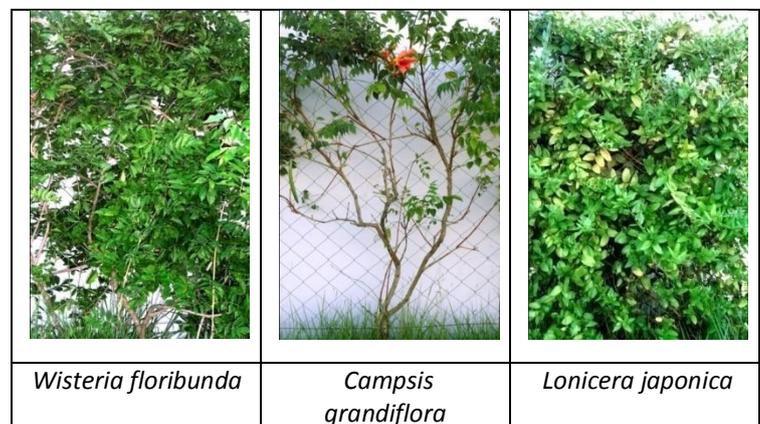


Figura 144: Desenvolvimentos das espécies em janeiro de 2014, com as três trepadeiras que continuaram com seu pleno desenvolvimento

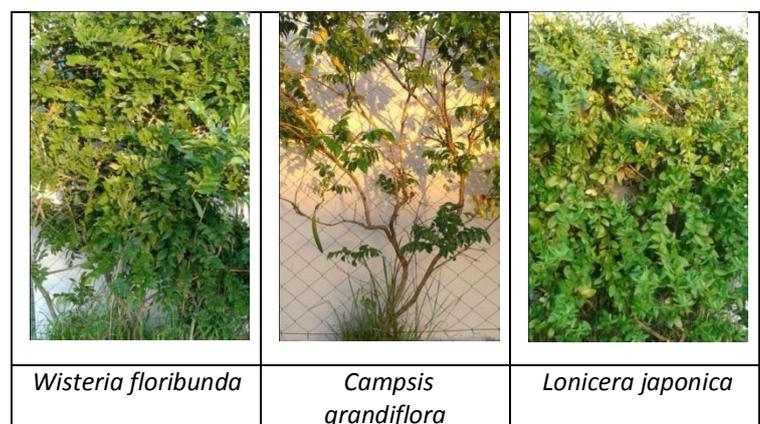


Figura 145: Desenvolvimentos das espécies em fevereiro de 2014



Figura 146: Desenvolvimentos das espécies em março de 2014

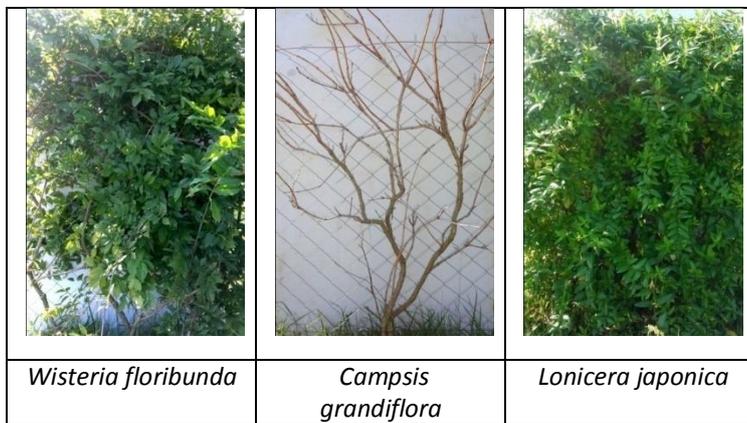


Figura 147: Desenvolvimentos das espécies em abril de 2014



Figura 148: Desenvolvimentos das espécies em maio de 2014, último mês das avaliações definitivas

APÊNDICE C – Resultados das simulações

a) Zona Bioclimática 1 – Curitiba, PR

Tabela 09: Consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 1

TIPO DE PROTEÇÃO SOLAR	CONSUMO ANUAL RESFRIAMENTO - KWh			
	L-O 20%	N-S 20%	L-O 45%	N-S 45%
Sem proteção solar	9038,35	7349,74	14042,92	10863,05
Persiana interna	8261,84	6891,97	12141,00	9725,51
Brise horizontal	7027,55	6031,79	9269,66	7545,10
Cortina verde - Glicínia	5592,68	5570,56	7227,12	7180,06
Cortina verde – Trombeta-chinesa	6837,16	6286,83	9702,36	8680,35
Cortina verde – Madressilva-creme	5364,08	5344,80	6612,63	6475,42
Cortina verde – Jasmim-leite	6711,13	6001,27	9377,32	7952,21

Tabela 10: Consumo anual de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 1

TIPO DE PROTEÇÃO SOLAR	CONSUMO ANUAL AQUECIMENTO - KWh			
	L-O 20%	N-S 20%	L-O 45%	N-S 45%
Sem proteção solar	149,97	139,22	100,80	94,64
Persiana interna	159,86	154,09	108,16	109,00
Brise horizontal	193,57	197,17	155,19	163,74
Cortina verde - Glicínia	197,12	188,86	145,36	138,75
Cortina verde – Trombeta-chinesa	188,84	178,82	136,99	130,98
Cortina verde – Madressilva-creme	265,11	262,43	220,72	220,12
Cortina verde – Jasmim-leite	210,52	202,44	155,19	148,66

Tabela 11: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 20% aberturas, ZB 1

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (L-O 20%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	1673,02	1573,18	1355,31	1113,12	1360,29	1104,60	1341,13
FEV	1547,72	1446,06	1277,47	1076,31	1301,73	1066,05	1244,98
MAR	1439,82	1335,41	1179,61	952,62	1299,96	948,30	1108,73
ABR	875,13	815,33	707,72	538,39	770,99	535,69	647,68
MAI	143,27	111,43	72,55	17,92	100,42	16,66	48,73
JUN	24,86	9,40	6,54	8,97	13,90	0,64	3,02
JUL	98,96	60,12	53,47	71,61	78,68	13,80	37,14
AGO	114,91	80,08	66,19	88,37	98,95	30,71	55,88
SET	199,35	157,38	132,89	108,12	103,97	78,04	119,19
OUT	613,23	543,32	431,05	299,58	292,73	284,87	388,24
NOV	999,69	906,15	722,21	509,27	505,17	493,92	700,24
DEZ	1308,39	1223,98	1022,54	808,40	910,37	790,80	1016,17

Tabela 12: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Leste-Oeste, 20% aberturas, ZB 1

	CONSUMO MENSAL AQUECIMENTO – KWh (L-O 20%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0,02	0,04	0,21	0,02	0,24	0,02
MAI	5,40	5,47	6,80	8,36	5,94	8,50	5,80
JUN	29,96	32,71	41,25	38,27	35,38	58,74	44,71
JUL	77,57	78,77	91,04	102,21	100,53	118,79	110,45
AGO	22,70	28,14	34,40	24,93	23,30	51,75	31,38
SET	11,67	11,87	15,83	17,08	17,50	20,76	14,03
OUT	2,67	2,88	4,21	6,05	6,16	6,32	4,13
NOV	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 13: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 45% aberturas, ZB 1

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (L-O 45%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	2349,78	2123,14	1669,73	1301,42	1770,71	1290,23	1753,45
FEV	2159,74	1926,07	1568,56	1249,02	1679,40	1236,28	1580,25
MAR	2056,59	1818,99	1480,56	1126,28	1787,74	1124,46	1438,77
ABR	1297,75	1151,62	909,48	663,15	1115,73	666,84	878,39
MAI	384,85	308,45	173,31	54,73	287,05	49,13	158,63
JUN	157,85	100,35	46,96	87,38	114,02	3,81	31,92
JUL	275,98	178,68	130,40	207,70	227,86	46,30	119,47
AGO	338,04	219,35	144,91	255,47	288,14	57,99	146,16
SET	439,48	330,76	226,64	191,94	182,07	123,09	225,87
OUT	1073,76	897,08	636,95	425,70	411,80	399,17	619,32
NOV	1600,70	1376,47	989,78	675,10	668,36	650,46	1054,36
DEZ	1908,40	1710,04	1292,38	989,23	1169,48	964,87	1370,73

Tabela 14: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Leste-Oeste, 45% aberturas, ZB 1

	CONSUMO MENSAL AQUECIMENTO – KWh (L-O 45%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0	0,01	0,08	0	0,11	0
MAI	3,77	4,01	6,21	8,11	4,67	8,15	4,97
JUN	16,24	18,94	29,34	22,82	20,20	44,82	28,05
JUL	60,40	62,12	81,02	82,21	80,07	105,29	92,51
AGO	11,85	14,26	21,70	13,09	12,29	38,08	16,38
SET	7,15	7,22	13,60	13,72	14,28	18,71	10,14
OUT	1,39	1,61	3,30	5,31	5,46	5,54	3,14
NOV	0	0	0,01	0,02	0,02	0,02	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 15: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 20% aberturas, ZB 1

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (N-S 20%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	1297,96	1297,96	1194,35	1107,01	1188,75	1104,47	1201,10
FEV	1223,75	1205,98	1110,87	1067,22	1136,66	1064,86	1114,09
MAR	1216,11	1164,27	1014,46	941,08	1122,13	936,61	1010,33
ABR	851,34	779,95	634,00	539,78	732,94	535,25	622,87
MAI	199,95	130,06	77,20	17,07	134,68	14,24	63,28
JUN	72,14	15,27	13,36	25,76	43,04	0,53	4,99
JUL	147,46	74,66	65,00	101,89	116,08	12,17	54,66
AGO	135,89	84,87	60,33	92,63	106,24	31,18	60,48
SET	162,66	126,08	90,38	95,38	92,63	78,53	96,74
OUT	392,58	365,93	309,47	287,70	283,05	282,42	312,51
NOV	659,75	656,79	570,18	495,74	493,48	491,80	565,39
DEZ	990,15	990,15	892,19	799,30	837,15	792,74	894,83

Tabela 16: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Norte-Sul, 20% aberturas, ZB 1

	CONSUMO MENSAL AQUECIMENTO – KWh (N-S 20%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0,02	0,03	0,08	0,24	0,04	0,27	0,04
MAI	4,64	5,25	6,82	8,17	5,34	8,35	5,36
JUN	22,59	26,94	35,81	30,91	27,21	57,28	37,78
JUL	71,59	74,99	87,53	97,90	95,81	118,34	106,85
AGO	23,61	29,77	43,08	26,96	25,16	50,55	32,06
SET	13,04	13,29	18,58	18,45	18,84	21,16	15,68
OUT	3,73	3,82	5,26	6,22	6,41	6,47	4,67
NOV	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 17: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 45% aberturas, ZB 1

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (N-S 45%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	1637,47	1637,47	1408,46	1270,64	1428,78	1269,01	1438,18
FEV	1533,38	1493,33	1287,79	1210,66	1347,15	1212,24	1311,72
MAR	1623,98	1514,16	1177,90	1094,93	1440,01	1097,59	1248,80
ABR	1251,95	1086,63	747,54	663,41	1041,90	661,16	846,43
MAI	523,00	365,10	182,11	57,60	371,77	46,55	205,11
JUN	309,83	144,13	91,47	166,24	217,99	3,01	66,40
JUL	417,54	225,42	152,92	308,26	343,68	47,41	168,55
AGO	392,87	231,71	116,30	276,48	300,41	58,91	158,80
SET	335,62	244,71	123,22	159,04	153,08	120,62	181,98
OUT	611,72	563,39	428,06	388,19	384,93	385,33	450,73
NOV	931,52	925,29	746,03	631,37	629,83	627,03	763,48
DEZ	1294,17	1294,17	1083,3	953,24	1020,82	946,56	1112,03

Tabela 18: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Norte-Sul, 45% aberturas, ZB 1

	CONSUMO MENSAL AQUECIMENTO – KWh (N-S 45%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0,01	0,10	0,14	0	0,15	0,01
MAI	3,24	3,87	6,19	7,32	4,07	8,11	4,53
JUN	11,78	16,06	24,11	16,85	14,58	43,22	21,94
JUL	55,22	59,21	77,91	78,08	76,02	104,66	88,65
AGO	13,18	17,86	32,81	15,20	14,22	38,69	17,99
SET	8,72	9,29	17,93	15,45	16,26	19,43	11,84
OUT	2,50	2,70	4,67	5,69	5,80	5,83	3,70
NOV	0	0	0,02	0,02	0,03	0,03	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0

b) Zona Bioclimática 2 – Santa Maria, RS

Tabela 19: Consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 2

TIPO DE PROTEÇÃO SOLAR	CONSUMO ANUAL RESFRIAMENTO - KWh			
	L-O 20%	N-S 20%	L-O 45%	N-S 45%
Sem proteção solar	15838,08	13403,70	22158,31	17737,13
Persiana interna	14734,93	12842,00	19680,57	16335,58
Brise horizontal	13187,30	11653,86	16221,50	13585,39
Cortina verde - Glicínia	11176,22	11162,57	13287,93	13193,23
Cortina verde – Trombeta-chinesa	12766,77	11998,86	16383,82	14979,46
Cortina verde – Madressilva-creme	10760,92	10730,98	12488,11	12280,00
Cortina verde – Jasmim-leite	12622,96	11582,79	16238,24	14148,88

Tabela 20: Consumo anual de energia elétrica para aquecimento, na Zona Bioclimática 2

TIPO DE PROTEÇÃO SOLAR	CONSUMO ANUAL AQUECIMENTO - KWh			
	L-O 20%	N-S 20%	L-O 45%	N-S 45%
Sem proteção solar	169,13	131,83	104,37	76,08
Persiana interna	188,67	154,28	124,02	95,56
Brise horizontal	215,87	188,35	169,89	143,10
Cortina verde - Glicínia	199,70	171,70	143,27	117,51
Cortina verde – Trombeta-chinesa	175,39	142,54	114,31	87,50
Cortina verde – Madressilva-creme	271,83	268,70	246,68	240,06
Cortina verde – Jasmim-leite	201,30	177,24	148,99	122,04

Tabela 21: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 20% aberturas, ZB 2

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (L-O 20%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	2956,69	2776,01	2508,95	2113,55	2498,42	2099,83	2453,55
FEV	2388,03	2244,29	2046,77	1740,86	2045,12	1725,33	1956,73
MAR	2254,65	2131,40	1946,36	1640,31	2063,48	1630,86	1830,23
ABR	1081,35	1011,17	908,05	718,74	982,89	715,23	845,28
MAI	311,22	287,72	253,50	221,79	295,67	222,26	256,21
JUN	317,85	304,41	283,13	293,14	302,89	248,51	262,86
JUL	241,13	215,66	191,25	211,56	218,55	142,46	172,56
AGO	390,98	349,33	297,85	333,18	349,42	217,91	267,18
SET	366,84	310,65	245,92	196,07	188,60	137,06	215,05
OUT	1143,95	1030,94	873,66	680,97	654,06	638,76	811,29
NOV	1744,52	1593,99	1394,78	1140,97	1136,04	1121,69	1390,70
DEZ	2640,87	2479,36	2237,08	1885,08	2031,63	1861,02	2161,32

Tabela 22: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Leste-Oeste, 20% aberturas, ZB 2

	CONSUMO MENSAL AQUECIMENTO – KWh (L-O 20%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0	0	0,04	0	0,05	0
MAI	16,21	18,06	23,28	36,64	19,73	37,99	23,63
JUN	69,83	77,13	87,38	81,86	76,54	113,63	91,02
JUL	45,98	48,85	56,62	52,85	51,42	69,86	57,17
AGO	32,34	39,72	41,72	16,26	14,95	34,32	20,52
SET	4,39	4,46	5,89	10,03	10,35	13,39	7,57
OUT	0,38	0,45	0,98	2,02	2,40	2,59	1,39
NOV	0	0	0	0	0	0	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 23: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 45% aberturas, ZB 2

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (L-O 45%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	3914,61	3543,90	2989,64	2392,67	3101,47	2369,38	3066,62
FEV	3113,26	2817,98	2400,03	1946,13	2509,71	1925,00	2389,08
MAR	2995,17	2709,66	2314,63	1844,05	2654,98	1835,16	2230,48
ABR	1549,64	1379,37	1145,59	860,34	1375,36	863,66	1111,78
MAI	507,79	433,05	330,96	262,80	446,29	273,52	341,08
JUN	456,93	417,31	357,43	397,89	424,19	301,79	339,66
JUL	430,53	363,18	278,97	360,40	380,87	202,13	271,33
AGO	681,70	574,66	429,01	559,29	598,42	293,65	418,03
SET	703,35	567,53	395,51	340,88	325,63	225,81	393,80
OUT	1793,29	1529,44	1167,90	842,40	821,02	797,82	1137,35
NOV	2515,19	2176,55	1754,86	1336,60	1327,16	1300,05	1842,58
DEZ	3496,85	3167,94	2656,97	2144,48	2418,72	2100,14	2696,45

Tabela 24: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Leste-Oeste, 45% aberturas, ZB 2

	CONSUMO MENSAL AQUECIMENTO – KWh (L-O 45%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0	0	0,01	0	0,01	0
MAI	8,04	9,13	14,81	30,13	10,07	32,25	14,07
JUN	42,48	49,98	68,14	55,49	48,99	103,40	68,75
JUL	32,79	34,70	49,38	39,20	37,4	66,53	46,68
AGO	17,70	26,65	30,70	7,99	6,95	29,75	12,27
SET	3,27	3,46	6,33	8,75	9,09	12,73	6,27
OUT	0,09	0,10	0,53	1,70	1,81	2,01	0,95
NOV	0	0	0	0	0	0	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 25: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 20% aberturas, ZB 2

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (N-S 20%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	2330,12	2321,78	2191,35	2099,74	2191,27	2097,48	2187,05
FEV	1984,95	1947,37	1813,46	1724,66	1830,11	1721,34	1782,86
MAR	2004,23	1920,59	1720,11	1626,94	1867,45	1623,84	1710,20
ABR	1057,82	976,40	825,61	719,61	944,01	714,66	833,27
MAI	364,84	307,77	270,46	221,56	332,52	219,43	273,25
JUN	368,29	330,21	309,67	329,09	345,81	248,59	282,89
JUL	312,84	251,19	221,39	262,86	277,67	138,70	197,23
AGO	425,34	358,42	286,59	354,70	370,68	217,86	278,92
SET	312,36	259,09	181,89	179,09	173,49	137,40	183,75
OUT	856,09	805,69	696,75	653,61	638,31	633,10	699,73
NOV	1286,34	1264,76	1162,34	1121,25	1119,32	1116,09	1203,59
DEZ	2100,48	2098,73	1974,24	1869,46	1908,22	1862,49	1950,05

Tabela 26: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Norte-Sul, 20% aberturas, ZB 2

	CONSUMO MENSAL AQUECIMENTO – KWh (N-S 20%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0	0	0,01	0	0,01	0
MAI	11,09	13,45	18,80	34,88	14,20	36,89	19,14
JUN	50,12	57,60	69,85	63,17	57,23	113,33	77,20
JUL	37,91	41,88	51,60	45,06	43,24	69,29	51,56
AGO	26,78	34,89	39,16	15,16	13,95	33,07	18,98
SET	4,85	5,25	7,51	11,16	11,45	13,56	8,88
OUT	1,08	1,21	1,43	2,26	2,47	2,55	1,48
NOV	0	0	0	0	0	0	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 27: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 45% aberturas, ZB 2

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (N-S 45%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	2772,84	2754,42	2476,86	2330,02	2514,61	2324,50	2508,56
FEV	2375,54	2291,54	2014,79	1887,49	2096,26	1885,30	2038,57
MAR	2526,25	2336,92	1890,65	1802,75	2259,04	1801,75	2011,74
ABR	1505,17	1312,45	972,76	863,37	1318,47	862,01	1092,92
MAI	663,03	489,56	368,56	268,21	557,71	270,86	389,47
JUN	601,00	468,40	410,66	491,60	543,78	306,01	381,11
JUL	601,59	445,82	347,15	491,42	530,97	205,79	337,55
AGO	765,47	594,21	402,15	619,35	659,19	297,14	453,54
SET	579,04	458,89	256,22	303,50	291,86	222,46	340,42
OUT	1211,53	1095,17	847,17	786,17	778,37	772,96	913,51
NOV	1628,93	1584,84	1360,47	1273,36	1270,43	1264,23	1433,89
DEZ	2506,74	2503,36	2237,95	2075,99	2158,77	2066,99	2247,60

Tabela 28: Consumo mensal de energia elétrica para aquecimento, orientação Norte-Sul, 45% aberturas, ZB 2

	CONSUMO MENSAL AQUECIMENTO – KWh (N-S 45%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	0	0	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0
ABR	0	0	0,01	0,01	0	0,01	0
MAI	5,49	7,36	11,58	28,36	6,94	30,85	10,27
JUN	26,07	32,92	49,36	37,79	31,56	100,57	52,85
JUL	26,75	27,69	42,68	32,29	30,32	65,14	39,36
AGO	13,35	22,25	29,41	7,27	6,47	28,36	10,97
SET	3,90	4,56	8,57	9,93	10,24	13,05	7,22
OUT	0,52	0,78	1,49	1,86	1,97	2,08	1,37
NOV	0	0	0	0	0	0	0
DEZ	0	0	0	0	0	0	0

c) Zona Bioclimática 3 – Fortaleza, CE

Tabela 29: Consumo anual de energia elétrica para resfriamento, na Zona Bioclimática 8

TIPO DE PROTEÇÃO SOLAR	CONSUMO ANUAL RESFRIAMENTO - KWh			
	L-O 20%	N-S 20%	L-O 45%	N-S 45%
Sem proteção solar	42322,97	42322,97	52204,81	44619,22
Persiana interna	40333,34	37562,9	47780,52	43032,67
Brise horizontal	38027,84	35536,9	42972,69	38555,42
Cortina verde - Glicínia	36122,35	34276,11	40762,46	38293,87
Cortina verde – Trombeta-chinesa	38268,76	35472,76	44797,8	40396,47
Cortina verde – Madressilva-creme	34375,71	33721,1	37447,42	36462,59
Cortina verde – Jasmim-leite	36776,11	34949,92	42736,58	39207,03

Tabela 30: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 20% aberturas, ZB 8

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (L-O 20%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	3801,59	3670,10	3429,90	3137,60	3442,52	3124,86	3365,88
FEV	3460,35	3322,43	3126,91	2856,54	3132,30	2840,36	3009,74
MAR	3561,67	3422,41	3213,70	2927,34	3365,04	2915,90	3054,14
ABR	3250,10	3133,35	2951,78	2680,10	3089,83	2676,41	2825,43
MAI	3665,11	3497,16	3321,54	3013,10	3475,07	2986,96	3177,00
JUN	3512,70	3359,67	3193,30	3324,58	3407,12	2922,46	3086,12
JUL	3155,28	2996,58	2831,94	2977,73	3020,80	2531,24	2721,96
AGO	3599,68	3367,47	3187,33	3372,97	3434,61	2842,32	3079,37
SET	3492,83	3265,16	3081,03	2975,21	2948,77	2758,37	3001,76
OUT	3666,58	3472,42	3259,81	2975,03	2950,07	2931,35	3146,92
NOV	3723,93	3543,93	3334,29	3054,72	3048,92	3033,43	3283,72
DEZ	3433,15	3282,66	3096,31	2827,43	2953,71	2812,05	3024,07

Tabela 31: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Leste-Oeste, 45% aberturas, ZB 8

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (L-O 45%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	4640,52	4342,34	3839,14	3419,44	3981,15	3397,25	3896,44
FEV	4214,17	3907,78	3504,08	3090,62	3623,26	3069,36	3458,22
MAR	4331,17	4032,34	3604,72	3164,46	3985,70	3153,76	3511,00
ABR	3948,81	3677,60	3304,04	2903,19	3676,29	2897,28	3244,07
MAI	4470,28	4104,56	3728,21	3291,34	4149,15	3252,95	3668,10
JUN	4285,12	3935,13	3578,34	3938,96	4092,43	3158,35	3539,06
JUL	3907,76	3574,64	3217,51	3609,06	3693,11	2783,40	3194,63
AGO	4567,4	4045,35	3687,05	4168,62	4284,88	3132,73	3660,64
SET	4409,57	3904,34	3536,30	3439,56	3391,93	3017,98	3558,70
OUT	4581,02	4153,41	3715,51	3283,92	3248,70	3206,99	3656,26
NOV	4624,31	4211,15	3781,50	3355,32	3344,67	3314,78	3845,07
DEZ	4224,66	3891,88	3476,29	3097,97	3326,53	3062,59	3504,39

Tabela 32: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 20% aberturas, ZB 8

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (N-S 20%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	3533,10	3459,21	3257,06	3107,42	3248,04	3103,06	3231,03
FEV	3084,31	3066,24	2923,39	2781,80	2868,62	2777,79	2848,52
MAR	3117,31	3116,12	2997,43	2828,21	2962,13	2826,31	2891,80
ABR	2940,11	2917,68	2774,48	2606,20	2766,39	2603,53	2687,91
MAI	3469,06	3362,65	3134,24	2926,20	3185,33	2917,89	3068,51
JUN	3402,07	3269,05	3032,53	2869,28	3183,55	2860,32	3008,11
JUL	3000,04	2879,29	2661,47	2759,17	2778,11	2485,69	2628,96
AGO	3199,77	3100,29	2920,61	2971,24	2992,08	2788,48	2885,33
SET	2892,25	2885,65	2791,45	2718,98	2714,42	2678,98	2732,83
OUT	3090,71	3090,17	2985,90	2889,14	2886,17	2881,88	2934,81
NOV	3356,84	3293,74	3122,26	3016,53	3016,01	3007,24	3109,73
DEZ	3206,62	3122,81	2936,08	2801,94	2871,91	2789,93	2922,38

Tabela 33: Consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação Norte-Sul, 45% aberturas, ZB 8

	CONSUMO MENSAL RESFRIAMENTO – KWh (N-S 45%)						
	Sem proteção solar	Persiana interna	Brise horizontal	Cortina verde - Glicínia	Cortina verde – Trombeta	Cortina verde – Madressilva	Cortina verde – Jasmim
JAN	4136,68	3968,17	3524,94	3364,96	3701,15	3353,97	3652,36
FEV	3526,50	3489,16	3170,20	2990,00	3179,51	2987,88	3133,44
MAR	3529,79	3527,03	3276,70	3032,61	3317,64	3041,47	3173,46
ABR	3393,79	3338,87	3005,26	2810,8	3156,75	2819,88	2985,94
MAI	4110,03	3879,64	3387,98	3179,82	3767,68	3156,32	3480,99
JUN	4055,98	3783,00	3268,07	3697,25	3810,73	3089,05	3429,87
JUL	3619,04	3366,23	2885,31	3316,69	3375,26	2709,59	3045,35
AGO	3778,71	3567,59	3168,21	3483,87	3543,36	3030,66	3279,91
SET	3273,68	3259,36	3057,33	2974,05	2964,19	2888,93	3007,93
OUT	3496,48	3493,22	3258,35	3121,80	3115,23	3106,28	3214,50
NOV	3903,70	3765,02	3378,37	3274,42	3269,81	3253,96	3488,04
DEZ	3794,84	3595,38	3174,70	3047,60	3195,16	3024,60	3315,24