



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

DENISE DAMAS DE OLIVEIRA MORELLI

**DESEMPENHO DE PAREDES VERDES COMO
ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA**

Campinas

2016

Denise Damas de Oliveira Morelli

**DESEMPENHO DE PAREDES VERDES COMO
ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA**

Tese de Doutorado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Doutora em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, na área de Arquitetura, Tecnologia e Cidade.

Orientadora: Pro^a Dr^a. Lucila Chebel Labaki

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNA DENISE DAMAS DE OLIVEIRA MORELLI E ORIENTADA PELA Prof^a. Dr^a. LUCILA CHEBEL LABAKI.

ASSINATURA DA ORIENTADORA



Campinas

2016

FICHA CARTOGRÁFICA

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): FAPESP, 2012/06990-05

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

M815d Morelli, Denise Damas de Oliveira, 1970-
Desempenho de paredes verdes como estratégia bioclimática / Denise Damas de Oliveira Morelli. – Campinas, SP : [s.n.], 2016.

Orientador: Lucila Chebel Labaki.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Conforto térmico. 2. Trepadeira. 3. Vegetação e clima. 4. Arquitetura sustentável. 5. Conforto humano. I. Labaki, Lucila Chebel, 1943-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Performance green walls as bioclimatic strategy

Palavras-chave em inglês:

Thermal comfort

Bindweed

Vegetation and climate

Sustainable architecture

Human comfort

Área de concentração: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Titulação: Doutora em Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Banca examinadora:

Lucila Chebel Labaki [Orientador]

Doris Catharine Cornélie Knatz Kowaltowski

Carolina Lotufo Bueno-Bartholomei

Denise Helena Duarte

Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

Data de defesa: 30-08-2016

Programa de Pós-Graduação: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**DESEMPENHO DE PAREDES VERDES COMO
ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA**

DENISE DAMAS DE OLIVEIRA MORELLI

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

**Prof. Dr^a. Lucila Chebel Labaki
Presidente e Orientador(a)/Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo - UNICAMP**

**Prof. Dr^a. Doris Catharine C.K. Kowaltowski
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP**

**Prof. Dr^a. Denise Helena Duarte
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - USP**

**Prof. Dr^a. Maria Solange Gurgel de Castro Fontes
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - UNESP**

**Prof. Dr^a. Caroline Lotufo Bueno-Bartholomei
Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 30 de Agosto de 2016.

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu marido Daniel, pelo apoio e amor, energia fundamental para que eu pudesse concluir esta tese.

AGRADECIMENTOS

A Prof^a Dr^a Lucila Chebel Labaki, pela confiança, incentivo, orientação dedicada e atenção dispensada durante o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos técnicos Obadias Pereira da Silva Júnior e Daniel Celente, do Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, pelo auxílio na montagem dos equipamentos utilizados no estudo desta pesquisa experimental.

Ao professor Dr. Edson Matsumoto, pela instrumentação e calibração do túnel de vento de camada limite atmosférica para o estático e dinâmico dos modelos.

A FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro (Processo nº 2012/06990-05) para o desenvolvimento desta pesquisa.

A Reitoria da Universidade Estadual de Campinas pelo apoio financeiro para construção dos protótipos.

A toda a minha família, pelo apoio e pela presença sempre constante.

A Deus, por existir em minha vida e permitir alcançar mais este degrau.

RESUMO

A vegetação como estratégia bioclimática é muito conhecida de profissionais, tanto do meio acadêmico quanto da construção. Porém, há vários estudos sobre a eficácia da parede e cobertura verde na criação de ambientes internos confortáveis, mas no Brasil há poucos estudos sobre a parede verde e sua contribuição no conforto térmico. Como elemento de fachada e cobertura, a vegetação pode minimizar o ganho de calor, proporcionando melhor condição no conforto térmico das edificações. A adoção desse elemento, como segunda pele em fachada e na cobertura deve estar presente desde o início do programa para a elaboração do projeto arquitetônico. Nesse sentido, a pesquisa tem como objetivo estudar o efeito de parede verde no desempenho térmico da edificação. Mensurou-se a influência da trepadeira nas superfícies externas da edificação, tanto no sentido vertical (parede) e no sentido horizontal (cobertura) e a interferência no microclima da área interna do objeto de estudo. Foi realizado o levantamento de algumas espécies trepadeiras comumente utilizadas na cidade de Campinas, SP, a análise o comportamento morfológico da planta e sua contribuição para atenuar o ganho de calor no interior da edificação, por meio dos seguintes indicadores: conforto térmico propiciado, orientação de fachada mais indicada, interferência na ventilação natural, manutenção e conservação da vegetação na edificação. A partir desses dados, propõe-se um índice de eficiência da vegetação, para a utilização da trepadeira em toda envoltória da edificação. O método adotado foi um estudo experimental com a comparação do desempenho térmico em protótipos que se diferenciem apenas pela presença de trepadeira na fachada (parede) e/ou cobertura (telhado). Para avaliar a influência da trepadeira na edificação, foram mensurados seus efeitos na temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, temperatura superficial da parede interna e externa e na cobertura. Os dados obtidos nos protótipos com e sem vegetação foram comparados e analisados em função das temperaturas superficiais internas e externas e do fluxo de calor apresentando diferenças significativas entre os protótipos. A pesquisa forneceu indicações sobre a eficiência da trepadeira, como segunda pele, na redução do ganho de calor. Mostrou também que a trepadeira na envoltória não impede a passagem do ar, apenas diminui sua velocidade. A pesquisa contribuiu para o conhecimento da parede verde e seu efeito no conforto térmico de uma edificação. Produziu um índice de eficiência da trepadeira como segunda pele e indicou o uso da mesma em toda a envoltória do edifício ou apenas nas diferentes orientações de fachada e cobertura.

Palavras chave: conforto térmico, trepadeira, segunda pele.

Abstract

The vegetation as strategy bioclimatic is known by professionals from both academy as construction. However, there are many studies on the effectiveness of the wall and green roof in creating comfortable environments, but in Brazil there are few studies on the green wall and its contribution to thermal comfort. As a front element and cover, the vegetation can minimize heat gain, providing a better condition in the thermal comfort of buildings. The adoption of this element as a second skin façade and the roof must be present from the beginning of the program for the development of architectural design. The survey measured the influence of climbing on the external surfaces of the building, in the vertical direction (wall) and horizontally (cover) and interference in the internal microclimate of the area of the study object. This work the lifting of some creepers commonly used in the city of Campinas, SP, and analyzing the morphological behavior of the plant and its contribution to mitigate heat gain inside the building, through the following indicators: propitiated thermal comfort, guidance more façade indicated, interference with natural ventilation, maintenance and conservation of vegetation in the building. From these data, we propose an indicator of vegetation efficiency – green wall for the use of the vine throughout the building envelope. The research is an experimental study comparing the thermal performance in prototypes that differ only by the presence of climbing on the façade (wall) and floor (roof). To evaluate the influence of climbing in the building, they were measured their effects on air temperature, relative humidity, wind speed, surface temperature of the inner and outer wall and the roof. The analysis of the data on the prototypes with and without vegetation were compared and analyzed with surface temperatures and heat flow with a significant value between the prototypes. The results of this research indicated the vine efficiency as a second skin, reducing heat gain, the relative humidity reached equilibrium in the constructed area, climbing the envelope does not hinder the passage of air, only slows the air. The research contributed to the knowledge of the green wall and its effect on the thermal comfort of a building. Produced a creeper efficiency ratio as second skin and indicators throughout the building envelope or just in different orientation of façade and roof.

Keywords: thermal comfort, creeper, second skin.

SUMÁRIO

1. Introdução	11
1.1 Hipótese	13
1.2 Objetivo	13
1.3. Organização do trabalho	14
	15
2. Revisão da Literatura	15
2.1 Clima urbano e a influência da vegetação	15
2.2 Arquitetura bioclimática	19
2.3 Edifício e o uso da vegetação	20
2.4 Sistemas de vegetação na edificação	24
2.4.1 Cobertura verde ou telhado verde	25
2.4.2 Jardim vertical	26
2.4.3 Parede viva ou Fachada viva	28
2.4.4 Parede verde ou Fachada verde	31
2.5 Parede verde: elemento de conforto	40
2.5.1 Isolamento térmico	40
2.5.2 Resistência térmica	44
2.5.3 Capacidade térmica	45
2.5.4 Evapotranspiração	45
2.5.5 Umidade	46
2.5.6 Sombreamento	47
2.5.7 Vento	48
2.6 Síntese da revisão	48
3. Materiais e Métodos	50
3.1 Etapas da pesquisa	50
3.2 Local da pesquisa experimental	52
3.3 Processo de coleta de dados	53
3.4 Seleção da espécie	54
3.4.1 Características das trepadeiras	55
3.4.2 Manutenção	56
3.5 Protótipo: característica física e dimensões	56
3.6 Medições das variáveis ambientais	59
3.6.1 Equipamentos e função	60
3.6.2 Períodos de medição	62
4. Analise dos resultados	66
4.1 Resultados da medição do período de inverno 2014	66
4.2 Resultado da medição do período de primavera 2014	76
4.3 Resultado da medição de inverno 2015	88

4.4 Resultado da medição de primavera 2015	92
4.5 Resultado da medição de verão 2015 / 2016	96
4.6 Resultado da medição de outono 2016	99
4.7. Resistência Térmica para segunda fase da pesquisa 2015 / 2016	105
4.8 Índice da Área Foliar	107
4.9 Fator Verde	109
4.10 Conforto Térmico	110
4.11 Análise Estatística	113
5. Discussão	116
6. Conclusão	122
6. Referências	124
ANEXO 1	131

1. INTRODUÇÃO

A vegetação como estratégia bioclimática é um elemento muito conhecido dos profissionais do meio acadêmico e da construção civil. Existem vários estudos referentes à eficácia das paredes e coberturas vivas para proporcionar ambientes confortáveis. Como elemento tanto da fachada quanto da cobertura, a vegetação pode minimizar o ganho de calor nos edifícios propiciando melhor condição do conforto térmico em seu interior.

A vegetação é uma das opções a serem utilizadas nas construções, como segunda pele ou revestimento na edificação, por tratar-se de um elemento natural capaz de gerar benefícios às características térmicas do local. Outro ponto importante a se destacar é o contato do usuário com as plantas, que promove bem-estar físico e psicológico às pessoas e seu desenvolvimento (SATTLER, 2004).

Givoni (1998), afirma que a vegetação contribui na arquitetura e na forma estética como um dos elementos mais compensadores devido ao efeito marcante que exerce na paisagem, integrando a edificação e o jardim e criando um ambiente receptivo ao usuário. Com isso, a sensação de equilíbrio, harmonia e conforto será transmitida à edificação e seus usuários. Para estudar a intervenção da vegetação no conforto térmico da edificação é necessário investigar as condições microclimáticas consideradas termicamente confortáveis. Na sequência analisam-se os mecanismos pelos quais a vegetação contribui para o conforto da edificação e sua envoltória e, finalmente, relacionam-se todos os dados para se obter a conclusão e propor uma lista de recomendações de uso da vegetação na edificação (GIVONI, 1998).

Os trabalhos desenvolvidos na temática de conforto térmico em edificação são realizados de forma experimental, ou seja, estudo de caso, ou por meio de simulação computacional que determina a condição térmica de forma mais controlada nas condições climáticas internas com intervenções passivas. Na área externa, não há a possibilidade do controle total das variáveis climáticas, mas torna-se necessário o conhecimento do ganho de calor nas edificações por radiação de ondas curtas, bem como da temperatura e umidade do ar e da velocidade do vento, para que se possa propor intervenções ou decisões projetais que utilizem desse sistema passivo para o controle térmico.

Hunter *et al.* (2014), relatam sobre a importância dos estudos referentes às fachadas verdes como atenuadores do ganho de calor na edificação. Sugerem que as pesquisas de conforto térmico que utilizam vegetação aplicadas nas disciplinas de arquitetura e engenharia deveriam ser ampliadas para as disciplinas de biologia vegetal, ecologia e ciência do solo

aumentando a visão do desempenho da planta neste âmbito. Observam que há falta de padronização nos métodos das pesquisas para definir dados mínimos do microclima e permitir a avaliação comparativa do desempenho térmico com e sem fachada verde.

No Brasil, há vários estudos referentes à influência exercida pela vegetação das áreas urbanas arborizadas sobre o microclima das cidades. A vegetação é muito eficiente para amenizar a incidência da radiação solar, controlar a umidade e temperatura do ar e criar condições de conforto, confirmando os efeitos benéficos da sua utilização (RIVERO, 1986; ROMERO, 2001; MONTEIRO; MENDONÇA, 2003; PEZZUTO, 2007; MOURA *et al.*, 2008; ABREU, 2012; ROCHA; SOUZA, 2011; DACANAL, 2011).

Estudos sobre a utilização da vegetação nas áreas edificadas são frequentemente realizados sobre os telhados ou coberturas verdes, que possibilitam a diversidade do uso da cobertura com vegetação de forração e gramíneas, canteiros para hortaliças, plantios de arbustos e a utilização de teto jardim.

As pesquisas com telhado ou cobertura verde indicam melhor desempenho térmico porque há redução no ganho de calor por radiação solar, ocorre armazenamento de água da chuva e direcionamento do excesso para galeria pluvial e a evapotranspiração que contribuem para umidade do ar. Alguns estudos sobre cobertura verde utilizam lajes impermeabilizadas com camada de argila expandida ou lâminas com água (ANDRADE, 2007; BALDESSAR, 2012).

Contudo, há poucas pesquisas sobre fachada ou parede verde realizados no Brasil e com objetivos diferenciados. Estudou-se o uso da vegetação na fachada de uma edificação com finalidade estética, a influência da trepadeira no conforto térmico no ambiente interno de uma edificação com foco no sombreamento sobre a construção e o conforto térmico proporcionado. Os resultados destes estudos, mesmo com objetivos diferenciados, mostraram respostas positivas e favoráveis ao uso da vegetação sobre a edificação (VALESAN; SATTLER, 2008; MORELLI, 2009; SCHERER; FEDRIZZI, 2013).

Em estudos mais recentes, utilizou-se a fachada ou parede viva, um sistema que recobre toda a superfície externa de uma edificação com várias espécies de plantas formando um mosaico. Esses estudos mostraram-se eficientes na redução de temperatura interna da edificação (LIMA, 2014; CAETANO, 2014).

Nos estudos de conforto térmico em edificação, as questões primordiais são a escolha do material de fechamento, cobertura, cor dos materiais, dimensionamento e orientação das aberturas e dos sistemas de ventilação. A pesquisa descrita nesse trabalho adotou uma espécie de vegetação a trepadeira, usada como segundo revestimento nas superfícies externas dos componentes construtivos. Selecionaram-se duas espécies de trepadeiras e analisou-se sua

aplicação sobre protótipos (junto à edificação e apoiada em suporte afastado). Estudou-se seu comportamento como crescimento vertical (parede) nas fachadas leste, norte, oeste e horizontal na cobertura (telhado) da edificação. Adotou-se o método de medição eletrônica simultânea da temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, temperatura de globo e temperatura superficial interna e externa nos protótipos. Uma das dificuldades encontradas para a realização desta pesquisa refere-se a estudos com as mesmas espécies de trepadeiras que as utilizadas, que, adotadas como parâmetro, permitissem a comparação dos resultados obtidos com outros estudos efetuados em diferentes climas e tipos de edificações.

O tema é relevante devido à crescente busca pela qualidade do espaço construído, em particular as relações entre as variáveis microclimáticas que implicam no conforto térmico da edificação e na qualidade de vida do usuário.

O conhecimento do efeito da vegetação no desempenho térmico do ambiente construído possibilita aos profissionais de arquitetura e engenharia civil melhor planejamento e desenvolvimento dos projetos utilizando-se deste elemento natural eficaz para contribuir com o conforto interno e externo da edificação.

1.1 Hipótese

Esta pesquisa refere-se ao efeito térmico que as trepadeiras cumprem quando utilizadas como segunda pele em paredes e/ou coberturas para atenuar o ganho de calor. Parte-se da hipótese de que o percentual de melhoria depende da espécie utilizada, da sua posição ou crescimento (vertical e horizontal) e do sistema de aplicação (diretamente na superfície ou sobre treliça afastada da edificação).

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar a contribuição da vegetação sobre a superfície vertical e cobertura da edificação, para minimizar o ganho de calor nos ambientes internos. Esses efeitos são quantificados, comparados e analisados para duas espécies diferentes de trepadeiras e com a edificação sem trepadeira.

Os objetivos específicos são:

(a) analisar o efeito térmico da vegetação como segunda pele quando utilizada conjuntamente sobre paredes e coberturas e de duas maneiras: junto à edificação e; afastada da parede, sobre treliça;

(b) comparar o percentual de melhoria em função de duas espécies diferentes de trepadeiras, do crescimento (vertical e horizontal) e da sua colocação em fachadas orientadas para Leste, Norte e Oeste;

(c) demonstrar a importância do uso deste recurso na edificação e a viabilidade para introduzi-lo em edifícios existentes.

1.3 Organização do trabalho

O trabalho está organizado em sete capítulos.

O primeiro capítulo descreve a introdução, apresenta a relevância do tema, hipótese e objetivo.

O segundo traz uma revisão bibliográfica sobre arquitetura bioclimática, clima urbano e a influência da vegetação, o uso da vegetação na edificação e sistemas de uso da vegetação e parede verde como elemento de conforto térmico na edificação.

O terceiro capítulo descreve os materiais e métodos adotados, bem como a seleção da espécie de trepadeira para realizar esta pesquisa experimental.

Os resultados e as análises estatísticas são apresentados no quarto capítulo.

No quinto capítulo apresentar-se as discussões desses resultados.

Conclusões e indicação para pesquisas futuras compõem o sexto capítulo.

O capítulo sete apresenta as referências bibliográficas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Clima urbano e a influência da vegetação

A concentração de áreas construtivas e o crescimento desordenado nas áreas urbanas influenciam no clima urbano devido à modificação das propriedades térmicas dos componentes do solo, alterando as trocas térmicas entre a superfície e o meio. Ao longo do dia, as construções acumulam calor advindo da radiação solar e emitem radiação de onda longa para a atmosfera principalmente no período noturno (GIVONI, 1992).

A estrutura que compõe o desenho urbano do ponto de vista das trocas por radiação em função do uso do solo e da constituição da própria superfície terrestre, exerce os efeitos decisivos de reflexão, absorção, armazenamento térmico, bem como urbano, considera-se principalmente mesoclima, topoclima e microclima (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003).

Oke (1976), define as escalas no ramo climatológico urbano, a saber:

- Camada Limite Urbana (*Urban Boundary Layer – UBL*) ou Atmosfera Urbana Superior: acima da superfície ativa que define a influência térmica de toda cidade até as áreas periféricas da mesma;
- Camada de Cobertura Urbana (*Urban Canopy Layer – UCL*) ou Atmosfera Urbana Inferior: os edifícios são afetados pelo volume de ar e as condições envolventes;
- Camada Inferior Urbana (*Roughness Sublayer – UBL*) ou área em que o fluxo é influenciado pela rugosidade dos elementos individuais.

Santamouris e Asimakopoulou (2001), apontam os diferentes climas e as causas do fenômeno da ilha de calor, nas áreas urbanas e seus arredores. A diferença de temperatura entre o centro da cidade e as áreas circundantes pode ser de até 4,5°C. Em geral, as cidades estudadas pelos autores possuem o mesmo comportamento climático com características que se repetem como:

- temperatura elevada ao longo do dia e até no período noturno;
- baixa umidade devido à alta temperatura do ar e pouca fonte de umidade;
- modificação da direção e velocidade do vento, contribuindo para a permanência da poluição no ar;
- aumento da radiação difusa devido à poluição do ar e consequente redução da radiação solar direta (Figura 1).

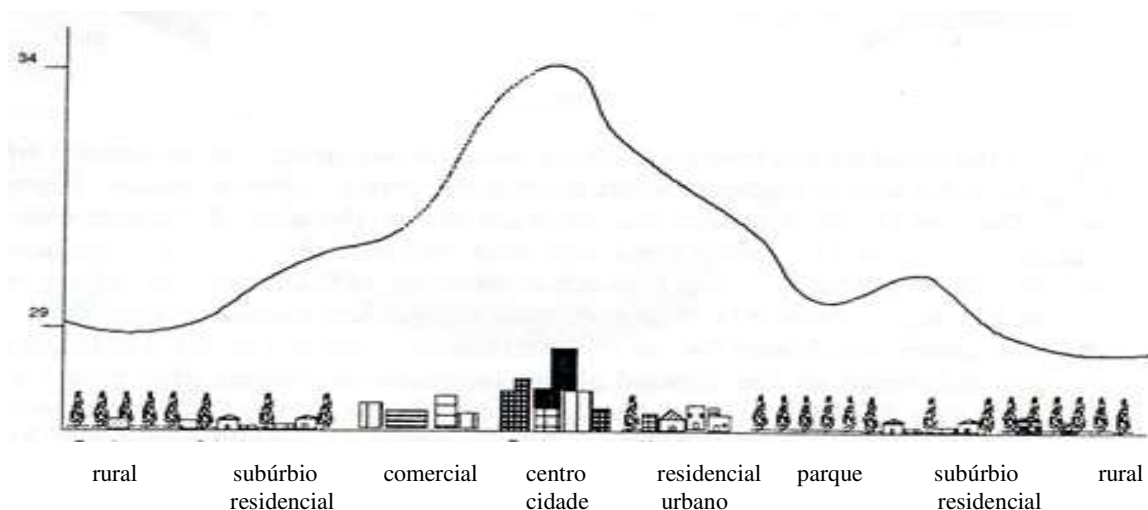


Figura 1 – Alta temperatura nos centros urbanos e baixa temperatura em diferentes configurações do meio.
 Fonte: SANTAMOURIS e ASIMAKOPOULOS, (2001, p. 89).

O estudo realizado por Andrade (2005), sem adotar limites rígidos apresenta conceitos de forma mais precisa e exemplificada. O microclima recebe a influência direta dos seguintes elementos:

- Camada de Cobertura Urbana ou Atmosfera Urbana Inferior (UCL), com os arranjos de elementos urbanos individuais (edificação e suas partes da envoltória como ruas, praças e jardins);
- O mesoclima ou Camada Limite Urbana (UBL) está essencialmente integrado a cidade por meio das variações climáticas locais.

O clima local corresponde diretamente às características do tipo de ocupação do solo (bairro e parque urbano) e as condições topográficas da área (morro, colina e vale), que se repetem com alguma regularidade nas áreas urbanas que constroem o microclima.

Lombardo (1985), realizou um estudo na cidade de São Paulo, SP, que identifica a ilha de calor, que mostra a relação entre os centros urbanos e a influência da vegetação. As temperaturas mais altas ocorreram nas áreas de pouca vegetação e de alta densidade demográfica comparando-se com as áreas de maior concentração dos espaços livres, vegetação e reservatório de água.

Rocha e Souza (2011) analisaram quatro pontos de uma avenida no fundo de um vale na cidade de São José do Rio Preto, SP e compararam os dados medidos. Os pontos que não possuíam arborização e permeabilidade do solo resultaram em ilha de calor mais intensa no período noturno, e os pontos que possuíam arborização e maior permeabilidade do solo, demonstraram que a vegetação minimiza o efeito de ilha de calor trazendo benefícios à cidade.

No sudeste do Reino Unido, um estudo concluiu que a presença da vegetação na escala do microclima, trouxe melhoria à qualidade da temperatura e umidade do ar na envoltória do edifício, minimizando o efeito da ilha de calor. Este conhecimento é um elemento importante para o desenvolvimento dos projetos que visam o conforto do usuário, segundo Ip *et al.* (2009).

Dimoudi e Nikolopoulou (2003), realizaram um estudo com características simplificadas para diferentes contextos climáticos e traçados urbanos, simulando o efeito de um parque na escala de uma quadra urbana com relação à direção e velocidade do ar que passa pelas áreas verdes e direciona para regiões de temperaturas mais elevadas da cidade. Por meio de simulações em CFD, o resultado evidenciou que a temperatura do ar nas regiões de área verde apresentou-se menor. Concluíram que a vegetação pode mitigar o efeito de ilha de calor proporcionando melhores condições nos centros urbanos.

Segundo Romero (2001), o clima urbano apresenta modificações principalmente pela falta de área verde: aumento da temperatura do ar devido à grande incidência de radiação solar direta, aumento da emissão de radiação de onda longa, alteração na trajetória dos ventos e redução da umidade do ar, alterando o ciclo de precipitação. Todas essas alterações causam desconforto térmico aos usuários das áreas urbanas e nas edificações e, para minimizar o ganho de calor, aumentam os gastos com energia por meio do uso mecânico de climatização.

Oliveira *et al.* (2008), descreveram pesquisa realizada na cidade de Lisboa, na qual constatou-se que espaços verdes mesmo que pequenos, podem alterar as condições climáticas do lugar. Comprovaram que estes espaços possuem baixa temperatura do ar, atenuando o efeito da ilha de calor.

O papel das áreas verdes no traçado urbano previne a impermeabilização do solo, erosão, diminui a temperatura e aumenta a umidade do ar por meio da evapotranspiração, proporcionando a filtragem da poluição, redução da velocidade do vento e criando espaços confortáveis chamados de “fenômenos do oásis”, segundo Santamouris e Asimakopoulos (2001).

Carvalho (2001), comprovou o “fenômeno do oásis” com o estudo no Parque das Dunas da cidade de Natal, RN. A presença do parque com sua vegetação dentro da estrutura urbana é significativa para criar um microclima agradável, e proporcionar um conforto ambiental para a população.

No mesmo período, Gomes e Soares (2003), concluíram em seus estudos que a utilização de vegetação, principalmente árvores, preferencial espécies nativas, em vias públicas, praças, parques e bosques, encostas e fundo de vale, pode contribuir significativamente no clima

urbano. Analisou-se neste estudo três cidades brasileiras e o resultado apresentou-se o mesmo, sobretudo nas condições da qualidade de vida do homem.

Por meio da simulação computacional com o *software* ECOTECT, Alexandri e Jones (2006), realizaram um estudo sobre telhado e parede verde e sua aplicabilidade em *canyons* urbanos. As cidades escolhidas foram Atenas, Hong Kong, Brasília, Montreal, Beijing, Riyadh e Mumbai. Embora estas cidades tenham diferentes climas, geometria e largura do *canyon*, esses fatores não interferiram no resultado final o qual mostrou que a influência da vegetação nas áreas urbanas possui um papel importante para minimizar a temperatura do ar.

Na cidade de Campinas, SP, Pezzuto (2007), realizou um estudo que avaliou a temperatura do ar nos espaços abertos com medidas fixas e móveis. Concluiu que as regiões com maior concentração de edifícios, comparadas com áreas próximas de vegetação, apresentaram temperaturas médias superiores no período noturno (resfriamento) e inferiores no horário da manhã (aquecimento) com uma diferença térmica de 2°C entre as regiões estudadas.

Dacanal (2011), em estudo realizado na cidade de Campinas, SP, concluiu que as áreas urbanas devem ter uma porcentagem superior a 20% de área verde para que a temperatura do ar se mantenha baixa e a umidade absoluta acima da média para qualquer zona urbana.

Rivero (1986), afirma que a utilização das plantas nas áreas urbanas proporciona proteção contra os ventos fortes e predominantes, podendo modificá-los e direcioná-los por meio da obstrução, deflexão e condução. O planejamento das áreas verdes pode proteger a edificação da ação dos ventos, tornar melhor a condição climática local e desenvolver uma paisagem ao alcance de todos.

Givoni (1998), explica que a utilização da vegetação nas áreas urbanas sempre terá um papel eficaz no sentido psicológico e da paisagem. No sentido da paisagem urbana, cada vegetação possui suas características específicas como cor, forma, altura, folhas, flores que modificam o ambiente pelas propriedades ornamentais, tornando cada área urbana uma paisagem agradável e marcante. No sentido psicológico, incluindo o estado psíquico, estes espaços proporcionam a sensação de bem-estar, melhoria no humor e relação social principalmente em praças, parques e bosques que possuem infraestrutura de lazer e esporte.

O estudo realizado na cidade de Campinas, SP por Abreu (2012), concluiu que o sombreamento das árvores e o aproveitamento do vento na calçada ou na edificação melhoram o conforto térmico das cidades e das áreas construídas.

Labaki *et al.* (2012), efetuaram uma pesquisa de conforto térmico em espaços públicos nas cidades de Campinas, Bauru e Presidente Prudente, SP, que permitiu identificar as diferenças

entre a sensação térmica real e a temperatura fisiológica equivalente (PET). Para obter os resultados utilizaram-se equipamentos de medição das variáveis ambientais, questionários com os usuários e o *software* RayMan. Para 59,5% da totalidade da amostra pesquisada, o resultado da sensação de neutralidade térmica destes espaços públicos está entre 18°C e 26°C. Esse índice é compatível com os limites propostos por Monteiro e Alucci (2007), para a cidade de São Paulo, SP com valores de 18°C a 26°C.

Krüger *et al.* (2012), relatam que num estudo no período de inverno e verão na cidade de Glasgow no Reino Unido, utilizaram-se medições com equipamentos, questionários com usuários e o *software* RayMan para se obter os dados de índice da temperatura fisiológica equivalente (PET). O estudo descreve que a sensação térmica dos moradores da cidade é um agente facilitador para o planejamento adequado do uso das áreas urbanas, proporciona aumento das atividades ao ar livre e indica melhorias na saúde física e emocional da população.

Dobbert e Zanlorenzi (2014), utilizaram o *software* RayMan para realizar uma análise das condições térmicas por meio da temperatura fisiológica equivalente (PET) em duas áreas públicas na cidade de Campinas, SP. A primeira área analisada no bairro Jardim das Paineiras, possui árvores em toda extensão das calçadas, e o segundo local analisado é o centro da cidade o qual possui algumas árvores. Os resultados mostraram que o bairro que contém árvores possui uma variação de temperatura de 12,2°C a 27,0°C; no centro da cidade observou-se uma variação na temperatura de 14,2°C a 33,3°C. Conclui-se que a área com maior arborização tem um efeito de resfriamento e está próximo ao limite do conforto térmico aos usuários, ao passo que a área que possui menor quantidade de árvores não apresenta o mesmo resultado.

Saldiva *et al.* (2015), relatam que, examinado a variação da temperatura e de mortalidade em 384 cidades, entre elas a cidade de São Paulo, SP, constatou-se que o homem vive melhor com uma temperatura um pouco abaixo da ideal, devido ao mecanismo fisiológico de adaptação ao ambiente térmico, que é mais eficiente para combater o frio do que o calor. A temperatura média da cidade de São Paulo, SP é de 22°C e a mortalidade aumenta 50%, principalmente por infarto quando alcança 30°C.

2.2 Arquitetura bioclimática

A arquitetura bioclimática busca o equilíbrio entre a construção e o meio ambiente, as relações do clima local, a forma do edifício, tipologia e dimensionamento de abertura,

especificação da cobertura, escolha do material, os elementos que contribuem para a tomada de decisão projetual para se obter uma edificação confortável e que minimize o gasto energético.

Não é necessário que se tenha um estilo específico, ou seja, medida em m² porque o que garante uma edificação eficiente é o conjunto dos elementos que proporcionarão um resultado que supre as necessidades do usuário com conforto (IZARD; GUYOT, 1983).

Na região da cidade de Brasília, DF, um estudo de campo desenvolvido nos padrões da arquitetura bioclimática aplicada ao desempenho térmico na habitação de interesse social, junto com a simulação computacional, possibilitou realizar escolhas e tomar decisões projetuais que proporcionaram conforto térmico, qualidade do espaço construído e economia na construção (AMORIM, 1998).

Romero (2001), descreve que a arquitetura bioclimática é a interação entre o ambiente construído (parede, piso, cobertura, abertura) e o ambiente natural (terra, água, vegetação, sombra) e o mecanismo que atua em ambos os ambientes por meio das variáveis ambientais (radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, vento e chuva) e como o homem aproveita estes elementos para obtenção do conforto e eficiência energética.

Slabbert (2013), constatou que na cidade de Stellenbosch, os proprietários dos edifícios comerciais consideram a luz natural e a qualidade do ar como fatores importantes para o conforto interno dos escritórios. Outro ponto importante, é a gestão da implementação de resíduos como parte integrante da construção do edifício e das práticas de sustentabilidade. Para os profissionais da área, torna-se importante estudar, repensar e desenvolver novos conceitos para o sistema de construção e que implementem no programa as novas tecnologias. Com isso, há oportunidades para se utilizar os recursos naturais de forma eficiente criando edifícios saudáveis e com eficiência energética. A utilização da vegetação na construção é um dos elementos deste conceito que pode ser utilizada na envoltória da edificação ou como revestimento sobre a superfície e cobertura.

Para projetar uma edificação que esteja em equilíbrio com o meio, é importante entender a influência das variáveis climáticas, o comportamento físico da edificação e a percepção ou a sensação em relação ao conforto térmico do usuário que a ocupará. Na fase de projeto, devem-se conhecer os princípios bioclimáticos como a incidência da radiação solar e vento para favorecer o conforto no ambiente interno e externo desta edificação.

2.3 A edificação e o uso da vegetação

Macedo (1982), explica que os jardins de espaços públicos representam a cultura do passado, o que facilita a identificação de sua época, o desenvolvimento estrutural da cidade e o progresso urbano e social. A partir do fim do século XVIII, na civilização ocidental, os espaços públicos teriam dimensões e características próprias como praças, parques e bosques de uso de toda população principalmente para o lazer. Os jardins anteriormente eram restritos à determinada parte da sociedade que possuía quintais particulares de palácios, conventos ou em prédios públicos.

Zuylen (1994), relata que desde a antiguidade, a história dos jardins, que se inicia por volta de 600 a 800 A.C. na Mesopotâmia, por meio dos jardins suspensos da Babilônia, utilizou-se da técnica conhecida como Zigurate, que era vegetação plantada em grandes plataformas, o que mostra a intervenção, a construção e o domínio entre a arquitetura e paisagem criada pelo homem. O jardim sempre fez parte da construção do meio em que o homem vive e mostra sua identidade, evolução e cultura de cada época.

Na segunda metade do século XIX no Brasil, com a chegada do paisagista francês, Auguste Marie François Claziou, introduziu-se o jardim pitoresco e romântico em várias praças e parques públicos na cidade do Rio de Janeiro, RJ. No século XX o paisagista Atílio Correa Lima traz um novo conceito de paisagem chamado de movimento renovador e posteriormente na década de 1960 o paisagista Roberto Burle Marx inicia a utilização e execução em seus projetos de jardins espécies nativas da própria região (MATHEUS, 2002).

Roberto Burle Marx tornou-se o primeiro paisagista no Brasil a trabalhar com teto-jardim e jardim vertical a partir da descoberta de novas espécies vegetais como orquídeas e epífitos e as bromeliaceae que crescem no meio das rochas e nos caules das árvores. Com essas espécies, Burle Marx trabalhou a possibilidade estética, volume, cor e forma para utilizar em jardim vertical. Em 1930 no edifício do Ministério de Saúde e Educação no Rio de Janeiro, RJ, executou um jardim vertical (pendente) que se tornou uma inovação no conceito de paisagem.

Em 1983 na cidade de São Paulo, SP, outra obra que possibilitou a execução de um teto-jardim e jardim vertical foi realizada no Edifício do Banco Safra. Burle Marx utilizou nas paredes painéis com diferentes espécies de plantas e no teto-jardim ergueu colunas com várias espécies de epífitos. Este trabalho que, utilizou o jardim vertical em contexto urbano tornou-se muito aceito pelo público (LEENHARDT e LAMBERTINI, 2007) (Figura 2).



Figura 2 – Jardim vertical, Banco Safra, São Paulo, SP.
Fonte: Burle Marx escritório de paisagismo.

Bueno-Bartholomei (2003), utilizou na cidade de Campinas, SP a vegetação arbórea na fachada com janelas em uma escola e o resultado obtido mostrou atenuação da incidência direta da radiação solar, minimizando o ganho de calor na sala de aula, o que contribuiu para o conforto térmico nos dias mais quentes.

Outro estudo realizado nesta cidade, utilizando vegetação arbórea em fachada residencial, descreveu que o sombreamento contribuiu significativamente para o conforto térmico no ambiente interno, principalmente na fachada com orientação para o oeste (DE PAULA, 2004).

O uso do telhado verde, de acordo com McDonough (2005), nas áreas urbanas é um recurso que minimiza o efeito da ilha de calor, aumenta a umidade do ar e traz benefícios à população local principalmente na qualidade de vida. O exemplo de uma única edificação com telhado verde, representa uma reflexão para o desenvolvimento de novas construções sustentáveis tornando-se uma paisagem de jardim ou floresta urbana entre o ambiente construído.

Em diferentes países como Alemanha, Suíça, Escandinávia, Peru, Irã, Iraque, Turquia entre outros, o uso do telhado e parede verde é uma tradição milenar. Com o surgimento de novos materiais para fechamento e cobertura, em 1868 na Exposição Mundial em Paris, incluiu-se um telhado verde que se tornou o primeiro dos vários projetos experimentais na Europa ocidental. Após este experimento, em 1903, em Paris, construíram-se apartamentos com terraços e telhados verdes. Nos Estados Unidos, na cidade de Chicago em 1914, construiu-se um restaurante com telhado verde. Este conceito de integração entre arquitetura e natureza neste período verifica-se em obras dos arquitetos Frank Lloyd Wright e Walter

Gropius. Em 1920, Le Corbusier utilizou deste conceito de terraço e teto jardim sistematicamente. Nas décadas de 1960, 1970 e 1980 em alguns países da Europa e principalmente na Alemanha um grupo de ecologistas e ambientalistas formou um movimento social e político que promoveu uma equipe de cientistas para pesquisar e desenvolver tecnologia e *design* para telhados e paredes verdes. Atualmente, continuam-se os estudos sobre os benefícios ambientais e econômicos do uso do telhado e parede verde na edificação e na cidade (DUNNETT e KINGSBURY, 2008).

Castro e Goldenfum (2008), no estudo experimental que realizaram com telhado verde apontaram um desempenho hidrológico positivo no qual a vegetação fez um controle adequado sobre o volume do escoamento da chuva proporcionando uma diminuição na impermeabilização dos centros urbanos.

As fachadas e coberturas das edificações estão constantemente sob influências ambientais como sol e chuva que as envelhecem e danificam. O uso de telhado e parede verde pode proteger as construções e oferecer benefícios de conforto térmico que é alcançado com sistema de refrigeração. A história mostra que a vegetação em coberturas e fachadas não é uma novidade, mas seus benefícios são um componente importante para melhoria de vida no meio urbano, afirma Köhler (2008).

Leenhardt e Lambertini (2007), realizaram uma análise crítica sobre o jardim e o homem atual. Identificaram, que aos olhos do observador, inicialmente dentro da composição de um jardim será visualizado um ponto vertical e posteriormente no sentido horizontal outro ponto sem desconsiderar o entorno. No limite de um traço, dentro da dimensão espacial de uma paisagem, permanece e se repete a ideia de desenvolver uma área verde natural comparando as cidades e casas nas quais o jardim sempre será efetuado em área limitada, mas que pareça de forma natural. A influência da própria verticalidade da planta ao introduzir o “jardim vertical”, conduziu ao uso da vegetação em suportes, treliças, colunas, tutores, pérgolas e gazebos que foram aproveitados em jardins na antiguidade e na atualidade. É tendência crescente entre os profissionais como arquitetos, botânicos e paisagistas, utilizar a tecnologia e o conceito de parede verde ou viva em seus projetos para beneficiar as cidades e habitantes.

A contribuição da vegetação na arquitetura é um dos elementos que marcam, devido à forma estética que exerce na integração da edificação com o jardim compondo uma paisagem agradável ao usuário, proporcionando a sensação de harmonia, equilíbrio e transmitindo conforto (GIVONI, 1998).

Yeang (2001), afirma que o conceito de fachadas com componentes orgânicos, visa garantir o equilíbrio térmico e a eficiência energética por meio da tecnologia ecologicamente correta, que será indispensável para a sociedade sustentável no futuro.

Faisca e Teixeira (2013), explicam que em todos os programas de etiquetagem para eficiência energética em edifício, é proposto o uso de cobertura e fachada verde que resulta em bom desempenho térmico e eficiência energética, que se traduz em economia e conforto ao usuário.

Existem mecanismos no desenvolvimento da construção que indicam e orientam a sociedade para conscientizar-se e desenvolver maior equilíbrio na edificação, na cidade e no seu entorno com o uso da vegetação. São selos de certificação ambiental para edifícios que foram projetados, construídos e ocupados com a técnica de sustentabilidade proporcionando a eficiência energética. O selo LEED (*Leadership in Energy and Environment Design*), pontua a edificação que utiliza cobertura vegetal nos seguintes requisitos: otimização do desempenho energético, redução da ilha de calor, controle e coleta da água da chuva e paisagismo.

O selo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) identifica a área verde no entorno da edificação com o conforto visual e olfativo e a preservação de área verde. O selo da Caixa Econômica Federal (Casa Azul), incentiva para o desempenho térmico da edificação o uso de cobertura, fachada com vegetação e paisagismo no entorno da edificação.

O PROCEL EDIFICA (Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações) avalia o consumo de energia da edificação e os equipamentos existentes. Analisa se a edificação utiliza-se de resfriamento e aquecimento passivo e seu entorno.

2.4 Sistemas de vegetação na edificação

Atualmente, há um grande esforço dos profissionais como arquitetos, engenheiros, paisagistas, ecólogos, entre outros, para que as edificações possuam uma área verde maior que permita a permeabilização do solo e o aspecto positivo da paisagem em relação ao conforto térmico e visual do usuário.

O estudo realizado com vegetação junto à edificação demonstrou ter um efeito profundo no comportamento térmico da construção minimizando as cargas de aquecimento. As cargas de arrefecimento são mais elevadas na superfície externa da alvenaria quando comparadas com superfície externa sem vegetação apresentando uma diferença de até 20% (KONTOLEON, EUMORFOPOULOU, 2009).

Para melhor entendimento sobre os quatros sistemas de uso da vegetação na edificação, descreve-se a seguir cada sistema individualmente: cobertura verde ou telhado verde, jardim vertical, parede viva ou fachada viva e parede verde ou fachada verde.

2.4.1 Cobertura verde ou Telhado verde

A cobertura verde ou telhado verde tornou-se uma prática muito utilizada na Europa no século XX, com variações em sua composição vegetativa conforme a região. Compõe-se de diversas camadas, como solo, com variação de espessura, material drenante, sistema contra raiz e impermeabilizante para área de sustentação do telhado verde. Os tipos de cobertura verde são: sistema extensivo, intensivo e semi-intensivo. Este sistema é conhecido pelos benefícios que traz à edificação e sua área envolvente como isolamento térmico e acústico, contribuindo na redução da sensação de calor, como purificador de ar e filtragem da água de chuva (DUNNETT, KINGSBURY, 2008).

Dunnett e Kingsbury (2008), explicam que o sistema de cobertura verde extensiva é uma cobertura com variação da espessura de substrato entre 6 e 20 cm, a vegetação necessita de cuidados somente no período de seca para rega e pode ser composta por forração como grama ou espécie rasteira. O sistema intensivo é um jardim elaborado com espécies que variam da forração ao grande porte e a cobertura do solo entre 10 cm e 1,20 m. O sistema semi-intensivo é a cobertura intermediária na qual a espessura do solo varia de 12 a 25 cm, possibilitando a utilização de forração e arbustos.

Beatrice (2011), no estudo experimental com cobertura vegetal verde extensiva, e com variação de espessura de solo, concluiu que o telhado verde com menor espessura de solo é mais dependente da cobertura vegetal, devido ao sombreamento da mesma, para minimizar o acúmulo de calor e que a cobertura vegetal com espessura maior de solo é menor em dependência da vegetação devido à massa térmica existente. Contudo, ambos os sistemas minimizam o ganho de calor na edificação.

Ferraz (2012), concluiu em sua pesquisa experimental entre uma cobertura verde e uma cobertura com telha cerâmica que a edificação com cobertura verde promove maior isolamento térmico e a temperatura interna é menor que a temperatura externa no horário com maior temperatura diária. A edificação com cobertura verde apresentou menor flutuação da temperatura interna e contribuiu com umidade ao longo do dia decorrente da evapotranspiração.

Catuzzo (2013), realizou estudo de caso no Edifício Conde Matarazzo, com telhado verde e no Edifício Mercantil / Finasa com cobertura de laje de concreto, na cidade de São Paulo, SP. O resultado da pesquisa indicou que o telhado verde atingiu uma diferença de temperatura de 5,3°C mais baixa do que o edifício com cobertura de concreto. A diferença na umidade relativa do ar foi maior, atingindo o valor de 15,7%. Concluiu-se que o telhado verde reduz o impacto no microclima na edificação devido à variação da temperatura e umidade do ar. O telhado verde absorve e emite parte da radiação solar que contribui no aumento da umidade decorrente da evaporação e transpiração e reduz o aquecimento da edificação. A utilização deste sistema nos grandes centros urbanos pode ser uma solução, mesmo sendo pontual para minimizar a formação da ilha de calor, enchentes e poluição. (Figura 3).



Figura 3 – Edifício Conde Matarazzo, Edifício Mercantil/ Finasa - São Paulo, SP.
Fonte: www.usp.br/agen/?p=162345

2.4.2 Jardim vertical

O jardim vertical sempre esteve presente em áreas construídas como residências ou áreas comerciais. Tornou-se possível sua utilização em varandas, sacadas, muros, pátios ou para demarcar a entrada principal de prédios no quais as plantas são utilizadas em floreiras, vasos no chão ou pendurados em paredes ou teto. Esta prática encontra-se em qualquer lugar do mundo.

Alguns arquitetos utilizam-se deste recurso em seus projetos. Um bom exemplo é o projeto de um edifício residencial em Paris, França. O arquiteto Edouard François utilizou 380 vasos com plantas na fachada do edifício Flower Tower (Figura 4)



Figura 4 – Jardim vertical com vasos de plantas, Paris, França.
Fonte: Edouardfrancois.com.

Este conceito de jardim vertical também está presente na cidade de Milão, Itália, no projeto elaborado pelo arquiteto italiano Stefani Boeri juntamente com a empresa de engenharia Arup no qual desenvolveram-se duas torres com 112 metros de altura, com floreiras na fachada, que abrigam cinco mil arbustos, 900 árvores, 11 mil plantas dentre elas trepadeiras pendentes. O conceito é criar um novo padrão de habitação vertical que expressa o conjunto de área construída e área verde (Figura 5).



Figura 5 – Jardim vertical com floreira, Milão, Itália.
Fonte: Stefaniboeriarchietti.net.

O escritório de arquitetura Vo Trong Nghia, desenvolveu e executou, em 2011, um projeto residencial na cidade de Ho Chi Minh, Vietnã, com o sistema de jardim vertical. Utilizou-se uma variedade de plantas tropicais em floreiras horizontais nas duas fachadas da edificação (frontal e posterior). A proposta do projeto utilizou um sistema de arrefecimento passivo em

que possibilita a passagem dos ventos e permite a entrada de luz, ao mesmo tempo que mantém o visual da área externa para os moradores (Figura 6).



Figura 6 – Fachada do edifício na cidade de Ho Chi Minh, Vietnã.
Fonte: Bio Architecture, (2014, p. 85 e 86).

No Brasil, na década de 1990, na cidade de São Paulo, SP, o arquiteto Carlos Bratke, utilizou o jardim vertical em um projeto de edifício residencial que obteve sucesso com os moradores. Na face oeste, aproveitou a varanda que abrangeu toda a extensão da fachada e criou uma estrutura metálica composta por vasos e vegetação, para proteção da incidência de radiação solar sem perda da visualização exterior. Para o arquiteto, ademais das questões técnicas de conforto térmico, esta solução “humaniza o ambiente” (Figura 7).

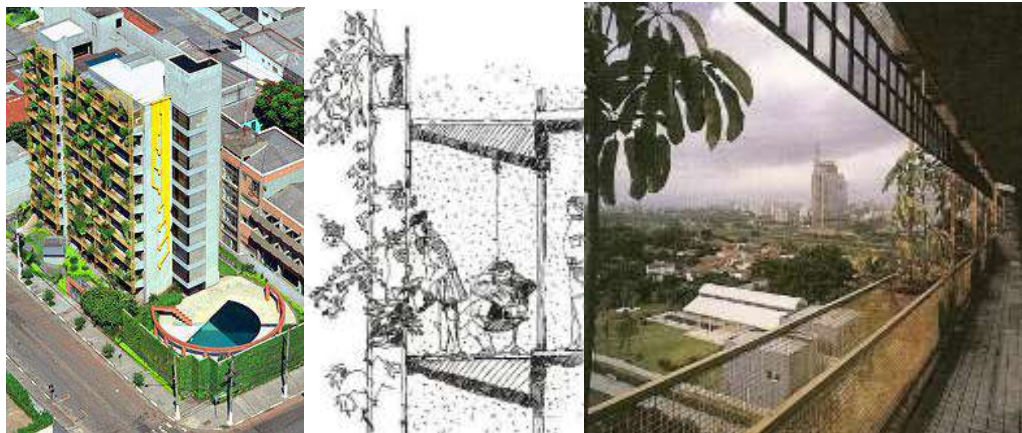


Figura 7 – Jardim vertical do edifício Equinox, São Paulo, SP.
Fonte: Carlosbratke.com.

2.4.3 Parede viva ou Fachada viva

A parede viva, fachada viva, (*Living Wall System*), ou também conhecida como jardim vertical, é um sistema modular que envolve estrutura na qual são colocados o substrato e a vegetação que se desenvolve sem precisar enraizar no chão (HÖHLER, 2008). No mercado atual, pode-se encontrar em forma de instalação variada bem como em estrutura de módulos, em painéis modulares e em bolsa de manta. Para a instalação destes sistemas é preciso uma armação metálica fixada à parede da edificação e instalação dos painéis de plástico de alta densidade. Estes painéis criam nichos modulares onde serão depositados os substratos e as espécies diferentes de vegetações.

Na década de 1990, Patrick Blanc, especialista em botânica, desenvolveu um sistema de parede viva que revolucionou o mundo da arquitetura e paisagismo, principalmente em fachadas externas e internas de grandes edifícios, com várias obras que são encontradas em muitos continentes. O projeto do edifício Trio Building localizado na cidade de Sydney, Austrália, executado em 2010, em que a parede viva é composta por vegetação diversa, criando um mosaico, é um exemplo (Figura 8).



Figura 8 – Parede viva externa de Patrick Blanc em Sydney, Austrália.
Fonte: Verticalgardenpatrickclanc.com.

Nogueira (2013), afirma que no Brasil o mercado é pequeno para a implantação de fachada ou parede viva, devido à falta de informação técnica e científica aos profissionais da construção civil e principalmente para a população. Há falta de mão de obra especializada para instalação e manutenção deste sistema nos dias de hoje e o valor do investimento para aquisição é alto. Na cidade de São Paulo, SP, ocorre um movimento de arquitetos e

paisagistas junto com a ONG Movimento 90°, no qual promove-se o uso de fachada viva em paredes nuas dos edifícios no centro da cidade. O primeiro foi o edifício Huds localizado entre a Rua Helvétia e a Avenida São João em 2013, e o segundo prédio com parede viva na mesma região é o edifício Santa Cruz, em 2016. A ONG Movimento 90° tem uma proposta para implantar um “corredor verde” na área do “minhocão” (Elevado João Goulart) com 10 paredes vivas nesta região. Para este ano os edifícios Santos, Mackenzie e Filomena terão paredes vivas. O valor da parede viva ou fachada viva pronta no ano de 2013 foi de R\$840,72 m² para o edifício Huds (Figura 9).



Figura 9 – Parede viva do edifício Huds e edifício Santa Cruz em São Paulo, SP.
Fonte: G1.globo.com/sao-paulo/noticia.

Lima (2014), em estudo experimental na cidade de Curitiba, PR, concluiu que em todas as faces, Norte, Sul, Leste e Oeste, a fachada viva reduziu a amplitude térmica no interior do protótipo, mas na fachada Norte obteve-se o melhor desempenho reduzindo em 23,3% a diferença entre a temperatura interna e externa, contribuindo significativamente para minimizar o ganho de calor no período em que as temperaturas são mais altas.

Caetano (2014), concluiu em seu estudo experimental na cidade de Campinas, SP, com parede viva, a eficiência desta tecnologia para obtenção do conforto térmico em área construída. A fachada viva, no período de verão, atenuou o ganho de calor e a diferença da temperatura interna apresentou 6°C de diferença relação à externa no período de verão. No período de inverno, reteve calor no interior da edificação, com diferenças de temperatura de até 3°C. A parede viva, ou fachada viva, traz o conforto visual por sua beleza, forma, textura e cor ao usuário no meio urbano (Figura 10).



Figura 10 – Parede viva, área experimental, UNICAMP.
Fonte: CAETANO, (2014).

2.4.4. Parede verde ou Fachada verde

A parede verde é um sistema de revestimento vivo com a planta trepadeira sobre a superfície de uma edificação. Esta prática estabeleceu-se em parte da Europa e é tradicionalmente utilizada com a espécie escaladora. Seu crescimento inicia-se de baixo para cima e há necessidade ou não de suporte auxiliar para algumas espécies no auxílio do seu desenvolvimento. O plantio da espécie de trepadeira escandente, inicia-se do alto para baixo o que a faz comportar-se como um pendente.

Joly (1987), explica que as trepadeiras são plantas de ramificação leve, flexível e permitem um crescimento inicialmente lento, até que se fixem a um apoio, o que permite o crescimento rápido e o alongamento da distância entre os nós do seu caule. As trepadeiras podem ser herbáceas (caules verdes, frágeis e flexíveis), semi-herbáceas ou lenhosas (caules rijos e com aparência de lenho). De acordo com as características morfológicas, as trepadeiras são classificadas em: trepadeira cipó (precisam de suportes ou estrutura como arco, pergolado, treliça e ser amarrada para que a planta suba); trepadeira sarmentosa (possuem caules adicionais com sistema de raiz grampiformes que pode ser de garra, espinho ou ventosa, que garantem sua fixação em superfície); trepadeira volúvel (sistema de crescimento em qualquer estrutura em que a trepadeira se enrola).

No ano de 1983, lançou-se uma campanha na cidade de Kassel, Alemanha, com suporte técnico junto aos moradores sobre o benefício do uso da parede verde nas edificações. O interesse da população sobre o tema estendeu-se até as cidades de Berlim, Frankfurt e Munich. A parede verde trabalha de forma eficiente no verão e inverno e utilizou-se a espécie de trepadeira sarmentosa. No verão a vegetação ajuda minimizar a calor mantendo a

temperatura mais amena e umidifica o ar por meio da evaporação e transpiração. No inverno, a sua ramagem (vegetação adulta), trabalha como isolante térmico, e atinge até 30% com a temperatura da área externa chegando a 0°C. As paredes verdes que utilizam de vegetação trepadeira possuem uma grande cobertura superficial capaz de filtrar poluentes, proteger a edificação do sol, chuva, vento e neve, resultando num clima mais agradável e equilibrado nas cidades (JOHNSTON e NEWTON, 1993) (Figura 11).

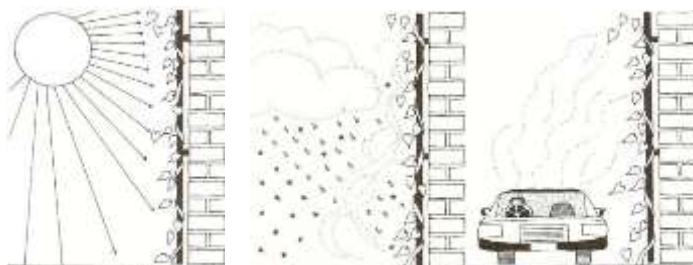


Figura 11 – Parede verde protege da radiação solar, chuva, neve e absorve os poluentes do ar.
Fonte: JOHNSTON e NEWTON, (1993).

Para os princípios de sustentabilidade, o uso do revestimento com trepadeira é considerado uma técnica que traz grande impacto ambiental positivo. Nas cidades de Londres, Toronto, Seattle, introduziu-se uma política de incentivo ao uso de paredes e coberturas verdes e outros sistemas como forma de aumento da superfície vegetativa nas áreas urbanas e no ambiente construído (DESIGN FOR LONDON, 2008).

Atualmente, há vários estudos sobre o uso da trepadeira, *Parthenocissus Tricuspidata* – *hera* como segunda pele de uma edificação, mostram a possibilidade de se obter conforto térmico de forma passiva por meio de um elemento natural, com acesso fácil, baixo custo e principalmente de manutenção simples. A planta trepadeira junto à parede ou cobertura de uma edificação é muito eficaz na redução de calor que penetra por meio da superfície da construção. Outro ponto importante é identificar a melhor orientação de implantação do edifício para que se determine a incidência e o ângulo da radiação solar sobre a fachada e se utilize desta técnica para minimizar a intensidade da luz solar direta e o calor. Fachadas Norte, Leste e Oeste, no hemisfério sul, dependendo da latitude, são as fachadas com a maior radiação solar ao longo do dia. A face Oeste de uma edificação coincide com as horas mais quentes no período do verão, segundo Santamouris e Asimakopoulou (2001).

Dunnett e Kingsbury (2008), afirmam que o uso da trepadeira em fachada e parede verde por meio do sombreamento da forração sobre a superfície da edificação pode reduzir a

temperatura do ambiente interno e o vento frio desconfortável no inverno por meio dos entrelaçados na ramificação da trepadeira sobre a superfície do ambiente construído.

Nos projetos arquitetônicos contemporâneos, as trepadeiras podem ser utilizadas de forma tradicional, ou seja, diretamente sobre a fachada. Atualmente, alguns projetistas utilizam-se de suporte auxiliar como treliça, barra de ferro, madeira fixada na fachada, cabo e malha de aço o que depende do projeto, do tipo de instalação mais correto para a edificação, qual é o ponto mais alto a ser alcançado e da quantidade de vegetação para fechamento da área desejada (DUNNETT; KINGSBURY, 2008) (Figura 12).



Figura 12 – Fachada com sistemas de estruturas diferentes para trepadeira.
Fonte: DUNNETT; KINGSBURY, (2008).

Köhler (2008), explica que a vegetação pode ser implantada de forma direta na superfície, indireta sobre a estrutura (grade, treliça) e direta ou indireta sobre o canteiro. Realiza-se a implantação da vegetação diretamente sobre a superfície porque a espécie de trepadeira possui um sistema de raízes que são grampiformes ou adventícias (ventosa). Se a implantação for indireta, são necessárias espécies de trepadeiras volúveis, tais como cipó e escandente, que necessitam de estrutura para o seu desenvolvimento (Figura 13).

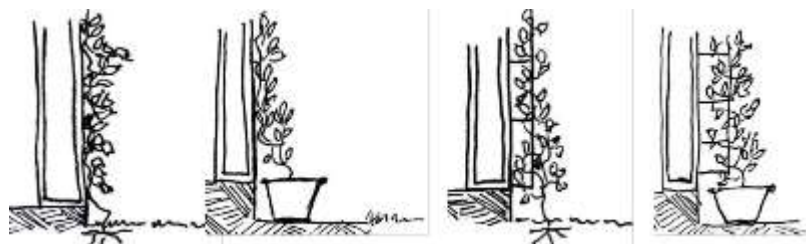


Figura 13 – Sistema de plantio da vegetação: direta e indireta.

Fonte: Croqui da autora.

Yeang (2001), descreve que o sistema de uso e distribuição da vegetação sobre a superfície de uma edificação pode ser realizado de três modos:

- 1ª justaposição: uma forma concentrada na fachada, sistema pontual;
- 2ª mesclado: com proporção e distribuição diferenciada, de acordo com a natureza da vegetação, o que indica um caráter natural da vegetação na fachada;
- 3ª integração: em que a vegetação esteja, de forma integrada e contínua, inserida no desenho da edificação e distribuída ao longo da superfície desde o solo até atingir o ponto desejado (Figura 14).

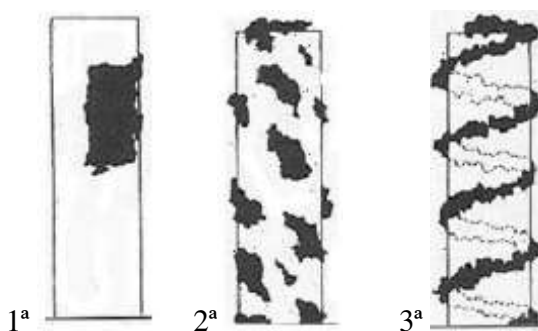


Figura 14 – Estratégias da vegetação em edifícios: justaposição, mesclado e integração.

Fonte: YEANG, (2001).

Morelli (2009), comprovou que a trepadeira sobre uma fachada da edificação minimiza o ganho de calor. Realizou-se um estudo de caso na cidade de Campinas, SP, em que se mediram a temperatura e umidade relativa do ar, temperatura superficial da parede interna e externa em duas edificações com construção idêntica sendo uma com trepadeira na fachada (*Parthenocissus Tricuspidata* - hera-japonesa) e a outra sem trepadeira. A edificação com trepadeira na fachada, no período analisado, mostrou os melhores resultados de conforto em relação à edificação sem trepadeira na fachada. Com o uso desta técnica, a trepadeira sobre a

fachada e seu sombreamento traz proteção da radiação solar direta e difusa e beneficia o usuário (Figura 15).



Figura 15 – Edifício com trepadeira hera-japonesa, Campinas, SP.
Fonte: MORELLI, (2009).

Em 2013, os arquitetos Punpong Wiwatkul e Puiphai Khunawat desenvolveram um projeto arquitetônico com duas torres residenciais, o edifício Ideo Morph 38 na cidade Bangkok, Tailândia. Este edifício é conhecido pela envoltória “casca de árvore” que possui elementos de proteção solar até a cobertura, instalados nos lados Leste e Oeste de acordo com a orientação solar, se tornando uma parede verde. Na parte frontal, a parede verde é de 65 m de altura e na parte posterior chega até 130 m de altura. A trepadeira atua como segunda pele regulando as necessidades térmicas do edifício (Figuras 16 e 17).

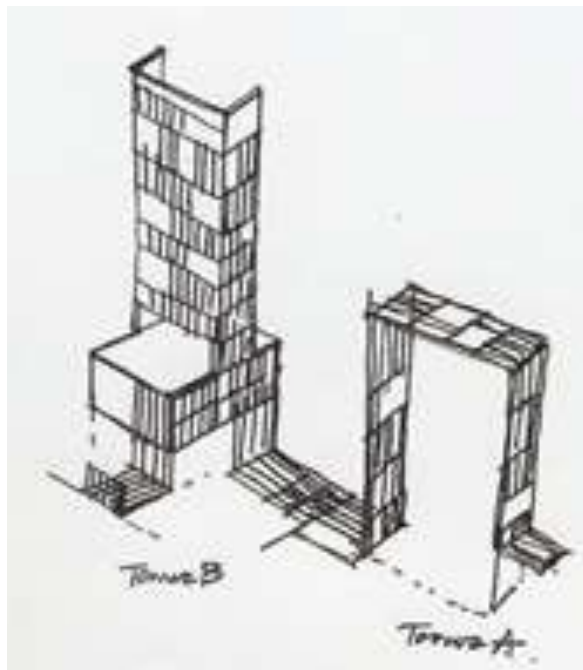


Figura 16 – Desenho esquemático da vegetação na fachada.
Fonte: Bio Architecture, (2014, p. 40 e 45).



Figura 17 – Fachada do edifício com trepadeira, Bangkok, Tailândia.
Fonte: Bio Architecture, (2014, p. 40 e 45).

O sistema para realizar a parede verde no edifício Iedo Morph 38 está ilustrado no corte esquemático (Figura 18).

Corte Esquemático

- 1 Revestimento de PVC 15 mm;
- 2 Moldura pré-moldada com malha de alumínio;
- 3 Área vazia entre a janela e a moldura da trepadeira;
- 4 Área da parede externa da construção;
- 5 Trilho de segurança para realizar manutenção;
- 6 Seixo para irrigação;
- 7 Área de plantio.

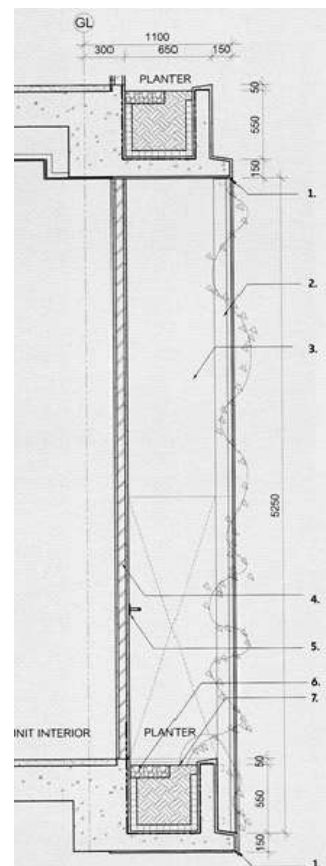


Figura 18 – Fachada do edifício Iedo Morph 38.
Fonte: Bio Architecture, (2014, p. 43).

O CTBUH (Conselho de Edifícios Altos e Habitat Urbano) nos Estados Unidos, selecionou 88 edifícios em nível mundial e quatro foram escolhidos como os melhores do mundo em 2014. Entre eles, o edifício Federal Edith Green Wendell Wyatt na cidade de Portland, EUA – projeto de Cutler Anderson Architects. Embora o edifício possua somente 18 andares, contemplou-se com o prêmio devido ao projeto de renovação ser executado em um edifício construído. O projeto seguiu as diretrizes da certificação LEED e obteve LEED Platinum. Utilizaram-se políticas educacionais públicas da cidade de Portland, o que beneficiou as construções que utilizam o sistema de infraestrutura verde para melhorar o ambiente construído que são: jardim de chuva (área verde em calçada); canteiro pluvial (pequenos espaços verdes); biovaleta (depressões preenchidas com vegetação); pavimentação permeável (material de peio que permite a infiltração de água por todo o passeio); lagoa pluvial (bacias de retenção de água de escoamento); telhado verde (cobertura de vegetação em edificação e parede verde que contribuem para minimizar o ganho de calor) (Figura 19).



Figura 19 – Edifício Federal Edith Green Wendell Wyatt, Portland, EUA.
Fonte: Melhor-edifício-do-mundo-em-2014.

No Japão, o grupo empresarial Kyocera no ano de 2007, em que o verão foi mais intenso, desenvolveu e executou o primeiro projeto de parede verde afastada da edificação no edifício

da Prefeitura de Nagano, JP. Utilizaram a trepadeira (*Cucumis sativus* – pepino) sobre uma treliça e os resultados das medições realizadas neste edifício por meio de uma câmera termográfica foram: na área externa a temperatura máxima foi de 40,5°C e sob a cortina 32,9°C, apresentando uma diferença de 7,6°C e uma redução da temperatura interna de até 4°C. A vegetação filtra os raios solares, reduz a absorção do calor e diminui a necessidade de ar condicionado no ambiente interno da edificação e ainda produz alimentos para consumo. Após este projeto, atualmente vinte edifícios de propriedade do grupo possuem parede verde (Figura 20).

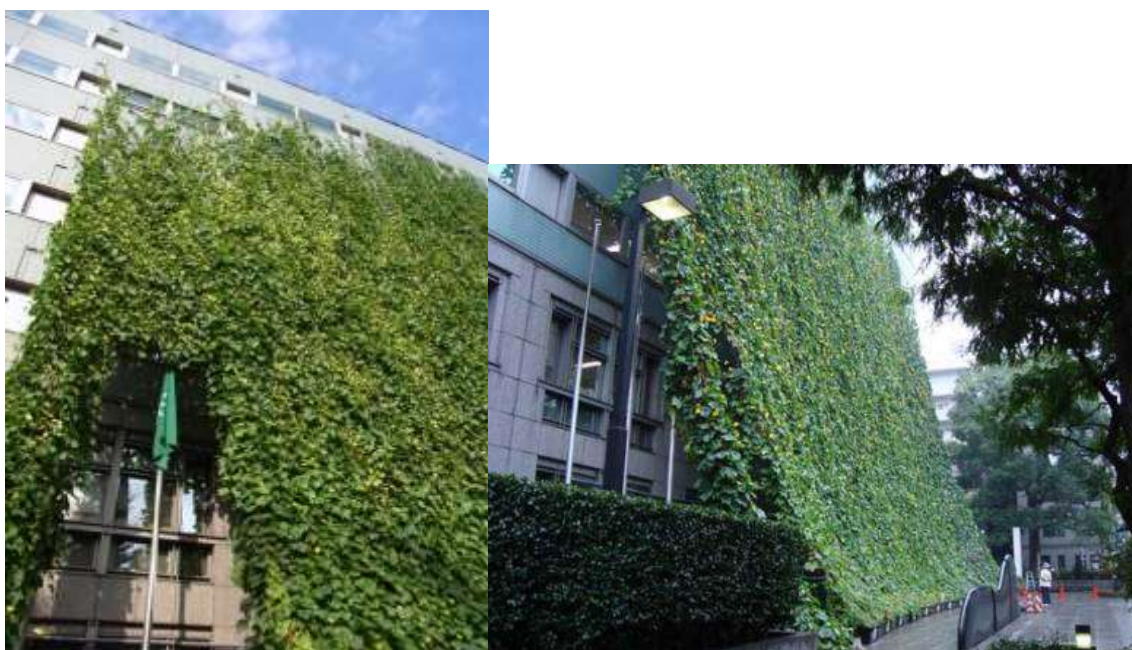


Figura 20 – Edifício da prefeitura da cidade de Nagano, Japão.
Fonte: Grupo Empresarial Kyocera.

Outro exemplo de parede verde afastada da edificação, está situado na cidade de Saitama, JP, idealizada no ano de 2012 pelo arquiteto Hideo Kumaki, que projetou uma residência de 130,0 m², a qual possui uma tela verde côncava, preenchida de trepadeira com a finalidade de proteção solar para o ambiente externo e interno, o que contribui para o conforto térmico da edificação. No ambiente externo criou-se um pátio para recreação e convívio e o sistema também proporciona luminosidade e ventilação nos ambientes internos (Figura 21).



Figura 21 – Residência na cidade de Saitama, Japão.
Fonte: Hiedo Kumaki.

As paredes e coberturas verdes são tecnologias de sucesso devido aos benefícios positivos demonstrados na edificação. Os projetistas de países como Canadá, Cingapura, França, Alemanha e Japão, admitem que cada vez mais há interesse da população nestas tecnologias principalmente com as mudanças climáticas que ocorrem. Este sistema está sendo utilizado como estratégia sustentável no meio urbano contribuindo para o desempenho energético da edificação e trazendo benefícios socioeconômicos. O uso desta técnica de parede e cobertura verde na edificação é muito antigo, porém, há poucos dados disponíveis sobre o assunto. Todavia, atualmente intensificaram-se os estudos sobre a parede e cobertura verde e como mensurar o quanto minimizam o ganho de calor no ambiente construído e na área urbana (LOH, 2008).

Scherer e Fedrizzi (2014), analisaram algumas obras arquitetônicas que utilizaram o sistema de fachada verde como elemento de segunda pele. Identificaram sistemas diferentes nos quais no primeiro plantou-se a vegetação no solo que cresceu junto a edificação ou sobre uma treliça. O outro sistema utilizado consiste em floreiras ou jardineiras que possuem uma estrutura de treliça na qual a trepadeira se apoia e tem um distanciamento da superfície da edificação. Este último nomeou-se como “cortina verde”. Após a análise dos edifícios que possuem fachada verde, concluíram que a vegetação proporcionou um conforto térmico

reduzindo o uso do sistema de climatização artificial, gerando economia de energia e tornando o microclima naturalmente mais agradável aos usuários.

Em pesquisa realizada na cidade de Porto Alegre, RS, com a presença de trepadeira e parede verde na fachada de um edifício residencial, após aplicar um questionário aos moradores, obteve-se 73% de aprovação para o uso do sistema que proporcionou bem-estar, efeito estético e conforto visual (VALESAM, 2009).

IP *et al.* (2009), no sudeste do Reino Unido realizaram um estudo com trepadeira sobre treliça em fachada com orientação para o Leste e Oeste e concluíram que o efeito sobre o conforto térmico na edificação se manteve positivo e que a orientação não influenciou no crescimento da trepadeira que se comportou dentro do padrão da sua espécie.

A orientação da fachada influencia na escolha da trepadeira correta devido à existência de várias espécies. Há espécies com flor, porém as trepadeiras conhecidas como sempre-viva (hera, virgínea) são opções para edificação com maior porte devido ao crescimento e fechamento da superfície por meio das folhas que permitem melhor proteção da radiação solar e chuva. Para o conhecimento do efeito que o sombreamento da trepadeira escolhida proporcionará, torna-se importante saber o quanto será a redução do ganho de calor por radiação solar que o tamanho e ângulo das suas folhas alcançam. As folhas são barreiras para que a água da chuva não tenha contato direto com a alvenaria e com isso, protejam a superfície da edificação como explicam Johnston e Newton (1993).

Matheus et al (2016), avaliaram o desempenho térmico de edificações que utilizaram cobertura verde, parede viva e parede verde como elemento de proteção da envoltória para minimizar o ganho de calor. Os estudos foram experimentais e todos os dados com medições comparativas entre as superfícies com e sem vegetação. A análise dos três sistemas de uso de vegetação como elemento de proteção, mostraram que todos atuam positivamente sobre o fluxo de calor na cobertura e fachadas, indicando um controle térmico passivo.

2.5 Parede verde: elemento de conforto

2.5.1 Isolamento térmico

Os estudos referentes a fachada verde na superfície ou treliça de uma edificação, mostraram que este sistema regula as trocas de calor entre a área externa e interna. Os princípios físicos que explicam as trocas térmicas entre a vegetação e a edificação estão relacionados aos efeitos de resistência térmica, capacidade térmica, evapotranspiração e

alteração na umidade relativa do ar e o efeito do sombreamento. É importante notar que os efeitos estão diretamente ligados ao clima local, o período considerado (dia e noite), a incidência direta, indireta e difusa da radiação solar e as estações do ano (verão, outono, inverno e primavera).

Um estudo experimental, realizado no período de verão em uma edificação na qual a parede Oeste possuía vegetação (trepadeira), e a outra parede não, mostrou, que a parede verde minimizou o ganho de calor em relação à parede sem vegetação com diferença da temperatura do ar interno de 1,5°C. Com os dados do estudo experimental, os autores realizaram uma simulação com o *software* TRNSYS (um simulador que avalia o desempenho dos sistemas de energia térmica e elétrica e pode ser utilizado para modelar outros sistemas dinâmicos), o qual identificou um decréscimo de carga na fachada com vegetação (parede verde) (TSOUMARAKIS *et al.*, 2008).

Na cidade de Cingapura, de clima tropical, para um estudo com parede verde utilizou-se de oito espécies diferentes, que demonstraram uma redução significativa de temperatura interna e superficial da parede, contribuindo com o conforto térmico da edificação e diminuindo o gasto com energia elétrica para o resfriamento (WONG *et al.*, 2009).

Morelli (2009), realizou um estudo experimental em três células-teste de construção idêntica, com dimensões de 1,00X1,00X1,00 m para avaliar o efeito da trepadeira em condições controladas e utilizou a mesma espécie de trepadeira do estudo de caso (*Parthenocissus tricuspidata* - hera-japonesa). A primeira célula-teste não possuía trepadeira, a segunda célula-teste possuía trepadeira sobre a superfície e a terceira célula-teste possuía trepadeira sobre uma treliça com distância da fachada de 20 cm. A medição realizada nas células-teste seguiu o mesmo padrão do estudo de caso. O resultado da pesquisa experimental mostrou que a célula-teste com trepadeira sobre a superfície obteve o melhor resultado. A análise dos resultados comprovou que a trepadeira influencia na temperatura e umidade relativa do ar, temperatura superficial da parede interna e externa no período medido, minimizando o ganho de calor.

Ariaudo et al (2009), elaboraram as fórmulas que sintetizam o efeito da parede verde, que permite verificar a variação do comportamento térmico das diferentes espécies estudadas no período de verão. Propuseram um índice, chamado fator verde, característico de cada espécie analisada. O resultado mostrou o efeito máximo em reduzir a carga térmica para cada espécie de trepadeira, e sua eficiência como segunda pele, o que permite ao projetista tomar uma decisão projetual com um simples parâmetro que avalia a redução da radiação solar na fachada da edificação (Figura 22).



Figura 22 – Área experimental, parede verde.
Fonte: ARIAUDO *et al.*, (2009).

Perini *et al.* (2011), analisaram diferentes sistemas de trepadeiras com e sem suporte auxiliar em superfície vertical, por meio de medição da temperatura e velocidade do ar. Concluíram que há uma maior resistência térmica na edificação que possui trepadeira em sua superfície.

Na cidade de Barcelona, Espanha, realizou-se um estudo experimental com parede verde em uma edificação térrea. Nas fachadas noroeste e sudoeste foram instaladas uma treliça com afastamento de 0,80 m e na fachada sudeste instalou-se uma treliça com afastamento de 1,50 m. O estudo verificou a capacidade da trepadeira em atenuar o ganho de calor com relação à distância variada na superfície da edificação. Após a análise dos dados, confirmou-se a capacidade que a planta tem para atenuar o ganho de calor, criando uma barreira à radiação solar em todas as fachadas estudadas e que a distância da trepadeira com a edificação estão coerentes com o período de insolação ao longo do dia. Entre a superfície do edifício e a treliça com trepadeira criou-se um microclima intermediário caracterizado pelo sombreamento, isolamento térmico, temperatura baixa, aumento da umidade do ar por meio da evapotranspiração e com isso modificou-se a trajetória e reduziu a velocidade do vento (PÉREZ *et al.*, 2011).

IP *et al.* (2009), realizaram uma pesquisa experimental com fachada verde na qual utilizaram cinco espécies de trepadeiras para escolher a espécie que mais se adaptaria ao clima local. Escolheu-se a espécie (*Parthenocissus quinquefolia* – virginia creeper), a qual mostrou o melhor resultado no crescimento e na cobertura vegetada. Adotou-se a cobertura da área foliar como técnica para se medir o sombreamento da trepadeira na superfície da edificação. O estudo apresentou o chamado CFS (Coeficiente de Função do Sombreamento), para o qual verificou-se um valor constante e que representa a proporção da radiação solar

recebida por trás de um dispositivo de sombreamento estático. Este fenômeno ocorre devido à radiação solar ser transmitida por meio da trepadeira no sentido vertical em um determinado momento no qual a distribuição das diferentes camadas de folhas corresponde a transmissividade solar. No verão, com até cinco camadas de folhas, a transmissividade solar é menor e consequentemente a temperatura do ar interna é menor. No inverno, com a ausência das folhas, a transmissividade é maior e a temperatura interna aumenta proporcionando conforto à edificação por meio do uso deste sistema (Figura 23).

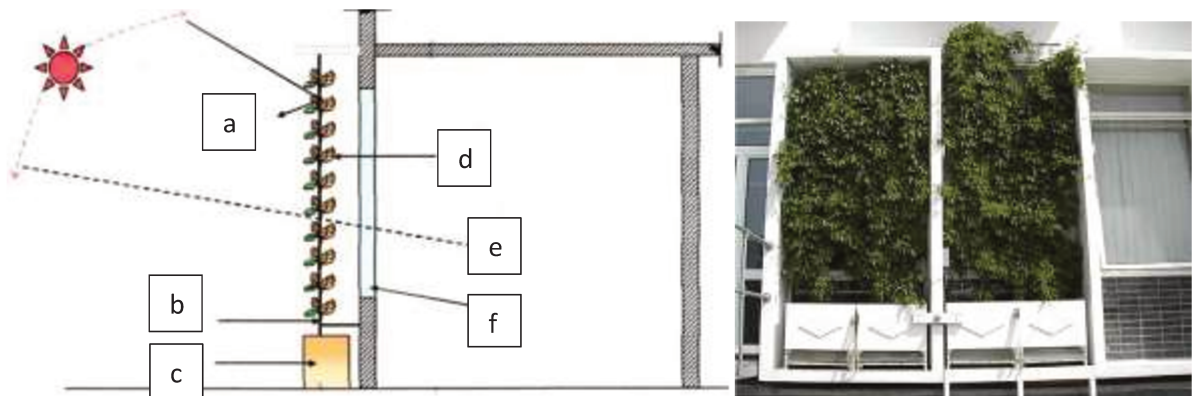


Figura 23 – Sistema de parede verde no estudo experimental.

Fonte: IP *et al.*, (2009).

- a. no verão a folhagem se torna um bloco denso e forma sombra;
- b. quadro de aço inoxidável;
- c. floreira;
- d. trepadeira da espécie decídua;
- e. no inverno as folhas caem, permitindo a penetração da radiação solar;
- f. janela de abrir.

Lima *et al.* (2014), utilizaram o sistema PAH (Processo de Análise Hierárquico), que consiste em tomadas de decisões por multicritérios. Com este processo desenvolveu-se uma tabela com quatro sistemas de fachadas com vegetação (fachada verde direta, fachada verde em grade, fachada viva em módulo e fachada viva em manta-bedin) e oito critérios estabelecidos por uma pontuação dentro de uma escala de importância (preço global em m², isolamento térmico no verão, em °C, isolamento térmico no inverno em %, isolamento acústico, manutenção, flexibilidade, adaptabilidade e unidade). Este estudo, desenvolvido para a cidade de Curitiba, PR, constatou que o sistema da fachada viva com manta torna-se a melhor solução com 30,17% da pontuação estabelecida. Em segundo lugar, o sistema da fachada verde com trepadeira aplicada direto na superfície da edificação apurou 26,72%. Em terceiro, está a fachada verde colocada sobre a treliça, com afastamento da superfície da

edificação, para o qual se obteve 22,8%. Por último, a fachada viva em módulo, com 20, 25% de pontuação.

Scherer e Fedrizzi (2013), em um estudo experimental na cidade de Santa Maria, RS, referente a fachada verde sobre treliça com afastamento da edificação (cortina verde), apresentaram uma proposta para determinar o PTS (Percentual de Transmissão Solar). O método constitui em fotografar três espécies diferentes de trepadeiras sobre uma treliça com 1,0 m² e tratar as imagens com o *software* Adobe Photoshop, o qual permitiu o cálculo do PTS. O resultado da pesquisa mostrou a viabilidade deste método de análise das imagens e do cálculo. As espécies de trepadeiras são (*Wisteria floribunda* – glicínia) e (*Campsis grandiflora* – trombeta-chinesa). As trepadeiras apresentaram benefícios de forma dinâmica por meio das variações do clima e das estações do ano como elemento de proteção solar. No verão a trepadeira glicínia resultou em 7% e no inverno 78% de transmissão solar e a trepadeira trombeta-chinesa apresentou no verão 30% e no inverno 93% de transmissão solar. Para o clima da região sul do país a trepadeira mais indicada é a *Campsis grandiflora* – trombeta-chinesa, que obteve o melhor resultado.

Kontoleon e Eumorfopoulou (2010), desenvolveram um modelo que prevê vários caminhos de fluxo e transferência de calor para a análise da cobertura das folhas sobre a superfície da parede externa e a influência da ventilação natural. A orientação da fachada e o percentual de cobertura da vegetação (parede verde) utilizando-se dados ambientais da área externa contribuíram para a pesquisa por um período de tempo. O estudo analisou a influência da orientação e proporção de cada fachada de parede verde e o comportamento térmico do edifício típico da região da Grécia durante o período do verão. Utilizaram um MRT (Modelo de Rede Termal), que simula cada fachada do edifício com referência a uma hipótese e validaram os dados com base nos resultados experimentais por um período de cinco anos. O resultado final, referente aos dados experimentais e ao modelo de simulação, apresentou gráficos que evidenciam a influência da vegetação na edificação diminuindo a temperatura superficial da parede interna. Entretanto, verificou-se que a menor temperatura superficial externa ocorreu na face oeste, o que contribuiu para o conforto térmico.

2.5.2 Resistência térmica

O conceito de resistência térmica é o indicador do isolamento térmico para cada elemento que compõe o objeto em estudo. É a somatória das resistências da cada parte ou camadas dos elementos homogêneos ou heterogêneos.

Yeang (2000), explica que a parede verde aumenta a resistência térmica devido às camadas de folhas existentes sobre a superfície da edificação e torna-se permeável a incidência do sol e do vento. A quantidade mínima de ar estagnado entre a vegetação e a superfície da construção não atua como isolante térmico.

A resistência térmica (**R**) de um material é o valor em (m^2k/W) que resista a passagem de calor e quanto maior a espessura do material, maior a resistência que ele oferece à passagem do calor. Analogamente, quanto maior a condutividade térmica (**K**) do material, maior a quantidade de calor transferida entre as superfícies, concluindo que menor será a sua resistência térmica (ANBT 15220, 2003).

A resistência térmica de uma fachada verde e uma fachada sem vegetação é calculada com o gradiente de temperatura da superfície externa, dividido pelo fluxo de calor através da parede, por conseguinte, responsável por reduzir a transferência de calor por condução atribuída à camada de planta. O conceito para o cálculo da resistência térmica, pode ser uma analogia de um diagrama do circuito elétrico em que as resistências térmicas do material são apresentadas como resistência em série (SUSOROVA, 2013).

2.5.3 Capacidade térmica

“A capacidade térmica depende da massa do sistema. Ao variar a temperatura, ocorrem variações do estado efetuando uma transformação em sua massa” (COSTA, 1999).

A parede verde utiliza-se de planta trepadeira para cobrir ou revestir as paredes do edifício oferecendo um revestimento adaptável e flexível para qualquer forma arquitetônica. Com o sistema de parede verde, a redução da transferência de calor por meio da envolvente, reduz a demanda de energia para o resfriamento do ambiente interno no verão e mantém a temperatura interna no inverno. O sistema reduz a transferência de calor devido a: a. interceptação e absorção da radiação solar (camada de folhas); b. resfriamento evaporativo; c. área de parede verde (sombreamento); d. variação da distância da vegetação à parede da edificação e da espécie de trepadeira; e. redução da velocidade do vento sobre a superfície da parede (HOLMAN, 1983; McPHERSON, 1994; OKE *et al*, 1989; TAHA, 1977).

2.5.4 Evapotranspiração

A evapotranspiração é considerada como a perda de água por evaporação do solo e a transpiração das plantas. Este fenômeno ocorre por meio dos estômatos localizados nas folhas e a diferença total entre o solo e a atmosfera. O controle deste processo é realizado pela

estrutura da vegetação. No momento em que há diminuição da umidade do solo, ocorrem restrições à transferência de água para a atmosfera que passa a depender não somente das condições meteorológicas, mas do sistema radicular das plantas. Esta condição distingue dois sistemas de evapotranspiração: o *potencial* e o *real*. O *potencial* é a transferência de água para a atmosfera por evaporação e transpiração que está em uma superfície extensa completamente coberta por vegetação de porte baixo suprida por água. O sistema *real* é a vegetação que se encontra em condições reais (existentes) e a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração dentro dos fatores atmosféricos e umidade do solo. A evapotranspiração *real* pode ser igual ou menor do que a evapotranspiração *potencial* (SILVA *et al.*, 2006).

2.5.5 Umidade

A umidade relativa do ar (UR), é a razão entre a pressão parcial de vapor (p_v) exercida pelas moléculas de água presentes no ar e a pressão de saturação (p_{vs}) na mesma temperatura, sendo normalmente expressa em porcentagem na equação abaixo:

$$UR\% = (p_v/p_{vs}) \times 100 \quad \text{eq. 01}$$

Romero (2000), relata que "o vapor d'água contido no ar origina-se da evaporação natural da água, da evapotranspiração dos vegetais e de outros processos de menor importância". A umidade do ar é uma variável que está relacionada diretamente com a temperatura do ar. A umidade relativa do ar em proporção intermediária apresenta-se de forma positiva para o conforto térmico e caso atinja valores altos ou baixos o resultado será negativo.

Susorova *et al.* (2014), realizaram um estudo de caso em Chicago, EUA, no qual se identificou que a vegetação (trepadeira) utilizada sobre a superfície da edificação mostrou médias da umidade relativa do ar muito semelhantes às paredes sem vegetação (máximo de 2% menor na parede da face Leste). A camada de planta conduz a valores de umidade relativa maiores próximo à parede, mas o objetivo era reduzir a temperatura e não alterar a massa de vapor de água no ar.

Outra investigação verificou que o espaço encontrado entre a vegetação e a superfície da edificação com trepadeira caducifólia, resultou em um microclima no inverno com altas temperaturas e baixa umidade. No verão, ocorreram alta umidade e baixa temperatura (PÉREZ *et al.*, 2011).

2.5.6 Sombreamento

No estudo de conforto térmico em edificações, entende-se que devido ao calor, a radiação solar influencia em todas as variáveis que incidem diretamente sobre a cobertura e paredes de uma edificação. Primeiramente, aquece os materiais externos e por condução o calor atravessa os materiais atingindo o ambiente interno e aquecendo-o. O uso da vegetação e principalmente o seu sombreamento reduz o ganho de calor por meio dos fechamentos opacos e transparentes das edificações (BRAGA, 2005).

Bueno-Bartholomei (1998, 2003), constatou que na cidade de Campinas, SP, a utilização da vegetação, atenua a incidência direta da radiação solar nas fachadas de uma edificação minimizando o ganho de calor no ambiente interno. A vegetação contribui para melhores condições de conforto térmico, principalmente nos dias mais quentes. Para calcular a radiação solar proporcionada pelo sombreamento de cada indivíduo arbóreo, utilizou-se a expressão abaixo:

$$At = \frac{S_{sol} - S_{sombra}}{S_{sol}} \times 100 \quad \text{eq. 02}$$

At – atenuação da radiação solar (%);

S_{sol} – energia total incidente (kW.h/m²), intervalo de tempo considerado o dia todo ao sol;

S_{sombra} – energia total incidente (kW.h/m), intervalo de tempo considerado o dia todo à sombra.

O sombreamento de uma superfície edificada está diretamente ligado à espécie de trepadeira, ao tamanho da folha, ao índice de área foliar e à proporção que barrará a radiação solar global (direta + difusa) (SUSOROVA *et al.*, 2014).

Na arquitetura bioclimática um dos sistemas de sombreamento em edificação é com o uso da vegetação, árvore, arbusto ou trepadeira. A estrutura da vegetação com o seu porte, folha, flor ou fruto promove sombreamento e arrefecimento da área por meio da sua evapotranspiração. Recomendam o uso de vegetação caducifólia em clima temperado e subtropical, em que no período do inverno as folhas caem e são abundantes no verão proporcionando conforto em ambas as estações (LANHAM, GAMA, BRAZ, 2004) (Figura 24).

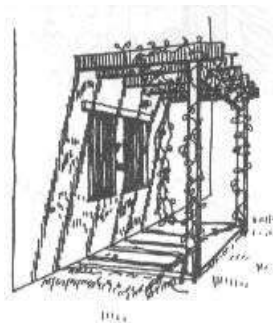


Figura 24 – Exemplo de um sombreamento com uma trepadeira.
Fonte: Arquitetura Bioclimática, perspectivas de inovação e futuro, (2004, p. 25).

Shinzato (2014) afirma que a distribuição das folhas das copas das árvores, com diferentes formas e configurações está diretamente relacionada com o efeito do sombreamento e apresentada o mesmo valor para o Índice da Área Foliar, o resultado para o efeito da temperatura do ar, temperatura superficial e umidade específica foram valores diferentes.

2.5.8 Vento

Os elementos que compõe a paisagem natural, como árvores, arbustos, cercas ou muros, podem criar áreas de baixa pressão no entorno de uma edificação. É preciso observar a direção dos ventos e a distribuição da vegetação de modo que não bloqueie as brisas refrescantes no período de verão, mas que direcione movimentos favoráveis do ar para dentro da edificação. Ademais da estética, a vegetação proporciona sombra, reduz a velocidade do vento e mudanças perceptíveis na temperatura e umidade do ar (OLGYAY, 1998).

Toledo (1999), afirma que a ação do vento sobre a superfície externa do edifício está relacionada diretamente com a forma, dimensionamento, direção e velocidade do vento, zonas de sobre-pressão e sucção. Estes fatores devem ser considerados para obtenção correta dos valores numéricos de pressão positiva ou negativa nos vários pontos de diferentes zonas do edifício.

Mascaró (2004), ressalta a importância da vegetação no controle das correntes de ar, associadas às características de filtragem, redirecionamento ou obstrução do caminho do vento e redução da sua velocidade.

2.7 Síntese da revisão

Nos textos de livros, teses, dissertações e artigos, referentes ao tema da vegetação e conforto térmico, concluiu-se que se torna necessária maior quantidade de pesquisas adotando-se outros métodos ou definindo o método, a espécie de trepadeira para se obter

melhores resultados e promover parâmetros entre as pesquisas. O processo de pesquisa deve padronizar a medição e especificar qual o equipamento e *software* a ser utilizado para se estabelecer o controle dos dados e análises estatísticos. Recomenda-se considerar o dimensionamento da área estudada, a orientação cardinal, identificar o clima do local que será estudado e indicar a melhor espécie de trepadeira para que os resultados sirvam como referência e comparação para outras pesquisas. As pesquisas devem detalhar o local, a estrutura a ser utilizada, a metragem, cor, entorno e obter fotografias para melhor compreensão do processo que será estudado. Com isso, torna-se possível estimar o efeito da parede verde e suas diferentes configurações como a forma, textura e contribuição no conforto térmico do ambiente construído. Deve-se conhecer a aplicação da cobertura verde, cobertura ou fachada viva, na parede ou fachada verde e pesquisar a contribuição para a qualidade do ambiente externo com relação às variáveis microclimáticas com o usuário.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Etapas da pesquisa

O objetivo deste trabalho é avaliar a contribuição da vegetação sobre a superfície vertical e cobertura da edificação, para minimizar o ganho de calor nos ambientes internos.

Assim, a pesquisa visa o estudo do desempenho térmico de trepadeiras em paredes e cobertura de uma edificação (protótipo), em suas variações de uso na superfície (trepadeira junto à parede, trepadeira afastada da parede 50 cm e trepadeira sobre a cobertura), para diferentes espécies. A pesquisa é experimental, consistindo de coleta de dados das variáveis físicas radiação solar, temperatura do ar do ambiente interno e da área externa, umidade relativa do ar (interno e externo), temperatura de globo (interno), velocidade do ar (interno e externo), temperatura superficial da parede interna e externa, índice de área foliar (LAI – *Leaf Area Index*)..

A pesquisa experimental iniciou-se com o projeto, escolha dos materiais, sistema construtivo e construção dos protótipos. Identificou-se a área em m² disponibilizada para o estudo dentro do campus da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, no qual realizou-se o levantamento topográfico e da orientação solar.

Desenvolveu-se o projeto arquitetônico, memorial descritivo e levantamento dos custos para ser aprovado no órgão competente que é o CPROJ (Coordenadoria de Projetos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) UNICAMP. Após esta etapa, iniciou-se a licitação para execução dos protótipos com a assinatura do contrato e acompanhamento da execução da obra.

A definição da técnica de medição, compilação dos dados, análise dos resultados fundamentou-se nos processos da pesquisa experimental apresentados pelos autores Kontoleon e Eumorfopoulou (2010), IP *et al.* (2009), Ariaudo *et al.* (2009) e Susorova *et al.* (2014).

Para obter todos os dados, tornou-se necessário adquirir equipamentos como termopar, LAI-LP80 e sensores de temperatura superficial interna e externa. Com as medições e aquisição dos dados, calculou-se as médias máxima, médias médias, médias mínimas, o fluxo de calor para as orientações Leste, Norte e Oeste, resistência térmica, e o índice de eficiência (fator verde) nos protótipos com e sem vegetação nas fachadas.

Etapa 01: Processo do projeto e execução

A área destinada para esta pesquisa se encontra no terreno na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC), dentro do campus da Unicamp. Possui 621,72 m² localizados entre a Rua Daniel Hogan e Oscar Niemeyer s/n°. O lote de 22,00mX28,26m, está cercado com alambrado e o piso está todo revestido com *Zoysia japônica steud* (grama-esmeralda). A área de estudo possui três unidades de protótipos com medidas de 2,80mX3,80mX3,00m (pé-direito), uma unidade de apoio com 3,00mX4,00mX3,00m (pé-direito) para os equipamentos, computadores, banheiro e área de limpeza.

O sistema construtivo utilizou como fundação o radie, a estrutura (viga baldrame, pilares e laje de concreto), fechamento com bloco cerâmico de nove furos, uma porta de madeira na cor branca (0,80mX2,10m de altura), uma janela de alumínio e vidro incolor (1,00mX1,00m de altura) e a cobertura com telha de fibrovegetal. Nos três protótipos, escolheu-se a cor branca nas paredes externas e utilizou-se como piso interno o cimento queimado. Para a unidade de apoio, utilizou-se piso cerâmico e a cor branca nas paredes externas e internas.

Para melhor implantação dos protótipos dentro do lote, utilizou-se o estudo do traçado da sombra para que não ocorresse sobreamento nos protótipos entre si. Definiu-se que a maior área de parede localizar-se-ia na orientação Leste e Oeste (Figura 25).



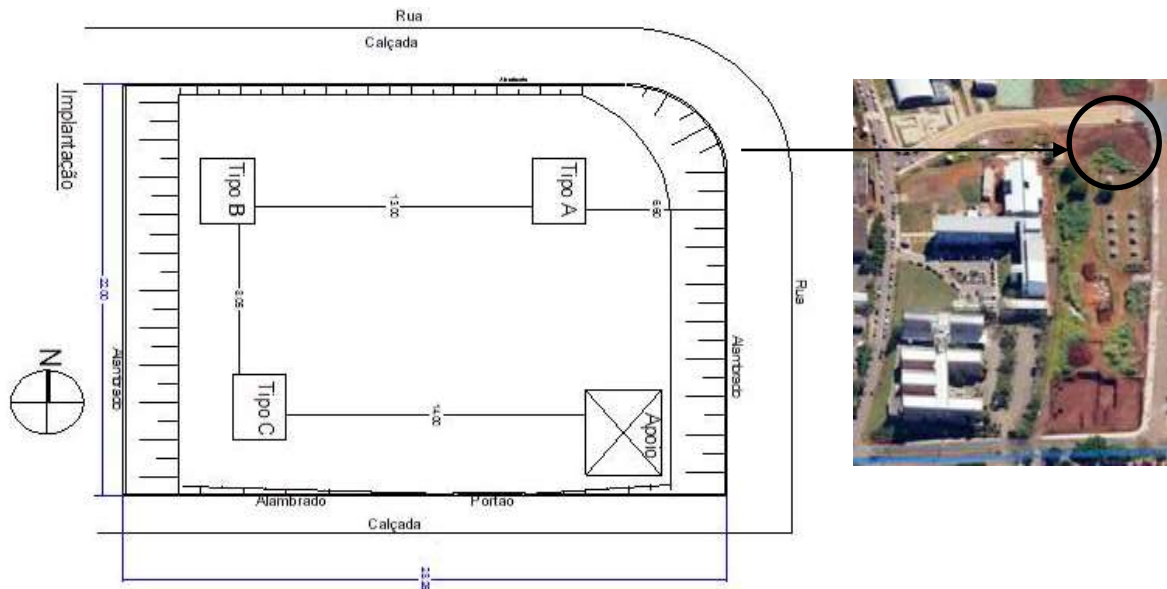


Figura 25 – Implantação, terreno, construção e protótipos prontos.
Fonte: Google Earth.

Etapa 02: Materiais e coleta de dados

Definiram-se os pontos de medição e a quantidade dos equipamentos para cada protótipo na área interna e externa.

No interior dos protótipos, realizaram-se as medições no centro do ambiente a altura de 1,50m e sensor nas paredes interna e externa, nas fachadas Leste, Norte e Oeste. Na área externa, entre a parede e a vegetação (afastada 0,50m) sensores na altura de 1,50m. Todos os pontos de medição obedeceram aos seguintes critérios:

- Instalação de altura e distância (equipamento em tripé, sensores de parede interna e externa);
- Modo de obtenção dos dados (medição simultânea de todos os protótipos);
- Período analisado (todas as quatro estações do ano) para cada opção de uso da trepadeira na parede (trepadeira junto à superfície da parede e afastada da parede 50 cm e na cobertura);
- Instrumentação.

3.2 Local da pesquisa experimental

O município de Campinas, SP, localiza-se em uma área de transição entre o Planalto Atlântico (região Leste) e a Depressão Periférica (região Oeste) do Estado de São Paulo abrangendo uma área de aproximadamente 800 km². Caracteriza-se por alta taxa de urbanização e industrialização. Está na Latitude 22°48'57''S (Sul), Longitude 47°03'33''O (Oeste) e Altitude de 640 m do nível do mar. O clima da cidade classifica-se como tropical de altitude, com média anual da temperatura do ar em torno de 22,4°C predominando as estações

mais quentes do que as estações frias e indicando que a temperatura se mantém mais altas (CEPAGRI, 2014).

3.3 Processo de coleta de dados

Têm-se o conhecimento dos vários estudos referentes a influência da vegetação na edificação de forma independente para paredes e coberturas. As coberturas são estudadas com plantas que necessitam de uma área com substrato, terra, irrigação e poda e uma infraestrutura que precisa dos vários elementos para que o sistema se mantenha. Os estudos da parede verde são mais simples, porque se utiliza a vegetação escaladora que às vezes necessita das treliças ou suportes.

Portanto, esta pesquisa é de caráter experimental por meio da comparação dos dados obtidos: localização, distribuição, análise dos sistemas construtivos, instrumentação, monitoramento e tratamento estatístico dos dados coletados nos modelos experimentais.

Na primeira parte desta pesquisa utilizaram-se as trepadeiras plantadas em floreiras, que medem 0,20mX0,80mX0,18m de altura revestindo as fachadas (Leste, Norte e Oeste) e cobertura apoiadas em suportes de mão-francesa metálica e uma malha de plástico como suporte auxiliar para as trepadeiras (Figura 26).



Figura 26 – Floreira de plástico, mão-francesa, malha de plástico.

Devido às dificuldades para o crescimento das plantas com esse sistema e principalmente pela área de terra das floreiras, muito pequeno, o correto é uma floreira que tenha 0,60m de altura, de na segunda parte da pesquisa decidiu-se modificar esse sistema adotando-se o plantio em solo para verificar o desenvolvimento da trepadeira e sua eficiência como segunda pele.

No levantamento bibliográfico, observou-se que as pesquisas sobre a parede verde não analisaram o uso das trepadeiras atingindo as coberturas. Nessa pesquisa, decidiu-se incluir a trepadeira na cobertura dos protótipos, considerando-se que é um método que pode ser

eficiente para barrar parte do ganho de calor pela cobertura principalmente em habitação de interesse social nas quais, muitas vezes, a cobertura é constituída apenas de telha e forro de PVC (Polímero Termoplástico Carbono).

Na primeira etapa do processo experimental, o protótipo “A” utilizou trepadeiras em floreiras nas fachadas Leste, Norte e Oeste e na cobertura. O protótipo “B” não tinha nenhuma vegetação sendo denominado de protótipo testemunha. O protótipo “C” possuía trepadeiras em floreiras nas fachadas Leste, Norte e Oeste e na cobertura. O que diferencia o protótipo “A” do “C” são as espécies distintas de trepadeiras.

Instalaram-se os equipamentos no interior dos protótipos e nas superfícies das paredes internas e externas. Os equipamentos medem temperatura e umidade do ar, temperatura de globo, temperatura e velocidade do ar e a temperatura superficial de parede interna e externa. Na área do terreno em que onde estão os protótipos foi instalada uma estação climatológica que mede a temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação solar global.

3.4 Seleção da espécie

Realizou-se uma pesquisa junto aos fornecedores de plantas (trepadeiras), no Ceasa – Campinas, SP, que indicou as dez trepadeiras mais vendidas. Efetuou-se uma pesquisa de campo para confirmar as informações. As trepadeiras classificaram-se em:

- 1ª lugar – *Bougainvillea spectabilis* (primavera);
- 2ª lugar – *Pyrostegia venusta* (cipó-de-são-joão);
- 3ª lugar – *Thumbergia grandiflora* (tumbérgia-azul);
- 4ª lugar – *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores);
- 5ª lugar – *Thumbergia mysorensis* (sapatinho-de-judia);
- 6ª lugar – *Strongylodon* (trepadeira-jade);
- 7ª lugar – *Abutilon megapotanicum* (lanterninha-japonesa);
- 8ª lugar – *Clerodendrum x speciosum* (coração-sangrento);
- 9ª lugar – *Ficus pumila* (unha-de-gato);
- 10ª lugar – *Parthenocissus tricuspidata* (hera-japonesa).

Com o levantamento de campo, observou-se que nas edificações na cidade de Campinas, SP, as trepadeiras mais utilizadas são as que possuem flores, vistas em entradas das residências em tutores, treliças, pergolados e principalmente em área de lazer ou garagem. As trepadeiras sem flores são as *Ficus pumila* (unha-de-gato) e a *Parthenocissus tricuspidata* (hera-japonesa). A trepadeira *Ficus pumila* é mais utilizada em muros, mas também se

encontra em superfície de parede da edificação. A trepadeira *Parthenocissus tricuspidata* é muito utilizada em superfície da edificação. Ambas as espécies são trepadeiras sarmentosas, com raízes adventícias ou grampiformes, que se tornam órgãos de fixação em superfícies. A trepadeira *Ficus pumila* não é indicada para superfície de edificação porque sua raiz tem espinhos que criam pontos de sustentação após sua penetração em fissuras. Para que permaneça como trepadeira são necessárias podas constantes para mantê-la sempre jovens, do contrário suas raízes crescerão e se tornará um arbusto. A trepadeira *Parthenocissus tricuspidata* possui raízes adventícias ou grampiformes, que produzem uma espécie de “cola” ou “ventosa”, aderindo a qualquer superfície sem danificar as paredes da edificação (JOLY, 1987).

Para o desenvolvimento desta pesquisa escolheram-se as trepadeiras *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul); *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores). Ambas são encontradas em todo território nacional. Escolheu-se a tumbérgia-azul devido ao seu crescimento mais rápido com relação às demais mencionadas acima. Adotou-se a trepadeira jasmim-dos-açores porque verificou-se sua intensa presença em edificações na cidade de Campinas, SP.

3.4.1 Características das trepadeiras

A *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) é semi-lenhosa, muito vigorosa e proveniente da Índia com folhagem ornamental. As folhas são ovaladas ou triangulares com alguns dentes de cor verde-escura e brilhantes. Flores azuis com o centro claro, formam-se durante o decorrer de quase o ano todo principalmente na primavera e verão. É uma trepadeira muito rústica que tolera temperaturas amenas, cresce rapidamente e está classificada como trepadeira volúvel (LORENZI e SOUZA, 2001) (Figura 27).



Figura 27 – Trepadeira Tumbérgia-azul.
Fonte: LORENZI e SOUZA, (2001).

A *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores) é uma trepadeira semi-lenhosa, florífera, muito ramificada, originária das Ilhas Canárias, com ramagem densa e de folhagem e florescimento ornamentais principalmente no período do verão-outono. As folhas são compostas por três folíolos lisos e coriáceos. É resistente a geadas podendo ser cultivada em todo território brasileiro e classifica-se como trepadeira cipó (LORENZI e SOUZA, 2001) (Figura 28).



Figura 28 – Trepadeira Jasmim-dos-açores.
Fonte: LORENZI e SOUZA, (2001).

3.4.2 Manutenção

Os principais fatores para correta manutenção da vegetação são: a irrigação, adubação, poda e combate às pragas. Para cada espécie de trepadeira, o clima em que está inserida e a tipologia do sistema de instalação terá uma variação no seu tempo de manutenção. A fachada verde com trepadeira plantada no solo terá uma manutenção simples de poda e rega em tempo espaçado devido ao seu sistema de fixação direto na edificação. A trepadeira instalada com afastamento da superfície da edificação deve utilizar suporte fixo como treliça ou haste e ser de aço inoxidável avaliando-se e ajustando-se os cabos conforme o crescimento da trepadeira de acordo com sua forma e peso (KÖHLER, 2008).

Dunnett e Kingsbury (2008), sugerem que a manutenção e poda em fachada verde direta devem ser realizadas duas vezes ao ano em trepadeira jovem e uma vez para trepadeira adulta. Na fachada verde indireta adulta, dependendo da espécie pode-se realizar por um período maior. O ideal é a manutenção anual da vegetação para não surgirem pragas, fungos, má formação e morte desta vegetação.

3.5 Protótipo: característica física e dimensões

A área de estudo experimental possui 621,72 m² cercado com alambrado e piso de *Zoysia japônica steud* (grama-esmeralda). A implantação seguiu uma lógica em que os protótipos com vegetação não poderiam ficar próximos um do outro, para não influenciar a massa vegetada. A disposição no terreno para a área do experimento está na seguinte forma: o protótipo “A” com a vegetação *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores), o protótipo “B” sem vegetação – unidade testemunha, o protótipo “C” com vegetação *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul).

As três unidades dos protótipos são de construção idênticas, e cada um possui 8,75 m² no total. As paredes são de bloco cerâmico, reboco na parede interna e externa com espessura final de 18 cm na cor branca, laje de concreto de 10 cm, cobertura de telha fibrovegetal na primeira etapa da pesquisa (inclinação de 27%) com 12 m² no total e laje ventilada. Uma porta de madeira cor branca (0,80mX2,10m) e uma janela de correr com estrutura de alumínio e vidro incolor (1,00mX1,00m). Na segunda etapa, substituiu-se o telhado por telha de fibrocimento de 6 mm com inclinação de 27% com 12 m² no total, devido ao grande número de vazamentos e perda das telhas com as chuvas fortes e ventos no local e fechamento com reboco da área ventilada da laje. Nesta etapa, fechou-se a área de janela para maior controle das medições internas (Figura 29).

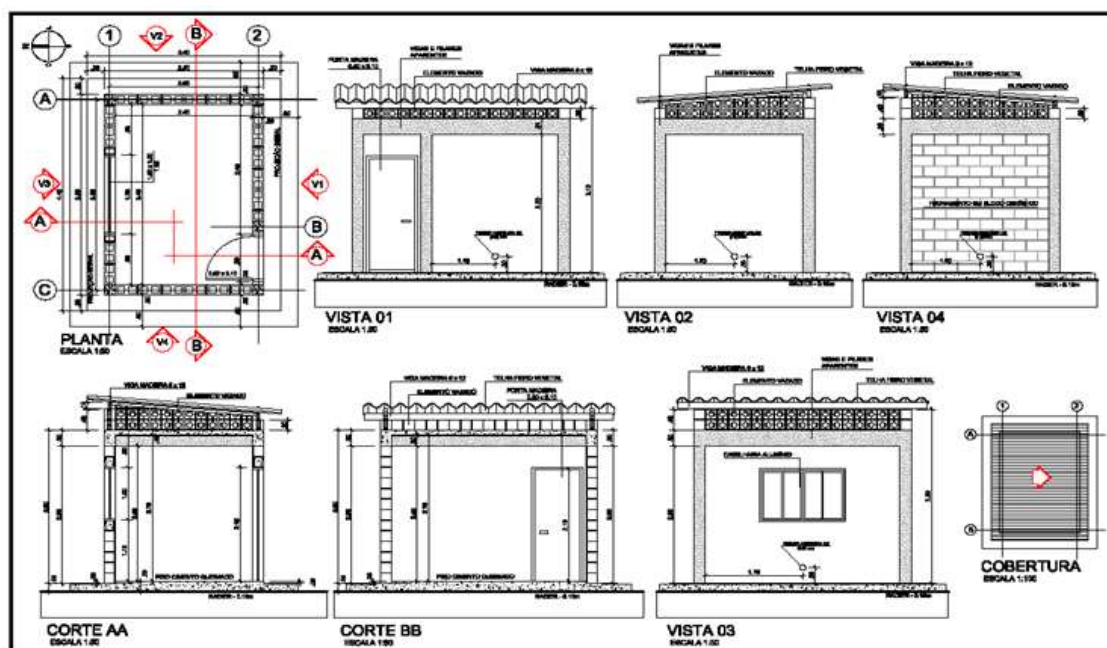


Figura 29 – Projeto dos protótipos.

Fonte: CPROJ, (2012).

A edificação de apoio possui 12,00 m² no total e área de lavabo, limpeza, segurança (câmeras), computadores e equipamentos. A construção segue o mesmo padrão dos protótipos (Figura 30).

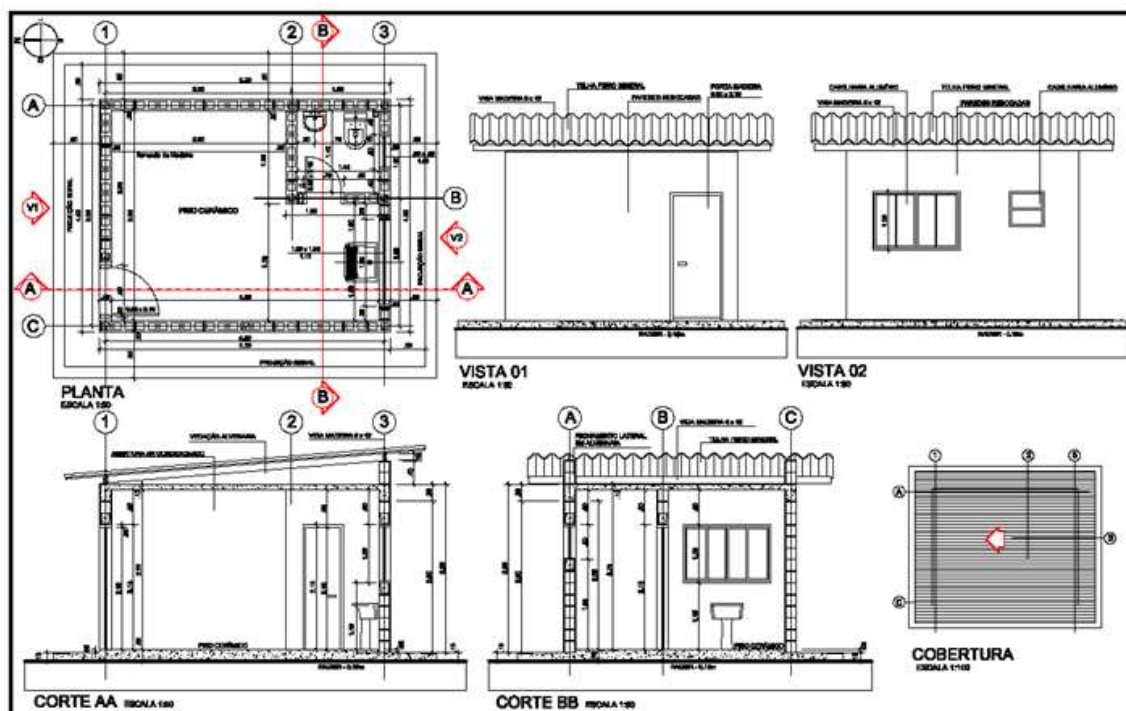


Figura 30 – Projeto da unidade de apoio.
Fonte: CPROJ, (2012).

A primeira etapa da pesquisa utilizou a vegetação com plantio em floreiras. O processo de medição nos protótipos com e sem vegetação seguiu os critérios: a composição da trepadeira junto à edificação e sem vegetação na cobertura no período de 10 dias, a composição da trepadeira junto à edificação e com vegetação na cobertura também por 10 dias e a composição da trepadeira afastada 0,50 m da parede e com vegetação na cobertura no período de 10 dias.

Com a disposição das floreiras nas fachadas Leste, Norte e Oeste e na cobertura realizou-se as medições no período de inverno e primavera de 2014 (Figura 31).



Figura 31 – Protótipo A: jasmim-dos-azores; Protótipo B: testemunha; Protótipo C: tumbérgia-azul.

A segunda etapa da pesquisa utilizou a vegetação com o plantio no chão (solo). O processo de medição nos protótipos com e sem vegetação seguiu um período contínuo das estações de inverno e primavera 2015, verão 2015/2016 e outono 2016. Para o protótipo A – jasmim-dos-açores adotou-se o uso da trepadeira afastada 0,50m da parede, para o protótipo B – sem vegetação, como testemunha, e para o protótipo C – tumbérgia-azul com a trepadeira junto à edificação (Figura 32).



Figura 32 – Protótipo A: jasmim-dos-açores; Protótipo B: testemunha; Protótipo C: tumbérgia-azul.

3.6 Medições das variáveis ambientais

Para esta pesquisa, adotou-se a escala de microclima que reflete a influência de elementos individuais no edifício e suas partes envolventes, permitindo avaliar as condições do tempo e não do clima nesta área.

As variáveis ambientais coletadas nos protótipos são: a temperatura e umidade do ar, temperatura do globo, velocidade do ar, temperatura superficial das paredes internas e externas, em intervalos de 10 em 10 minutos. Os protótipos estão instrumentados com equipamentos eletrônicos para apuração dos dados. Os equipamentos estão instalados em tripé dentro dos protótipos. Na parede interna e externa dos protótipos, há sensores de temperatura superficial (Termopares). No protótipo “A” foram instalados os equipamentos para medição da velocidade do ar e radiação global nas faces Leste e Oeste. Em paralelo, há uma estação meteorológica instalada junto à unidade de apoio que registrará os dados da umidade relativa do ar, as condições da temperatura ambiental, ventos e índices pluviométricos (Figura 33).



Figura 33 – Tripé com equipamentos no centro do protótipo, estação meteorológica, medição da radiação solar.

3.6.1 Equipamento e função

A medição foi contínua (24 horas) e simultânea nos três protótipos nas áreas internas, externas e superfícies das paredes internas e externas, a saber:

- Temperatura e umidade do ar: registrador digital da marca Testo 175T2 com precisão de medição: umidade relativa do ar + ou – 2% entre 0% a 100%; temperatura do ar + ou – 0,5°C entre 10°C a 50°C. Realiza o registro automático dos valores no intervalo de 10 minutos (Figura 34).



Figura 34 – Datalogger para temperatura e umidade do ar.

- Termômetro de globo: mede a temperatura do globo, que é usada para se determinar a temperatura radiante média. Este equipamento é uma esfera de cobre oca com aproximadamente 1 mm de espessura e 152,4 mm de diâmetro, na cor preto fosco, e com uma emissividade mínima de 0,95 (regulagem de equipamento padrão) possuindo uma abertura na direção radial para o duto cilíndrico de 25 mm de comprimento e 18 mm de diâmetro, no qual se insere o sensor de temperatura do termômetro digital (Figura 35).



Figura 35 – Termômetro de globo.

- Termo anemômetro de fio quente: mede a velocidade do ar. Devido à rápida variação da direção e velocidade do ar, as medições são muito flutuantes, sendo necessário elaborar-se uma média dos valores mais próximos do horário considerado (Figura 36).



Figura 36 – Termo anemômetro.

- Sensor de temperatura superficial digital: temperatura da superfície interna e externa das paredes, em vários pontos – ROSSI, (2013) (Figuras 37 e 38).



Figura 37 – Sensor de temperatura superficial interna e central de dados.



Figura 38 – Sensor de temperatura superficial externo (Termopar) e central de dados.

- Equipamento LAI-ACCUPAR LP-80: para obtenção do LAI – índice de área foliar: as medições foram realizadas em pleno sol e sob o dossel no período de 10 horas com registro de intervalo de uma em uma hora. Mede a radiação fotossinteticamente ativa de qualquer posição de um dossel, de uma determinada cultura, possui parâmetro de distribuição das folhas e a fração da radiação direta. Ao descarregar os dados no *software* do equipamento no computador, obtém-se automaticamente o índice da área foliar da vegetação. O estudo da área foliar está relacionado diretamente com a forma e quantidade de folhas da vegetação, que

possui um papel importante no processo de transpiração e fotossíntese e é responsável pelas trocas gasosas entre a planta e o ambiente. O estudo da área foliar observa o crescimento vegetal e as necessidades de rega e nutricional do solo (SEVERINO *et al.*, 2004) (Figura 39).



Figura 39 – LAI – ACCUPAR LP-80.

- Sensor de radiação global: permite obter a radiação global na faixa de comprimento de onda de 410 nm a 655 nm com um campo de visão de 180°, os quais são efetivos na fotossíntese das plantas. Estes valores de radiação podem ser utilizados para se avaliar a adequada iluminação para o crescimento das plantas em áreas abertas, sombreadas ou internas sob luz artificial (Figura 40).



Figura 40 – Sensor de radiação global.

3.6.2 Períodos de medição

As primeiras medições ocorreram no ano de 2014, iniciando-se na estação do inverno (frio e seco) e em seguida na primavera. No período de verão 2014/2015 e outono de 2015 não foi possível realizar a medição devido à falta de água e ao acidente natural de uma chuva com ventos que retirou as coberturas dos protótipos danificando alguns equipamentos.

Retornou-se a pesquisa no inverno de 2015, com a modificação do sistema de plantio de floreiras para o solo/chão.

Os dados apresentados inicialmente são os da primeira etapa (trepadeiras plantadas em floreiras) as médias do período do inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro,

outubro e novembro) do ano de 2014. Inicialmente, analisaram-se os dados utilizando-se as médias individuais de cada protótipo e comparando-se entre as opções de uso da parede verde (vegetação junto à superfície, com e sem vegetação na cobertura e vegetação com distanciamento da parede). Na segunda etapa (trepadeiras plantadas no chão (solo), foram obtidas as médias do período do inverno de 2015 (junho, julho e agosto), primavera (setembro, outubro e novembro), verão 2015/2016 (dezembro, janeiro e fevereiro) e outono (março e abril). Neste período os dados apresentados são de dias de sol e céu limpo. Os valores de albedo para grama possuem uma variação de 0,14 a 0,45 para tipos de grama e gramado sugeridos por Burman&Pochop (1994); o valor sugerido por Doorenbos&Pruit (1977), para grama é de $\alpha = 0,25$, conforme afirma (*apud* Rodrigues *et al.* 1997). Para este estudo considerou-se o albedo da grama $\alpha = 0,25$. As propriedades térmicas dos materiais utilizados nos protótipos seguiram a norma ABNT – NBR 15220, Desempenho Térmico de Edificações parte 2 (2005). A estação meteorológica está no ponto mais alto do terreno. Os dados climáticos e os dados obtidos nos protótipos foram tabulados em planilha eletrônica (Excel - 2007), separados por períodos medidos, comparados e analisados.

Com os dados obtidos nas medições de cada protótipo, foram calculados: médias/médias, o fluxo de calor e a resistência térmica, o gradiente da redução de temperaturas interna/externa – gradiente, percentual das diferenças de temperatura e umidade do ar, bem como o índice de eficiência (fator verde). Outro dado importante é o resultado da eficiência da trepadeira em reduzir o ganho de calor por fachadas, que contribuirá no desenvolvimento de projeto arquitetônico para qual o projetista poderá escolher a fachada ou fachada e cobertura com vegetação para a redução da radiação solar direta na edificação. Os dados geram uma tabela de valores para cada protótipo medido com e sem vegetação (trepadeira diferente) e realizam-se os cálculos.

Com as medições e aquisição dos dados, calculou-se o fluxo de calor para as orientações Leste, Norte e Oeste nos protótipos com e sem vegetação nas fachadas de acordo com a equação 03, Susorova *et al.* (2014).

$$\frac{F_{pn} - F_{pveg}}{F_{pn}} = \frac{\frac{(T_{sup\ ext\ n} - T_{sup\ int\ n})}{R} - \frac{(T_{sup\ ext\ veg} - T_{sup\ int\ veg})}{R}}{\frac{(T_{sup\ ext\ n} - T_{int\ n})}{R}} = \frac{(T_{sup\ ext\ n} - T_{sup\ int\ n}) - (T_{sup\ ext\ veg} - T_{sup\ int\ veg})}{(T_{sup\ ext\ n} - T_{sup\ int\ veg})} \quad eq.03$$

F_{pn} : fluxo de calor – parede nua;

F_{pveg} : fluxo de calor – parede com vegetação;

Tsup ext n: temperatura superficial externa da parede nua;
 Tsup int n: temperatura superficial interna da parede nua;
 T sup ext veg: temperatura superficial externa da parede com vegetação;
 T sup int veg: temperatura superficial interna da parede com vegetação;
 R: resistência térmica.

A parede que possui uma camada de vegetação, depende da espécie de trepadeira e das características das folhas (índice de área foliar), proporciona uma resistência térmica que indica o uso da vegetação em edificação de clima quente, predominante com alta radiação solar, calculada pelas equações, 04, 05 e 06, Susorova *et al.* (2013).

- resistência térmica – protótipo B- sem vegetação

$$Ft = \frac{Tse-Tsi}{Rt} \quad \text{eq. 04}$$

Ft – fluxo total de calor da parede sem vegetação;
 Tse – temperatura superficial externa da parede;
 Tsi – temperatura superficial interna da parede;
 Rt – resistência térmica total da parede sem vegetação.

- resistência térmica – protótipo A- trepadeira afastada 0,50m da parede.

$$Rtp = Tarv + Rt \frac{Ftp}{Ftpv} = \frac{Tse-Tsi}{Ftpv} \quad \text{eq. 05}$$

Rtp – resistência térmica total da parede com vegetação;
 Tarv – temperatura do ar entre a vegetação e a parede- protótipo “A”;
 Rt – resistência térmica total da parede sem vegetação;
 Ftp – fluxo total de calor da parede sem vegetação;
 Ftpv – fluxo total de calor da parede com vegetação;
 Tse – temperatura superficial externa da parede;
 Tsi – temperatura superficial interna da parede.

- resistência térmica – protótipo C- trepadeira junto à parede.

$$Rtp = Rt \frac{Ftp}{Ftpv} = \frac{Tse-Tsi}{Ftpv} \quad \text{eq.06}$$

Rtp – resistência térmica total da parede com vegetação;
 Rt – resistência térmica total da parede sem vegetação;
 Ftp – fluxo total de calor da parede sem vegetação;
 Ftpv – fluxo total de calor da parede com vegetação;
 Tse – temperatura superficial externa da parede;
 Tsi – temperatura superficial interna da parede.

Ariaudo *et al.* (2009), para entender o significado físico de uma parede verde que reduz a temperatura do ar no verão, realizaram um estudo no norte da Itália e propuseram, por meio das equações, 07,08 e 09, o cálculo que resultou no índice do fator verde.

- a. método de temperatura;

$$\alpha I - h_e(T_{se} - T_{ae}) - \phi K = 0 \quad \text{eq. 07}$$

- b. fluxo de calor;

$$\phi K = h_e \left[\frac{\alpha I}{h_e} - (T_{se} - T_{ae}) \right] = h_e (T_{sa} - T_{se}) \quad \text{eq. 08}$$

- c. fator verde;

$$K_v = 1 - \frac{T_v \cdot h_e}{h_e^*} = \frac{T_{se} - T_{sev}}{T_{se} - T_{ae}} \quad \text{eq. 09}$$

α – coeficiente de absorção pela parede externa;

I – radiação solar na parede externa;

h_e – coeficiente de calor transferido pela parede;

T_{se} – temperatura superficial da parede externa;

T_{ae} – temperatura do ar na área externa;

ϕK – fluxo de calor da parede por condução;

T_{sa} – temperatura sol-ar;

h_e^* – coeficiente de calor transferido pela parede com trepadeira;

T_v – temperatura da parede externa com trepadeira;

T_{sev} – temperatura superficial da parede externa com trepadeira.

Um ponto importante da investigação do uso das trepadeiras nas superfícies da edificação é a escala de influência da vegetação. Em primeiro lugar, identificar-se em percentual os fatores de cobertura, densidade e largura da folhagem da planta sobre a superfície e a extensão de área coberta vegetada. Em segundo, o coeficiente de absorção da radiação solar da superfície exposta e revestimento externo da edificação, sem vegetação. Finalmente, a orientação cardinal, Leste, Norte e Oeste, que influencia na configuração e crescimento da vegetação que varia de 0% até 100% de cobrimento da edificação.

De posse dos dados das medições para as duas etapas da pesquisa, realizou-se a análise estatística e comparação dos valores obtidos, -se se existe diferença significativa entre as variáveis em função do uso da vegetação sobre a construção e da estação do ano.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Resultados das medições de inverno 2014

A primeira etapa desta pesquisa realizou-se em floreiras localizadas no chão com suporte de madeira e rodas, na parede com suporte de mão-francesa e na cobertura apoiando no telhado. As tabelas a seguir mostram os resultados das médias/máximas, médias/médias e médias/mínimas obtidas no período de inverno (diurno e noturno) nos meses de junho, julho e agosto. São apresentados os valores horários da temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar e temperatura superficial de parede interna e externa, respectivamente nos dias:

- trepadeira junto à edificação sem cobertura: 22-25/06; 23-26/07; 22-25/08/2014;
- trepadeira junto à edificação com cobertura: 03-06/07; 01-04/08; 31/08-03/09/2014;
- trepadeira afastada da edificação com cobertura: 14-17/07; 12-15/08; 11-14/09/2014.

A velocidade do ar na área interna dos protótipos não ultrapassou 0,01m/s. Na área externa o valor no período de inverno foi de 1,83m/s com temperatura de 19,75°C. A média da intensidade de radiação solar neste período foi de 457,87W/m² (Figura 41).

4.1.1 Primeira opção de uso: medição no período de inverno (Figura 41).



Figura 41 – Protótipo A – jasmim-dos-açores, Protótipo B - testemunha e Protótipo C – tumbérgia-azul.

Os resultados da medição do período de inverno de junho até agosto, com a opção da vegetação junto à edificação e sem vegetação na cobertura são apresentados (Figuras 42 e 43).

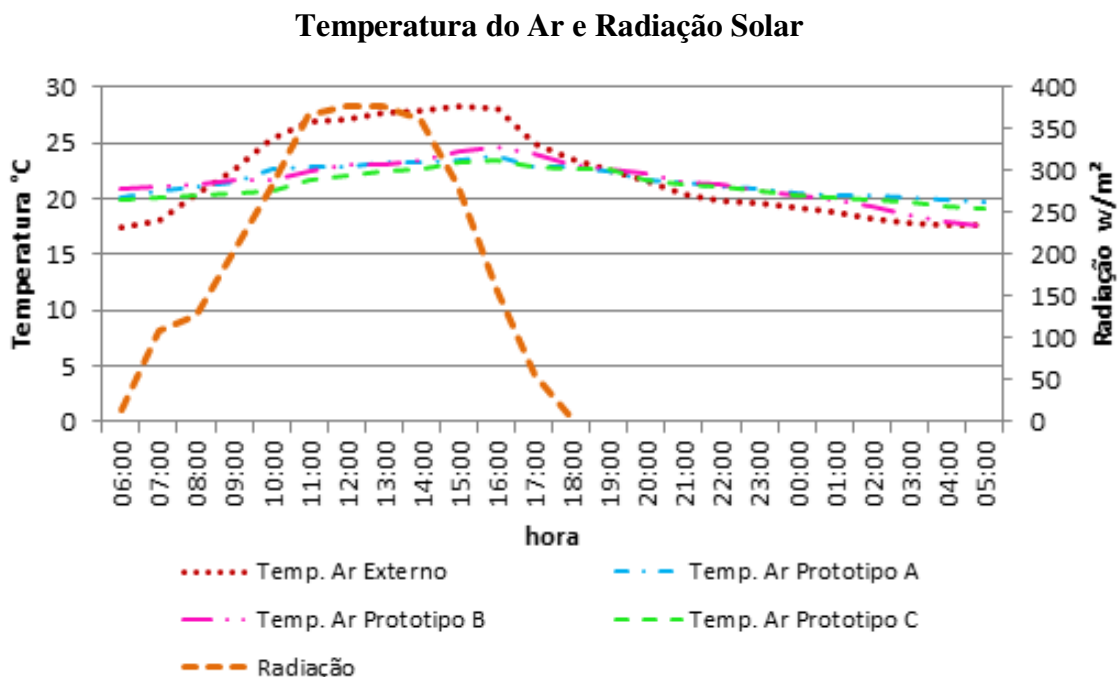


Figura 42 – Temperatura do Ar e Radiação Solar.

Na área externa da edificação, verificou-se uma temperatura máxima de 28,21°C às 15h00min, no interior do protótipo “A” (*Jasminum azoricum* L. – jasmim-dos-açores) e 23,89°C às 16h00min, no protótipo “B” (sem vegetação) 24,57°C às 16h00min e no protótipo “C” (*Thunbergia Grandiflora* – tumbérgia-azul) temperatura de 23,52°C às 16h00min. Observa-se uma diferença da temperatura do ar entre a área externa e o protótipo “C” de 4,69°C e a diferença entre protótipo “C” e o protótipo “B” de 1,05°C no período diurno. A radiação solar atinge o valor máximo 377, 09 W/m² às 12h00min. No período noturno, a partir das 20h00min, a temperatura do ar externa inicia uma queda enquanto a temperatura nos protótipos mantém mais elevada. Há um atraso térmico de uma hora no interior dos protótipos em relação à área externa, mostrando uma atenuação do fluxo de calor (Figura 42).

Temperatura Superficial - Interna e Externa / Velocidade do Vento

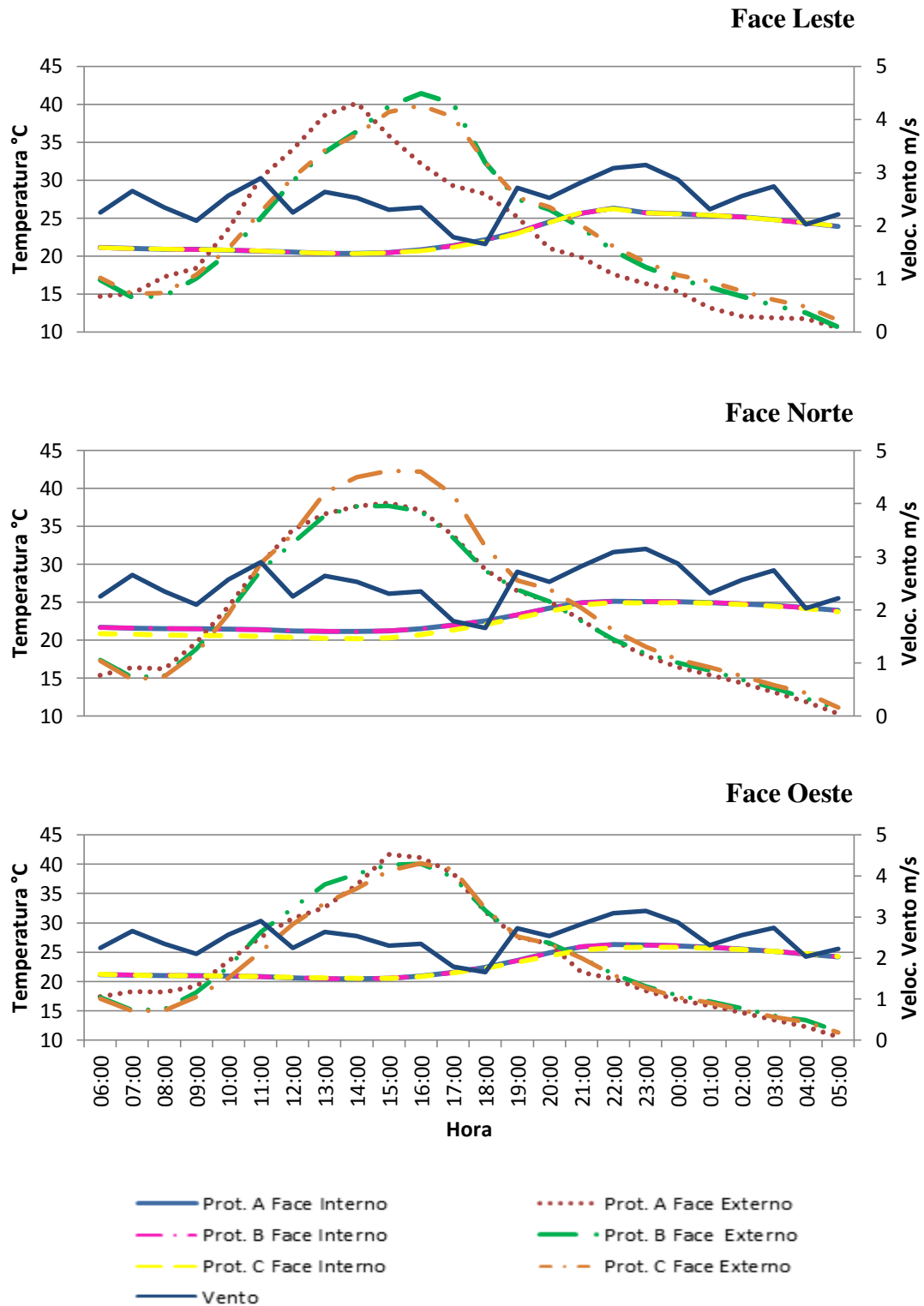


Figura 43 – Temperatura superficial de parede interna e externa e velocidade do vento.

No protótipo “A” a temperatura superficial de parede interna permanece praticamente constante no período diurno e a partir das 22h00min eleva-se a temperatura da face Leste para 26,31°C, Norte 25,00°C e Oeste 26,29°C. A temperatura superficial externa atinge os valores

na face Leste de 20,29°C no horário das 17h00min, face Norte 38,10°C e Oeste 41,67°C às 15h00min. No protótipo “B” a temperatura interna atingiu os valores máximos no horário das 22h00min na face Leste 26,31°C, Norte 25,0°C e Oeste 26,29°C. Na superfície externa a temperatura máxima na face Leste 41,43°C às 16h00min, na face Norte 37,69°C e face Oeste 30,03°C às 16h00min. No protótipo “C” as temperaturas superficiais internas ao longo do dia e da noite permanecem próximas e atingem a face Leste com valor de 26,22°C, Norte 24,95°C e Oeste 25,72°C às 22h00min. As superfícies externas do protótipo “C” seguiram o mesmo padrão das temperaturas superficiais internas com máxima na face Leste com 39,86°C às 16h00min, na face Oeste 40,14°C e às 15h00min na face Norte com 42,35°C (Figura 43).

A Tabela 1 a seguir, apresenta as médias do período de inverno dos protótipos com vegetação junto à edificação e sem vegetação na cobertura.

Tabela 1 – Médias dos resultados para a medição no período de inverno.

Medição de Inverno - 2014		Trepadeira junto à edificação				
	Terreno	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C		
Temp. Ar						
Med./Máx.	28,21	23,89	24,57	23,52		
Med./Med.	22,80	21,78	21,50	21,27		
Med./Min.	17,40	19,67	17,59	19,03		
Umid. Ar						
Med./Máx.	78,49	65,11	65,72	66,85		
Med./Med.	60,50	62,98	63,33	64,20		
Med./Min.	42,52	60,86	60,95	61,56		
Globo						
Med./Máx.		22,87	23,78	22,79		
Med./Med.		20,86	21,08	21,14		
Med./Min.		18,85	19,22	19,50		
Temp. Sup. Int. Ext.	Leste/Int.	Leste/Ext.	Norte/Int.	Norte/Ext.	Oeste/Int.	Oeste/Ext.
Protótipo A	22,76	19,20	22,92	23,46	22,97	24,32
Protótipo B	22,76	23,49	22,92	23,88	22,97	24,24
Protótipo C	22,73	23,72	22,40	24,87	22,85	23,53

Os dados coletados nos protótipos no período de inverno e com a primeira opção de uso da vegetação na edificação, mostram que as médias de temperatura do ar da área externa e área interna e temperatura superficial de parede interna e externa mantiveram valores próximos. A média da umidade relativa do ar mostra que o protótipo “C” atingiu 5,76%, o

protótipo “B” 4,46% e o protótipo “A” com 3,93% em relação à umidade relativa do ar da área do terreno indicando a presença da vegetação. A média de temperatura de globo para o protótipo “C” mostrou o maior valor com 21,14°C (Tabela 1).

4.1.2 Segunda opção de uso: medição no período de inverno (Figura 44).



Figura 44 – Protótipo A – jasmim-dos-azores, Protótipo B - testemunha e Protótipo C – tumbérgia-azul.

A segunda opção de uso é a vegetação junto da edificação e com vegetação na cobertura, para a qual as medições foram realizados no período de julho até o início do mês de setembro. Os resultados são apresentados nos gráficos a seguir (Figura 45 e 46).

Temperatura do Ar e Radiação Solar

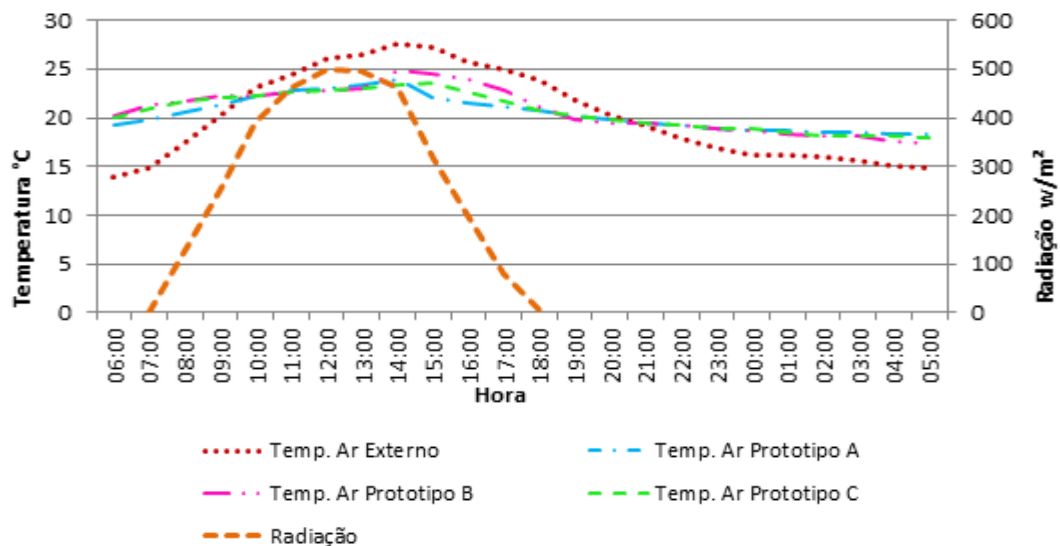


Figura 45 – Temperatura do Ar e Radiação Solar.

A temperatura máxima do ar externo alcançou o valor de 27,65°C às 15h00min, o protótipo “A” apresentou 21,86°C às 15h00min, o protótipo “C” 22,96°C às 16h00min com vegetação e o protótipo “B” 24,81°C sem vegetação às 15h00min. No período noturno todos os protótipos mantiveram um padrão constante de temperatura. Há um atraso térmico no

interior do protótipo “C” em tempo de uma hora. A radiação solar às 12h00min atingiu o valor de 500,09 W/m² (Figura 45).

Temperatura Superficial - Interna e Externa / Velocidade do Vento

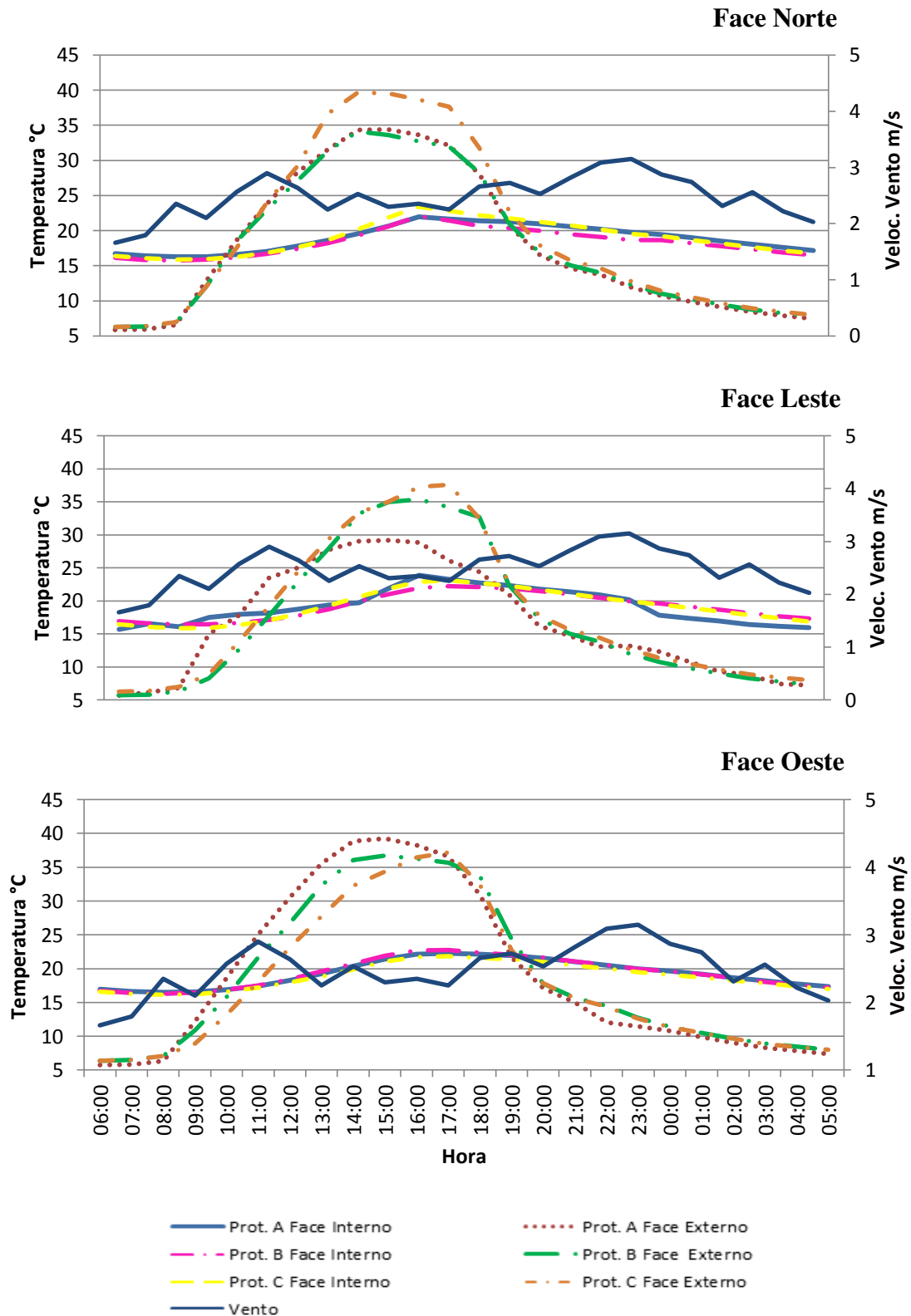


Figura 46 – Temperatura superficial de parede interna e externa e velocidade do vento.

No protótipo “A”, os sensores de temperatura superficial de parede externa mostram que ao longo do dia obtiveram-se as temperaturas máximas na face Leste com valor de 29,18°C, Norte 34,37°C e Oeste 39,25°C. A superfície interna segue o mesmo padrão da temperatura superficial no período diurno e noturno. No protótipo “B” a temperatura máxima na superfície externa na face Leste 35,35°C, Norte 34,09°C e Oeste 36,73°C mantiveram as temperaturas elevadas nos horários entre as 13h00min e 18h00min. A temperatura superficial interna atingiu o valor máximo às 16h00min com valores de 21,93°C na face Leste, 22,04°C Norte e 22,72°C Oeste. No protótipo “C” ao longo do dia e da noite, a temperatura superficial de parede interna permaneceu constante. Para a temperatura superficial externa obteve-se os valores, na face Leste de 37,61°C, Oeste 37,19°C no horário das 17h00min e na face Norte 39,67°C e Oeste 41,67°C às 14h00min (Figura 46).

A Tabela de médias do período de inverno com medição de protótipos com vegetação junto à edificação e com vegetação na cobertura está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Médias da medição dos protótipos no período de inverno.

Medição de Inverno - 2014		Junto à edificação e com vegetação na cobertura				
	Terreno	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C		
Temp. Ar						
Med./Máx.	27,65	23,48	24,81	23,57		
Med./Med.	20,78	21,10	21,09	20,78		
Med./Min.	13,91	18,73	17,38	18,00		
Umid. Ar						
Med./Máx.	80,21	72,62	70,29	73,42		
Med./Med.	60,12	64,61	64,10	65,77		
Med./Min.	40,03	56,61	57,92	58,13		
Globo						
Med./Máx.		23,06	26,12	23,29		
Med./Med.		20,70	22,14	20,55		
Med./Min.		18,34	18,16	17,81		
Temp. Sup. Int. Ext.	Leste/Int.	Leste/Ext.	Norte/Int.	Norte/Ext.	Oeste/Int.	Oeste/Ext.
Protótipo A	16,64	19,12	17,78	18,89	18,93	19,28
Protótipo B	17,14	19,14	17,77	18,29	18,66	19,34
Protótipo C	17,96	19,19	19,45	18,95	17,65	18,85

Nos resultados, no período do inverno, coletados com a segunda opção de uso da vegetação na edificação, as médias de temperatura do ar interno, temperatura superficial de

parede interna e externa mantiveram valores próximos com os valores da área externa. A umidade relativa do ar no protótipo “C” teve uma média superior à área externa e aos protótipos “A” e “B”. A umidade relativa do ar do protótipo “C” mostrou-se 8,59% maior em relação ao valor de 6,20% do protótipo “B” e 6,94% do protótipo “A”. Isso indica que o protótipo “C” neste período possui uma área de vegetação maior que o protótipo “A”, proporcionando melhor condição de umidade relativa do ar (Tabela 2).

4.1.3 Terceira opção de uso: medição no período de inverno (Figura 47).



Figura 47 – Protótipo A – jasmim-dos-azores, Protótipo B - testemunha e Protótipo C – tumbérgia-azul.

A última opção de uso é a vegetação afastada 50 cm da edificação e com vegetação na cobertura no período de julho até setembro. Foram obtidos os seguintes resultados (Figuras 48 e 49).

Temperatura do Ar e Radiação Solar

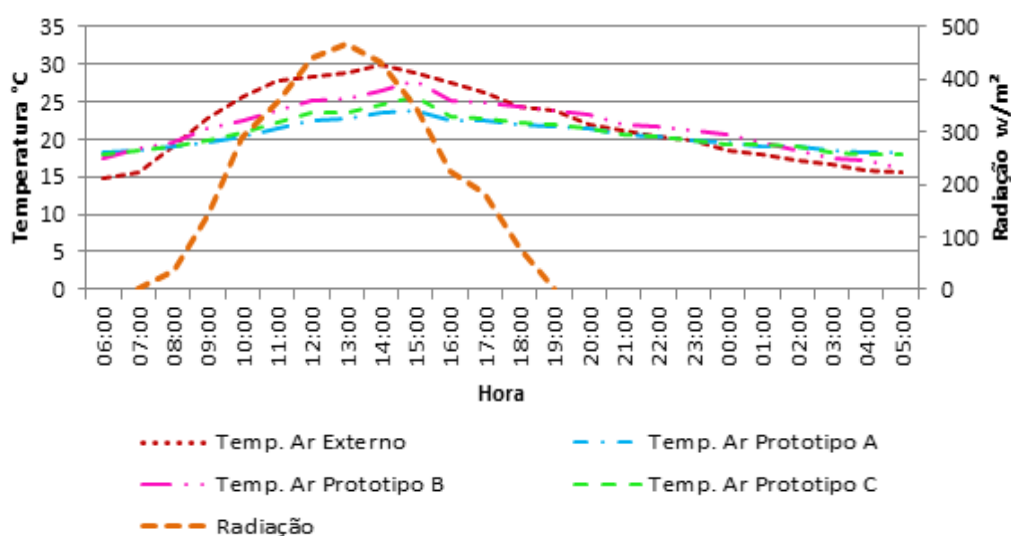


Figura 48 – Temperatura do Ar e Radiação Solar.

Na área do estudo, para a temperatura do ar obteve-se às 14h00min o valor máximo de 29,83°C, iniciando-se a queda da temperatura continuamente até o período noturno. A temperatura máxima do ar no protótipo “A” foi de 23,86°C às 15h00min, no protótipo “B”

27,74°C e no protótipo “C” 25,58°C também às 15h00min. Há um atraso térmico de uma hora entre os protótipos e a área externa. A radiação solar máxima foi 496,45W/m², no horário das 13h00min (Figura 48).

Temperatura Superficial - Interna e Externa / velocidade do Vento

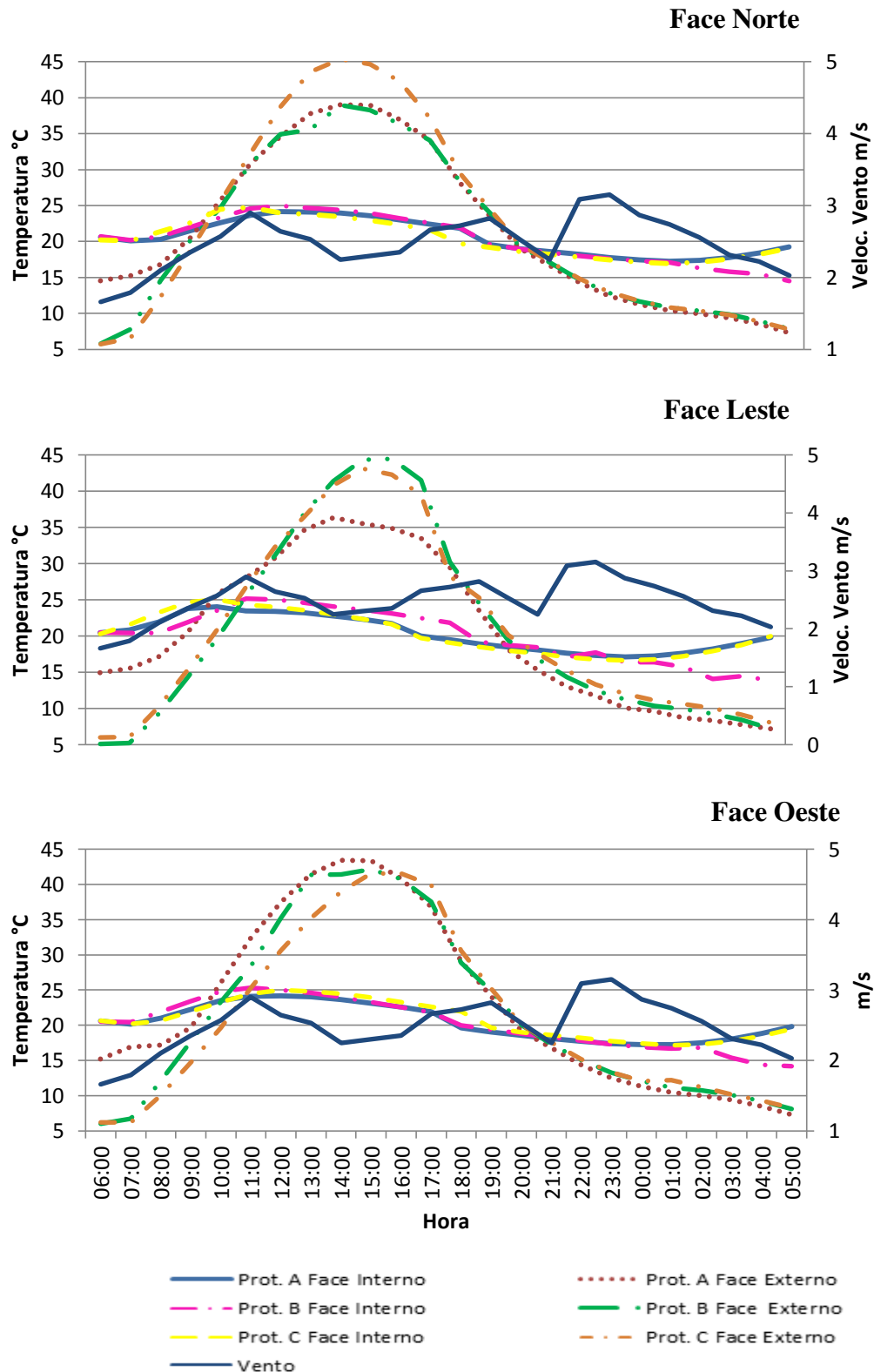


Figura 49 – Temperatura superficial de parede interna e externa e velocidade do vento.

No protótipo “A”, as temperaturas superficiais interna e externa seguem o mesmo padrão para todas as faces, Leste, Norte e Oeste. A temperatura máxima de superfície interna foi de 24,14°C às 12h00min na face Oeste e na superfície externa com 43,40°C às 14h00min. No protótipo “B” as temperaturas superficiais atingiram as máximas na face Leste de 42,47° C, na Oeste 44,15°C ambos às 16h00min e a face Norte com 39,0°C às 14h00min. A temperatura máxima superficial de parede interna para todas as faces ocorreu às 12h00min na Leste com 24,36°C, Norte 23,97°C e Oeste 24,99°C. Na parede externa a temperatura máxima na face Leste foi de 41,51°C e Oeste 42,29°C às 16h00min e na face Norte 45,39°C às 14h00min (Figura 49).

A Tabela 3 mostra as médias do período de inverno para os protótipos com vegetação afastada 50 cm da edificação e com vegetação na cobertura.

Tabela 3 – Médias da medição dos protótipos no período de inverno.

Medição de Inverno - 2014		Afastado da edificação e com vegetação na cobertura				
	Terreno	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C		
Temp. Ar						
Med./Máx.	29,87	23,86	27,74	25,58		
Med./Med.	22,39	21,15	23,59	21,93		
Med./Min.	14,91	18,45	19,44	18,29		
Umid. Ar						
Med./Máx.	70,99	59,81	59,37	60,84		
Med./Med.	45,17	53,60	49,70	53,73		
Med./Min.	19,36	47,40	40,03	46,62		
Globo						
Med./Máx.		23,60	24,79	23,00		
Med./Med.		20,78	21,31	20,35		
Med./Min.		17,96	17,83	17,70		
Temp. Sup. Int. Ext.	Leste/Int.	Leste/Ext.	Norte/Int.	Norte/Ext.	Oeste/Int.	Oeste/Ext.
Protótipo A	20,28	20,43	20,52	21,50	20,42	22,65
Protótipo B	19,94	20,54	20,27	20,75	20,14	21,39
Protótipo C	20,32	20,85	20,37	22,12	20,75	20,62

Neste período de inverno os dados mostraram que a média da umidade relativa do ar na área do terreno atingiu um valor baixo de 45,17%. A diferença de umidade relativa do ar entre os protótipos e a área do terreno indica que a presença de vegetação na edificação possibilita melhor condição de umidade com os valores de 15,72% no protótipo “A”, 15,93% no

protótipo “C” e no protótipo “B” sem vegetação alcançou o valor de 1,82%. As médias de temperatura do ar interno, temperatura superficial de parede interna e externa mantiveram valores próximos aos valores da área externa. A temperatura de globo no protótipo “B” mostrou valor superior em relação aos protótipos “A” e “C”.

4.2 Resultados das medições de primavera 2014

As tabelas a seguir mostram os resultados das médias/máximas, médias/médias e médias/mínimas obtidas no período da primavera (diurno e noturno) nos meses de setembro, outubro e novembro. Os valores e horários são de temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar e temperatura superficial de parede interna e externa. A seguir os dias selecionados:

- trepadeira junto à edificação sem cobertura: 22-25/09; 13-16/10; 04-07/11/ 2014;
- trepadeira junto à edificação com cobertura: 30/09-03/10; 23-26/10; 10-13/11/ 2014;
- trepadeira afastada da edificação com cobertura: 07-10/10; 29/10-01/11; 16-19/11/2014.

A média da intensidade de radiação solar neste período medido de primavera 679,38W/m². A velocidade do ar na área interna dos protótipos não ultrapassou o valor de 0,02 m/s e na área externa de 2,56 m/s e a temperatura de 34,39°C no período da primavera.

4.2.1 Primeira opção de uso: medição no período de primavera (Figura 50).



Figura 50 – Protótipo A – jasmim-dos-azores, Protótipo B - testemunha e Protótipo C – tumbérgia-azul.

A primeira opção de uso nos protótipos é com a vegetação junto à edificação e sem vegetação na cobertura do período da primavera e apresentado nos Gráficos a seguir (Figuras 51 e 52).

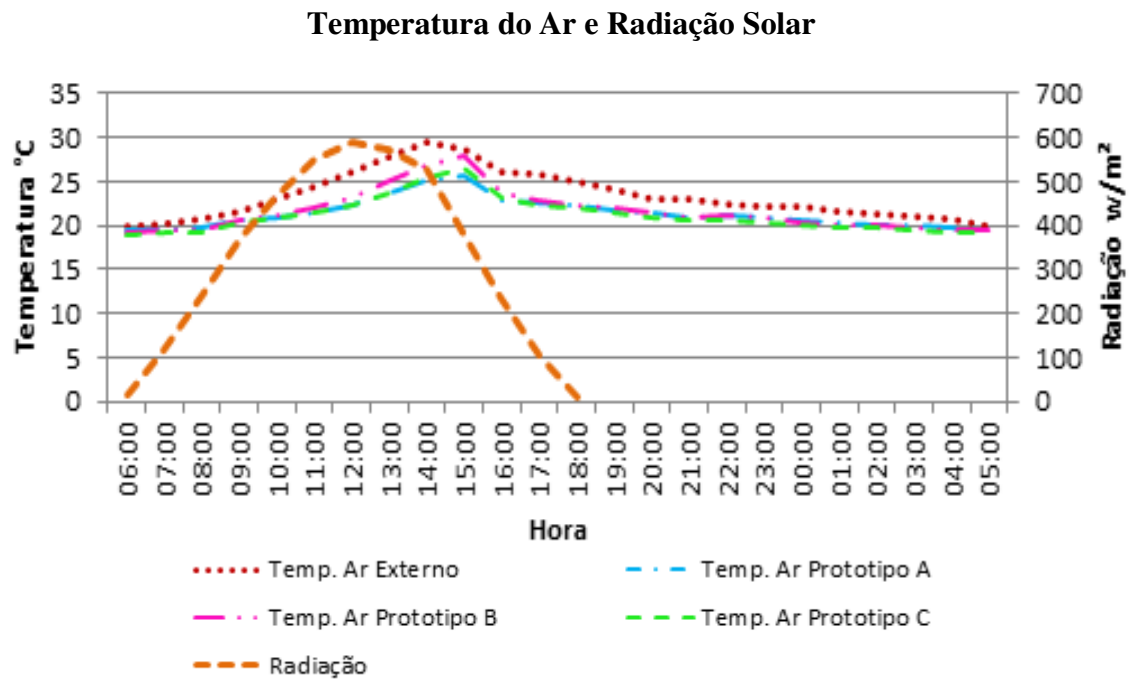


Figura 51 – Temperatura do Ar e Radiação Solar.

A temperatura do ar do terreno obteve às 14h00min a temperatura máxima de 29,48°C, mantendo-se maior do que os protótipos durante o período diurno e noturno. A temperatura máxima do ar no protótipo “A” foi de 25,71°C, no protótipo “B” de 28,03°C e no protótipo “C” 26,56°C todas às 15h00min. Observou-se um atraso térmico de uma hora entre os protótipos e a área externa. A radiação solar neste período medido alcançou a média máxima de 587,03W/m² (Figura 51).

Temperatura Superficial - Interna e Externa / Velocidade do Vento

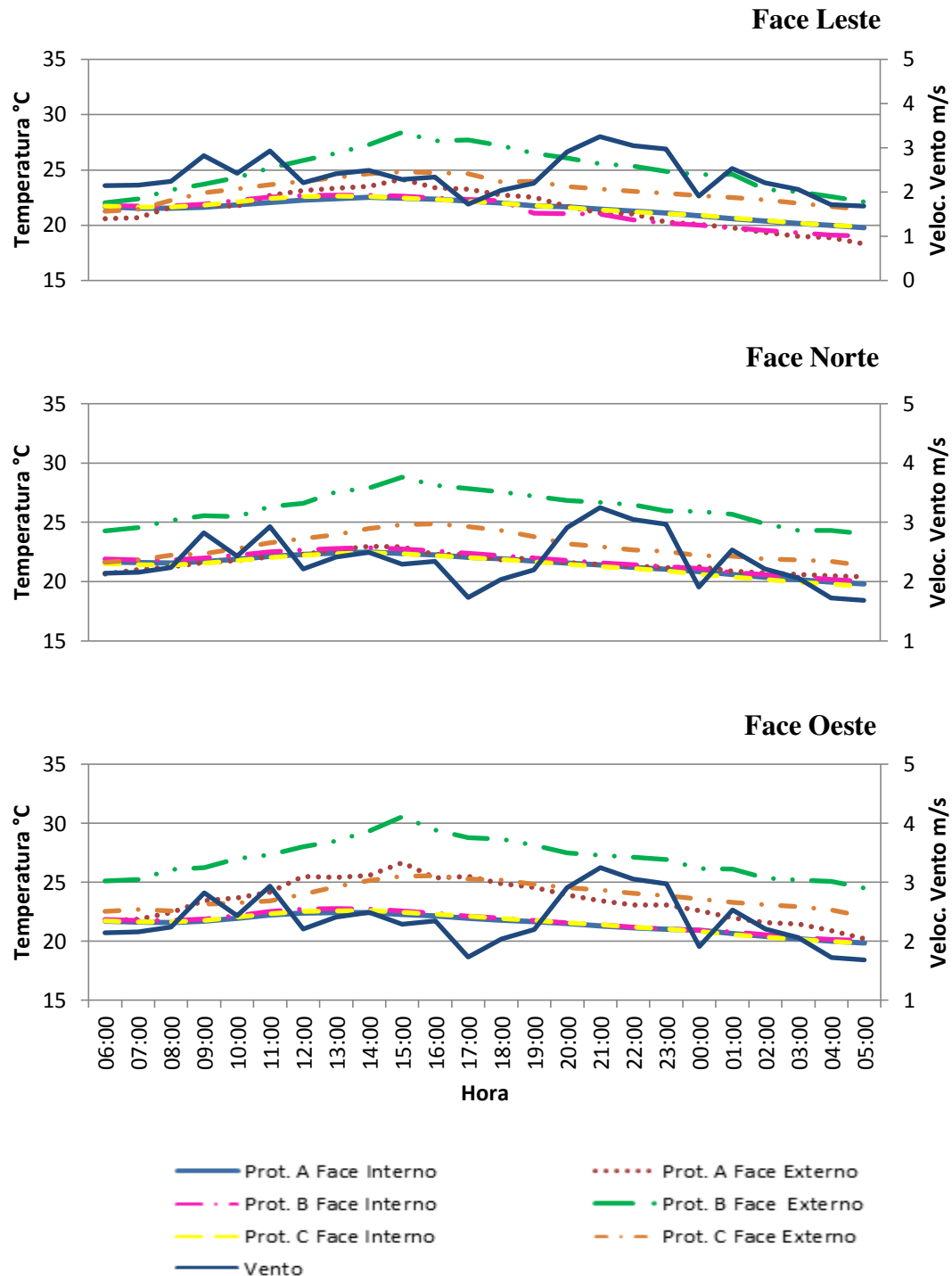


Figura 52– Temperatura superficial de parede interna e externa e velocidade do vento.

A temperatura superficial da parede externa do protótipo “A” na face Oeste obteve o maior valor com 26,66°C. O menor valor de 22,34°C registrou-se na face Norte para a temperatura superficial interna da parede. A medição segue o mesmo padrão para todas as faces, Leste, Norte e Oeste no período diurno e noturno. No protótipo “B” a temperatura

superficial externa atingiu a máxima na face Leste com 28,41° C, na face Norte 28,81°C e na face Oeste 30,53°C ambos às 15h00min. Na superfície interna da parede os valores máximos foram na face Leste de 22,62°C, Norte com 22,74°C e na Oeste 22,53°C. Para o protótipo “C” as temperaturas superficiais internas e externas seguem o mesmo padrão no período diurno e noturno. A temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste 25,50°C, Norte 24,80°C e Leste 24,85°C. A parede interna a temperatura máxima na face Leste obteve o valor de 22,48°C, Norte 22,34°C e Oeste 22,44°C (Figura 52).

A Tabela 4 apresenta médias do período da primavera com as medições dos protótipos com vegetação junto a edificação e sem vegetação na cobertura.

Tabela 4 – Médias da medição dos protótipos no período de primavera.

Medição de Primavera - 2014		Trepadeira junto à edificação				
	Terreno	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C		
Temp. Ar						
Med./Máx.	29,69	25,71	28,03	26,56		
Med./Med.	24,14	22,56	23,66	22,78		
Med./Min.	18,60	19,42	19,29	19,00		
Umid. Ar						
Med./Máx.	66,91	69,57	66,51	74,65		
Med./Med.	56,47	60,64	57,75	66,12		
Med./Min.	46,04	51,72	48,99	57,60		
Globo						
Med./Máx.		27,41	30,14	27,80		
Med./Med.		23,44	24,80	23,47		
Med./Min.		19,48	19,46	19,15		
Temp. Sup. Int. Ext.	Leste/Int.	Leste/Ext.	Norte/Int.	Norte/Ext.	Oeste/Int.	Oeste/Ext.
Protótipo A	21,48	21,45	21,46	21,56	21,45	23,45
Protótipo B	21,26	25,00	21,73	26,17	21,62	27,02
Protótipo C	21,55	23,13	21,34	22,96	21,51	23,83

Os dados coletados nos protótipos no período da primavera e com a primeira opção de uso da vegetação na edificação, mostraram que a média de temperatura do ar obteve valor menor que a temperatura do ar externo. A umidade relativa do ar nos protótipos com vegetação atingiu valores maiores que a área externa e que a do protótipo sem vegetação. O protótipo “B” mostrou 2,21% de diferença de umidade relativa do ar, o protótipo “A” 6,87% e o protótipo “C” 14,59%. A temperatura superficial de parede interna se manteve próxima à do

ar interno; para a temperatura superficial externa foram obtidos valores próximos aos valores da área externa. Os protótipos “A” e “C” mostraram valores semelhantes na média de temperatura de globo.

4.2.2 Segunda opção de uso: medição no período de primavera (Figura 53).



Figura 53 – Protótipo A – jasmim-dos-açores, Protótipo B - testemunha e Protótipo C – tumbérgia-azul.

A segunda opção de uso nos protótipos é a vegetação junto à edificação e com vegetação na cobertura. Os resultados são apresentados nos Gráficos a seguir (Figuras 54 e 55).

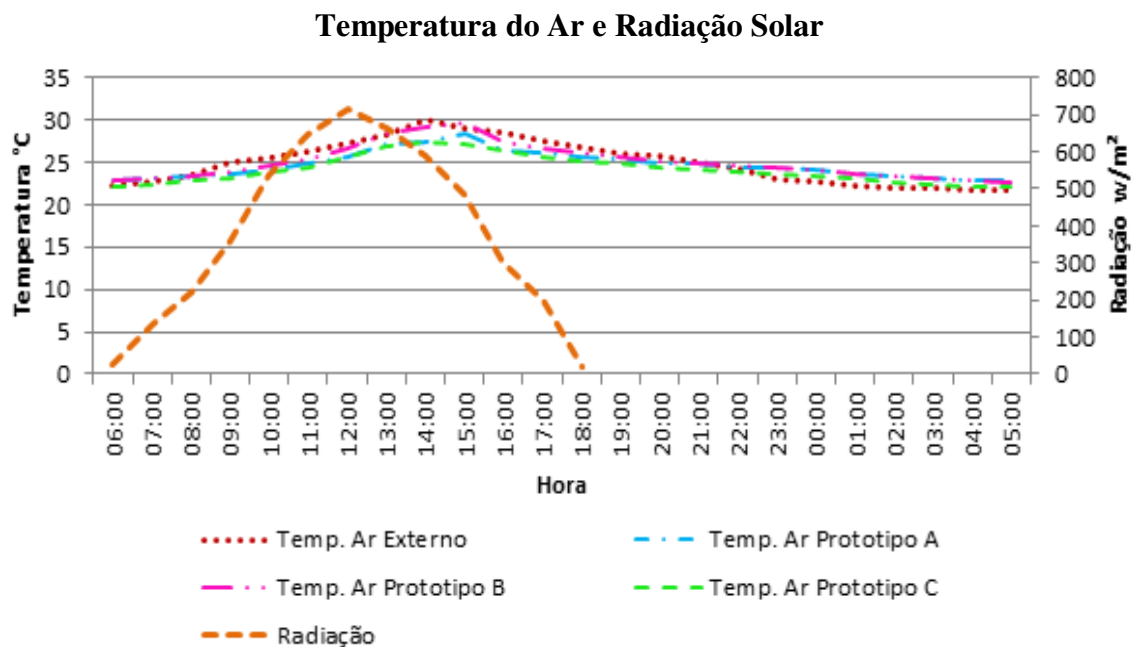


Figura 54 – Temperatura do Ar e Radiação Solar.

A temperatura do ar do protótipo “C” atingiu o valor máximo de 27,48°C, o protótipo “B” 29,57°C, o protótipo “A” 28,30°C às 15h00min e a temperatura máxima do terreno com 30,15°C às 14h00min mantendo uma temperatura maior do que os protótipos durante o

período diurno. Os resultados mantem um atraso térmico de uma hora entre a área externa e os protótipos. A radiação neste período alcançou o valor máximo de $716,93\text{W/m}^2$ (Figura 54).

Temperatura Superficial - Interna e Externa / Velocidade do Vento

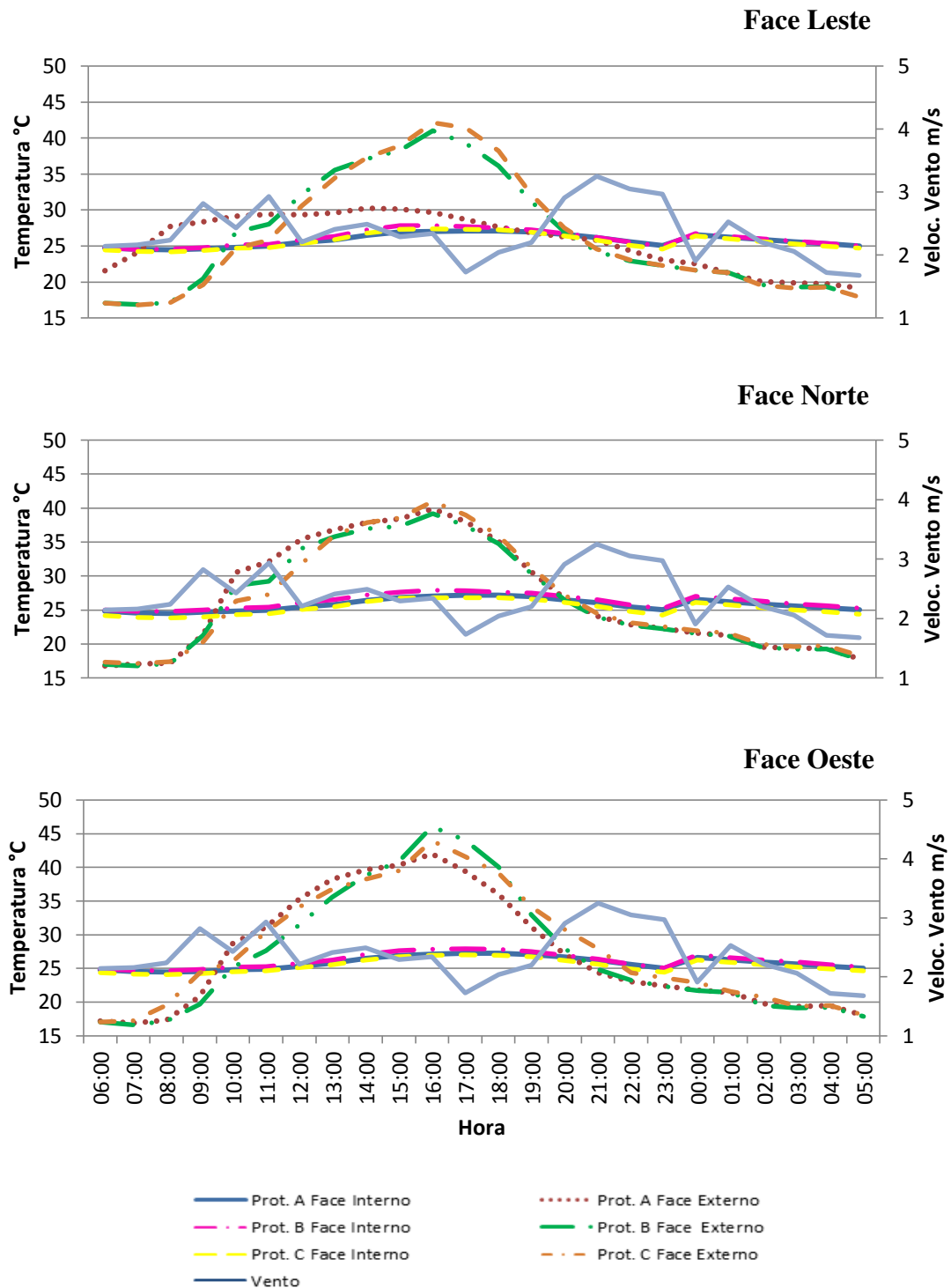


Figura 55 – Temperatura superficial de parede interna e externa e velocidade do vento.

Para o protótipo “A”, a temperatura superficial da parede externa na face Oeste obteve o maior valor com 41,99°C e o menor valor de 29,88°C na face Leste. A temperatura superficial da parede interna tem o menor valor na face Leste com 27,05°C e o maior valor na face Oeste com 27,15°C. No protótipo “A” a máxima da temperatura superficial externa na face Oeste foi de 46,08°C, face Leste 41,01°C e Norte 39,19°C. Na superfície interna da parede os valores máximos foram a face Oeste 27,87°C, Norte com 27,93°C e na face Leste 27,82°C. Para o protótipo “C” as temperaturas superficiais internas e externas seguem o mesmo padrão no período diurno e noturno. A temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste foi 43,99°C, Norte 40,97°C e Leste 42,12°C. Para a parede interna a temperatura máxima na face Leste obteve o valor de 27,81°C, Norte 26,94°C e Oeste 26,94°C (Figura 55).

A Tabela 5 mostra as médias do período da primavera com medição de protótipos com vegetação junto a edificação e com vegetação na cobertura.

Tabela 5 – Medias da medição dos protótipos no período de primavera.

Medição de Primavera - 2014		Junto à edificação com vegetação na cobertura				
	Terreno	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C		
Temp. Ar						
Med./Máx.	30,15	28,30	29,26	27,48		
Med./Med.	24,39	25,53	26,06	24,77		
Med./Min.	18,63	22,76	22,87	22,06		
Umid. Ar						
Med./Máx.	67,47	73,23	64,60	79,96		
Med./Med.	52,73	62,65	53,11	66,49		
Med./Min.	38,0	52,08	41,62	53,03		
Globo						
Med./Máx.		30,49	30,61	29,10		
Med./Med.		26,64	26,79	25,55		
Med./Min.		22,80	22,97	22,01		
Temp. Sup. Int. Ext.	Leste/Int.	Leste/Ext.	Norte/Int.	Norte/Ext.	Oeste/Int.	Oeste/Ext.
Protótipo A	25,80	25,62	25,79	26,76	25,82	27,13
Protótipo B	26,06	26,37	26,25	26,25	26,17	27,10
Protótipo C	25,67	26,37	25,30	26,49	25,46	27,96

Os resultados coletados com a segunda opção de uso da vegetação na edificação no período da primavera, mostraram que as médias de temperatura do ar interno foram próximos da média da temperatura do ar externo e o protótipo sem vegetação atingiu um valor superior. A umidade relativa do ar no protótipo “C” alcançou o maior valor dos demais protótipos e da área externa com uma diferença de 20,69%, o protótipo “A” 15,83% e o protótipo “B” com

0,71%. As temperaturas superficiais de parede interna e externa dos protótipos com vegetação quase não diferiram dos valores para a área externa, provavelmente devido à perda de folhagem no período. A média de temperatura de globo dos protótipos “A” e “B” é semelhante e o protótipo “C” mostrou um valor menor.

4.2.3 Terceira opção de uso: medição no período de primavera (Figura 56).



Figura 56 – Protótipo A – jasmim-dos-azores, Protótipo B - testemunha e Protótipo C – tumbérgia-azul.

A terceira opção de uso nos protótipos é a vegetação afastada a 50 cm da edificação e com vegetação na cobertura. Os resultados são apresentados nos Gráficos a seguir (Figuras 57 e 58).

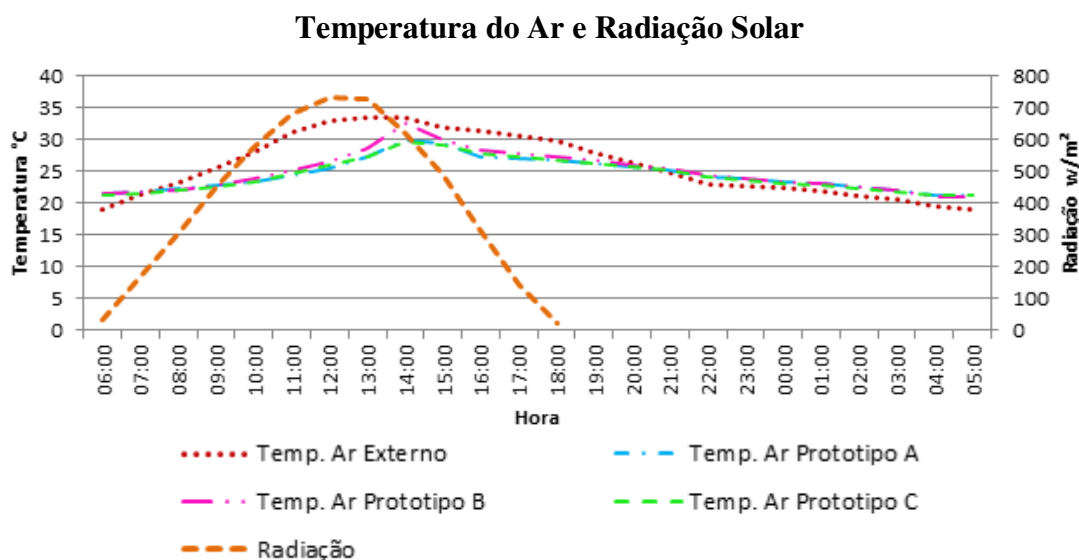


Figura 57 – Temperatura do Ar e Radiação Solar.

A temperatura do ar do terreno atingiu o valor máximo de 33,47°C às 13h00min, no protótipo “B” 32,67°C, no protótipo “C” 29,68°C e no protótipo “A” 29,97°C todos às 14h00min. Um atraso térmico de uma hora entre a área externa e os protótipos. A temperatura do ar dos protótipos manteve um mesmo padrão no período diurno e noturno. A radiação no período medido mostrou uma média de 734,18W/m² (Figura 57).

Temperatura Superficial - Interna e Externa / Velocidade do Vento

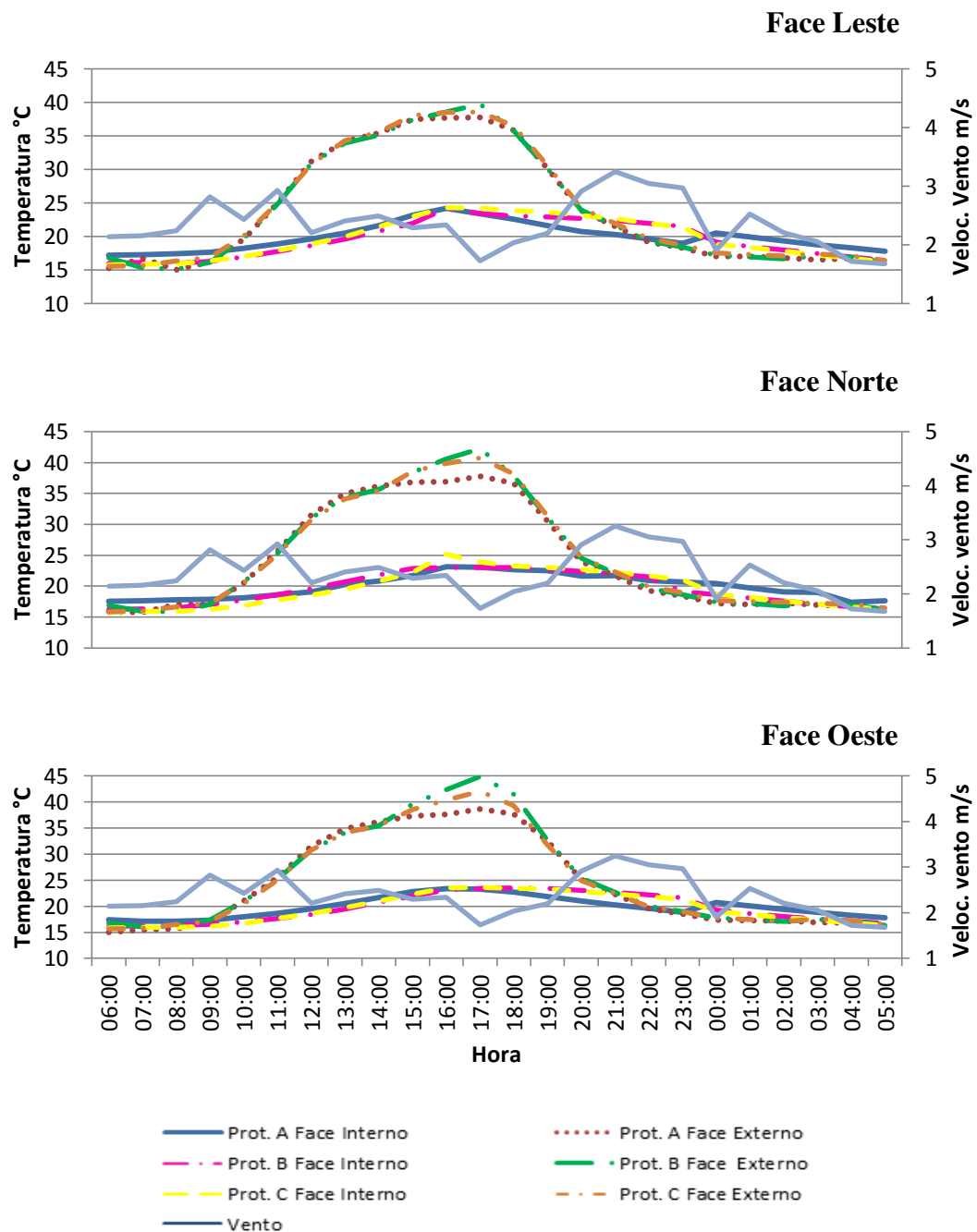


Figura 58 – Temperatura superficial de parede interna e externa, Velocidade do vento.

No protótipo “A”, a temperatura superficial interna e externa segue o mesmo padrão para todas as faces, Leste, Norte e Oeste. A temperatura máxima de superfície interna na face Leste foi de 24,23°C, Norte 23,18°C e Oeste 23,39°C. Na superfície externa a temperatura máxima na face Oeste foi de 38,63°C, Norte 37,82°C e Leste 37,75°C. No protótipo “B”, a temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste foi de 44,90°C, Norte

42,22°C e Leste 39,76°C. Para a parede interna a temperatura máxima na face Leste foi de 24,17°C, Norte 23,05°C e Oeste 23,50°C. Para a medição no protótipo “C” a temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste foi de 42,02°C, Norte 40,70°C e Leste 28,54°C. Para a parede interna a temperatura máxima na face Leste obteve o valor de 24,31°C, Norte 25,15°C e Oeste 23,60°C (Figura 58).

A Tabela 6 mostra as médias para o período de primavera com medição nos protótipos com vegetação afastada 50 cm da edificação e com vegetação na cobertura.

Tabela 6 – Médias da medição dos protótipos no período de primavera.

Medição de Primavera - 2014		Afastado da edificação com vegetação na cobertura				
	Terreno	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C		
Temp. Ar						
Med./Máx.	33,43	29,97	33,67	30,68		
Med./Med.	25,25	25,82	27,55	26,00		
Med./Min.	17,07	21,67	21,44	21,32		
Umid. Ar						
Med./Máx.	62,29	51,92	53,26	59,53		
Med./Med.	39,42	42,61	40,97	47,37		
Med./Min.	16,55	33,31	28,69	35,21		
Globo						
Med./Máx.		30,86	31,72	29,79		
Med./Med.		26,31	26,55	25,49		
Med./Min.		21,77	21,38	21,20		
Temp. Sup. Int. Ext.	Leste/Int.	Leste/Ext.	Norte/Int.	Norte/Ext.	Oeste/Int.	Oeste/Ext.
Protótipo A	19,22	23,77	19,96	24,09	19,84	24,29
Protótipo B	19,54	23,91	19,94	24,57	19,61	25,16
Protótipo C	19,69	24,17	19,46	24,57	19,49	24,69

O resultado coletado com a terceira opção de uso da vegetação na edificação mostra que as médias de temperatura do ar interna dos protótipos foram superiores à área externa. A umidade relativa do ar no protótipo “C” mostrou o maior valor com uma diferença de 16,78% e o protótipo “A” com 7,48% e o protótipo “B” 3,78%. A temperatura superficial de parede interna e externa quase não diferiu dos valores para a área externa, provavelmente devido à perda de parte da folhagem no período. A temperatura de globo do protótipo “C” mostrou um valor menor em relação aos protótipos “A” e “B”.

A temperatura superficial das paredes interna e externa dos protótipos foram medidas nas três orientações Leste, Norte e Oeste. Os valores obtidos possibilitaram calcular os gradientes de cada superfície da fachada dos protótipos (fluxo de calor). A temperatura da superfície externa menos a temperatura da superfície interna de cada fachada, fornece resultados mais significativos para os valores de resistência térmica constante para as paredes com vegetação.

A Tabela 7 mostra as temperaturas superficiais interno/externa das fachadas, fluxo de calor, a resistência térmica e o gradiente de temperatura do período medido.

Tabela 7 – Média da medição dos protótipos inverno e primavera de 2014.

Protótipo A – Inverno 2014		Trepadeira: Jasmim-dos-azores			
	Temperatura do Ar °C	Temp. Super. Inter. °C	Temp. Super. Ext. °C	Redução Int./Ext. °C	Redução Ext. Int. Gradiente °C
1ª opção	22,80				
Face Leste		22,76	19,20	3,56	-0,58
Face Norte		22,92	23,46	- 0,54	-0,04
Face Oeste		22,73	23,72	-0,99	-0,95
2ª opção	20,78				
Face Leste		16,64	19,12	-2,48	-0,45
Face Norte		17,78	18,89	-1,11	-0,40
Face Oeste		18,93	19,28	-0,35	-0,07
3ª opção	22,39				
Face Leste		20,28	20,43	-0,15	-0,05
Face Norte		20,52	21,50	-0,98	-0,08
Face Oeste		20,42	22,65	-2,23	-0,05
Protótipo A Primavera 2014					
	Temperatura do ar	Temp. Super. Inter. °C	Temp. Super. Ext. °C	Redução Int./Ext. °C	Redução Ext. / Int. Gradiente °C
1ª opção	24,14				
Face Leste		21,48	21,45	0,03	-0,05
Face Norte		21,46	21,56	-0,10	-0,09
Face Oeste		21,45	23,45	-2,00	-2,04
2ª opção	24,39				
Face Leste		25,80	25,62	-0,18	-0,66
Face Norte		25,79	26,76	0,97	-0,15
Face Oeste		25,82	27,13	1,31	-1,14
3ª opção	25,25				
Face Leste		19,22	23,77	-4,55	-0,29
Face Norte		19,96	24,09	-4,13	-0,22

Face Oeste	19,84	24,29	-4,45	-0,29
------------	-------	-------	-------	-------

Protótipo C	Inverno 2014	Trepadeira: Tumbérgia azul			
-------------	--------------	----------------------------	--	--	--

	Temperatura do Ar	Temp. Super. Inter.	Temp. Super. Ext.	Redução Int. / Ext.	Redução Ext./ Int. Gradiente
1ª opção	22,80	°C	°C	°C	°C
Face Leste		22,73	23,72	-0,99	-0,04
Face Norte		22,40	24,87	-2,47	-0,45
Face Oeste		22,85	23,53	-0,68	-0,46

2ª opção	20,78				
Face Leste		17,96	19,19	-1,23	-0,17
Face Norte		19,45	18,95	0,50	-0,33
Face Oeste		17,65	18,85	-1,20	-0,96

3ª opção	22,39				
Face Leste		20,32	20,85	-0,53	-0,75
Face Norte		20,37	22,12	-1,75	-1,70
Face Oeste		20,75	20,62	0,13	-0,17

Protótipo C	Primavera 2014				
-------------	----------------	--	--	--	--

	Temperatura do Ar	Temp. Super. Inter.	Temp. Super. Ext.	Redução Int./ Ext.	Redução Ext. / Int. Gradiente
1ª opção	24,14	°C	°C	°C	°C
Face Leste		21,55	23,13	-1,58	-1,52
Face Norte		21,34	22,96	-1,62	-1,58
Face Oeste		21,51	23,83	-2,32	-2,00

2ª opção	24,39				
Face Leste		25,67	26,37	-0,70	-0,02
Face Norte		25,30	26,49	-1,19	-0,01
Face Oeste		25,46	27,96	-2,50	-2,63

3ª opção	25,25				
Face leste		19,69	24,17	-4,48	-0,94
Face Norte		19,46	24,57	-5,11	-0,20
Face Oeste		19,49	24,69	-5,20	-0,30

As maiores reduções de temperatura superficial entre as paredes com vegetação correspondem à exposição da radiação solar de alta intensidade em horas da manhã e da tarde com altura solar respectivamente. Observou-se a maior redução da temperatura de superfície na fachada Oeste e posteriormente na fachada Leste o que sugere que a vegetação junto com a edificação (1ª opção de uso) pode ser mais benéfica para melhoria do desempenho térmico na edificação a partir do exterior para a superfície interior conforme os resultados nos protótipos

“A” e “C” nos períodos de inverno e primavera. O gradiente de temperatura do protótipo “A” no período de inverno da parede exterior/interior para a 1ª opção de uso da vegetação junto a edificação variou $-0,58^{\circ}\text{C}$ a Leste, $-0,04^{\circ}\text{C}$ a Norte e $-0,95^{\circ}\text{C}$ a Oeste. A variação da 2ª opção de uso da vegetação junto a edificação e na cobertura foi de $-0,45^{\circ}\text{C}$ a Leste, $-0,40^{\circ}\text{C}$ a Norte e $-0,07^{\circ}\text{C}$ a Oeste. A 3ª opção de uso a vegetação afastada a 50 cm da parede e vegetação na cobertura variou em $-0,05^{\circ}\text{C}$ a Leste, $-0,08^{\circ}\text{C}$ a Norte e $-0,05^{\circ}\text{C}$ a Oeste.

Para o mesmo período, o protótipo “C” para a 1ª opção de uso o gradiente da temperatura mostrou $-0,04^{\circ}\text{C}$ a Leste, $-0,45^{\circ}\text{C}$ a Norte e $-0,46^{\circ}\text{C}$ a Oeste. A 2ª opção de uso apresentou $-0,17^{\circ}\text{C}$ a Leste, $-0,33^{\circ}\text{C}$ a Norte e $-0,96^{\circ}\text{C}$ a Oeste. A 3ª opção de uso mostrou $-0,75^{\circ}\text{C}$ a Leste, $-1,70^{\circ}\text{C}$ a Norte e $-0,17^{\circ}\text{C}$ a Oeste. Para o protótipo “A” no período do inverno com a 1ª opção de uso da vegetação alcançou-se uma redução horária máxima de $0,92^{\circ}\text{C}$ a Oeste, para a segunda opção de uso $1,66^{\circ}\text{C}$ a Leste e a 3ª opção de uso $0,89^{\circ}\text{C}$ em Leste e Oeste. Para o protótipo “C” no período de inverno na 1ª opção de uso da vegetação o valor foi de $0,73^{\circ}\text{C}$ a Oeste, na 2ª opção de uso com $1,93^{\circ}\text{C}$ a Oeste e a 3ª opção de uso com $1,54^{\circ}\text{C}$ a Norte.

No período da primavera no protótipo “A”, o gradiente de temperatura da parede exterior/interior para a 1ª opção de uso variou $-0,05^{\circ}\text{C}$ no Leste, $-0,09^{\circ}\text{C}$ Norte e $-2,04^{\circ}\text{C}$ no Oeste. Na 2ª opção de uso $-0,66^{\circ}\text{C}$ no Leste, $-0,15^{\circ}\text{C}$ Norte e $-1,14^{\circ}\text{C}$ Oeste. A 3ª opção de uso $-0,29^{\circ}\text{C}$ Leste, $-0,22^{\circ}\text{C}$ Norte e $-0,29^{\circ}\text{C}$ a Oeste. O protótipo “C” mostrou na 1ª opção de uso os valores de $-1,52^{\circ}\text{C}$ Leste, $-1,58^{\circ}\text{C}$ Norte e $-2,00^{\circ}\text{C}$ Oeste. Na 2ª opção de uso $-0,02^{\circ}\text{C}$ Leste, $-0,01^{\circ}\text{C}$ Norte e $-2,63^{\circ}\text{C}$ Oeste. A 3ª opção de uso $-0,94^{\circ}\text{C}$ Leste, $-0,20^{\circ}\text{C}$ Norte e $-0,30^{\circ}\text{C}$ Oeste. O protótipo “A” com a 1ª opção de uso da vegetação alcançou uma redução horária máxima de $0,69^{\circ}\text{C}$ Oeste, na 2ª opção de uso $2,74^{\circ}\text{C}$ Oeste e na 3ª opção de uso $1,48^{\circ}\text{C}$ Leste e $0,96^{\circ}\text{C}$ Oeste. Para o protótipo “C” a redução horária máxima mostrou os valores de $0,31^{\circ}\text{C}$ Oeste na 1ª opção de uso, $3,57^{\circ}\text{C}$ Oeste na 2ª opção de uso e na 3ª opção de uso $1,08^{\circ}\text{C}$ Leste (Tabela 7).

4.3 Resultados das medições de inverno 2015

A segunda etapa da pesquisa iniciou-se com o plantio das trepadeiras no solo (chão) no final de abril de 2015. No princípio as plantas sentiram a mudança e perderam as folhas, mas com adubação e rega foram poucas mudas que não resistiram. Tornou-se necessário a compra de novas mudas para repor as trepadeiras de morreram com apenas de 0,30 cm de altura.

Devido ao sistema morfológico de cada espécie de trepadeira, decidiu-se por manter cada espécie de trepadeira no protótipo conforme a primeira parte desta pesquisa. O protótipo A, com a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores) no sistema de 50 cm afastada da parede, o protótipo B, sem vegetação (testemunha) e o protótipo C com a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) no sistema junto à parede da edificação.

A tabela 9 mostra os resultados das médias/máximas, médias/médias e médias/mínimas obtidas no período de inverno (diurno e noturno) nos meses de agosto e setembro. Os valores e horários são de temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar, temperatura superficial de parede interna e externa. O protótipo A com vegetação afastada 50 cm da parede possui a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores), o protótipo B não possui vegetação (testemunha) e o protótipo C possui a vegetação junto a parede da edificação com a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul).

A média da intensidade de radiação solar neste período de inverno foi de 369,22W/m². A velocidade do ar na área interna dos protótipos não ultrapassou o valor de 0,02m/s e na área externa de 1,71m/s e a temperatura média do ar de 18,01°C no período medido (Figura 59).

4.3.1 Medição no período de Inverno 2015 (Figura 59).



Figura 59 – Protótipo A – jasmim-dos-açores, Protótipo B - testemunha e Protótipo C – tumbérgia-azul.

Os resultados das medição no protótipo “A” com vegetação afastada da edificação 50 cm, no protótipo “B” sem vegetação e no protótipo “C” com vegetação junto à edificação no período de inverno são apresentados nos gráficos a seguir (Figuras 60 e 61).

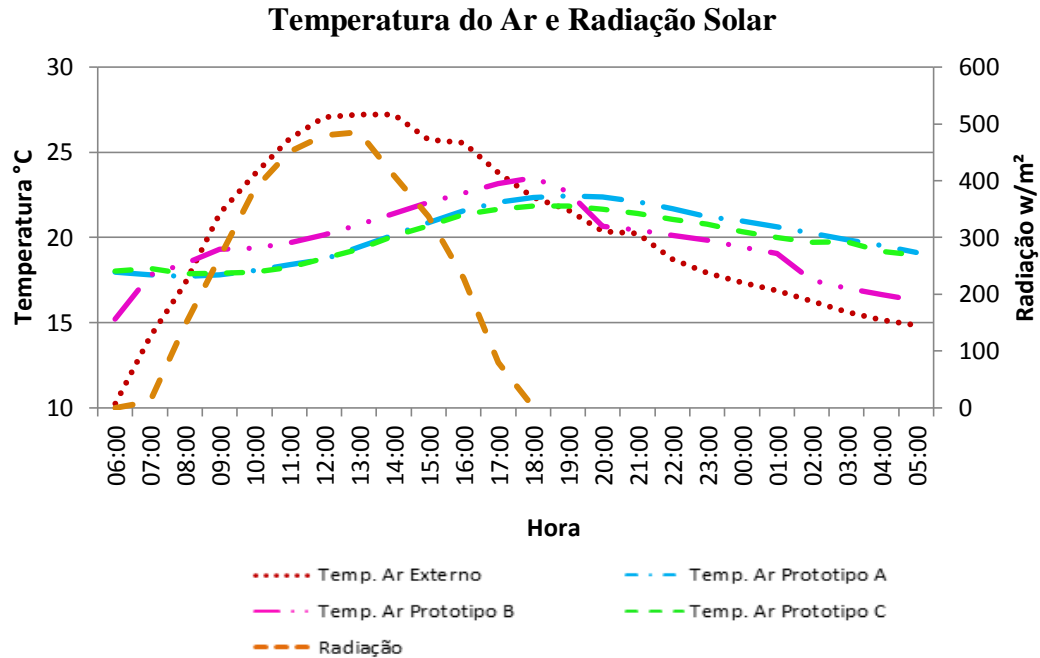
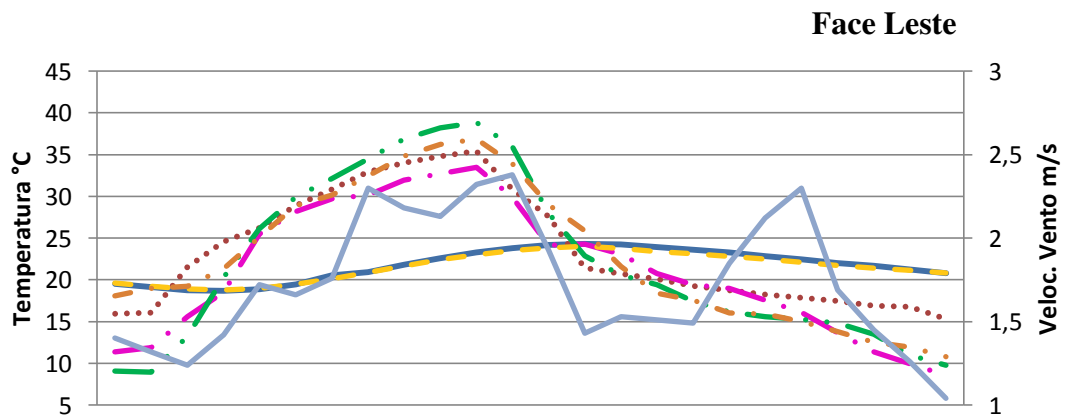


Figura 60 – Temperatura do Ar e Radiação Solar.

A temperatura do ar do terreno atingiu o valor máximo de 27,20°C às 14h00min, no protótipo “B” 23,52°C às 18h00min, o protótipo “C” 22,70°C e no protótipo “A” 22,45°C às 19h00min. A temperatura do ar nos protótipos “A”, “B” e “C” no período diurno mantiveram um mesmo padrão. No período noturno os protótipos com vegetação mostram uma temperatura mais elevada do que a temperatura do ar no terreno e o protótipo “B” sem vegetação. O atraso térmico entre os protótipos com vegetação e o protótipo sem vegetação foi de uma hora (Figura 60).

Temperatura Superficial - Interna e Externa / Velocidade do Vento



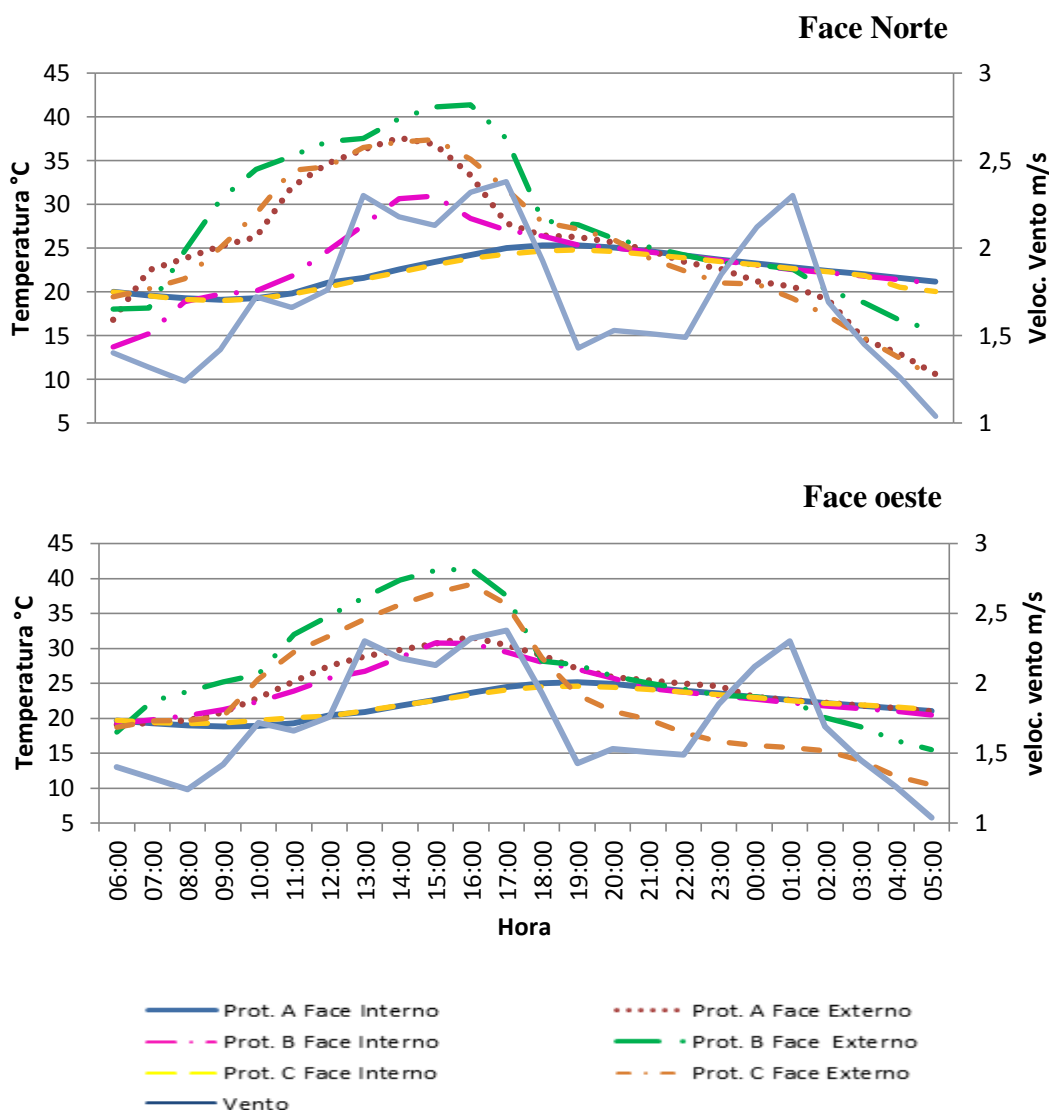


Figura 61 – Temperatura superficial de parede interna e externa e velocidade do vento.

Nos protótipos “A” e “C” a temperatura superficial interna segue o mesmo padrão para todas as faces, Leste, Norte e Oeste. A temperatura máxima de superfície interna do protótipo “A” na face Leste foi de 24,31°C, Norte 25,34°C e Oeste 25,13°C. Na superfície externa a temperatura máxima na face Oeste 39,39°C, Norte, 37,96°C e Leste 34,80°C. No protótipo “C” a temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste foi de 39,13°C, Norte 39,11°C e Leste 38,83°C. Para a medição no protótipo “B” a temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste foi de 41,39°C, Norte 37,43°C e Leste 39,83°C. Para a parede interna a temperatura máxima na face Leste o valor foi de 24,27°C, Norte 25,38°C e Oeste 29,51°C (Figura 61).

A Tabela 8 a seguir apresenta as médias para o período de inverno de 2015 com medição dos protótipos com vegetação afastado 50 cm da edificação e com vegetação na junto a parede e sem vegetação.

Tabela 8 – Médias da medição dos protótipos no período de inverno.

Medição – Inverno 2015						
	Terreno	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C		
Temp. Ar						
Med./Máx.	25,77	22,45	23,52	18,02		
Med./Med.	18,01	20,08	19,36	19,93		
Med./Min.	10,25	17,72	15,20	21,85		
Umid. Ar						
Med./Máx.	90,70	80,22	69,4	90,05		
Med./Med.	56,05	70,7	67,25	87,72		
Med./Min.	21,4	73,92	65,1	85,4		
Globo						
Med./Máx.		22,47	22,2	22,45		
Med./Med.		20,03	19,75	20,07		
Med./Min.		17,6	17,3	17,7		
Temp. Sup. Int. Ext.	Leste/Int.	Leste/Ext.	Norte/Int.	Norte/Ext.	Oeste/Int.	Oeste/Ext.
Protótipo A	21,74	23,43	22,34	25,76	22,00	26,87
Protótipo B	21,11	24,01	23,31	27,12	21,70	26,58
Protótipo C	21,54	23,09	22,09	26,13	21,98	23,28

Os resultados no período de inverno de 2015, coletados simultaneamente nos protótipos “A”, “B” e “C” das médias/médias de temperatura do ar mantiveram valores próximos as temperaturas superficiais de parede interna e externa dos protótipos com vegetação e o protótipo sem vegetação registrou valores maiores na sua superfície externa nas faces Norte e Oeste. A umidade relativa do ar dos protótipos com vegetação mostrou valores maiores em relação a área do terreno com uma diferença de 20,72% no protótipo “A”, 36,10% no protótipo “C” e no protótipo “B” 16,65%. A média da temperatura de globo o protótipo “B” mostrou o menor valor com 19,75°C.

4.4 Resultado da medição de Primavera de 2015.

A média da intensidade de radiação solar neste período medido na primavera foi de 388,71W/m². A velocidade do ar na área interna dos protótipos não ultrapassou o valor de 0,03m/s e na área externa de 3,92m/s e a temperatura do ar de 26,76°C no período medido (Figura 62).

4.4.1 Medição no período de Primavera de 2015 (Figura 62).



Figura 62 – Protótipo A – jasmim-dos-azores, Protótipo B - testemunha e Protótipo C – tumbérgia-azul.

Os resultados da medição no protótipo “A” com vegetação afastada da edificação a 50 cm, o protótipo “B” sem vegetação e o protótipo “C” com vegetação junto à edificação no período de inverno são apresentados nos gráficos a seguir (Figuras 63 e 64).

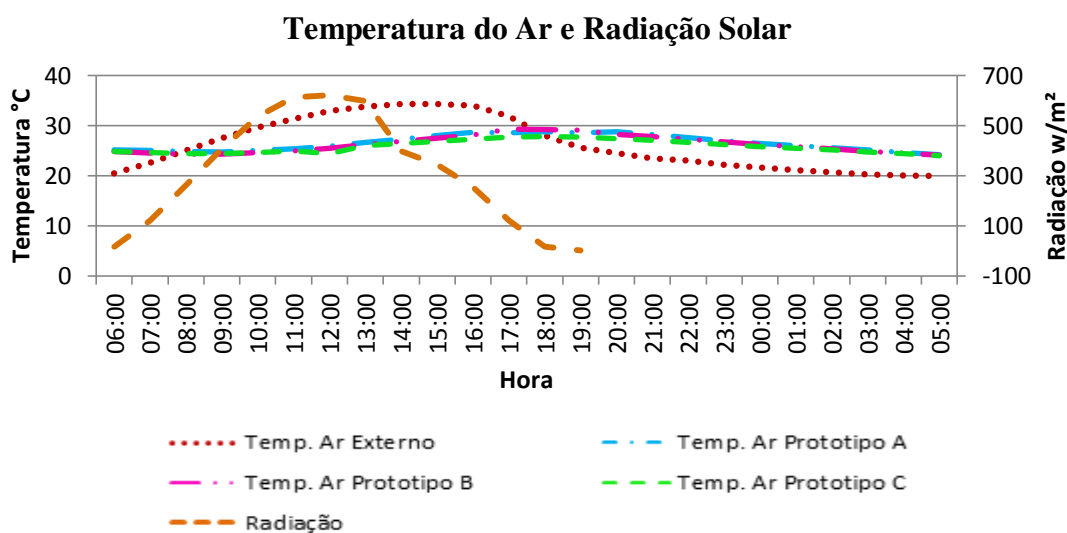


Figura 63 – Temperatura do Ar e Radiação Solar.

A temperatura do ar nos protótipos no período diurno e noturno seguiu o mesmo padrão. A temperatura do ar externo com valor máximo de 34,29°C às 15h00min. Os protótipos “C” com valor de 27,82°C, o protótipo “A” 28,82°C às 18h00min e protótipo “B” às 17h00min com 29,30°C. No período medido a radiação às 12h00min foi de 622,3 w/m². Os protótipos com vegetação indicaram um atraso térmico de três horas em relação a área externa promovendo uma temperatura agradável no seu interior (Figura 63).

Temperatura Superficial - Interna e Externa / Velocidade do Vento

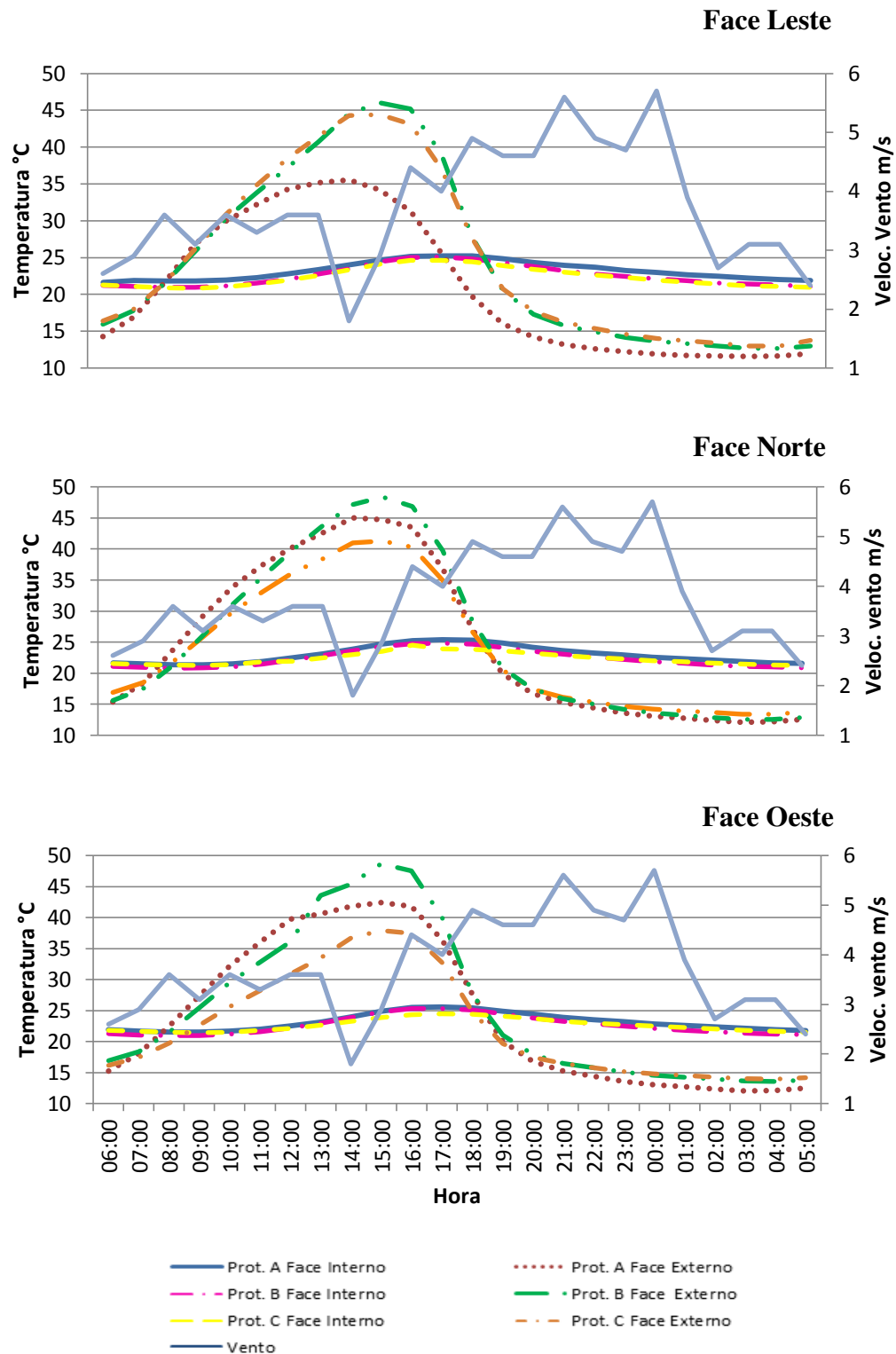


Figura 64 – Temperatura superficial de parede interna e externa e velocidade do vento.

As temperaturas superficiais internas dos protótipos “A”, ”B” e “C” seguem o mesmo padrão para todas as faces, Leste, Norte e Oeste ao longo do período diurno e noturno. A temperatura máxima de superfície externa do protótipo “A” na face Leste foi de 35,53°C,

Norte 44,90°C e Oeste 41,79°C. No protótipo “C” às 15h00min, a temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste foi de 37,89°C, Norte 41,30°C e Leste 44,44°C. No protótipo “B” também às 15h00min, a temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste foi de 47,54°C, Norte 48,33°C e Leste 46,04°C (Figura 64).

A Tabela 9 a seguir apresenta as médias para o período de primavera de 2015, com medição dos protótipos com vegetação afastada a 50 cm da edificação e com vegetação na junto a parede e sem vegetação.

Tabela 9 – Médias da medição dos protótipos no período da primavera.

Medição – Primavera 2015						
	Terreno	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C		
Temp. Ar						
Med./Máx.	34,29	28,00	28,82	27,82		
Med./Med.	26,76	26,07	26,46	25,92		
Med./Min.	19,23	24,15	24,10	24,02		
Umid. Ar						
Med./Máx.	65,88	72,42	66,35	72,77		
Med./Med.	47,64	64,72	61,96	68,76		
Med./Min.	29,41	57,02	57,57	64,75		
Globo						
Med./Máx.		29,03	29,0	27,85		
Med./Med.		26,83	26,60	26,03		
Med./Min.		24,64	24,20	24,22		
Temp. Sup. Int. Ext.	Leste/Int.	Leste/Ext.	Norte/Int.	Norte/Ext.	Oeste/Int.	Oeste/ext.
Protótipo A	20,67	23,17	22,93	24,71	23,12	24,02
Protótipo B	22,51	24,57	22,34	25,09	22,60	25,14
Protótipo C	22,31	24,44	22,32	23,81	22,63	22,52

Observando-se os resultados no período da primavera de 2015 coletados simultaneamente nos protótipos “A”, “B” e “C” constatou-se que as médias/médias da temperatura do ar mantiveram seus valores próximos. As temperaturas superficiais de parede interna e externa dos protótipos com vegetação e o protótipo sem vegetação na face Leste e Norte também ficaram com valores próximos, mas o protótipo sem vegetação na face Oeste registrou valores maiores na superfície interna e externa em relação aos outros protótipos. A umidade relativa do ar da área do terreno mostrou um valor baixo com 47,64% e os protótipos com vegetação alcançaram valores maiores com uma diferença de 26,30% no protótipo “A”, 23,11% no

protótipo “B” e 30,71% no protótipo “C”. A média de temperatura de globo nos protótipos é semelhante.

4.5 Resultado da medição de Verão 2015 e 2016

A média da intensidade da radiação solar neste período medido de verão foi de 575,01W/m². A velocidade do ar na área interna dos protótipos não ultrapassou o valor de 0,02m/s e na área externa de 2,65m/s e a temperatura do ar com 25,78°C no período medido (Figura 65).

4.5.1 Medição no período de Verão 2015 e 2016 (Figura 65).



Figura 69 – Protótipo A – jasmim-dos-azores, Protótipo B - testemunha e Protótipo C – tumbérgia-azul.

A medição no protótipo “A” com vegetação afastada da edificação a 50 cm, no protótipo “B” sem vegetação e no protótipo “C” com vegetação junto à edificação no período de inverno é apresentada nos Gráficos a seguir (Figuras 66 e 67).

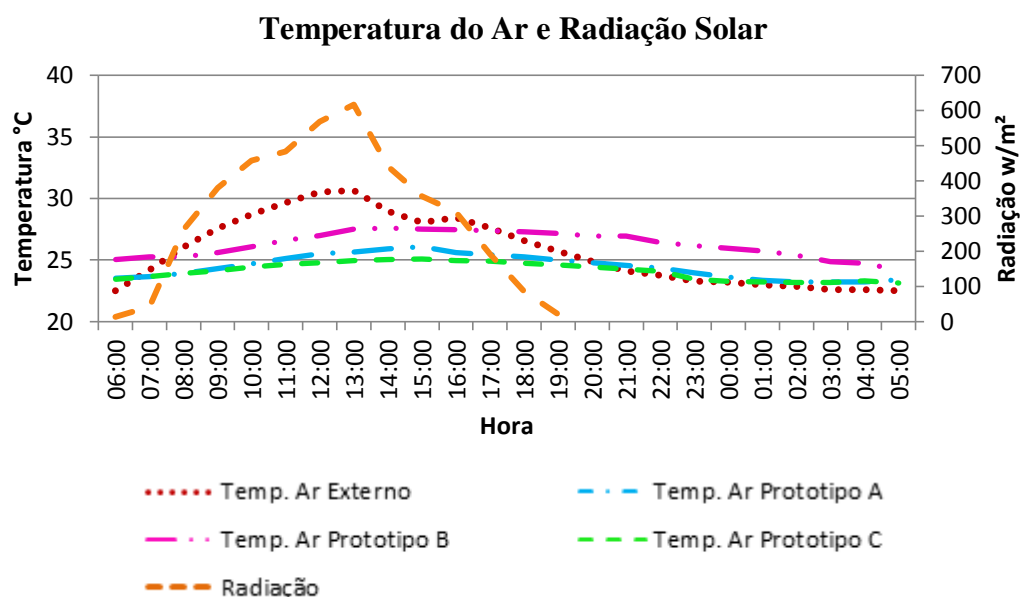


Figura 66 – Temperatura do Ar e Radiação Solar.

A temperatura do ar nos protótipos com vegetação segue o mesmo padrão no período diurno e noturno. O protótipo “A” às 15h00min atinge um valor de 26,06°C e o protótipo “C” 25,05°C. O protótipo “B” sem vegetação às 14h00min atingiu o valor de 27,60°C. A temperatura do ar no terreno às 13h00min atingiu o valor máximo de 30,65°C. Há uma diferença de atraso térmico entre os protótipos com vegetação e o protótipo sem vegetação de uma hora. A diferença de temperatura entre a área externa e o protótipo “A” com 4,59°C para o protótipo “C”, 5,58°C e para o protótipo “B” de 3,05°C. O resultado mostrou que a maior diferença de temperatura interna com a temperatura externa é do protótipo “C”. No período medido a radiação às 13h00min alcançou o valor de 617,13 w/m² (Figura 66).

Temperatura Superficial - Interna e Externa / Velocidade do Vento

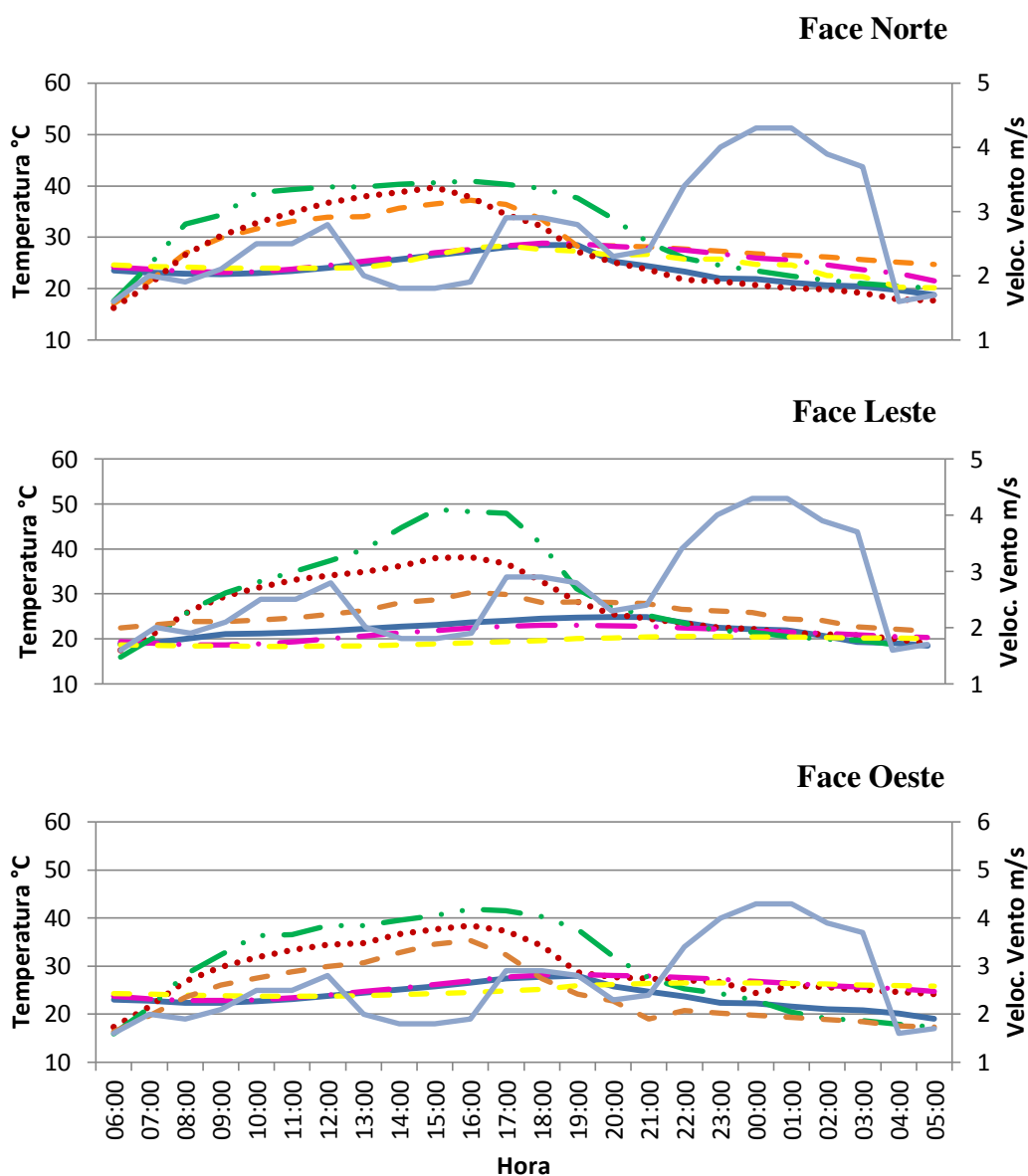




Figura 67 – Temperatura superficial de parede interna e externa e velocidade do vento.

As temperaturas superficiais internas dos protótipos “A”, ”B” e “C” seguem o mesmo padrão para todas as faces, Leste, Norte e Oeste ao longo do período diurno. A temperatura máxima de superfície externa às 15h00min do protótipo “A” na face Leste 38,04°C, Norte 39,73°C e Oeste 37,63°C. No protótipo “C” às 15h00min, a temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste 34,55°C, Norte 36,52°C e Leste 28,66°C. No protótipo “B” também às 15h00min, a temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste foi de 40,48°C, Norte 39,373°C e Leste 48,77°C (Figura 67).

A Tabela 10 apresenta as médias para o período do verão 2015 e 2016, e medição nos protótipos com vegetação afastada a 50 cm da edificação e com vegetação na junto a parede e cobertura e sem vegetação.

Tabela 10 – Médias da medição dos protótipos no período de verão.

Medição – Verão 2015/ 2016						
	Terreno	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C		
Temp. Ar						
Med./Máx.	30,65	26,06	27,60	25,07		
Med./Med.	26,57	25,02	25,89	24,09		
Med./Min.	22,50	23,98	24,19	23,12		
Umid. Ar						
Med./Máx.	84,53	86,59	86,48	87,77		
Med./Med.	66,16	85,25	84,65	85,98		
Med./Min.	47,79	83,91	82,82	84,20		
Globo						
Med./Máx.		25,87	27,55	25,8		
Med./Med.		25,23	26,20	25,20		
Med./Min.		24,60	24,85	24,6		
Temp. Sup. Int. Ext.	Leste/Int.	Leste/Ext.	Norte/Int.	Norte/Ext.	Oeste/Int.	Oeste/Ext.
Protótipo A	21,89	27,75	23,73	27,22	23,60	29,24
Protótipo B	21,06	29,81	25,51	31,15	25,66	29,75
Protótipo C	19,41	25,69	24,77	29,22	25,10	27,45

Os resultados no período de verão 2015/2016 coletados simultaneamente nos protótipos “A”, “B” e “C” e as médias/médias de temperatura do ar mantiveram valores próximos. Mas o

protótipo “C”, com a média de temperatura de 24,09°C em relação a temperatura do ar do terreno com 26,57°C mostra uma diferença de temperatura no valor de 2,48°C, e do protótipo “A” com a média de 24,72°C com uma diferença de temperatura 1,85°C, proporcionando uma temperatura agradável no interior da construção comparada com a temperatura do ar da área externa. As temperaturas superficiais de parede interna dos protótipos com vegetação e o protótipo sem vegetação na face Leste, Norte e Oeste não ultrapassaram os valores próximos a 26°C. Os protótipos “A” e “B” com temperatura superficial externa nas faces Norte e Oeste registraram valores próximos e o protótipo “C” registrou valores menores de temperatura superficial da parede externa. A umidade relativa do ar dos protótipos com vegetação alcançou valores maiores que o protótipo sem vegetação e da área do terreno. O protótipo “C” mostrou uma diferença de 23,05%, o protótipo “A” 22,39% e o protótipo “B” com 21,84%. A média de temperatura de globo com 26,20°C no protótipo “B” ficou com um valor acima dos protótipos “A” e “C”.

4.6 Resultado da medição de Outono 2016.

A média da intensidade de radiação solar neste período de verão foi de 455,15W/m². A velocidade do ar na área interna dos protótipos não ultrapassou o valor de 0,02m/s e na área externa de 2,16m/s e a temperatura do ar foi de 22,69°C no período medido (Figura 68).

4.6.1 Medição no período de Outono 2016 (Figura 68).



Figura 68 – Protótipo A – jasmim-dos-ácores, Protótipo B - testemunha e Protótipo C – tumbérgia-azul.

A medição no protótipo “A” com vegetação afastada da edificação a 50 cm, no protótipo “B” sem vegetação e no protótipo “C” com vegetação junto à edificação no período de inverno está apresentada nos Gráficos a seguir (Figuras 69 e 70).

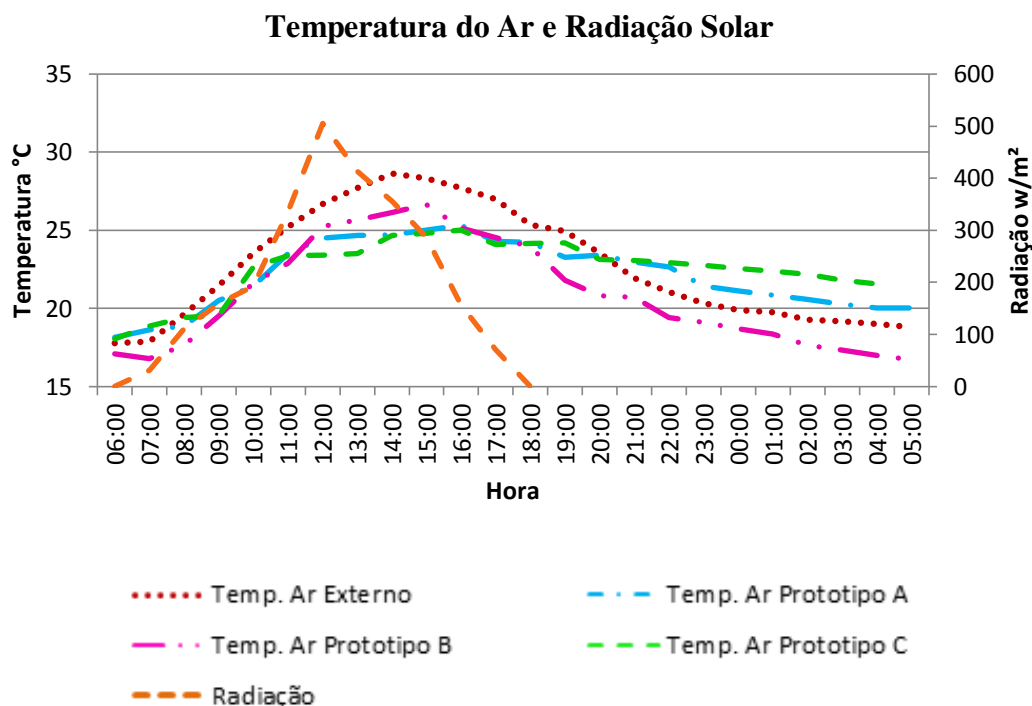


Figura 69 – Temperatura do Ar e Radiação Solar.

A temperatura do ar nos protótipos com vegetação no período do diurno segue o mesmo padrão, mas no período noturno o protótipo “C” manteve uma temperatura mais elevada em relação aos protótipos “A”, “B” e área externa do terreno. No horário das 15h00min a temperatura do ar no protótipo “B” atinge um valor máximo de 26,65°C, o protótipo “A” 25,32°C o protótipo “C” alcançou o valor de 25,00°C às 16h00min. A temperatura do terreno às 14h00min mostrou uma média máxima de 28,62°C. Os protótipos com vegetação mostraram um atraso térmico de duas horas e o protótipo sem vegetação um valor de uma hora em relação à área externa. No período medido a radiação às 12h00min alcançou o valor máximo de 505,3 w/m² (Figura 69).

Temperatura Superficial - Interna e Externa / Velocidade do Vento

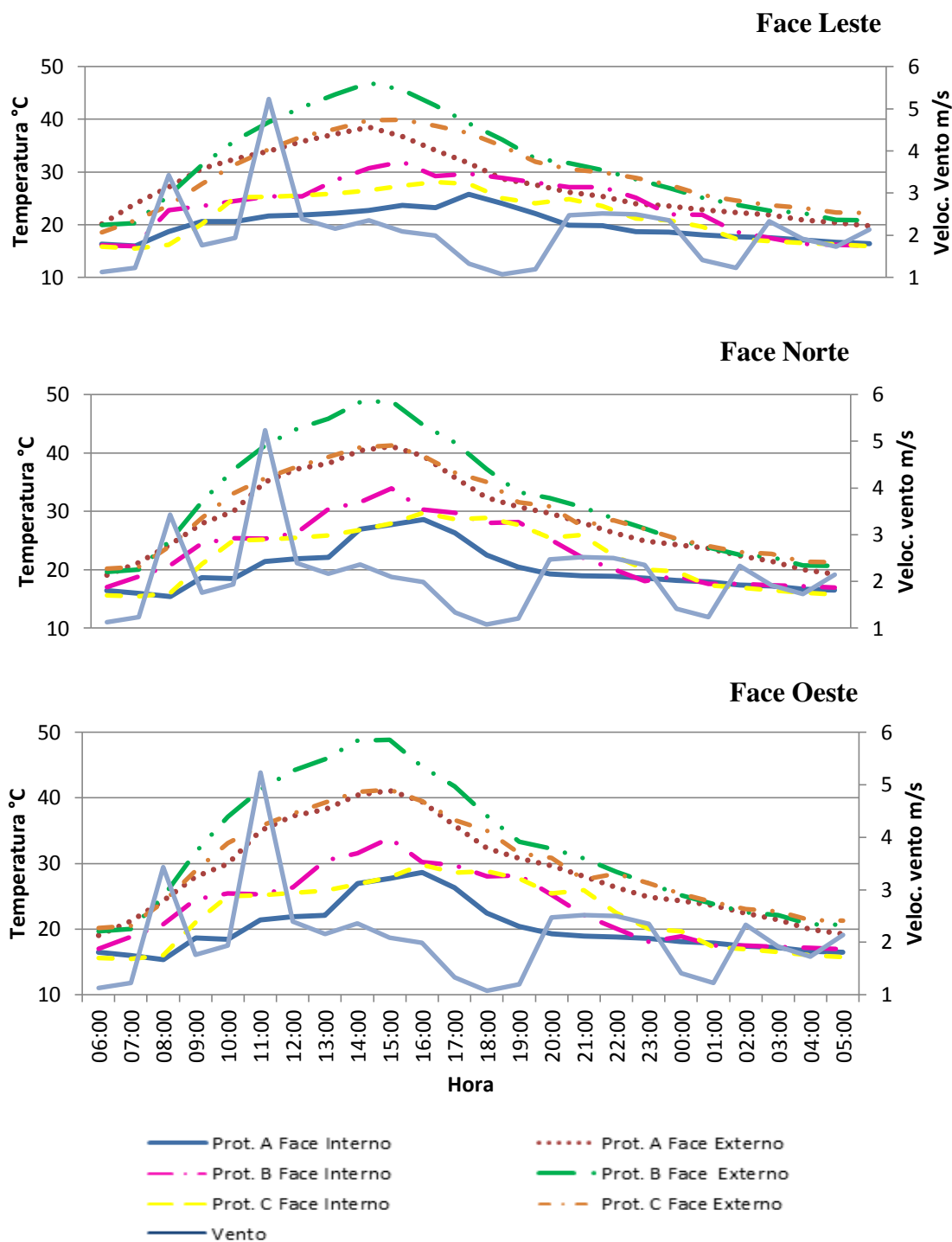


Figura 70 – Temperatura superficial de parede interna e externa e velocidade do vento.

A temperatura superficial interna do protótipo “A” mostrou os menores valores em relação aos protótipos “B” e “C” para todas as faces, Leste, Norte e Oeste. A temperatura de superfície externa às 15h00min. do protótipo “B” na face Leste 46,88°C, Norte 39,73°C e Oeste 37,63°C. No protótipo “C” às 15h00min, a temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste 34,55°C, Norte 36,52°C e Leste 28,66°C. No protótipo “B” às

15h00min, a temperatura máxima superficial de parede externa da face Oeste foi de 40,48°C, Norte 39,373°C e Leste 48,77°C (Figura 70).

A Tabela 11 a seguir traz as médias para o período do outono de 2016 com medição nos protótipos com vegetação afastada a 50 cm da edificação e com vegetação na junto a parede e cobertura e sem vegetação.

Tabela 11 – Médias da medição dos protótipos no período de outono.

Medição – Outono 2016						
	Terreno	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C		
Temp. Ar						
Med./Máx.	28,62	22,22	19,82	22,00		
Med./Med.	23,20	21,01	18,26	22,57		
Med./Min.	17,79	19,80	16,70	20,57		
Umid. Ar						
Med./Máx.	81,16	82,15	76,87	84,7		
Med./Med.	59,86	81,22	75,27	80,91		
Med./Min.	38,57	80,30	73,67	77,12		
Globo						
Med./Máx.		21,70	19,77	20,82		
Med./Med.		20,18	18,11	19,81		
Med./Min.		18,67	16,45	18,80		
Temp. Sup. Int. Ext.	Leste/Int.	Leste/Ext.	Norte/Int.	Norte/Ext.	Oeste/Int.	Oeste/Ext.
Protótipo A	20,00	27,73	20,08	28,86	21,96	28,51
Protótipo B	23,68	31,48	23,38	32,20	22,86	31,66
Protótipo C	21,73	29,70	22,29	29,82	21,86	29,48

Os resultados para o período de outono 2016 coletados simultaneamente nos protótipos “A”, e “C”, as medias/medias de temperatura do ar mantiveram valores maiores do que o protótipo “B”. A média de temperatura do ar do protótipo “B” 18,26°C em relação a temperatura do ar do terreno com 23,20°C, mostra uma diferença de temperatura no valor de 4,94°C, ou seja, uma temperatura do ar mais baixa, indicando um desconforto no interior da construção. O protótipo “A” com a média de 21,01°C com uma diferença de temperatura 2,19°C, e o protótipo “C” com uma média de temperatura do ar com 22,57°C e uma diferença de 0,63°C. O protótipo “C” proporciona uma temperatura mais próxima da temperatura média da área externa. As temperaturas superficiais de parede interna dos protótipos com e sem vegetação na face Leste, Norte e Oeste não ultrapassaram os valores próximos a 23°C. O protótipo “C” com temperatura superficial externa nas faces Leste e Oeste registraram valores

constantes em relação aos protótipos “A” e “B”. A umidade relativa do ar dos protótipos com vegetação alcançou valores maiores que o protótipo sem vegetação e da área do terreno com uma diferença de 26,29% no protótipo “A”, 20,47% no protótipo “B” e com 26,01%. A média de temperatura de globo alcançou o maior valor no protótipo “A” e consequentemente nos protótipos “C” e “B”.

A segunda fase desta pesquisa iniciou-se no período de inverno em 2015 e terminou no período do outono de 2016, atribuindo às quatro estações (primavera, verão, outono e inverno) e possibilitando a quantificação do fluxo de calor nos protótipos “A” e “C” com vegetação e sua orientação (Leste, Norte, Oeste). Com as diferenças nas médias de temperaturas superficiais das paredes internas e externas, é conhecido o valor do fluxo de calor ou fluxo térmico que ocorre sempre de maior energia térmica para a menor energia térmica (Tabela 12).

Tabela 12 – Média dos períodos medidos em 2015 e 2016.

Protótipo A					
	Temperatura do Ar °C	Temp. Sup. Int. °C	Temp. Sup. Ext. °C	Redução Int. / Ext. °C	Redução Int. / Ext. Gradiente °C
Inverno 2015	18,01				
Face Leste		21,74	23,43	-1,69	-1,5
Face Norte		22,34	25,76	-3,42	-2,44
Face Oeste		22	26,87	-4,87	-2,68
Primavera 2015	26,76				
Face Leste		20,37	23,17	-2,80	-2,83
Face Norte		22,93	24,71	-1,78	-2,10
Face Oeste		23,12	24,02	-0,90	-0,62
Verão 2015/2016	26,57				
Face Leste		21,89	27,75	-5,86	-3,37
Face Norte		23,73	27,22	-3,49	-3,00
Face Oeste		23,6	29,24	-5,64	-3,38
Outono 2016	23,20				
Face Leste		20,00	27,73	-7,73	-3,20
Face Norte		20,08	28,86	-8,78	-3,24
Face Oeste		21,96	31,66	-9,70	-3,28
Protótipo C					
	Temperatura do Ar °C	Temp. Sup. Inter. °C	Temp. Sup. Ext. °C	Redução Int. / Ext. °C	Redução Int. / Ext. Gradiente °C

Inverno 2015	18,01				
Face Leste		21,54	23,09	-1,55	-0,44
Face Norte		22,09	26,13	-4,04	-2,53
Face Oeste		21,98	23,28	-1,30	-0,85
Primavera 2015	26,76				
Face Leste		22,31	24,57	-2,26	-2,57
Face Norte		22,32	23,81	-1,49	-1,58
Face Oeste		22,63	22,52	0,11	0,18
Verão 2015/2016	26,57				
Face Leste		19,41	25,69	-6,28	-3,4
Face Norte		24,77	29,22	-4,45	-3,09
Face Oeste		25,1	27,45	-2,35	-4,05
Outono 2016	23,20				
Face Leste		21,73	29,7	-7,97	-3,31
Face Norte		22,29	29,82	-7,53	-3,26
Face Oeste		21,86	29,48	-7,62	-3,24

Para cada período medido, inverno, primavera, verão e outono, as maiores reduções de temperatura superficial entre as paredes com vegetação correspondem-se com a exposição da radiação solar de alta intensidade. A maior redução da temperatura de superfície observada no período de inverno no protótipo “A” com $-2,68^{\circ}\text{C}$ a Oeste e no protótipo “C” na fachada Norte com $-2,53^{\circ}\text{C}$. No período de primavera o protótipo “A” com $-2,83^{\circ}\text{C}$ a Leste e o protótipo “C” também na fachada Leste com $-2,57^{\circ}\text{C}$. O verão no protótipo “A” $-3,38^{\circ}\text{C}$ a Oeste e no protótipo “C” com $-4,05^{\circ}\text{C}$ a Oeste. O protótipo “A” no período de outono com $-3,28^{\circ}\text{C}$ no Oeste e no protótipo “C” $-3,31^{\circ}\text{C}$ a Leste. Para o protótipo “A” no período de inverno com o uso da vegetação afastada da edificação alcançou-se uma redução horária máxima de $8,89^{\circ}\text{C}$ no Oeste, $5,42^{\circ}\text{C}$ no Leste e $7,75^{\circ}\text{C}$ ao Norte. Para o protótipo “C” no período de inverno o uso da vegetação junto à edificação com valores de redução horária máxima de $5,27^{\circ}\text{C}$ Oeste, $8,12^{\circ}\text{C}$ Norte e $5,08^{\circ}\text{C}$ Leste. No período de primavera o protótipo “A” o gradiente de temperatura da parede exterior/interior variou $-2,83^{\circ}\text{C}$ Leste, $-2,10^{\circ}\text{C}$ Norte e $-0,62^{\circ}\text{C}$ Oeste. O protótipo “C” mostrou valores de $-2,57^{\circ}\text{C}$ Leste, $-1,58^{\circ}\text{C}$ Norte e $0,18^{\circ}\text{C}$ Oeste. O protótipo “A” alcançou uma redução horária máxima de $2,74^{\circ}\text{C}$ Oeste, $2,05^{\circ}\text{C}$ Norte e $3,54^{\circ}\text{C}$ Leste.

Para o protótipo “C” a redução horária máxima mostrou os valores de $4,24^{\circ}\text{C}$ Oeste, $2,95^{\circ}\text{C}$ Norte e $2,19^{\circ}\text{C}$ Leste. No período medido de verão o protótipo “A” mostrou valores de gradiente de temperatura para a fachada Leste de $-2,83^{\circ}\text{C}$, na fachada Norte $-2,10^{\circ}\text{C}$ e na fachada Oeste $-0,62^{\circ}\text{C}$. No protótipo “C” os valores são $-3,40^{\circ}\text{C}$ Leste, $-3,09^{\circ}\text{C}$ Norte e -

4,05°C Oeste. A redução horária máxima no período de verão no protótipo “A” é 1,18°C Leste, -6,5°C Norte e 2,67°C Oeste. No protótipo “C” no período de verão 0,88°C Leste e Oeste e 2,65°C Norte. Para o período de outono, o protótipo “A” tem valores de gradiente para a fachada Leste -3,20°C, fachada Norte -3,24°C e fachada Oeste -3,28°C. No protótipo “C” os valores de -3,31°C Leste, -3,26°C Norte e -3,24°C Oeste. Os valores de redução horária máxima no protótipo “A” com 8,46°C Oeste, 5,66°C Norte e 4,53°C Leste e para o protótipo “C” 6,50°C Leste, 6,62°C Norte e 6,28°C Oeste (Tabela 13).

4.7 Resistência Térmica para a segunda fase da pesquisa 2015/ 2016.

A camada de trepadeira em uma fachada pode efetivamente reduzir as temperaturas da superfície externa, proporcionando maior resistência térmica em dias de alta insolação, Susorova *et al.* (2013).

Resistência térmica (R): parede sem vegetação – Protótipo “B” (w/m°C) (Figura 71).

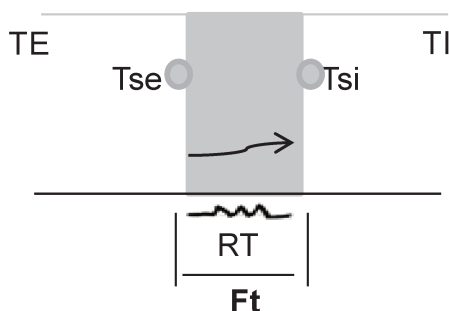


Figura 71 – Resistência térmica na parede sem vegetação.

Ft – fluxo total de calor da parede sem vegetação;

Tse – temperatura superficial externa da parede;

Tsi – temperatura superficial interna da parede;

Rt – resistência térmica total da parede sem vegetação.

A resistência térmica do protótipo “B” sem vegetação no período medido não apresentou grandes variações. Nas fachadas Norte e Oeste no período de inverno, primavera e outono mantêm os mesmos valores. Nas três fachadas no período de verão alcançou valores menores em relação aos demais (Tabela 13).

Tabela 13 – Resistência térmica – Parede sem vegetação: Protótipo “B”.

	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Face Leste	0,25	0,25	0,24	0,24
Face Norte	0,24	0,24	0,23	0,24
Face Oeste	0,24	0,24	0,23	0,24

Resistência térmica (R): parede com vegetação afastada 0,50m – Protótipo “A”
(w/m°C) (Figura 72).

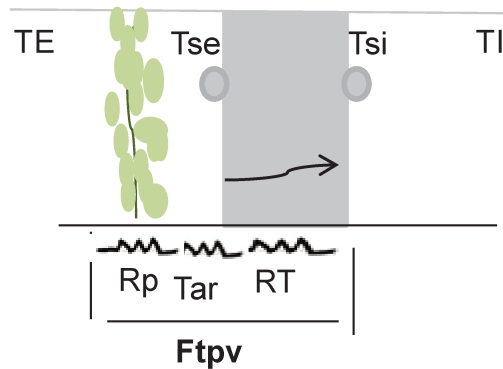


Figura 72 – Resistência térmica na parede com vegetação afastada.

Rtp – resistência térmica total da parede com vegetação;

Tarv – temperatura do ar entre a vegetação e a parede- protótipo “A”;

Rt – resistência térmica total da parede sem vegetação;

Ftp – fluxo total de calor da parede sem vegetação;

Ftpv – fluxo total de calor da parede com vegetação;

Tse – temperatura superficial externa da parede;

Tsi – temperatura superficial interna da parede.

Resistência térmica: parede com vegetação afastada 0,50 m - Protótipo “A” (w/m°C)
(Tabela 14).

Tabela 14 – Resistência térmica – Parede com vegetação afastada 0,50 m: Protótipo “A”.

	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Face Leste	0,04	0,05	0,28	0,44
Face Norte	0,10	0,08	0,16	0,40
Face Oeste	0,17	0,01	0,25	0,45

A resistência térmica do protótipo “A” no período do outono apresentou maiores valores indicando a presença da vegetação em todas as fachadas o que reduziu a passagem de calor.

No inverno e primavera, há menor quantidade de folhas, a resistência térmica superficial sofre a influência da temperatura e velocidade do ar alcançando os menores valores o que indica menor resistência na passagem de calor (Tabela 14).

Resistência térmica (R): parede com vegetação – Protótipo “C” (w/m°C) (Figura 73).

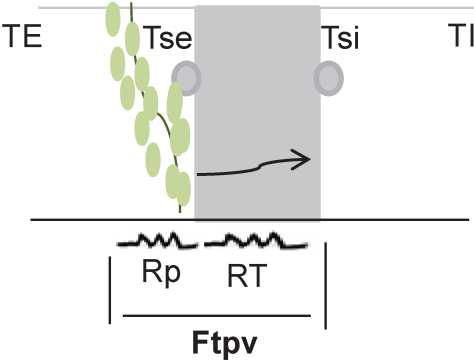


Figura 73 – Resistência térmica na parede com vegetação junto à edificação.

- Rtp – resistência térmica total da parede com vegetação;
- Rt – resistência térmica total da parede sem vegetação;
- Ftp – fluxo total de calor da parede sem vegetação;
- Ftpv – fluxo total de calor da parede com vegetação;
- Tse – temperatura superficial externa da parede;
- Tsi – temperatura superficial interna da parede.

Tabela 15 – Resistência térmica – Parede com vegetação: Protótipo “C”.

	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Face Leste	0,51	1,03	1,44	2,01
Face Norte	0,78	1,27	3,93	2,13
Face Oeste	0,47	1,29	3,64	3,43

Na resistência térmica no protótipo “C”, os resultados mostraram que os valores alcançados acompanharam o crescimento da trepadeira sobre a superfície e telhado. Nos períodos de verão e outono mostraram os maiores valores indicando a presença da vegetação em todas as fachadas e na cobertura indicando a resistência na passagem de calor. No período de inverno, há menor quantidade de folhas, a resistência térmica alcança os menores valores o que indica menor resistência na passagem de calor superficial. Na primavera a indicação da resistência térmica pelas fachadas traz valores significativos para a passagem de calor (Tabela 15).

4.8 Índice da Área Foliar

4.8.1 Índice da área foliar - ano 2014.

O índice da área foliar é o total da cobertura de folha por unidade de superfície que varia de acordo com o porte da planta. O índice indicado para vegetação de folha pequena e curta é de 0-1, para vegetação de médio porte é de 3 e para grande porte e densa vegetação é de 7 (AMARAL *et al.*, 1996).

Para cada tipo de vegetação há uma característica típica de folha desde a sua largura, textura, cor, forma, espinhos, que desempenha um papel importante na evapotranspiração da planta, mas também ajuda a evitar o superaquecimento em climas quentes e interceptar radiação em climas frios. Estes elementos das folhas podem variar a absorvidade da planta que é a fração da radiação solar incidente absorvida por uma superfície. Para a maioria das plantas que possuem folhas largas ou folhas caducas, a absorvidade da energia solar média é de 0,40 – 0,60 para ângulos de sol médio, para ângulos altos 0,48 – 0,56 e para ângulos de sol baixo 0,34 – 0,44 (JARVIS, McNAUGHTON, 1986).

O protótipo “C” com a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) no período medido, mostrou o maior valor (0,60) devido à quantidade e tamanho de folha sobre uma superfície e o protótipo “A” com a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores) mostrou um bom resultado de índice de área foliar sobre uma superfície com um valor de 0,44 (Tabela 16).

Tabela 16 – Índice da área foliar no ano de 2014.

	<i>Jasminum azoricum</i> L. (jasmim-dos-açores)	<i>Thunbergia grandiflora</i> (tumbérgia-azul)
	Terreno	Protótipo B
Média máxima	1438,1	1686,6
Média mínima	1060,6	971,4
Distribuição da folha em m ²	1m ²	1m ²
Fração do feixe	0,91	0,91
Índice da área foliar	0,44	0,60

4.8.2 Índice da área foliar - ano 2015 / 2016.

O índice da área foliar medido no período anual mostrou uma média de 0,90 para o protótipo “C” que possui a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul), o maior valor devido à quantidade e tamanho das folhas sobre as fachadas Leste, Oeste, Norte e cobertura. No protótipo “A”, com a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores) alcançou o valor para o índice de área foliar sobre as superfícies Leste, Norte e Oeste de 0,51 não

atingindo a cobertura. Essa diferença de valores entre as espécies de trepadeiras, é esperada devido às características morfológicas de cada espécie, mas ambas cumpriram de forma significativa seu papel como segunda pele, proporcionando um conforto térmico no ambiente interno. (Tabela 17).

Tabela 17 – Índice da Área Foliar – Anos 2015 e 2016.

Média Anual	Trepadeira afastada da edificação	Trepadeira sobre superfície da edificação
	<i>Jasminum azoricum L.</i> (jasmim-dos-açores)	<i>Thumbergia grandiflora</i> (tumbérgia-azul)
Média máxima	1674,9	1163,1
Média mínima	645,7	376,3
Distribuição da folha em m ²	1m ²	1m ²
Fração do feixe	0,91	0,91
Índice da área foliar	0,51	0,90

4.9 Fator Verde

Com os dados obtidos das medições realizadas nos protótipos dentro do período anual, e com as diferenças de uso da trepadeira na edificação, foram efetuados os cálculos de método de temperatura, fluxo de calor e o fator verde. O fator verde é o indicador de eficiência para toda edificação para minimizar o ganho de calor. A presença da trepadeira de forma quantificada indica sua capacidade em contribuir para o conforto térmico no ambiente interno de uma construção. O resultado do cálculo do Fator verde, mostra que a eficiência da vegetação em minimizar o ganho de calor está diretamente relacionada com a proporção da área foliar. Para o sistema de floreira, a trepadeira tumbérgia-azul indicou um resultado mais significativo que a trepadeira jasmim-dos-açores. Igualmente proporcional quando a trepadeira foi plantada no chão (solo). A tumbérgia-azul resultou um valor maior que o jasmim-dos-açores. A seguir, apresenta-se os resultados para o fator verde (Tabela 18).

Tabela 18 – Fator verde.

	Trepadeira sobre superfície da edificação (floreira)	Trepadeira afastada 50 cm da edificação (floreira)	Trepadeira sobre superfície da edificação (solo)	Trepadeira afastada 50 cm da edificação (solo)
<i>Jasminum azoricum</i> L. (jasmim-dos-açores)	0,46	0,38	–	0,52
<i>Thunbergia grandiflora</i> (tumbérgia-azul)	0,61	0,50	0,80	–

4.10 Conforto Térmico

O corpo humano mantém uma temperatura interna constante de 37°C. O corpo humano por meio do metabolismo produz energia que é resultado de reações químicas internas introduzidas em forma de alimento, água e ar extraído pela respiração (RUAS, 2002).

Os fatores ambientais como temperatura do ar, umidade do ar, pressão atmosférica, velocidade do ar, radiação solar influenciam no metabolismo, na atividade desempenhada e no conforto térmico humano que constantemente libera energia e qualquer alteração podem interferir na perda de calor o que afeta a sensação térmica (calor ou frio) (TALAIA, 2007).

Fanger (1970), estabeleceu um método que considera as variáveis ambientais, pessoais e um índice de sensação térmica com o conjunto das duas variáveis. Realizou-se o modelo proposto em uma câmara climatizada que determina atividade física, vestuário, idade e sexo. A sensação de conforto térmico está na função das trocas de calor existentes entre o corpo e o meio ambiente. Para avaliar o grau de desconforto, pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico, estipulou-se uma escala de sensação térmica denominada de PMV (*Predicted Mean Vote*), ou de VME (Voto Médio Estimado) criando uma relação entre duas grandezas e chamando de PEI (Porcentagem Estimada de Insatisfeitos). A escala classifica-se em: muito quente (+3), quente (+2), levemente quente (+1), neutro (0), levemente frio (-1), frio (-2) e muito frio (-3).

A Norma Internacional – ISO 7730 (2005), adotou o PMV (*Predicted Mean Vote*), para avaliar ambientes térmicos moderados nos intervalos de -2 a +2. Ultrapassar esse limite significa ter 80% das pessoas insatisfeitas configurando uma situação de desconforto térmico.

Ruas (2002), desenvolveu um programa computacional, Conforto 2.03, que possibilita a avaliação do conforto térmico do homem em um ambiente edificado, com os valores do VME (Voto Médio Estimado) e o PEI (Percentual de Insatisfeitos) de acordo com a ISO 7730. O objetivo é avaliar o conforto térmico dos protótipos com e sem vegetação a partir dos principais fatores na sensação térmica do homem (taxa de metabolismo, isolamento térmico,

temperatura radiante média, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar). Para esta simulação, nos dados de entrada utilizaram-se as médias ambientais de cada período medido (inverno, primavera, verão e outono) nos horários 10h00min, 12h00min e 15h00min. A atividade física sentada, relaxado 1MET, isolamento do vestiário CLO está indicado nas Tabelas de acordo com o sexo e estação do ano (Tabelas 19 a 30).

No período de inverno os protótipos “B” e “C” mostraram para o homem um valor menor de percentual de insatisfeitos e para as mulheres o protótipo “B” e “C” no horário da manhã alcançou o maior valor seguindo os protótipos “A” (Tabelas 19 a 21).

Tabela 19 – Inverno 2015 – Protótipo A.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	18,00	17,3	0,02	80	1,0	0,94	-0,96	24	0,92	-1,15	32
12:00	18,72	18,7	0,01	79	1,0	0,94	-0,85	20	0,92	-0,89	21
15:00	20,87	22,0	0,02	74	1,0	0,94	-0,14	5	0,92	-0,23	6

Tabela 20 – Inverno 2015 – Protótipo B.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	19,37	16,3	0,02	69	1,0	0,94	-1,06	28	0,92	-1,10	30
12:00	20,17	15,7	0,01	69	1,0	0,94	-1,00	26	0,92	-1,05	28
15:00	22,07	20,0	0,02	67	1,0	0,94	-0,16	5	0,92	-0,20	5

Tabela 21 – Inverno 2015 – Protótipo C.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	17,97	17,8	0,02	88	1,0	0,94	-1,03	27	0,92	-1,07	29
12:00	18,77	17,4	0,01	87	1,0	0,94	-0,94	23	0,92	-0,99	25
15:00	20,70	20,8	0,02	85	1,0	0,94	-0,27	6	0,92	-0,31	7

No período da primavera, no horário da manhã para o homem obteve-se um menor valor de percentual de insatisfeitos nos protótipos na sequência “A” e “B” e no horário da tarde na sequência de “C”. Para a mulher no horário da manhã e da tarde obteve-se o menor percentual de insatisfeitos na sequência dos protótipos “C”, “B” e “A”. O protótipo “C” para homem e mulher apresentou o menor percentual de insatisfeitos (Tabelas 22 a 24).

Tabela 22 – Primavera 2015 – Protótipo A.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	25,00	24,9	0,02	65	1,0	0,54	0,27	6	0,73	0,58	12
12:00	25,90	25,6	0,01	56	1,0	0,54	0,30	6	0,73	0,60	12
15:00	28,0	27,7	0,03	60	1,0	0,54	1,04	27	0,73	1,26	38

Tabela 23 – Primavera 2015 – Protótipo B.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	24,97	24,2	0,02	72	1,0	0,54	0,02	5	0,73	0,38	7
12:00	26,17	25,3	0,01	71	1,0	0,54	0,41	8	0,73	0,72	15
15:00	27,52	27,6	0,03	69	1,0	0,54	1,01	26	0,73	1,24	37

Tabela 24 – Primavera 2015 – Protótipo C.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	19,37	27,8	0,02	72	1,0	0,54	-0,59	12	0,73	-0,16	5
12:00	20,17	28,4	0,01	71	1,0	0,54	-0,34	7	0,73	0,06	5
15:00	22,07	29,1	0,03	67	1,0	0,54	0,28	6	0,73	0,59	12

O período de verão para homens mostrou no horário da manhã os maiores valores nos três protótipos de percentual de insatisfeitos. Para a mulher e no horário da manhã no protótipo “C” apresentou o maior percentual de insatisfeitos (Tabelas 25 a 27).

Tabela 25 – Verão 2015/2016 – Protótipo A.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	24,70	25,2	0,03	85	1,0	0,28	-0,41	8	0,29	-0,38	7
12:00	25,54	25,8	0,02	84	1,0	0,28	-0,13	5	0,29	-0,11	5
15:00	25,65	28,2	0,02	83	1,0	0,28	0,35	7	0,29	0,38	7

Tabela 26 – Verão 2015/2016 – Protótipo B.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	26,10	23,3	0,03	78	1,0	0,28	-0,46	9	0,29	-0,43	8
12:00	27,28	22,9	0,02	77	1,0	0,28	-0,28	6	0,29	-0,26	6
15:00	27,58	24,2	0,02	76	1,0	0,28	0,01	5	0,29	0,04	5

Tabela 27 – Verão 2015/2016 – Protótipo C.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	24,42	24,1	0,03	88	1,0	0,28	-0,66	14	0,29	-0,63	13
12:00	24,80	24,3	0,02	87	1,0	0,28	-0,53	10	0,29	-0,50	10
15:00	25,07	25,1	0,02	86	1,0	0,28	-0,35	7	0,29	-0,32	7

No período de outono no horário da tarde para o homem e para a mulher, mostrou um menor valor de percentual de insatisfeitos nos protótipos na sequência “A”, “B” e “C”. No horário da manhã às 10h00min o percentual de insatisfeitos para homem e mulher com maior valor apresentou-se no protótipo “B”, na sequência o protótipo “A” e depois no protótipo “C” (Tabela 28 a 30).

Tabela 28 – Outono 2016 – Protótipo A.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	21,42	19,5	0,01	81	1,0	0,70	-0,83	19	0,71	-0,81	18
12:00	24,67	17,7	0,01	80	1,0	0,70	-0,50	10	0,71	-0,48	10
15:00	24,70	19,4	0,03	80	1,0	0,70	-0,27	6	0,71	-0,25	6

Tabela 29 – Outono 2016 – Protótipo B.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	21,60	12,5	0,01	77	1,0	0,70	-1,67	60	0,71	-1,64	58
12:00	25,25	10,6	0,01	76	1,0	0,70	-1,33	41	0,71	-1,30	40
15:00	26,65	12,3	0,03	76	1,0	0,70	-0,92	23	0,71	-0,90	22

Tabela 30 – Outono 2016 – Protótipo C.

Horário	TBS (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)	M (met)	Icl (clo)M	VME	PEI (%)	Icl (clo)F	VME	PEI (%)
10:00	22,67	18,1	0,01	83	1,0	0,70	-0,79	18	0,71	-0,79	18
12:00	23,42	17,3	0,01	82	1,0	0,70	-0,74	16	0,71	-0,72	15
15:00	24,82	17,5	0,03	82	1,0	0,70	-0,48	9	0,71	-0,46	9

4.11 Análise Estatística

O método de análise estatística consiste em comparar os valores obtidos nas medições, nos protótipos, verificar se existe diferença significativa entre essas variáveis nas diferentes situações (CANCELO, ESPASA, 1993).

Para analisar a relação entre as séries temporais das variáveis de conforto térmico utilizou-se a análise da Função de Correlação Cruzada (CCF ou *Cross Correlation Function*). Essa análise mostra o quanto os resultados das medidas (anteriores, atuais ou posteriores) entre duas séries estão relacionadas. É calculado o *lag* entre as séries, ou seja, quanto tempo antes ou após as séries estão correlacionadas e verificadas a significância de cada *lag* a fim de se afirmar em que momento as séries estão correlacionadas (BOX; JENKINS, 1976).

Para comparação de duas séries temporais aplicou-se o Teste de Igualdade das Funções de Autocorrelação (COSTA, 2010). Este teste proposto por Quenouille (1958), visa verificar se duas séries temporais tem a mesma estrutura de correlação. O nível de significância adotado para os testes estatísticos foi 5%. Utilizou-se o programa computacional SPSS for Windows, versão 16.0 para esta função. Os gráficos são apresentados no anexo 1.

1ª Etapa da pesquisa: floreira.

Período de inverno e primavera de 2014 com as seguintes variáveis:

1ª opção de uso da vegetação com floreiras nos protótipos A e C: vegetação junto a parede; protótipo “B” sem vegetação.

2ª opção de uso da vegetação com floreiras nos protótipos A e C: vegetação junto a parede e vegetação na cobertura; protótipo B sem vegetação.

3ª opção de uso da vegetação com floreiras nos protótipos A e C: vegetação afastada a 0,50m da parede e vegetação na cobertura; protótipo B sem vegetação.

Período de inverno 2014:

- Temperatura do ar:

2ª opção de uso: protótipo A e B mostrou diferença de temperatura no horário da tarde.

3ª opção de uso: protótipo C mostrou diferença de temperatura no horário da tarde.

- Umidade do ar:

1ª e 2ª opção de uso: protótipo C mostrou diferença em todos os horários em relação aos protótipos A e B.

- Temperatura superficial interna/externa:

1ª, 2ª e 3ª opção de uso: para todos os protótipos não houve diferença significativa para a fachada norte.

1ª opção de uso: houve semelhança para o protótipo A na fachada leste e no protótipo C para a fachada oeste.

Período de primavera 2014:

- Temperatura do ar:

1ª, 2ª e 3ª opção de uso: houve correlação significativa entre os protótipos.

- Umidade do ar:

1ª, 2ª e 3ª opção de uso: houve correlação significativa entre os protótipos A e C e com defasagem semelhante no protótipo C.

- Temperatura superficial interna/externa:

1ª, 2ª e 3ª opção de uso: para todos os protótipos não houve diferença significativa para a fachada norte.

2ª opção de uso: protótipos A e C houve correlação significativa com defasagem semelhante na fachada oeste.

2ª Etapa da pesquisa: solo (chão).

Período de inverno, primavera, verão e outono do ano de 2015 e 2016.

Protótipo A: *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores), trepadeira afastada 0,50m da parede.

Protótipo B: sem vegetação – testemunha.

Protótipo C: *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul), trepadeira junto da parede e na cobertura.

-Temperatura do ar:

Houve uma correlação significativa da temperatura do ar da área externa com os protótipos A e C.

O resultado da temperatura do ar entre os protótipos, o mais significativo no período de inverno e verão é o protótipo C.

- Umidade do ar:

Houve diferença significativa entre as séries, a exceção do outono com o protótipo C em relação aos protótipos A e B.

-Temperatura superficial interna/externa:

Houve correlação significativa entre as séries no inverno 2015 no protótipo A face leste e no protótipo C na face oeste e de valor igual para a face norte em todos os protótipos.

Protótipos A,B e C mostrou defasagem semelhante para todas as faces no período de primavera e verão.

Nas fachadas externas leste, norte e oeste nos protótipos A e C não houve diferença significativa no outono, mas na fachada interna o protótipo A mostrou uma diferença na face leste e oeste e no protótipo C na face oeste e leste.

5 DISCUSSÃO

Este trabalho verificou a contribuição da parede verde nas fachadas Leste, Norte e Oeste e cobertura de uma edificação para minimizar o ganho de calor. Construíram-se protótipos para o desenvolvimento desta pesquisa de forma experimental, na cidade de Campinas, SP. Escolheram-se duas espécies de trepadeiras, *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) para o protótipo “C” e *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores) para o protótipo “A”, aplicadas sobre a superfície da edificação com sistemas diferenciados e o protótipo “B” sem vegetação como testemunha. Na primeira etapa desta pesquisa, decidiu-se que as trepadeiras seriam plantadas em floreiras com suporte de rodízio. Na segunda etapa, as trepadeiras foram plantas diretamente no solo (chão). Para realizar as medições adotou-se o sistema de aplicação diretamente na superfície dos protótipos, sobre uma treliça afastada da parede e na cobertura. O experimento envolveu medições de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, temperatura superficial da parede externa e interna, radiação solar e área foliar. Os dados medidos foram quantificados, calculados, comparados e analisados para verificação do efeito térmico que as trepadeiras cumprem, como segunda pele, sobre uma edificação.

Na primeira etapa da pesquisa, o efeito térmico da trepadeira quando utilizada junto a edificação no período de inverno resultou uma diferença entre a temperatura externa para a interna com redução no protótipo “A” de 4,93%, no protótipo “B” 5,86% e no protótipo “C” 6,94%. Neste período medido, a fachada Oeste alcançou o melhor resultado nos protótipos “A” e “C”. Na segunda opção de uso a trepadeira junto a edificação e na cobertura o percentual de temperatura externa e interna alcançou os valores no protótipo “A” de 1,52%, protótipo “B” 1,48% e no protótipo “C” 0,24%. A fachada com melhor desempenho no protótipo “A” é Leste e no protótipo “C” foi a Oeste. A terceira forma de uso a trepadeira é afastada da parede 0,50 m e com trepadeira na cobertura. A diferença entre a temperatura externa para a interna resultou para o protótipo “A” um percentual de 5,69%, para o protótipo “B” 5,21% e o protótipo “C” 2,07%. A fachada Norte mostrou um melhor desempenho para os protótipos “A” e “C”.

No período de primavera com a utilização da trepadeira junto a edificação atingiu valores em percentuais entre a temperatura do ar da área externa e a temperatura do ar interna dos protótipos com uma diferença de 6,76% no protótipo “A”, 2% no protótipo “B” e 5,79% no protótipo “C”. A fachada oeste apresentou o melhor desempenho para o protótipo “A” e “C” no período medido. A segunda opção de uso da vegetação junto da fachada e na cobertura o percentual do protótipo “A” alcançou o valor de 4,56%, o protótipo “B” 6,62% e o protótipo

“C” 1,54%. Novamente a fachada Oeste para os protótipos “A” e “C” mostrou o melhor desempenho. A terceira opção de uso com a trepadeira afastada 0,50 m da parede e com trepadeira na cobertura o protótipo “A” mostrou o valor de 2,23%, o protótipo “B” 8,71% e o protótipo “C” 2,92. Para o protótipo “A” as fachadas Leste e Oeste apresentaram desempenho igualmente e no protótipo “C” somente na fachada Leste.

No período do inverno a média da umidade relativa do ar da área externa mostrou valores menores em relação aos protótipos “A”, “B” e “C” o que resultou uma diferença de 4,83% na primeira opção de uso da vegetação junto a fachada, 7,52% na segunda opção de uso da vegetação junto da fachada e na cobertura e seguindo o mesmo padrão 13,69% quando o uso da vegetação é afastado a 0,50 m da parede e com vegetação na cobertura. Os valores da umidade relativa do ar da área externa para a área interna no período de primavera com a primeira opção de uso, vegetação junto à edificação, mostraram uma diferença de 8,17%, na segunda opção de uso da trepadeira na edificação com 13,20% e na terceira opção trepadeira afastada 0,50 m e vegetação na cobertura com 9,69%. Nos dois períodos medidos, os protótipos com vegetação apresentaram um percentual maior em relação à área externa, indicando uma umidade relativa com valores de conforto térmico.

A área foliar do protótipo “A” no período medido de inverno e primavera nas três opções de uso da vegetação na edificação alcançou um índice de 0,44 e o protótipo “C” 0,60. Este índice é o percentual de folha em 1,0 m² que identifica que a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) no protótipo “C” mostrou os melhores resultados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura superficial da parede externa e interna devido ao tamanho e quantidade de folha. O protótipo “A” com a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores) desempenhou um resultado significativo com valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura superficial da parede externa e interna.

A indicação de uso da trepadeira em floreira resultou o melhor desempenho térmico para a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores), na face Leste e com a primeira opção de uso, vegetação junto a edificação. A trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) exerce melhor desempenho na fachada Oeste e como segunda opção de uso junto a edificação e na cobertura. A parede verde com plantio em floreira possibilita o uso em diferentes situações como área que não possui solo (terra), varandas, janelas e sacadas.

O índice do fator verde é o indicador de eficiência para toda edificação em minimizar o ganho de calor. Para a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores) com opção de uso junto a edificação apurou-se o valor de 0,46; quando afastada da edificação a 0,50 m, o

valor obtido é 0,50. Para a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) junto a edificação, respectivamente 0,61 e 0,50.

Na segunda etapa da pesquisa o protótipo “A” recebeu a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores), afastada a 0,50 m da parede; para o protótipo “C”, a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) foi plantada junto às paredes da edificação.

No período de inverno o efeito térmico nos protótipos com vegetação e sem vegetação mostrou diferenças significativa a temperatura do ar externo para a temperatura interna reduziu-se percentualmente em 20,30% para o protótipo “A”, 7,22% para o protótipo “B” e 10,12% para o protótipo “C”. O uso da trepadeira na fachada Oeste mostrou melhor desempenho para o protótipo “A” já para o protótipo “C”, a melhor fachada foi Norte. O cálculo da resistência térmica indicou uma redução da passagem de calor na fachada Norte para os protótipos “A” e “C”.

Na primavera o efeito térmico indicou uma redução de temperatura do ar externo para o interno com um percentual de 3,18% para o protótipo “C”, 2,61% no protótipo “A” e 1,12% para o protótipo “B” sem vegetação. Na comparação das orientações de fachadas, o melhor foi a Leste para os protótipos “A” e “C”. Quanto à resistência térmica o protótipo “A” teve a fachada Norte com melhor desempenho, confirmando o resultado do período de inverno; para o protótipo “C”, a fachada Oeste teve a maior redução da passagem de calor, indicando um bom crescimento da vegetação sobre a parede nessa orientação.

No período de verão, as diferenças entre temperaturas externa e interna do ar foram percentualmente 2,59% no protótipo “B”, sem vegetação, 6,01% para o protótipo “A” e 9,79% no protótipo “C”. Em relação às fachadas o melhor desempenho foi a fachada Oeste para os protótipos “A” e “C”. A resistência térmica indicou maior redução da passagem de calor na fachada Leste para o protótipo “A” e na fachada Norte para o protótipo “C”.

No outono, observou-se diferença de temperatura do ar externo e interno com um percentual de redução para o protótipo “B” de 1,60%, para o protótipo “C” 2,75% e para o protótipo “A” 9,90%. No protótipo “C”, o melhor desempenho foi na fachada foi a face Leste, e para o protótipo “A” a fachada Oeste. A resistência térmica indicou redução da passagem de calor para o protótipo “A” e “C” na fachada Oeste. Neste período, o crescimento da trepadeira foi melhor para o protótipo “A”, na fachada Oeste.

Na segunda etapa de medição, a umidade relativa do ar para os períodos de inverno, primavera, verão e outono, mostrou valores menores na área externa em relação à área interna dos três protótipos. No período de inverno, observou-se diferença percentual entre a área

externa e o protótipo “A” de 23,11%, para o protótipo “B” 18,16% e 44,05% para o protótipo “C”.

Na primavera, essas diferenças foram respectivamente, para o protótipo “A” 30,40%, para o protótipo “B” 26,13% e para “C” 36,28%. No verão esses valores foram respectivamente de 25,21% para o protótipo “A”, 24,52% para o protótipo “B” e 26,05% para o protótipo “C”. No período de outono os valores foram para “A”, 29,99%, para o “B”, 22,80% e para o “C” 30,28%. Os valores com maior percentual indicam a presença da trepadeira com maior quantidade de folhas.

Quanto ao índice de área foliar (LAI) do protótipo “A” considerando-se inverno, primavera, verão e outono, para a trepadeira afastada 0,50 m da parede da edificação alcançou um índice de 0,51 e no protótipo “C”, com a vegetação junto da edificação e na cobertura o valor de 0,90. Este é um indicador do percentual de folha em 1,0 m², e está coerente com os melhores resultados para a temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura superficial da parede externa e interna para a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) no protótipo “C”, devido a maior quantidade e dimensionamento de folhas.

Em relação à indicação de uso mais eficiente, para a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores), o melhor é quando plantada a uma distância de 0,50m da parede, pois o desempenho nesse caso foi bom para as três fachadas analisadas. A trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul), plantada junto à parede da edificação, também tem bom desempenho nas três fachadas, Oeste, Leste e Norte.

Comprovou-se que a presença da trepadeira em uma edificação contribui para o conforto térmico também como a determinação do fator verde, um indicador da eficiência da trepadeira em minimizar o ganho de calor. Para a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) apresenta-se um índice alto, de 0,80 e para a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores), um valor menor, mas também significativo, 0,52.

O índice do fator verde é um indicador de eficiência da trepadeira para minimizar o ganho de calor. A trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores), plantada em floreira e utilizada junto a edificação tem o índice de 0,46 e afastada 0,50 m da parede seu índice é de 0,38. Seu melhor desempenho está nas fachadas Leste e Oeste seguido pela fachada Norte. Após o plantio da trepadeira no solo, o índice de fator verde com seu afastamento a 0,50 m da parede é de 0,52 apresentando melhor desempenho na redução do ganho de calor nas fachadas Leste e Oeste.

A trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul), plantada em floreira alcançou o índice do fator verde de 0,61 quando aplicada junto a edificação e de 0,50 quando está

afastada a 0,50 m da parede. No sistema de plantio direto no solo (chão), com a trepadeira junto a edificação e na cobertura, o índice fator verde é de 0,80. O desempenho na redução do ganho de calor apresenta-se mais evidente nas fachadas Norte e Oeste.

Observou-se que, para o clima de Campinas, SP, no inverno, o uso da trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) em floreira é indicado junto à parede, afastado e sobre a cobertura na face Norte. A diferença de temperatura do ar na área interna para a externa alcançou o valor de 0,25°C, seguindo a terceira opção de uso da trepadeira com 0,50m afastada da parede e com trepadeira na cobertura o valor de 0,46°C. A trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-azores) com a segunda opção de uso trepadeira junto à edificação e sobre a cobertura apurou uma diferença de temperatura de 0,32°C, na segunda opção de uso 1,02°C e na terceira 1,24°C.

Esses resultados indicam que a trepadeira junto à edificação e na cobertura potencializa o atraso térmico. No período de primavera, as trepadeiras apresentaram poucas folhas devido à seca e neste ano, as pragas (lagartas, grilos e formigas). O uso da trepadeira afastada 0,50 m da edificação nos protótipos “A” e “C” resultou em temperaturas internas com valores maiores que a temperatura externa, no protótipo “B” o resultado foi idêntico. Na segunda opção, com vegetação junto a edificação e na cobertura no protótipo “C”, atingiu-se um valor de 0,38°C de temperatura do ar interno sendo mais elevado que a temperatura do ar externa. A fachada Oeste indicou melhor resultado na redução de ganho de calor para os protótipos “A” e “C”. A primeira opção de uso com a trepadeira junto a edificação no protótipo “A”, mostrou uma diferença 1,24°C de temperatura do ar interno para a temperatura do ar externo, o protótipo “C” 1,36°C e o protótipo “B” com 0,48°C. Este resultado evidencia que a presença da trepadeira nas fachadas traz uma redução de ganho de calor.

Na segunda etapa da pesquisa, as trepadeiras foram plantadas diretamente no solo o que propiciou melhor resultado no seu desenvolvimento. O protótipo “A” ficou com a trepadeira *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-azores) no sistema de uso da vegetação com 0,50 m afastada da parede. O protótipo “C”, com a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) no sistema de uso junto à edificação e no período do seu crescimento alcançou a cobertura. O protótipo “B” sem vegetação é testemunha.

No inverno de 2015, a média da temperatura do ar externo apresentou um valor de 18,01°C, o protótipo “A” com 22,56°C, o protótipo “C” 22,78°C e o protótipo “B” com 23,66°C. Os protótipos com vegetação mostram resultados significativos no período diurno e noturno indicando inércia térmica. O protótipo “B” somente no período diurno.

Na estação da primavera, o protótipo “C” apresentou uma diferença de temperatura do ar interno para o externo de $0,84^{\circ}\text{C}$ e o protótipo “A” com $0,69^{\circ}\text{C}$. A indicação de uso para melhor resultado da redução do ganho de calor para o protótipo “A” é a fachada Norte e para o protótipo “C” a fachada Oeste.

A média de temperatura do ar para o período de verão alcançou o valor de $26,57^{\circ}\text{C}$. O protótipo “B” atingiu o valor de $25,89^{\circ}\text{C}$ da temperatura do ar interno, o protótipo “A” com média de temperatura do ar interno de $25,02^{\circ}\text{C}$ e uma diferença de $1,55^{\circ}\text{C}$, e o protótipo “C” com valor de $24,09^{\circ}\text{C}$ com uma diferença de $2,48^{\circ}\text{C}$. O protótipo “C” neste período estava com trepadeira em todas as fachadas (Leste, Norte e Oeste), e na cobertura recobertas de folhas criando uma segunda pele. A fachada com o melhor desempenho para a redução do ganho de calor nos protótipos “A” e “C” é a fachada Oeste.

No outono, a média da temperatura do ar externo é de $23,20^{\circ}\text{C}$. Todos os protótipos mostram valores menores de temperatura do ar interno. A diferença para o protótipo “B” foi de $1,53^{\circ}\text{C}$, o protótipo “A” com diferença de $2,19^{\circ}\text{C}$ e o protótipo “C” com $0,63^{\circ}\text{C}$. No período noturno o protótipo “C” apresenta valores de temperatura do ar interno mais elevado do que a temperatura do ar externo.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou a influência da trepadeira como segunda pele atenuando o ganho de calor nos ambientes internos. Buscou-se apresentar um método de estudo experimental com obtenção das variáveis ambientais, analisadas estatisticamente.

Avaliou-se a contribuição da parede verde em fachadas orientadas a Leste, Norte e Oeste e na cobertura de uma edificação para minimizar o ganho de calor. Foram estudadas duas espécies de trepadeiras, o *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores) e a trepadeira *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul), comparando-se seu desempenho com aquele de uma edificação sem parede ou cobertura verde.

O comportamento foi estudado para as trepadeiras plantadas em floreiras com suporte de rodizio e para as mesmas plantas diretamente no solo.

Foram obtidos os parâmetros que indicam a eficiência da trepadeira na atenuação do ganho de calor, como o fator verde e a resistência da parede quando coberta pela planta.

A análise dos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura de globo, temperatura superficial de parede externa e interna, nos protótipos “A”, “B” e “C” apresentaram resultados significativos para o uso da trepadeira na edificação como segunda pele exercendo a função de minimizar o ganho de calor.

A cidade de Campinas, SP, indica-se o uso da trepadeira tanto afastada da parede a 0,50 m, como plantada junto à parede e na cobertura para o inverno e verão. Recomenda-se também o uso de trepadeira da espécie caduca - *Parthenocissus Tricuspidata* - hera-japonesa junto à edificação (Morelli, 2009).

O presente trabalho analisou vários aspectos do conforto térmico em edificação e a influência da trepadeira como segunda pele atenuando o ganho de calor nos ambientes internos. Buscou-se apresentar um método de estudo experimental com obtenção das variáveis ambientais, analisadas estatisticamente.

Portanto, conclui-se que o uso da vegetação (trepadeira) das espécies *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) e *Jasminum azoricum* L. (jasmim-dos-açores), apresentou resultados satisfatórios perante as medições nos protótipos, evidenciando-se através da análise estatística sua viabilidade para mitigar o ganho de calor no interior da edificação nas três possibilidades de uso.

Sugestão para trabalhos futuros

Alguns aspectos relacionados ao tema serão muito significativos para aprimorar este assunto e não foram abordados neste trabalho.

Sugere-se, a seguinte relação para pesquisas a serem realizada futuramente:

- análise da influencia da parede verde em áreas urbanas;
- analisar o impacto da parede verde no microclima local, imediato da área externa com relação à temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento ao usuário;
- realizar simulações em outras zonas bioclimáticas do Brasil a fim de adquirir novos resultados e possibilidades de uso;
- simular o efeito da segunda pele com outras espécies de trepadeiras;
- avaliar a eficiência do edifício com parede verde e o consumo de energia;
- avaliar o desempenho térmico da parede verde com outros materiais de fechamento de uma edificação;
- avaliar o desempenho térmico da parede verde em estrutura de cobertura (ex.: pergolado) em área externa.
- avaliar o conforto visual no edifício e na paisagem urbana.

7 REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 6123. **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988.
- ABNT. NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.
- ABNT. NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e 111 diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.
- ABREU, L.V. **Contribuições das árvores para o bioclima térmico no desenho urbano em cidades tropicais: O caso de Campinas, SP**. 2012. 148 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)– Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2012.
- ALEXANDRI, E.; JONES, P.; **Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates**. In: Building and Environment, Elsevier, vol. 43, p. 480-493, 2006.
- ALMEIDA, G, (Org.). **Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental nas cidades: estratégias a partir de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora UFRGS, p. 259-288, 2004.
- AMARAL, S. et al. **Relações entre índice de área foliar (LAI), área basal e índice de vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na floresta amazônica em Rondônia**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 1996, Salvador. *Anais...* Salvador: IMPE, 1996, p. 485-489.
- AMORIM, C. N. D. **Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática: estudo de casos na região de Brasília**. 1998. 173 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - UNB, Brasília, 1998.
- ANDRADE, H. **Clima urbano, natureza, escala de análise aplicabilidade**. In: Finisterra XL, Lisboa, Portugal, vol. 80, p. 67-91, 2005.
- ARIAUDO, F. et al. **Cooling load reduction by green walls: results from an experimental campaign**. In: Energy Efficiency and New Approaches, Bayazit, Manioglu, Oral & Yilmaz, Technical University, Istanbul, Turkey, p. 169-175, 2009.
- BALDESSAR, S. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão de água pluvial escoada**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil)– UFPR, Curitiba, 2012.
- BEATRICE, C. C. **Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental)- USP, São Carlos, 2011.
- BINABID, J. **Vertical garden: the study of vertical garden and their benefits for low-rise buildings in moderate and hot climates**. 125 p. Thesis (Master of Building Science)– University of Southern California, Los Angeles, USA, 2010.
- BRAGA, D. K. **Arquitetura residencial das superquadras do plano piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico**. 168 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)– UNB, Brasília, 2005.
- BOX, G. E. P. & JENKINS, G. M. **Time series analysis: forecasting and control**. 2 ed. Ed. San Francisco, Holden Day, 1976.
- BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **Influencia da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. 2003. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2003.

CAETANO, F. D. N. **Influência de muros vivos sobre o desempenho térmico de edifícios**. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2014.

CANCELO, J. R. & ESPASA, A. **Métodos cuantitativos para el análisis de la coyuntura económica**. In: Business & Economist, Alianza Editorial, Madrid, España, vol. 48, n. 5, p. 1749-1778, 1993.

CARVALHO, M. M. **Clima urbano e vegetação: estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal**. 2001. 283 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFRGN, Natal, 2001.

CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A.; **Uso de telhados verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano**. Disponível em: <http://www.ecotelhado.com/wp-content/uploads/2015/03/ESCOAMENTO-SUPERFICIAL-URBANO.pdf>. Acesso em 16 ago. 2010.

CATUZZO, H. **Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. o caso da cidade de São Paulo**. 2013. 206 f. Tese (Doutorado em Geografia Física)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 2013.

COSTA, E. C. **Física aplicada à construção. Conforto térmico**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COSTA, F. M. **Comparação estatística de duas séries de material particulado (MP₁₀) na cidade de São Paulo**. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária)- UFL, Lavras, 2010.

DACANAL, C. **Fragmentos florestais urbanos e interações climáticas em diferentes escalas: estudo em Campinas**. 2011. 249 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2011.

DE PAULA, R. Z. R. **A Influência da vegetação no conforto térmico do ambiente Construído**. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2004.

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 19 maio 2009.

DIMOUDI, A. NIKILOPOULOU, M. **Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits**. Energy and Buildings, England, UK, vol. 35, n. 1, p. 69-76, 2003.

DOBBERT, L. Y.; ZANLORENZI, H. C. P. **Arborização urbana e conforto térmico: um estudo para a cidade de Campinas**. Revista Lab Verde, n. 9, p. 74-85, 2014.

DUNNETT, N. KINGSBURY, N. **Planting green roofs and living walls**. In: Timber Press, Inc. p. 254. Portland, Oregon, USA. 2008

FANGER, P. O. **Thermal comfort**. McGraw Hill, New York, 1972.

FAISCA, G. R.; TEIXEIRA, W. **Estratégia para revitalização energética em edifícios existentes**. In: Congresso nacional de excelência de gestão. Rio de Janeiro, RJ., p1-20, 2013.

FERRAZ, I. L. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. 2012. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2012.

FERREIRA, E.; STUTE, W. **Testing for differences between conditional means in a time series context**. In: Journal of the American Statistical Association, vol. 99, n 468, p. 169-174, 2004

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GENTLEMAN, R.; IHAKA, R. **A language and environment for statistical computing**. The Statistics Department of the University of Auckland. Vienna, Austria, 2008.

GOMES, M. A. S.; SOARES, B. R. **A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre os espaços verdes em cidades médias brasileiras**. Estudos Geográficos, Rio Claro, vol. 1, n. 1, p. 19-29, 2003.

GIVONI, B. *Man climate and architecture*. London: Applied Science Pub, 2 ed., 482p, 1981.

_____. **Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems**. Energy and Buildings, n. 17, p. 177-199, 1991.

_____. **Climate considerations in building and urban design**. John Wiley & Sons, Inc. 464p, 1998.

HOLMAN, J. P. **Transferência de calor**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

HUNTER ET. AL., **Quantifying the Thermal the Performance of green façades: A critical review**. In: Ecological Engineering, Elsevier, vol. 63, p. 102-113, 2014

INTERNATIONAL STANDARD, **ISO 7730**. Ergonomics of the Thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. 2005.

IP, K. LAM, M. MILLER, A.; **Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy**. In: Building and Environment, Elsevier, vol. 45, p.1-18, 2009

IZARD, J-L, GUYOT. A. **Tecnologia y Arquitectura – Arquitetura bioclimática**. Mexico, D.F.: Gustavo Gili, 1983.

JARVIS, P.G. McNAUGHTON, K.G. **Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region**. Advances in Ecological Research. Vol.15, pg. 1-49, 1986.

JOHNSTON,J. NEWTON,J.; **Building Green**. A Guide to Using Plants on Roofs, Walls and Pavements. London, 1993. The London Ecology Unit. 1º Ed. p.95, 1993.

JOLY,A.B.; **Botânica – Introdução à Taxonomia Vegetal**. Companhia Editora Nacional, São Paulo vol.4. 8ªEd. p.777, 1987.

KÖHLER, M.; **Green Facades – A View Back and Some Visions**. Urban Ecosystems, Springer, vol.19 P.421 – 436, 2008.

KONTOLEON, K.J.; EUMORFOPOULOU, E.A.; **The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone**. Building and Environment, Elsevier, vol. 45, p.1287-1303, 2010.

KRÜGER, E.L.; DRACH, P.R.C.; EMMANUEL, R.; CORBELL, O.D. **Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado: o caso de Glasgow, Reino Unido**. Ambiente Construído. vol.12, n 1, Porto Alegre, 2012.

LABAKI, L.C.; FONTES, M.S.G.C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C.L.; DACANAL, C. **Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.12, n.1, p.167-183, 2012.

LAMOTA, M. G; LABAKI, L. C.; **Estudo do Clima de Campinas: A Dificuldade de Caracterização e Proposição de Recomendações de Projeto para Climas Compostos**. 60ª Reunião Anual da SBPC – Campinas – SP, 2008.

LANHAM, A., GAMA, P., BRAZ, R. **Arquitetura Bioclimática. Perspectivas de inovação e futuro**. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, Portugal, p. 66, 2004.

LEENHARDT, J., LAMBERTINI, A. **Vertical Gardens**. London, UK. Ed. Verbavolant. 1ªEd. p.239, 2007.

LEENHARDT, J.; **Nos Jardins de Burle Marx**. São Paulo. Editora Perspectiva, p. 150, 1996.

LIMA, J. E.J.; ET AL; **Aplicação de Análise Hierárquica Para Escolha de Sistema de Fachada Vegetais em Curitiba**. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção. vol.2, n2, 2014.

LIMA JUNIOR, **Avaliação da Influência dos Sistemas de Fachadas vivas no Desempenho Térmico de Paredes Opacas em Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

LOH, S.; **Living Walls – A Way To Green The Built Environment**. BEDP Environment Design Guide, p.1-7, 2008.

LOMBARDO, M.A.; **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

LOMBARDO, M. A.; **Vegetação e Clima**. In: Encontro Nacional sobre Arborização Urbana, 3, Curitiba, 1999. Anais...Curitiba, p.1-13, 1990.

LORENZI, H. SOUZA, H.M. **Plantas Ornamentais no Brasil. Arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda. Nova Odessa, SP. 3ªEd. p,1088, 2001.

MACEDO, S.S.; **A vegetação como Elemento de Arquitetura**. Paisagem e Ambiente – vol.04, p.11-13, 1982.

MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana**. 2. ed. Porto Alegre: +4 Editora, 2004.

MATHEUS,C., CAETANO, F.D.N., MORELLI, D.D.O., LABAKI, L.C. **Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.16, n.1, p.71-81, jan./mar. 2016.

MATTHES, L.A.F.; **Jardins: Origem, Evolução, Características e sua Interação com Jardins Botânicos**. O Agrônomo, Campinas, SP. vol.02 n54, p. 29-32, 2002.

MATSUMOTO, E. **Calibração do túnel de vento de camada limite atmosférica e ensaios de aberturas em edificações utilizando modelos reduzidos**. Projeto de Pesquisa Pós-Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo-FEC, Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP. Campinas. 2008.

MATZARAKIS, A., RUTZ, F., MAYER, H., **Aplicativo computacional Ray Man 1.2**. Disponível em <http://www.mif.unifreiburg.de/rayman/2000>> Acesso em fev. 2015.

McDONOUGH, W.; **Green Roofs Ecological Design and Construction**. Schiffer Books. 2005,158p.ISBN 0-7643-2189-7

McPHERSON, G.; **Urban Tree Planting and Greenhouse Gas Reductions**. ARBORIST • NEWS, Califórnia, USA. Junho, 2007, p. 32-34. Disponível em <http://www.isa-arbor.com>> Acesso em 19 jul. 2014.

MENDONÇA, E.D.D., CAMPELO,J.H.J., PRIANTE,N.F.; **Estimativa da Emissividade Atmosférica em Santo Antônio do Leverger – MT**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.4, n2, p.63-71, 1996.

MONTEIRO,C.A.F.,MENDONÇA,F.; **Clima Urbano**. Ed.Contexto. São Paulo, SP., p.192, 2003.

MONTEIRO, L, M.; ALUCCI, M.P.; **Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, vol.7, n3, p.43-58, 2007.

MORAIS, J.M.S.C.; LABAKI, L.C. **Ventilação natural em edifícios do “Programa Minha Casa Minha Vida”: Alerta aos projetistas**. XII Encac Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, VIII Elacac Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído. Brasília, 2013

MORELLI, D.D.O.; **Paredes Verdes: Vegetação Como Qualidade Ambiental no Espaço Construído.** Campinas – SP. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. UNICAMP. Campinas, 2009.

MOURA, M.O.; ZANELLA, M.E.; SALES, M.C.L.; **Ilhas Térmicas na Cidade de Fortaleza – Ceará.** Boletim Goiano de Geografia, Goiânia – Goiás – Brasil. Vol.28, n2, p.33-44, 2008.

NEVES, L.D.O. **A arquitetura de Severiano Porto sob enfoque bioclimático: ventilação natural no campus da Universidade do Amazonas, Manaus.** ENTAC – Nov. 2006 – Florianópolis. Anais ANTAC, 2006.

NOGUEIRA, F. **Grupo que transformar São Paulo com os jardins verticais.** BBC Brasil, São Paulo, 28 Maio 2013. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/videos_e_fotos/2013/05/130523_jardins_sp_fn.shtml> Acesso 19 ago. 2013.

OKE, T.R.; **The distinction between canopy and urban boundary-layer heat islands.** Atmosphere. vol.14, p.167-174, 1976.

OLIVERIA ET AL., **O Contributo Potencial dos Espaços Verdes para a Adaptação às Alterações Climáticas nas cidades. O Exemplo de dois Jardins de Lisboa.** UrbKlim: clima e sustentabilidade urbana. Percepção do conforto e riscos climáticos. Disponível em: <<http://www.ceg.ul.pt/urbklim/index.html>> Acesso em 14 jun. 2014.

OLGYAY, V.; **TArquitecturay y Clima. Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas.** 1ª Ed. Editora Gustavo Gili, 1998.

PÉREZ, G.; RINCÓN L.; VILA A.; GONZÁLEZ J.M.; CABEZA L.F. **Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings.** Applied Energy. Elsevier, vol.88 p. 4854 – 4859, 2011.

PERINI, K.; OTTELÉ, M.; FRAAIJ, A.; RAITERI, R., **Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope,** Building and Environment, Elsevier, vol.46 p. 2287-2294, 2011.

PERINI, K.; OTTELÉ, M.; FRAAIJ, A.L.A.; HASS, E.M.; RAITERI, R. **Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems.** Energy and Buildings. vol.1 p. 2287-2294, 2011.

PEZZUTO, C.C.; **Avaliação do Ambiente Térmico nos Espaços Urbanos. Estudo de Caso em Campinas.** Campinas, SP, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2007.

QUENOUILLE, M. H. **The comparison of correlations in time-series.** J. R. Statist. Soc. B, vol.20, 158-164, 1958.

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

RODRIGUES, L.N.; SEDIYAMA, G.C.; MARTINEZ, M.A.; MARTINS, H.J.; **Estimativa do Albedo com Base em Dados Discretos.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.5 n.2, p.223-225, 1997.

ROCHA, L.M.V.; SOUZA, L.; **Contribuição da vegetação e Permeabilidade do solo para o ambiente térmico em avenidas de fundo de vale.** XI ENCAC e VII ELACAC, Búzios – RJ, 2011.

ROMERO, M. A. B., **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano.** São Paulo .2ª Ed. p.123, 2001.

ROSSI, A. R.; **Uma nova técnica de comunicação e alimentação de transdutores inteligentes utilizando apenas um fio baseada no padrão IEEE1451.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, Campinas, 2013.

SALDIVA, P. **Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study.** UK. The Lancet. vol.386, 2015.

RUAS, A.C.; **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. UNICAMP, Campinas, 2002.

SHINZATO, P., **Impacto da Vegetação nos Microclimas Urbanos em Função das Interações Solo – Vegetação – Atmosfera**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 2014.

SLABBERT, G.; **The Emergence of Green Building Practices: Case Study of Stellenbosch**. Thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Arts at Stellenbosch University. 2013. Disponível em < <http://scholar.sun.ac.za> > Acesso: 12 jun. 2014.

SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D.; **Passive Cooling of Buildings**. Londres: James & James, p. 472, 2001.

SATTTLER, M. A. Edificações Sustentáveis: interface com natureza do lugar.: In: MENEGAT, R.; ALMEIDA, G. (Org.) **Desenvolvimento Sustentável e Gestão Ambiental nas Cidades**: estratégias a partir de Porto Alegre. Porto Alegre. Editora, UFRGS, p. 259-288, 2004.

SCHERE, M.J.; FEDRIZZI, B.; **Determinação do Percentual de Área de Abertura na Fachada (PAF) em Proteções Solares com Vegetação – Cortinas Verdes..** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído XII ENCAC. Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído VIII ELACAC. Brasília-DF, 2013.

_____. **Jardins Verticais: Potencialidades para o Ambiente Urbano**. Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis. Curitiba – PR. 21-24/10/2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.12702/978-85-89478-40-3-a012>

_____. **Jardins Verticais: Potencialidades para o Ambiente Urbano**. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção. vol.2, n 2, 2014.

SEVERINO, L.S.; CARDOSOS, G.D.; VALE, L.S.; SANTOS, J.W. **Método para determinação da área foliar da mamoneira**. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras, v 8, n1, p. 753-762, 2004.

SILVA, T.J.A. ET AL. **Balanco de Energia e Estimativa da Evapotranspiração em Cultura Irrigadas de Maracujazeiro Pelo Método da Razão de Bowen**. Eng. Agríc. Jaboticabal, vol. 27, n2, p.392-403, 2007.

SUSOROVA, I. AZIMI, P. STEPHENS, B.; **The Effects of Climbing Vegetation on the Local Microclimate, Thermal Performance, and Air Infiltration of four Building Facade Orientations**. Building and Environment, p.113 – 124,2014

TAHA, H. Urban climate and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. In: **Energy and Building**, Elsevier, v. 25, n.2, p. 99–103, 1997

TALAIA, M.A.R.; **O Conforto Humano e as Alterações Ambientais:Um Estudo de Caso em Ambiente Quente**. Cidade de Aveiro, Departamento de Física. Universidade de Aveiro, Portugal, 2007.

TSOUMARAKIS, C.; ASSIMAKOPOULOS,V.D.; TSIROS,I.; HOFFMAN,M.; CHRONOPOULOU, A.; **Thermal Performance of a Vegetated Wall During Hot and Cold Weather Conditions**. PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 2008.

TOLEDO, E. **Ventilação natural das habitações**. Maceió. Edufal, 1999

VALESAN, M., SATTTLER,M.A.; **Green Walls and their Contribution to Environmental Comfort: Environmental Perception in a residential Building**. Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 2008.

VALESAN, M. **Percepção ambiental de moradores de edificações residenciais com peles-verdes em Porto Alegre**. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ZUYLEN, G.V.; **Tous Les Jardins Du Monde**. Itália, 1994. Editora Lloyd. 1ª ed. p175. ISBN: 2-07-053241-0.

WONG N.H., TAN A.Y.K.; Chen Y.; SEKAR K.; TAN P.Y.; CHAN D.; CHIANG K.; WONG N.C.; **Thermal Evaluation of vertical greenery systems for building walls**. Building and Environment. Elsevier, vol.45, p. 663-672, 2010.

YEANG, K. **El rascacielo ecológico**. Barcelona: Ed. Gustavo Gili, 2001.

YEANG, K. **The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings**. Prestel, 2000.

ANEXO 1

Os software utilizados para cálculo de estatística.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SPSS for Windows, versão 16.0. SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA.

Segue todos os gráficos do estudo de estatística desta pesquisa experimental.

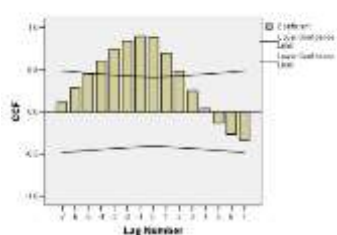
Período de inverno 2014 com as seguintes variáveis:

1ª opção de uso da vegetação com floreiras nos protótipos “A” e “C”: vegetação junto a parede; protótipo “B” sem vegetação.

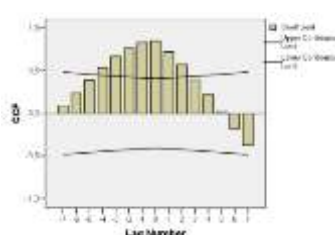
2ª opção de uso da vegetação com floreiras nos protótipos “A” e “C”: vegetação junto a parede e vegetação na cobertura; protótipo “B” sem vegetação.

3ª opção de uso da vegetação com floreiras nos protótipos “A” e “C”: vegetação afastada 50 cm da parede e vegetação na cobertura; protótipo “B” sem vegetação.

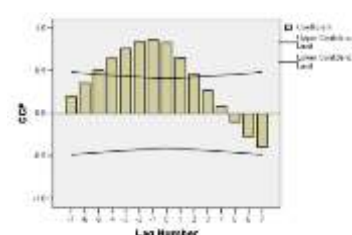
1ª Análise: Temperatura do ar externo e temperatura do interno dos protótipos.



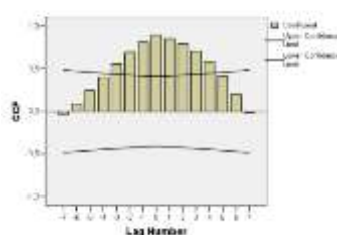
Terreno x protA na opção 2



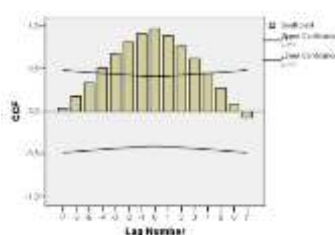
Terreno x protB na opção 2



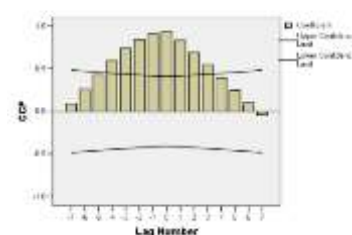
Terreno x protC na opção 2



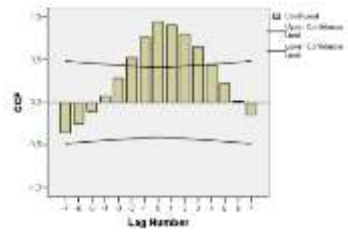
protA x protB na opção 2



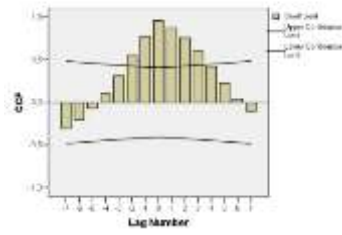
protA x protC na opção 2



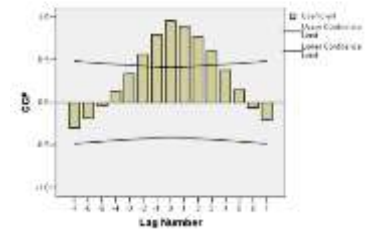
protB x protC na opção 2



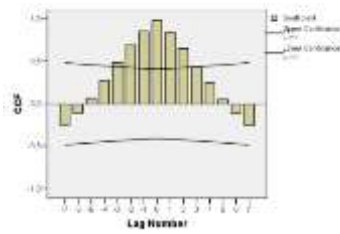
Terreno x protA na opção 3



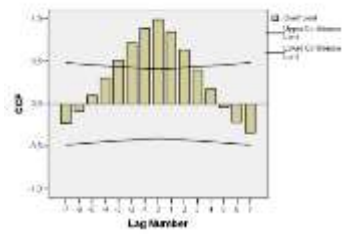
Terreno x protB na opção 3



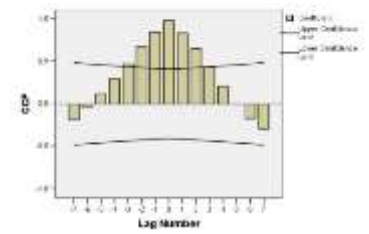
Terreno x protC na opção 3



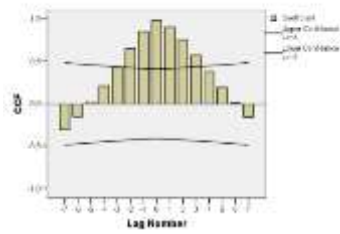
protA x protB na opção 3



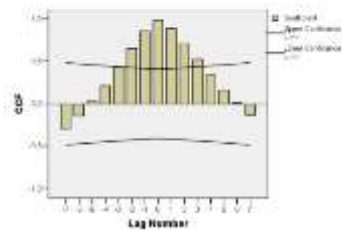
protA x protC na opção 3



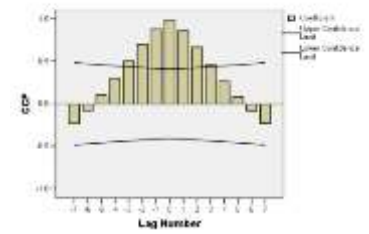
protB x protC na opção 3



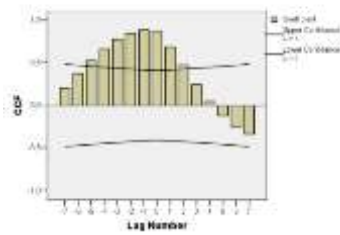
Terreno opção 1 x terreno 2



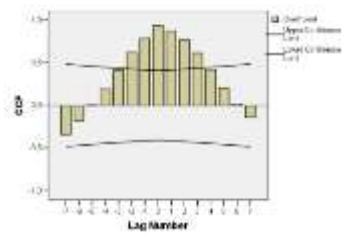
Terreno 1 x terreno 3



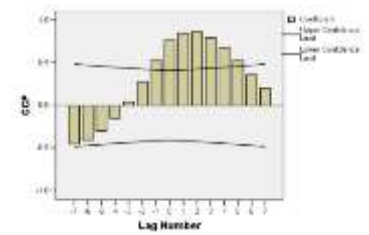
Terreno 2 x terreno 3



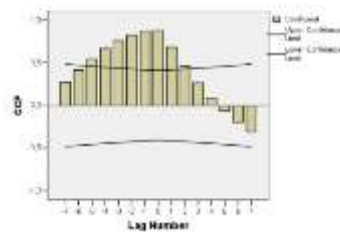
protA1 x protA2



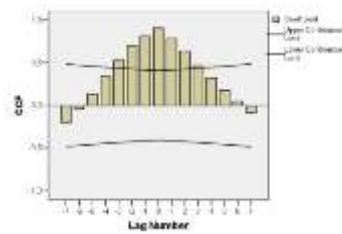
protA1 x protA3



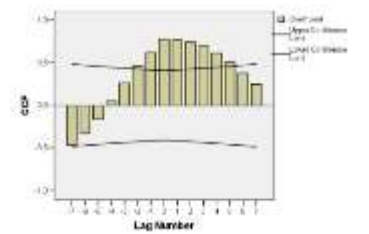
protA2x protA3



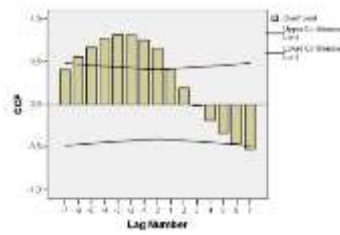
protB1 x protB2



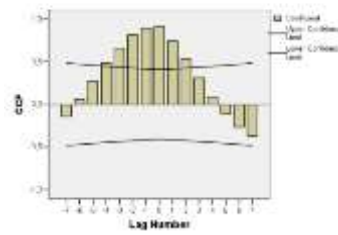
protB1 x protB3



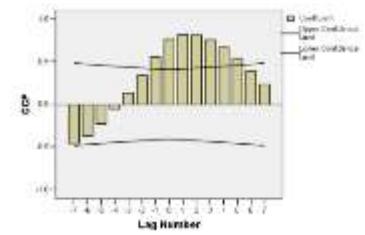
protB2x protB3



protC1 x protC2

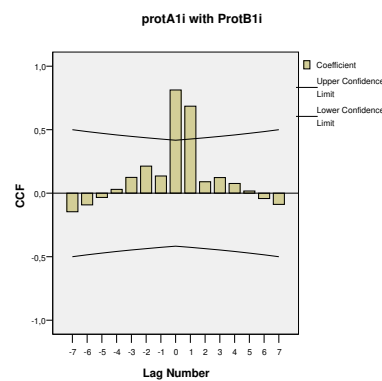


protC1 x protC3

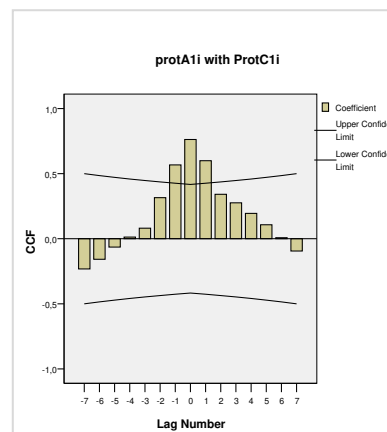


protC2 x protC3

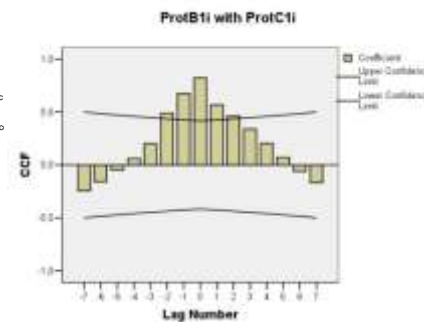
2ª Análise: Temperatura de globo dos protótipos.



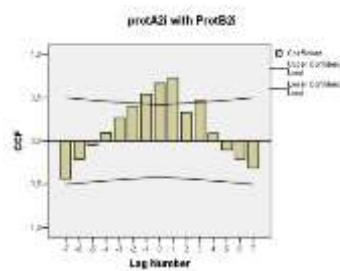
Protótipo A x Protótipo B na opção 1



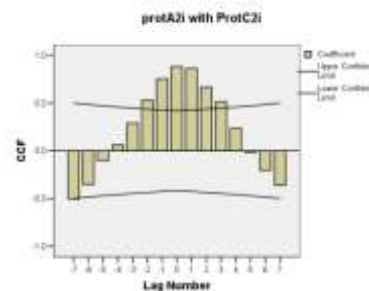
Protótipo A x Protótipo C na opção



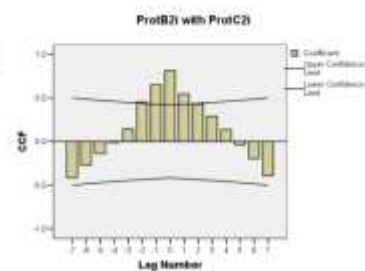
Protótipo B x Protótipo C na opção 1



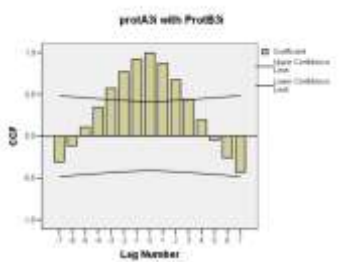
Protótipo A x B na opção 2



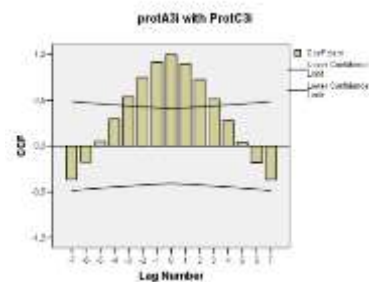
Protótipo A x C na opção



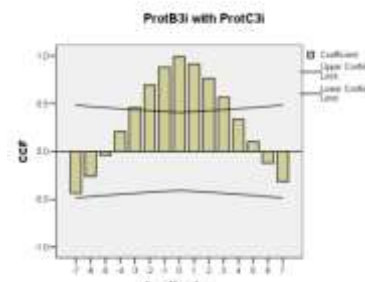
Protótipo B x C na opção 2



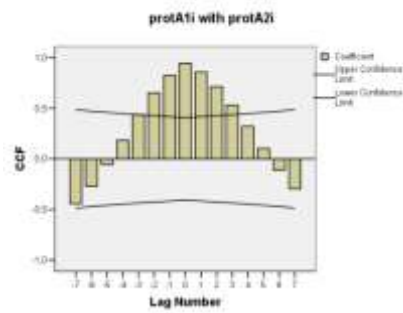
Protótipo A x B na opção 3



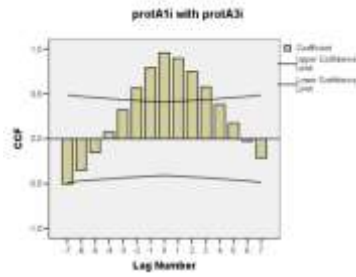
Protótipo A x C na opção 3



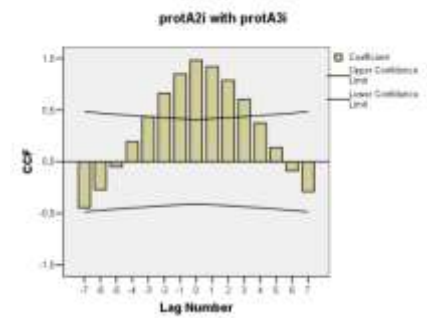
Protótipo B x C na opção 3



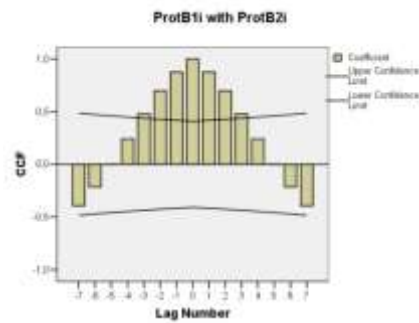
Protótipo A1 x A2



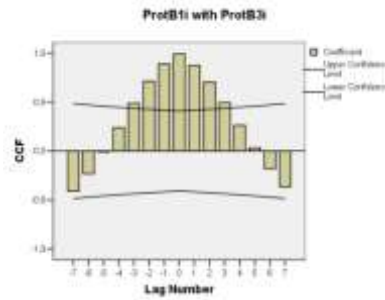
Protótipo A1 x A3



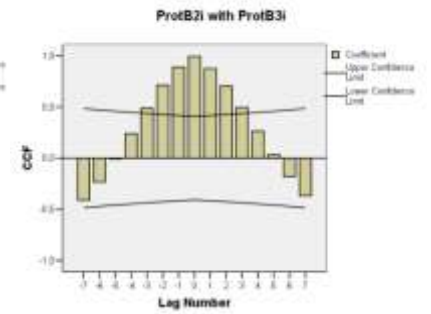
Protótipo A2 x A3



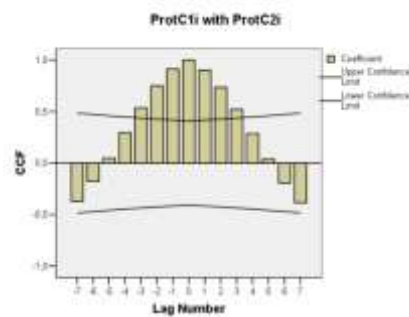
Protótipo B1 x B2



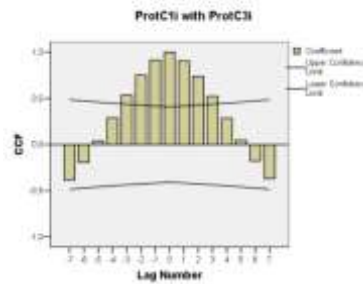
Protótipo B1 x B3



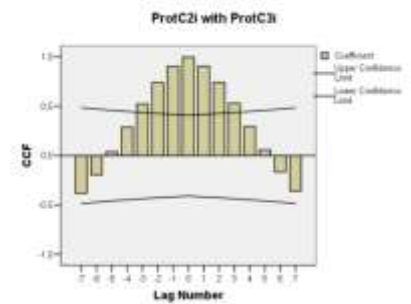
Protótipo B2 x B3



Protótipo C1 x C2

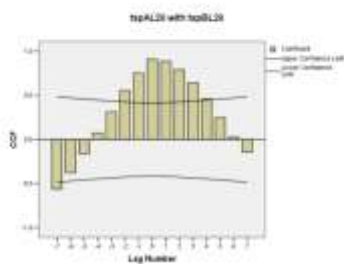


Protótipo C1 x C3

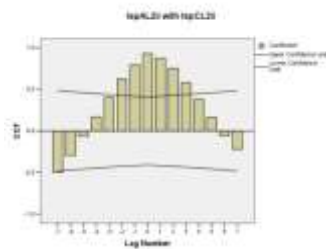


Protótipo C2 x C3

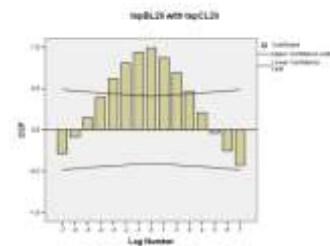
3ª Análise: Temperatura superficial externa / interna



protA2 x protB2 interno LESTE

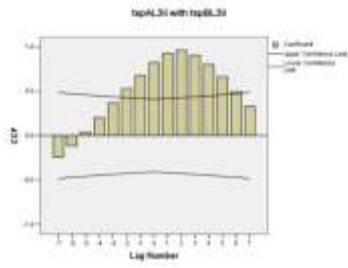


protA2 x protC2 interno LESTE

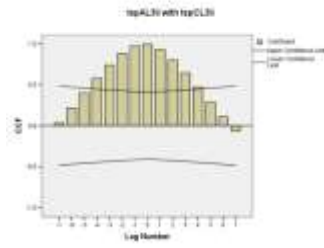


protB2 x protC2 interno LESTE

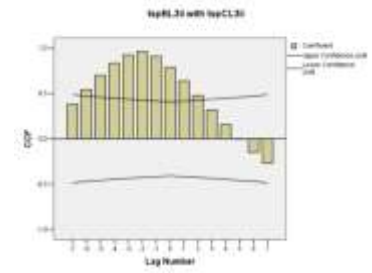
protA3 x protC3 interno LESTE



protA3 x protB3 interno LESTE

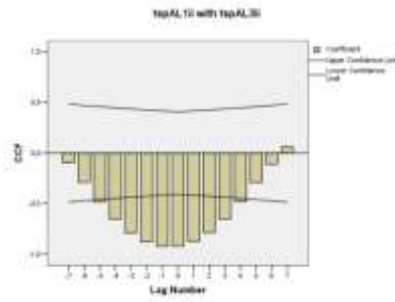
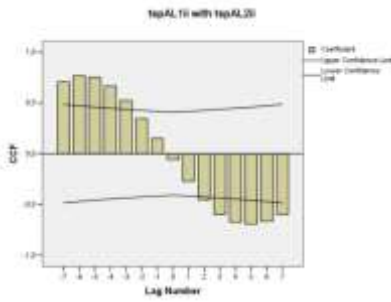


protA1 x protA3 interno LESTE

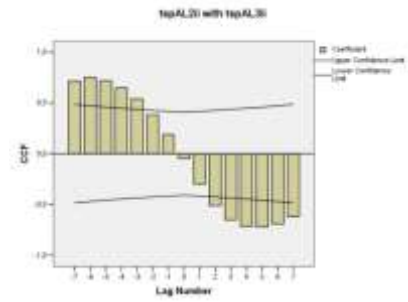


protB3 x protC3 interno LESTE

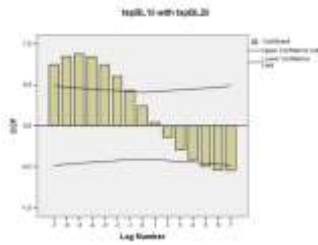
protA1 x protA2 interno LESTE



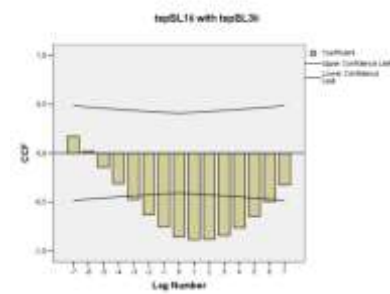
protA2 x protA3 interno LESTE



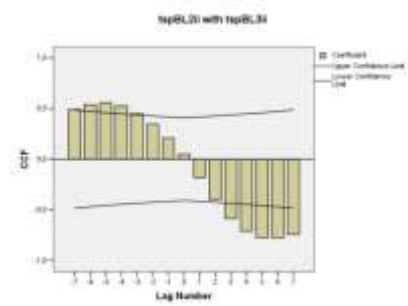
protB1 x protB2 interno LESTE



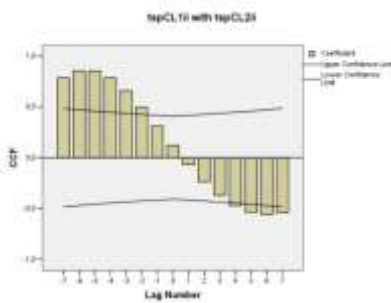
protB1 x protB3 interno LESTE



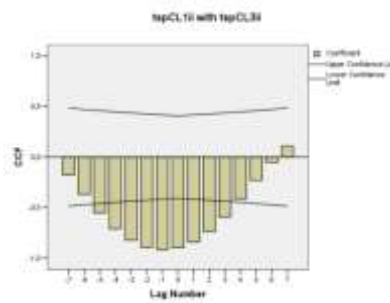
protB2 x protB3 interno LESTE



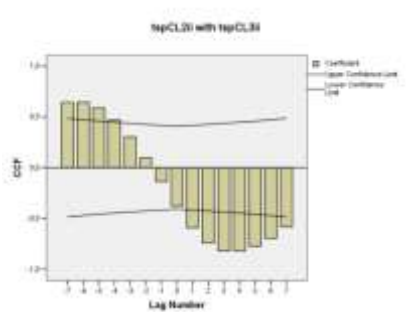
protC1 x protC2 interno LESTE



protC1 x protC3 interno LESTE



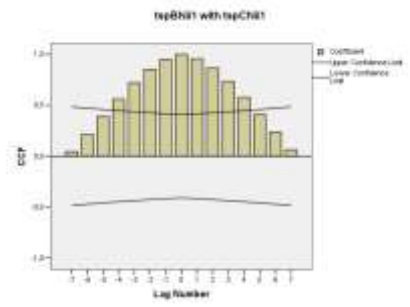
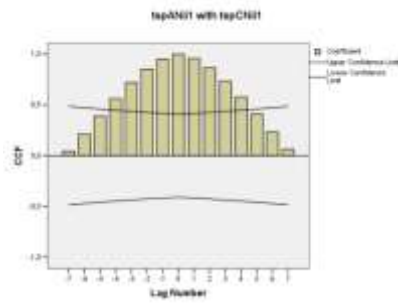
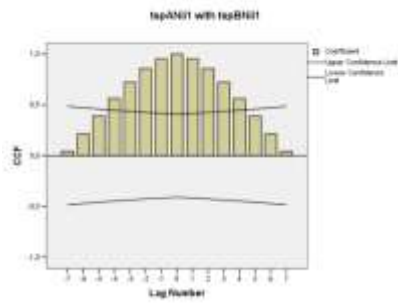
protC2 x protC3 interno LESTE



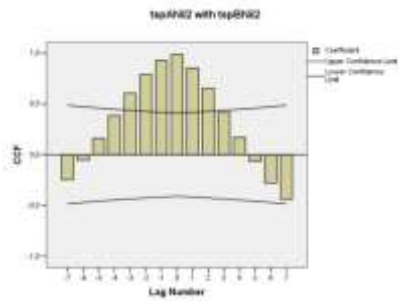
protA1 x protB1 interno NORTE

protA1 x protC1 interno NORTE

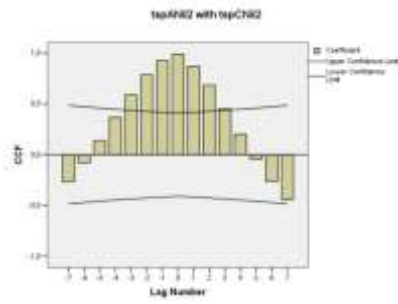
protB1 x protC1 interno NORTE



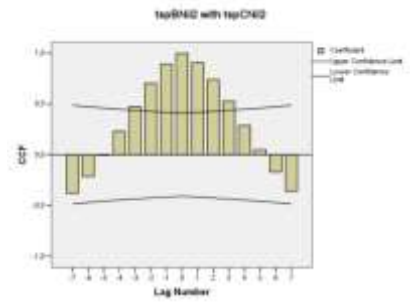
protA2 x protB2 interno NORTE



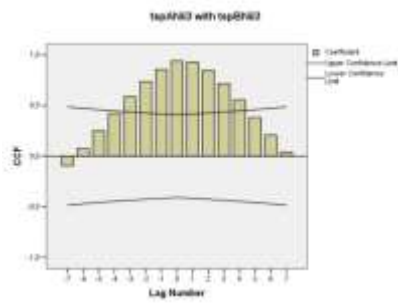
protA2 x protC2 interno NORTE



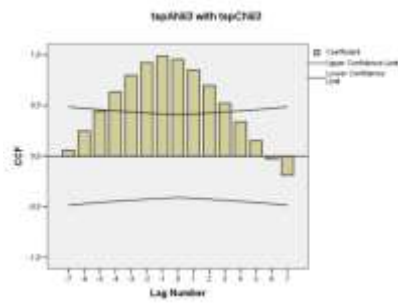
protB2 x protC2 interno NORTE



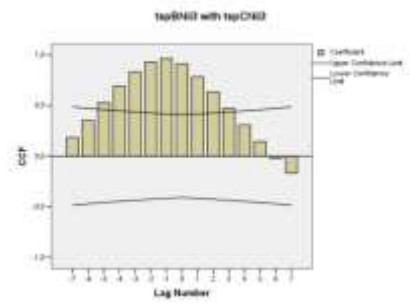
protA3 x protB3 interno NORTE



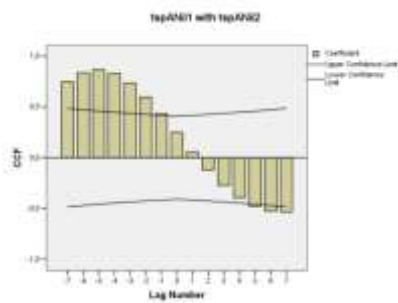
protA3 x protC3 interno NORTE



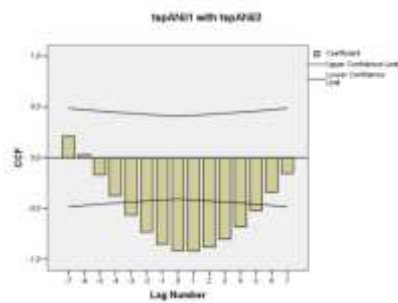
protB3 x protC3 interno NORTE



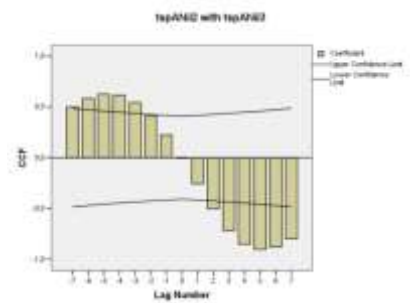
protA1 x protA2 interno NORTE



protA1 x protA3 interno NORTE



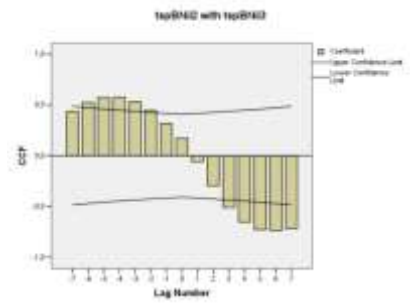
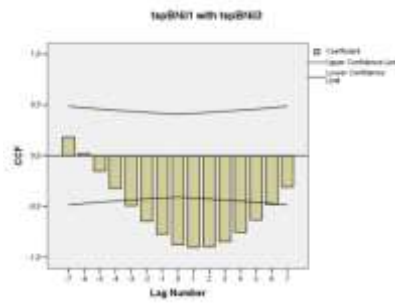
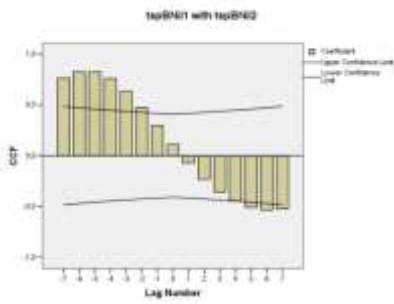
protA2 x protA3 interno NORTE



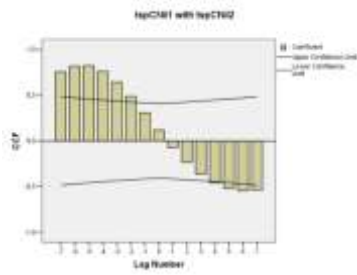
protB1 x protB2 interno NORTE

protB1 x protB3 interno NORTE

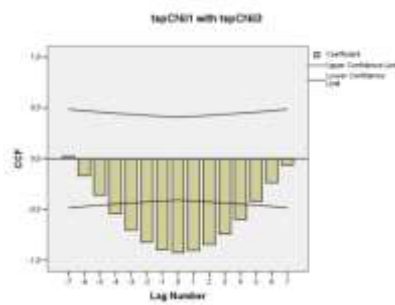
protB2 x protB3 interno NORTE



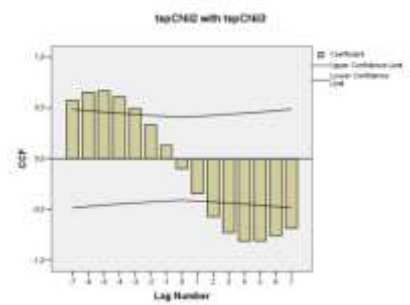
protC1 x protC2 interno NORTE



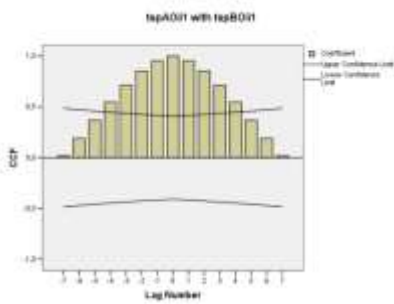
protC1 x protC3 interno NORTE



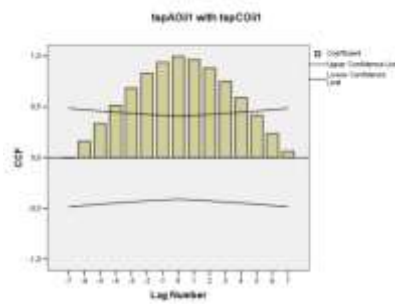
protC2 x protC3 interno NORTE



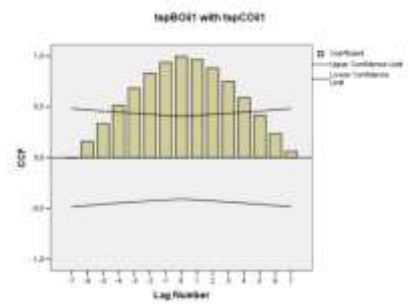
protA1 x protB1 interno OESTE



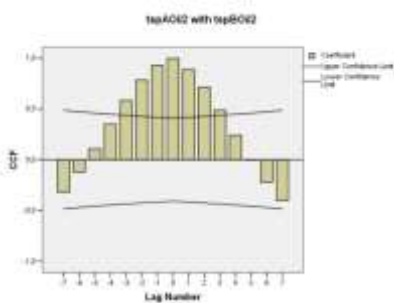
protA1 x protC1 interno OESTE



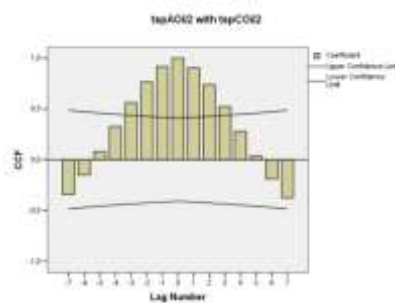
protB1 x protC1 interno OESTE



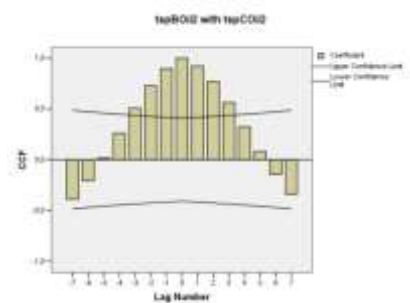
protA2 x protB2 interno OESTE



protA2 x protC2 interno OESTE



protB2 x protC2 interno OESTE



protA3 x protB3 interno OESTE

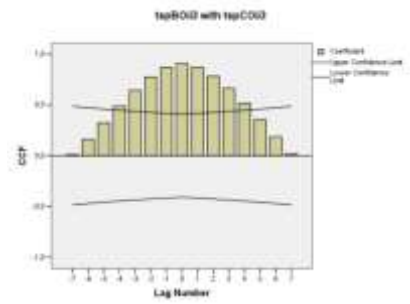
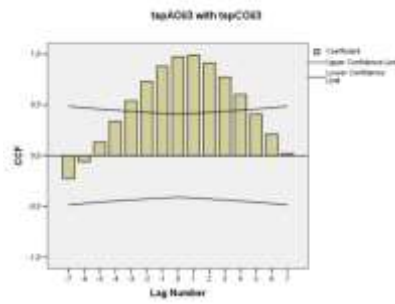
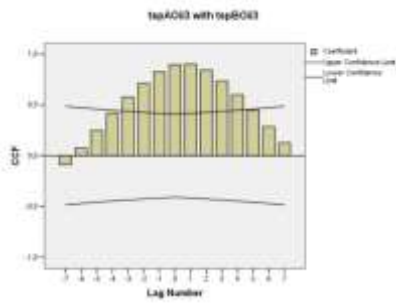


protA3 x protC3 interno OESTE

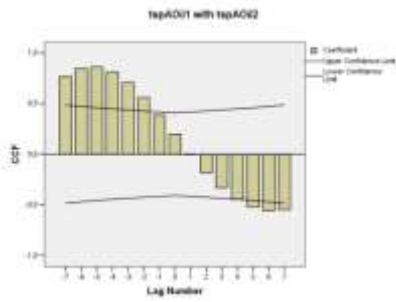


protB3 x protC3 interno OESTE

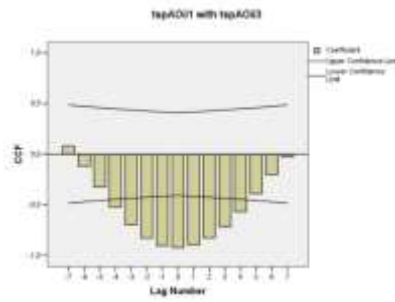




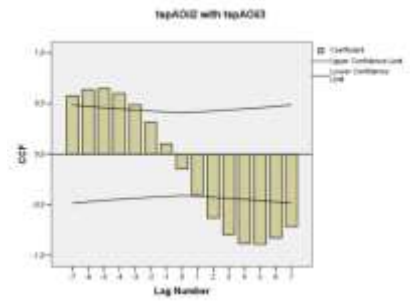
protA1 x protA2 interno OESTE



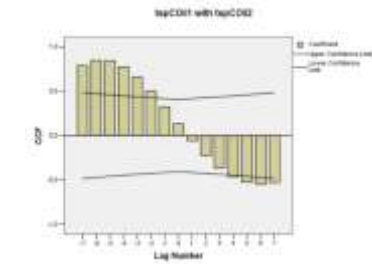
protA1 x protA3 interno OESTE



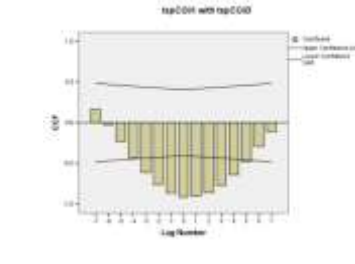
protA2 x protA3 interno OESTE



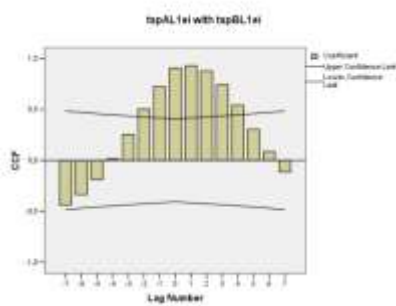
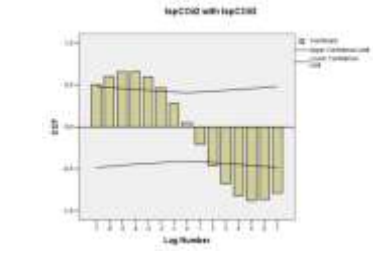
protC1 x protC2 interno OESTE



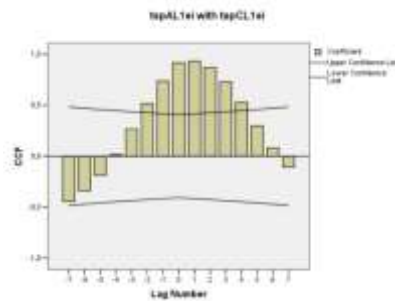
protC1 x protC3 interno OESTE



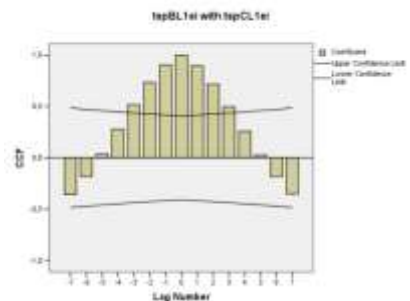
protC2 x protC3 interno OESTE



protA1 x protC1 externo LESTE



protB1 x protC1 externo LESTE

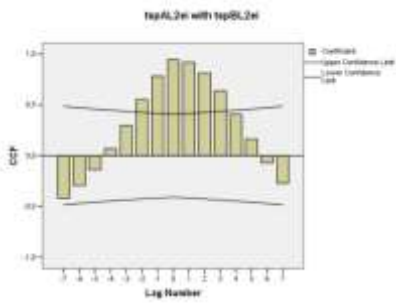


protA1 x protB1 externo LESTE

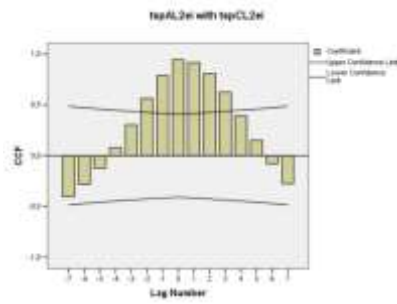
protA2 x protB2 externo LESTE

protA2 x protC2 externo LESTE

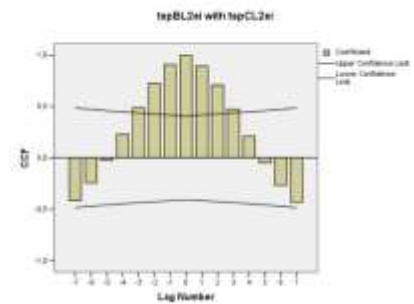
protB2 x protC2 externo LESTE



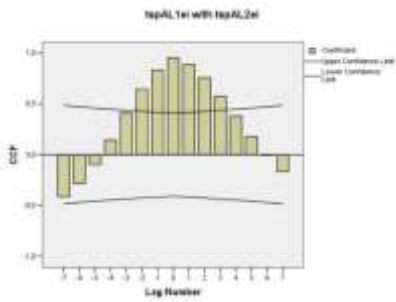
protA1 x protA2 externo LESTE



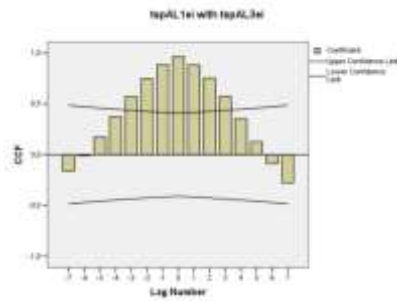
protA1 x protA3 externo LESTE



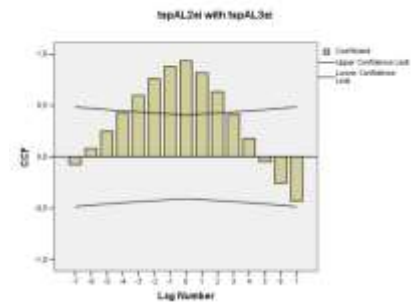
protA2 x protA3 externo LESTE



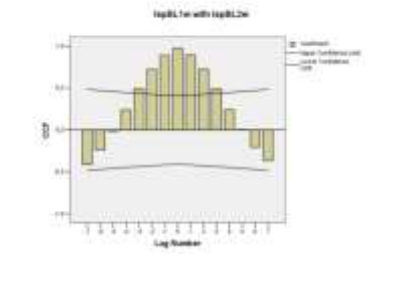
protB1 x protB2 externo LESTE



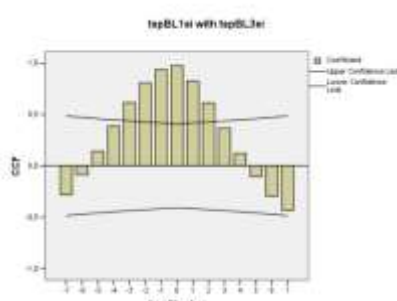
protB1 x protB3 externo LESTE



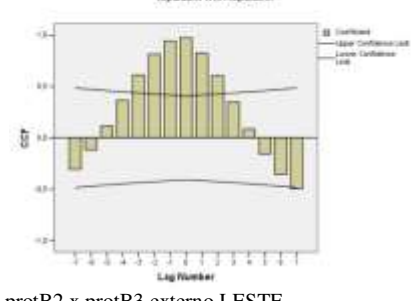
protB2 x protB3 externo LESTE



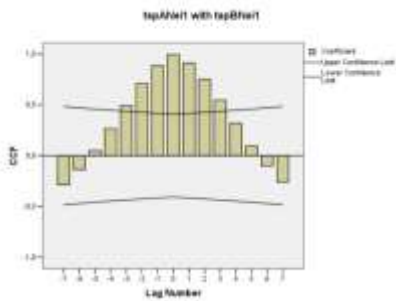
protA1 x protB1 externo NORTE



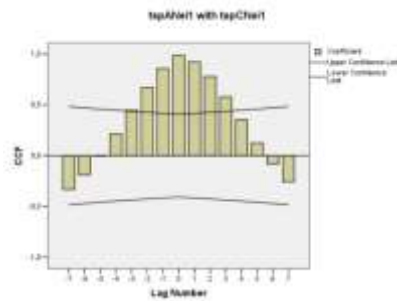
protA1 x protC1 externo NORTE



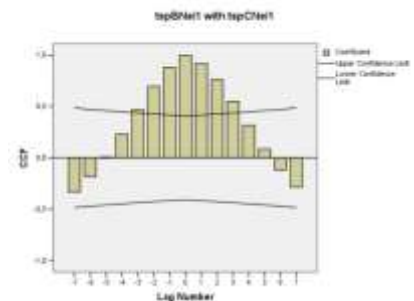
protB1 x protC1 externo NORTE



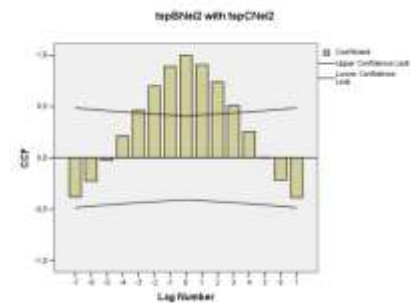
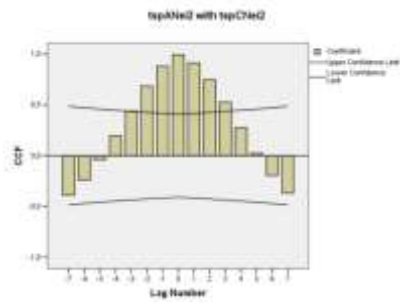
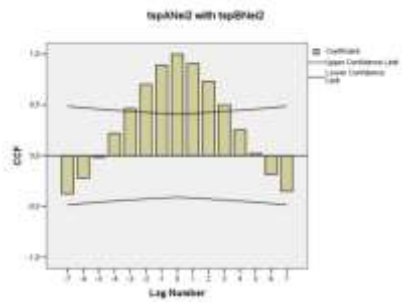
protA2 x protB2 externo NORTE



protA2 x protC2 externo NORTE



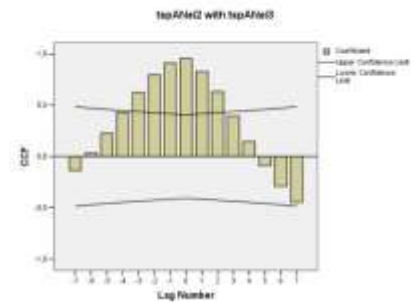
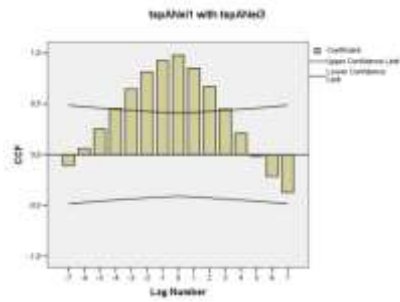
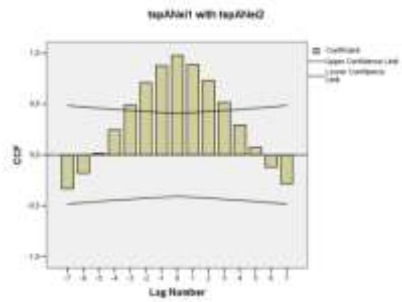
protB2 x protC2 externo NORTE



protA1 x protA2 externo NORTE

protA1 x protA3 externo NORTE

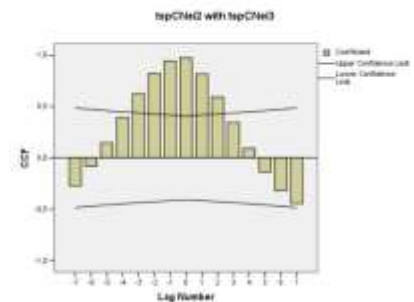
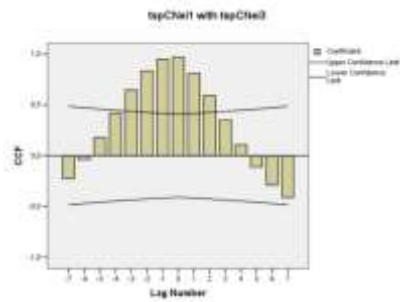
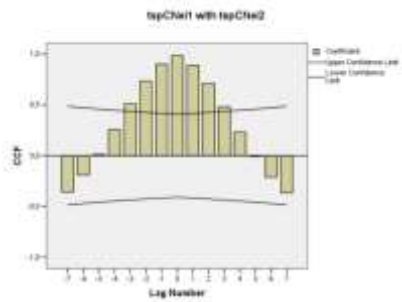
protA2 x protA3 externo NORTE



protC1 x protC2 externo NORTE

protC1 x protC3 externo NORTE

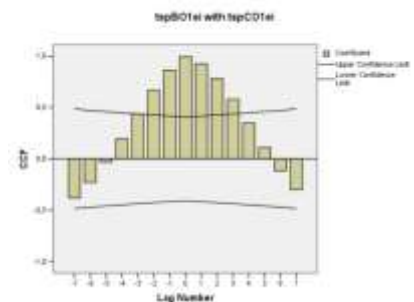
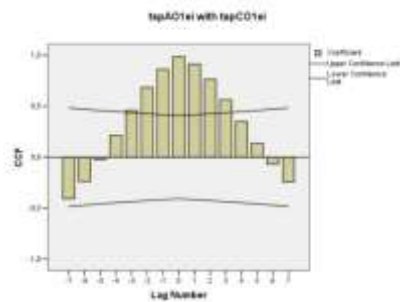
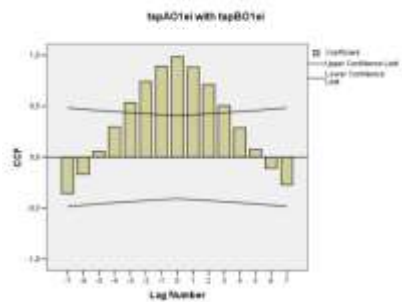
protC2 x protC3 externo NORTE



protA1 x protB1 externo OESTE

protA1 x protC1 externo OESTE

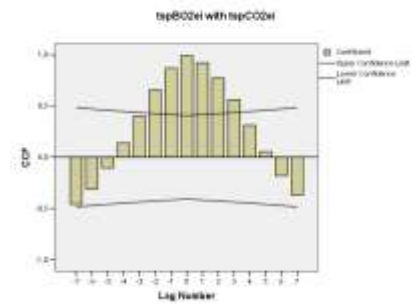
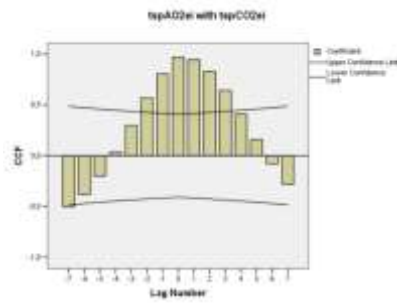
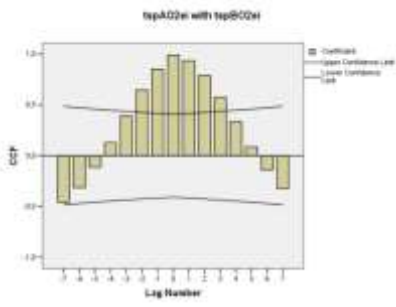
protB1 x protC1 externo OESTE



protA2 x protB2 externo OESTE

protA2 x protC2 externo OESTE

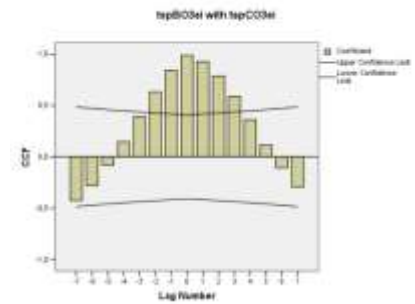
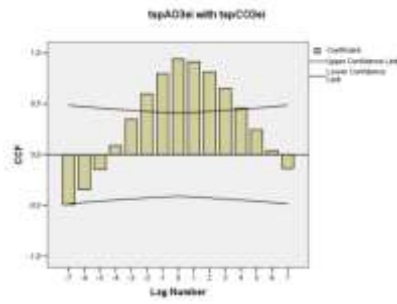
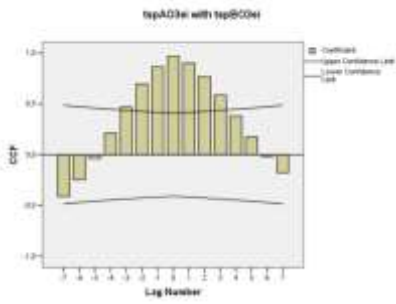
protB2 x protC2 externo OESTE



protA3 x protB3 externo OESTE

protA3 x protC3 externo OESTE

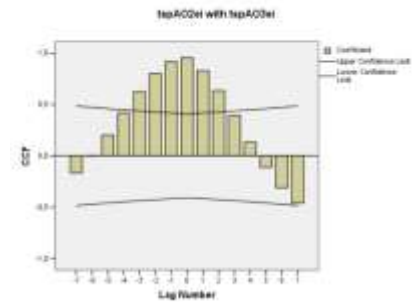
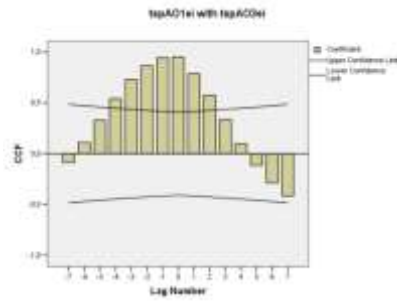
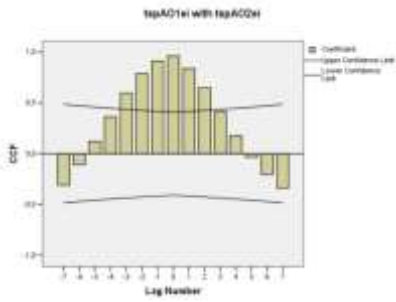
protB3 x protC3 externo OESTE



protA1 x protA2 externo OESTE

protA1 x protA3 externo OESTE

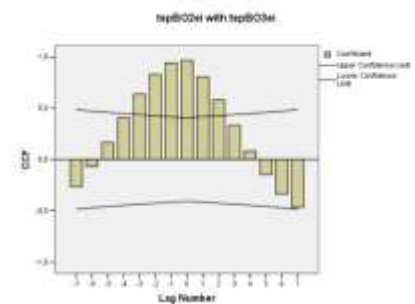
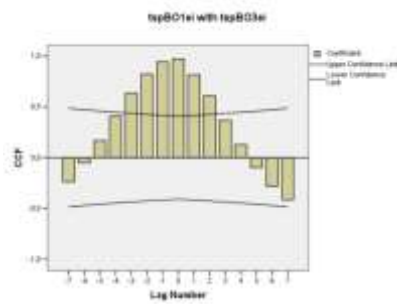
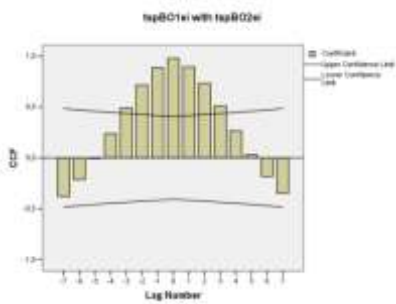
protA2 x protA3 externo OESTE



protB1 x protB2 externo OESTE

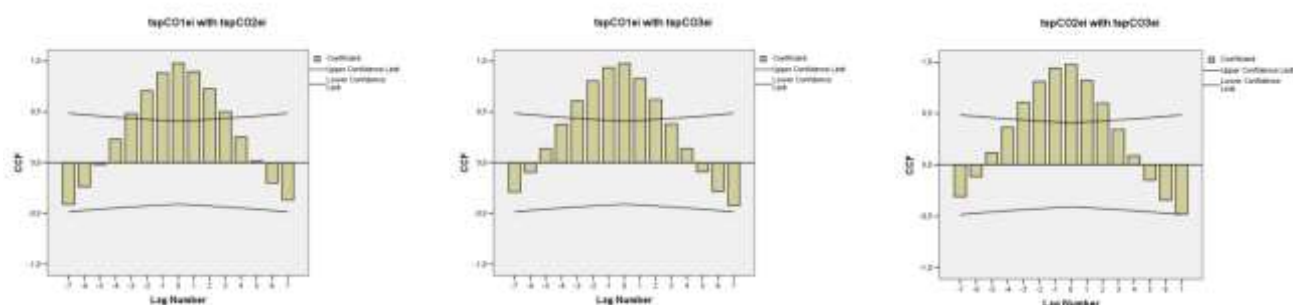
protB1 x protB3 externo OESTE

protB2 x protB3 externo OESTE



protC1 x protC2 externo OESTE

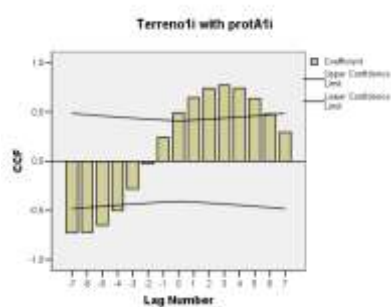
protC1 x protC3 externo OESTE



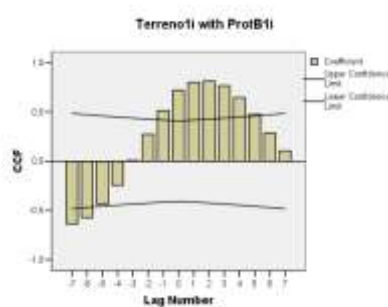
protC2 x protC3 externo OESTE

4ª Análise – Umidade relativa do ar.

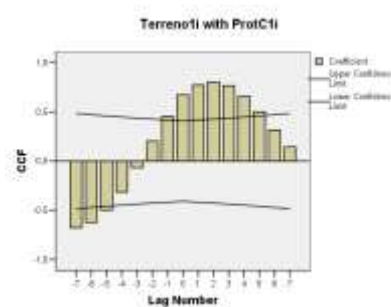
Terreno x protA na opção 1



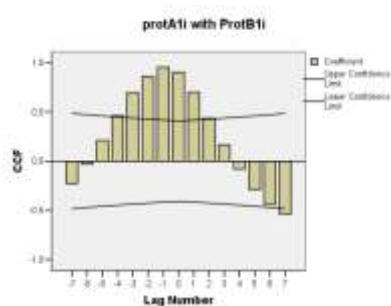
Terreno x protB na opção 1



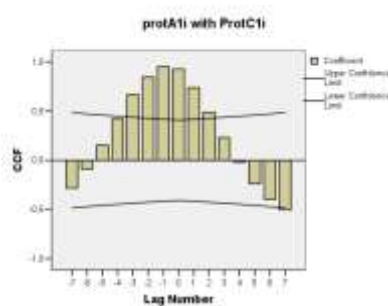
Terreno x protC na opção 1



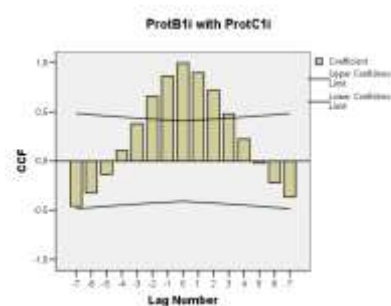
protA x protB na opção 1



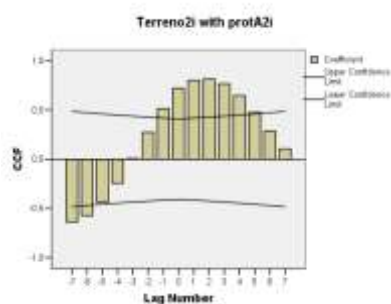
protA x protC na opção 1



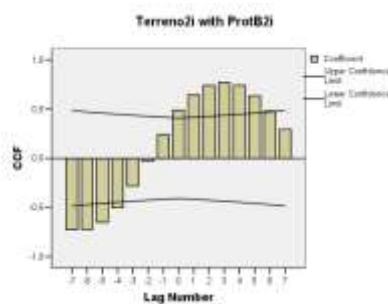
protB x protC na opção 1



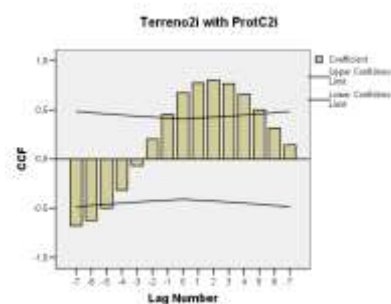
Terreno x protA na opção 2



Terreno x protB na opção 2



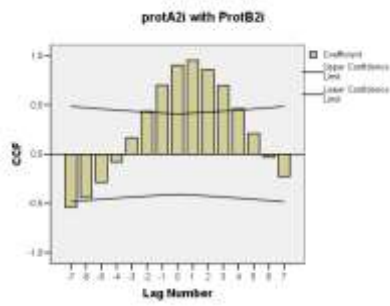
Terreno x protC na opção 2



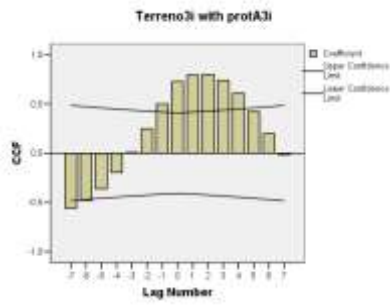
protA x protB na opção 2

protA x protC na opção 2

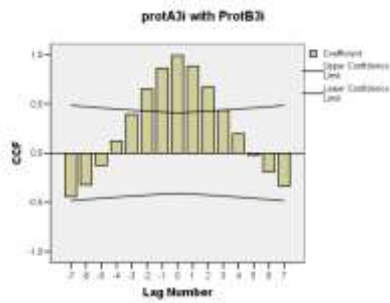
protB x protC na opção 2



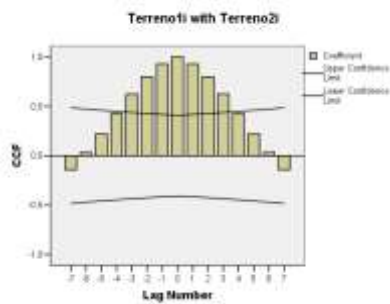
Terreno x protA na opção 3



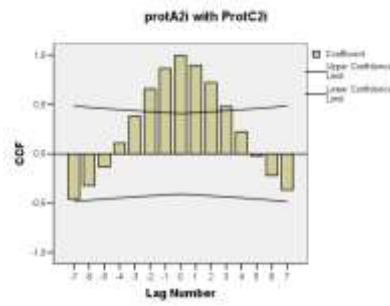
protA x protB na opção 3



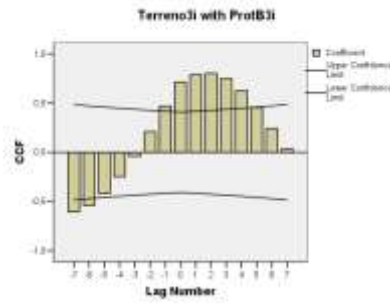
Terreno opção 1 x terreno 2



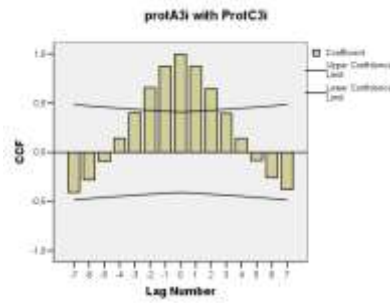
protA1 x protA2



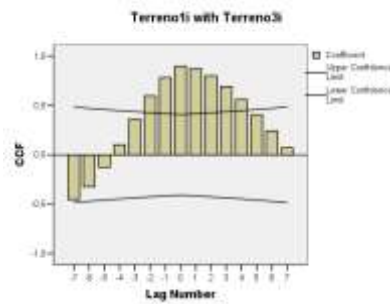
Terreno x protB na opção 3



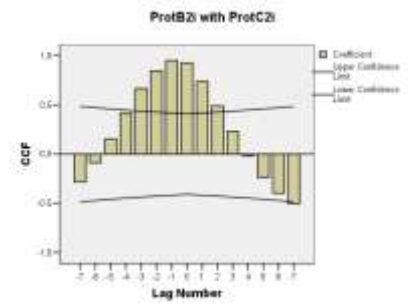
protA x protC na opção 3



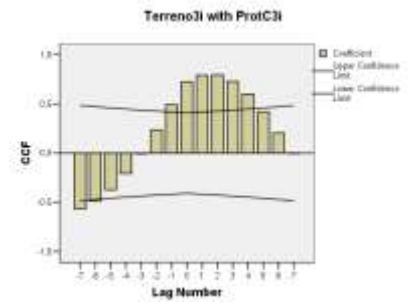
Terreno 1 x terreno 3



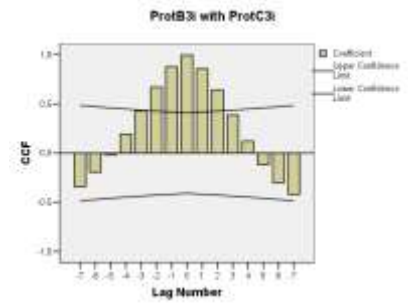
protA1 x protA3



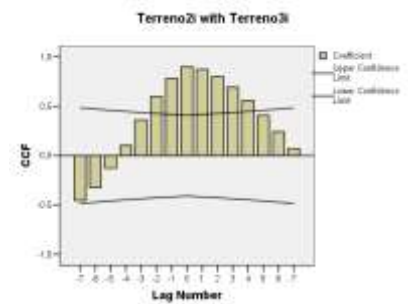
Terreno x protC na opção 3



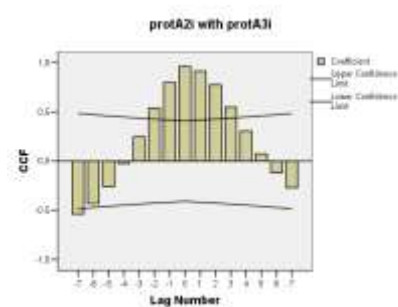
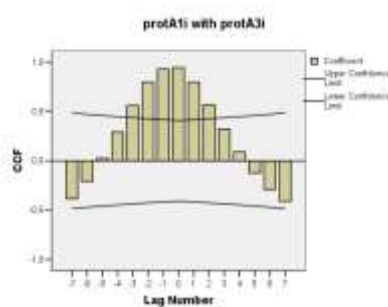
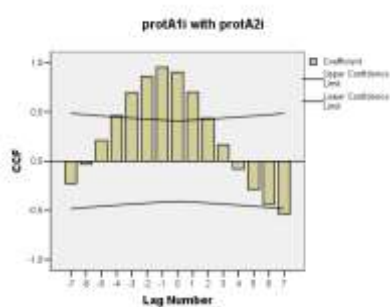
protB x protC na opção 3



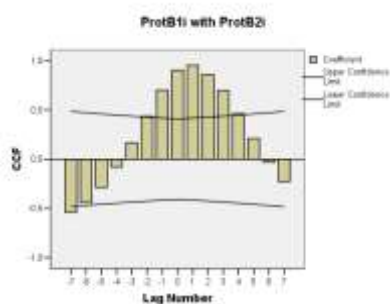
Terreno 2 x terreno 3



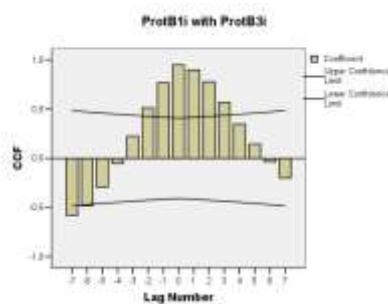
protA2x protA3



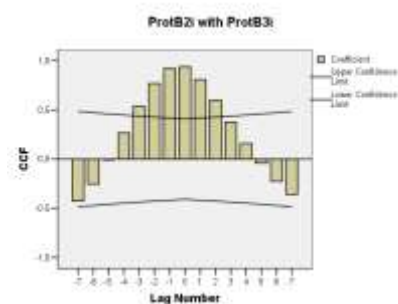
protB1 x protB2



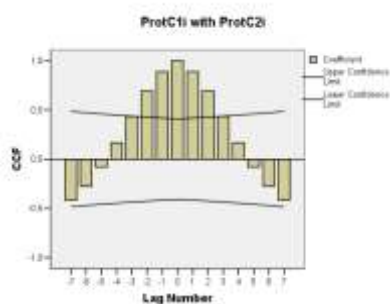
protB1 x protB3



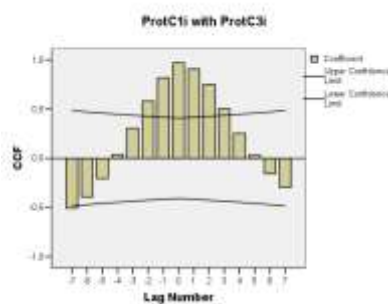
protB2x protB3



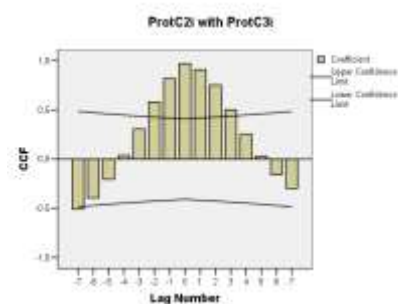
protC1 x protC2



protC1 x protC3



protC2x protC3



Período de primavera 2014 com as seguintes variáveis:

1ª opção de uso da vegetação com floreiras nos protótipos “A” e “C”: vegetação junto a parede; protótipo “B” sem vegetação.

2ª opção de uso da vegetação com floreiras nos protótipos “A” e “C”: vegetação junto a parede e vegetação na cobertura; protótipo “B” sem vegetação.

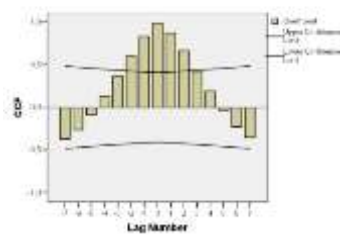
3ª opção de uso da vegetação com floreiras nos protótipos “A” e “C”: vegetação afastada 50 cm da parede e vegetação na cobertura; protótipo “B” sem vegetação.

1ª Análise: Temperatura do ar externo e dos protótipos.

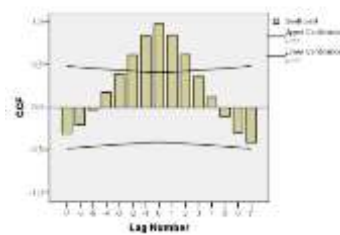
Terreno x protA na opção 1

Terreno x protB na opção 1

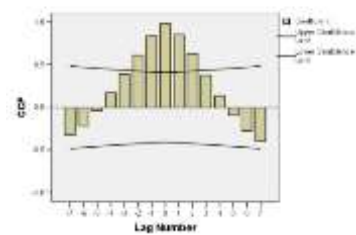
Terreno x protC na opção 1



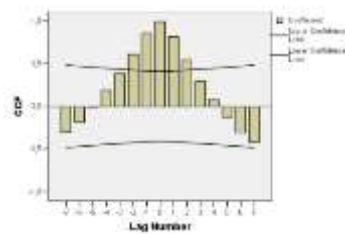
protA x protB na opção 1



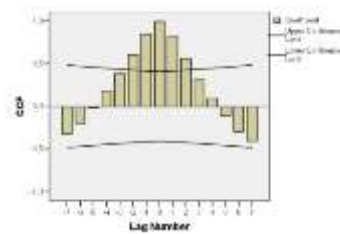
protA x protC na opção 1



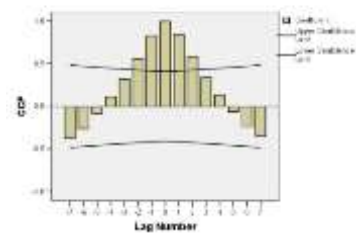
protB x protC na opção 1



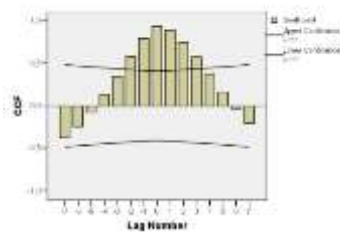
Terreno x protA na opção 2



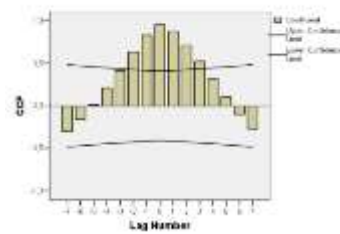
Terreno x protB na opção 2



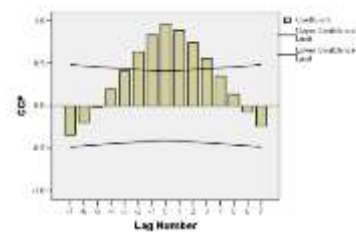
Terreno x protC na opção 2



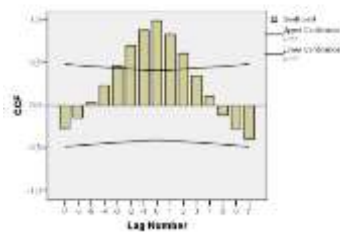
protA x protB na opção 2



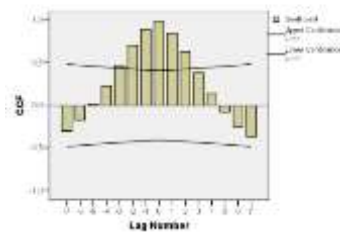
protA x protC na opção 2



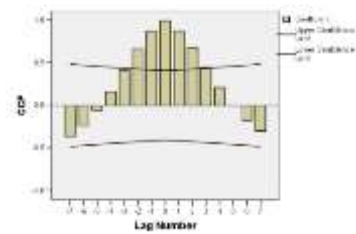
protB x protC na opção 2



Terreno x protA na opção 3

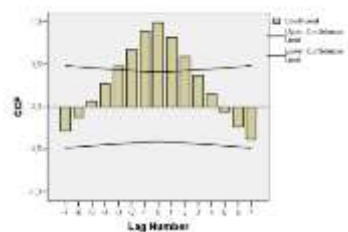


Terreno x protB na opção 3

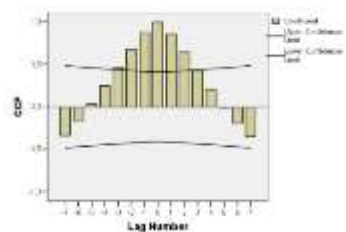


Terreno x protC na opção 3

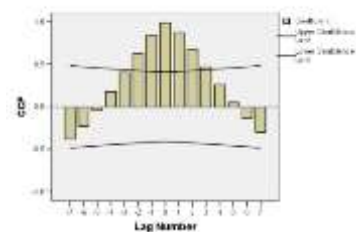
protA x protB na opção 3



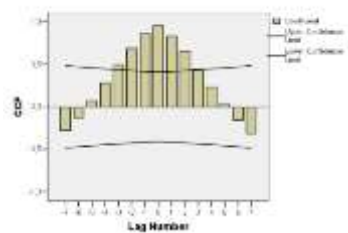
protA x protC na opção 3



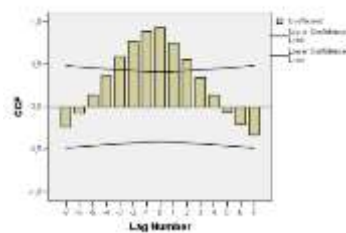
protB x protC na opção 3



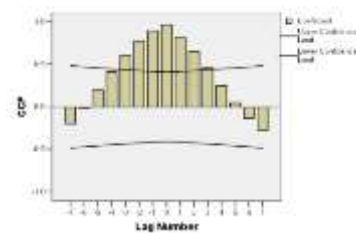
Terreno opção 1 x terreno 2



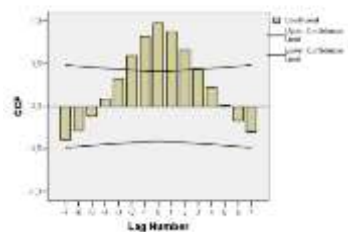
Terreno 1 x terreno 3



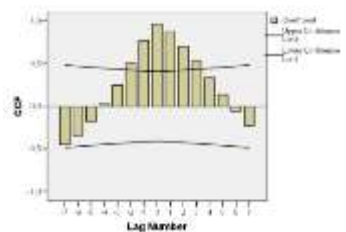
Terreno 2 x terreno 3



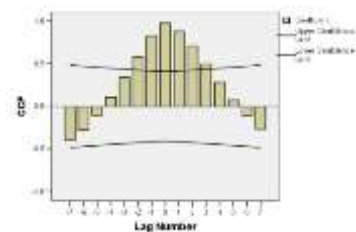
protA1 x protA2



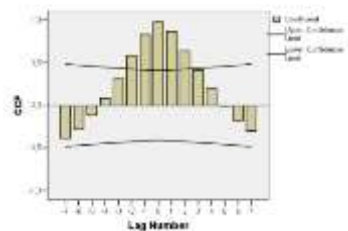
protA1 x protA3



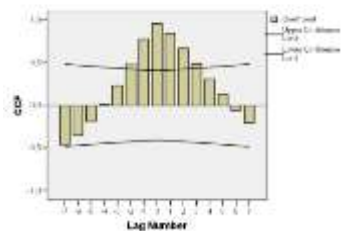
protA2x protA3



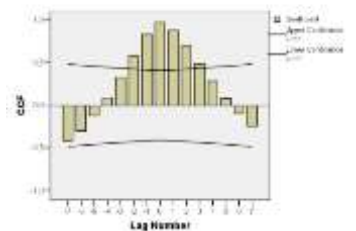
protB1 x protB2



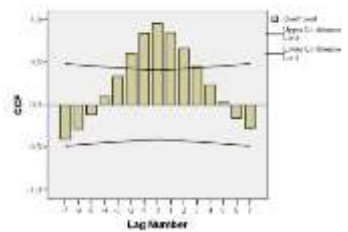
protB1 x protB3



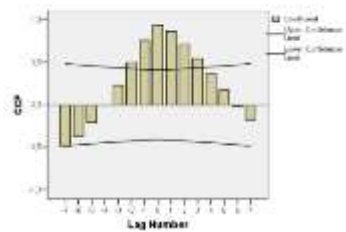
protB2x protB3



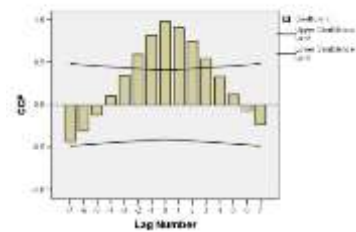
protC1 x protC2



protC1 x protC3

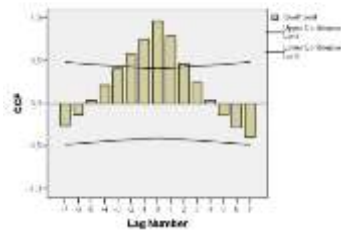


protC2x protC3

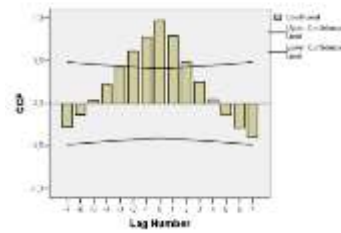


2ª Análise: temperatura de globo

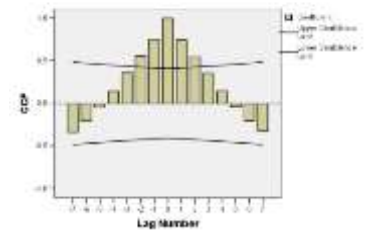
Protótipo A x Protótipo B na opção 1



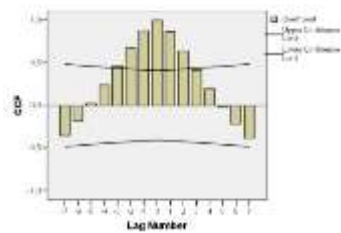
Protótipo A x Protótipo C na opção 1



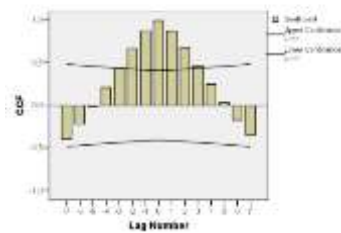
Protótipo B x Protótipo C na opção 1



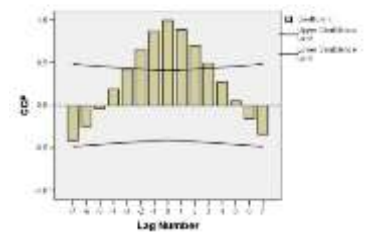
Protótipo A x B na opção 3



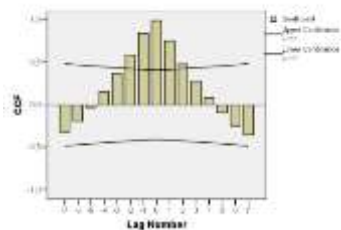
Protótipo A x C na opção 3



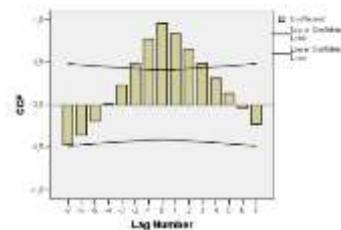
Protótipo B x C na opção 3



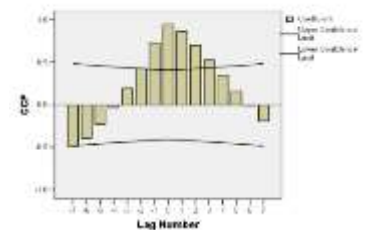
Protótipo A1 x A2



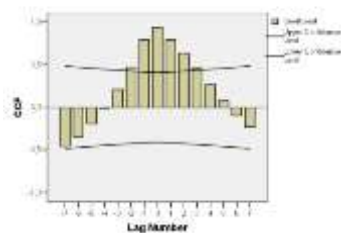
Protótipo A1 x A3



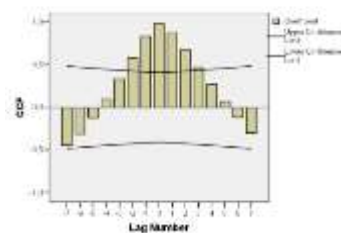
Protótipo A2 x A3



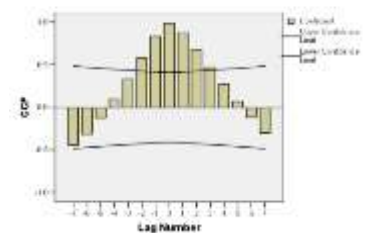
Protótipo B1 x B2



Protótipo B1 x B3



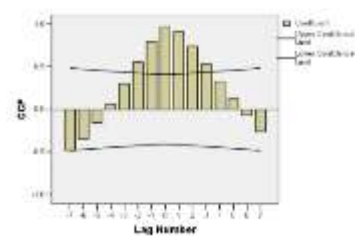
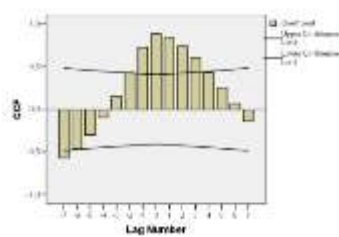
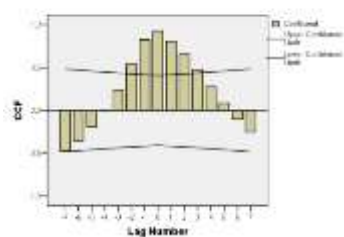
Protótipo B2 x B3



Protótipo C1 x C2

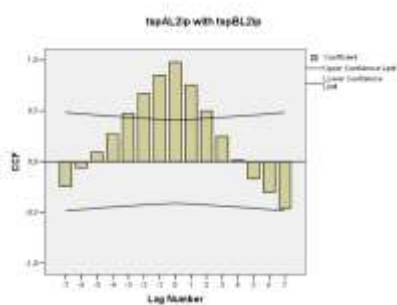
Protótipo C1 x C3

Protótipo C2 x C3

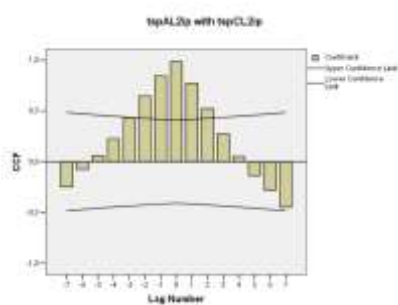


3ª Análise: Temperatura superficial externa / interna

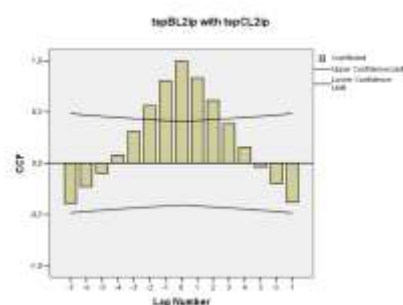
protA2 x protB2 interno LESTE



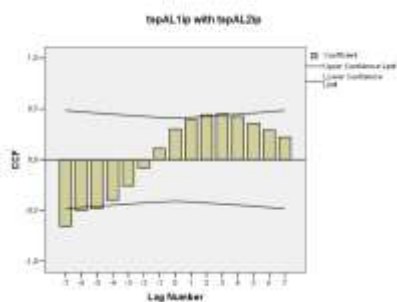
protA2 x protC2 interno LESTE



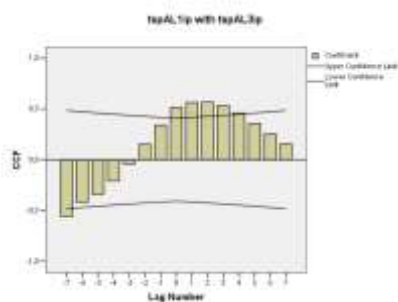
protB2 x protC2 interno LESTE



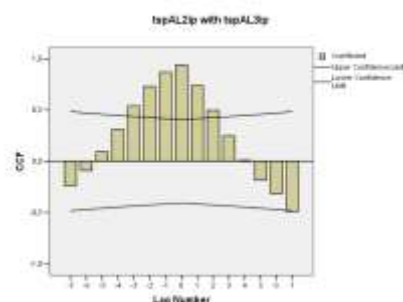
protA1 x protA2 interno LESTE



protA1 x protA3 interno LESTE



protA2 x protA3 interno LESTE



protC1 x protC2 interno LESTE

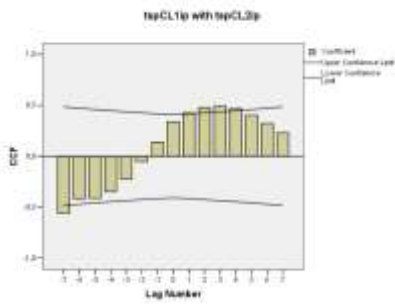


protC1 x protC3 interno LESTE

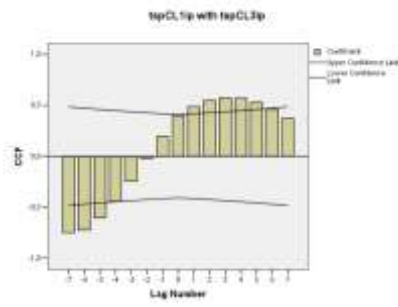


protC2 x protC3 interno LESTE

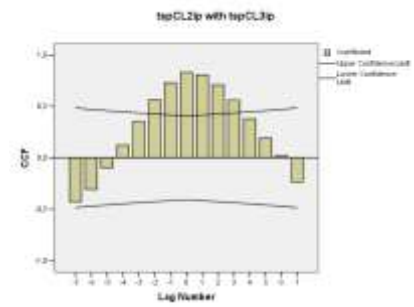




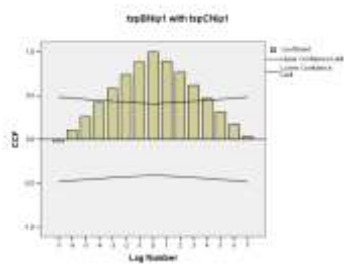
protA1 x protB1 interno NORTE



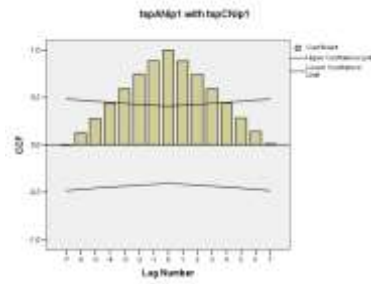
protA1 x protC1 interno NORTE



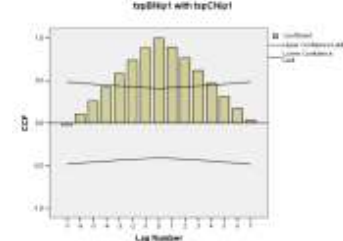
protB1 x protC1 interno NORTE



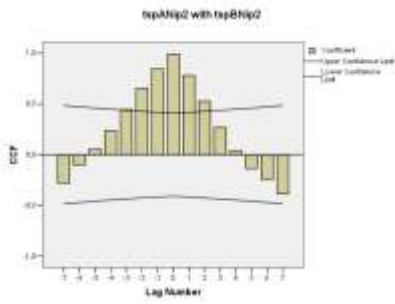
protA2 x protB2 interno NORTE



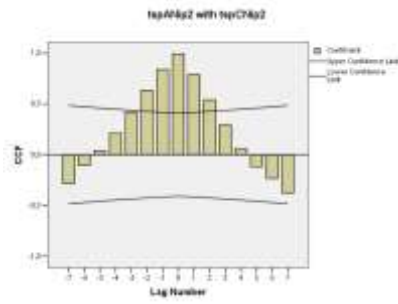
protA2 x protC2 interno NORTE



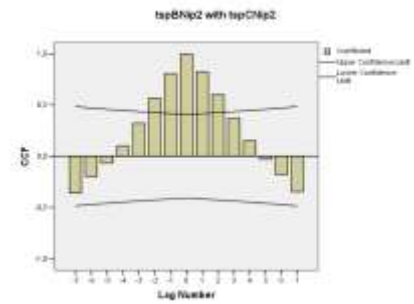
protB2 x protC2 interno NORTE



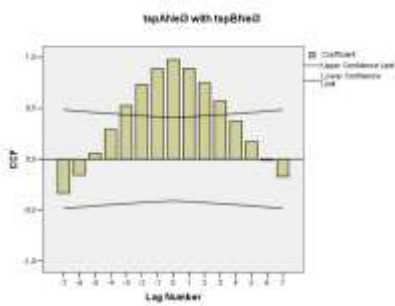
protA3 x protB3 interno NORTE



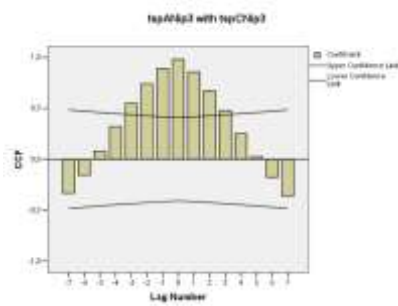
protA3 x protC3 interno NORTE



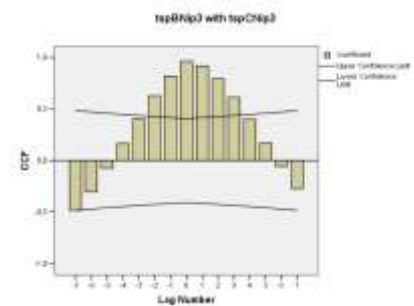
protB3 x protC3 interno NORTE



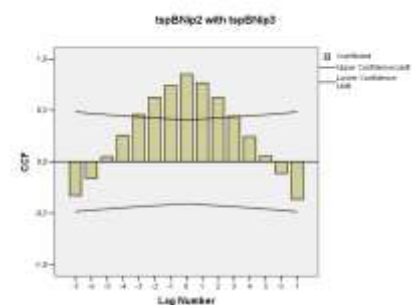
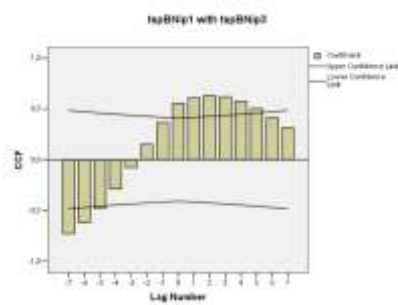
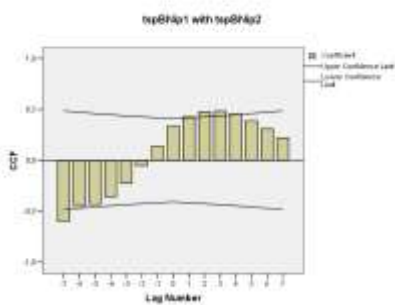
protB1 x protB2 interno NORTE



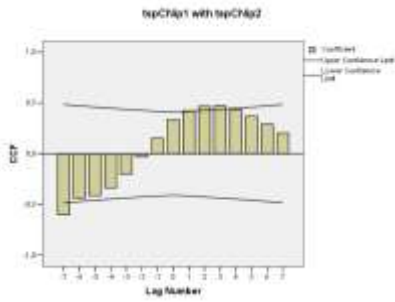
protB1 x protB3 interno NORTE



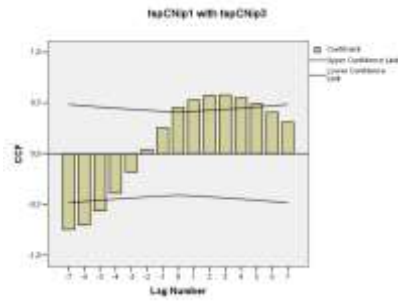
protB2 x protB3 interno NORTE



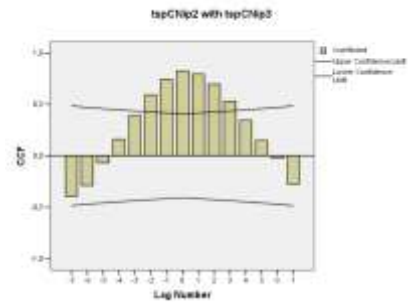
protC1 x protC2 interno NORTE



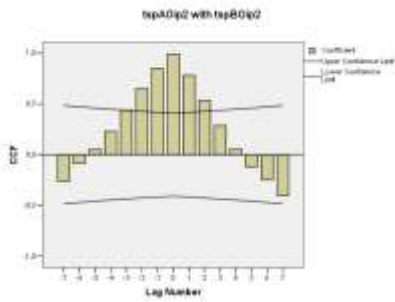
protC1 x protC3 interno NORTE



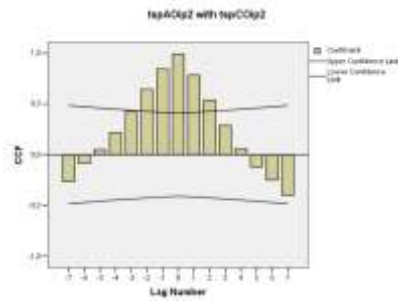
protC2 x protC3 interno NORTE



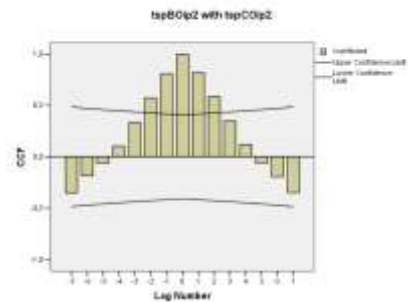
protA2 x protB2 interno OESTE



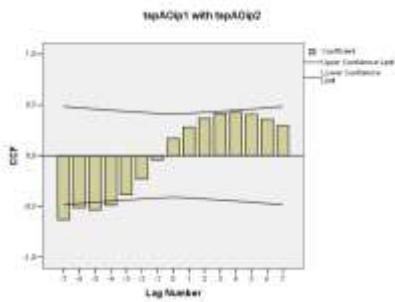
protA2 x protC2 interno OESTE



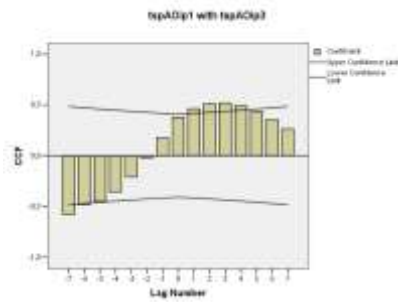
protB2 x protC2 interno OESTE



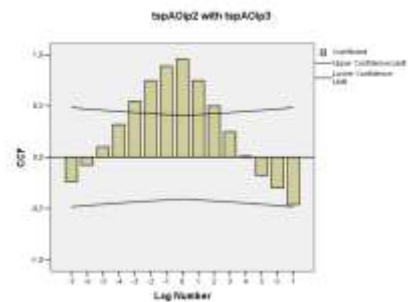
protA1 x protA2 interno OESTE



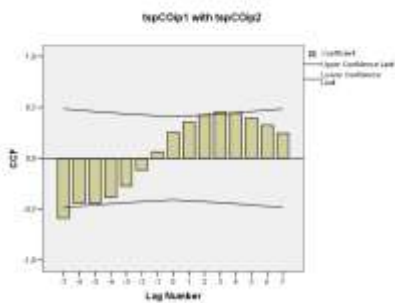
protA1 x protA3 interno OESTE



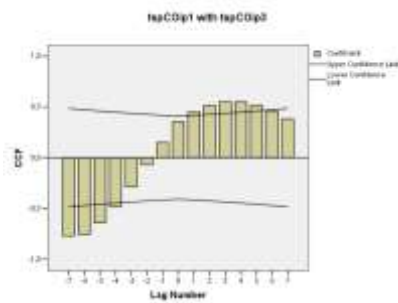
protA2 x protA3 interno OESTE



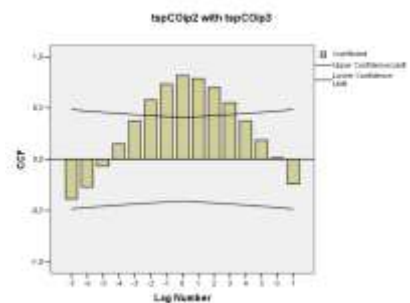
protC1 x protC2 interno OESTE



protC1 x protC3 interno OESTE

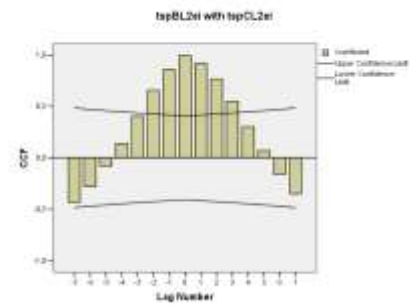
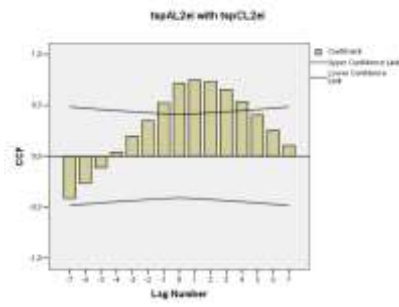
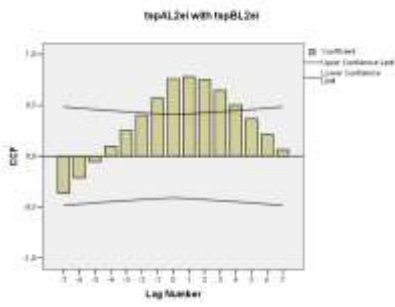


protC2 x protC3 interno OESTE

Temperatura Superficial Externa
protA2 x protB2 externo LESTE

protA2 x protC2 externo LESTE

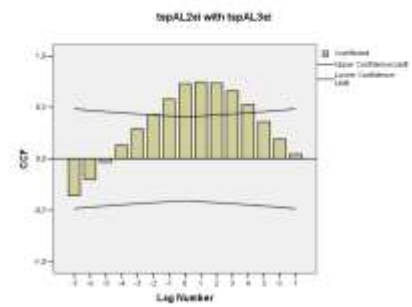
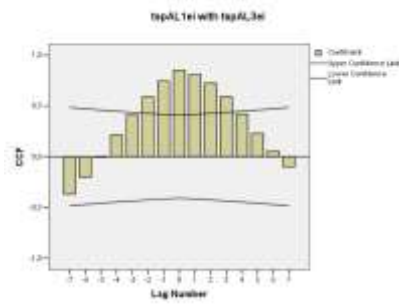
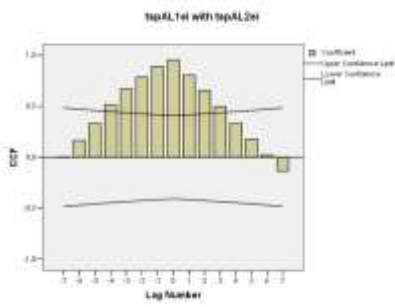
protB2 x protC2 externo LESTE



protA1 x protA2 externo LESTE

protA1 x protA3 externo LESTE

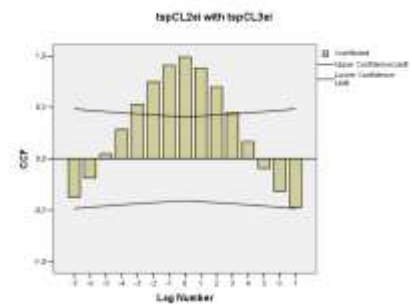
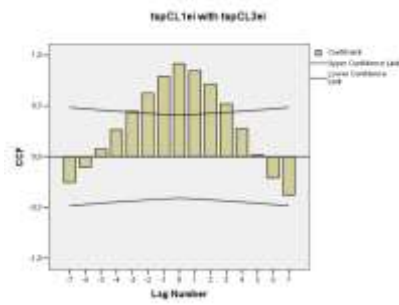
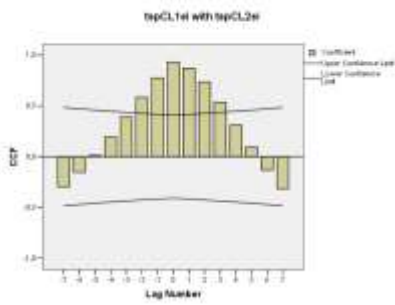
protA2 x protA3 externo LESTE



protC1 x protC2 externo LESTE

protC1 x protC3 externo LESTE

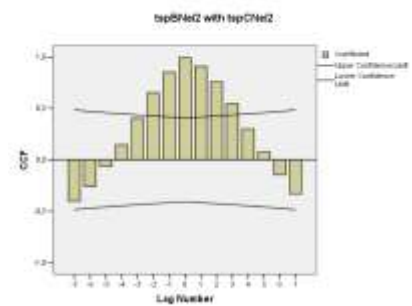
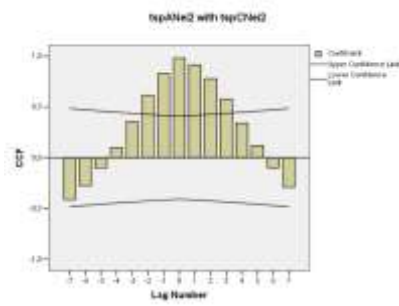
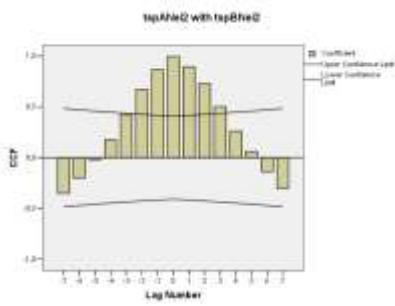
protC2 x protC3 externo LESTE



protA2 x protB2 externo NORTE

protA2 x protC2 externo NORTE

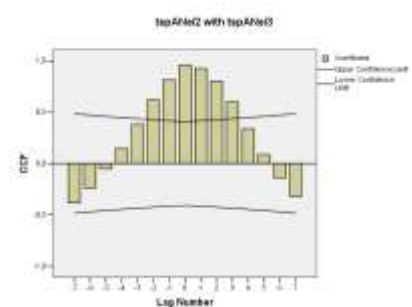
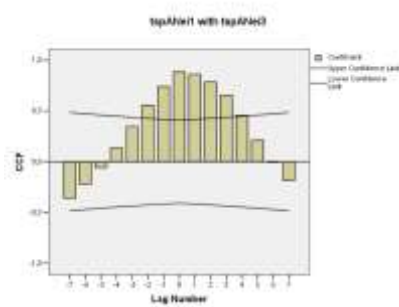
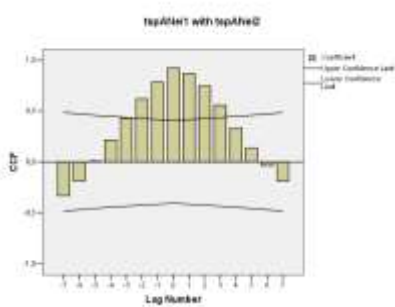
protB2 x protC2 externo NORTE



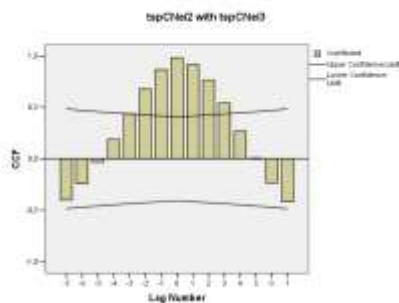
protA1 x protA2 externo NORTE

protA1 x protA3 externo NORTE

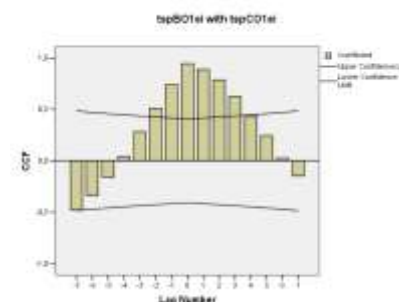
protA2 x protA3 externo NORTE



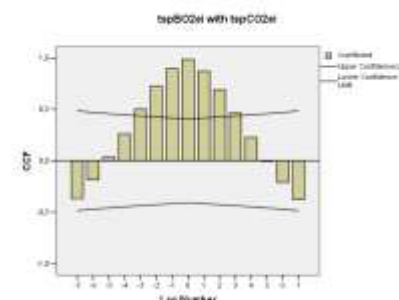
protC2 x protC3 externo NORTE



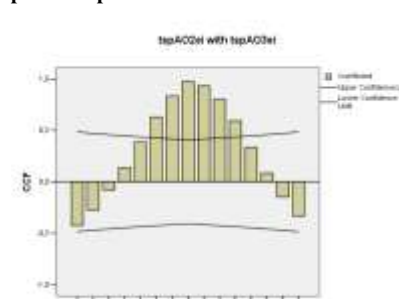
protB1 x protC1 externo OESTE



protB2 x protC2 externo OESTE

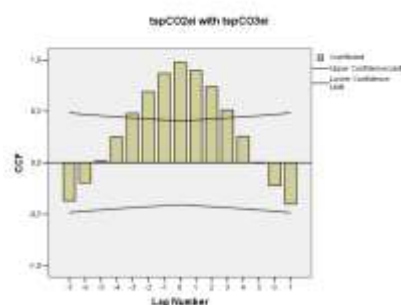
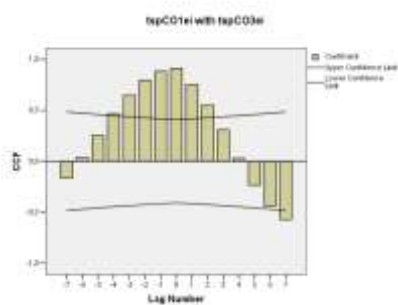
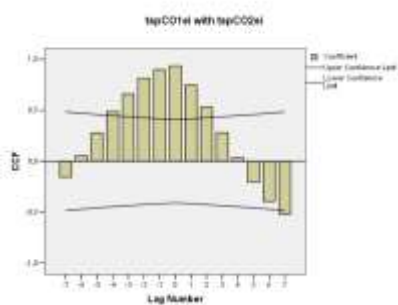


protA2 x protA3 externo OESTE

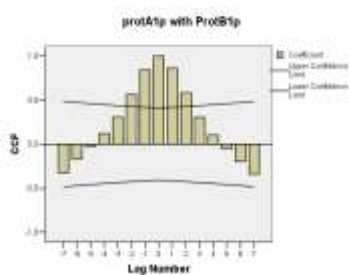


Using a computer

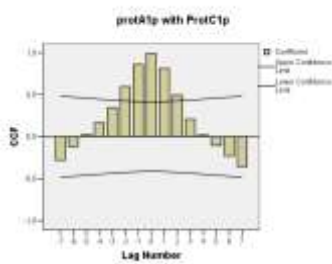
protC2 x protC3 externo OESTE



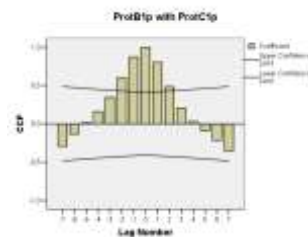
4ª Análise: Umidade relativa do ar



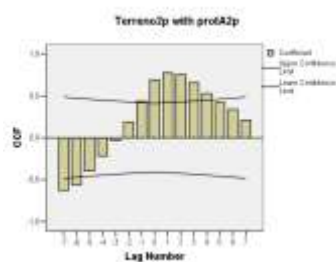
protA x protB na opção 1



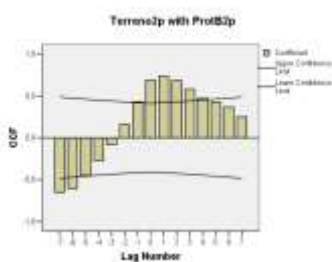
protA x protC na opção 1



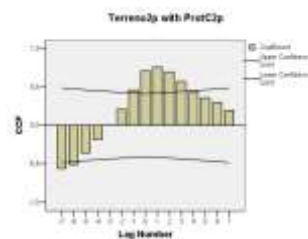
protB x protC na opção 1



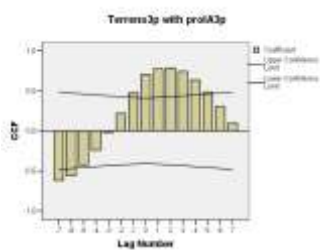
Terreno x protA na opção 2



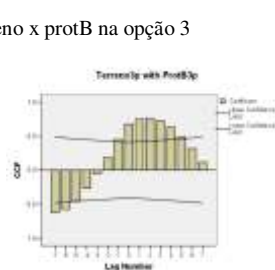
Terreno x protB na opção 2



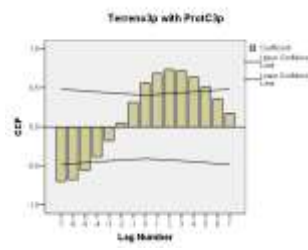
Terreno x protC na opção 2



Terreno x protA na opção 3

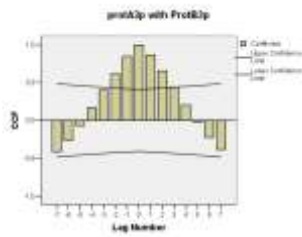


Terreno x protB na opção 3

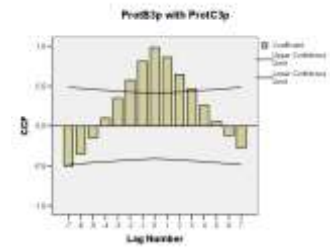
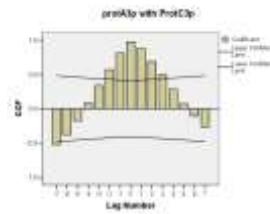


Terreno x protC na opção 3

protA x protB na opção 3

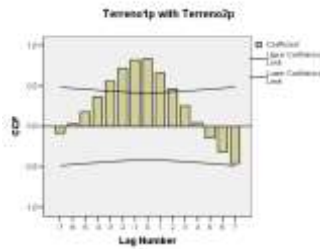


protA x protC na opção 3

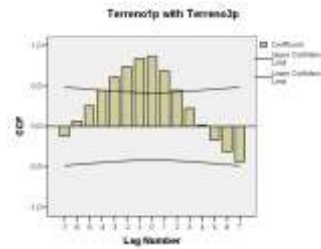


protB x protC na opção 3

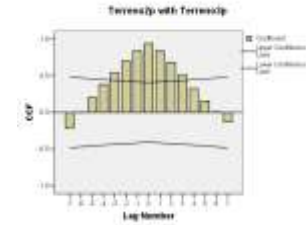
Terreno opção 1 x terreno 2



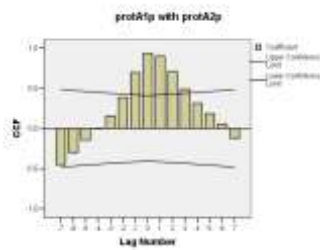
Terreno 1 x terreno 3



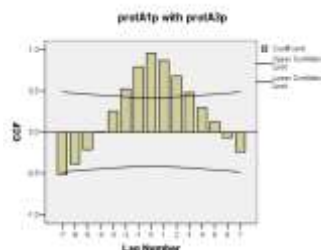
Terreno 2 x terreno 3



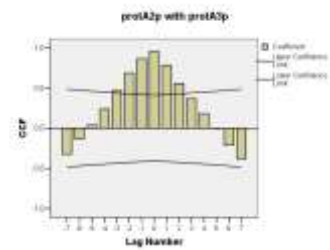
protA1 x protA2



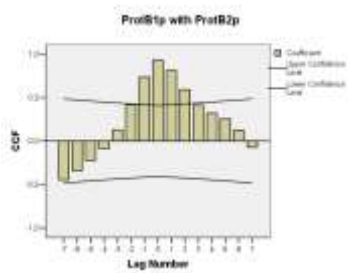
protA1 x protA3



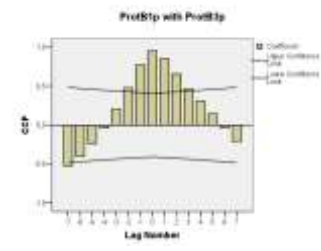
protA2x protA3



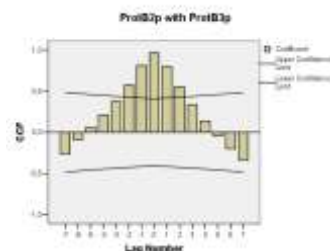
protB1 x protB2



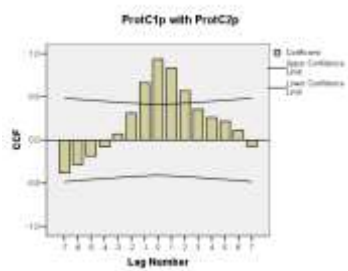
protB1 x protB3



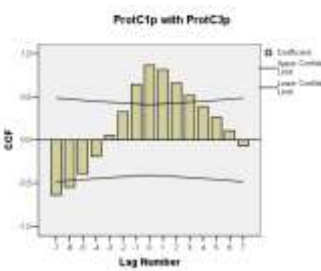
protB2x protB3



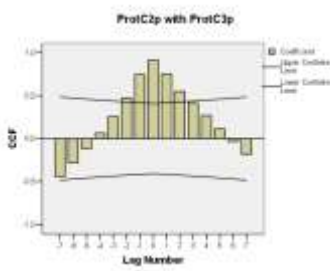
protC1 x protC2



protC1 x protC3



protC2x protC3



Período de medido do ano de 2015 e 2016 (inverno, primavera, verão e outono) com as seguintes variáveis:

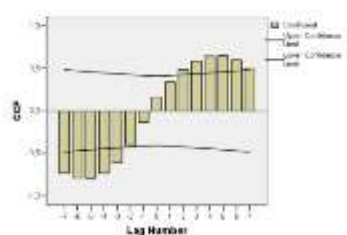
Protótipos “A”: vegetação afastada 50 cm da parede

Protótipo “B”: sem vegetação.

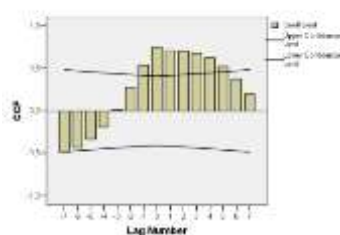
Protótipos “C”: vegetação junto da parede e vegetação na cobertura.

1ª Análise: temperatura do ar externo e interno dos protótipos

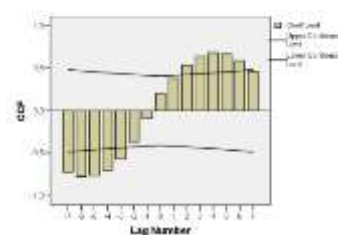
Terreno x protA inverno



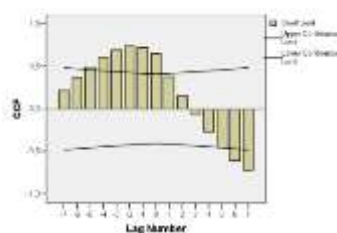
Terreno x protB inverno



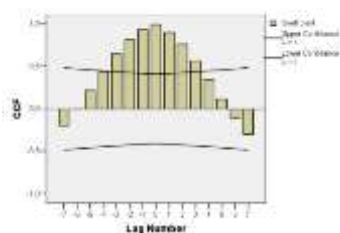
Terreno x protC inverno



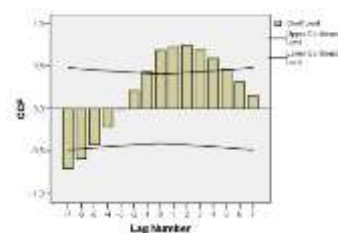
protA x protB inverno



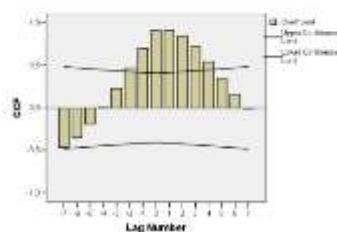
protA x protC inverno



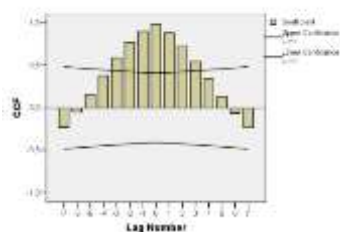
protB x protC inverno



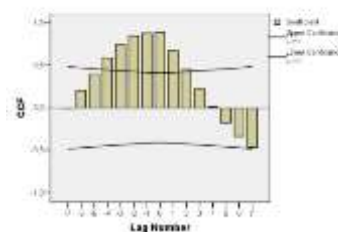
protA x protB verão



protA x protC verão



protB x protC verão



Terreno x protA outono

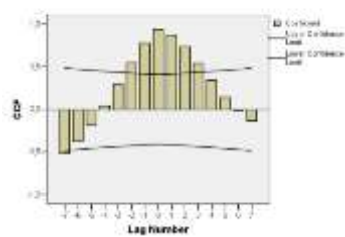


Terreno x protB outono

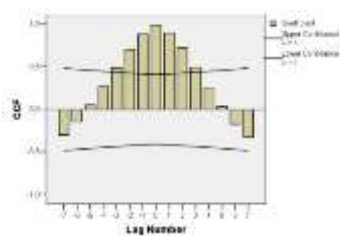


Terreno x protC outono

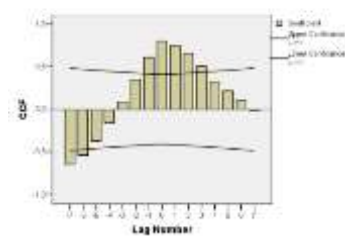




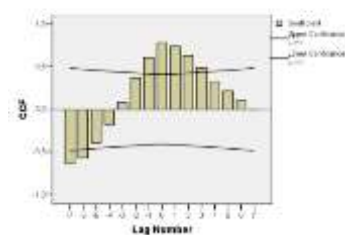
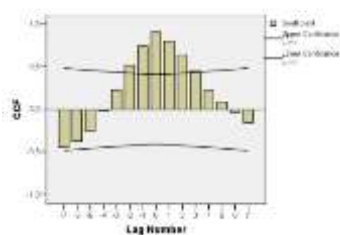
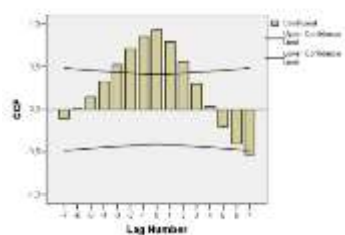
protA x protB outono



protA x protC outono

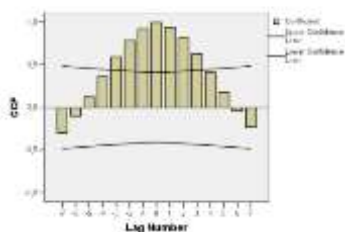


protB x protC outono

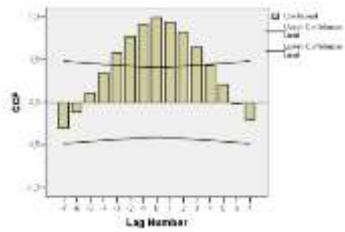


2ª Análise: Temperatura de globo

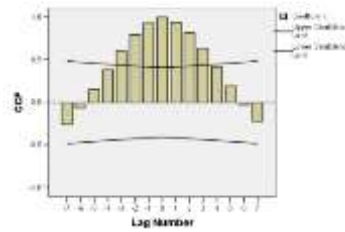
Protótipo A x Protótipo B inverno



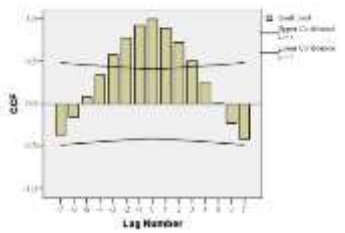
Protótipo A x Protótipo C inverno



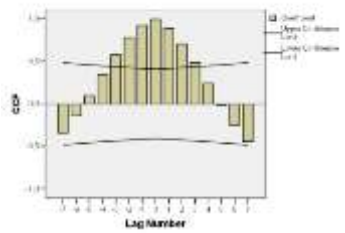
Protótipo B x Protótipo C inverno



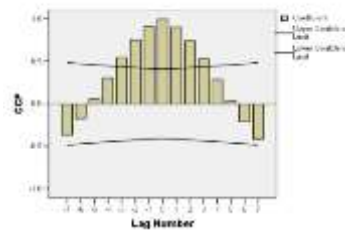
Protótipo A x B primavera



Protótipo A x C primavera



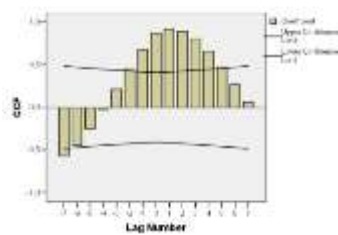
Protótipo B x C primavera



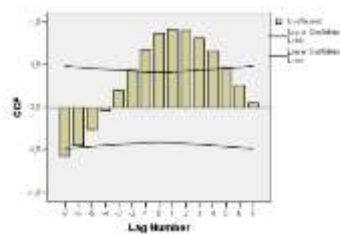
Protótipo A x B verão

Protótipo A x C verão

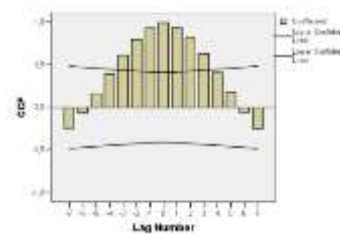
Protótipo B x C verão



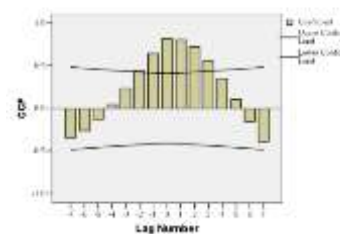
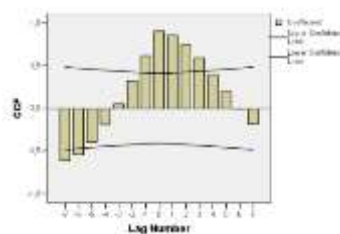
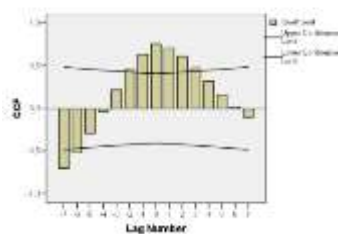
Protótipo A x B outono



Protótipo A x C outono



Protótipo B x C outono



3ª Análise: Temperatura superficial externa/ interna

protA x protB inverno

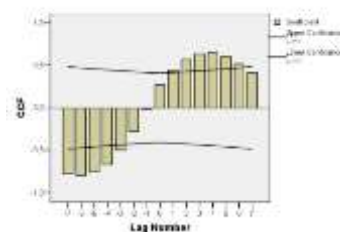
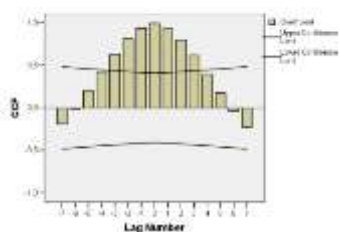
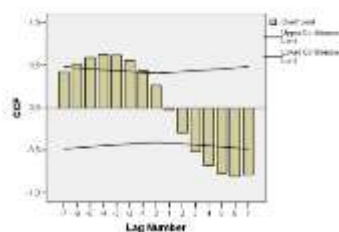
LESTE

protA x protC inverno

LESTE

protB x protC inverno

LESTE



protA x protB inverno

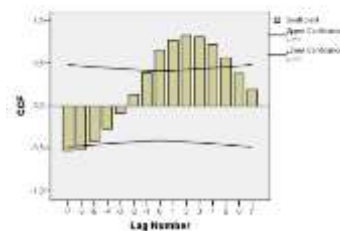
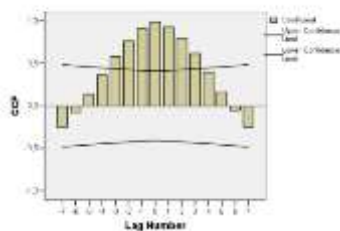
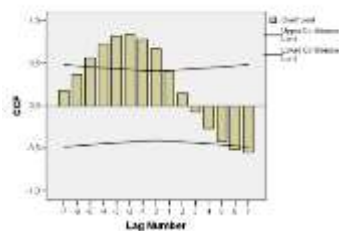
NORTE

protA x protC inverno

NORTE

protB x protC inverno

NORTE



protA x protB inverno

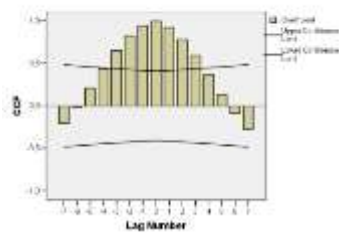
OESTE

protA x protC inverno

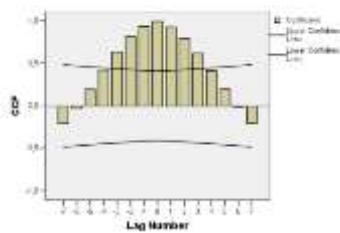
OESTE

protB x protC inverno

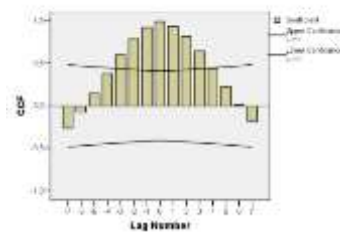
OESTE



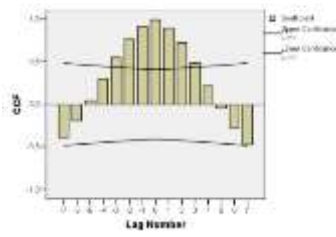
protA x protB primavera LESTE



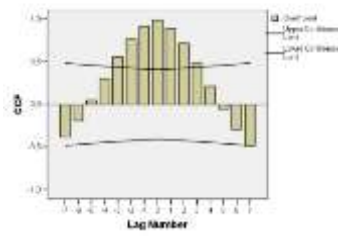
protA x protC primavera LESTE



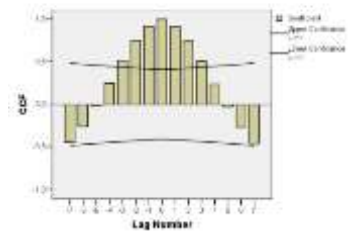
protB x protC primavera LESTE



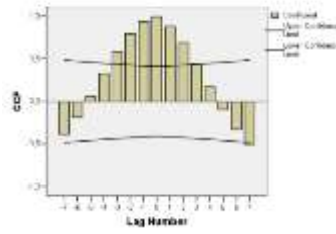
protA x protB primavera NORTE



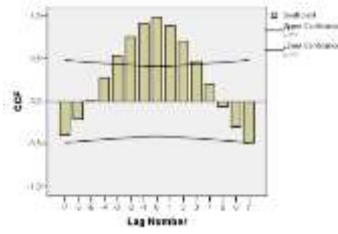
protA x protC primavera NORTE



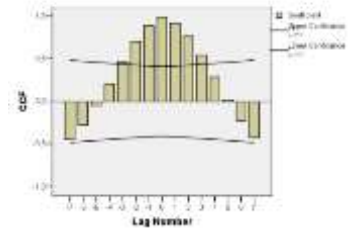
protB x protC primavera NORTE



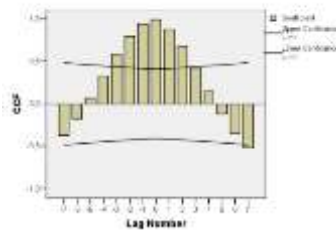
protA x protB primavera OESTE



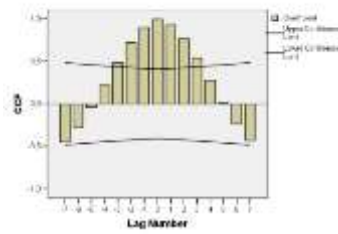
protA x protC primavera OESTE



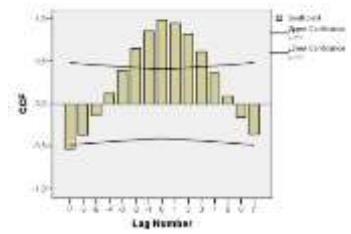
protB x protC primavera OESTE



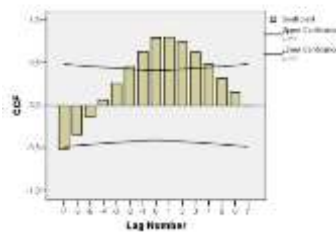
protA x protB verão LESTE



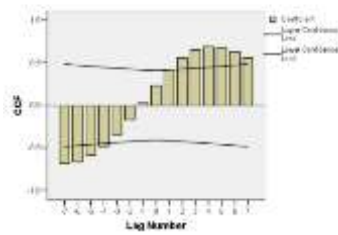
protA x protC verão LESTE



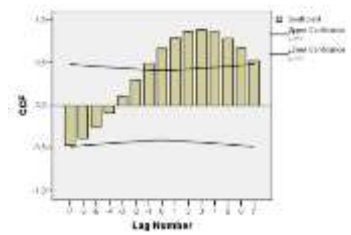
protB x protC verão LESTE



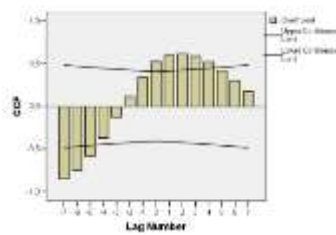
protA x protB verão OESTE



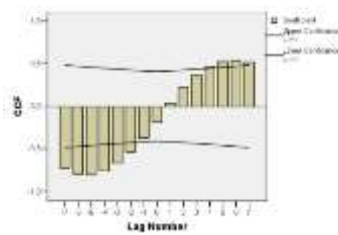
protA x protC verão OESTE



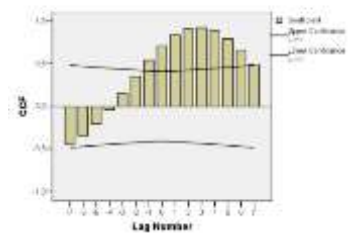
protB x protC verão OESTE



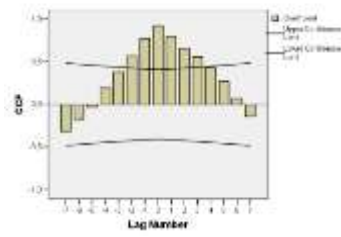
protA x protB outono LESTE



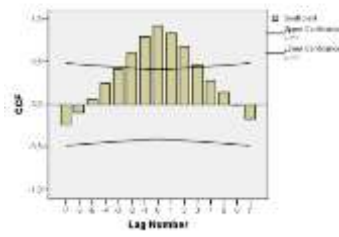
protA x protC outono LESTE



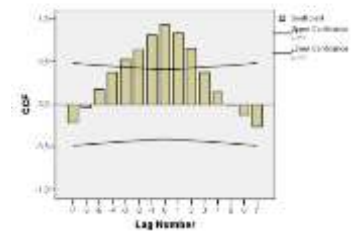
protB x protC outono LESTE



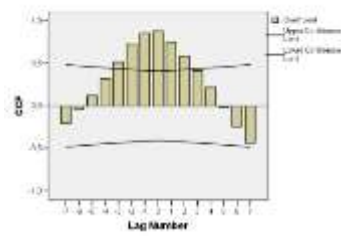
protA x protB outono NORTE



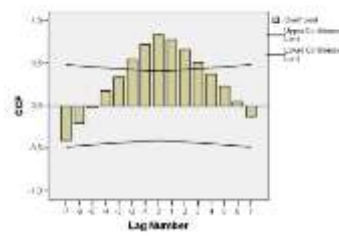
protA x protC outono NORTE



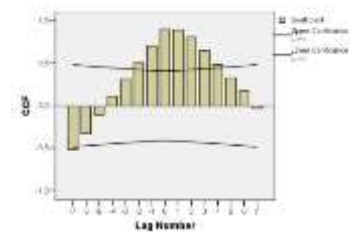
protB x protC outono NORTE



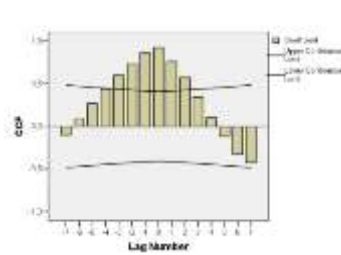
protA x protB outono OESTE



protA x protC outono OESTE



protB x protC outono OESTE

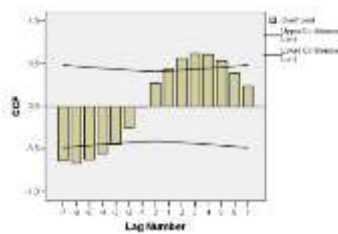


4ª Análise: Umidade relativa do ar

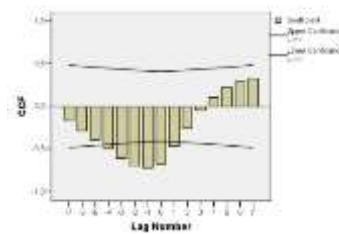
Terreno x protA inverno

Terreno x protB inverno

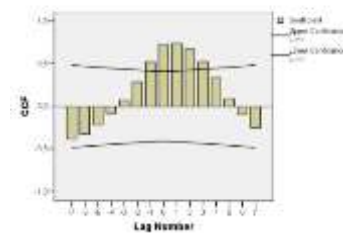
Terreno x protC



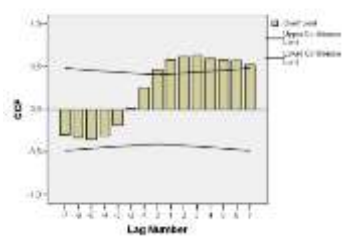
protA x protB inverno



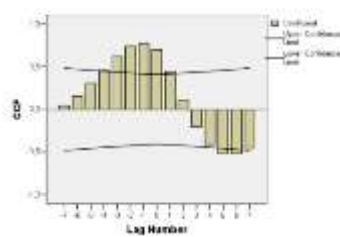
protA x protC inverno



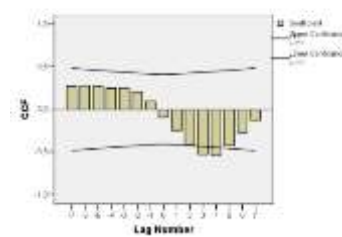
protB x protC inverno



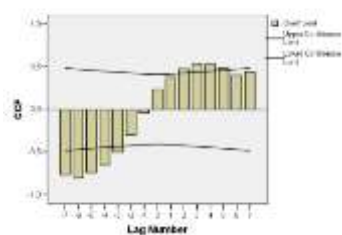
Terreno x protA primavera



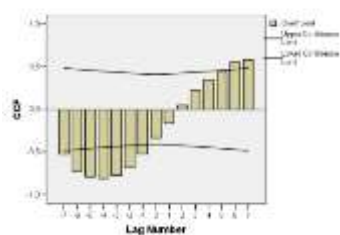
Terreno x protB primavera



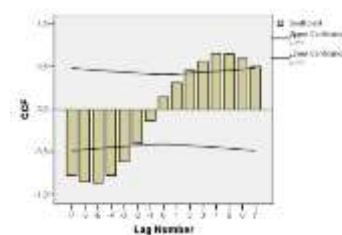
Terreno x protC primavera



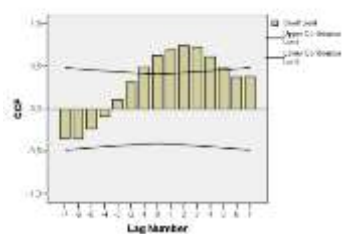
protA x protB



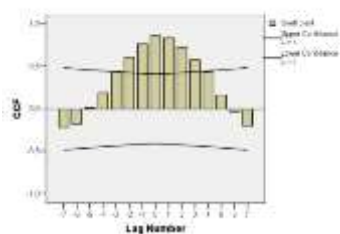
protA x protC primavera



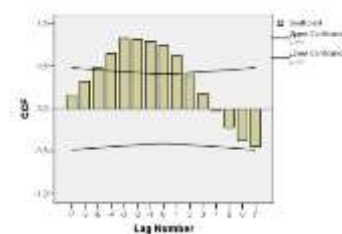
protB x protC primavera



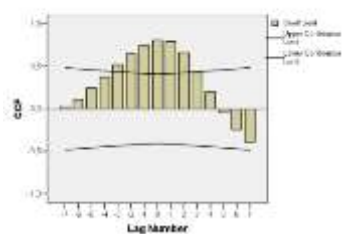
Terreno x protA verão



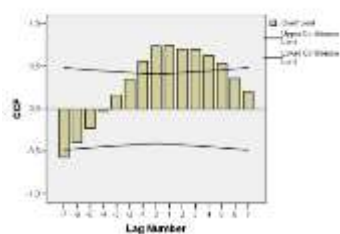
Terreno x protB verão



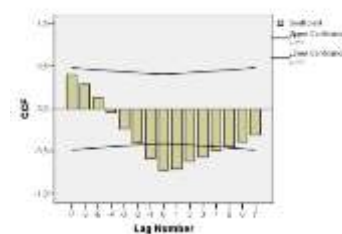
Terreno x protC verão



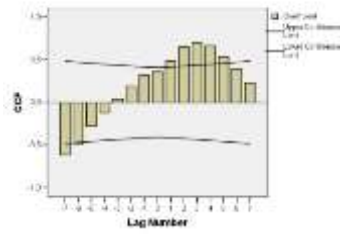
protA x protB verão



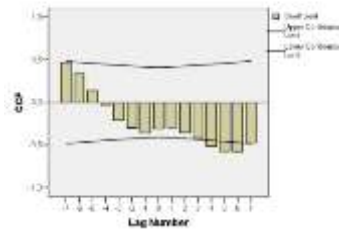
protA x protC verão



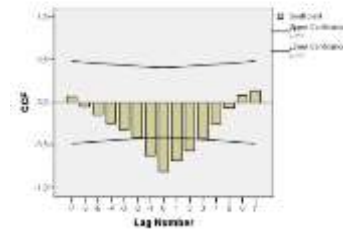
protB x protC verão



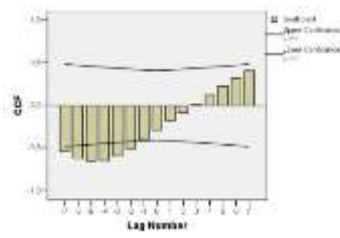
Terreno x protA outono



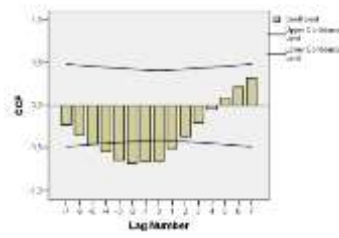
Terreno x protB outono



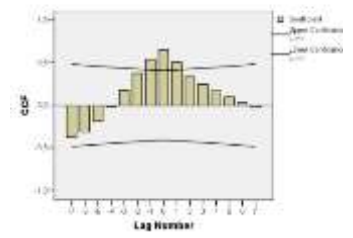
Terreno x protC outono



protA x protB outono



protA x protC outono



protB x protC outono

