UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

MARCOS PEREIRA LIMA

Equações preditivas para determinar a temperatura interna do ar: envolventes em painel alveolar com cobertura verde

São Carlos
2009

MARCOS PEREIRA LIMA

Equações preditivas para determinar a temperatura interna do ar: envolventes em painel alveolar com cobertura verde

Dissertação apresentada ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Universidade de São Paulo para exame de defesa de Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia do Ambiente Construído
Orientador: Prof. Dr. Francisco A. S. Vecchia

São Carlos
2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

L732e

Lima, Marcos Pereira
Equações preditivas para determinar a temperatura interna do ar : envolventes em painel alveolar com cobertura verde / Marcos Pereira Lima ; orientador Francisco A.S. Vecchia. -- São Carlos, 2009.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

1. Equações lineares. 2. Equações preditivas de temperatura. 3. Predições de temperaturas internas do ar. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MARCOS PEREIRA LIMA.**

Tese defendida e julgada em 13/10/2009 perante a Comissão Julgadora:

Francisco A. Vecchia — Aprovado

Prof. Associado **FRANCISCO ARTHUR DA SILVA VECCHIA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Associado **LUIZ CESAR RIBEIRO CARPINETTI**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Profª. Drª. **LEA CRISTINA DE SOUZA**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Prof. Associado **EVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Engenharia Ambiental

Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Dedicatória

Aos meus pais, Ademar e Bene, por por todo o amor e incentivo que me deram ao longo de minha vida.

Agradecimentos

Aos meus pais, Ademar e Bene, pelo carinho, incentivo que me deram ao longo da minha vida.

Aos meus irmãos, Elaine e Marcio, por serem pessoas que me ajudaram em horas de dificuldade.

A minha noiva Katia pela pelo companheirismo e compreensão e a sua família, Sérgio, Catarina e Gabriel.

Ao professor Dr. Francisco A. S. Vecchia pela orientação e auxílio nesta pesquisa.

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Universidade de São Paulo pela oportunidade de realizar meu mestrado em seu programa de pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de mestrado concedida.

Ao Laboratório de Construção Civil do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade de São Paulo, em especial ao técnico do laboratório Sérgio A. Trevelin, pela ajuda na coleta de parte dos dados utilizados neste trabalho.

Aos professores Luiz C. R. Carpinetti, Léa Cristina Lucas de Souza e Salvador Claro Neto pelas críticas construtivas ao trabalho.

LIMA, M. P., 2009 **Equações preditivas para determinar a temperatura interna do ar: envolventes em painel alveolar com cobertura verde.** 161f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos

Resumo

Introdução: Através da ferramenta estatística denominada análise de regressão linear múltipla se gerou equações preditivas de temperatura interna do ar de uma edificação com paredes e lajes compostas por painéis de concreto alveolar, com sistema de cobertura verde. **Justificativa:** Com equações preditivas é possível simular temperaturas internas de edificações utilizando uma pequena entrada de dados com uma precisão satisfatória. Utilizando tais equações é possível, também, corrigir erros de projetos antes de sua execução. **Objetivos:** Gerar equações preditivas para o período seco (outono e inverno) e para o período chuvoso (primavera e verão) para a edificação analisada. **Metodologia:** Foram selecionadas duas séries de dados, um referente ao período de característica seca e outro de característica chuvosa. Foram geradas equações preditivas de temperatura interna do ar máxima, média e mínima para os dois períodos, utilizando análise de regressão linear. **Resultados:** Foram geradas sete equações preditivas para o período seco e cinco para o período chuvoso. As diferenças máximas, em módulo, entre as temperaturas estimadas pelas equações e as monitoradas experimentalmente ficaram em aproximadamente 2°C. **Conclusão**: As equações preditivas geradas para os dois períodos considerados descrevem satisfatoriamente o comportamento térmico da edificação.

Palavras Chave: Equações lineares, equações preditivas de temperatura, predições de temperaturas internas do ar.

LIMA, M. P., 2009 **Equations to determine the internal temperature of the air: walls and ceiling build from panels of alveolar concrete with green roof**. 161p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos

Abstract

Introduction: Using a statistics tool called multiple linear regression, we created equations for predicting the indoor temperature in a building with walls and ceiling build from panels of alveolar concrete, with a green roof system. **Explanation:** Predictive equations enable simulations of indoor temperatures of buildings using a small number of data and with a satisfactory precision. They also allow corrections on project errors before they are put into effect. **Objectives:** Generate predictive equations for the building for the dry season (autumn and winter) and for the rainy season (spring and summer) **Method:** We selected two series of data, one for the dry and one for the rainy season. Using linear regression analysis we ran predictive equations for maximum, intermediate and minimum indoor temperatures of the air for both seasons. **Results:** We created seven predictive equations for the dry season and five for the wet season. The largest differences (in module) between the temperatures estimated using equations and monitored experimentally was approximately 2°C. **Conclusion**: The predictive equations generated for both periods described satisfactorily the thermal behavior of the building.

Key words: Linear equations, predictive equations for the temperature, predictions of indoor temperatures of the air.

Lista de Figuras

Figura 1: Gráfico mostrando os valores das temperaturas monitoradas e estimadas por meio de equações preditivas. 33

Figura 2: Diagramas de Dispersão 38

Figura 3: Ponto de “leverage” indicado pela observação representada pelo ponto A.... 46

Figura 4: Localização em mapa do município de São Carlos – SP..... 49

Figura 5: Precipitação histórica média mensal e média aritmética da precipitação anual (precipitação total anual histórica dividido pelos doze meses do ano) 51

Figura 6: Esquema construtivo de telhados verdes baseado em Nagy (NAGY et al, 1998). 53

Figura 7: Diversas camadas, vistas em corte, sem escala, de uma CVL. 55

Figura 8: Planta baixa, vistas laterais e frontais da célula-teste que abriga o sistema de cobertura verde leve. 55

Figura 9: À esquerda é mostrado a aplicação de argamassa na platibanda e à direita é mostrado a canaleta para escoamento de água. 56

Figura 10: A imagem à esquerda mostra a aplicação da nata de cimento com látex na laje e a direita se vê a aplicação da referida nata na platibanda. 56

Figura 11: Aplicação do impermeabilizante sobre a laje com rolos de pintura. 57

Figura 12: À esquerda está ilustrada a colocação do substrato sobre o geocomposto e a direita a colocação dos tapetes de grama sobre o substrato. 58

Figura 13: Planta baixa, sem escala, da edificação em painéis de concreto alveolar com CVL, indicando a localização dos sensores de temperatura..... 60

Figura 14: Ilustração demonstrativa do painel alveolar da edificação construída. 61

Figura 15: A: Edificação construída com painéis alveolares. B: Detalhe do telhado mostrando os Alvéolos. 61

Figura 16: Nos círculos em vermelho se pode ver as canaletas para escoamento de águas pluviais. Observa-se, também, pessoas peneirando o substrato que foi utilizado na construção da cobertura verde. 62

Figura 17: Imagem com detalhe das camadas do geocomposto, geomanta e filamentos. Foto: Lima (2007) 63

Figura 18: Colocação do substrato sobre o geocomposto na construção da cobertura verde. 64

Figura 19: Imagem do painel frontal de um CR10X. 65

Figura 20: À esquerda o sensor HMP45C e a direita o sensor instalado no seu respectivo abrigo. 66

Figura 21: À esquerda é mostrado o abrigo onde está inserido o termopar. À direita se vê o termopar dentro do abrigo. 66

Figura 22: À imagem a esquerda mostra o desenho de um termístor. À direita se vê o termistor instalado no CR10X. 67

Figura 23: Multiplexador AM416 68

Figura 24: Imagem do piranômetro LI200X. 68

Figura 25: Barômetro CS105. 69

Figura 26: Sensor 03001. À esquerda se vê o anemômetro e a direita o anemoscópio. 69

Figura 27: Imagem do TB4MM. 70

Figura 28: Temperaturas externas do ar mínima, média e máxima e mínima interna do ar registradas no período de 4 de maio a 27 de junho de 2008. 77

Figura 29: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas mínimas do ar. 78

Figura 30: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas médias do ar. 79

Figura 31: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas máximas do ar. 79

Figura 32: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas médias do ar do dia anterior. .. 80

Figura 33: Temperaturas externas do ar mínima, média e máxima e média interna do ar registradas no período de 4 de maio a 27 de junho de 2008..... 82

Figura 34: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas médias do ar frente às temperaturas externas mínimas do ar. 82

Figura 35: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas médias do ar frente às temperaturas externas médias do ar. 83

Figura 36: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas médias do ar frente às temperaturas externas máximas do ar. 83

Figura 37: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas médias do ar frente às temperaturas externas médias do ar do dia anterior..... 84

Figura 38: Temperaturas externas do ar mínima, média e máxima e máxima interna do ar registradas no período de 4 de maio a 27 de junho de 2008. 85

Figura 39: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas máximas do ar frente às temperaturas externas mínimas do ar. 86

Figura 40: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas máximas do ar frente às temperaturas externas médias do ar. 86

Figura 41: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas máximas do ar frente às externas máximas. 87

Figura 42: Dados das temperaturas externas do ar (TExt Min, TExt Med e TExt Max) e da temperatura interna do ar mínima (TInt Min) referentes ao período de 17 de outubro a 11 de dezembro. 89

Figura 43: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas mínimas do ar. 89

Figura 44: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas médias do ar. 90

Figura 45: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas máximas do ar. 90

Figura 46: Dados das temperaturas externas do ar (TExt Min, TExt Med e TExt Max) e da temperatura interna do ar média (TInt Med) referentes ao período de 17 de outubro a 11 de dezembro. 92

Figura 47: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas médias do ar frente às temperaturas externas mínimas do ar. 93

Figura 48: Diagrama de dispersão comparando as temperaturas internas médias do ar pelas externas médias. 93

Figura 49: Diagrama de dispersão comparando as temperaturas internas médias do ar pelas externas máximas. 94

Figura 50: Dados das temperaturas externas do ar (TExt Min, TExt Med e TExt Max) e da temperatura interna do ar máxima (TInt Max) referentes ao período de 17 de outubro a 11 de dezembro. 95

Figura 51: Diagrama de dispersão comparando as temperaturas internas máximas do ar pelas externas mínimas. 96

Figura 52: Diagrama de dispersão comparando as temperaturas internas máximas do ar pelas externas médias. 96

Figura 53: Diagrama de dispersão comparando as temperaturas internas máximas do ar pelas externas máximas. 97

Figura 54: Temperaturas externas do ar registradas no dia 3 e 4 de maio e temperaturas do ar registradas no interior da edificação no dia 4 de maio. 106

Figura 55: Radiação solar incidente registrada no dia 4 de maio de 2008, que permite deduzir que houve reduzida nebulosidade devido a sua aparência parabólica..... 107

Figura 56: Gráficos referentes ao período de 29 de abril a 7 de maio de 2008..... 108

Figura 57: Temperaturas externas do ar registradas no dia 15 e 16 de junho e temperaturas do ar registradas no interior da edificação no dia 16 de junho. 110

Figura 58: Gráfico de radiação Solar Incidente 111

Figura 59: Gráficos referentes ao período de 11 a 19 de junho de 2008..... 113

Figura 60: Resíduos estudentizados para TInt Min 1_i..... 116

Figura 61: Resíduos estudentizados para TInt Min 2_i..... 117

Figura 62: Resíduos estudentizados para TInt Min 3_i..... 118

Figura 63: Resíduos estudentizados para TInt Med 1_i. 119

Figura 64: Resíduos estudentizados para TInt Med 2_i. 120

Figura 65: Resíduos estudentizados para Ti Max 1_i. 121

Figura 66: Resíduos estudentizados para Ti Max 2_i. 122

Figura 67: Gráficos referentes ao período de 28 de junho a 16 de julho de 2008..... 123

Figura 68: Temperaturas internas mínimas do ar monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equações. 124

Figura 69: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas..... 125

Figura 70: Temperaturas internas médias do ar monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equações. 127

Figura 71: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas..... 127

Figura 72: Temperaturas internas máximas do ar monitoradas experimentalmente e estimadas pelas equações TInt Max 1_i e TInt Max 2_i. 129

Figura 73: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas..... 129

Figura 74: Temperaturas externas e internas do ar registradas no dia 29 de outubro de 2008. 135

Figura 75: Radiação solar incidente registrada no dia 29 de outubro de 2008. 136

Figura 76: Gráficos referentes ao período de 24 de outubro a 1 de novembro de 2008. 137

Figura 77: Resíduos estudentizados para TInt Min 1_v. 139

Figura 78: Resíduos estudentizados para TInt Min 2_v. 140

Figura 79: Resíduos estudentizados para TInt Med 1_v. 141

Figura 80: Resíduos estudentizados para TInt Max 1_v. 142

Figura 81: Resíduos estudentizados para TInt Max 2_v. 143

Figura 82: Gráficos referentes ao período de 15 de dezembro de 2008 a 3 de janeiro de 2009. 145

Figura 83: Temperaturas mínimas do ar monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equações. 147

Figura 84: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas. 148

Figura 85: Temperaturas médias do ar monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equações. 149

Figura 86: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas. 150

Figura 87: Temperaturas máximas do ar monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equações. 151

Figura 88: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas. 151

Lista de Quadros

Quadro 1:Tabela para teste de significância em regressão 43

Quadro 2: Precipitação total mensal em mm para a cidade de São Carlos. 51

Quadro 3: Variáveis explicativas e variáveis respostas para a predição da temperatura interna do ar mínima..... 81

Quadro 4: Variáveis explicativas e variáveis respostas para a predição da temperatura interna do ar média. 85

Quadro 5: Variáveis explicativas e variáveis respostas para a predição da temperatura interna do ar média. 87

Quadro 6: Variáveis explicativas e variáveis respostas para a predição da temperatura interna do ar mínima..... 91

Quadro 7: Variáveis explicativas e variável resposta para a predição da temperatura interna do ar média. 94

Quadro 8: Variáveis explicativas e variáveis respostas para a predição da temperatura interna do ar média. 97

Sumário

Lista de Figuras 17

Lista de Quadros 19

Sumário 21

1. Introdução 23

2. Justificativa 25

3. Objetivos 27

3.1. Objetivos específicos 27

4. Revisão Bibliográfica 28

4.1. Equações Preditivas 28

4.2. Estatística descritiva 34

4.3. Análise de Variância 35

4.4. Análise de Regressão Linear 36

4.4.1. Correlação Linear 36

4.4.2. Diagrama de Dispersão 37

4.4.3. “Outliers” 39

4.4.4. Regressão Linear Simples 40

4.4.5. Regressão Linear Múltipla 41

4.4.6. Teste de Significância da Regressão 43

4.4.7. Análise de Resíduos 44

4.4.8. “Leverage” 45

4.4.9. Coeficiente de Determinação Múltipla 47

4.4.10. Validação de Modelos de Regressão 48

4.5. Caracterização da área de estudo 49

4.6 Sistema de Cobertura Verde 52

5. Procedimentos Metodológicos 59

5.1. Descrição da Edificação 59

5.2. Descrição Construtiva de uma CVL 62

5.3. Equipamentos utilizados para a medição e coleta de dados utilizados neste trabalho de pesquisa 64

5.4. Descrição da instalação e determinação das condições de medição 70

6. Coleta de dados e proposição das equações 72

6.1. Tratamento dos Dados. 72

6.2. Geração das equações 72

6.3. Construção das equações 74

6.3.1. Período de inverno 75

6.3.2. Período de Verão 88

7. Resultados e Discussão 98

7.1. Período de inverno 98

7.1.1. Equações geradas para o período de inverno 99

7.1.2. Análise dos “outliers” 104

7.1.3. Análise estatística das equações do Período de Inverno 115

7.1.4. Validação da equações do período de inverno 122

7.2. Período de verão 130

7.2.1. Equações geradas para o período de verão 130

7.2.2. Análise dos “outliers” 134

7.2.3 Análise estatística das equações do Período de verão 139

7.2.4. Validação das equações período de verão 144

8. Conclusões 153

9. Referências Bibliográficas 159

1. Introdução

Em Givoni (GIVONI, 1999, pág. 197-202) desenvolveu equações preditivas para estimar temperaturas internas do ar. Esse método utilizou dados de temperaturas internas e externas do ar coletadas em um pequeno espaço de tempo em duas casas desocupadas na cidade de Pala no sul da Califórnia em 1993. Tal método consistiu em coletar duas séries de dados de temperaturas diárias e por meio de uma análise de regressão linear encontrar uma equação preditiva para aquele tipo de edificação. A equação gerada servirá somente para predizer as temperaturas daquele tipo de edificação específica, pois para edificações diferentes se tem características termo-físicas dos materiais utilizados na construção diferentes.

A vinda do professor B. Givoni a USP em São Carlos fez com que se iniciassem os estudos de equações preditivas para estimar temperaturas internas de edificação neste grupo de pesquisa. Em 2001, Vecchia e Givoni (VECCHIA, GIVONI, 2001, pág 701-705) coletaram dados em duas casas ocupadas no município de Descalvado-SP. Para construir as equações das residências em Descalvado foram utilizados além dos dados de temperatura, dados de radiação solar, em busca de se obter equações preditivas com valores de temperaturas mais próximos ao real. Estas equações apresentaram valores estimados próximos ao monitorado, o que fez com que houvesse interesse em continuar os estudos com equações preditivas. Essas equações preditivas geradas servem somente para o tipo específico de edificação analisada em Descalvado.

Foram geradas equações preditivas para uma edificação ocupada, na qual está instalado um laboratório de pesquisa para alunos de graduação e pós-graduação. A edificação tem suas paredes e telhados compostos por painéis de concreto alveolar e

sistema de cobertura verde leve – CVL. Ela está localizada no campus da Universidade de São Paulo no município de São Carlos.

O sistema de CVL é um sistema de cobertura com multicamadas, composto por laje suporte, impermeabilizante, geocomposto com função drenante e filtrante, substrato e vegetação. O sistema de CVL é uma solução construtiva eficiente, uma vez que apresenta desempenho térmico frente ao calor relativamente superior em relação aos sistemas de cobertura de telhas cerâmicas e de telhas de fibrocimento, que são atualmente os sistemas de cobertura mais difundidos no país. O sistema de CVL pode também, quando utilizado em grande escala, auxiliar no controle de enchentes nos grandes centros urbanos, uma vez que ela absorve parte das águas da chuva e gera, por sua vez, um atraso no “runoff” (escoamento superficial das águas de chuva).

Devido às diferenças das características das massas atuantes no período seco e no período chuvoso, optou-se por gerar equações preditivas de temperatura diária, máxima, média e mínima, para cada período. Para o período seco foram geradas sete equações preditivas, sendo três para estimar as temperaturas mínimas, duas para estimar as temperaturas médias e duas para estimar as temperaturas máximas. Para o período de verão, foram geradas cinco equações preditivas de temperatura interna do ar, sendo duas para estimar as temperaturas diárias mínimas, uma para estimar a temperatura diária média e duas para estimar as temperaturas internas máximas.

2. Justificativa

Em estudos anteriores, este sistema de CVL mostrou um desempenho térmico relativamente superior frente ao calor comparado com um sistema de cobertura com telha cerâmica romana. Ambas as edificações analisadas eram de alvenaria de tijolo maciço, diferenciando-se apenas no tipo de cobertura utilizada. A diferença de temperatura medida entre os dois sistemas de cobertura foi de aproximadamente 2ºC. A utilização do sistema de cobertura verde leve pode gerar economia em gastos referentes ao uso de condicionadores de ar. O sistema de cobertura verde pode auxiliar, também, no controle de enchentes nos grandes centros urbanos, uma vez que ela absorve parte das águas da chuva e gera, por sua vez, um atraso no "runoff" (escoamento superficial das águas de chuva), atuando contra o sobrecarregamento do sistema de águas pluviais.

A construção de equações preditivas de temperatura interna para edificações com sistema de CVL é interessante, uma vez que este sistema de cobertura é pouco difundido no Brasil, impossibilitando assim medições em campo de temperatura interna deste sistema de cobertura em diferentes regiões do país. Com a construção das equações é possível simular o comportamento térmico deste tipo de cobertura nessas diferentes regiões, uma vez que tal equação considera as condições termo-físicas dos materiais e dos elementos construtivos. Ainda podem-se comparar as temperaturas simuladas por meio das equações preditivas com a dos sistemas de cobertura comumente encontrados na região e que tiveram suas temperaturas internas monitoradas experimentalmente.

O uso de condicionadores de ar e sistemas de calefação pode ter um custo energético significativo na edificação. Neste caso, conhecer o comportamento térmico da edificação frente às condições impostas pelo ambiente externo pode ser interessante,

uma vez que o custo para corrigir um problema de uma edificação ainda na fase de projeto é muito menor do que na fase de construção ou na fase de utilização da edificação.

3. Objetivos

Desenvolver equações preditivas de temperaturas internas diárias do ar, média, máxima e mínima, no interior da edificação, com base na temperatura externa do ar (°C)[1] e dados de radiação solar global (W/m^2), utilizando como objeto de estudo uma edificação com paredes e lajes de painéis de concreto alveolar com sistema de CVL, substituindo o convencional sistema de telhas cerâmicas ou fibrocimento com estrutura de suporte.

3.1. Objetivos específicos

a) Coleta e análise dos dados climáticos e da temperatura interna da edificação objeto de estudo;
b) Definição das séries históricas de dados climáticos e da temperatura monitorada no interior da edificação a serem utilizadas na análise de regressão;
c) Tratamento estatístico dos dados adquiridos;
d) Escolha de uma nova série de dados para verificação e validação das equações preditivas.

[1] Optou-se pelos valores em graus Celsius, para melhor compreensão e facilidade na discussão dos resultados, uma vez que, valores em Kelvin são pouco familiares.

4. Revisão Bibliográfica

4.1. Equações Preditivas

O experimento utilizou dados de temperatura e da radiação solar para predição de temperaturas internas de edificações teve origem em Pala, próximo a San Diego, Califórnia. Para tal, Givoni (GIVONI, 1999) utilizou dados de temperatura interna do ar de duas edificações monitoradas de julho de 1993 a dezembro de 1994, uma com grande massa térmica e outra com pouca massa térmica. As duas edificações analisadas tinham o mesmo coeficiente de perda de calor, idêntica divisão interna e área de aproximadamente 23m^2. As edificações possuem altura de 2,4 m. A área total de janelas era de aproximadamente 4,6m^2, divididas igualmente nas quatro paredes. As janelas estavam sem nenhum sombreamento. A cor original dos telhados era marrom escuro (absortância estimada visualmente entre 0,7-0,75) e as paredes possuíam cor bege (absortância estimada entre 0,5 e 0,55). Em agosto de 1994 as paredes e o telhado foram pintados de branco.

Givoni (GIVONI, 1999) testou os protótipos, quando pintados de cor escura, em quatro tipos de configurações distintas: (1) janelas não sombreadas e fechadas; (2) fechadas e sombreadas (sem ventilação); (3) janelas sombreadas e fechadas durante o dia, mas aberta à noite com ventilação assistida com ventilador de baixa velocidade (em torno de 30 trocas de ar por hora) e (4) com ventiladores de alta velocidade (em torno de 50 trocas de ar por hora).

Depois de pintado de branco, Givoni (GIVONI, 1999) testou os protótipos em mais três condições distintas: (1) Janelas fechadas e sombreadas; (2) janelas sombreadas e fechadas com ventilação assistida por ventilador de baixa velocidade e (3) com

ventiladores de alta velocidade. Deste modo, cada edificação foi testada em sete configurações diferentes. Em seguida, analisou o relacionamento entre a temperatura interna do ar máxima e vários parâmetros externos do clima e verificou que havia maior correlação entre a temperatura média externa do ar e a temperatura máxima interna do ar. Primeiramente, a temperatura interna do ar máxima foi expressa como função da temperatura externa do ar média somente. Em um segundo momento, foi incluído o efeito das mudanças da radiação solar global.

O modelo proposto, por Givoni (GIVONI, 1999) seguia a seguinte expressão para temperatura máxima:

$$Tmax = GTavg + \Delta T + k1*(Tavg-GTavg) \qquad \text{(Eq. 01)}$$

Com a adição da radiação solar a equação tomava a seguinte forma:

$$Tmax = GTavg + \Delta T + k1*(Tavg-GTavg) + k2*Solar \qquad \text{(Eq. 02)}$$

Onde,

Tmax = Temperatura máxima interna do ar em um dia particular

Tavg = Temperatura média externa do ar em um dia particular

GTavg = “Grande média” da temperatura externa do ar

ΔT = Elevação média da temperatura interna máxima do ar sobre a externa média, representando um “fator de ganho solar” da configuração da edificação.

K1 = proporção das mudanças diárias da temperatura interna do ar máxima para o padrão diário de mudança da temperatura externa do ar média.

K2 = uma constante expressando o efeito das mudanças diárias da radiação solar.

Solar = Radiação solar global total diária. (Wh/m^2dia)

Em 2001, Givoni e Vecchia (GIVONI, VECCHIA, 2001) produziram equações preditivas para duas edificações ocupadas no município de Descalvado, São Paulo,

Brasil. As edificações consistiam em duas edificações de baixo custo. “Ambas foram construídas com vigas e pilares de concreto pré-moldado, forro de laje alveolar, com paredes em alvenaria de blocos de concreto...” (SILVA, 2001, pág. 42) A cobertura das edificações eram de telhas cerâmicas. As equações geradas foram as seguintes:

Temperatura interna do ar máxima:

Sem considerar a radiação solar:

$$Tmax = 1.0894*Avg\ DBT+4.4 \qquad \text{(Eq. 03)}$$

Considerando a radiação solar:

$$Maximum = 1.0894*\ DBT+0.0018*Solar+3.8 \qquad \text{(Eq. 04)}$$

Temperatura interna do ar média

$$Average = 0.9887*DBT+0.0009*Solar+2.9 \qquad \text{(Eq. 05)}$$

Temperatura interna do ar mínima

$$Minima = DBT - 0.2*(Tmax - Tmin) + 0.15*(DBT - G_DBT) +2.3 \qquad \text{(Eq. 06)}$$

Onde,

Maximum é a temperatura interna do ar máxima

Average é a temperatura interna do ar média

Mínima é a temperatura interna do ar mínima

DBT é a temperatura externa do ar média

DBTG é a grande média da temperatura externa do ar

(Tmax-Tmin) é a diferença entre a temperatura externa do ar máxima e mínima.

Nas equações geradas para as edificações de Descalvado se nota uma configuração diferente da equação gerada por Givoni em 1999. Nas equações para temperaturas máximas e médias não se utilizou a “grande média” e na equação para temperatura mínima utilizou-se a amplitude térmica externa do ar.

Em 2002 Krüger (KRÜGER, 2002) desenvolveu equações preditivas para uma edificação construída de blocos composto de materiais alternativos. Os blocos descritos por Krüger (KRÜGER, 2002), denominados ISOPET, “são construídos em concreto leve utilizando em seu interior garrafas plásticas inteiras devidamente tampadas e posicionadas na vertical ou na horizontal.” Krüger (KRÜGER, 2002) gerou cinco equações preditivas de temperatura para esta edificação em particular, sendo duas delas para temperatura interna mínima do ar, duas para temperatura interna máxima do ar e uma para temperatura interna média do ar. As equações preditivas apresentadas por Krüger (KRÜGER, 2002) seguem o mesmo modelo das equações apresentadas por Givoni (GIVONI, 1999), modelo este semelhante a equação descrita como Eq. 01. As equações apresentadas por Krüger (KRÜGER, 2002) estão discriminadas abaixo:

Temperatura mínima

$$T_{min1,\ int} = 0{,}857*GT_{min,\ ext} + 0{,}73*(_{Tmin,\ ext} - GT_{min,\ ext}) + 3{,}55 \qquad \text{(Eq. 07)}$$

$T_{min2,\ int} = 0{,}927*GT_{min,\ ext} + 0{,}816*(T_{min,\ ext} - GT_{min,\ ext}) + 0{,}288*(T_{avg(n-1),\ ext} - T_{min,\ ext}) + 3{,}55$ (Eq. 08)

Temperatura Média

$T_{avg,\ int} = 0{,}851*GT_{avg,\ ext} + 0{,}602*(T_{avg,\ ext} - Gt_{avg,\ ext}) + 3{,}55$ (Eq. 09)

Temperatura Máxima

$T_{max1,\ int} = 0{,}802*GT_{max,\ ext} + 0{,}738*(T_{max,\ ext} - GTmax_{,\ ext}) + 3{,}55$ (Eq. 10)

$T_{max2,\ int} = GT_{avg,\ ext} + 0{,}819*(T_{avg} - GTavg_{,\ ext}) + 3{,}55$ (Eq. 11)

Onde,

$T_{min1,\ int}$ e $T_{min2,\ int}$ são as temperaturas internas mínimas estimadas

$T_{avg,\ int}$ é a temperatura média interna estimada

$T_{max1,\ int}$ e $T_{max2,\ int}$ são as temperaturas internas máximas estimadas

$GT_{min,\ ext}$ é a média da temperatura mínima externa do período analisado

$GT_{avg,\ ext}$ é a média das temperaturas externas registradas no período analisado

$GT_{max,\ ext}$ é a média da temperatura máxima externa do período analisado

$T_{min,\ ext}$ é a temperatura mínima externa registrada no dia analisado

$T_{avg(n-1),\ ext}$ é a temperatura média externa do dia anterior

$T_{avg,\ ext}$ é a temperatura média externa registrada no dia analisado

$T_{max,\ ext}$ é a temperatura máxima externa registrada no dia analisado

Krüger (KRÜGER, 2002) comparou os resultados das equações preditivas geradas com resultados simulados por computador através do software francês COMFIE e o brasileiro ARQUITROP. Krüger (KRÜGER, 2002) afirma que a comparação dos resultados obtidos por meio das equações e os simulados por computador foram satisfatórios. Este fato mostra que as equações preditivas são uma alternativa simples, fácil e eficiente de simular temperaturas internas de edificação, uma vez que utiliza apenas dados de temperatura externa do ar ou de temperatura externa do ar e radiação solar incidente, ao contrário de muitos softwares existentes no mercado que necessita de uma maior entrada de dados e maior conhecimento técnico.

Na maior parte do período as equações preditivas apresentam pouca diferença entre as temperaturas monitoradas e as estimadas, mas em alguns dias apresenta diferenças de temperaturas superiores a 4°C. Este comportamento pode ser visualizado no gráfico apresentado na Figura 1:

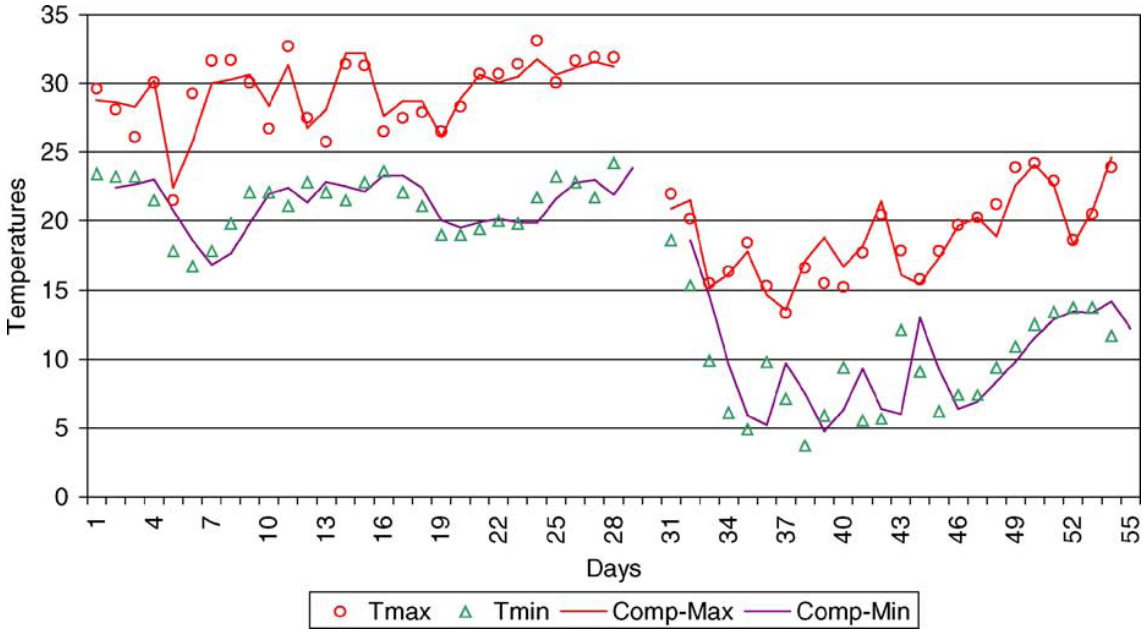

Figura 1: Gráfico mostrando os valores das temperaturas monitoradas e estimadas por meio de equações preditivas.
Fonte: Krüger (KRÜGER e GIVONI, 2004)

No gráfico mostrado na Figura 1, apresentado por Krüeger (KRÜGER e GIVONI, 2004), se percebe que no dia representado no gráfico por 43 a diferença entre a temperatura mínima monitorada e a estimada pela equação preditiva correspondente foi, em módulo, superior a 5°C.

Em 2005 Fernandes (FERNANDES, 2005) comparou diferentes métodos utilizados para gerar equações preditivas, com a finalidade de analisar os erros das temperaturas estimadas com as temperaturas monitoradas. Fernandes (FERNANDES, 2005, pág. 140) verificou que em alguns casos a não inserção do coeficiente ΔT pode melhorar a qualidade das estimativas.

4.2. Estatística descritiva

O cálculo de médias e desvios padrões permite ao analista ter uma noção do que a análise irá revelar.

- **Média Aritmética**

A média aritmética é a soma das observações divididas pelo número delas. Pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{(y_1 + y_2 + \ldots + y_n)}{n} \qquad \text{(Eq. 12)}$$

onde,

y é o valor das observações

n é o numero total de observações

- **Desvio Padrão**

O desvio padrão pode fornecer uma idéia sobre a variabilidade das amostras. É usual calcular a variância e o desvio padrão. As equações para cálculo estão mostradas a seguir

Variância:

$$s^2 = \frac{\sum y^2 \frac{(\sum y)^2}{n}}{n} \qquad \text{(Eq. 13)}$$

onde,

y é o valor das observações

n é o numero total de observações

Desvio padrão:

$$s = \sqrt{s^2} \qquad \text{(Eq. 14)}$$

4.3. Análise de Variância

A análise de variância consiste em uma ferramenta estatística que serve para comparar médias. A comparação se faz por meio do teste F.

O valor calculado de F deve ser comparado com o valor crítico de F, ao nível estabelecido de significância e com os mesmos graus de liberdade. (Vieira, 2006). Quando o valor calculado de F for maior que o valor crítico de F a hipótese de que as médias são iguais deve ser rejeitada.

4.4. Análise de Regressão Linear

A análise de regressão linear é uma ferramenta estatística para a modelagem ou o relacionamento de duas ou mais variáveis. “Em muitos problemas duas ou mais variáveis são inerentemente relacionadas, e é necessário explorar a natureza desse relacionamento. Análise de Regressão é uma técnica estatística para modelagem e investigação do relacionamento entre duas ou mais variáveis.” (Montgomery, 1994, pág. 471) Com análise de regressão é possível realizar o estudo da variação de determinada variável em função da variação de outras variáveis. “A variável de maior interesse, sobre a qual se deseja fazer uma estimativa, é denominada variável dependente e as demais, independentes.” (Montgomery, 1994, pág. 471)

Utilizando a análise de regressão simples é possível procurar uma equação de reta que descreve o fenômeno estudado. Chamamos de análise de regressão linear simples, quando o modelo possuir apenas uma variável independente ou regressor. Quando o modelo possuir mais de uma variável independente dá-se o nome de regressão linear múltipla. O assunto será tratado com maior aprofundamento posteriormente.

4.4.1. Correlação Linear

A correlação linear simples estuda o tipo de relação existente entre duas variáveis. “Note que a expressão tipo de relação existente entre duas variáveis significa qual alteração devemos esperar em uma das variáveis, como conseqüência de alterações

sofridas pela outra variável". (Werkema, 1995, pág. 176) . O problema que envolve mais de duas variáveis constitui uma correlação múltipla. (De Francisco, 1993)

Deve-se tomar muito cuidado quando se estuda a correlação entre variáveis, pois segundo Stevenson (Stevenson, 1986, pág. 389)

> "o fato de haver um relacionamento matemático entre duas variáveis nada nos diz quanto à causa e efeito. Logo, há três explanações possíveis para a obtenção de uma correlação: existe uma relação de causa e efeito; ambas as variáveis se acham relacionadas com uma terceira, ou a correlação é devida ao acaso. É preciso portanto tomar muito cuidado ao emparelhar qualquer tipo de dados a fim de achar alguma correlação, de modo a não realizar relacionamentos espúrios ou sem sentido."

Deste modo, deve-se submeter os resultados que figuram promissores baseados na lógica ou na teoria para decidir se há realmente uma relação de causa e efeito. Segundo Werkema (Werkema, 1995, pág. 186), "para o estabelecimento de relações de causa e efeito entre duas variáveis, é necessário utilizar o conhecimento técnico disponível sobre o processo ao qual as variáveis estão associadas."

O risco na utilização de relações para fins de predição que não foram validadas em relação de causa e efeito "é que as "relações" podem se modificar, ou que as modificações deliberadas na variável "causal" possam não conduzir às modificações esperadas na variável efeito." (Stevenson, 1986, pág. 389)

4.4.2. Diagrama de Dispersão

Uma ferramenta estatística simples que ajuda a visualizar a correlação existente entre variáveis é um gráfico denominado diagrama de dispersão. Para construção desse gráfico se coloca "os valores da variável explanatória no eixo horizontal (denominado

eixo das abscissas ou eixo dos X) e a variável dependente no eixo vertical (denominado eixo das ordenadas ou eixo dos Y).” (VIEIRA, 2004)

Se os pontos do diagrama se distribuírem em torno de uma reta ajustada, a correlação entre as variáveis é chamada linear. Se os pontos derem a imagem de uma curva, a correlação é chamada de não linear. O diagrama que apresenta os pontos espalhados, de maneira que não apresenta a imagem de uma reta ou de uma curva, indica que não existe inter-relação entre as variáveis e a correlação é nula. O fenômeno pode ser visualizado nos diagramas de dispersão da Figura 2:

Figura 2: Diagramas de Dispersão

“É importante destacar que, no início da análise de um diagrama de dispersão, a primeira providência a ser tomada consiste em verificar se não existem pontos atípicos (“outliers”) na figura.” (Werkema, 1995, pág. 183) “Outlier” pode ser considerado como uma observação extrema, que não condiz com o restante da massa de dados. “Outliers” serão tratados em um capítulo posterior.

“A observação de um diagrama de dispersão, com o objetivo de descobrir se existe ou não uma correlação entre as duas variáveis de interesse, depende muito dos intervalos de variação das variáveis.” (Werkema, 1995, pág. 186) Deste modo, em diferentes intervalos de variação, os resultados encontrados podem ser diferentes.

> "Os diagramas de dispersão podem não ser válidos para a realização de extrapolações fora do intervalo de variação das variáveis consideradas no estudo. Por este motivo, é sempre aconselhável que o intervalo de variação das variáveis seja um pouco maior que a faixa de variação empregada nas condições usuais de operação do processo ao qual as variáveis estão associadas. Também é importante destacar que a percepção de uma ausência de correlação entre as variáveis, pode ser o resultado do fato de que as observações em x estão assumindo um campo de variação muito pequeno para que o relacionamento entre x e y possa ser evidenciado." (Werkema, 1995)

4.4.3. "Outliers"

Os "outliers" podem fornecer informações importantes sobre situações pouco comuns, devendo então ser analisado com cuidado. Os "outliers" podem aparecer como conseqüência da ocorrência de eventos não usuais, como registro incorreto de dados ou algum defeito nos instrumentos de medição utilizados. Nestes casos, se possível, o "outlier" deve ser corrigido, ou então deve ser suprimido do conjunto de dados.

> "Por outro lado, os "outliers" também podem apresentar observações não usuais, mas perfeitamente plausíveis de ocorrerem na massa de dados. Quando isto acontece, os "outliers" podem fornecer informações importantes sobre o processo que está sendo analisado, como no caso em que o "outlier" ocorre como resultado da atuação de alguma variável que não está sendo considerada. A identificação de "outliers" e a análise das causas que levaram ao seu aparecimento podem, portanto, resultar em melhorias no processo ou em um novo conhecimento sobre a forma de atuação de fatores cujos efeitos na variável resposta y ainda eram desconhecidos. Por este motivo, os "outliers" devem ser eliminados do conjunto de dados somente quando existir uma forte evidência de que eles resultaram de um erro de registro, de medição ou de cálculo, do funcionamento inadequado de algum equipamento ou de outras circunstâncias similares." (Werkema, 1995)

Desta forma, se estas observações não usuais não puderem ser descartadas, deve-se realizar uma nova coleta de dados, de modo que "a variável x assuma valores

próximos àqueles que foram assumidos para estas observações" (WERKEMA, 1995), podendo assim conhecer melhor o tipo de relacionamento existente entre x e y.

4.4.4. Regressão Linear Simples

A regressão linear simples corresponde ao modelo de regressão mais simples em que apenas duas variáveis estarão envolvidas. É representada pela seguinte equação:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \qquad \text{(Eq. 15)}$$

A variável y corresponde a variável dependente ou resposta. A variável x é denominada variável independente ou explicativa. O parâmetro β_0 é o intercepto da reta e o β_1 é a inclinação da reta. ε é o erro aleatório e corresponde à diferença entre o valor observado y e o valor obtido pela reta $\beta_0 + \beta_1 x$. Os parâmetros β_0 e β_1 são desconhecidos e devem ser estimados por meio do emprego dos dados amostrais. Para se ter uma boa estimativa desses parâmetros, associa-se algumas suposições ao modelo de regressão linear simples:

1. *os erros têm média zero e a mesma variância desconhecida* σ^2.
2. *os erros não são correlacionados, ou seja, o valor de um erro não depende do valor de qualquer outro erro.*
3. *a variável explicativa x é controlada pelo experimentador e é medida com erro desprezível (erro não significante do ponto de vista prático), ou seja, não é uma variável aleatória.*
4. *os erros têm distribuição normal*. (Werkema, 1996)

4.4.5. Regressão Linear Múltipla

Um modelo de regressão linear múltipla envolve mais de uma variável explicativa. A equação que descreve o modelo é o seguinte:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_k x_k + \varepsilon \qquad \text{(Eq. 16)}$$

Matricialmente a equação 16 pode ser representada na forma:

$$y = X\beta + \varepsilon$$

onde,

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \qquad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ 1 & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \qquad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Em que,

a variável y corresponde a variável dependente ou resposta

a variável X é denominada variável independente ou explicativa

"Em regressão linear múltipla o parâmetro β_j, j= 0, 1, ... , k, representa a alteração esperada na variável resposta y quando a variável x_i sofre um acréscimo unitário, enquanto todas

as demais variáveis explicativas x_i ($i \neq j$) são mantidas constantes. Por este motivo os parâmetros β_j, $j = 0, 1, ..., k$ são também conhecidos como coeficientes parciais de regressão." (Werkema, 1996, pág. 144)

ε é o erro aleatório dado pela diferença entre o valor observado y e o valor obtido pela equação $\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k$. Os parâmetros $\beta_0, \beta_1, ..., \beta_k$ não são conhecidos e necessitam ser estimados utilizando os dados amostrais. Para conseguir boas estimativas se podem associar as suposições abaixo:

"1. Os erros têm média zero e a mesma variância desconhecida σ^2.

2. Os erros são não correlacionados, ou seja, o valor de um erro não depende de qualquer outro erro.

3. As variáveis explicativas $x_1, x_2, ..., x_k$ são controladas pelo experimentador e são medidas com erro desprezível (erro não significante sob o ponto de vista prático), ou seja, não são variáveis aleatórias.

4. Os erros têm distribuição normal". (Werkema, 1996, pág. 145)

Os coeficientes β podem ser estimados por:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y \qquad \text{(Eq. 17)}$$

Onde,

X' é a matriz transposta de X.

O vetor dos valores ajustados $\hat{y}_i$ correspondentes para os valores observados y_i é:

$$\hat{y} = X\hat{\beta} = X(X'X)^{-1}X'y = Hy$$

A diferença entre o valor observado ou monitorado e o ajustado é chamado de resíduo e é definido por:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \qquad \text{(Eq. 18)}$$

Onde,

y_i é uma observação

$\hat{y}_i$ é o valor correspondente estimado por meio do modelo de regressão

Uma discussão mais aprofundada sobre resíduos será apresentada em capítulo posterior.

4.4.6. Teste de Significância da Regressão

"Com o objetivo de determinar se existe um relacionamento linear entre a variável resposta y e o conjunto de variáveis regressoras x_1, x_2, ..., x_k pode ser utilizado teste de significância da regressão" (WERKEMA, 1996, pág. 165). As hipóteses para o teste de significância são:

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_k = 0$

$H_1: \beta_j \neq 0$ para pelo menos um j.

"A rejeição de H_0 significa que pelo menos uma das variáveis regressoras x_1, x_2, ..., x_k contribui de modo significativo para o modelo" (WERKEMA, 1996, pág. 165). H_0 é rejeitado em um teste com nível de significância *a* se $F_0 > F_a(k, n – k – 1)$, onde F_0 é a razão entre os Quadrados Médios da Regressão e os Quadrados Médios do Resíduo. O Quadro 1 ilustra resumidamente esse procedimento:

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F_0
Regressão	SQReg	k	QMReg	$\frac{QMReg}{QMR}$
Residual	SQR	n - k - 1	QMR	
Total	SQT	n - 1		

Quadro 1: Tabela para teste de significância em regressão

4.4.7. Análise de Resíduos

Um resíduo é definido por:

$e_i = y_i - \hat{y}_i$, $i = 1, 2, \ldots, n$

Onde y_i é uma observação e $\hat{y}_i$ é o valor correspondente estimado por meio do modelo de regressão. A análise de resíduos é utilizada para a detecção e tratamento de "outliers" e para tal, é mais conveniente trabalhar com os resíduos padronizados ou com os resíduos estudentizados.

Os resíduos padronizados podem ser definidos por:

$$d_i = \frac{e_i}{\sqrt{QMR}} \ , \ i = 1 \ , 2, \ldots, n \qquad \text{(Eq. 19)}$$

Os resíduos estudentizados são definidos por:

$$r_i = \frac{e_i}{\sqrt{QMR(1-h_{ii})}} \qquad \text{(Eq. 20)}$$

Onde,

QMR é o quadrado médio dos resíduos

h_{ii} é a i-ésimo elemento diagonal principal da matriz H.

A matriz H é definida por:

$H = X(X'X)^{-1}X'$

Onde,

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

A utilização de gráficos do resíduo padronizado é conveniente para a identificação de outliers. Os resíduos fora do intervalo [-3, +3] podem ser considerados como “outlier”. O efeito de outliers no modelo de regressão pode ser avaliado do procedimento descrito abaixo:

> “1. Eliminar os “outliers” da massa de dados original.
>
> 2. Ajustar novamente o modelo de regressão à nova massa de dados que foi obtida após a eliminação dos “outliers”.
>
> 3. Comparar, para os dois modelos, os valores das estimativas β_0 e β_1, das estatísticas t, F e R^2.
>
> 4. Se os valores comparados acima estiverem relativamente próximos, os “outliers” exercem um pequeno efeito sobre o modelo de regressão.” (Werkema, 1996, pág. 63)

4.4.8. “Leverage”

“Leverage” é uma observação que está distante em seu eixo x em relação ao restante da amostra. Segundo Montgomery (MONTGOMERY, PECK e VINING, 2006, pág. 190) pontos remotos tem impacto desproporcional nos parâmetros do modelo de regressão. A Figura 3 ilustra um caso de “leverage”:

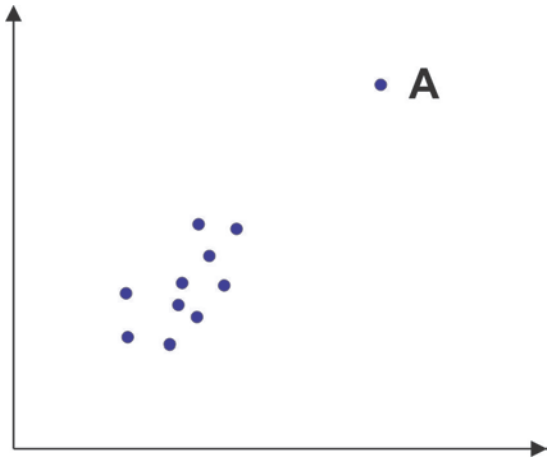

Figura 3: Ponto de “leverage” indicado pela observação representada pelo ponto A**.**

A observação é considerada como um ponto de “leverage” quando:

$$h_{ii} > 2p/n$$

Onde,

h_{ii} é o i-ésimo elemento da diagonal principal da matriz H

p é o número de colunas da matriz X

n é o número de linhas da matriz X.

O h_{ii} pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$h_{ii} = x_i'(X'X)^{-1}x_i \qquad \text{(Eq. 21)}$$

Onde,

x_i é a i-ésima coluna da matrix X'

x_i' é a i-ésima linha da matriz X

X' é a matriz transposta de X

$(X'X)^{-1}$ é a matriz inversa de $(X'X)$

4.4.9. Coeficiente de Determinação Múltipla

O coeficiente de determinação múltipla é definido por:

$$R^2 = SQReg/SQR = 1 - SQR/SQT \qquad \text{(Eq. 22)}$$

Onde,

SQReg é a Soma dos Quadrados da Regressão

SQR é a Soma dos Quadrados do Resíduo

SQT é a Soma dos Quadrados Totais

O coeficiente R^2 pode ser considerado como uma medida da explicação da variabilidade de y obtida com o uso das variáveis explicativas x_1, ..., x_k no modelo de regressão. Em regressão linear múltipla o coeficiente R^2 varia no intervalo $0 \leq R^2 \leq 1$. No entanto um valor elevado de R^2 não garante, obrigatoriamente, que o modelo ajustado escolhido esteja ajustado. Adicionando novas variáveis regressoras no modelo é possível aumentar o valor de R^2. "No entanto, apesar do maior valor para R^2, nem sempre o novo modelo com mais variáveis regressoras será melhor que o modelo anterior que não envolve estas variáveis." (WERKEMA, 1996, pág. 182)

Com a finalidade de minimizar este problema, é habitual fazer uso do coeficiente de regressão múltipla ajustado (R^2_{aj}), o qual considera o número de variáveis regressoras existentes no modelo. O coeficiente de determinação múltipla pode ser definido por:

$$R^2_{aj} = 1 - (SQR/(n-p))/(SQT/(n-1)) = 1 - (n-1)(1-R^2)/(n-p) \qquad \text{(Eq. 23)}$$

Segundo Werkema (WERKEMA, 1996, pág. 183)

> "É importante destacar que se R^2_{aj} e R^2 forem números muito diferentes, então há uma indicação de que foi incluído um número excessivo de variáveis explicativas no modelo de regressão, ou seja, foram incluídas variáveis que não contribuem de modo significativo para melhorar a qualidade do modelo ajustado."

4.4.10. Validação de Modelos de Regressão

A validação é voltada para determinar se o modelo de regressão vai funcionar de acordo com a expectativa no ambiente operacional. Montgomery (MONTGOMERY, PECK e VINING, 2006, pág. 306) apresenta três tipos de procedimentos que são utilizados para validar modelos de regressão. O primeiro deles consiste em fazer uma análise dos coeficientes do modelo e valores preditos, incluindo comparações com estudos anteriores, estudos físico-teóricos e outros modelos analíticos ou valores simulados. O segundo deles consiste em fazer uma nova coleta de dados e investigar o desempenho das equações preditivas geradas. O terceiro método consiste em utilizar parte dos dados utilizados no modelo de regressão para investigar o desempenho do modelo de regressão.

O método mais efetivo para validar as equações preditivas, segundo Montgomery (MONTGOMERY, PECK e VINING, 2006, pág. 308), seria analisando o desempenho das equações com a utilização de novos dados (segundo procedimento). "Se o modelo apresentar estimativas acuradas com novos dados, se terá grande confiança em ambos, no modelo de regressão e no processo de construção do modelo de regressão." (MONTGOMERY, PECK e VINING, 2006, pág. 308) (Traduzido pelo autor)

4.5. Caracterização da área de estudo

São Carlos está localizado na região central do Estado de São Paulo (Lat.: 21°30’ a 22°30’ e Long.: 47°30’ a 48°30’). A cidade apresenta cotas altimétricas médias de 856m acima do nível do mar (mínima 520m e máxima de 1121m). Segundo Tolentino, “A cidade de São Carlos (e sua zona suburbana) localiza-se em bem caracterizado planalto pertencente à borda da linha de “cuestas” areníticas da Serra Geral”. A Imagem na Figura 4 ilustra a localização do município de São Carlos:

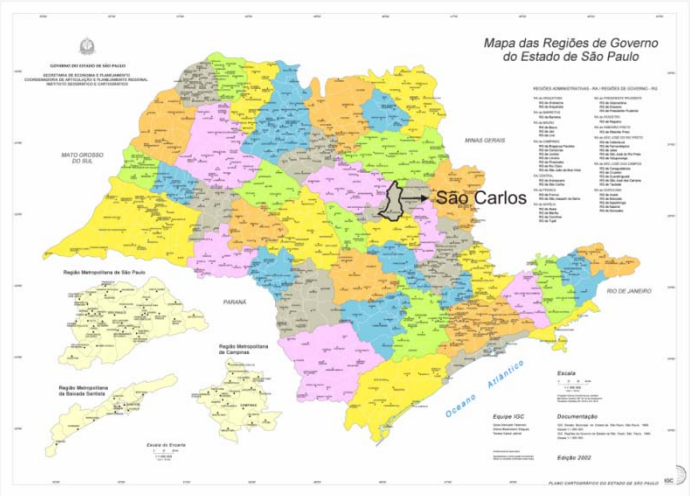

Figura 4: Localização em mapa do município de São Carlos – SP.
Fonte: Instituto Geográfico e Cartográfico – IGC Acessado em: 23/09/2008
Endereço eletrônico: http://www.igc.sp.gov.br/images/mapa_rg_igc.zip

Vecchia (VECCHIA, 2005) afirma que segundo a classificação de Köppen (1900), o clima da cidade de São Carlos é do tipo quente com inverno seco. Tolentino (TOLENTINO, 1967) ainda classifica o clima de São Carlos com a existência de duas estações distintas: seca e chuvosa. Segundo Tolentino (TOLENTINO, 1967) *a estação seca corresponde aos meses de abril a setembro*, período em que a precipitação total acumulada, de acordo com as Normais Climatológicas (1961-1990), corresponde a 20,2% da precipitação total anual. Segundo Monteiro (MONTEIRO, 1973) *durante o outono o número de avanços das massas polares apresenta um ligeiro aumento*. Esse

fato faz com que as chuvas ligadas à massa Tropical Atlântica diminuam, fazendo com que as chuvas relacionadas com a massa Polar Atlântica representem a origem mais importante. Nesses meses, além da baixa precipitação, há baixa nebulosidade e a temperatura e a umidade relativa do ar são menores, com predomínio da Massa Tropical Atlântica e Polar Atlântica sobre a região.

De acordo com as Normais Climatológicas, o período de outubro a março têm precipitação mensal superior a 150 mm. Nesse período, tem atuação importante sobre o Estado de São Paulo a massa Equatorial Continental (mEC), originária da região amazônica. Segundo França (1958), *as expansões dessa massa, caracterizadas por altas temperaturas, atingem o território paulista com alta umidade relativa, chegando à condensação e instabilidade*, o que provoca chuvas. Segundo Monteiro (MONTEIRO, 1973), durante *a primavera as chuvas voltam a se intensificar*, apresentando no verão altos índices de pluviosidade. Ainda segundo Monteiro (MONTEIRO, 1973), *a Frente Polar está na liderança na gênese das chuvas no Estado*. Observa-se assim, que no período chuvoso existe avanços de frentes Polares, provenientes principalmente do oceano, tropicais, de origem oceânica e continental e a equatorial continental, diferentemente do período seco, onde se observa quase que exclusivamente avanços de frentes polares e tropicais de origem oceânica. Desta forma, a região de São Carlos pode ser caracterizada como uma região de inverno seco e verão chuvoso. De abril a setembro se tem precipitação mensal, total inferior a 5% da precipitação total anual e de outubro a março superior a 10%. Segue no Quadro 2 os valores de precipitação total para a cidade de São Carlos:

Meses	Precipitação total, em mm	%	% acumulada
Janeiro	248,7	16,6	16,6
Fevereiro	191,4	12,8	29,4
Março	167,3	11,2	40,6
Abril	73,2	4,9	45,5
Maio	61,6	4,1	49,6
Junho	40,4	2,7	52,3
Julho	30,8	2,1	54,4
Agosto	30,9	2,1	56,5
Setembro	65,0	4,3	60,8
Outubro	157,8	10,6	71,4
Novembro	160,8	10,8	82,1
Dezembro	267,2	17,9	100,0
Total	1.495,1	100,0	

Quadro 2: Precipitação total mensal em mm para a cidade de São Carlos.
Fonte: Normais Climatológicas (1961-1990).

Utilizando os dados do Quadro 2 se construiu o gráfico apresentado na Figura 5.

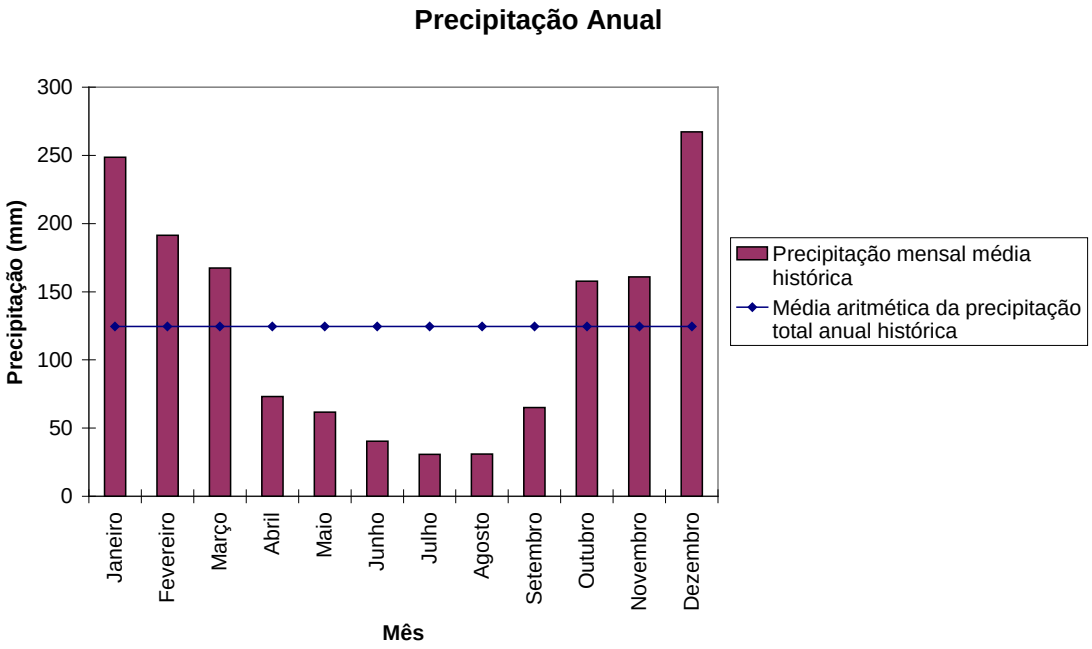

Figura 5: Precipitação histórica média mensal e média aritmética da precipitação anual (precipitação total anual histórica dividido pelos doze meses do ano)

A linha observada na Figura 5 corresponde à precipitação total anual dividida igualmente pelos doze meses do ano, obtendo-se assim uma média mensal de aproximadamente 125mm.

Vechia (VECCHIA, 1998) afirma que “os estados atmosféricos podem se subdividir em duas categorias principais: a fase pré-frontal e a fase pós-frontal”(Traduzido). A fase pré-frontal, descrita por Vecchia (VECCHIA, 1998) é o intervalo de tempo que precede a penetração da frente fria e a fase pós-frontal é o intervalo de tempo que sucede a entrada da frente fria. Vecchia (VECCHIA, 1998) ainda subdivide as fases pré-frontal e pós-frontal em outras duas etapas: a pré-frontal é subdividida em prenúncio e avanço enquanto que a fase pós-frontal é subdividida em domínio e transição. Vecchia (VECCHIA, 1998) observou que na fase de prenúncio há uma elevação de temperatura do ar e queda da umidade relativa. Na fase de avanço se observa que há uma alteração significativa no regime de ventos predominantes. Vecchia (VECCHIA, 1998) afirma que “o regime de ventos pode se alterar significativamente em sua direção, podendo apresentar velocidades muito grandes, quando comparadas com os valores habituais mais comumente observados, [...]”. Na fase de avanço, em São Carlos, se observa que a direção geralmente predominante dos ventos é a de Noroeste. Na fase de domínio se tem uma queda da temperatura e elevação da umidade relativa. Em São Carlos, os ventos comumente predominantes neste período são os ventos provenientes de Sudeste. Durante a fase de transição se observa que a temperatura volta novamente a se elevar e se estabilizar.

4.6 Sistema de Cobertura Verde

Existiram muitas culturas antigas que utilizaram telhados verdes. O telhado verde mais famoso é o jardim suspenso de Semíramis, também conhecido como Jardins Suspensos da Babilônia. Esse jardim, que ficava localizado na Babilônia, território correspondente ao atual Iraque, foi considerado uma das sete maravilhas do mundo

antigo. Nagy (NAGY et. al, 1998) cita também os países escandinavos e a Islândia que utilizam coberturas verdes em suas casas, mas com o intuito de promover um melhor isolamento térmico de suas residências, uma vez que os invernos nestes países são rigorosos. Basicamente existem dois tipos de telhados verdes, os extensivos e os intensivos. Os telhados verdes extensivos, segundo Nagy (NAGY et. AL, 1998), possui espessura da camada de solo geralmente menor do que 20 centímetros. As plantas geralmente utilizadas nas coberturas verdes extensivas são do tipo que não requerem muitos cuidados. As coberturas verdes intensivas, segundo Nagy (NAGY et. AL, 1998), geralmente tem a espessura da camada de solo variando de 20 a 40 centímetros. Esse tipo de cobertura suporta plantas de maiores portes do que a cobertura verde extensiva. Nagy (NAGY et al, 1998) apresenta três modelos construtivos de telhados verdes que se diferenciam entre si pelo número e pela ordem das camadas. Esses três modelos de telhado verde podem ser visualizados na Figura 6.

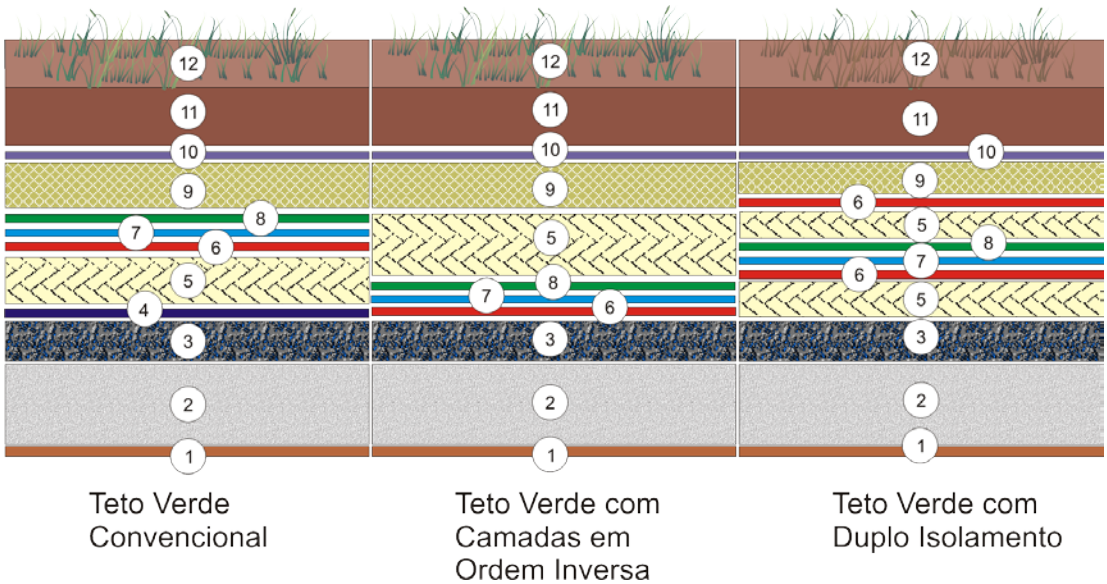

Figura 6: Esquema construtivo de telhados verdes baseado em Nagy (NAGY et al, 1998).

Onde,

1 é a superfície de acabamento

2 é a superfície de apoio do telhado

3 é a camada de regularização para dar o caimento do telhado

4 é a barreira de vapor

5 é a camada de isolante térmico

6 é a camada de separação e proteção

7 é uma membrana impermeável

8 é uma camada de proteção contra raízes

9 é a camada drenante

10 é a camada filtrante

11 é a camada de solo

12 é a vegetação

Como se pode verificar, os modelos de coberturas verdes mais difundidos apresentam um elevado número de camadas. Vecchia (VECCHIA, 2005) propôs em seu sistema de cobertura verde, uma redução das camadas que compõem os sistemas de cobertura verde tradicionais. Primeiramente foi estudado um sistema de cobertura verde com disposição de camadas, respectivamente, em impermeabilizante, geotêxtil separador, placas compostas por pedregulhos de argila expandida e cimento, geotêxtil separador, substrato (terra comum) e vegetação (gramínea). Sobre este primeiro sistema se verificou que se poderia diminuir o peso e a espessura deste sistema de cobertura, substituindo o drenante, composto pelas mantas geotêxteis e pelas placas de pedregulhos de argila expandida, por um geocomposto, denominado MacDrain 2L. A Figura 7 ilustra a disposição das camadas de uma CVL.

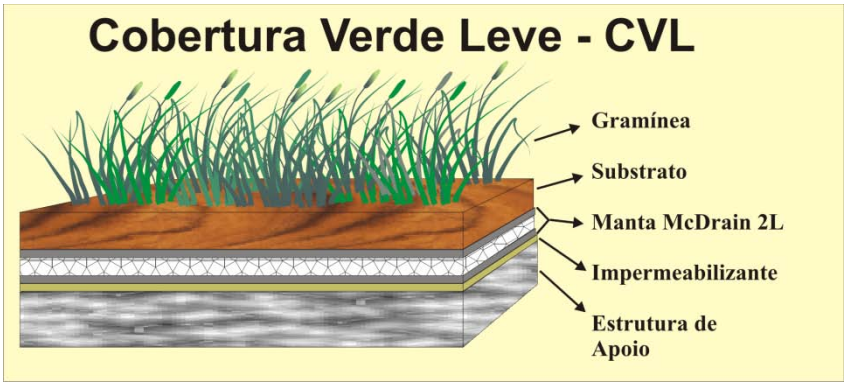

Figura 7: Diversas camadas, vistas em corte, sem escala, de uma CVL.

Na laje de uma célula de teste, com dimensões padronizadas segundo Vecchia (VECCHIA, 1997) foi construído este sistema de cobertura verde. A Figura 8 ilustra a planta baixa, vista frontal e vista lateral de uma célula de teste:

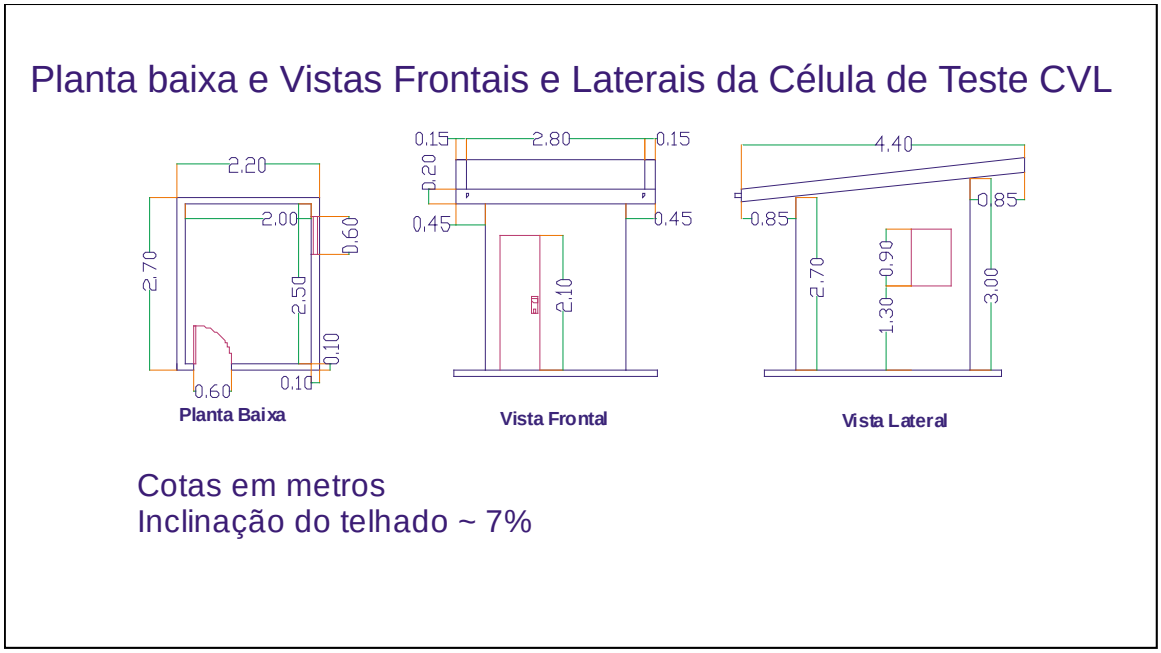

Figura 8: Planta baixa, vistas laterais e frontais da célula-teste que abriga o sistema de cobertura verde leve.

Inicialmente se construiu sobre a laje uma platibanda, com a finalidade de impedir que o substrato escorresse pelas laterais da laje de cobertura. Nesta platibanda também foram instaladas duas canaletas para escoar a água proveniente de chuvas e

regas. A Figura 9 ilustra a platibanda, ainda em fase de construção, e a canaleta instalada em um dos cantos:

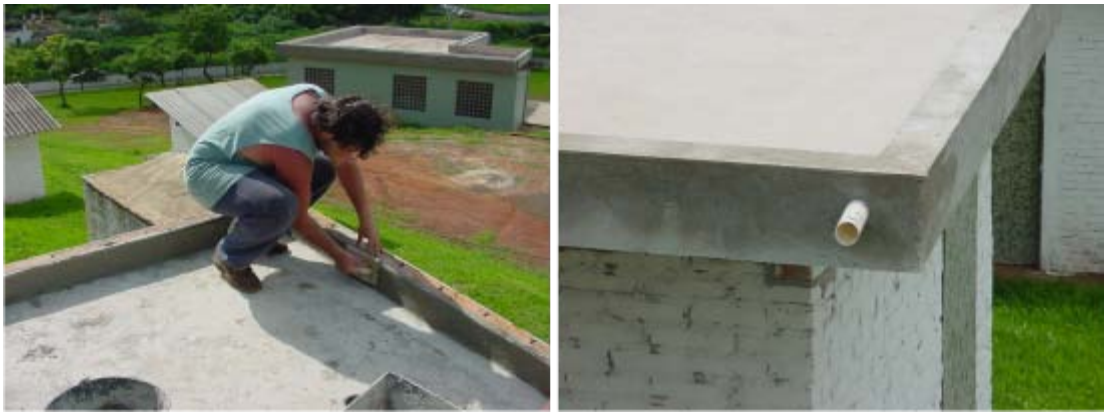

Figura 9: À esquerda é mostrado a aplicação de argamassa na platibanda e à direita é mostrado a canaleta para escoamento de água.
Foto: Lima (2004).

Depois de finalizada a construção da platibanda se procedeu com a limpeza da laje. Em seguida se passou uma nata de cimento e látex, em iguais proporções, com a finalidade de realizar um pré-tamponamento dos poros existentes no concreto da laje, gerando posterior economia de impermeabilizante. Esta nata de cimento e látex foi aplicada na laje com rodo e na platibanda com pincel de pintura. A Figura 10 ilustra o procedimento de aplicação da nata de látex na laje da célula de teste.

Figura 10: A imagem à esquerda mostra a aplicação da nata de cimento com látex na laje e a direita se vê a aplicação da referida nata na platibanda.
Foto: Lima (2004).

Dois dias depois se seguiu com a impermeabilização da laje. O impermeabilizante utilizado na impermeabilização da edificação foi um biopolímero à base de resina poliuretana, desenvolvido pelo IQSC-USP e fabricado pela Construquil Polímeros Indústria e Comércio Ltda.. É produzido a partir de óleo vegetal de mamona (Ricinus-communis), sendo, portanto, proveniente de um recurso renovável, não tóxico, que não provoca prejuízos ao meio ambiente ou à saúde de quem o manipula ou de quem o utiliza na fase de ocupação, contribuindo para uma construção de caráter sustentável. A resina poliuretana é obtida pela mistura de um poliol com um pré-polímero. A resina vai impregnar-se nos poros e capilares e posteriormente polimerizar-se formando um filme sobre a superfície. A aplicação do impermeabilizante é bastante simples, utilizando-se rolos de pintura. A Figura 11 ilustra a aplicação do impermeabilizante na célula de teste.

Figura 11: Aplicação do impermeabilizante sobre a laje com rolos de pintura.
Foto: Lima (2004).

Depois da impermeabilização da laje se seguiu com a colocação do geocomposto MacDrain 2L. Geocomposto é a nomenclatura técnica adotada para definir um produto formado pela combinação de dois geossintéticos. O núcleo é composto por uma geomanta tridimensional fabricada a partir de filamentos de polipropileno ou poliamida

(nylon), com espessura entre 10 e 18 mm, tendo índice de vazios em torno de 95%, são termo-soldados a um ou dois geotêxteis não-tecidos de poliéster em todos os pontos de contato. O geotêxtil termo-soldado tem função filtrante, permitindo a passagem de água, retendo somente as partículas de solo. A geomanta tri-dimensional permite o escoamento de água por ela facilmente uma vez que possui elevado índice de vazios. Sobre o geocomposto foi colocado o substrato, composto por terra comum, e por último foram colocados os tapetes de grama esmeralda (Zoisia sp.). As fotos apresentadas na Figura 12 ilustram este procedimento:

Figura 12: À esquerda está ilustrada a colocação do substrato sobre o geocomposto e a direita a colocação dos tapetes de grama sobre o substrato.
Foto: Lima (2004).

Esse sistema construtivo apresentou um desempenho térmico frente ao calor e ao frio relativamente superior ao sistema de cobertura de telhas cerâmicas. Este fato fez com que se optasse pelo mesmo sistema de cobertura em um laboratório para alunos de graduação e pós-graduação, que foi construído no Campus da Universidade de São Paulo em São Carlos, São Paulo, Brasil. Este laboratório, ocupado em horário comercial de segunda-feira a sexta-feira, será o objeto de estudo neste trabalho de pesquisa.

5. Procedimentos Metodológicos

5.1. Descrição da Edificação

A edificação que é o objeto de estudo neste trabalho de pesquisa corresponde a um laboratório de pesquisa para alunos de graduação e de pós-graduação, ocupado em horário comercial. Nesta edificação foram instalados quatro termopares tipo T, cobre-constantan, que registram dados de temperatura interna do ar utilizados para criar as equações preditivas que são, por sua vez, obtidas por meio de análise de regressão, visando determinar a adequada equação para gerar os valores simulados de temperatura interna do ar. A planta baixa da edificação está apresentada na Figura 13.

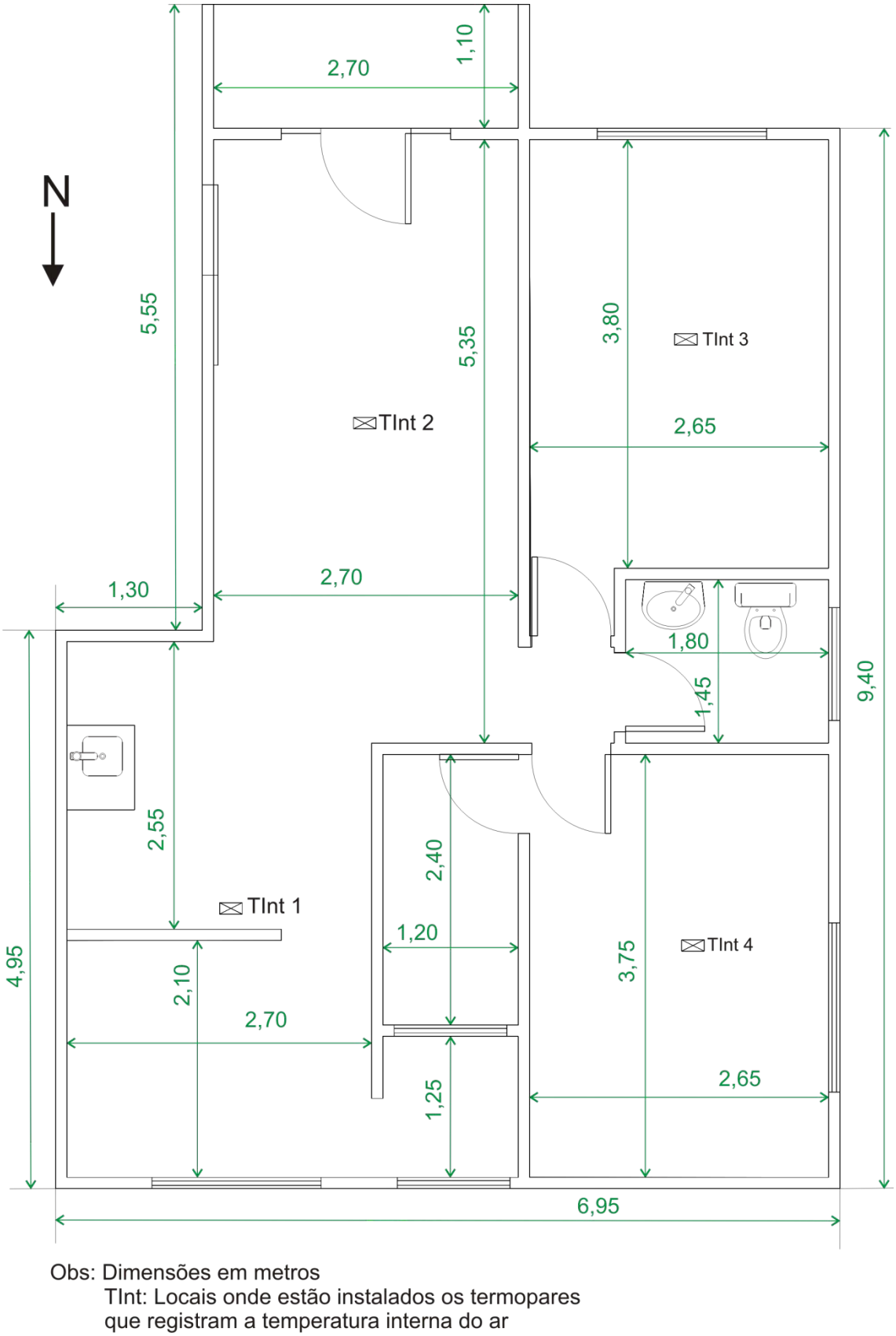

Figura 13: Planta baixa, sem escala, da edificação em painéis de concreto alveolar com CVL, indicando a localização dos sensores de temperatura.

A edificação é constituída por painéis de concreto alveolar, que foram produzidos industrialmente, com cantoneiras metálicas nas laterais dos painéis, que tem como função permitir a ligação dos painéis entre si por meio de solda. São utilizadas armaduras de telas metálicas inferiores e superiores aos alvéolos. Os painéis são levados à obra prontos e na medida especificada, fixados nos locais estabelecidos pelo projeto arquitetônico e ligados entre si por meio de solda elétrica. A espessura dos painéis é de 10 centímetros, tanto para lajes, quanto para paredes internas e externas. A laje da edificação não tem inclinação. A construção deste tipo de edificação é rápida e, quando os painéis são levados ao canteiro de obras a fixação dos painéis é feita no mesmo dia. A superfície deste painel é lisa, fato que também leva a uma grande economia com revestimento. A Figura 14 ilustra o esquema dos componentes dos painéis alveolares descritos acima:

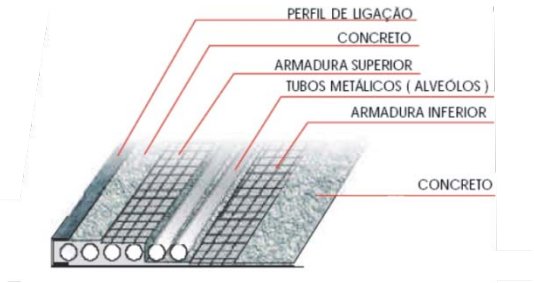

Figura 14: Ilustração demonstrativa do painel alveolar da edificação construída.
Fonte: VECCHIA, FERREIRA, FRANCHIM, 1999.

A Figura 15, apresentada a seguir, ilustra a edificação em painéis alveolares.

Figura 15: A: Edificação construída com painéis alveolares. B: Detalhe do telhado mostrando os Alvéolos.
Foto: Vecchia (2004).

5.2. Descrição Construtiva de uma CVL

Na construção da cobertura verde leve (CVL) da edificação estudada neste trabalho de investigação, procurou utilizar materiais que provocassem o menor impacto ambiental em todas as etapas de construção e ao longo da vida útil do edifício. Primeiramente foi construída uma platibanda sobre a laje suporte, composta de duas fiadas de tijolos maciços. Esta platibanda tem a função de confinar a terra que compõe a cobertura verde leve. Na platibanda foram instaladas canaletas para coleta da água proveniente de chuvas e das regas. Esta água é armazenada em uma cisterna e, posteriormente, utilizada na descarga da bacia sanitária. Na Figura 16 se pode observar as canaletas na edificação ainda em fase de construção.

Figura 16: Nos círculos em vermelho se pode ver as canaletas para escoamento de águas pluviais. Observa-se, também, pessoas peneirando o substrato que foi utilizado na construção da cobertura verde.
Foto: Caballero, P. (2005)

O impermeabilizante utilizado na impermeabilização da edificação é um biopolímero à base de resina poliuretana, fabricado pela Construquil Polímeros Indústria e Comércio Ltda.. A aplicação do impermeabilizante é bastante simples, utilizando-se rolos de pintura e pincel.

Para facilitar a drenagem foi utilizado o geocomposto MacDrain 2L, de característica leve e flexível, produzido pela empresa Maccaferri. A Figura 17 ilustra o geocomposto MacDrain 2L:

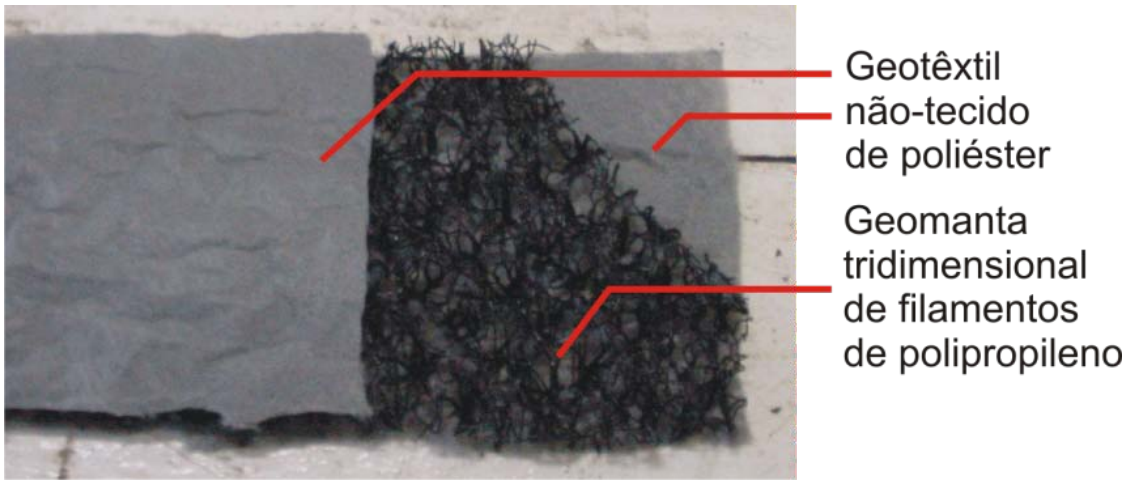

Figura 17: Imagem com detalhe das camadas do geocomposto, geomanta e filamentos. Foto: Lima (2007)

Por fim, tem-se o substrato, composto de terra comum. Para a redução do peso construtivo da cobertura reduziu-se ao máximo a quantidade de substrato, pois este é o material construtivo da cobertura de maior massa. A espessura da camada de substrato considerada suficiente para a sobrevivência da grama foi de aproximadamente dez centímetros. A vegetação utilizada foi a grama-batatais (*Paspalum notatum*), por ser uma vegetação bastante comum e de baixo custo para uso maciço. A Figura 18 ilustra a colocação do substrato sobre o geocomposto:

Figura 18: Colocação do substrato sobre o geocomposto na construção da cobertura verde.
Foto: Caballero, P. (2005)

5.3. Equipamentos utilizados para a medição e coleta de dados utilizados neste trabalho de pesquisa

No interior da edificação foram instalados termopares do tipo T, cobre-constantan, para registro dos valores da temperatura interna do ar. Seu abrigo meteorológico é constituído por tubo de PVC envolto em uma camada de isolante térmico por reflexão para evitar os erros mais grosseiros no processo de medição, protegendo a exposição indevida das pontas dos termopares às fontes de radiação. No exterior da edificação foram instalados sensores para coleta de dados referentes à temperatura externa do ar e radiação solar.

Sistema de aquisição de dados (CR10X)

O CR10X é um “datalogger”, que é um dispositivo de aquisição de dados. Nele foram instalados os sensores de radiação, de temperatura e umidade relativa, o

multiplexador AM416, o sensor de pressão, o sensor de direção e velocidade do vento e o de pluviosidade. O CR10X é alimentado por uma bateria de 12 Volts, que, por sua vez, é alimentada por um painel de captação de energia solar. O CR10X é programável, permitindo que além destes sensores, sejam instalados outros mais com finalidades específicas diferentes. A imagem do “datalogger” CR10X está apresentado na Figura 19:

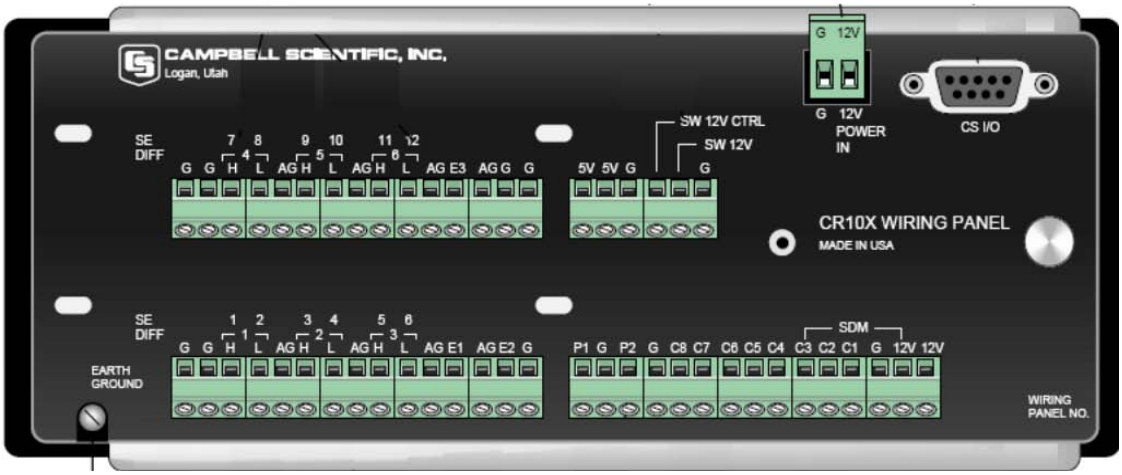

Figura 19: Imagem do painel frontal de um CR10X.
Fonte: CR10X Measurement and Control Module Operator’s Manual.

Sensor de temperatura e umidade relativa do ar (HMP45C)

O HMP45C é um sensor que registra externamente a temperatura do ar e a umidade relativa do ar. É conectado diretamente no CR10X. Ele é instalado no interior de um abrigo próprio que tem a função de proteger os sensores da radiação solar direta. Ele mede a temperatura do ar na faixa de -40°C até 60°C. Sua acurácia para 20°C, em módulo, é de 0,2°C, podendo chegar a até 0,5°C para as temperaturas extremas de medição (-40°C e 60°C). Segue na Figura 20 a foto do HMP45C e do abrigo 41003-5:

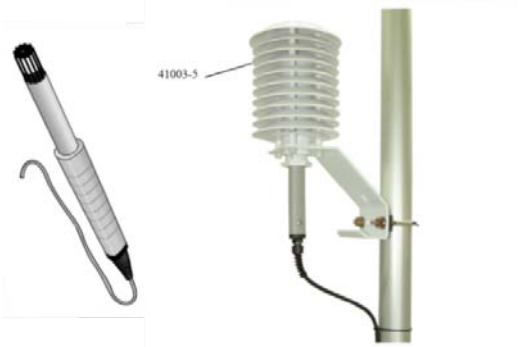

Figura 20: À esquerda o sensor HMP45C e a direita o sensor instalado no seu respectivo abrigo.
Fonte: Manual de Instruções: Sonda Modelo HMP45C de Temperatura e Umidade Relativa.(Traduzido)

Termopar Tipo T

Os termopares tipo T são compostos por um fio de cobre e outro de constantan. Constantan é uma liga basicamente composta por cobre e níquel. O fio de cobre atua como termoelemento positivo e o fio de constantan como negativo. Os termopares do tipo T registram valores de temperaturas na faixa de -46°C até 78°C. Os termopares são protegidos por um abrigo, constituído por tubo de PVC envolto por uma camada de isolante por reflexão. Segue, na Figura 21, a foto de um termopar em seu respectivo abrigo:

Figura 21: À esquerda é mostrado o abrigo onde está inserido o termopar. À direita se vê o termopar dentro do abrigo.
Foto: Lima (2008)

Termístor

Termístor (ou **termistor**) são semicondutores sensíveis à temperatura. A variação de temperatura em um termistor altera sua capacidade de conduzir corrente elétrica. A temperatura registrada por ele é usado como temperatura de referência para os termopares, tornando desnecessária a junta fria (água e gelo fundente). Segue abaixo na Figura 22 a imagem de um termístor:

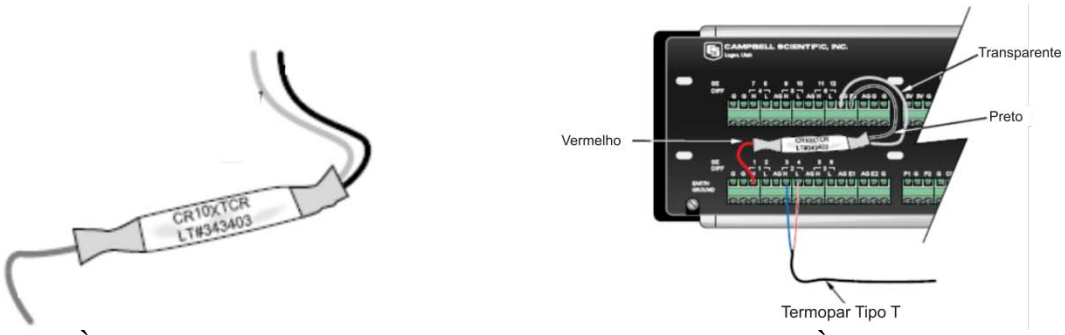

Figura 22: À imagem a esquerda mostra o desenho de um termístor. À direita se vê o termistor instalado no CR10X.
Fonte: Instruction Manual: CR10XTCR Termocouple Reference.

AM416

A função primária do AM416 é ampliar o número de sensores que pode ser acoplados ao CR10X. Ele possui capacidade para até 32 termopares. É nele que foram conectados os termopares utilizados no experimento. Segue, na Figura 23, a imagem de um AM416:

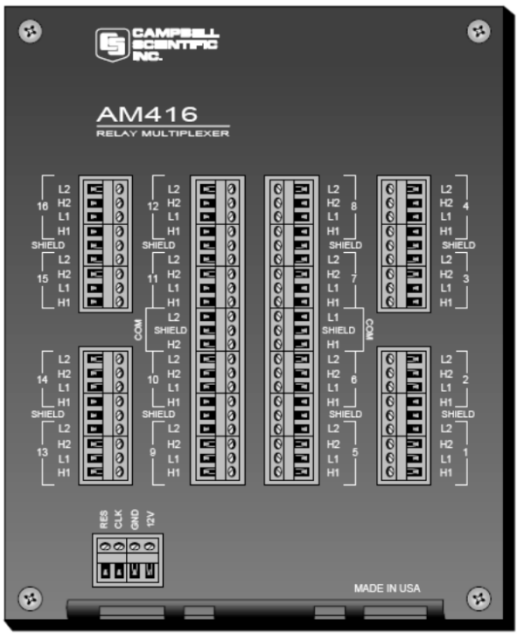

Figura 23: Multiplexador AM416
Fonte: Instruction Manual: AM416 Relay Multiplexer

Sensor de radiação solar global

O Piranômetro LI200X mede a radiação solar global incidente por meio de um detector fotovoltaico de silício. Ele é calibrado para o espectro da luz do dia (400nm a 1100nm). Seu erro absoluto máximo é, em módulo, de 5% do valor de radiação solar registrado. A Figura 24, abaixo, ilustra um LI200X:

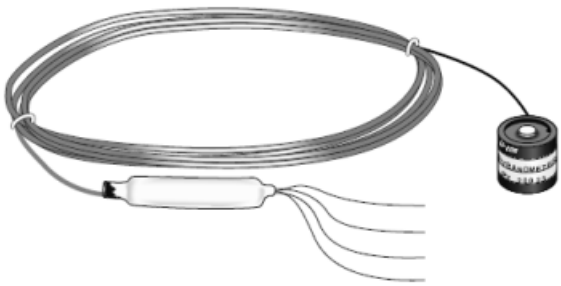

Figura 24: Imagem do piranômetro LI200X.
Fonte: Instruction Manual: LI200X Pyranometer.

Pressão barométrica

O CS105 mede a pressão barométrica na faixa de 600 até 1060 milibares. A imagem do Sensor CS105 é mostrado na Figura 25.

Figura 25: Barômetro CS105.
Fonte: Instruction Manual: CS105/CS105MD Barometric Pressure Sensor.

Direção e velocidade do vento

O sensor 03001 é composto pelo anemômetro e pelo anemoscópio, medindo, portanto, a velocidade e a direção do vento. A faixa de velocidade que o sensor mede é de 0 a 50m/s. A imagem do sensor 03001 é apresentada na Figura 26:

Figura 26: Sensor 03001. À esquerda se vê o anemômetro e a direita o anemoscópio.
Fonte: Instruction Manual: 03001 R. M. Young Wind Sentry Set / 03101 R. M. Young Wind Sentry Anemometer / 03301 R. M. Young Wind Sentry Vane.

TB4MM

O sensor TB4MM mede a pluviosidade. Neste sensor, quando está chovendo a água cai em um funil e escoa para o interior do equipamento. Dentro dele há o sensor que registra a pluviosidade. A imagem do TB4MM é mostrado na Figura 27:

Figura 27: Imagem do TB4MM.
Fonte: Instructuion Manual: CSI Model TB4 e TB4MM Rain Gage.

5.4. Descrição da instalação e determinação das condições de medição

Para coleta de dados da temperatura do ar no interior da edificação foram instalados no centro de cada cômodo termopares do tipo T, tendo ao todo na edificação quatro termopares, sendo um em cada cômodo. A altura escolhida para colocação do termopar foi de noventa centímetros em relação ao solo, que corresponde aproximadamente à altura média do peito de uma pessoa sentada. Esta altura foi escolhida devido ao fato de que a edificação analisada corresponde ao laboratório de pesquisa e seus ocupantes trabalham sentados. Os termopares registram o valor da temperatura a cada 30 segundos. Os dados de temperaturas internas do ar e das

superficiais da edificação são registrados em um “datalogger” “CR10X Campbell Scientific Inc.”, acoplado a um multiplexador de 32 canais AM416. O CR10X foi programado para fornecer o valor médio das temperaturas internas do ar a cada 30 minutos.

6. Coleta de dados e proposição das equações

6.1. Tratamento dos Dados.

Os dados registrados pelo CR10X estão em formatos .dat, que é formato de texto. Para a sua utilização é necessário transformá-lo em planilha. Para fazer este tratamento foi utilizado o “software” Microsoft Excel. Com o uso deste software foi possível calcular as médias diárias de temperaturas, externas e internas, do ar e da radiação solar incidente. Ainda utilizando o “software” Microsoft Excel foi possível construir gráficos que permitiram selecionar as séries representativas do período de inverno e de verão. Foram coletadas as temperaturas máximas e mínimas do ar no interior da edificação e no ambiente externo.

Para gerar as equações se criou uma planilha com dados de temperaturas externas do ar diárias, máximas, médias e mínimas. Adicionou-se, também, a este conjunto de dados os dados das temperaturas do ar no interior da edificação, máximas, médias e mínimas. Por último, se adicionou os dados de radiação solar global incidente. A análise de regressão foi feita com auxílio do “software” Systat. Com ele se calculou a equação preditiva para os períodos. Junto com a análise de regressão, com o uso do Systat, também, foi feita uma análise estatística dos dados com a finalidade de verificar se o modelo proposto é satisfatório.

6.2. Geração das equações

Optou-se gerar equações preditivas a partir das temperaturas do ar, internas e externas, e da radiação solar incidente. As temperaturas do ar foram tomadas a cada trinta segundos e totalizadas a cada meia hora. Utilizando o software Microsoft Excel,

obtiveram-se as temperaturas diárias TInt Max, TInt Méd, TInt Mín, TExt Max, TExt Méd e TExt Min, onde:

TInt Max é a temperatura máxima interna diária do ar;

TInt Med é a média aritmética das temperaturas internas diárias do ar;

TInt Min é a temperatura mínima interna diária do ar;

TExt Max é a temperatura máxima externa diária do ar;

TExt Med é a média aritmética das temperaturas externas diárias do ar;

TExt Min é a temperatura mínima externa do ar.

A partir dos dados de radiação solar global, tomados a cada 30 segundos e totalizados a cada 30 minutos, foi possível calcular a radiação solar incidente total diária, que será denominada “Solar”.

A partir dos dados de temperaturas diárias externas se calcula os GTExt’s. Os GTExt’s são as médias das temperaturas diárias externas. Por exemplo, se tiver um período de cinco dias onde as temperaturas máximas foram 35°C, 26°C, 28°C, 30° e 29°C, se tem um GTExt Max igual a 29,6°C, que corresponde a média aritmética das temperaturas externas máximas diárias do ar. O método de cálculo dos GTInt’s são semelhantes aos dos GTExt’s, mas ao invés de se calcular fazendo uso das temperaturas externas se utiliza as temperaturas internas do ar. Para gerar as equações foram calculadas as seguintes variáveis, onde:

GTExt Min é a média das temperaturas mínimas externas para o período analisado (seco ou chuvoso)

GTExt Med é a média das temperaturas externas para o período analisado

GTExt Max é a média das temperaturas máximas externas para o período analisado

GTInt Min é a média das temperaturas internas mínimas do ar para o período analisado

GTInt Med é a média das temperaturas internas médias do ar para o período analisado

GTInt Max é a média das temperaturas internas máximas do ar para o período analisado

TExt Min – GTExt Mín é a diferença entre as temperaturas mínimas externas diárias do ar e a média das temperaturas mínimas externas do ar para cada período (seco e chuvoso)

TExt Méd – GTExt Méd é a diferença entre a temperatura média externa diária do ar e a média das temperaturas médias externas do ar para cada período

TExt Máx – GTExt Max é a diferença entre a temperatura máxima externa diária do ar e a média das temperaturas máximas externas para cada período

TExt Méd (n-1) – TExt min é a diferença entre a temperatura média externa diária do ar do dia anterior e a temperatura mínima externa diária do ar.

ΔT é o fator de ganho solar. É calculado subtraindo o valor médio da temperatura interna a predizer referente ao período de dados utilizados na geração da equação (GTInt Max, GTInt Med e GTInt Min) pelo valor médio das “grandes médias” (GTExt Max, GTExt Med e GTExt Min) utilizadas na geração da equação.

6.3. Construção das equações

Para estabelecer as equações é necessário definir quais serão as variáveis respostas e explicativas. Como o que interessa nesta pesquisa são as temperaturas internas da edificação, as variáveis respostas serão as temperaturas internas do ar

mínima, média e máxima (TInt Min, TInt Méd e TInt Max). Para a escolha das variáveis explicativas foram plotados três gráficos, cada um deles representando uma das temperaturas internas do ar representativas (TInt Min, TInt Méd e TInt Max) e as temperaturas externas mínima, média e máxima (TExt Min, TExt Méd e TExt Max). Com a representação gráfica foi possível analisar quais das temperaturas externas que tinha o comportamento mais parecido com o da temperatura interna do ar a qual se busca predizer.

6.3.1. Período de inverno

O inverno em São Carlos é de característica quente e seca. Os meses de abril a setembro possuem médias mensais históricas de chuvas menores que 75mm. Os meses de outubro a março possuem médias históricas mensais de chuvas maiores que 150mm. Como se observa, a pluviosidade média mensal do período de abril a setembro é menor que a metade da pluviosidade mensal média do período de outubro a março. O período de abril a setembro, considerado de característica seca, apresenta menor nebulosidade que o período chuvoso (outubro a março). As principais massas de ar atuantes na região neste período são a massa Tropical Atlântica (mTA) e a massa Polar Atlântica (mPA). No período chuvoso, além da atuação da mTA e da mPA também é comum a atuação da massa Tropical Continental (mTC) e da massa Equatorial Continental (mEC).

Os dados utilizados para a geração das equações preditivas do período de inverno correspondem ao transicional de outono-inverno. O período selecionado vai do dia 4 de maio até o dia 27 de junho, totalizando 55 dias de coleta de dados. O período escolhido corresponde à estação de seca, que vai de abril a setembro, meses em que, de

acordo com as normais climatológicas, a precipitação total mensal é menor que 5% do total anual.

Para a escolha das variáveis explicativas para as temperaturas internas do ar primeiramente foi construído o gráfico com a temperatura interna do ar monitorada experimentalmente e as temperaturas externas do ar, máximas, médias e mínimas, também monitoradas experimentalmente. Este gráfico possibilitou visualizar o padrão de comportamento das temperaturas internas em relação às externas. O objetivo seria selecionar as temperaturas externas que tivessem um padrão de comportamento parecido com a temperatura interna a predizer. Para facilitar a análise do padrão de comportamento da temperatura interna do ar frente às temperaturas externas do ar foram construídos, com o auxílio do "software" Microsoft Excel, diagramas de dispersão. Com o uso do "software" Microsoft Excel foi possível, também, adicionar uma linha de tendência a estes diagramas de dispersão e o respectivo valor de R^2. As escolhas das temperaturas utilizadas como variáveis explicativas na geração das equações foram baseadas nos valores do coeficiente R^2, explicado no item 4.4.8. Com os diagramas de dispersão foi possível verificar que a relação entre as variáveis temperaturas externas do ar e temperaturas internas do ar é linear. Os valores de R^2 possibilitam ter uma idéia de quais variáveis explicativas mais contribuem para o modelo. Cabe ressaltar este tipo de análise pode não ser adequado, pois ao se acrescentar a variável explicativa que corresponde a radiação solar global pode-se alterar significativamente o valor de R^2. Portanto, se optou por descartar variáveis que apresentassem valores de R^2 muito baixos. Optou-se por ocultar a equação que descreve a linha de tendência apresentada nos diagramas de dispersão para que não sejam confundidas com as equações preditivas das temperaturas internas propostas neste trabalho que além das temperaturas externas utiliza também como variável explicativa a radiação solar. Vale fazer uma ressalva de

que os valores de R^2 apresentado nos diagramas de dispersão correspondem às equações de reta, gerada por análise de regressão linear simples, que representam as linhas de tendência geradas pelo "software" Microsoft Excel e não ao R^2 da equação preditiva final, que será discutido posteriormente.

Temperatura interna mínima do ar

Foi gerado um gráfico que mostra as temperaturas externas do ar máximas, médias e mínimas, diárias do período e a interna mínima do ar. Esse comportamento pode ser observado na Figura 28:

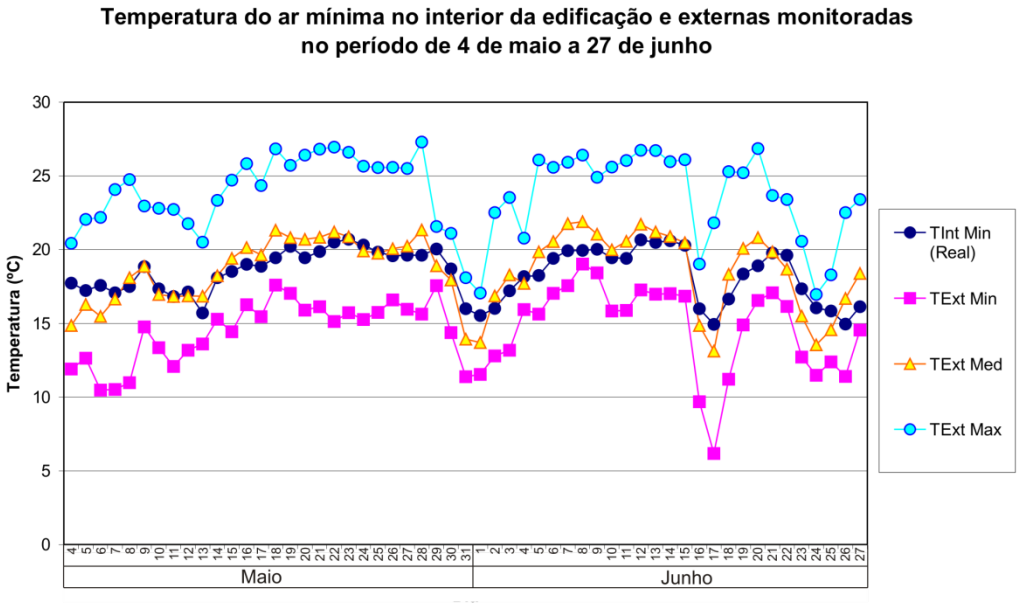

Figura 28: Temperaturas externas do ar mínima, média e máxima e mínima interna do ar registradas no período de 4 de maio a 27 de junho de 2008.

No gráfico da Figura 28 se nota que a temperatura interna mínima do ar (TInt Min) possui valores mais próximos ao da temperatura externa média do ar (TExt Med). O que se busca neste estudo não é a curva de temperatura que possui os valores de

temperaturas mais próximos ao da temperatura interna a predizer, mas sim as temperaturas externas do ar que possuem maior correlação com as temperaturas que se busca predizer.

Para facilitar a escolha das temperaturas externas do ar, utilizadas como variáveis explicativas da equação preditiva para temperatura interna, foram construídos diagramas de dispersão, comparando-se as temperaturas internas mínimas diárias registradas com as temperaturas externas diárias do ar máximas, médias e mínimas. Tais diagramas estão ilustrados na Figura 29, na Figura 30 e na Figura 31:

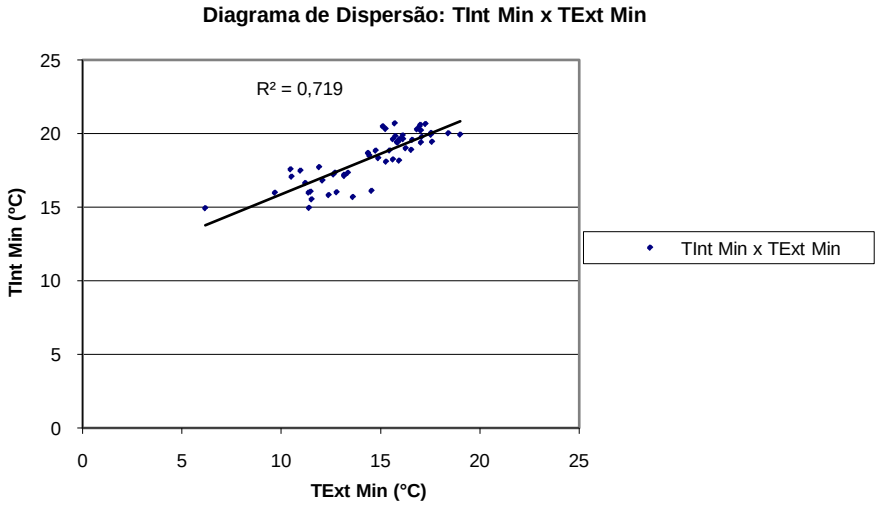

Figura 29: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas mínimas do ar.

No diagrama de dispersão, apresentado na Figura 29, nota-se que a elevação da temperatura externa causa uma elevação da temperatura interna. Os pontos, que representam os valores das temperaturas mínimas internas do ar no eixo vertical e as temperaturas externas mínimas do ar no eixo horizontal, aparecem mais próximos entre si para temperaturas mais elevadas e mais dispersos para temperaturas mais baixas. Neste diagrama também fica evidente que as temperaturas mínimas internas do ar estão, em média, um pouco maiores que as temperaturas externas do ar.

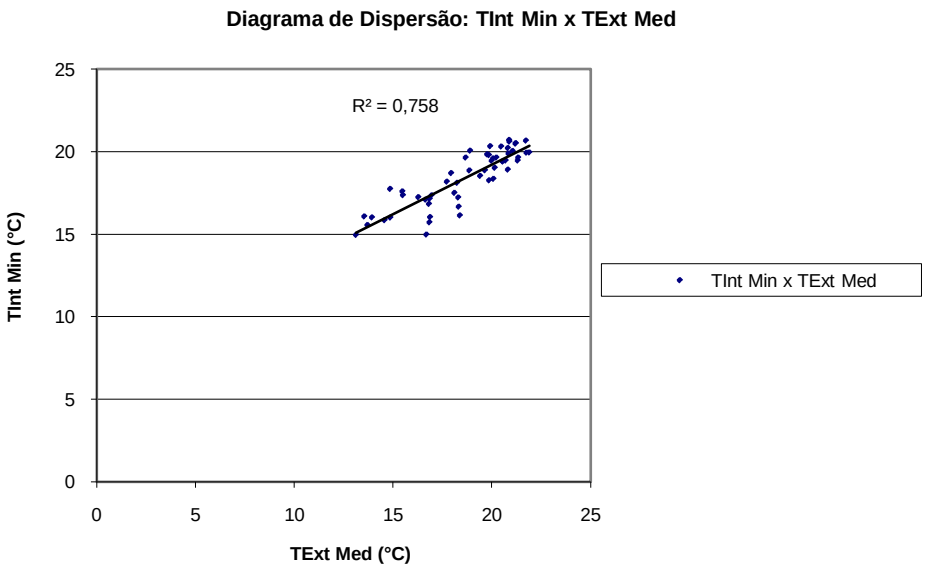

Figura 30: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas médias do ar.

No diagrama de dispersão apresentado na Figura 30 se nota que para temperaturas externas do ar maiores se tem, também, temperaturas internas mínimas do ar maiores. Em relação à distribuição dos pontos no gráfico, verifica-se um padrão parecido com o do diagrama da Figura 29, com pontos mais próximos para as temperaturas mais elevadas e com pontos mais dispersos para temperaturas menores.

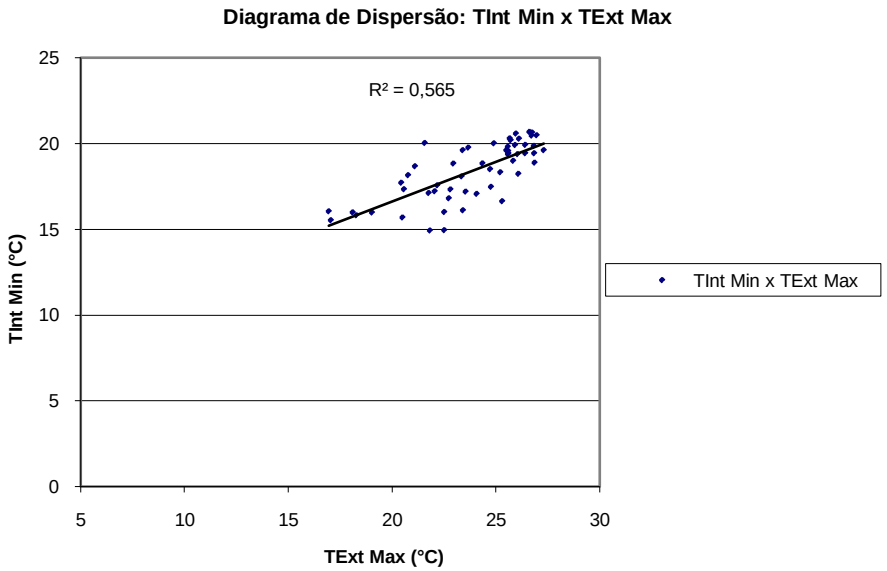

Figura 31: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas máximas do ar.

O diagrama de dispersão apresentado na Figura 31, diferentemente dos diagramas mostrados na Figura 29 e na Figura 30, apresentou pontos mais dispersos. Esta maior dispersão dos pontos do diagrama da Figura 31 implica em um menor valor do coeficiente R^2, que indica que a TExt Max tem uma menor correlação que as variáveis TExt Min e TExt Med, o que, por sua vez, torna a TExt Max menos viável como variável explicativa para a geração da equação preditiva para temperatura interna mínima do ar.

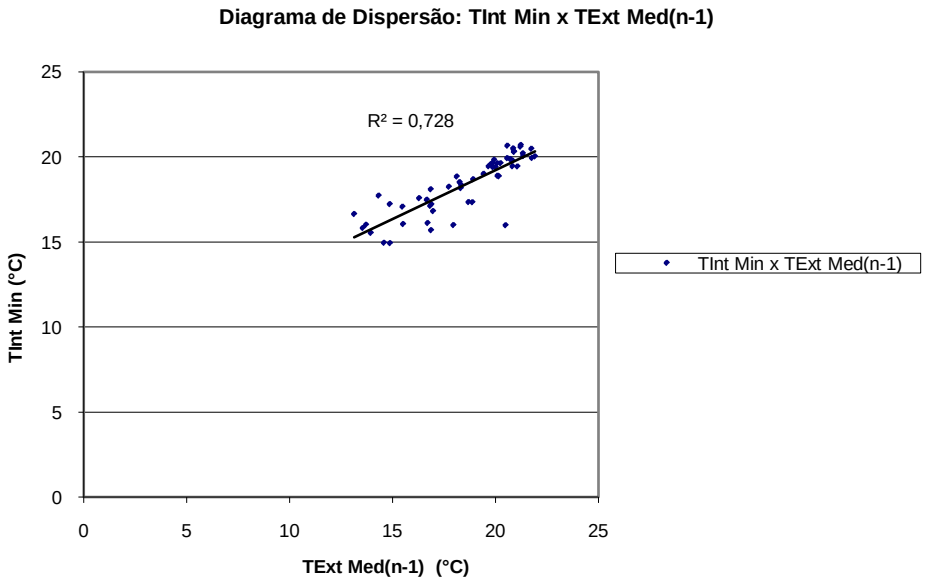

Figura 32: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas médias do ar do dia anterior.

No diagrama de dispersão, apresentado na Figura 32, nota-se que para temperaturas externas do ar maiores se tem, também, temperaturas internas mínimas do ar maiores. Observam-se pontos mais próximos para temperaturas maiores e mais dispersos para temperaturas menores.

Como os valores de R^2 apresentados nos diagramas da Figura 29 e da Figura 30 foram relativamente elevados, optou-se por considerar as temperaturas internas mínimas e médias como variáveis explicativas para estimar as temperaturas internas mínimas.

Optou-se, igualmente, por considerar o efeito da temperatura externa média do dia anterior sobre a temperatura mínima interna, usando como variável explicativa a temperatura externa mínima.

Em função dos valores de R^2 apresentados nos diagramas de dispersão, optou-se por construir três equações preditivas para a temperatura do ar mínima para o período de inverno. As variáveis respostas e as variáveis explicativas estão discriminadas no Quadro 3. Nas construções das equações foi adicionado como variável explicativa, além das temperaturas externas, a radiação solar total diária incidente em $kW.h/m^2$.

Variável Resposta	Variável Explicativa
TInt Min 1_i	GTExt Min, TExt Min e Solar
TInt Min 2_i	GTExt Min, TExt Med(n-1), TExt Min e Solar
TInt Min 3_i	GTExt Med, TExt Med e Solar

Quadro 3: Variáveis explicativas e variáveis respostas para a predição da temperatura interna do ar mínima.

A letra “i”, colocada ao final de cada variável resposta, serve para indicar que são equações preditivas para o período de inverno. As equações preditivas para o período de verão são indicadas pela letra “v”.

Temperatura média interna do ar

As temperaturas consideradas inicialmente para a construção das equações preditivas para a temperatura interna média do ar foram a TExt Min, a TExt Med e a TExt Max. Os valores registrados no período de medição considerado para gerar as equações preditivas estão apresentados no gráfico da Figura 33:

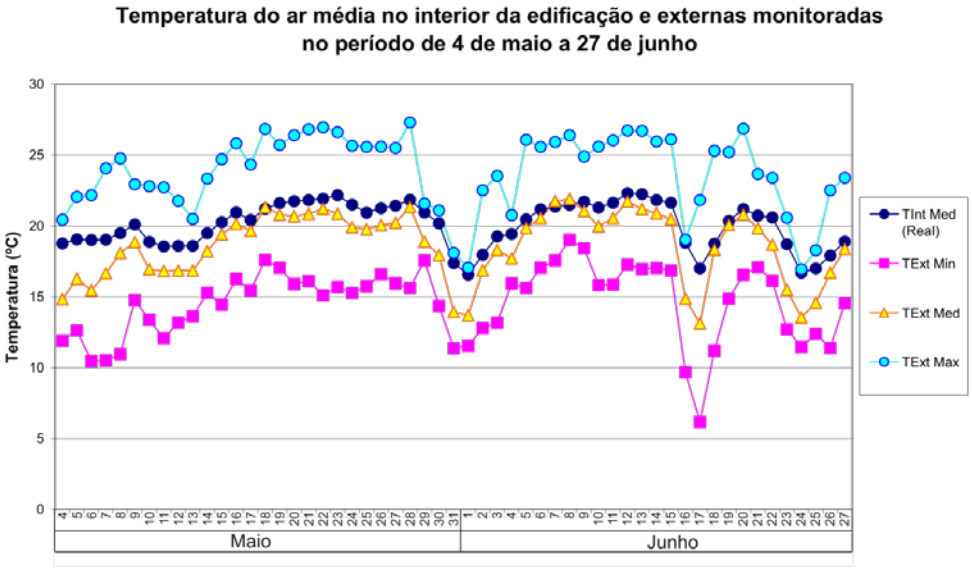

Figura 33: Temperaturas externas do ar mínima, média e máxima e média interna do ar registradas no período de 4 de maio a 27 de junho de 2008.

Nota-se que para a temperatura externa média do ar acima de 20°C a temperatura interna média ficou em valores próximos ao da temperatura interna média do ar. Para entender melhor o comportamento da temperatura interna média do ar (TInt Med) frente as temperaturas externas (TExt Min, TExt Med e TExt Max) foram construídos diagramas de dispersão e calculados os coeficientes de determinação. Os diagramas de dispersão mostrados na Figura 34, na Figura 35 e na Figura 36 ajudam a entender melhor o comportamento da temperatura interna em relação às externas:

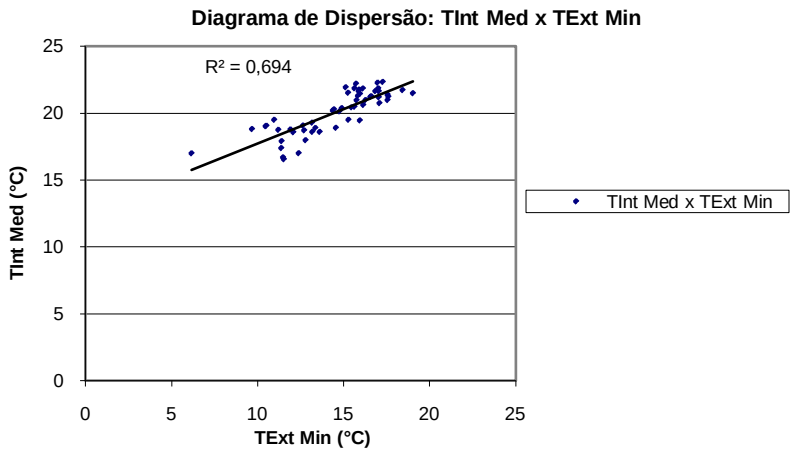

Figura 34: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas médias do ar frente às temperaturas externas mínimas do ar.

No diagrama de dispersão, mostrado na Figura 34, nota-se que os pontos juntos se assemelham a uma reta, apresentando coeficiente R^2 = 0,694. Nota-se que para maiores temperaturas externas mínimas do ar (TExt Min), se encontra maiores temperaturas internas médias do ar (TInt Med). Neste diagrama também se nota que as TInt Med são pouco maiores que as TExt Min.

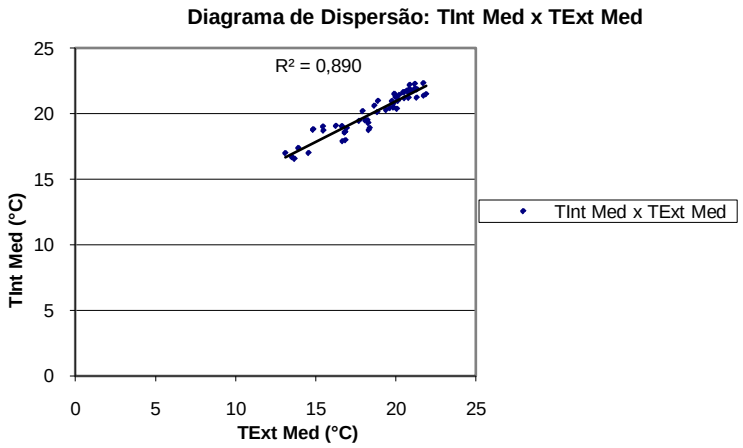

Figura 35: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas médias do ar frente às temperaturas externas médias do ar.

No diagrama de dispersão, mostrado na Figura 35, nota-se que o conjunto de pontos se assemelha bastante a uma reta, apresentando pontos pouco dispersos, com coeficiente R^2 = 0,890. Este valor de R^2 indica que 89% da variabilidade da temperatura interna média (TInt Med) é explicada pela temperatura externa média (TExt Med).

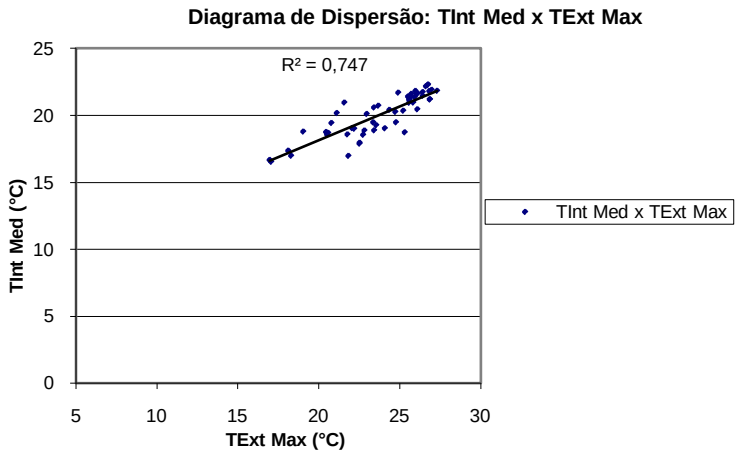

Figura 36: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas médias do ar frente às temperaturas externas máximas do ar.

No diagrama de dispersão, mostrado na Figura 36, também se nota que o conjunto de pontos se assemelha com uma reta, com alguns pontos dispersos, apresentando coeficiente $R^2 = 0,747$.

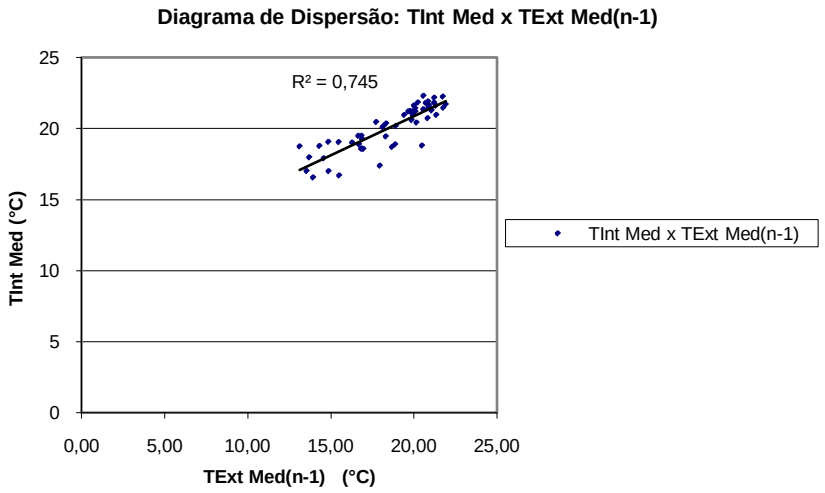

Figura 37: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas médias do ar frente às temperaturas externas médias do ar do dia anterior.

O diagrama de dispersão mostrado na Figura 37 apresenta o valor de R^2 calculado igual a 0,745. Observa-se que para temperaturas maiores os pontos se apresentam mais próximos da linha de tendência.

Analisando o diagrama de dispersão da Figura 35, se percebeu que o conjunto de pontos se assemelha bastante com uma reta, apresentando dentre todos os diagramas o maior valor de R^2. Os diagramas da Figura 34 e da Figura 36 se assemelham também, mas com pontos mais dispersos. Desta forma, foi selecionada como variável explicativa para a temperatura interna do ar média a temperatura externa média do ar. Verificou-se, também, que a temperatura externa média do dia anterior (TExt Med(n-1)) influenciava na temperatura interna média (TInt Med). Deste modo, foram construídas duas equações preditivas, com as seguintes variáveis explicativas, mostradas no Quadro 4:

Variável Resposta	Variável Explicativa
TInt Med 1_i	GTExt Med, TExt Med e Solar
TInt Med 2_i	GTExt Med, TExt Med, TExt Med(n-1) e Solar

Quadro 4: Variáveis explicativas e variáveis respostas para a predição da temperatura interna do ar média.

Temperatura Máxima Interna do Ar

As temperaturas consideradas inicialmente para a construção das equações preditivas para a temperatura interna máxima do ar (TInt Max) foram as externas mínimas, médias e máximas do ar. A Figura 38 ilustra as temperaturas externas do ar (TExt Min, TExt Med e TExt Max) e a interna máxima do ar (TInt Max) monitorada experimentalmente:

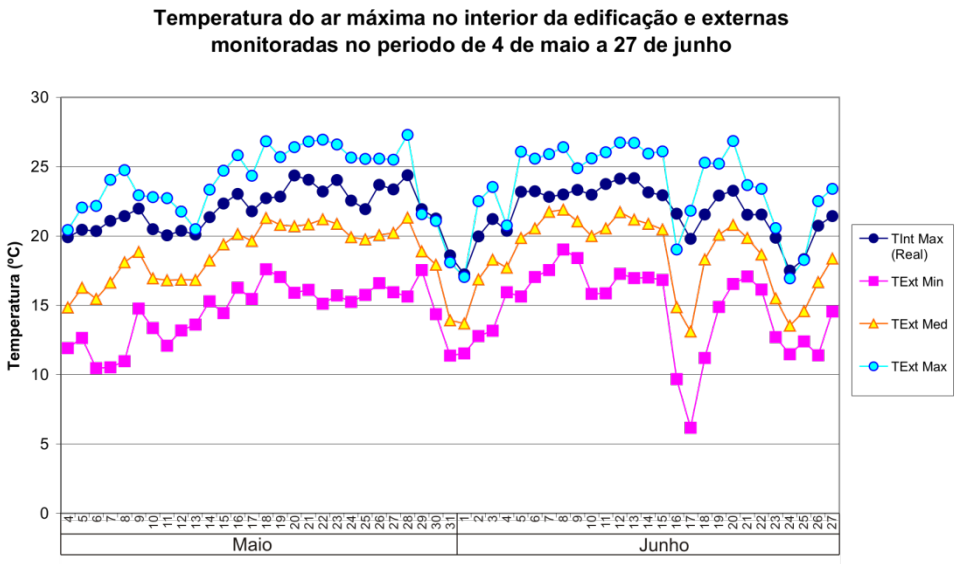

Figura 38: Temperaturas externas do ar mínima, média e máxima e máxima interna do ar registradas no período de 4 de maio a 27 de junho de 2008.

Visualmente se nota um padrão de comportamento da temperatura interna máxima do ar parecido com o das curvas das temperaturas externas médias e máximas, ficando mais claro este comportamento nos diagramas de dispersão.

Por meio dos diagramas de dispersão se pode analisar o comportamento da temperatura interna máxima do ar sobre as temperaturas externas mínimas, médias e

máximas externas do ar. Os diagramas estão representados na Figura 39, na Figura 40 e na Figura 41:

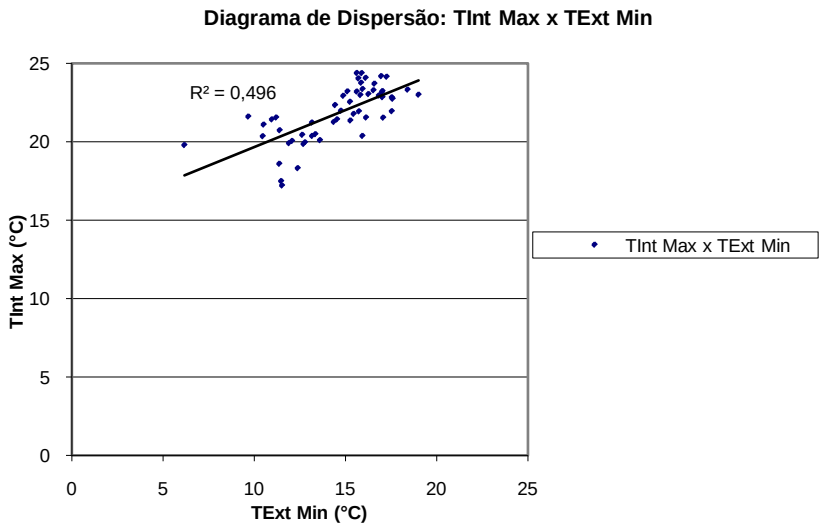

Figura 39: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas máximas do ar frente às temperaturas externas mínimas do ar.

No diagrama de dispersão apresentado na Figura 39 o conjunto de pontos se assemelha com uma reta, mas com alguns pontos dispersos, apresentando coeficiente R^2 = 0,496. Este valor indica que apenas 49,6% da variabilidade total da temperatura interna máxima (TInt Max) é explicada pela temperatura externa mínima (TExt Min).

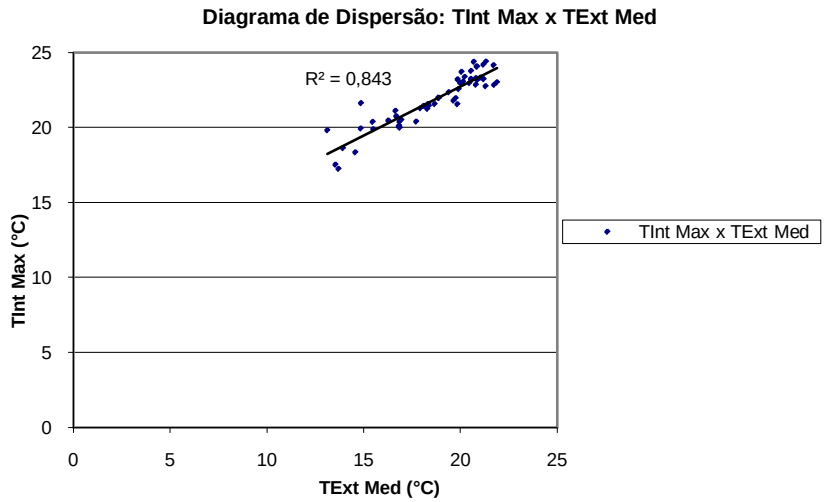

Figura 40: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas máximas do ar frente às temperaturas externas médias do ar.

No diagrama de dispersão apresentado na Figura 40 se nota que o conjunto de pontos se assemelha com uma reta, com pontos pouco dispersos, apresentando coeficiente R^2 = 0,843.

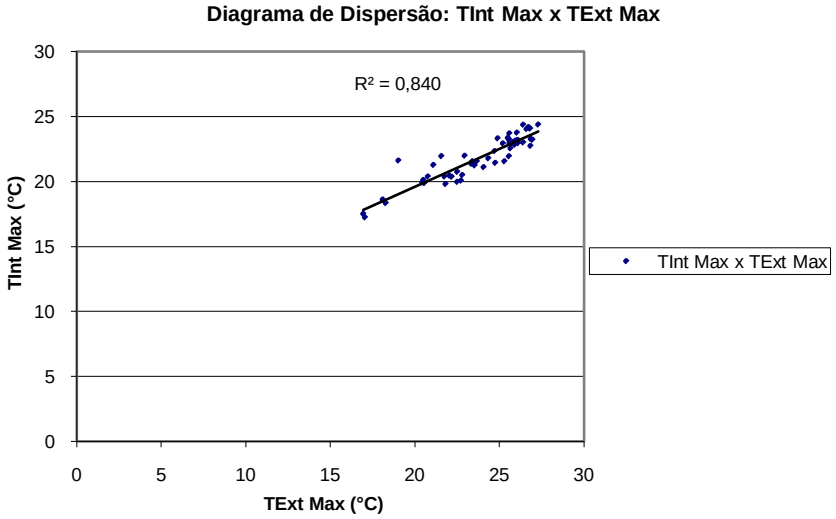

Figura 41: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas máximas do ar frente às externas máximas.

O conjunto de pontos mostrados no diagrama de dispersão da Figura 41 se assemelha bastante a uma reta, e apresenta coeficiente R^2 = 0,840. Nota-se que para maiores temperaturas externas do ar se tem maior temperatura interna do ar.

Os dados apresentados no diagrama de dispersão da Figura 40 e da Figura 41 apresentaram coeficientes R^2 maiores que os da Figura 39. Desta forma, foi selecionada como variável explicativa para a temperatura interna do ar máxima a temperatura externa média e a máxima do ar. Deste modo, foram construídas duas equações preditivas, com as seguintes variáveis explicativas, mostradas no Quadro 5:

Variável Resposta	**Variável Explicativa**
TInt Max 1_i	GTExt Max, TExt Max e Solar
TInt Max 2_i	GTExt Med, TExt Med e Solar

Quadro 5: Variáveis explicativas e variáveis respostas para a predição da temperatura interna do ar média.

6.3.2. Período de Verão

Os dados utilizados para a geração das equações preditivas do período de verão correspondem ao dia 17 de outubro até o dia 11 de dezembro, totalizando 56 dias de coleta de dados. Este período ainda corresponde à estação de primavera. Neste período se observa uma elevação dos níveis de pluviosidade, de acordo com as Normais Climatológicas (1961-1990). O período de outubro a março se observa uma precipitação mensal acima da média aritmética da precipitação anual e o período de abril a setembro se observa precipitação abaixo desta média. Embora o período escolhido corresponda a estação de primavera, ele possui níveis de pluviosidade próximos à estação de verão, representando satisfatoriamente o período, como será visto posteriormente na validação das equações.

Temperatura interna mínima do ar

As temperaturas externas do ar inicialmente consideradas como possíveis variáveis explicativas da temperatura interna mínima (TInt Min) do ar foram as temperaturas externas do ar máximas (TExt Max), médias (TExt Med) e mínimas (TExt Min). Os dados referentes ao período analisado podem ser visualizados no gráfico apresentado na Figura 42:

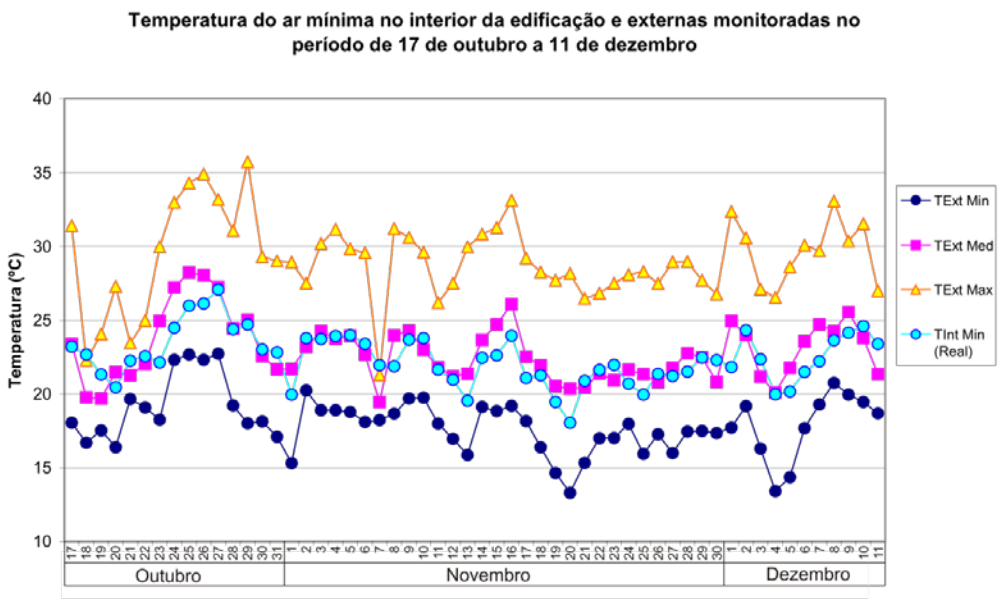

Figura 42: Dados das temperaturas externas do ar (TExt Min, TExt Med e TExt Max) e da temperatura interna do ar mínima (TInt Min) referentes ao período de 17 de outubro a 11 de dezembro.

Para um melhor entendimento da relação entre a temperatura interna mínima do ar (TInt Min) e as temperaturas externas do ar (TExt Min, TExt Med e TExt Max) foram construídos diagramas de dispersão.

Com base nos diagramas de dispersão foram selecionadas as variáveis explicativas para a análise de regressão linear múltipla. O diagrama de dispersão ilustrado na Figura 43 ilustra o comportamento da TInt Min frente a TExt Min do ar.

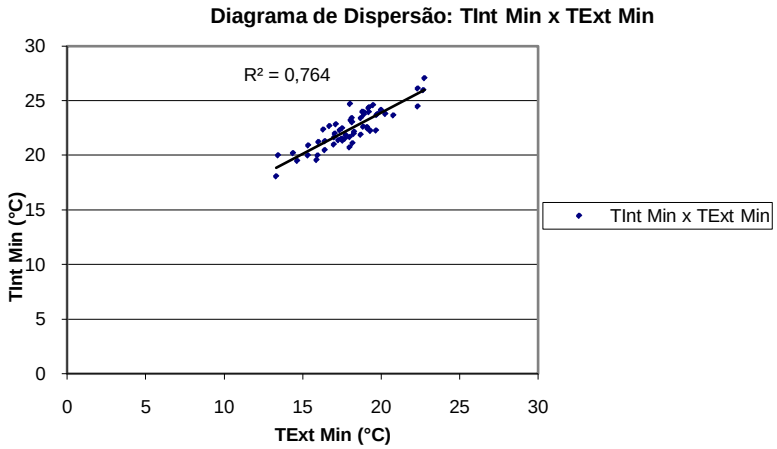

Figura 43: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas mínimas do ar.

No diagrama de dispersão apresentado na Figura 43 se nota que a elevação da TExt Min causa uma elevação da TInt Min. No geral os pontos se apresentaram poucos dispersos, com valor R^2 = 0,764.

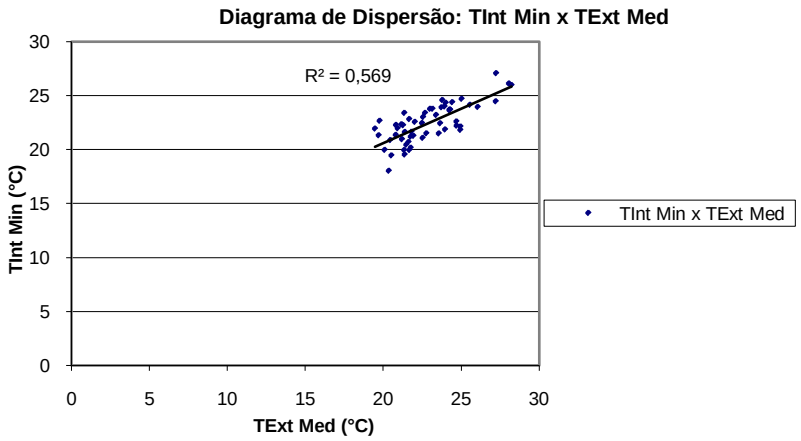

Figura 44: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas médias do ar.

No diagrama de dispersão apresentado na Figura 44 se observa um valor de R^2 menor do que o apresentado na Figura 43. Percebe-se que para temperaturas externas do ar maiores se tem também temperaturas internas mínimas do ar maiores. Esse maior valor de R^2 apresentado no diagrama de dispersão da Figura 43 indica que a TExt Min explica melhor a variabilidade encontrada na TInt Min do que a TExt Med.

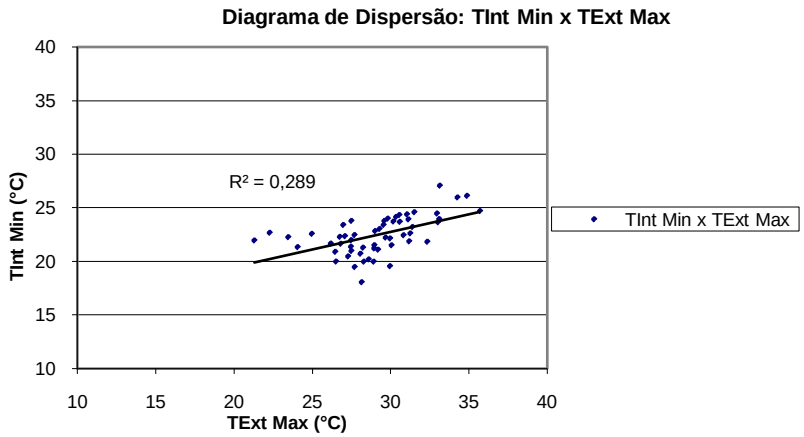

Figura 45: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas mínimas do ar frente às temperaturas externas máximas do ar.

O diagrama de dispersão apresentado na Figura 45, diferentemente dos diagramas mostrados na Figura 43 e na Figura 44, apresentou pontos bastante dispersos. Esta maior dispersão dos pontos, que faz com que se tenha um menor coeficiente R^2, torna a temperatura externa máxima menos viável para a análise de regressão que as temperaturas externas do ar médias e mínimas.

Embora o valor de R^2 encontrado para o conjunto de dados apresentados no diagrama de dispersão da Figura 44 tenha sido menor do que o valor de R^2 encontrado no diagrama de dispersão da Figura 43, optou-se por considerar, também, a temperatura média externa do ar como variável explicativa para a temperatura interna mínima. A consideração da TExt Med como variável explicativa se deveu ao fato de que será adicionado a este modelo a radiação solar global, que por sua vez pode melhorar significativamente o modelo. Desta forma, foram construídas duas equações preditivas para a temperatura do ar mínima para o período de verão. As variáveis respostas e as variáveis explicativas estão discriminadas no Quadro 6. Nas construções das equações foi adicionado como variável explicativa, além das temperaturas externas, a radiação solar total diária incidente em $kW.h/m^2$.

Variável Resposta	**Variável Explicativa**
TInt Min 1_v	GTExt Min, TExt Min e Solar
TInt Min 2_v	GTExt Med, TExt Med e Solar

Quadro 6: Variáveis explicativas e variáveis respostas para a predição da temperatura interna do ar mínima.

Temperatura média interna do ar

Para se ter uma idéia inicial do comportamento da temperatura interna média do ar frente as temperaturas externas máximas, médias e mínimas foi gerado o gráfico da Figura 46:

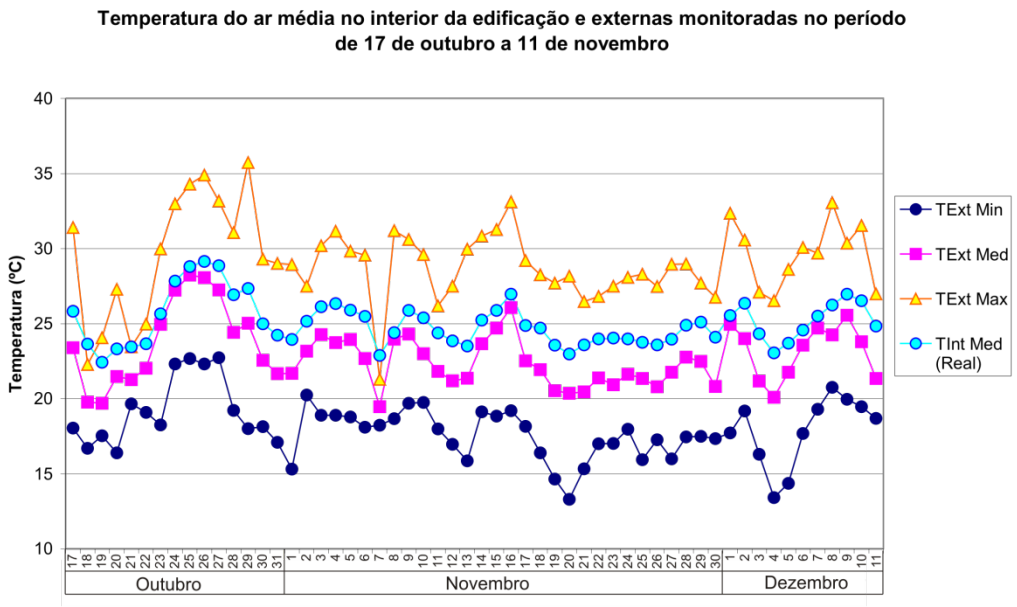

Figura 46: Dados das temperaturas externas do ar (TExt Min, TExt Med e TExt Max) e da temperatura interna do ar média (TInt Med) referentes ao período de 17 de outubro a 11 de dezembro.

A curva de temperaturas externas registradas para o período que mais se aproximou com o padrão de comportamento da curva da temperatura interna média monitorada foi a temperatura externa média, o que fica mais evidente nos diagramas de dispersão. Os diagramas de dispersão mostrados na Figura 47, na Figura 48 e na Figura 49 ajudam a entender melhor o comportamento da temperatura interna em relação às externas:

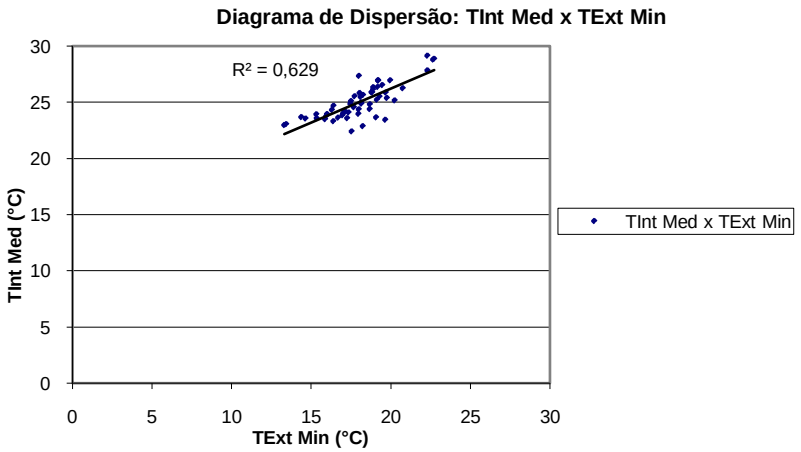

Figura 47: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento das temperaturas internas médias do ar frente às temperaturas externas mínimas do ar.

No diagrama de dispersão mostrado na Figura 47 se nota que os pontos estão um pouco dispersos, com coeficiente R^2 = 0,629. Neste diagrama também se percebe que as temperaturas internas médias são relativamente maiores que as temperaturas externas mínimas.

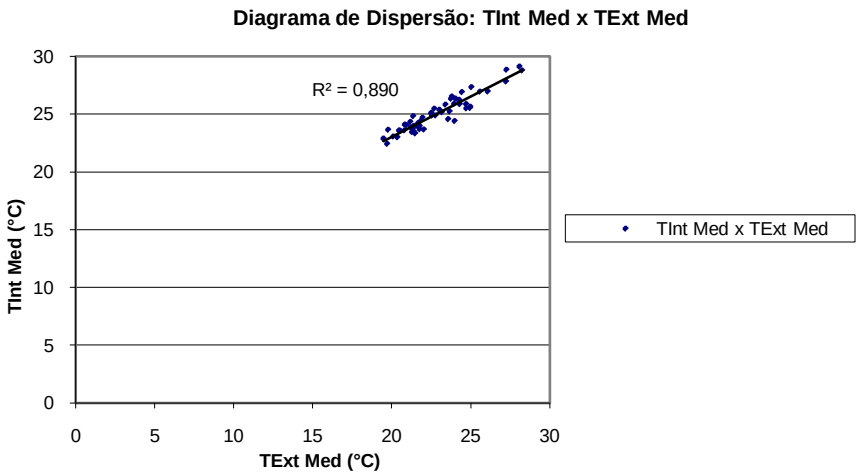

Figura 48: Diagrama de dispersão comparando as temperaturas internas médias do ar pelas externas médias.

No diagrama de dispersão mostrado na Figura 48 se nota que o conjunto de pontos se assemelha bastante a uma reta, apresentando coeficiente R^2 = 0,890, o que torna possível a temperatura externa média do ar como uma candidata para variável explicativa da temperatura média no interior da edificação.

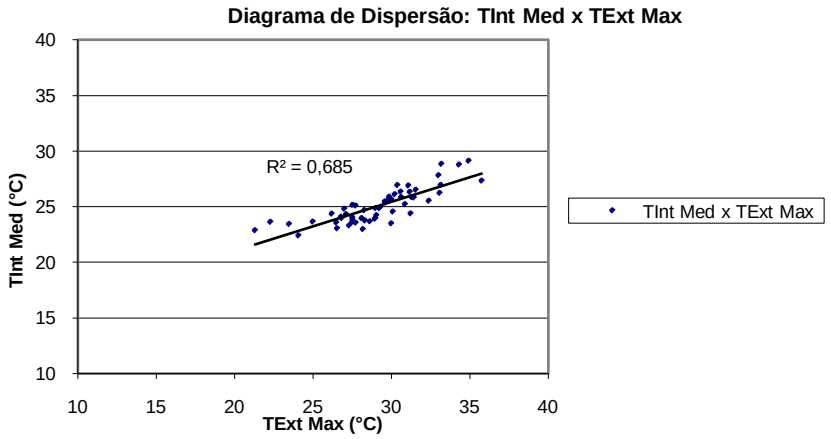

Figura 49: Diagrama de dispersão comparando as temperaturas internas médias do ar pelas externas máximas.

No diagrama de dispersão mostrado na Figura 49 também se nota que o conjunto de pontos se assemelha com uma reta, com alguns pontos dispersos, apresentando coeficiente $R^2 = 0,685$.

O conjunto de dados da Figura 48 foi o que apresentou o maior coeficiente R^2. Quanto mais próximo de 1, maior o grau de relacionamento entre a as temperaturas externas e internas. Desta forma, foi selecionada como variável explicativa para a temperatura interna do ar média a temperatura externa média do ar. Deste modo, foi construída apenas uma equação preditiva para a temperatura interna do ar da edificação, com as seguintes variáveis explicativas, mostradas no Quadro 7:

Variável Resposta	Variável Explicativa
TInt Med 1_v	GTExt Med, TExt Med e Solar

Quadro 7: Variáveis explicativas e variável resposta para a predição da temperatura interna do ar média.

Temperatura Máxima Interna do Ar

As temperaturas consideradas para a construção das equações preditivas para a temperatura interna máxima do ar foram as externas mínimas, médias e máximas do ar. A Figura 50 ilustra as temperaturas externas do ar e a interna máxima real do ar:

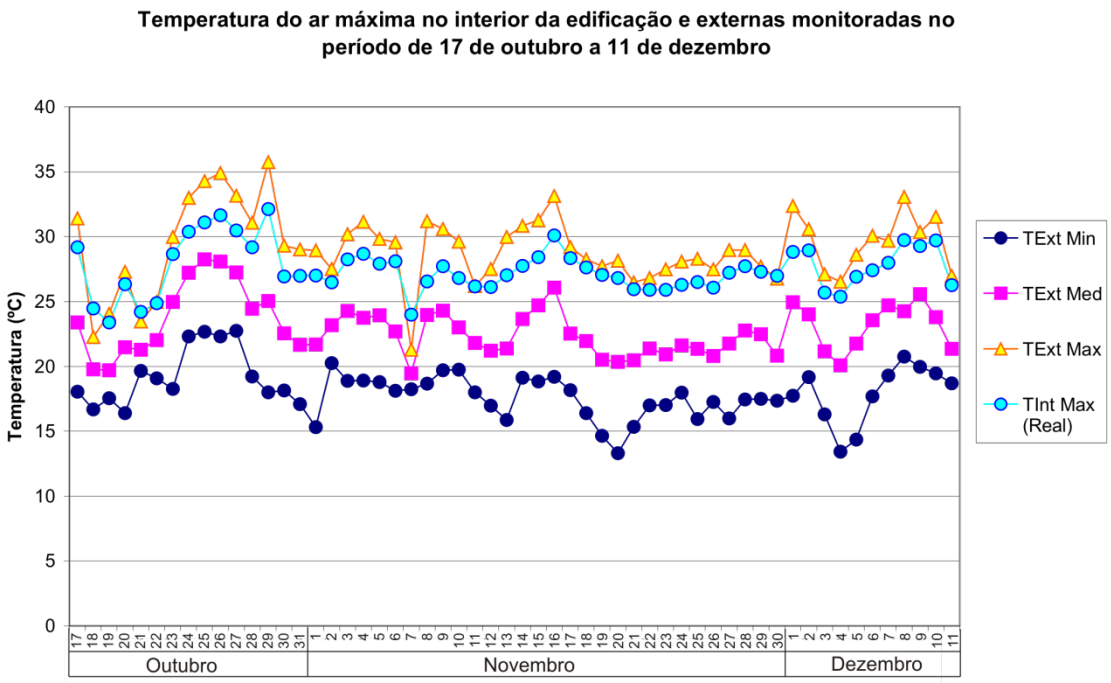

Figura 50: Dados das temperaturas externas do ar (TExt Min, TExt Med e TExt Max) e da temperatura interna do ar máxima (TInt Max) referentes ao período de 17 de outubro a 11 de dezembro.

Visualmente se nota um padrão de comportamento da temperatura interna máxima do ar parecido com o das curvas da temperatura externas máxima, onde se vê que a elevação da temperatura máxima externa causa uma elevação da temperatura máxima interna. Percebe-se um comportamento semelhante quando se observa o comportamento da temperatura externa média do ar com a temperatura interna máxima do ar. Esse comportamento fica mais evidente nos diagramas de dispersão.

Por meio dos diagramas de dispersão se pode analisar o comportamento da temperatura interna máxima do ar sobre as temperaturas externas mínimas, médias e máximas externas do ar. Os diagramas estão representados na Figura 51, na Figura 52 e na Figura 53:

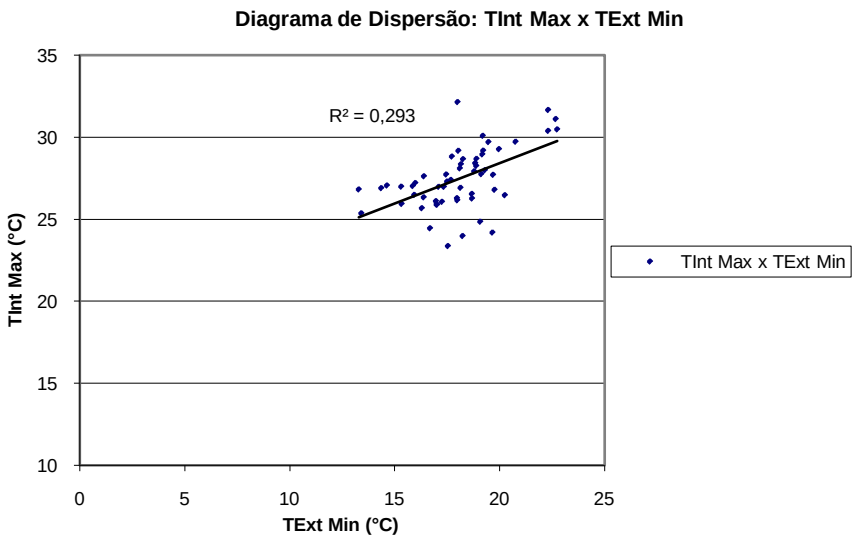

Figura 51: Diagrama de dispersão comparando as temperaturas internas máximas do ar pelas externas mínimas.

No diagrama de dispersão apresentado na Figura 51 o conjunto de pontos se apresenta bastante dispersos, apresentando um coeficiente $R^2 = 0,293$.

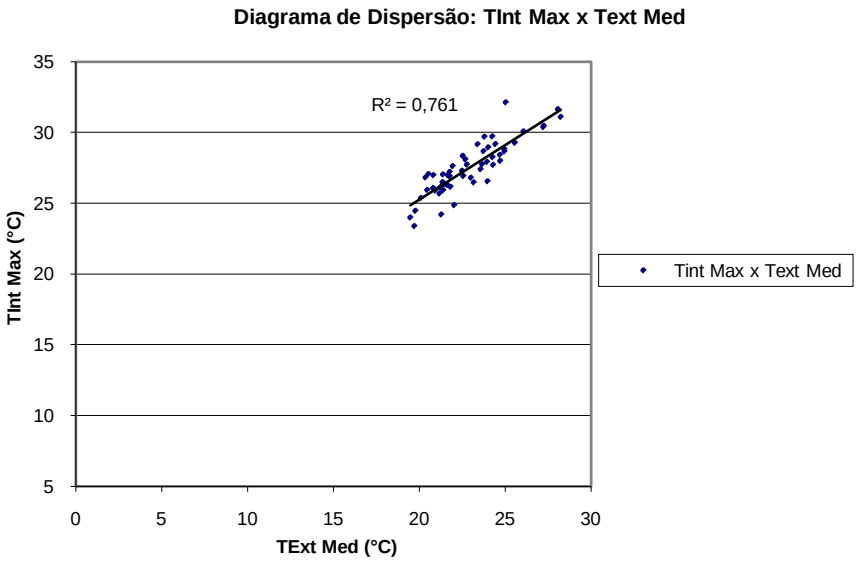

Figura 52: Diagrama de dispersão comparando as temperaturas internas máximas do ar pelas externas médias.

No diagrama de dispersão apresentado na Figura 52 se nota que o conjunto de pontos se assemelha com uma reta, apresentando coeficiente $R^2 = 0,761$.

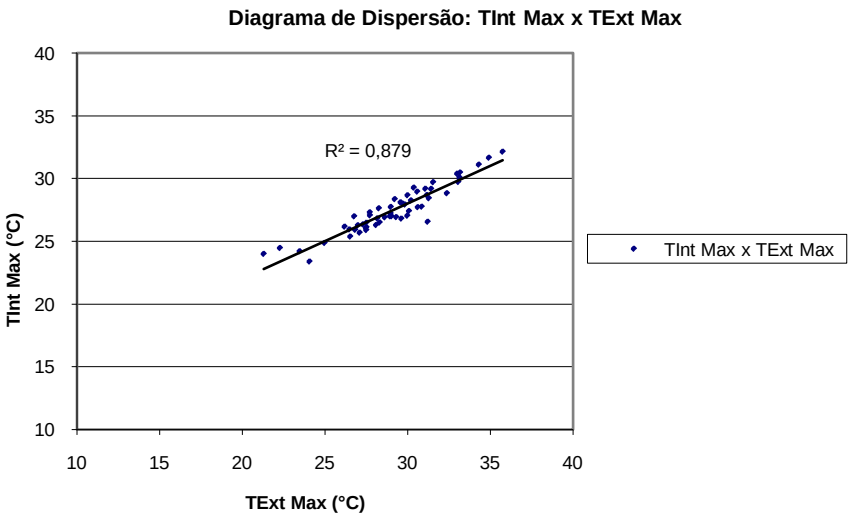

Figura 53: Diagrama de dispersão comparando as temperaturas internas máximas do ar pelas externas máximas.

O conjunto de pontos mostrados no diagrama de dispersão da Figura 53 se assemelha bastante a uma reta, apresentando coeficiente R^2 = 0,879. Nota-se que para maiores temperaturas externas do ar se tem maior temperatura interna do ar.

Comparando os valores do coeficiente R^2 dos diagramas de dispersão apresentados na Figura 51, na Figura 52 e na Figura 53, optou-se por escolher como variáveis explicativas as temperaturas internas médias e máximas para gerar as equações preditivas de temperatura interna máxima do ar. Deste modo, foram construídas duas equações preditivas, com as variáveis explicativas mostradas no Quadro 8:

Variável Resposta	**Variável Explicativa**
TInt Max 1_v	GTExt Max, TExt Max e Solar
TInt Max 2_v	GTExt Med, TExt Med e Solar

Quadro 8: Variáveis explicativas e variáveis respostas para a predição da temperatura interna do ar média.

7. Resultados e Discussão

7.1. Período de inverno

Para o período de inverno foi construída uma planilha com dados das temperaturas internas do ar (TInt Min, TInt Med, TInt Max e TInt Med(n-1)), dados da radiação solar global (Solar) e as diferenças entre as temperaturas externas e a média do período ((TExt Min – GTExt Min), (TExt Med – GTExt Med) e (TExt Max – GTExt Max)). Com a planilha de dados descrita foi gerada as equações preditivas para o período de inverno com o uso do software Systat 12. As equações preditivas para o período de inverno têm a letra "i" subscrita no final da temperatura a estimar (TInt Min 1_i, TInt Min 2_i, TInt Min 3_i, Tint Med 1_i, TInt Med 2_i, TInt Max 1_i e TInt Max 2_i), indicando inverno, de modo a diferenciar das equações preditivas para o período de verão, que possui a letra "v" subscrita no final da temperatura a estimar (TInt Min 1_v, TInt Min 2_v, Tint Med 1_v, TInt Max 1_v e TInt Max 2_v). As equações fornecidas pelo "software" Systat 12 não possuem a mesma forma das equações propostas inicialmente por Givoni (GIVONI, 1999). Para que as equações possuam a mesma forma é necessária a inserção dos coeficientes que representam a média do período (GTExt Min, GTExt Med ou GTExt Max) e a inserção do coeficiente ΔT. Fernandes (FERNANDES, 2005) verificou que em alguns casos as equações nos formatos original, fornecidos pelos softwares, melhoram os resultados das estimativas. Nas equações geradas neste trabalho se verificou que as adições dos coeficientes melhoram as estimativas das equações, apresentando, portanto, as equações com as devidas transformações.

7.1.1. Equações geradas para o período de inverno

O programa Systat 12 forneceu as seguintes equações preditivas:

Temperaturas Mínimas:

Cálculo da TInt Min 1_i

$$TInt\ Min\ 1_i = 17{,}004 + 0{,}570*(Text\ Min - GTExt\ Min) + 0{,}372*Solar \quad \text{(Eq. 24)}$$

Como se pode verificar, a equação TInt Min 1_i não está com a mesma aparência das equações propostas por Givoni (GIVONI, 1999). Será feita portanto as transformações necessárias para deixá-la no mesmo modelo proposto por Givoni, que é a inserção do ΔT e do GTExt Min multiplicado por seu coeficiente. Fernandes (FERNANDES, 2005) verificou que em alguns casos a inserção destes coeficientes pode piorar a estimativa das temperaturas. No caso das equações geradas se observou que a inserção dos coeficientes diminui a diferença máxima entre a temperatura monitorada e a estimada pelas equações. O coeficiente ΔT é igual a:

$$\Delta T = GTInt\ Min - GTExt\ Min = 18{,}39 - 14{,}55 = 3{,}84 \quad \text{(Eq. 25)}$$

O valor 18,39 corresponde a média das temperaturas internas mínimas do período utilizado para gerar as equações e o valor 14,55 corresponde a média das temperaturas externas mínimas referentes ao mesmo período. Agora falta inserir também a variável GTExt Min e seu coeficiente. A inserção será feita igualando a constante 17,004 com o ΔT e com o GTExt Min multiplicado pelo seu coeficiente, assumindo a equação da seguinte forma:

$17{,}004 = \Delta T + x*GTExt\ Min$ (Eq. 26)

O valor de x encontrado é igual a 0,905, ficando a equação da seguinte forma:

$TInt\ Min\ 1_i = 0{,}905*GTExt\ Min + 0{,}570*(Text\ Min - GTExt\ Min) + 0{,}372*Solar + 3{,}84$ (Eq. 27)

Cálculo da TInt Min 2_i

$TInt\ Min\ 2_i = 11{,}542 + 0{,}337*(TExt\ Min - GTExt\ Min) + 0{,}308*TExt\ Med(n-1) + 0{,}306*Solar$ (Eq. 28)

A equação para TInt Min 2_i será transformada para ter o mesmo formato das propostas por Givoni (Givoni, 1999) utilizando os mesmos critérios descritos para a geração da equação TInt Min 1_i.

$\Delta T = GTInt\ Min - GTExt\ Min = 18{,}39 - 14{,}55 = 3{,}84$ (Eq. 25)

$11{,}542 = \Delta T + x*GTExt\ Min$ (Eq. 29)

Substituindo os valores, tem-se x = 0,530

A equação TInt Med 2_i assume então a seguinte forma:

$TInt\ Min\ 2_i = 0{,}530*\ GTExt\ Min + 0{,}337*(TExt\ Min - GTExt\ Min) + 0{,}308*TExt\ Med(n-1) + 0{,}306*Solar + 3{,}84$ (Eq. 30)

Cálculo da TInt Min 3_i

$TInt\ Min\ 3_i = 18{,}964 + 0{,}614*(TExt\ Med - GTExt\ Med) - 0{,}155*Solar$ (Eq. 31)

A equação TInt Min 3_i será transformada para o modelo proposto por Givoni (GIVONI, 1999). Observa-se que nesta equação as variáveis explicativas para a equação são a radiação solar e a temperatura externa média, alterando, portanto, o valor de ΔT calculado para as equações anteriores, conforme mostrado na equação 29:

ΔT = GTInt Min – GTExt Med = 18,39 – 18,61 = -0,22 (Eq. 32)

18,964 = ΔT + x*GTExt Med (Eq. 33)

x = 1,031

A equação para TInt Min 3_i fica da seguinte forma:

TInt Min 3_i = 1,031* GTExt Med + 0,614*(TExt Med – GTExt Med) – 0,155*Solar – 0,22 (Eq. 34)

Temperaturas Médias:

Cálculo da TInt Med 1_i

TInt Med 1_i = 19,790 + 0,613*(TExt Med – GTExt Med) + 0,077*Solar (Eq. 35)

Foram realizadas as mesmas transformações utilizada nas equações anteriores para deixar a equação TInt Med 1_i de acordo com o modelo proposto por Givoni (GIVONI, 1999).

ΔT = GTInt Med – GTExt Med = 20,08 – 18,61 = 1,47 (Eq. 36)

19,790 = ΔT + x*GTExt Med (Eq. 37)

x = 0,984

A equação para TInt Med 1_i fica da seguinte forma:

TInt Med 1_i = 0,984* GTExt Med + 0,613*(TExt Med – GTExt Med) + 0,077*Solar + 1,47 (Eq. 38)

Cálculo da TInt Med 2_i

TInt Med 2_i = 14,672 + 0,406*(TExt Med – GTExt Med) + 0,251*TExt Med(n-1) + 0,200*Solar (Eq. 39)

Foram realizadas as mesmas transformações utilizadas nas equações anteriores para deixar a equação TInt Med 2_i de acordo com o modelo proposto por Givoni (GIVONI, 1999). Após as transformações a equação TInt Med 2_i ficou na forma mostrada na equação 38:

ΔT = GTInt Med – GTExt Med = 20,08 – 18,61 = 1,47 (Eq. 36)

14,672 = ΔT + x*GTExt Med (Eq. 40)

x = 0,709

TInt Med 2_i = 0,709* GTExt Med + 0,406*(TExt Med – GTExt Med) + 0,251*TExt Med(n-1) + 0,200*Solar + 1,47 (Eq. 41)

Temperaturas Máximas:

Cálculo da TInt Max 1_i

TInt Max 1_i = 22,219 + 0,602*(TExt Max – GTExt Max) – 0,110*Solar (Eq. 42)

Foram realizada as mesmas transformações utilizada nas equações anteriores para deixar a equação TInt Max 1_i de acordo com o modelo proposto por Givoni (GIVONI, 1999). Após as transformações a equação TInt Max 1_i assumiu a forma mostrada na equação 42:

ΔT = GTInt Max – GTExt Max = 21,81 – 23,80 = – 1,99 (Eq. 43)

22,219 = ΔT + x*GTExt Max (Eq. 44)

x = 1,017

TInt Max 1_i = 1,017*GTExt Max + 0,602*(TExt Max – GTExt Max) – 0,110*Solar – 1,99 (Eq. 45)

Cálculo da TInt Max 2_i

TInt Max 2_i = 20,279 + 0,622*(TExt Med – GTExt Med) + 0,411 Solar (Eq. 46)

Foram feitas as transformações para deixar a equação TInt Max 2_i de acordo com o modelo proposto por Givoni (GIVONI, 1999). O processo utilizado é idêntico ao utilizado nas equações anteriores, e é mostrado na sequência:

ΔT = GTInt Max – GTExt Med = 21,81 – 18,61 = 3,2 (Eq. 47)

20,279 = ΔT + x*GTExt Med (Eq. 48)

x = 0,918

Por fim, tem-se a equação TInt Max 2_i da seguinte forma:

TInt Max 2_i = 0,918* GTExt Med + 0,622*(TExt Med – GTExt Med) + 0,411 Solar + 3,20 (Eq. 49)

7.1.2. Análise dos “outliers”

Os “outliers” podem ser considerados como uma observação atípica, que não condiz com o restante da massa de dados. Os dados utilizados na equação de regressão foram coletados entre os dias 5 de maio de 2008 a 28 de junho do ano de 2008. O “software” Systat 12 acusou “outliers” e grandes “leverages” em algumas equações. A “leverage” pode ser considerado como um “outlier”. Barthus, Mazo e Poppi (BARTHUS, MAZO e POPPI, 2005) definem “leverage” como uma medida da influência de uma amostra no modelo de regressão. Um valor elevado para "leverage" indica que a observação está distante da média e possui grande influência para o desenvolvimento do modelo.

Os problemas encontrados nas equações foram os seguintes:

1. Foi encontrado 1 caso de grande “leverage” no dia 16 de junho na geração da equação TInt Min 2_i.
2. Na geração da TInt Med 2_i, obteve-se um caso de “outlier” no dia 4 de maio. Encontrou-se também um ponto com grande “leverage” referente ao dia 16 de junho.
3. Na geração da equação TInt Max 1_i foi encontrado um “outlier” referente ao dia 16 de junho.
4. Na geração da equação TInt Max 2_i foi encontrado um “outlier”referente ao dia 16 de junho.

Essas observações que apresentaram “outliers” ou grande “leverage” podem possuir uma grande influência no modelo de regressão. Portanto, estas observações devem ser analisadas de modo a se verificar se não houve erro de registro do equipamento. Se for constatado erro de registro, este dado deve ser corrigido e caso não seja possível corrigir, deve-se excluir esta observação do modelo.

Análise dos dias que apresentaram “outliers” ou elevada “leverage”

Foram analisados o dia 4 de maio e o dia 16 de junho, de forma a verificar se houve erros de registros do equipamento. Para tal análise se comparou o comportamento das temperaturas internas do ar no interior da edificação. Os dados de temperatura externa do ar e radiação solar registrados pela estação meteorológica junto a edificação analisada foram comparados com outra estação meteorológica, instalada no mesmo Campus da Universidade de São Paulo, em São Carlos.

Dia 4 de maio de 2008

O dia 4 de maio é responsável pelo outlier encontrado na equação TInt Med 2_i. O gráfico apresentado na Figura 54 ilustra as temperaturas internas e externas registradas neste dia.

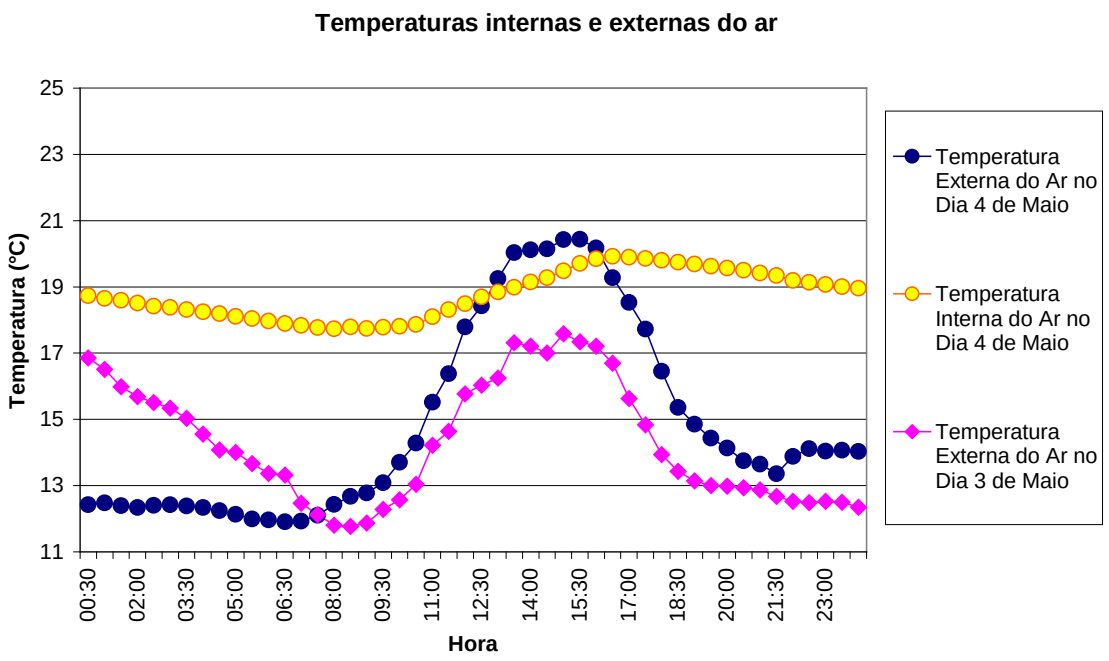

Figura 54: Temperaturas externas do ar registradas no dia 3 e 4 de maio e temperaturas do ar registradas no interior da edificação no dia 4 de maio.

No dia 4 de maio se observa temperatura externa máxima do ar em torno de 20ºC. A temperatura do ar no interior da edificação, também, ficou em torno de 20ºC. Durante a madrugada do dia 4 de maio temperatura do ar ficou em torno de 12ºC e no interior da edificação por volta de 18°C. Verifica-se que no dia 4 de maio a temperatura registrada no interior da edificação pouco variou ao longo do dia, registrando uma amplitude térmica em torno de 2,5°C. Foi conveniente expressar no gráfico da Figura 54 as temperaturas registradas no dia 3 de maio pelo fato de que a equação TInt Med 2_i utiliza os dados de temperatura média do dia anterior. Observa-se que as temperaturas registradas no dia 3 e 4 de maio apresentam um comportamento diferente entre si, pois as temperaturas registradas no dia 3 de maio se assemelham com forma aparente de senóide, enquanto que as temperaturas registradas no dia 4 de maio se assemelham mais com uma parábola. O dia 4 de maio apresentou reduzida nebulosidade, conforme pode ser percebido pelo formato aparente e quase parabólico da curva de radiação solar global, com elevados valores registrados, apresentado na Figura 55:

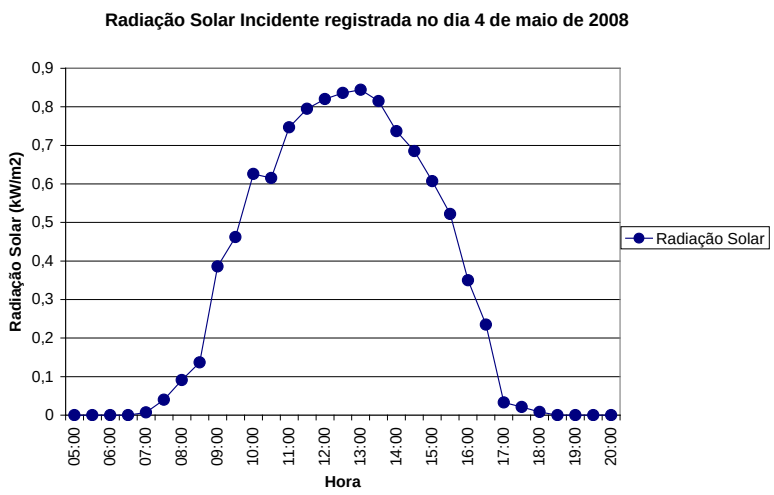

Figura 55: Radiação solar incidente registrada no dia 4 de maio de 2008, que permite deduzir que houve reduzida nebulosidade devido a sua aparência parabólica.

Os dados de temperatura interna da edificação foram comparados com as temperaturas registradas por outro termopar também instalado no interior da mesma edificação. Os dois termopares instalados no interior da edificação apresentaram valores de temperaturas registradas semelhantes. Desta forma, para este dia se pode descartar erro de registro do termopar no interior da edificação.

Os dados de temperatura externa e radiação solar incidente foram comparados com dados de outra estação meteorológica, também automática, e instalada no mesmo Campus da USP a aproximadamente novecentos metros da edificação em análise. Os resultados referentes à temperatura externa e radiação solar apresentaram resultados semelhantes entre as duas estações meteorológicas, o que, por sua vez, faz com que seja descartada a hipótese de erro de registro do equipamento.

Descartada a possibilidade de erro de registro do equipamento será analisado o período correspondente do dia 30 de abril de 2008 a 7 de maio de 2008. A Figura 56 ilustra os gráficos referentes aos dados analisados para o período.

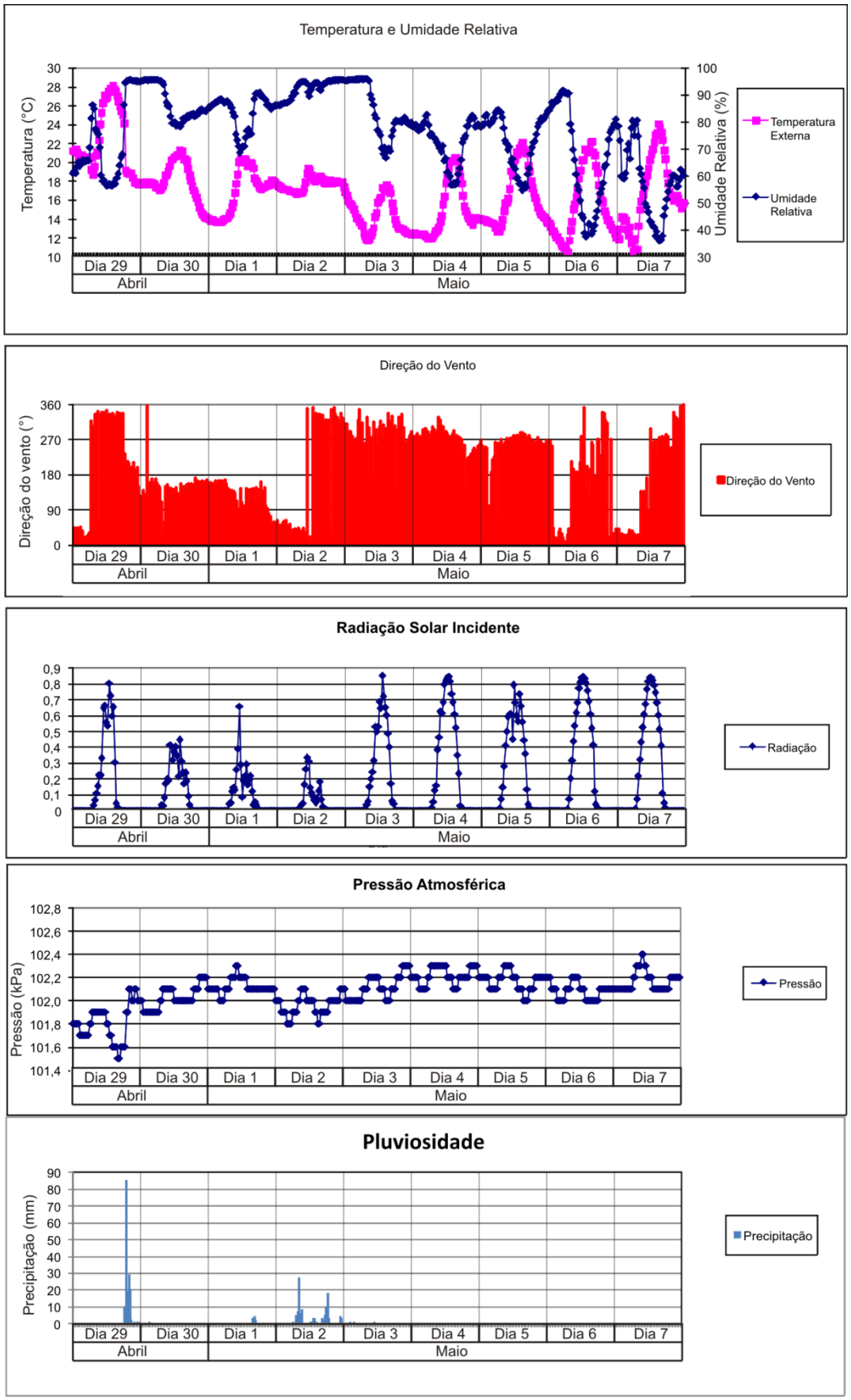

Figura 56: Gráficos referentes ao período de 29 de abril a 7 de maio de 2008.

O gráfico de temperatura e umidade relativa apresentado na Figura 56 mostra que no dia 29 de abril houve um avanço de uma frente de característica fria sobre a região de São Carlos, onde se pode notar uma elevação da umidade relativa do ar e uma queda da temperatura do ar acentuada no dia 29 para o dia 30 de abril. No dia 29 observou-se também forte precipitação. O período do dia 30 abril ao dia 1 de maio a região de São Carlos estava sob domínio dessa massa de característica fria. Neste dia houve fraca precipitação.

O período do dia 30 de abril ao dia 2 de maio apresentou nebulosidade, conforme se pode observar no gráfico de radiação na Figura 56 pelos baixos valores de radiação registrados para o período.

No dia 2 de maio foi registrado novamente precipitação, decorrente do avanço de outro sistema frontal sobre a região. Esta frente fria "originou-se de uma ciclogênese que se formou sobre a Região Sul no dia 02" (CLIMANÁLISE, http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0508.shtml, Acessado em: 17/07/09). A partir do dia 3 de maio o céu começa a limpar e se pode observar no gráfico de radiação valores elevados, ainda com algumas nebulosidades nos dias 3 e 5 de maio. O gráfico de direção de ventos, mostrado na forma de barras, tem uma faixa de variação de 0 a 360°, onde 0° corresponde ao Norte, 90° ao Leste, 180° ao Sul e 270° ao Oeste. Conforme se pode verificar no gráfico de ventos, no dia 29 de abril os ventos predominantes eram de Noroeste, característicos da fase de avanço de frente fria. No período de 29 abril a 2 de maio a região já se encontrava sobre domínio da frente fria, onde se percebe ventos provenientes de Sul e Sudeste. No dia 2 de maio se percebe uma mudança na direção dos ventos, no qual os ventos predominantes voltam a ser de Noroeste.

O “outlier” apresentado pelo software Systat 12 na geração das equações preditivas para o período que compreende os dias 3 e 4 de maio foram consequência do sistema frontal de característica fria que atingiu a região no dia 2 de maio. Portanto, não é justificável a retirada do dia 4 de maio e, também, a temperatura externa média do ar do dia 3 de maio do conjunto de dados utilizados para gerar as equações preditivas, uma vez que ele fornece informações importantes do comportamento da edificação frente ao avanço de sistema frontal.

Dia 16 de junho de 2008

O dia 16 de junho apareceu como “outlier” na geração das equações TInt Max 1_i e TInt Max 2_i e como “leverage” nas equações TInt Min 2_i e TInt Med 2_i. Os dados de temperatura registrados no dia 16 de junho são apresentados na Figura 57:

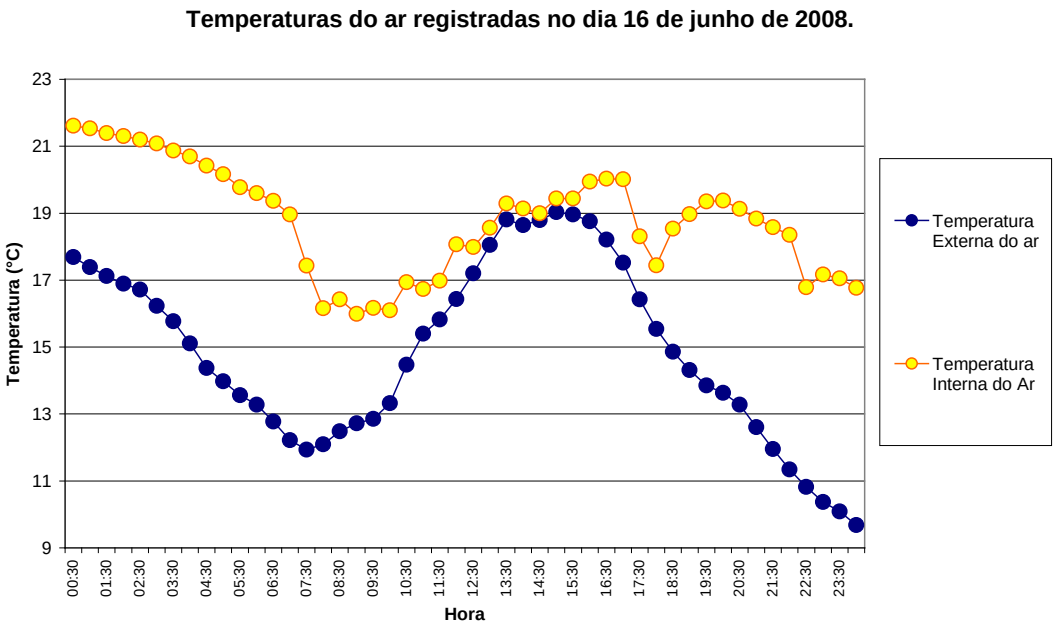

Figura 57: Temperaturas externas do ar registradas no dia 15 e 16 de junho e temperaturas do ar registradas no interior da edificação no dia 16 de junho.

Neste dia se observa temperatura máxima do ar em torno de 19ºC. A edificação, por outro lado, apresentou temperaturas máximas superiores a 21ºC durante parte da madrugada e temperatura máxima de 20ºC durante o dia, que é uma temperatura superior a temperatura externa máxima do ar registrada para esse dia. Este dia foi predominantemente de poucas nebulosidades. A Figura 58 ilustra os dados de radiação solar coletado para este dia:

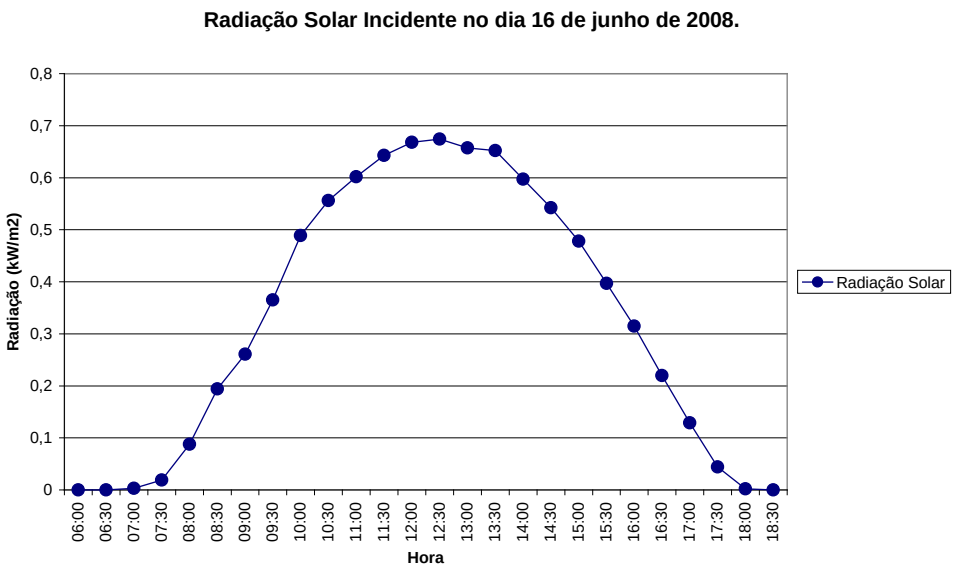

Figura 58: Gráfico de radiação Solar Incidente

O formato de aparência parabólica da curva de radiação mostra que o dia apresentou pouca nebulosidade, o que favorece o aumento de temperatura da edificação em função da radiação solar incidente.

Os dados de temperatura interna da edificação foram comparados entre outro termopar instalado em seu interior, que apresentou temperaturas semelhantes ao longo do dia. Desta forma, para este dia se pode descartar erro de registro do termopar no interior da edificação.

Os dados de temperatura externa e radiação solar incidente foram comparados com dados de outra estação meteorológica, também automática, também instalada no Campus I da USP, a aproximadamente novecentos metros da estação utilizada neste estudo. Os resultados referentes à temperatura externa e radiação solar apresentaram resultados semelhantes entre as duas estações meteorológicas, o que por sua vez faz com que seja descartada a hipótese de erro de registro do equipamento.

Descartada a hipótese de erro do equipamento, falta verificar o que pode ter ocasionado o comportamento atípico registrado neste dia. Será então analisado o período correspondente a cinco dias anteriores e 3 dias posteriores ao dia 16 de junho. A Figura 59 ilustra os gráficos referentes aos dados analisados para o período:

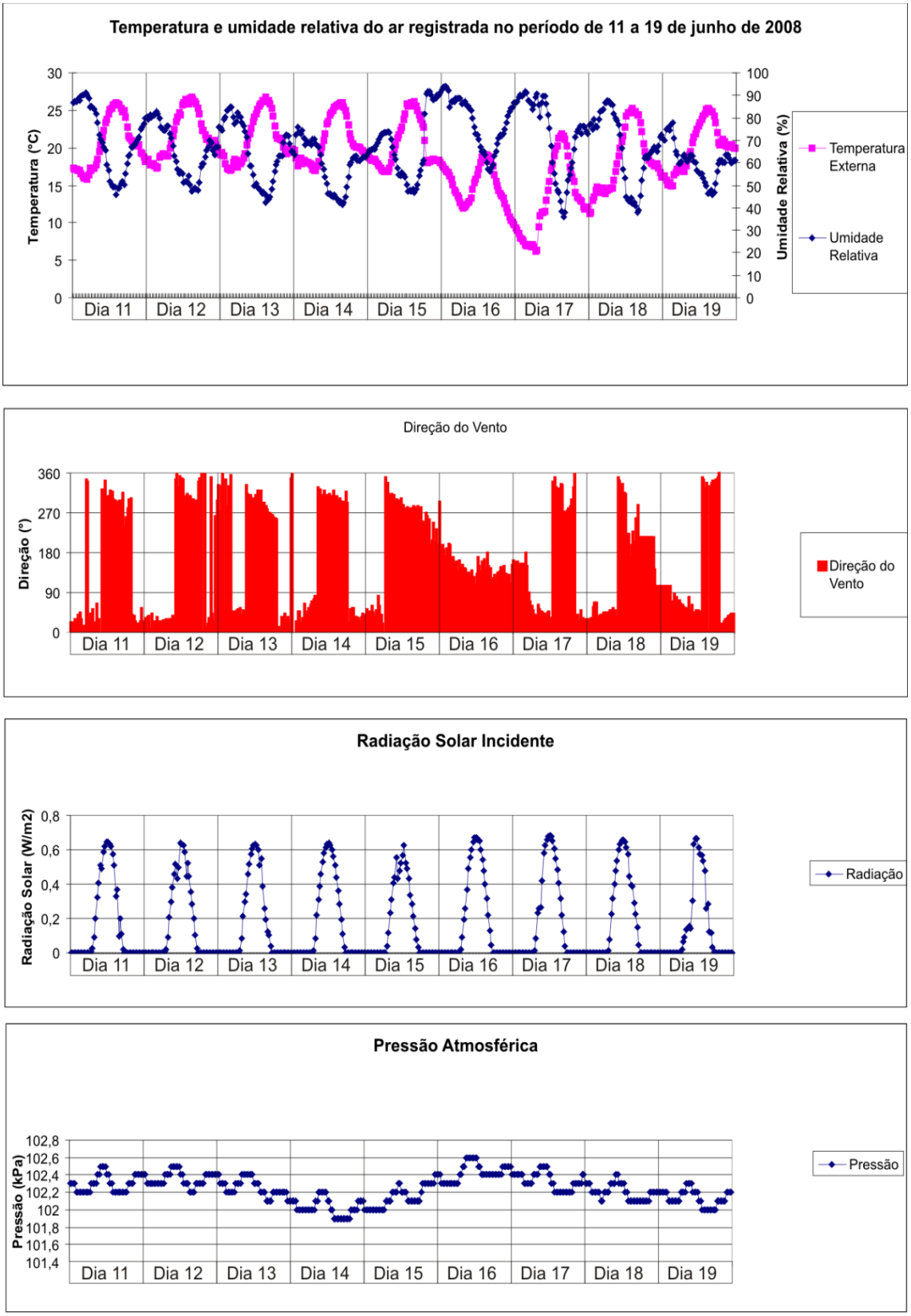

Figura 59: Gráficos referentes ao período de 11 a 19 de junho de 2008.

O gráfico de temperatura e umidade relativa apresentado na Figura 59 mostra que no dia 15 de junho houve um avanço de uma frente de característica polar sobre a região de São Carlos, onde se pode notar uma elevação da umidade relativa do ar e uma queda da temperatura do ar acentuada no dia 15 para o dia 16 de junho. O dia 16 de junho já estava sobre o domínio da mPA. A menor temperatura registrada no período ocorreu na madrugada do dia 17.

No período de 17 a 19 de junho as temperaturas voltam a subir e se estabilizar. O gráfico de direção de ventos, apresentados na Figura 59, é mostrado na forma de barras e os graus mostrados no eixo vertical são referentes ao ângulo zenital, onde 0° corresponde ao Norte, 90° ao Leste, 180° ao Sul e 270° ao Oeste. Conforme se pode verificar no gráfico de ventos, no período correspondente de 11 a 14 de junho se observa uma predominância dos ventos provenientes das direções Norte, Nordeste e Noroeste, característicos de prenúncio.

No dia 15 se percebe uma predominância de ventos vindos de Oeste e Noroeste, característicos do período de avanço. O dia 16 apresenta ventos predominantes de sudeste, já característico da fase de domínio.

O período apresentado na Figura 59 foi predominantemente de céu claro, conforme se pode observar o gráfico referente a radiação solar incidente, na qual o conjunto de valores registrados de radiação solar incidente apresentam formato de aparência parabólica, com exceção dos dias 12, 16 e 19 de junho nos quais se observaram poucas nebulosidades. No gráfico referente a pressão atmosférica, representado na Figura 59 mostra uma queda da pressão no período de prenúncio (dias 13 e 14) e uma elevação na fase de domínio (dia 16) e posterior queda no período de 17 a 19 de junho.

Como conclusão geral, as anormalidades registradas no dia 16 de junho são uma conseqüência da entrada da mPA ocorrida na noite do dia 15 de junho, não sendo justificável portanto a retirada do dia 16 de junho do conjunto de dados utilizados para gerar as equações preditivas, uma vez que ele fornece informações importantes do comportamento da edificação frente ao avanço de mPA.

7.1.3. Análise estatística das equações do Período de Inverno

Temperatura interna do ar mínima

TInt Min 1_i

Do ponto de vista estatístico, a equação TInt Min 1_i se mostrou satisfatória, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,762 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,753, que para a maioria dos casos é um resultado satisfatório. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 83,23, valor acima de F_a = 5,04. Quanto à análise dos resíduos, os resíduos estudentizado ficaram em sua maioria no intervalo [-2,+2]. Somente um ponto ficou abaixo de -3. O gráfico que mostra os resíduos estudentizados pode ser visualizado na Figura 60:

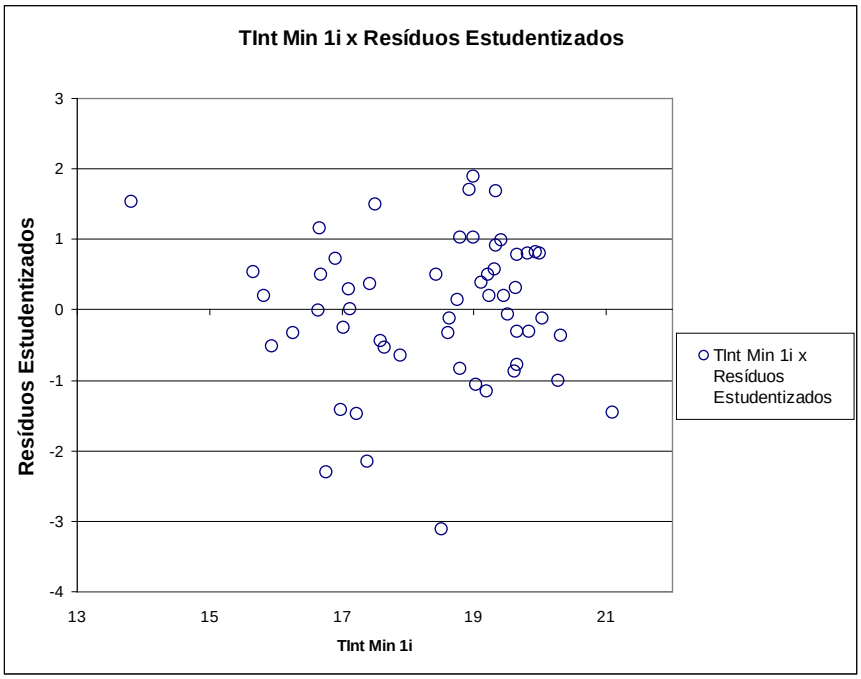

Figura 60: Resíduos estudentizados para TInt Min 1_i.

Para a temperatura interna mínima do ar se obteve um ponto que ficou fora do intervalo [-3, +3]. Por este ponto estar próximos de -3 não foi considerado "outliers".

TInt Min 2_i

Do ponto de vista estatístico, a equação TInt Min 2_i se mostrou satisfatória, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,845 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,836, que para a maioria dos casos é um resultado satisfatório. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 92,75, valor acima de F_a = 4,19. Quanto à análise dos resíduos, os resíduos estudentizados ficaram em sua maioria no intervalo [-2,+2]. Somente três pontos ficaram abaixo de -2. O gráfico que mostra os resíduos estudentizados pode ser visualizado na Figura 61:

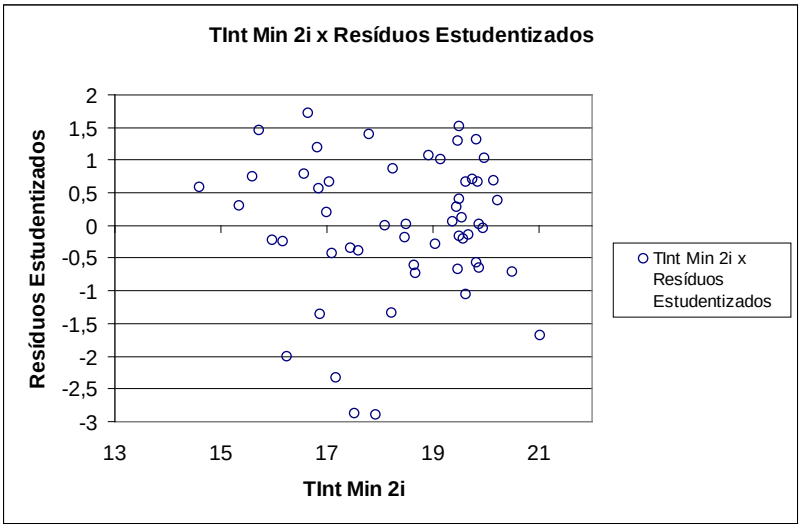

Figura 61: Resíduos estudentizados para TInt Min 2_i.

TInt Min 3_i

Do ponto de vista estatístico, a equação TInt Min 3_i se mostrou satisfatória, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,765 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,756, que para a maioria dos casos é um resultado satisfatório. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 84,75, valor acima de F_a = 5,04. Quanto à análise dos resíduos, os resíduos estudentizados ficaram em sua maioria no intervalo [-2,+2]. Somente três pontos ficaram abaixo de -2 e somente um acima de +2. O gráfico dos resíduos estudentizados pode ser visualizado na Figura 62:

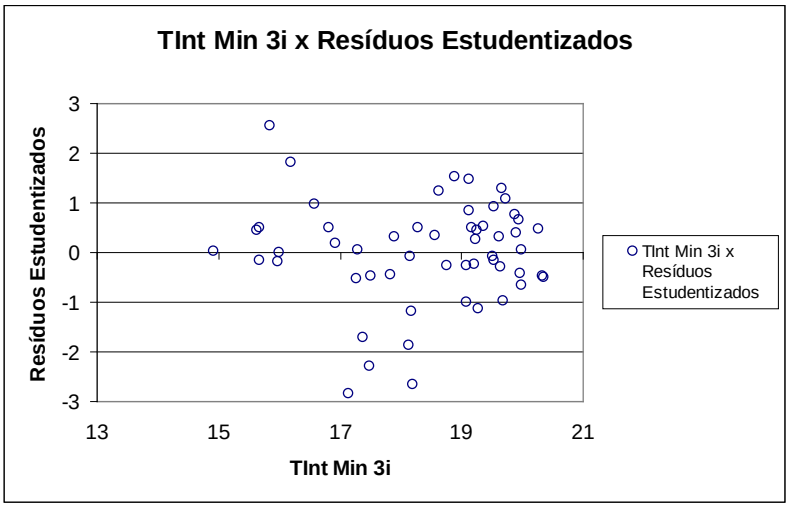

Figura 62: Resíduos estudentizados para TInt Min 3_i.

Para a temperatura interna mínima do ar se obteve dois pontos que ficaram fora o intervalo [-2, +2]. Por estes pontos ainda estarem no intervalo [-3, +3], não foram considerados como "outliers".

Temperatura interna do ar média

TInt Med 1_i

A equação TInt Med 1_i se mostrou satisfatória do ponto de vista estatístico, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,892 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,888, sendo um valor razoavelmente alto. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 215,03, valor acima de F_a = 5,04. Quanto à análise dos resíduos, os valores dos resíduos estudentizados foram satisfatórios, ficando a maior

parte dele entre o intervalo [-1,+1]. O gráfico dos resíduos estudentizados pode ser visualizado na Figura 63:

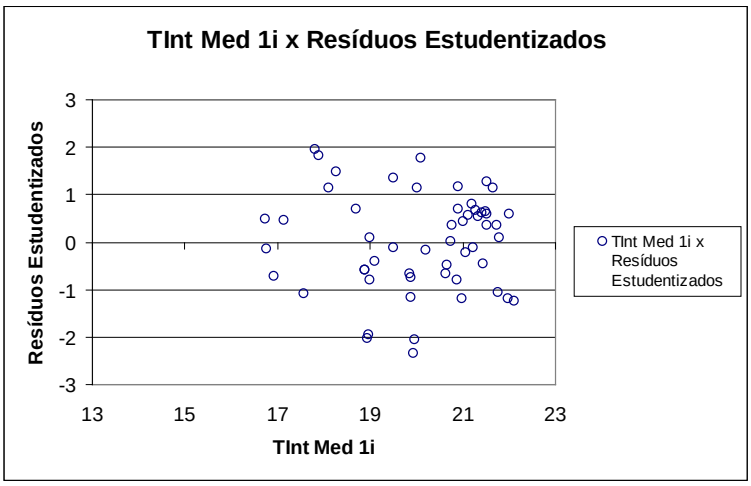

Figura 63: Resíduos estudentizados para TInt Med 1_i.

Neste gráfico os resíduos estudentizados ficaram em sua maior parte entre o intervalo [-1, +1]. Como não foram encontrados pontos fora do intervalo [-3, +3], não houve a identificação de “outliers”.

TInt Med 2_i

A equação TInt Med 2_i se mostrou satisfatória do ponto de vista estatístico, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,952 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,949, sendo um valor alto. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 334,63, valor acima de F_a = 4,19. Quanto à análise dos resíduos, os valores dos resíduos estudentizados foram satisfatórios, ficando todos os pontos entre o intervalo [-1,+1]. O gráfico dos resíduos estudentizados pode ser visualizado na Figura 64:

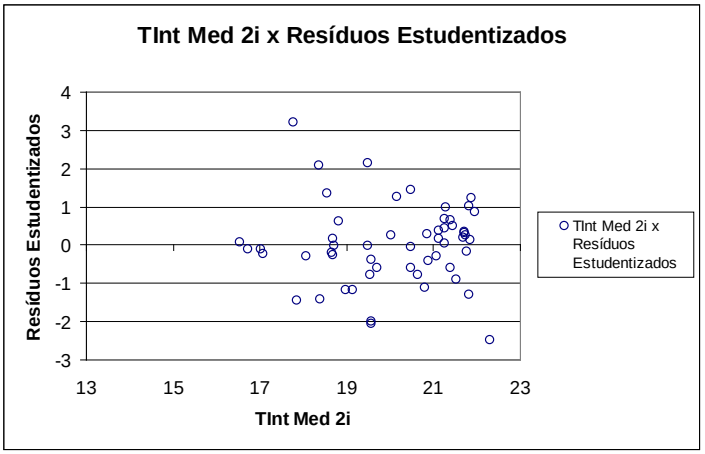

Figura 64: Resíduos estudentizados para TInt Med 2_i.

Para esta equação foi identificado um "outlier" no intervalo [+3, +4]. Verificou-se que este "outlier" não correspondia a erro de registro de medição, portanto não se descartou a medição correspondente do conjunto de dados.

Temperatura interna do ar máxima

TInt Max 1_i

A equação TInt Max 1_i se mostrou satisfatória do ponto de vista estatístico, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,843 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,837, sendo um valor razoavelmente alto. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 139,19, valor acima de F_a = 5,04. Quanto à análise dos resíduos, os valores dos resíduos estudentizados foram satisfatórios, ficando a maior parte dele entre o intervalo [-2,+2] e com um ponto acima de +3. O gráfico dos resíduos estudentizados pode ser visualizado na Figura 65:

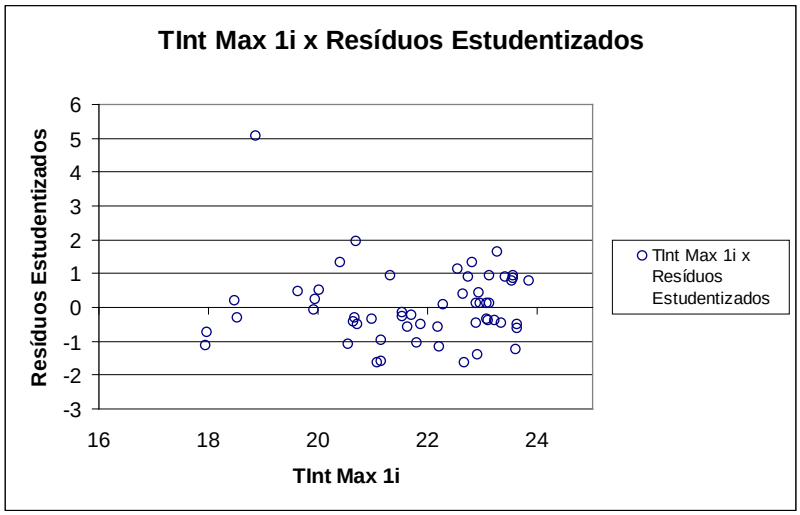

Figura 65: Resíduos estudentizados para Ti Max 1_i.

Verificou-se que o "outlier" encontrado não foi decorrente de erro de medição. Desta forma não se descartou este ponto do conjunto de dados.

TInt Max 2_i

A equação TInt Max 2_i se mostrou satisfatória do ponto de vista estatístico, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,891 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,887, sendo um valor razoavelmente alto. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 213,19, valor acima de F_a = 5,04. Quanto à análise dos resíduos, os valores dos resíduos estudentizados foram satisfatórios, ficando a maior parte dele entre o intervalo [-1,+1] e poucos pontos entre os intervalos [-2,-1] e [+1,+2]. O gráfico dos resíduos estudentizados pode ser visualizado na Figura 66:

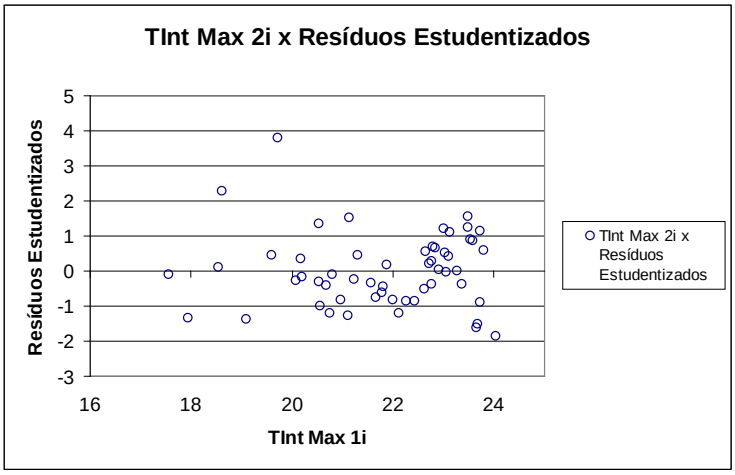

Figura 66: Resíduos estudentizados para Ti Max 2_i.

Encontrou-se um ponto no intervalo [+3, +4]. Verificou-se anteriormente que este ponto não decorreu de um erro de medição. Desta forma, segue-se com a validação das equações.

7.1.4. Validação da equações do período de inverno

Descrição do período de validação

Para a validação das equações, foi selecionada uma nova série de dados, ao qual se comparou os resultados estimados com os resultados reais. A nova série tem início no dia 28 de junho de 2008 até o dia 16 de julho do mesmo ano. A Figura 67 ilustra os gráficos de temperatura e umidade, radiação solar, direção do vento e pressão atmosférica referentes ao período considerado:

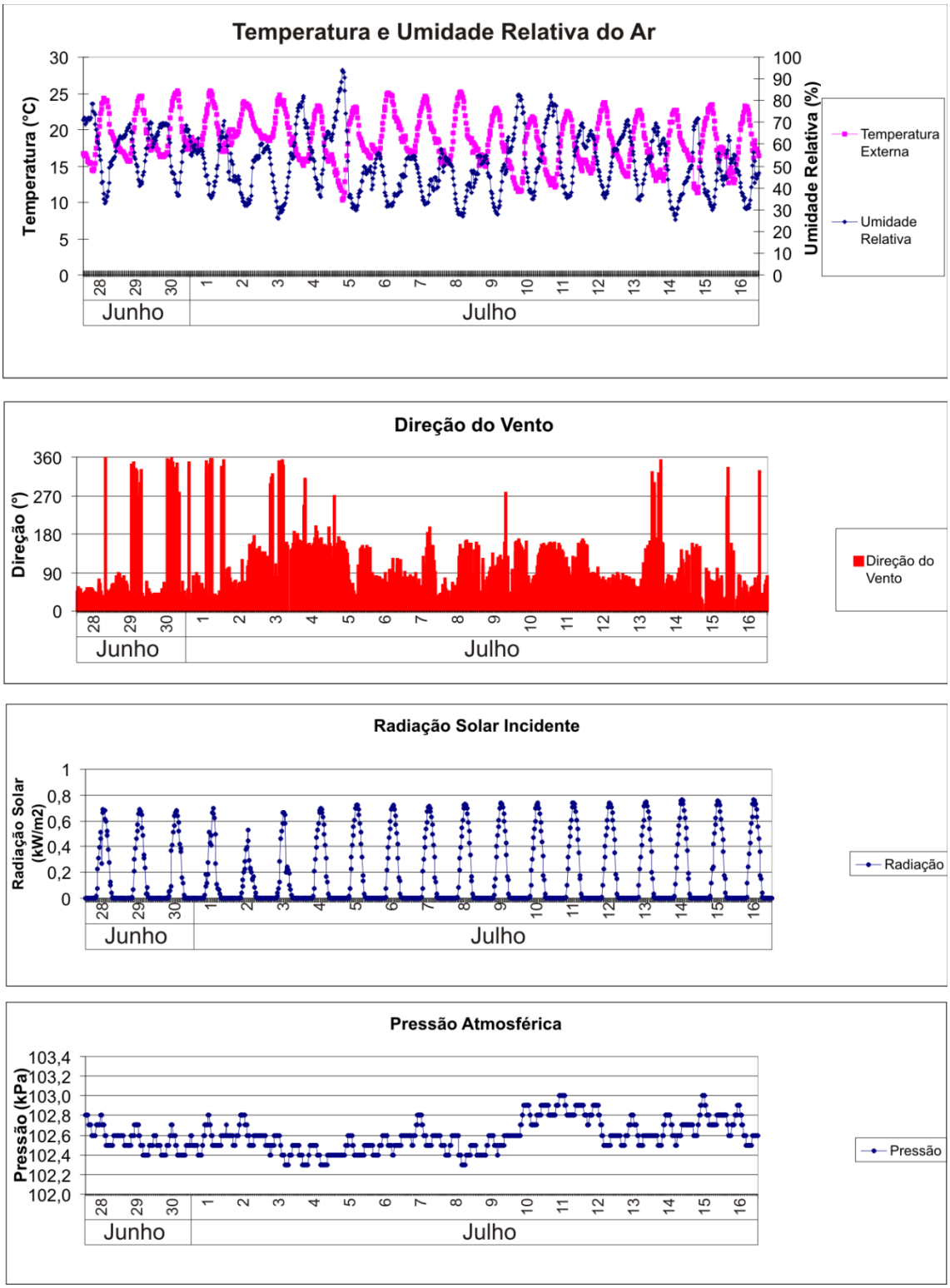

Figura 67: Gráficos referentes ao período de 28 de junho a 16 de julho de 2008.

O formato parabólico das curvas referentes a cada dia, apresentada no gráfico de de radiação solar, com picos relativamente altos para a época, indica que o período foi

predominantemente ensolarado, com poucas nebulosidades nos dias 1, 2 e 3, onde se percebe valores registrados mais baixos.

Temperatura mínima

O gráfico da Figura 68 ilustra as temperaturas internas mínimas do ar, monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equação:

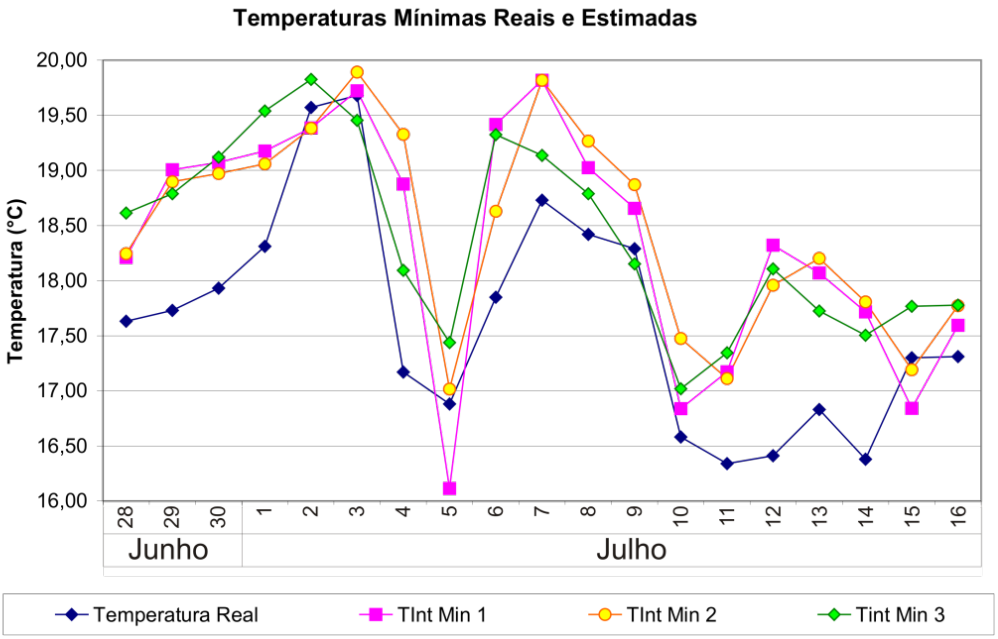

Figura 68: Temperaturas internas mínimas do ar monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equações.

Para se obter uma melhor visualização das diferenças entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas, foi construído um gráfico de barras, mostrado na Figura 69, que ilustra a diferença encontrada entre a temperatura real e as estimadas.

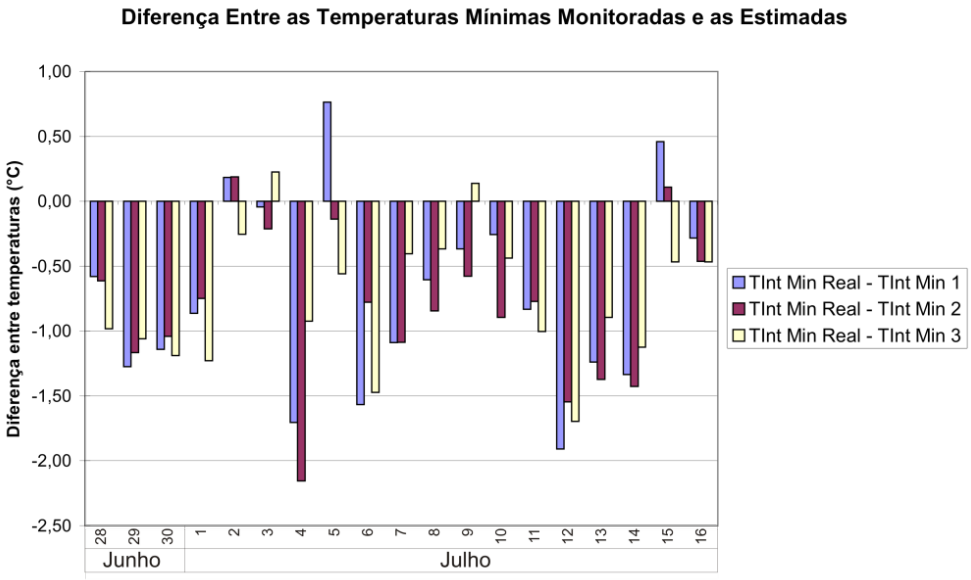

Figura 69: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas.

A diferença máxima, em módulo, encontrada entre a temperatura real, monitorada experimentalmente, e a temperatura estimada pela equação TInt Min 1_i foi de 1,9°C, registrada no dia 12 de julho. Analisando o gráfico de temperatura e umidade relativa apresentado na Figura 67, se percebe que durante a madrugada do dia 12 a temperatura começa a se elevar. Não existe nenhuma fonte de calor, natural ou artificial, próxima ao sensor que registra temperatura e umidade e neste dia, também, não se observou nenhuma entrada de sistema frontal de característica fria.

Com a utilização de equações preditivas para inverno e verão se espera uma diminuição das diferenças máximas entre as temperaturas monitoradas e as estimadas pelas equações. Como já mostrado na revisão da literatura, são encontradas diferenças maiores que 5°C entre as temperaturas monitoradas e as estimadas. Com equações diferenciadas para o período de inverno e o de verão, espera-se obter diferenças máximas a valores próximos de 2°C. A validação serve como uma forma de selecionar as equações que melhor simulam o comportamento real da edificação de forma a garantir que para a maioria dos dias em que a temperatura foi simulada se tenha poucos

dias ou até mesmo nenhum dia com diferenças maiores que 2°C em comparação com a monitorada experimentalmente. Desta forma, como a diferença entre a temperatura mínima monitorada no período e a estimada pela equação TInt Min 1_i foi menor que 2°C, a equação TInt Min 1_i está validada.

A diferença máxima, em módulo, encontrada entre a temperatura real, monitorada experimentalmente, e a temperatura estimada pela equação TInt Min 2_i foi de 2,1°C, registrada no dia 4 de julho. Embora no dia 4 a temperatura estimada pela equação TInt Min 2_i tenha apresentado uma diferença superior a 2°C em comparação com a monitorada, esse erro se apresenta muito próximo ao limite hipotético e, para os outros dias os erros ficaram abaixo desse valor. Como para o período a equação apresentou resultados satisfatórios, optou-se por considerar validada a equação TInt Min 2_i.

A diferença máxima, em módulo, encontrada entre a temperatura real, monitorada experimentalmente, e a temperatura estimada pela equação TInt Min 3_i foi de 1,7°C, registrada no dia 12 de julho. Como a diferença entre a temperatura estimada pela equação TInt Min 3_i e a monitorada experimentalmente foi menor que 2°C, a equação TInt Min 3_i está validada.

Temperatura Média

O período de validação para as temperaturas médias corresponde ao período de 28 de junho a 16 de julho de 2008. Os valores de temperaturas coletados em campo e os preditos pelas equações estão plotados no gráfico da Figura 70:

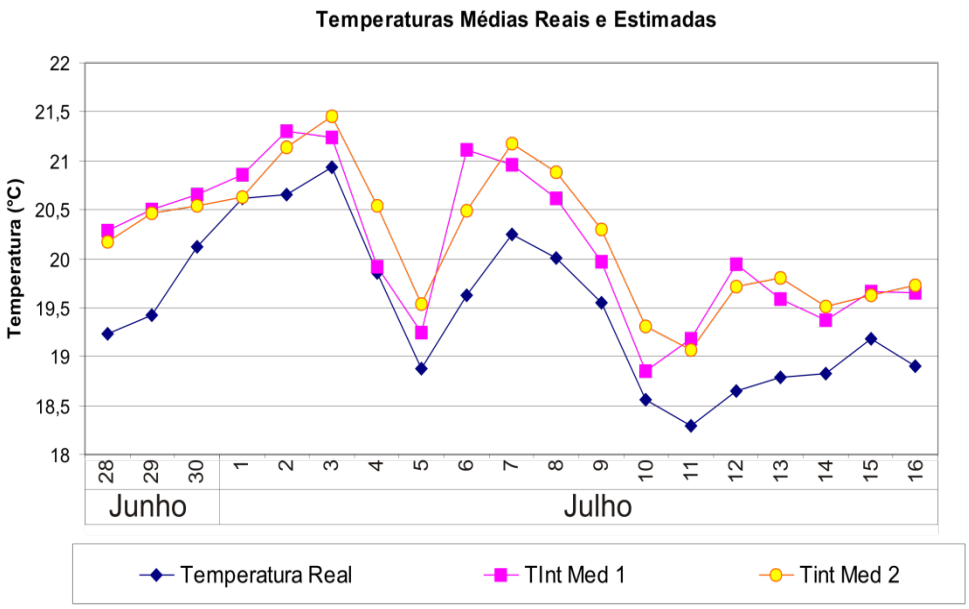

Figura 70: Temperaturas internas médias do ar monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equações.

Para se obter uma melhor visualização das diferenças entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas, foi construído um gráfico de barras, mostrado na Figura 71, que ilustra a diferença encontrada entre a temperatura real e as estimadas.

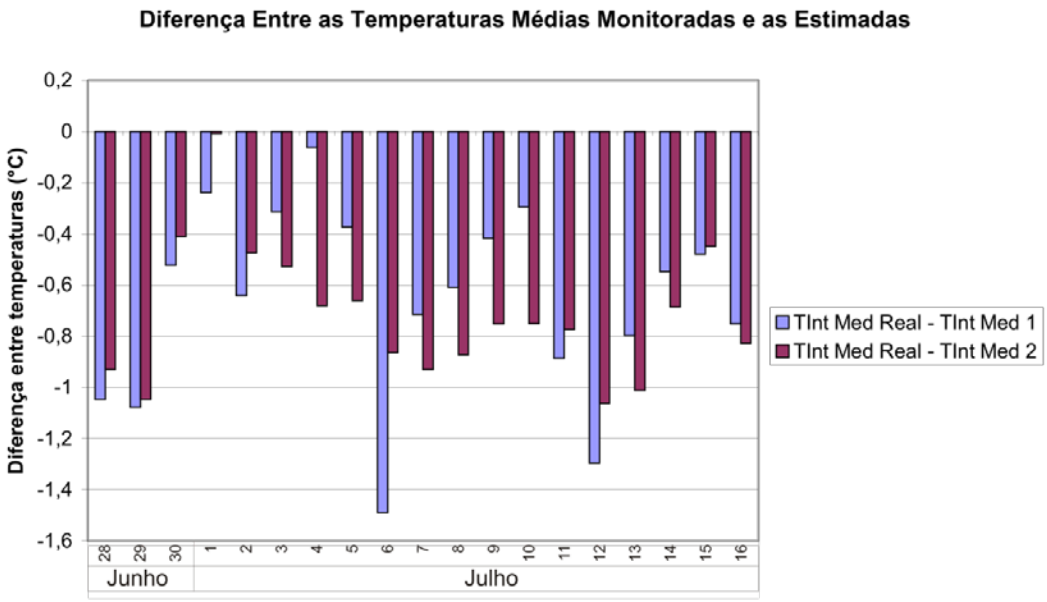

Figura 71: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas.

A diferença máxima entre a temperatura média do ar monitorada experimentalmente e a estimada pela equação TInt Med 1_i, em módulo, ficou em torno de 1,5°C, registrada para o dia 6 de julho. Pelo gráfico de temperatura externa do ar e umidade relativa apresentado na Figura 67 se observa um comportamento parecido com o do dia 12 de julho, onde se nota uma elevação da temperatura externa durante a madrugada. Como não existe uma fonte de calor próxima ao local que poderia ter causado essa elevação de temperatura e, igualmente se observa uma mudança no regime de ventos predominantes, no qual se percebe a mudança de ventos de sul e sudeste para ventos de leste e nordeste. Deste modo, como a máxima diferença entre as temperaturas ficou abaixo de 2°C, a equação preditiva para a temperatura média interna do ar estimada pela equação TInt Med 1_i está validada.

A diferença máxima, em módulo, entre a temperatura média do ar monitorada experimentalmente e a estimada pela equação TInt Med 2_i ficou em torno de 1,1°C, registrada no dia 12 de julho. Deste modo, como a máxima diferença entre as temperaturas ficou abaixo de 2°C, a equação preditiva para a temperatura média interna do ar estimada pela equação TInt Med 2_i está validada.

Temperatura Máxima

O período de validação para as temperaturas médias corresponde ao período de 28 de junho a 16 de julho de 2008. Na Figura 72 estão ilustrados os valores de temperaturas reais, coletados no período e os estimados pelas equações preditivas:

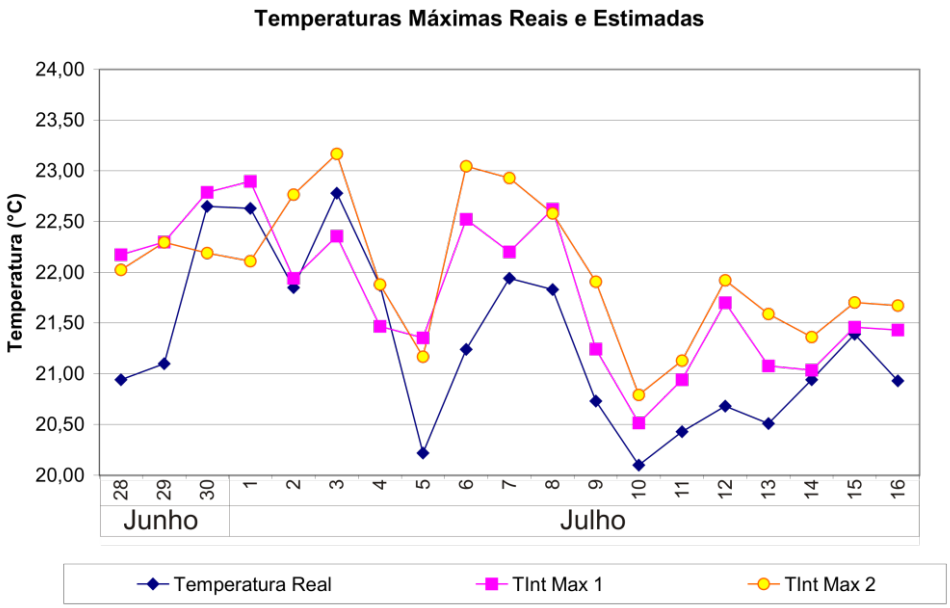

Figura 72: Temperaturas internas máximas do ar monitoradas experimentalmente e estimadas pelas equações TInt Max 1_i e TInt Max 2_i.

Para se obter uma melhor visualização das diferenças entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações TInt Max 1_i e TInt Max 2_i, foi construído um gráfico de barras, mostrado na Figura 73:

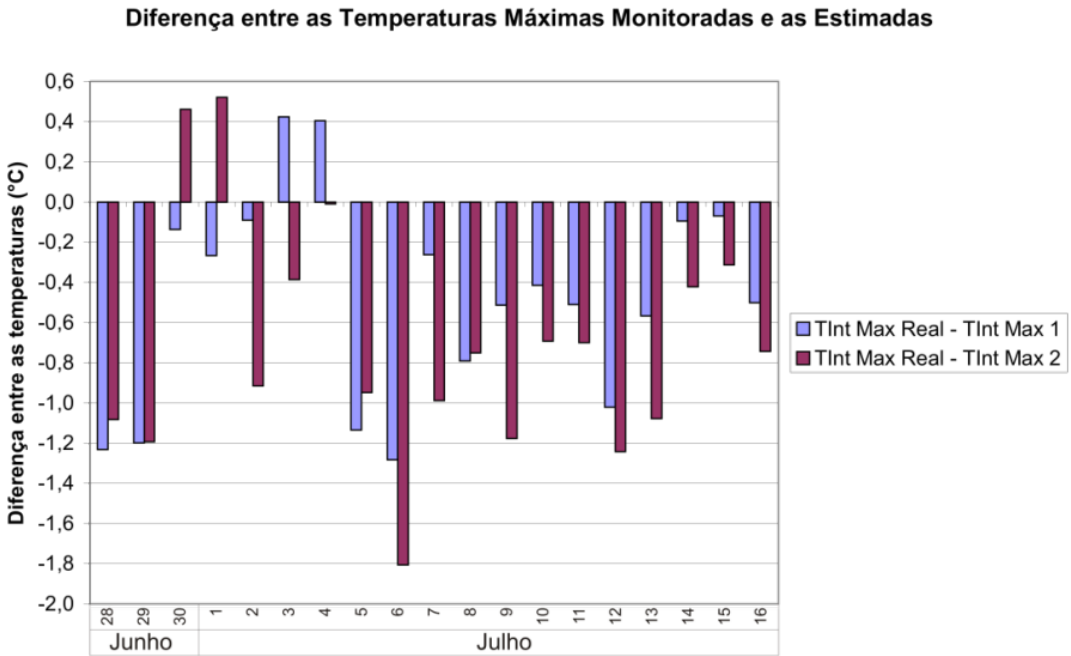

Figura 73: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas.

A diferença máxima entre a temperatura máxima do ar monitorada experimentalmente e a estimada pela equação TInt Max 1_i, em módulo, ficou em torno de 1,3°C, observada para o dia 6 de julho. Deste modo, como a máxima diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente ficou abaixo de 2°C, a equação preditiva para a temperatura máxima interna do ar estimada pela equação TInt Max 1_i está validada.

A diferença máxima, em módulo, entre a temperatura máxima do ar monitorada experimentalmente e a estimada pela equação TInt Max 2_i ficou em torno de 1,8°C, observada para o dia 6 de julho. Deste modo, como a máxima diferença entre as temperaturas ficou abaixo de 2°C, a equação preditiva para a temperatura máxima interna do ar estimada pela equação TInt Max 2_i está validada.

7.2. Período de verão

7.2.1. Equações geradas para o período de verão

O programa Systat 12 forneceu as seguintes equações preditivas:

Temperaturas Mínimas:

TInt Min 1_v

TInt Min 1_v = 22,657 + 0,750*(Text Min – GTExt Min) – 0,038*Solar (Eq. 50)

Como se pode perceber, a equação TInt Min 1_v não está com a mesma forma das equações propostas por Givoni (GIVONI, 1999). Será feita, portanto, as transformações necessárias para deixá-la no mesmo modelo proposto por Givoni, que é a inserção do ΔT e do GTExt Min multiplicado por seu coeficiente.

ΔT = GTInt Min – GTExt Min = 22,44 – 18,05 = 4,39 (Eq. 51)

O valor 22,44 corresponde a média das temperaturas internas mínimas do período utilizado para gerar as equações e o valor 18,05 corresponde a média das temperaturas externas mínimas referentes ao mesmo período. Agora falta inserir também a variável GTExt Min e seu coeficiente. A inserção será feita igualando a constante 22,657 com o ΔT e com o GTExt Min multiplicado pelo seu coeficiente, ficando a equação da seguinte forma:

22,657 = ΔT + x*GTExt Min (Eq. 52)

O valor de x encontrado é igual a 1,012, ficando a equação da seguinte forma:

TInt Min 1_v = 1,012*GTExt Min + 0,750*(TExt Min – GTExt Min) – 0,038*Solar + 4,39 (Eq. 53)

TInt Min 2_v

TInt Min 2_v = 25,840 + 0,779*(TExt Med – GTExt Med) – 0,580*Solar (Eq. 54)

A equação TInt Min 2_v será transformada para o modelo proposto por Givoni (GIVONI, 1999). Observa-se que nesta equação as variáveis explicativas para a equação é a radiação solar e a temperatura externa média, sendo, portanto, necessário calcular o valor de ΔT, conforme mostrado na equação 52:

ΔT = GTInt Min – GTExt Med = 22,44 – 22,88 = – 0,44 (Eq. 55)

Na equação 53 é mostrado o procedimento para o cálculo do coeficiente multiplicador do GTExt Med:

$25,840 = \Delta T + x*GTExt\ Med$ (Eq. 56)

$x = 1,149$

A equação para TInt Min 2_v fica da seguinte forma:

$TInt\ Min\ 2_v = 1,149*GTExt\ Med + 0,779(TExt\ Med - GTExt\ Med) - 0,580*Solar + 0,44$ (Eq. 57)

Temperatura Média:

TInt Med 1_v

$TInt\ Med\ 1_v = 25,650 + 0,723(TExt\ Med - GTExt\ Med) - 0,104*Solar$ (Eq. 58)

A equação TInt Med 1_v será modificada para o modelo proposto por Givoni (GIVONI, 1999), conforme já realizado para as equações anteriores.

$\Delta T = GTInt\ Med - GTExt\ Med = 25,04 - 22,88 = 2,16$ (Eq. 59)

$25,650 = \Delta T + x*GTExt\ Med$ (Eq. 60)

$x = 1,027$

A equação para TInt Med 1_v fica da seguinte forma:

$TInt\ Med\ 1_v = 1,027*GTExt\ Med + 0,723(TExt\ Med - GTExt\ Med) - 0,104*Solar + 2,16$ (Eq. 61)

Temperaturas Máximas:

TInt Max 1_v

TInt Max 1_v = 25,911 + 0,705*(TExt Med – GTExt Med) + 0,267*Solar (Eq. 62)

A equação TInt Max 1_v será modificada para o modelo proposto por Givoni (GIVONI, 1999), conforme já realizado para as equações anteriores.

ΔT = GTInt Max – GTExt Med = 27,48 – 22,88 = 4,60 (Eq. 63)

25,991 = ΔT + x*GTExt Med (Eq. 64)

x = 0,935

A equação para TInt Max 1_v fica da seguinte forma:

TInt Max 1_v = 0,935*GTExt Med + 0,705*(TExt Med – GTExt Med) + 0,267*Solar + 4,60 (Eq. 65)

TInt Max 2_v

TInt Max 2_v = 27,926 + 0,625*(TExt Max – GTExt Max) – 0,077*Solar (Eq. 66)

A equação TInt Max 2_v será modificada para o modelo proposto por Givoni (GIVONI, 1999), conforme já realizado para as equações anteriores.

ΔT = GTInt Max – GTExt Max = 27,48 – 29,10 = – 1,62 (Eq. 67)

27,926 = ΔT + x*GTExt Max (Eq. 68)

x = 1,015

A equação para TInt Max 2_v fica da seguinte forma:

TInt Max 2_v = 1,015*GTExt Max + 0,625*(TExt Max – GTExt Max) – 0,077*Solar – 1,63 (Eq. 69)

7.2.2. Análise dos "outliers"

Os dados utilizados na equação de regressão foram coletados entre os dias 17 de outubro de 2008 a 11 de dezembro do ano de 2008. Para validar essas equações, foi selecionada uma nova série de dados, correspondente ao período de 15 de dezembro a 3 de janeiro de 2009, com temperaturas internas do ar no interior da edificação, externas do ar e também de radiação solar. Com tais dados, foi feita uma comparação da temperatura estimada pelas equações e a temperatura monitorada experimentalmente no interior da edificação.

Das equações geradas somente a equação TInt Max 1_v apresentou um "outlier". O dia no qual ocorreu o registro desse "outlier" corresponde ao dia 29 de outubro. Será realizado um estudo do período correspondente para verificar se o "outlier" ocorreu por causa de um possível erro de registro de dados. Para análise do "outlier" será considerado o período de 24 de outubro a 1 de novembro de 2008.

Dia 29 de outubro de 2008

O dia 29 de outubro é responsável pelo outlier encontrado na equação TInt Max 1_v. O gráfico apresentado na Figura 74 ilustra as temperaturas internas e externas registradas neste dia.

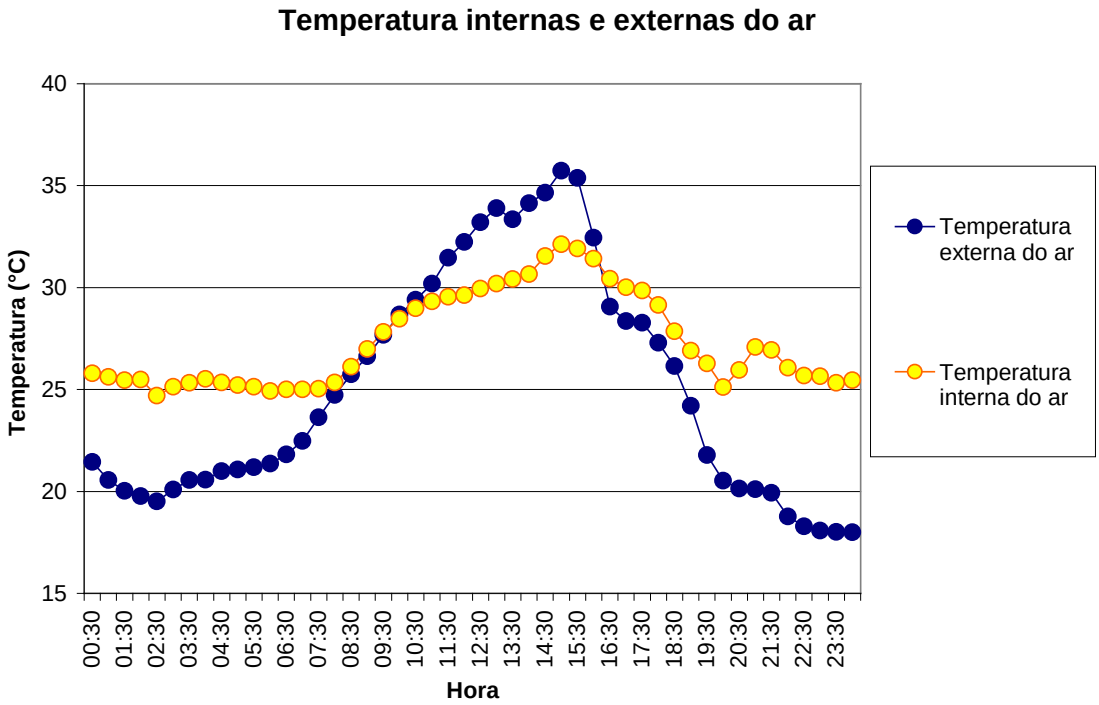

Figura 74: Temperaturas externas e internas do ar registradas no dia 29 de outubro de 2008.

No dia 29 de outubro se observa temperatura máxima do ar em torno de 35,5ºC. A temperatura do ar no da edificação, apresentou temperatura máxima em torno de 32ºC. A temperatura externa do ar mínima registrada no dia foi de 18ºC e no interior da edificação por volta de 25°C. O dia 29 de outubro apresentou nebulosidade no período vespertino, conforme pode ser observado pelo formato não parabólico da curva de radiação solar incidente apresentado na Figura 75.

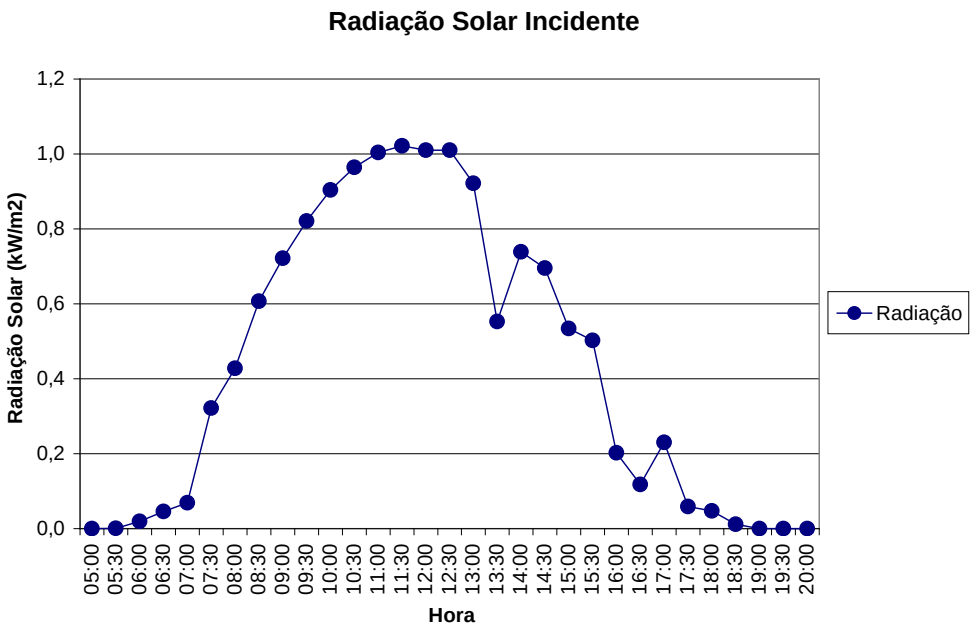

Figura 75: Radiação solar incidente registrada no dia 29 de outubro de 2008.

Os dados de temperatura interna da edificação foram comparados com as temperaturas registradas por outro termopar também instalado no interior da mesma edificação. Os dados registrados pelos termopares no interior da edificação apresentaram resultados semelhantes. Desta forma, para este dia foi descartada a possibilidade de erro de registro do termopar no interior da edificação.

Os dados de temperatura externa e radiação solar incidente foram comparados com dados de outra estação meteorológica, também automática, instalada a novecentos metros da edificação em análise. Os resultados referentes à temperatura externa e radiação solar apresentaram resultados semelhantes entre as duas estações meteorológicas, o que por sua vez faz com que seja descartada a hipótese de erro de registro do equipamento.

Descartada a possibilidade de erro de registro do equipamento será analisado o período correspondente do dia 24 de outubro de 2008 a 1 de novembro de 2008. A Figura 76 ilustra os gráficos referentes aos dados analisados para o período.

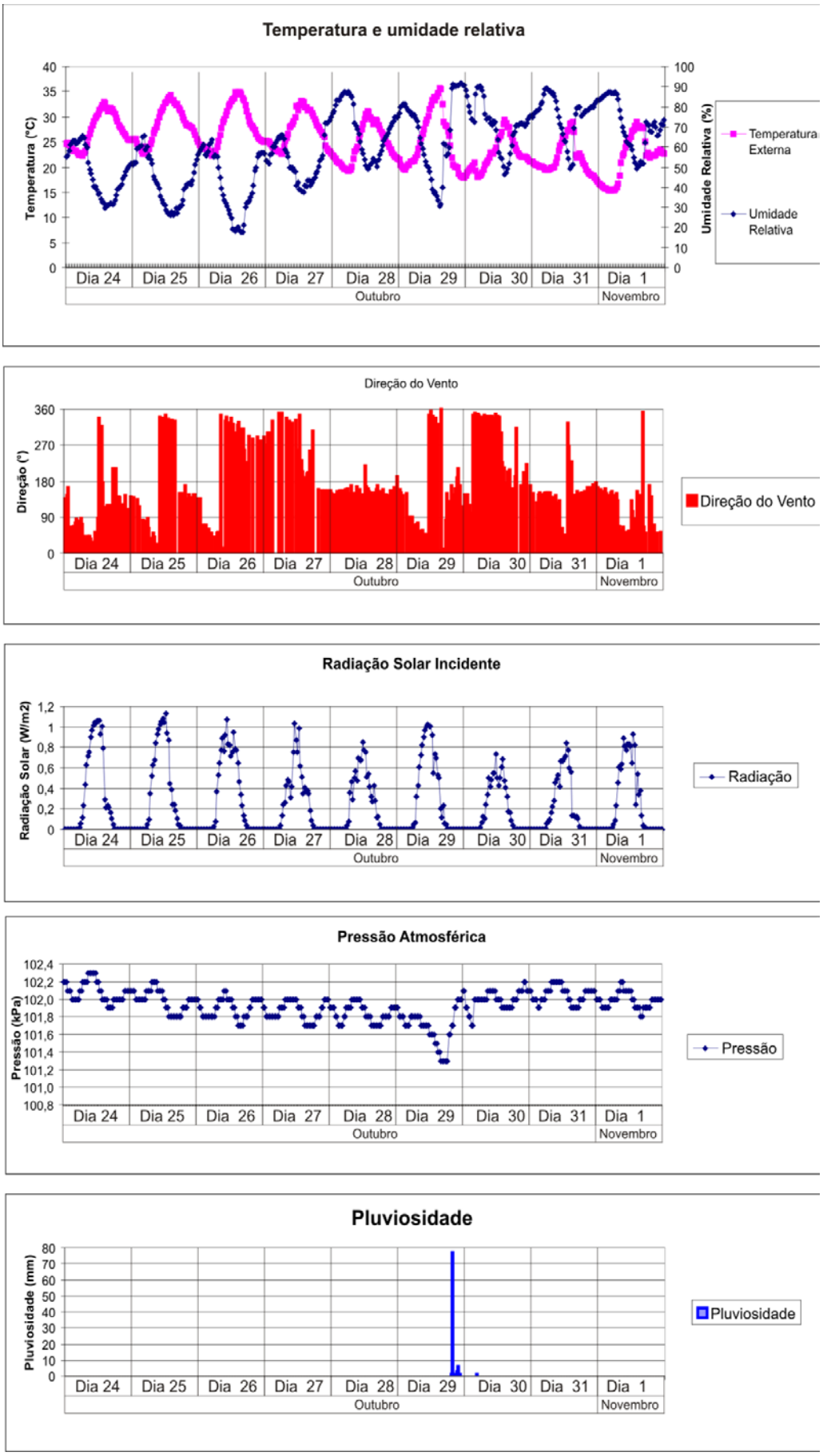

Figura 76: Gráficos referentes ao período de 24 de outubro a 1 de novembro de 2008.

O período de 24 a 27 de outubro a região se encontra sob domínio de massa de característica quente. Na noite do dia 27 para o dia 28 se percebe uma leve queda de temperatura. No dia 28, foi registrado ventos predominantes de sudeste. No dia 29 de outubro se registra elevados valores de temperatura interna do ar, valores estes acima de 35°C. Este elevado valor registrado para a região é característico de aquecimento pré-frontal. Neste dia foi registrada uma queda significativa da pressão atmosférica, uma elevação da umidade relativa, com consequente precipitação. O avanço da mPA sobre a região ocorreu ainda na noite do dia 29. O período do dia 30 outubro ao dia 1 de novembro a região de São Carlos estava sob domínio dessa massa, que permaneceu estacionária. O período do dia 30 de outubro ao dia 1 de novembro apresentou nebulosidade, conforme se pode observar no gráfico de radiação na Figura 76 pelo formato de aparência não parabólica das curvas de radiação.

Como conclusão geral, as anormalidades registradas no dia 29 de outubro é conseqüência do sistema frontal de característica fria que avançou sobre a região no mesmo dia, não sendo justificável portanto a retirada do dia 29 de outubro do conjunto de dados utilizados para gerar as equações preditivas, uma vez que ele fornece informações do comportamento da edificação frente ao avanço de mPA.

7.2.3 Análise estatística das equações do Período de verão

Temperatura interna do ar mínima

TInt Min 1_v

Do ponto de vista estatístico, a equação TInt Min 1_v se mostrou satisfatória, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,765 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,756, que para a maioria dos casos é um resultado satisfatório. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 86,31, valor acima de F_a = 5,03. Quanto à análise dos resíduos, os resíduos estudentizados ficaram em sua maioria no intervalo [-2,+2]. Somente um ponto acima de +2. O gráfico do resíduo estudentizado pode ser visualizado na Figura 77:

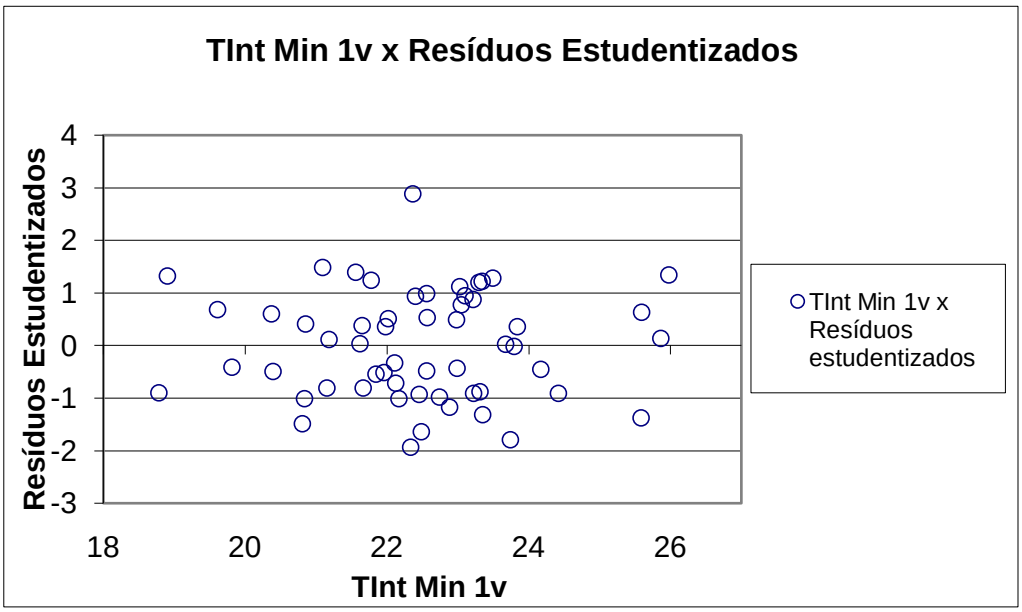

Figura 77: Resíduos estudentizados para TInt Min 1_v.

Para a temperatura interna mínima do ar se obteve um ponto que ficou fora do intervalo [-2, +2]. Pelo fato deste ponto ser menor que 3, não foi considerado como "outlier".

TInt Min 2_v

A equação TInt Min 2_v se mostrou satisfatória do ponto de vista estatístico, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,796 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,788, sendo um resultado satisfatório. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 103,42, valor acima de F_a = 5,03. Quanto à análise dos resíduos, os valores dos resíduos estudentizados foram satisfatórios, ficando todos os pontos entre o intervalo [-3,+3]. O gráfico do resíduo estudentizado pode ser visualizado na Figura 78:

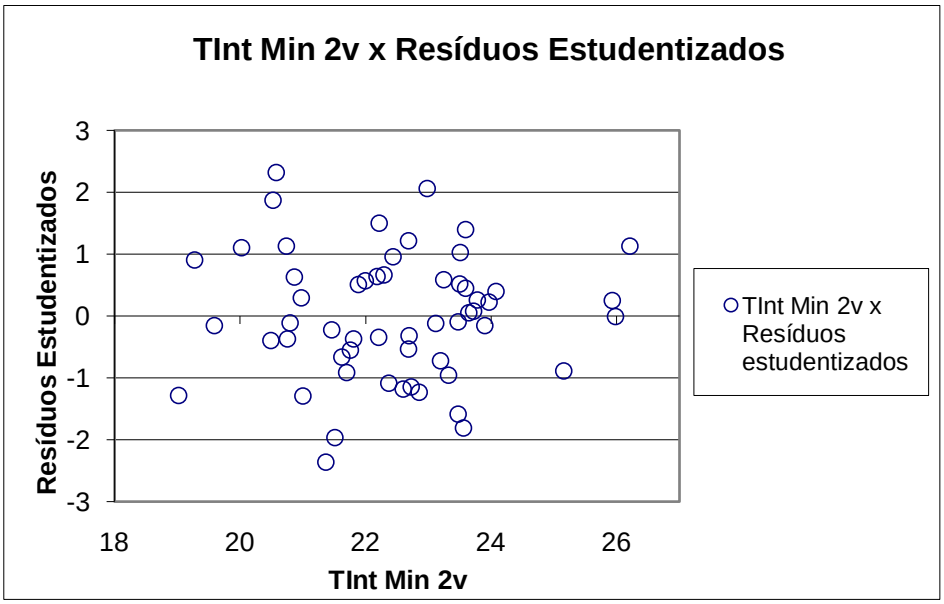

Figura 78: Resíduos estudentizados para TInt Min 2_v.

Todos os pontos referentes aos resíduos estudentizados ficaram no intervalo [-3, +3], de modo que não foi identificado "outliers".

Temperatura interna do ar média

TInt Med 1_v

A equação TInt Med 1_v se mostrou satisfatória do ponto de vista estatístico, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,900 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,896, sendo um valor razoavelmente alto. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 237,48, valor acima de F_a = 5,03. Quanto à análise dos resíduos estudentizados, os resultados foram satisfatórios, ficando os pontos no intervalo [-3,+3]. O gráfico do resíduo estudentizado pode ser visualizado na Figura 79:

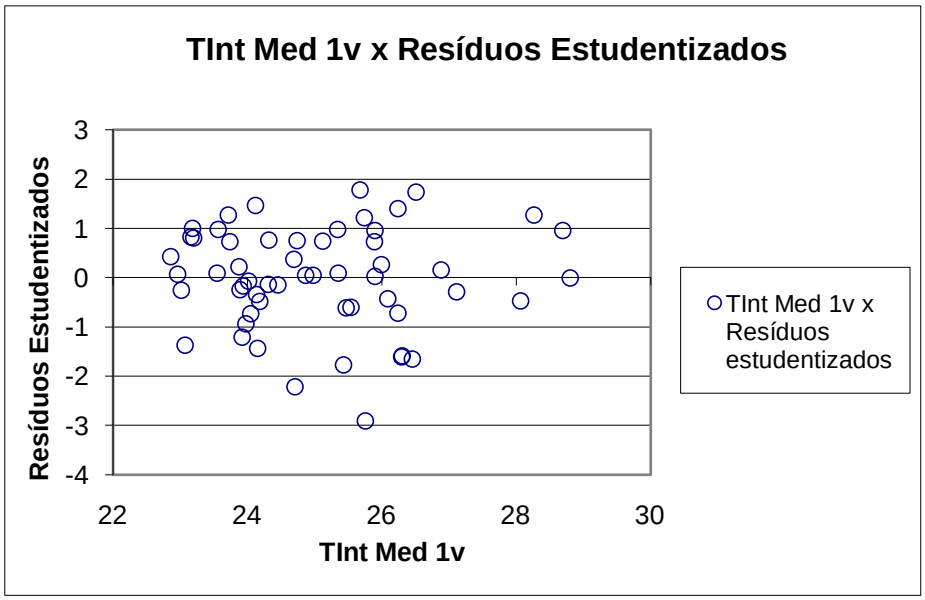

Figura 79: Resíduos estudentizados para TInt Med 1_v.

Neste gráfico dos resíduos estudentizados, os pontos ficaram, em sua maior parte, entre o intervalo [-2, +2] e com poucos pontos entre o intervalo [-3, -2], de modo que não foi encontrado nenhum “outlier”.

Temperatura interna do ar máxima

TInt Max 1_v

A equação TInt Max 1_v se mostrou satisfatória do ponto de vista estatístico, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,805 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,798, sendo um resultado satisfatório. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 109,32, valor acima de F_a = 5,03. Quanto à análise dos resíduos, os valores dos resíduos estudentizados foram satisfatórios, ficando a maior parte dele entre o intervalo [-2,+2]. O gráfico dos resíduos estudentizados pode ser visualizado na Figura 80:

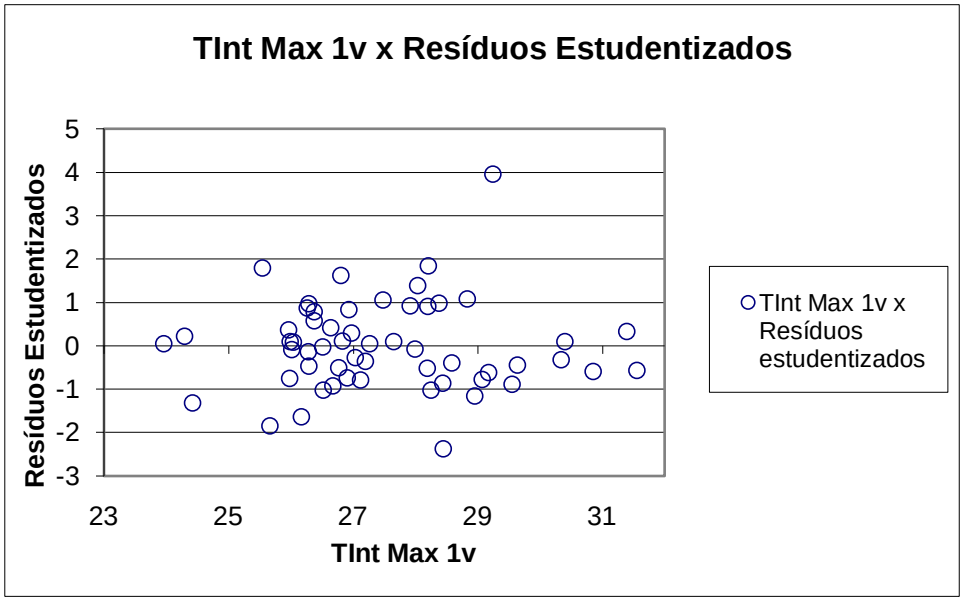

Figura 80: Resíduos estudentizados para TInt Max 1_v.

Foi encontrado um ponto entre o intervalo [+3, +4]. Verificou-se que este "outlier" encontrado não decorreu de um erro de registro de medição, de modo que não se descartou este ponto do conjunto de dados.

TInt Max 2_v

A equação TInt Max 2_v se mostrou satisfatória do ponto de vista estatístico, apresentando um coeficiente de determinação R^2 = 0,882 e um coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} = 0,878, sendo um resultado satisfatório. O valor próximo entre o R^2 e o R^2_{aj} demonstra que as variáveis incluídas no modelo contribuem de modo significativo para o resultado final. O teste de significância de regressão obteve como resultado um F_0 = 198,30, valor acima de F_a = 5,03. Quanto à análise dos resíduos, os valores dos resíduos estudentizados foram satisfatórios, ficando a maior parte dele entre o intervalo [-1,+1]. O gráfico dos resíduos estudentizados pode ser visualizado na Figura 81:

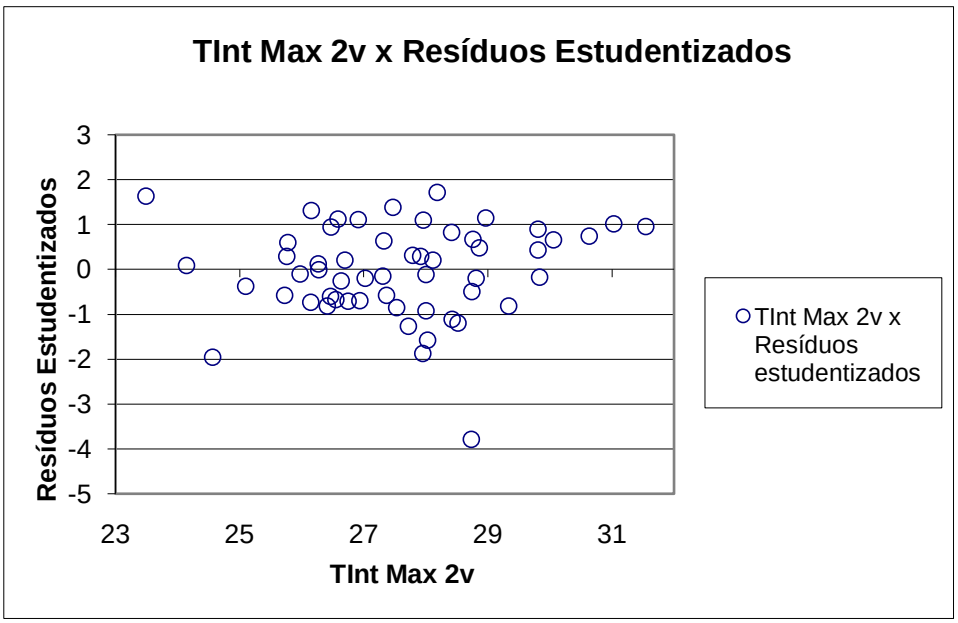

Figura 81: Resíduos estudentizados para TInt Max 2_v.

Nos resíduos apresentados na Figura 81 se observou que um ponto ficou no intervalo [-4, -3], sendo este valor considerado um “outlier”. Foi analisada a influência deste ponto no resultado final da equação e observou-se que o referido dado não influencia de forma significativa no resultado final da equação preditiva TInt Max 2_v.

7.2.4. Validação das equações período de verão

Os dados utilizados na equação de regressão foram coletados no período de 17 de outubro a 11 de dezembro. Para validar essas equações, foi selecionada uma nova série de dados, correspondente ao período de 15 de dezembro de 2008 à 3 de janeiro de 2009, com temperaturas internas do ar no interior da edificação, externas do ar e também de radiação solar. Com tais dados, foi feita uma comparação da temperatura estimada pelas equações e a temperatura medida no interior da edificação. A Figura 82 ilustra os dados de temperatura e umidade do ar, direção do vento, pressão atmosférica, radiação solar incidente e pluviosidade referentes ao período de validação.

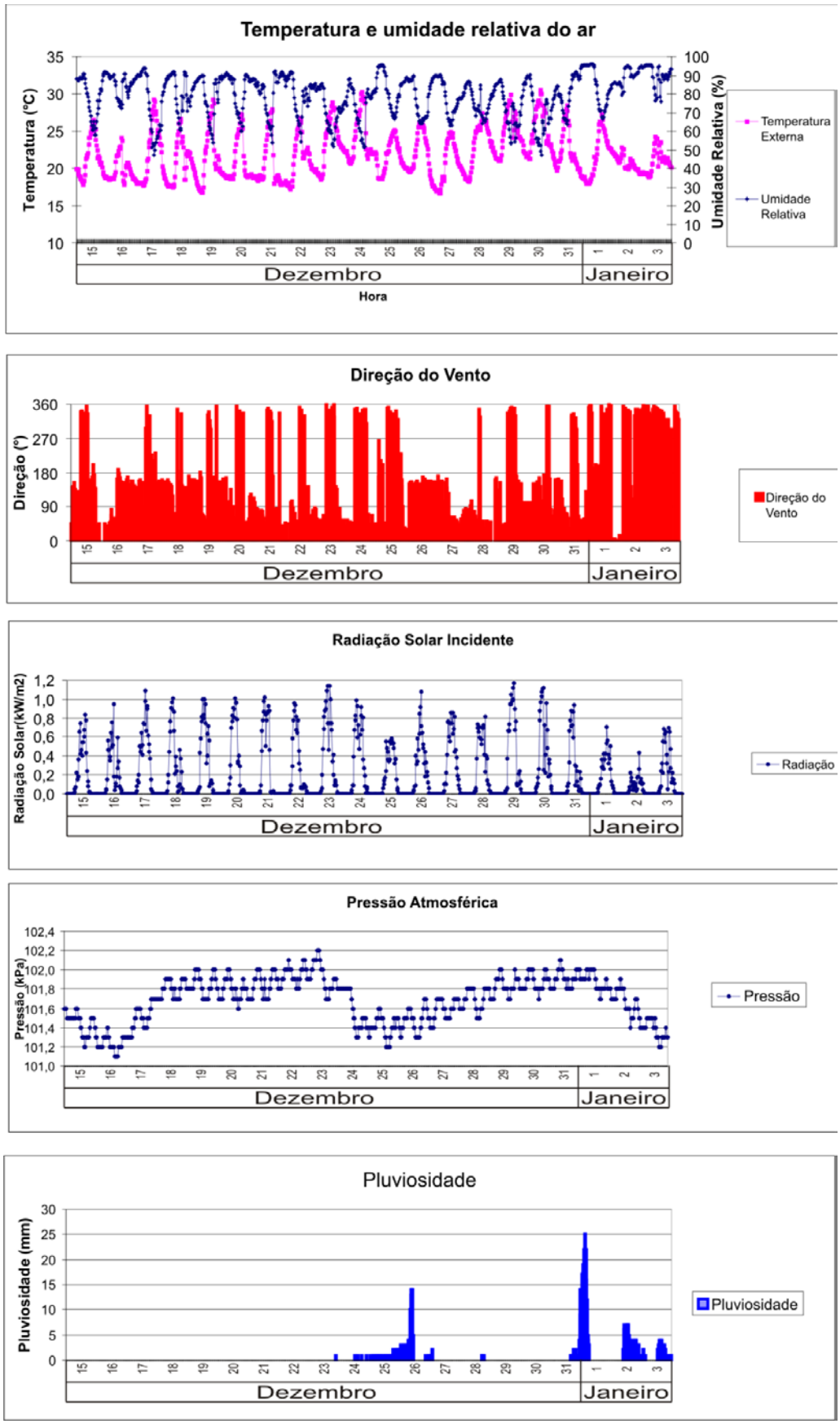

Figura 82: Gráficos referentes ao período de 15 de dezembro de 2008 a 3 de janeiro de 2009.

No gráfico de radiação solar da Figura 82 se observou que a curva de radiação solar apresenta, para cada dia, um formato de aparência não parabólica. As quedas dos valores de radiação solar registrados são consequência da nebulosidade existente para estes dias. No dia 23 de dezembro o sensor de pluviosidade registrou precipitação de 1 mm. No dia 24 a precipitação registrada foi de 4 mm. Ainda no dia 24,

> "um novo centro de baixa pressão configurou-se a leste do Rio Grande do Sul, dando origem ao quinto sistema frontal no litoral de Torres-RS. Este sistema deslocou-se pelo oceano até a altura do Estado de São Paulo, contribuindo para a formação do terceiro episódio de ZCAS a partir do dia 25." (CLIMANÁLISE, http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1208.shtml, Acessado em: 17/07/09)

No dia 25 a pluviosidade aumentou significativamente em comparação aos dois dias anteriores, apresentando pluviosidade total de 41 mm. No dia 26 foi registrado precipitação de 104 mm. Nos dias 27 e 28 a precipitação monitorada foi de 6 mm e 3 mm, respectivamente. Segundo Climanálise (CLIMANÁLISE, http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1208.shtml, Acessado em: 17/07/09) a ocorrência de chuvas no norte de São Paulo foi favorecida pelo episódio de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), que aconteceu no período de 25 a 28 de dezembro. O dia 31 de dezembro e os dias 1, 2 e 3 de janeiro apresentaram precipitação elevada, iguais a 39 mm, 190 mm, 109 mm e 47 mm, respectivamente.

Conforme analisado, o período escolhido para validar as equações preditivas para o período de verão apresentou dias com elevada pluviosidade e nebulosidade. Na sequência se tem a comparação dos valores de temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas.

Temperatura Mínima

O gráfico da Figura 83 ilustra as temperaturas internas mínimas do ar, monitoradas experimentalmente e estimadas pelas equações referentes ao período de 15 de dezembro de 2008 a 3 de janeiro de 2009:

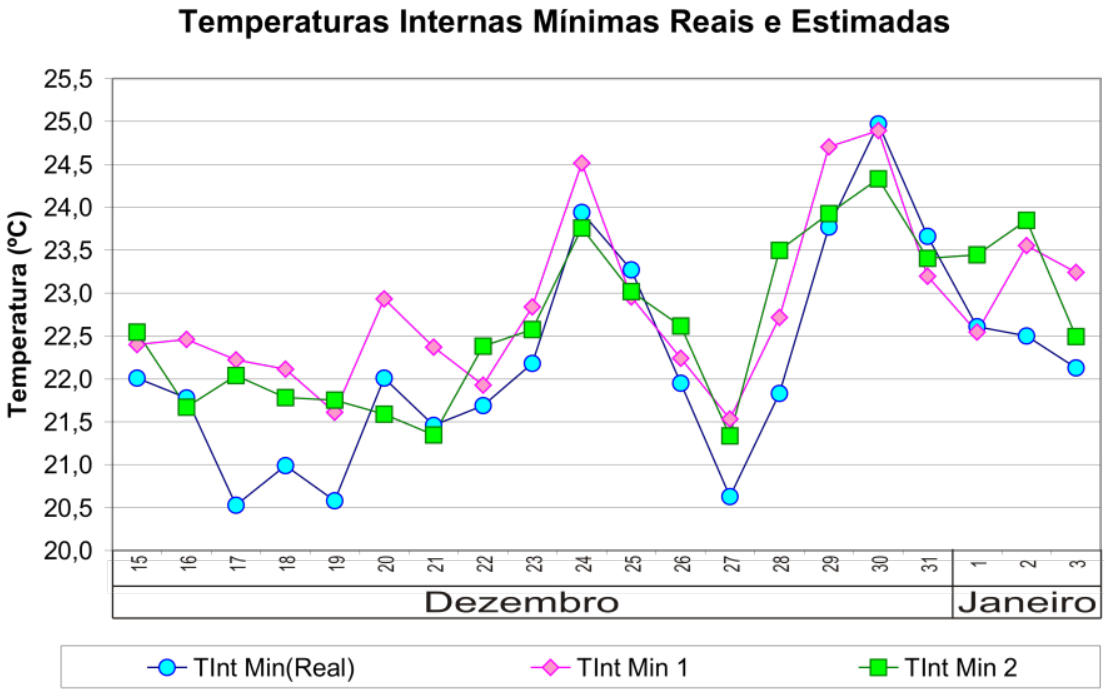

Figura 83: Temperaturas mínimas do ar monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equações.

Para se obter uma melhor visualização das diferenças entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas, foi construído um gráfico de barras, mostrado na Figura 84, que ilustra a diferença encontrada entre a temperatura real e as estimadas.

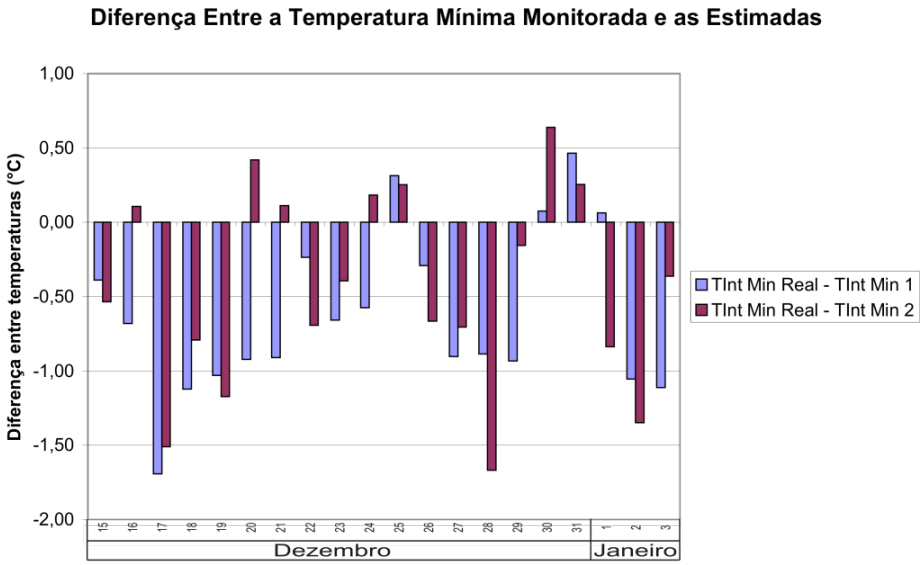

Figura 84: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas.

A diferença máxima em módulo entre a temperatura interna mínima do ar monitorada e temperatura estimada pela equação TInt Min 1_v foi de 1,7ºC, registrada no dia 17 de dezembro. No dia 16 de dezembro se percebe uma queda de temperatura em relação ao dia 15. Percebe-se, também, uma ruptura no regime de ventos no dia 16, que era de nordeste e passou a ser de sudeste. Neste dia ocorreu, também, queda da pressão barométrica e depois elevação da mesma. Percebeu-se, também, acentuada nebulosidade durante o dia, conforme se pode observar pelo formato não parabólico da curva de radiação solar para o referente dia. No dia 17 a região ainda se encontrava sobre a atuação do episódio de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), que durou de 12 a 20 de dezembro, segundo Climanálise (CLIMANÁLISE, http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1208.shtml, Acessado em: 17/07/09). Embora não se tenha observado precipitação para estes dias, se observou elevada nebulosidade. Como a diferença entre a temperatura real monitorada experimentalmente e a temperatura estimada pela TInt Min 1_v estão dentro dos limites esperados a equação TInt Min 1_v está validada.

A equação TInt Min 2_v apresentou uma diferença máxima em módulo em comparação com a temperatura interna mínima monitorada experimentalmente de 1,7ºC, no dia 28 de dezembro. Conforme já citado anteriormente, este dia estava sobre influência do episódio de ZCAS. Como a diferença entre as temperaturas estimadas pela equação e a monitorada experimentalmente estão dentro dos limites esperados, a equação TInt Min 2_v está validada.

Temperaturas Médias

O gráfico apresentado na Figura 85 ilustra as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas por meio da equação preditiva TInt Med 1_v.

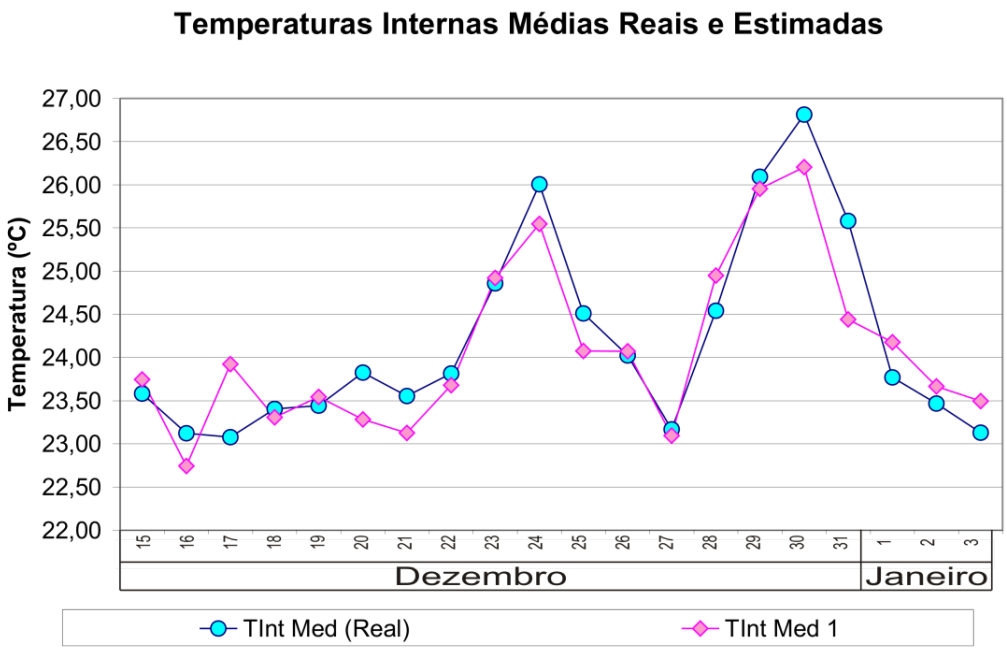

Figura 85: Temperaturas médias do ar monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equações.

Para se obter uma melhor visualização das diferenças entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas, foi construído um gráfico de barras,

mostrado na Figura 86, que ilustra a diferença encontrada entre a temperatura real e as estimadas.

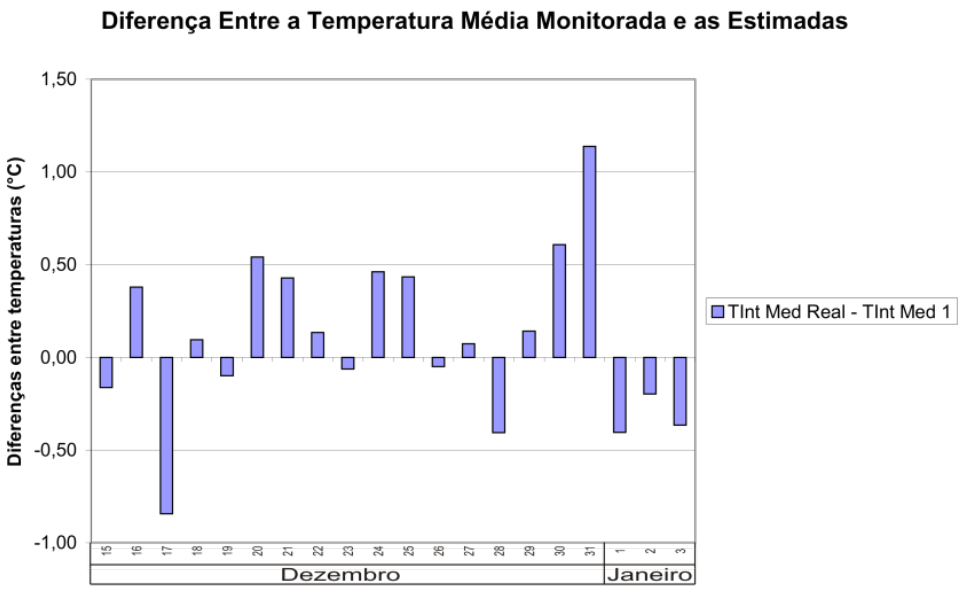

Figura 86: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas.

A maior diferença entre as temperaturas reais e estimadas foi observada e foi de 1,2ºC, observada para o dia 31 de dezembro. Neste dia se observou elevada precipitação na região de São Carlos. Para todos os outros dias a diferença entre a temperatura monitorada experimentalmente e a estimada ficou abaixo de 1ºC. Como a diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e a estimada por meio da equação TInt Med 1_v ficou abaixo de 2ºC a equação TInt Med 1_v está validada.

Temperaturas Máximas

O gráfico apresentado na Figura 87 ilustra as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas por meio de equações preditivas.

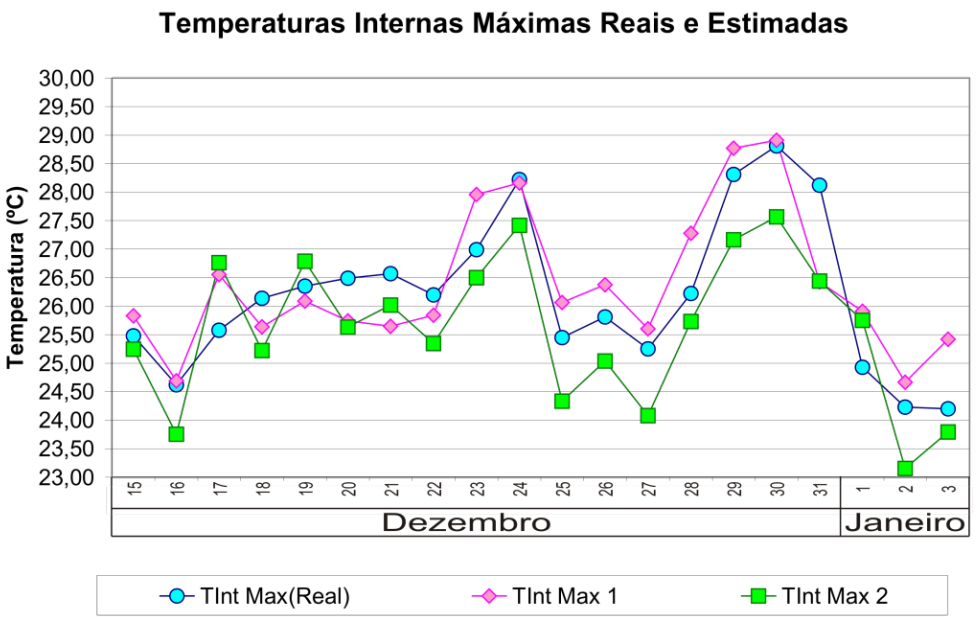

Figura 87: Temperaturas máximas do ar monitoradas experimentalmente e estimadas por meio de equações.

Para se obter uma melhor visualização das diferenças entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas, foi construído um gráfico de barras, mostrado na Figura 88, que ilustra a diferença encontrada entre a temperatura real e as estimadas.

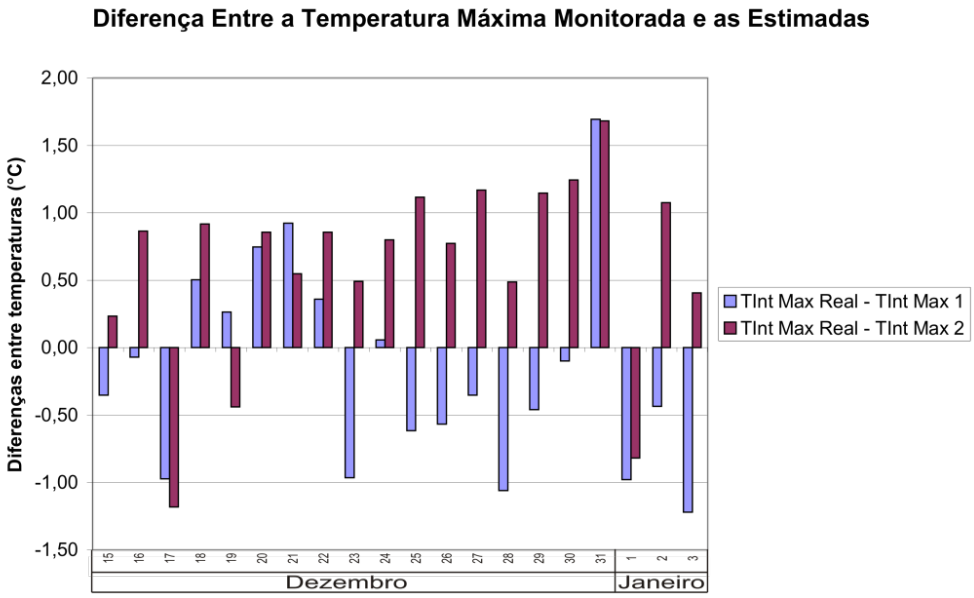

Figura 88: Diferença entre as temperaturas monitoradas experimentalmente e as estimadas pelas equações preditivas.

A maior diferença em módulo das temperaturas internas máximas reais e as estimadas pela equação TInt Max 1_v ocorreu no dia 31 de dezembro de 2008 e foi de 1,7ºC. Como a diferença entre a temperatura real monitorada experimentalmente e a estimada pela equação TInt Max 1_v ficou abaixo de 2ºC, a equação TInt Max 1_v está validada. As temperaturas estimadas pela equação TInt Max 2_v apresentou máxima diferença em comparação com a temperatura interna monitorada experimentalmente também no dia 31 de dezembro de 2008. Essa máxima diferença encontrada entre a temperatura real monitorada experimentalmente e a estimada, em módulo, foi de 1,7ºC, valor menor que 2ºC. Desta forma, a equação TInt Max 2_v está validada.

Com as equações preditivas para os períodos de inverno e de verão validadas, pode-se seguir com conclusão do trabalho.

8. Conclusões

As equações preditivas geralmente acabam descrevendo satisfatoriamente o comportamento térmico de edificações. Já é de conhecimento comum no meio acadêmico que a temperatura externa do ar é a variável explicativa do modelo de regressão que tem maior influência na estimativa da temperatura do ar no interior das edificações. Além das temperaturas externas, outros fatores influenciam também a temperatura interna das edificações, como, por exemplo, a radiação solar, a ventilação, a utilização, entre outros.

Neste trabalho, optou-se por gerar equações preditivas para temperaturas internas utilizando como variáveis explicativas as temperaturas externas do ar e a radiação solar global. Os coeficientes de determinação múltipla (R^2) calculados apresentaram valores maiores que 0,75. Os coeficientes R^2 indicam a porcentagem da variabilidade explicada pelo modelo de regressão. Por ser uma edificação ocupada, espera-se que os coeficientes de determinação múltipla sejam menores do que se a edificação fosse não ocupada, pois os usuários podem interferir na temperatura interna do ar. Portanto, neste estudo, se considerou valores de R^2 superiores a 0,75 como satisfatórios.

As equações geradas para estimar as temperaturas internas mínimas do ar para o período de inverno apresentaram valores dos coeficientes de determinação múltipla, que é interpretado como uma medida da explicação da variabilidade das temperaturas internas obtidas pelo uso das variáveis explicativas, satisfatórios. Os coeficientes de determinação múltipla ajustados calculados para as equações preditivas para temperaturas internas mínimas para o período de inverno apresentaram valores próximos aos coeficientes de determinação múltipla, sendo, portanto, valores

adequados. Os testes de significância aplicados às equações preditivas para temperaturas internas mínimas do ar para o período de inverno apresentaram valores de F_0 que indicam que pelo menos uma variável explicativa contribui de modo significativo para o modelo. Para o período de validação considerado a equação que se mostrou mais eficiente para estimar a temperatura interna mínima do ar para o período de inverno foi a equação TInt Min 3_i, que apresentou diferença máxima em comparação com a temperatura monitorada de 1,7°C.

As equações que estimam a temperatura interna média do ar para o período de inverno apresentaram valores de coeficientes de determinação múltipla elevados. A proximidade dos valores dos coeficientes de determinação múltipla e dos coeficientes de determinação múltipla ajustados indica que as variáveis explicativas utilizadas para gerar as equações contribuíram de forma significativa para o modelo. Os valores de F_0, calculado no teste de significância, foram superiores ao de F_a, sendo, portanto, satisfatórios. No período de validação a equação TInt Med 2_i apresentou diferença máxima em comparação a monitorada de 1,1°C, que foi menor que a máxima diferença encontrada entre a temperatura estimada pela equação TInt Med 1_i, que foi de 1,5°C. Desta forma, levando-se em consideração as diferenças máximas entre as temperaturas estimadas pelas equações e a temperatura monitorada se conclui que a equação TInt Med 2_i apresenta um desempenho superior em sua estimativa.

Os coeficientes de determinação múltipla calculados para as equações TInt Max 1_i e TInt Max 2_i, que estimam as temperaturas internas máximas do ar para o período de inverno, apresentaram valores satisfatórios. Os coeficientes de determinação múltipla ajustado, calculado para cada equação, apresentaram, também, valores próximos aos coeficientes de determinação múltipla, portanto também adequados. O teste de significância apresentou valores de F_0 satisfatórios. A equação TInt Max 1_i apresentou

desempenho superior em relação a equação TInt Max 2_i quando se compara a máxima diferença em relação a temperatura monitorada.

As equações TInt Min 1_v e TInt Min 2_v, geradas com a finalidade de estimar as temperaturas internas mínimas do ar para o período de verão, apresentaram coeficientes de determinação múltipla satisfatórios. Os coeficientes de determinação múltipla ajustados de cada equação apresentaram valores próximos aos coeficientes de determinação múltipla correspondentes, sendo, portanto, bons resultados. Os valores dos testes de significância apresentaram valores de F_0 superiores ao esperado. As duas equações apresentaram desempenhos iguais quando se comparou a máxima diferença entre as temperaturas estimadas e as monitoradas.

O valores do coeficiente de determinação múltipla e do coeficiente de determinação múltipla ajustado, calculado para a equação TInt Med 1_v, que estima a temperatura interna média do ar para o período de verão, foram satisfatórios e próximos entre si. O valor de F_0, calculado no teste de significância apresentou, também, valores adequados. Apresentou, também, boas estimativas no período de validação, com máxima diferença de 1,2°C.

Para as equações TInt Max 1_v e TInt Max 2_v, que estimam as temperaturas internas máximas do ar no interior da edificação para período de verão, obteve-se valores de coeficientes de determinação múltipla adequados. Os valores dos coeficientes de determinação múltipla ajustados apresentaram valores próximos aos dos coeficientes de determinação múltipla. Os valores de F_0, dos testes de significância foram acima do esperado. Ambas as equações apresentaram diferenças máximas em comparação com a temperatura monitorada iguais a 1,7°C, que por sua vez são resultados satisfatórios, mas que impossibilita dizer qual equação é a que melhor estima a temperatura interna máxima do ar para o período de verão.

Os dias anteriores aos quais se identificou, na análise dos resíduos das equações preditivas para o período de inverno, “outliers” se observou avanço de mPA. O “outlier” encontrado nas equações preditivas para o período de verão foi identificado em um dia ao qual se observou, também, a entrada de uma frente fria (mPA). Conclui-se que os “outliers” identificados nas análises de resíduos das equações geradas podem estar relacionados à atuação destas massas de característica fria, que avançaram sobre a região.

De forma geral, as equações preditivas específicas para o período de verão, que possui característica mais úmida e chuvosa, e para o período de inverno, que possui característica seca, estimaram satisfatoriamente as temperaturas internas do ar nas respectivas etapas de validação. Na literatura existente sobre equações preditivas para temperatura interna do ar se encontram diferenças entre as temperaturas monitoradoras e as estimadas maiores que 5°C. Como neste estudo as diferenças máximas no geral foram próximas a 2°C, as equações geradas foram muito boas.

Muitos autores selecionam a temperatura externa a ser utilizada como variável explicativa apenas por análise visual dos diagramas de dispersão ou por análise de correlação linear, desconsiderando a radiação solar. Cabe ressaltar que a análise de correlação linear não é necessária quando se utiliza análise de regressão, uma vez que o valor de R encontrado na correlação linear é igual a raiz quadrada do coeficiente de determinação múltipla encontrado na análise de regressão. Neste trabalho se observou que dependendo da temperatura selecionada como variável explicativa para o modelo de regressão a radiação solar pode ter uma influência grande no valor de R^2. Como exemplo se pode analisar o diagrama de dispersão da Figura 44, no qual o conjunto de dados apresenta valor de R^2 igual a 0,569 e na análise de regressão da equação TInt Min 2_v valor de R^2 igual a 0,796, valor este maior que o encontrado para a equação

TInt Min 1_v, que foi de 0,765. Já para a equação TInt Min 1_v a radiação solar pouco influenciou no valor de R^2.

É igualmente importante ressaltar que um valor mais elevado do coeficiente R^2 nem sempre garante uma melhor estimativa. Deste modo, optando-se por gerar apenas uma equação preditiva com base no maior valor obtido na análise de correlação ou na análise de diagramas de dispersão, corre-se o risco de não eleger a melhor variável explicativa para o modelo de regressão. Como visto, para a equação TInt Max 1_i se encontrou o valor do coeficiente R^2 igual a 0,843 e para a equação TInt Max 2_i igual a 0,891. Embora o valor de R^2 calculado para a equação TInt Max 2_i tenha sido maior que o calculado para a equação TInt Max 1_i, a equação TInt Max 1_i apresentou melhor desempenho que a equação TInt Max 2_i.

Como já falado anteriormente, este trabalho foi a continuação de trabalho de iniciação científica, financiado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC-CNPq, no qual se analisou o desempenho térmico de uma célula de teste com CVL. Este sistema de cobertura apresentou desempenho térmico frente ao frio e frente ao calor relativamente superior aos sistemas de cobertura de telhas cerâmicas e telhas de fibrocimento. Este fato fez com que houvesse interesse em continuar estudando este sistema de cobertura que, por sua vez, acabou gerando o presente trabalho. No Brasil os sistemas de cobertura verde ainda estão muito pouco difundidos, o que impede medições em campo e comparações com outros sistemas de cobertura, o que torna o presente trabalho como uma alternativa para estimar as temperaturas internas do tipo de edificação apresentado no trabalho.

A utilização de equações preditivas pode melhorar a qualidade dos projetos arquitetônicos, de forma a gerar projetos mais adequados ao clima. Por sua vez, edificações mais adequadas ao clima proporcionam maior conforto aos usuários,

podendo gerar incremento da produtividade no trabalho dos mesmos. A aplicação de equações preditivas a projetos arquitetônicos auxilia, também, efetivamente na eficiência energética da edificação, no que se refere à utilização de equipamentos para aquecimento ou refrigeração do ar.

Como exploração de trabalhos futuros, pretende-se estudar a influência dos avanços de sistemas frontais na geração das equações preditivas. Pretende-se, também, estudar a precisão das estimativas na atuação de diferentes massas de ar. Com tais dados pode ser possível gerar equações preditivas com menores diferenças em comparação com as temperaturas monitoradas.

9. Referências Bibliográficas

BARTHUS, R. C; MAZO, L. H; POPPI, R. J. **Determinação simultânea de NADH e ácido ascórbico usando voltametria de onda quadrada com eletrodo de carbono vítreo e calibração multivariada**. *Eclet. Quím.* [online]. 2005, vol.30, n.4, pp. 51-58. ISSN 0100-4670.

CR10X Measurement and Control Module Operator's Manual. Revisado em Jan/01. Campbell Scientific, Inc – EUA.

Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática – Volume 23 – N°5 – Maio/2008 – CPTEC – INPE – ISSN: 0103-0019 - Endereço eletrônico: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0508.shtml, Acessado em: 17/07/09

Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática – Volume 23 – N°12 – Dezembro/2008 – CPTEC – INPE – Ministério da Ciência e Tecnologia – ISSN: 0103-0019 - Endereço eletrônico: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1208.shtml, Acessado em: 17/07/09

FERNANDES, L. C. (2005). **Utilização de equações preditivas para estimativa da temperatura interna de edificações de interesse social**. 2005. 187 f. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação Em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba-PR.

FRANÇA, A. (1958). **O quadro climato-botânico**. In: AZEVEDO, A.(org.). A cidade de São Paulo: estudos de geografia urbana. V. 1, p.69-99. São Paulo: Nacional.

GIVONI, B. (1999). **Minimum Climatic Information Needed to Predict Performance of Passive Buildings in Hot Climates**. Brisbane – Australia – PLEA 1999. pp. 197-202. ISBN 1 86499 3480

GIVONI, B., VECCHIA, F. A. S. (2001). **Predicting thermal performance of occupied houses**. Florianópolis – Brasil – PLEA 2001. pp. 185-201.

Instituto Geográfico e Cartográfico – IGC. **Mapa das Regiões de Governo do Estado de São Paulo**. Endereço Eletrônico: http://www.igc.sp.gov.br/images/mapa_rg_igc.zip Acessado em: 23/09/2008

Instruction Manual: 03001 R. M. Young Wind Sentry Set / 03101 R. M. Young Wind Sentry Anemometer / 03301 R. M. Young Wind Sentry Vane. Revisado em ago/07. Campbell Scientific, Inc – EUA.

Instruction Manual: AM416 Relay Multiplexer. Revisado em fev/96. Campbell Scientific, Inc – EUA.

Instruction Manual: CR10XTCR Termocouple Reference. Revisado em jan/03. Campbell Scientific, Inc – EUA.

Instruction Manual: CS105/CS105MD Barometric Pressure Sensor. Revisado em mar/07. Campbell Scientific, Inc – EUA.

Instruction Manual: CSI Model TB4 and TB4MM Rain Gage. Revisado em jan/09. Campbell Scientific, Inc – EUA.

Instruction Manual: Model HMP45C Temperature and Relative Humidity Probe. Revisado em fev/07. Campbell Scientific, Inc – EUA.

Instruction Manual: LI200X Pyranometer. Revisado em jan/08. Campbell Scientific, Inc – EUA.

KRÜGUER, E. L. (2002). **O uso de equações preditivas na avaliação do desempenho térmico de um protótipo habitacional constituído de materiais alternativos**. Porto Alegre – RS, Ambiente Construído, v. 3, n. 2, p. 77 – 86 , ISSN 1415-8876

KRÜGER, E. L., GIVONI, B. (2004) . **Predicting thermal performance in occupied dwellings.** Energy and Buildings - v. 36, n. 3, p. 301-307, Elsevier-Irlanda 2004

MONTEIRO, C.A.F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo - Estudo geográfico sobre a forma de atlas.** São Paulo, IGEOG-USP. 1973

MONTGOMERY, D.C., Runger G. C. (1994) **Applied Statistics and Probability for Engineers** – Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.

MONTGOMERY, D.C.; PECK, E. A; VINING, G.G. (2006) **Introduction to linear regression analysis** – Fourth Edition – Ed. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.

NAGY, GYÖNGNYI; NOVAK, AGNES; OSZTROLUCZKY, MIKLÓS. **Zöld szerkezetek (green design)**.Budapest 1998 – ISBN 963-7169-02-4

Normais Climatológicas (1961 -1990). Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, Departamento - Nacional de Meteorologia (1992) – Brasília-DF.

SILVA, A. C. (2001). Estudos Climáticos e Ambiente Construído no Município de Descalvado-SP. São Carlos, 2001, 95p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP.

STEVENSON, W. J. (1986). **Estatística Aplicada a Administração** – Editora Harbra. São Paulo – SP.

TOLENTINO, M. (1967). **Estudo crítico sobre o clima da região de São Carlos**. Concurso de monografias municipais. São Carlos. 78p.

VECCHIA, F. A. S. (1997). **Clima e Ambiente Construído – A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano**. USP/FFLCH (Tese de Doutoramento), 489 pág. São Paulo - SP

VECCHIA, F. . Clima y Confort Humano. **Criterios para caracterización del régimen climático**. In: COTEDI - 1er Simposio Venezolano de Confort Térmico y Comportamiento Térmico de Edificaciones, 1998, Caracas, 1998.

VECCHIA, F. A. S.; FERREIRA, O. P., FRANCHIM, D. H. (1999). **Viviendas prefabricadas en paneles ahuecados: su Aplicación para el tema de huracanes y sismos**. II Seminário Iberoamericano Sobre Cubiertas y Entrepisos Para La Construcción y Rehabilitación de Viviendas. La Havana, Cuba.

VECCHIA, F.(2005) . **Cobertura verde leve (CVL): ensaio experimental**. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construido (ENCAC) e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC), 2005. CD ROM VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construido (ENCAC) e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC).

VIEIRA, S. (2006) **Análise de Variância (ANOVA)**- Ed. Atlas S.A.- São Paulo – SP – ISBN: 85-224-4303-3

VIEIRA, S. (2004) **Bioestatística: tópicos avançados** – 2ª Edição – Ed. Campos Ltda.– Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. ISBN: 85-352-1444-5

WERKEMA, M. C. (1995) **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos.** Série Ferramentas de qualidade 404p. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte – MG. ISBN 85-85447-15-X

WERKEMA, M. C. C., AGUIAR, S. (1996) **Análise de regressão: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo**. Série Ferramentas de qualidade 311p. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte – MG. ISBN 85-85447-35-x