

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MAPEAMENTO DO AMBIENTE TÉRMICO E SUAS RELAÇÕES
COM OS PARÂMETROS DO ENTORNO URBANO**

PEDRO RENAN DEBIAZI

ORIENTADOR: LÉA CRISTINA LUCAS DE SOUZA

SÃO CARLOS
(FEVEREIRO/2016)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

**MAPEAMENTO DO AMBIENTE TÉRMICO E SUAS RELAÇÕES
COM OS PARÂMETROS DO ENTORNO URBANO**

PEDRO RENAN DEBIAZI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof.^a Dr.^a Léa
Cristina Lucas de Souza

SÃO CARLOS
(FEVEREIRO/2016)

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D286m Debiazi, Pedro Renan
 Mapeamento do ambiente térmico e suas relações com
os parâmetros do entorno urbano / Pedro Renan
Debiazi. -- São Carlos : UFSCar, 2016.
 95 p.

 Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de
São Carlos, 2016.

 1. Clima urbano. 2. Índices urbanísticos. 3.
Parâmetros urbanos. 4. FVC. 5. UCMa. I. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Pedro Renan Debiazi, realizada em 23/02/2016:

Profa. Dra. Léa Cristina Lucas de Souza
UFSCar

Profa. Dra. Maria Solange Gurgel de Castro Fontes
UNESP

Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria
UNESP

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo verificar o ambiente térmico de um campus universitário, através da avaliação da contribuição relativa dos elementos do entorno urbano em relação à alteração da temperatura do ar intraurbano. Para isso, dados reais sobre a temperatura do ar foram coletados em vários pontos do Campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Estes foram relacionados com índices urbanísticos locais, aplicando-se a técnica de Redes Neurais Artificiais (RNA), para a criação de um modelo matemático de previsão. A análise considerou três diferentes escalas tomadas a partir dos raios de abrangência de 25, 50 e 100 m. Nas áreas delimitadas por esses raios, foram estimados o Coeficiente de Ocupação (CO), o Coeficiente de Vegetação Urbana (CVU), o Fator de visão de céu (FVC) e o Coeficiente de Cobertura do Solo (CCS). Este método permitiu a observação das interações entre aqueles parâmetros urbanos e as tendências térmicas. O modelo matemático desenvolvido a partir do processo de treinamento na RNA foi identificado e descrito de forma a ser inserido em um Sistema de Informações Geográficas. Por esse procedimento foram criados mapas temáticos, e, conseqüentemente, foi proposta uma classificação microclimática para o estudo de caso. Os resultados apontaram que os índices urbanísticos estudados apresentaram importância relativa diferenciada de acordo com a escala de análise. Para o período diurno, os índices urbanísticos exerceram significativa influência sobre as temperaturas do ar no Campus. Além disso, o Coeficiente de Vegetação Urbana foi um dos parâmetros mais importantes na determinação dos padrões térmicos alcançados na área do Campus.

PALAVRAS CHAVES: Clima urbano, índices urbanísticos, parâmetros urbanos, FVC, UCMaP, mapa térmico.

ABSTRACT

This research aims to verify the thermal environment of a campus university, by evaluating the relative contribution of urban elements towards the modification of the air temperature. For this purpose, real data of air temperature were collected at several points of the Federal University of São Carlos (UFSCar). These were then related to the local urban indexes, by applying the technique of Artificial Neural Networks (ANN), in order to develop a prediction model. This analysis considered three different scales of approaching, taking the radius of 25, 50 and 100 meters as references. Within the areas of these radii, the Occupation Coefficient (OC), the Urban Vegetation Coefficient (UVC), the Sky View Factor (SVF) and the Ground Cover Coefficient (GCC) were estimated. This method allowed the observation of interactions among these urban parameters and the thermal tendencies. The mathematical model developed by ANN training process was identified and described to be incorporated into a Geographical Information System. By this procedure, thematic maps were developed and, consequently, a microclimatic classification for the case study was proposed. The results pointed out that the urban indexes under investigation presented different relative importance according to the scale of analysis. For the diurnal period, the urban indexes had significant influence in the air temperatures of the Campus. Furthermore, the Urban Vegetation Coefficient was one of the most important parameters in the determination of the thermal patterns reached in the Campus area.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Número de pesquisas sobre conforto térmico e clima urbano.....	15
Figura 2: Representação de Oke para as duas camadas de modificação urbana	17
Figura 3: Esquema de balanço energético proposto por Oke.....	18
Figura 4: Perfil de temperatura típica do fenômeno de ilha de calor.....	20
Figura 5: Fluxo dos ventos associados a diferentes geometrias urbanas	25
Figura 6: Fluxograma metodológico	31
Figura 7: Localização do campus da Universidade Federal de São Carlos	33
Figura 8: Vista panorâmica do Campus.....	34
Figura 9: Localização dos pontos de medição térmica nas duas campanhas	36
Figura 10: Sensor HOBO Pro V2 U23-001	37
Figura 11: Exemplo dos raios de abrangência para extração dos índices urbanísticos	39
Figura 12: Câmera equipada com lente tipo olho de peixe de 180º.....	40
Figura 13: Contribuição relativa dos parâmetros urbanos em relação ao raio de abrangência - DIA	44
Figura 14: Contribuição relativa dos parâmetros urbanos em relação ao raio de abrangência - NOITE.....	44
Figura 15: Sensibilidade FVC – 14h00min	46
Figura 16: Sensibilidade FVC – 21h00min	46
Figura 17: Sensibilidade CO – 14h00min	47
Figura 18: Sensibilidade CO – 21h00min	47
Figura 19: Sensibilidade CVU – 14h00min.....	48
Figura 20: Sensibilidade CVU – 21h00min	48
Figura 21: Sensibilidade CCS P – 14h00min	49
Figura 22: Sensibilidade CCS P – 21h00min	49
Figura 23: Sensibilidade CCS I – 14h00min.....	50
Figura 24: Sensibilidade CCS I – 21h00min.....	50
Figura 25: Arquitetura da Rede selecionada para o dia	52
Figura 26: Correlação entre real e simulado para período diurno	52
Figura 27: Arquitetura da Rede selecionada para a noite.....	53
Figura 28: Correlação entre real e simulado para período noturno.....	53
Figura 29: Validação da simulação para o dia	54
Figura 30: Validação da simulação para a noite	54
Figura 31: Contribuição relativa dos parâmetros urbanos.....	55
Figura 32: Arquitetura da rede sem FVC	55
Figura 33: Teste de correlação	55
Figura 34: Sensibilidade parâmetros urbanos – 14h00min.....	56
Figura 35: Exemplo de RNA em planilha eletrônica	57
Figura 36: Processo de reconstrução do modelo.....	58
Figura 37: Modelagem de Processamento - Qgis 2.6	59
Figura 38: Organização do algoritmo	59
Figura 39: Entrada de dados no algoritmo.....	60
Figura 40: Exemplo do procedimento para extração dos parâmetros urbanos.....	61
Figura 41: Ferramenta "Calculadora de campo"	61
Figura 42: Resultado da "Calculadora de campo" no banco de dados de "pontos"	62

Figura 43: Resultado final do algoritmo no banco de dados.....	63
Figura 44: Localização dos pontos para simulação com modelo no SIG	64
Figura 45: Resultado das simulações térmicas.....	65
Figura 46: Resultado criação dos mapas temáticos	66
Figura 47: Ferramenta de Estatística por zonas	70
Figura 48: Proposta de classificação microclimática	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização do design urbano.....	41
Tabela 2: Resultado da análise de correlação e erro relativo das redes treinadas e escolhidas.....	43

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Síntese das análises de sensibilidade	51
---	----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.2	Objetivo Geral	13
1.3	Objetivos específicos.....	13
1.4	Abordagem Metodológica	13
1.5	Hipótese.....	13
1.6	Estrutura da dissertação	14
2.	CLIMA URBANO: MODELOS CLIMÁTICOS E ESCALA DE ABORDAGEM CLIMÁTICA.....	15
2.1	Mapeamento do clima urbano e sistemas de informação geográfica.....	21
2.2	Modelos de análise e redes neurais artificiais.....	22
3.	PARÂMETROS DO ENTORNO URBANO E MICROCLIMA	24
3.1	Massa Construída.....	24
3.3	Fator de Visão do Céu (FVC)	26
3.4	Vegetação urbana.....	27
3.5	Revestimentos do solo urbano	29
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	Local de aplicação do estudo	32
4.2	Pontos de Coleta dos dados térmicos	34
4.3	Instrumentos de coleta de dados micrometeorológicos	36
4.4	Análise atmosférica	37
4.5	Inserção dos dados em uma plataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG)	38
4.6	Obtenção dos índices urbanísticos	38
4.6.1	Massa construída.....	39
4.6.2	Vegetação urbana.....	39
4.6.3	Revestimento do solo	40
4.6.4	Fator de visão de céu	40
4.6.5	Caracterização urbana	41
4.7	Redes Neurais Artificiais	41
4.8	Desenvolvimento de mapas temáticos	42
5.0	ANÁLISE DO USO DAS RNA's E DESENVOLVIMENTO DO MODELO	43
5.1	Desempenho das Redes Neurais Artificiais	43
5.2	Análise da contribuição relativa dos parâmetros urbanos	44
5.3	Análise de sensibilidade dos parâmetros urbanísticos.....	45

5.3.1	Sensibilidade Fator de visão do céu.....	46
5.3.2	Sensibilidade Coeficiente de ocupação do solo.....	47
5.3.3	Sensibilidade Coeficiente de vegetação urbana.....	48
5.3.4	Sensibilidade Coeficiente de cobertura do solo permeável.....	49
5.3.5	Sensibilidade Coeficiente de cobertura do solo impermeável.....	50
5.4	Quadro síntese das análises de sensibilidade.....	51
5.5	Análise de aplicabilidade do modelo.....	52
5.6	Modelo aprimorado para o dia.....	54
5.7	Reconstrução do modelo.....	57
5.8	Inserção do modelo no SIG.....	59
6.0	RESULTADO DA APLICAÇÃO DO MODELO NO SIG.....	64
6.1	Proposta de classificação do potencial térmico.....	69
7.	CONSIDERAÇÕES.....	74
	REFERÊNCIAS.....	77
	APÊNDICES.....	83
	ANEXOS.....	91

AGRADECIMENTOS

A Deus e Jesus, o primeiro e grande Mestre.

A minha família que jamais mediu esforços.

À professora e orientadora Dra. Léa Cristina Lucas de Souza, por dividir seu conhecimento, pela dedicação, confiança e compreensão, em todos os momentos.

Ao grupo de pesquisa NUPA, em especial a Pós Doutoranda Marcia Thais Suriano e a Doutoranda Camila Mayumi Nakata, pela ajuda com a coleta de dados, e por compartilharem comigo experiências e conhecimentos.

Aos professores do PPGEU pela contribuição positiva e conselhos importantes durante as disciplinas.

À secretaria do PPGEU, sempre disposta a ajudar e auxiliar os discentes.

Aos amigos que fiz e que compartilharam seus conhecimentos, suas histórias, experiências, e sempre estiveram prontos a ajudar no que fosse necessário. Em especial a Mariana Ferreira, Juliana Bertin, Alessandra Miceli, Luciana Bernal, Marília Cury.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

À Professora Dra. Maria Solange Gurgel de Castro Fontes, pelo treinamento e auxílio com os questionários e pesquisa de campo.

1. INTRODUÇÃO

A busca por cidades mais sustentáveis e termicamente mais eficientes tem pautado crescentes números de pesquisas em conforto térmico urbano, especialmente na última década (JOHANSSON ET AL., 2014, SHASHUA-BAR, TSIROS E HOFFMAN, 2012; WANG E AKBARI, 2014).

Normalmente, nos países em desenvolvimento, as políticas de planejamento urbano e ordenamento do solo estão voltadas a atender, primeiramente, o interesse econômico e especulativo. Porém, esse tipo de gestão do solo urbano contribui para o desenvolvimento de ambientes termicamente desfavoráveis ao conforto dos usuários (AMIRTHAM, HARRISON E RAJKUMAR, 2015).

Os estudos em clima urbano aplicados à análise e ao planejamento territorial buscam desenvolver estratégias e instrumentos, que contribuam para a melhoria da economia e para o correto desempenho energético das edificações. Assim, esses instrumentos colaboram também para o aumento da qualidade de vida, além de possibilitarem a redução dos efeitos prejudiciais à saúde humana, que, em áreas urbanizadas, podem ser causados pelos elevados índices de desconforto e estresse térmico, (CARFAN ET AL. 2012, DUARTE E SERRA, 2003; GÓMEZ, HIGUERAS E ESCALONA, 2014).

O intenso processo de urbanização e o adensamento desordenado das cidades, além de acarretarem graves problemas de ordem social e organizacional, expõem os usuários dos espaços abertos urbanos a diferentes microclimas e situações de estresse térmico durante um mesmo dia, agravando o desconforto térmico (COHEN, POTCHTER E MATZARAKIS, 2013; PASSOS, SACRAMENTO E BARBIRATO, 2014).

Ao redor de todo o planeta, estudos sobre o microclima nas cidades permitiram o desenvolvimento de diversos métodos e ferramentas para avaliar o efeito do ambiente construído do entorno urbano sobre o conforto térmico.

O principal efeito da alteração do microclima urbano é o surgimento do fenômeno de Ilha de calor (ICU), que é caracterizado por um incremento na

temperatura do ar nas áreas urbanas em relação às áreas abertas circundantes. Registrado com maior ou menor intensidade, o fenômeno de ilha de calor geralmente está associado ao tamanho e às características morfológicas das cidades e a fatores bioclimáticos regionais e sazonais (LANDSBERG, 1981).

Dentre as principais causas da alteração da temperatura nas cidades, é possível citar a influência dos parâmetros do entorno urbano, como por exemplo: o coeficiente de ocupação do solo (CO), o coeficiente de cobertura do solo (CCS), o fator de visão de céu (FVC) e o coeficiente de vegetação urbana (CVU). Esses parâmetros agem em associação com as características climáticas de cada região, que são formadas pelo conjunto de fatores, como, Latitude, longitude, altitude e bioma (BOURBIA E BOUCHERIBA, 2010; SOUZA, 2010; MARROQUIM, CRUZ E BARBIRATO, 2014).

Por isso, os estudos relacionados ao clima devem servir de subsídios para a criação de estratégias e políticas de planejamento urbano, apontando formas de ocupação termicamente mais eficiente e ambientalmente mais sustentável para cada localidade.

Xiaodong et. al (2015) destacam que o planejamento territorial climaticamente orientado é um extraordinário repto para os urbanistas e gestores, impondo também grandes desafios tecnológicos para a criação e uso de instrumentos de análise na tomada de decisões, a curto e longo prazo.

Há necessidade de que se minimizem os efeitos prejudiciais, causados pela alteração do clima intraurbano, contribuindo para o conforto térmico e eficiência energética. Para isso, é essencial que os estudos sobre o microclima identifiquem modelos de ocupação, que permitam alcançar o equilíbrio entre os diversos fatores bioclimáticos locais e os elementos do entorno urbano.

O reconhecimento e a classificação do ambiente térmico das cidades é o primeiro passo para o desenvolvimento de planos de ação e políticas de adaptação e mitigação. Por isso, o desenvolvimento de mapas térmicos é essencial para traduzir informações climáticas de maneira gráfica e visual para aplicação direta no planejamento urbano.

1.2 Objetivo Geral

Essa pesquisa investiga o comportamento do campo térmico do *Campus* da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e a criação de Redes Neurais Artificiais (RNA), para o desenvolvimento de uma matriz de contribuição relativa entre os elementos do entorno urbano e a alteração do ambiente microclimático.

1.3 Objetivos específicos

- Investigar o campo térmico intraurbano relacionado às diferentes formas de ocupação de um *campus* universitário;
- Verificar as relações entre a temperatura do ar e os elementos do entorno urbano e o potencial preditivo exercido pelos índices urbanísticos sobre essa relação;
- Desenvolver um modelo de predição do ambiente microclimático com uso de RNA;
- Desenvolver mapas temáticos para observação e análise do comportamento térmico do *campus*;
- Classificar o ambiente térmico a partir das alterações microclimáticas averiguadas;

1.4 Abordagem Metodológica

Para atingir o objetivo geral e os objetivos específicos, campanhas para coleta de dados térmicos com uso de sensores digitais foram realizadas em diversos pontos dentro do campus universitário da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Simultaneamente, foi realizada a caracterização do entorno urbano, descrita com auxílio de uma plataforma de Sistema de Informações Geográfica (SIG). Por fim, através da aplicação da técnica de Redes Neurais Artificiais, foi analisada a contribuição relativa de cada parâmetro urbanístico sobre o ambiente térmico e proposta uma classificação microclimático para o estudo de caso.

1.5 Hipótese

Esta pesquisa parte do pressuposto de que há uma forma de ocupação urbana termicamente mais eficiente para cada localidade, que é resultado do

difícil equilíbrio entre os elementos do entorno urbano e fatores climáticos naturais. Assim, parte-se da hipótese de que cada elemento do entorno urbano exerce sobre o ambiente intraurbano, um peso relativo e quantificável.

1.6 Estrutura da dissertação

Esta pesquisa está estruturada em etapas de: Revisão Bibliográfica, Metodologia e Resultados. O primeiro capítulo traz a presente introdução ao tema, sua justificativa, os principais objetivos, e a caracterização da principal hipótese desta dissertação.

O segundo e terceiro capítulos efetuam uma revisão bibliográfica a respeito dos processos atmosféricos, das escalas de análise, do microclima e da sua relação com os elementos do entorno e a morfologia urbana.

Os materiais e métodos descritos no quinto capítulo referem-se aos equipamentos utilizados para a coleta dos dados sobre o ambiente térmico e os índices urbanísticos, e, aos métodos adotados para análise e tratamento dos dados.

Os resultados obtidos nesta pesquisa estão apresentados nos capítulos cinco e seis. As análises dos dados obtidos estão apresentadas em gráficos, tabelas e mapas térmicos, que permitem traçar respostas para a principal hipótese do estudo.

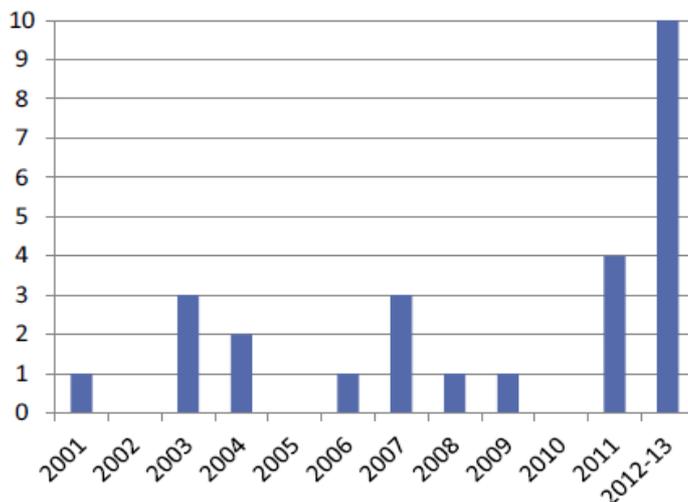
Por fim o capítulo sete, abre pauta para as considerações sobre a análise dos resultados e as respostas alcançadas com a presente pesquisa.

2. CLIMA URBANO: MODELOS CLIMÁTICOS E ESCALA DE ABORDAGEM CLIMÁTICA

Multidisciplinar, o estudo do clima urbano congrega diversas áreas do conhecimento, para abordar os fenômenos climáticos ocorridos nas áreas urbanas, buscando desenvolver estratégias e instrumentos de planejamento para as cidades. Há muito se sabe que o ambiente construído altera o microclima, em função das complexas interações entre morfologia urbana e atmosfera. Entretanto, a complexidade desses processos começou a ser mais bem explorada apenas nas últimas quatro décadas (MILLS, 2014).

Conforme também apontado por Duarte e Serra (2003), o primeiro estudo sobre o clima urbano surgiu em Londres em 1883, realizado pelo climatologista amador Luke Howard. Após se multiplicarem pela Europa, Johansson et al. (2014) relatam que o número de pesquisas sobre conforto térmico e clima urbano tem crescido muito no mundo todo, especialmente se considerados os últimos três anos que antecederam aquele estudo - entre 2011 e 2013 (Figura 01).

Figura 1: Número de pesquisas sobre conforto térmico e clima urbano



Fonte: Johansson et. al. (2014)

A cidade é a um mosaico composto por diversos arranjos e formas de ocupação, gerando diferentes microclimas. Assim como o clima na mesoescala, o clima nas cidades é composto por diferentes ilhas e regiões

climáticas, como as ilhas de calor, bolsões de poluição e as diferenças nos fluxos dos ventos e massas de ar. Portanto, o planejamento urbano poderia se apropriar da influência do ambiente construído sobre o microclima, para criar ambientes favoráveis à ocupação do espaço público, contribuindo para o conforto térmico (CARFAN ET AL. 2012, DUARTE E SERRA, 2003). Para isso, é necessária a compreensão da própria dinâmica do clima urbano.

Proposto por Monteiro em 1976, o Sistema Clima Urbano (SCU) é o principal modelo teórico brasileiro de compreensão do clima urbano. É definido como um sistema complexo, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e passível de autorregulação. O autor propôs uma metodologia, organizando os problemas atmosféricos em grupos e conjuntos de percepção humana, podendo ser dividido em três subsistemas: o termodinâmico, o físico-químico e o hidro-meteorológico (GOMES, 2008).

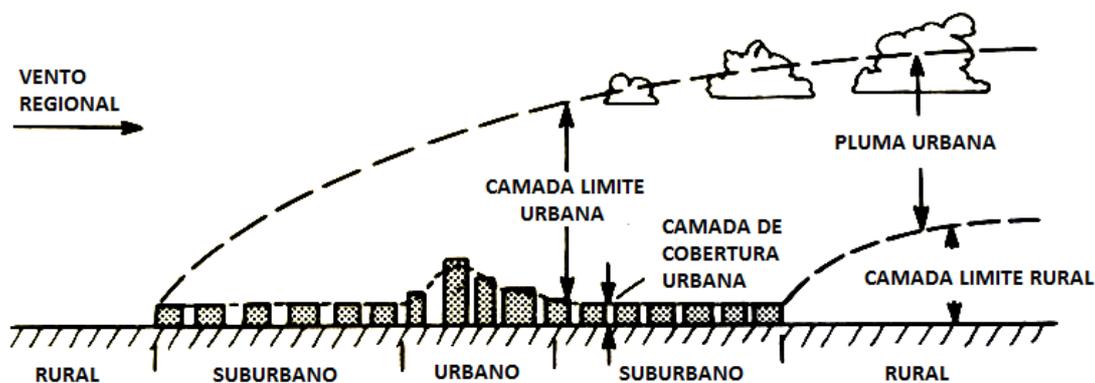
A metodologia do SCU busca compreender o clima característico do meio urbano, encarando basicamente a atmosfera como o grande operador. Assim, assume como o *operando* do sistema, toda ação ecológica e todo fenômeno desencadeado pela urbanização. Desse modo, tudo que não é um elemento atmosférico (como a sociedade, os animais e o ambiente natural ou construído) forma um intrincado conjunto sobre qual o operador age (MONTEIRO, 2008).

Masiero (2014) reforça que para o estudo da caracterização climática associado às características urbanas, é preciso estabelecer um correto recorte temporal das situações atmosféricas. O autor ressalta que a influência do sistema atmosférico é variável, de acordo com a estação do ano, e, que o comportamento do clima em espaços abertos urbanos pode ser avaliado pela presença característica de massas de ar locais.

Oke (1987), em seu estudo pioneiro sobre o clima urbano, propôs duas escalas de análise. Para isso considerou uma divisão básica por camadas. Para a camada dos relacionamentos entre as condições microclimáticas, que ocorrem do entorno imediato até o topo das edificações, o autor atribuiu a denominação de Camada de Cobertura Urbana (Urban Canopy Layer). Além disso, para a camada das condições mesoclimáticas, que se manifestam acima

do nível das edificações, propôs a denominação de Camada Limite Urbana (Urban Boundary Layer) (Figura 02).

Figura 2: Representação de Oke para as duas camadas de modificação urbana



Fonte: Adaptado de Oke (1987)

O clima urbano é então resultado da ação antropogênica sobre o espaço, a qual causa modificações ambientais que alteram a rugosidade, a porosidade e a permeabilidade do solo natural, alterando, conseqüentemente, os índices de cobertura vegetal e o relevo. Essas modificações no ambiente natural, em interação com os fatores climáticos locais, influenciam o balanço energético nas cidades, as quais passam a desenvolver diferentes microclimas (RANGEL ET. AL. 2015).

O Sol é a principal fonte de energia térmica do sistema climático, e, é o responsável pelo ciclo de aquecimento e arrefecimento do planeta, essencialmente pela emissão de ondas eletromagnéticas de raios ultravioletas e infravermelhos. A quantidade de radiação solar que chega às superfícies urbanas influencia diretamente o balanço energético das cidades (CUNHA MAIA, 2013).

A fim de compreender melhor o balanço energético no ambiente urbano, Oke (1987) propôs um modelo numérico, assumindo que o ganho de energia na camada de cobertura é igual à perda de energia mais a energia estocada (Equação 1).

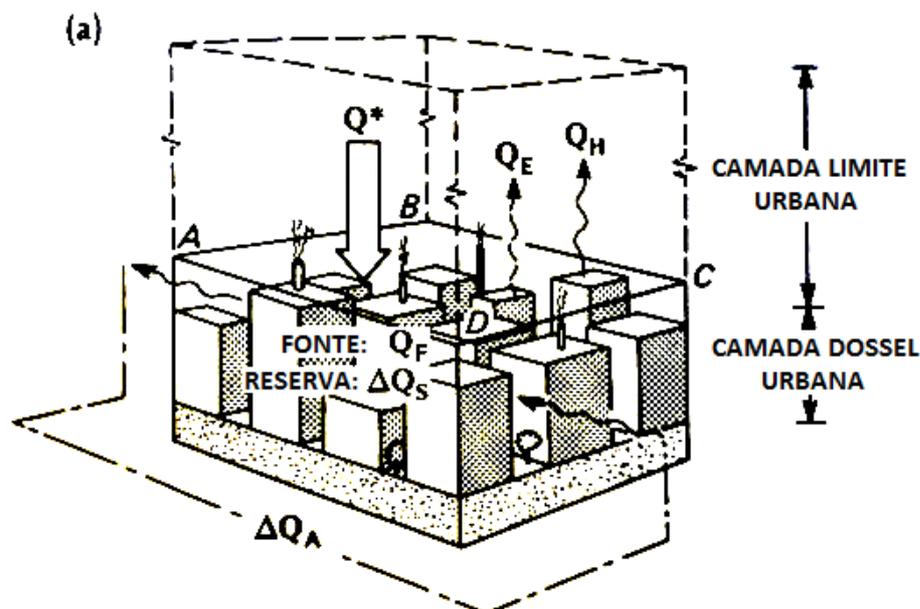
$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \quad (Eq. 01)$$

Onde:

- Q^* é a radiação líquida (obtida para todos os comprimentos de ondas);
- Q_F corresponde ao calor antropogênico (homem e suas atividades);
- Q_H o fluxo de calor sensível;
- Q_E o fluxo de calor latente;
- ΔQ_S representa a densidade do armazenamento de energia pelas superfícies;
- ΔQ_A o fluxo de energia líquida por advecção (Calor latente ou sensível).

A Figura 03 ilustra as trocas de energia envolvidas na equação de balanço energético proposto por Oke. O autor esclarece também que para locais livres de trocas térmicas por advecção, em alguns casos como em densas áreas de ocupação e entorno homogêneo, a variável ΔQ_A pode ser desprezada. Salienta ainda que, não é aconselhável ignorar esta variável em áreas de ocupação não homogênea ou em áreas muito próximas à zona rural.

Figura 3: Esquema de balanço energético proposto por Oke



Fonte: adaptado de Oke (1987)

Durante o dia, a superfície terrestre recebe, predominantemente, radiação de comprimento de onda curta e, ainda, uma porção de radiação de comprimento de onda longa, emitida pelas nuvens e pela energia retida na atmosfera. No período noturno, a emissão de ondas longas pela superfície terrestre é dominante.

O balanço de energia, que ocorre nas trocas de calor entre superfície terrestre natural ou artificial e a atmosfera, resultam em alterações nas propriedades térmicas, aerodinâmicas, radiativas e de umidade do ar (LANDSBERG, 1981; OKE, 1987).

Krüger (2008) reforça que a relação das variáveis propostas na equação de Oke com fatores morfológicos e geométricos urbanos demonstra um importante vínculo com as estratégias de planejamento urbano. O autor destaca que, tradicionalmente, os estudos sobre clima urbano focaram-se em observar o fenômeno de ilha de calor urbana (ICU), comparando as temperaturas registradas no meio urbano e as observadas no espaço aberto ou rural circundante.

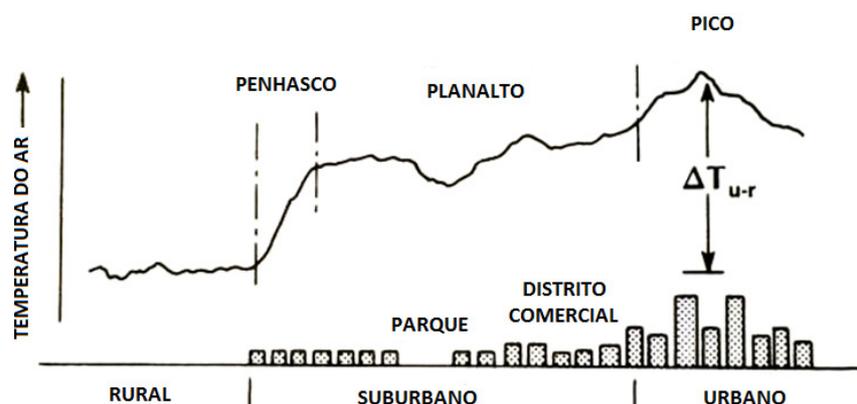
O fenômeno de ICU descrito pelo estudo de Luke Howard em 1820 (e já mencionado anteriormente) representava uma singela comparação entre as temperaturas do ar registradas na área rural e aquelas registradas na área urbana de Londres (LOKOSHCHENKO, 2014).

Para Oke (1987), o fenômeno de ilha de calor na camada de cobertura urbana é o efeito mais notório causado pelos fatores humanos e pela urbanização, sobre o equilíbrio energético. Como os centros urbanos concentram maior número de atividades e possuem maiores densidades construtivas, normalmente desenvolvem maiores temperaturas do ar, em relação às áreas rurais ou abertas circundantes, principalmente, no período noturno (em decorrência da radiação de ondas longas resultante do calor armazenado durante o dia).

Em analogia a um perfil geológico, a Figura 04 ilustra a representação de Oke para a alteração das temperaturas do ar em decorrência da ICU. Nela, as diferenças entre urbano e rural são representadas por zonas

microclimáticas, as quais o autor se refere como Penhasco, Planalto e Pico. A intensidade máxima da ICU representada pelo Pico é o valor que expressa a maior diferença entre as temperaturas registradas, simultaneamente, no meio urbano e no meio rural, ou em um espaço aberto na periferia circundante (OKE, 1987; MAHDAVI, 2014).

Figura 4: Perfil de temperatura típica do fenômeno de ilha de calor



Fonte: Adaptado de Oke (1987)

Os efeitos do surgimento de ICU causam diversos impactos sociais, econômicos e ambientais. Contribuir para a redução de dias quentes refletirá, conseqüentemente, numa redução do consumo energético, contribuindo também para melhora na saúde e qualidade de vida das populações (LANDSBERG, 1981).

Souza (2010) pesquisou a relação da intensidade de ilha de calor com o consumo de energia elétrica em uma cidade brasileira, e verificou aumento de 8,5% no consumo energético, na medida em que houve incremento de 1°C na intensidade máxima de ilha de calor no período de verão.

Alcançar um alto desempenho energético tem sido um dos grandes desafios da engenharia ambiental. As condições climáticas em locais abertos também influenciam as condições de temperatura e conforto no interior dos edifícios, refletindo diretamente no consumo de energia elétrica nas cidades (SHASHUA-BAR, TSIROS E HOFFMAN, 2012; WANG E AKBARI, 2014).

Pezzuto et. al. (2015) destacam a importância dos esforços para compreensão do clima urbano e suas relações com o entorno, como forma de torná-lo protagonista no planejamento.

Deste modo é essencial que os estudos aprofundem as investigações a respeito dos fatores climáticos locais, associados ao desenho das cidades e aos parâmetros do entorno urbano, que exercem influência sobre microclima.

2.1 Mapeamento do clima urbano e sistemas de informação geográfica

Por possuírem diferentes condições topográficas, ecológicas, morfológicas e sinóticas, as cidades experimentam complexas interações entre as massas de ar intraurbano. Contudo, as áreas urbanizadas apresentam padrões que podem ser agrupados e mapeados. Esse tipo de mapeamento térmico microclimático vem se transformando em uma importante ferramenta no planejamento urbano (HEBBERT, 2014).

A grande variedade de tipologias urbanas, aliada à dificuldade em distinguir rural/urbano/suburbano ao redor do mundo, estabelece, no entanto, limitações científicas para identificação, mapeamento e classificação de zonas microclimáticas.

Nesse sentido, Stewart e Oke (2012) propuseram uma metodologia para classificação da paisagem em uma divisão lógica, as quais chamaram de "*Local climate zones*" ou zonas de clima local (LCZs). Uma LCZ é configurada por uma porção ou região, de ocupação, superfície, atividade e materiais (naturais ou artificiais) uniformes, que desenvolvem padrões de temperaturas e comportamento térmicos característicos. Aqueles autores classificaram a paisagem em dezessete LCZs padrão, divididas em dez tipologias construtivas, e, seis tipos de cobertura do solo.

Outros esforços tem se concentrado no desenvolvimento de mapas climáticos urbanos (Urban Climate Maps - UCMAP). Os UCMAP são plataformas de informações climáticas e ambientais, e, que vem introduzindo novos conceitos na criação de ferramentas e estratégias de planejamento urbano sustentável, estabelecendo desafios tecnológicos e colaborativos entre urbanistas e climatologistas (ASSIS ET. AL., 2015; XIAODONG, 2015).

Martins, Bonhomme e Adolphe (2013) destacam a importância da criação de instrumentos de planejamento e controle urbano, baseadas em padrões que se adaptem ao contexto de cada localidade, em busca de uma maior qualidade ambiental das cidades.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são um desses instrumentos que têm sido abertamente empregados no desenvolvimento de ferramentas e métodos para planejamento territorial, com possibilidade de incorporação de modelos de previsão e criação de UCMaP. Estes mapas temáticos podem ser traduzidos em mapas de dados, por meio de métodos multicritérios, para aplicação direta em planos de ação e estratégias de planejamento urbano (STEWART E JANSSEN, 2014).

Um SIG integra diversas tecnologias, reunidas em conjuntos de ferramentas, que são capazes de armazenar e processar dados espaciais e quaisquer outros conjuntos de dados a eles vinculados ou atribuídos. A aplicação desta ferramenta permite um maior controle e reconhecimento dos parâmetros locais e regionais, bem como, maior controle sobre a aquisição, integração, transformação e emissão de dados (STEINIGER E HUNTE, 2013; SILVA et. al. 2004).

2.2 Modelos de análise e redes neurais artificiais

Outro instrumento a ser destacado para análise de dados ambientais são as Redes Neurais Artificiais (RNA), que foram concebidas com base na fisiologia do cérebro humano e podem reproduzir, através de técnicas computacionais, o comportamento de qualquer função matemática (SILVA ET. AL. 2004).

As RNA são uma subárea da Inteligência Artificial (IA) e pertencem à classe de aprendizagem mecânica, simulando o comportamento do cérebro humano de erro, aprendizado e descoberta.

Cada vez mais importante, devido à larga utilização em várias áreas do conhecimento, as RNAs têm sido amplamente utilizadas para criar modelos de relações não lineares entre variáveis previamente conhecidas ou não, envolvidas em processos e fenômenos (YASSIN, ALAZBA E MATTAR, 2016).

Capazes de processar grandes conjuntos de dados complexos, as RNAs são geralmente compostas por camadas de entrada de dados (*input*), camadas ocultas e camadas de saída de dados (*output*) (HANIEF E WANI, 2015).

Ainda pouco explorada na climatologia urbana, as RNAs têm, entretanto, sido utilizadas com sucesso para prever dados climáticos, tais como: potencial de evapotranspiração; temperatura do ar; umidade relativa; horas de insolação; dentre outras variáveis, como velocidade do vento e precipitações. Modelos matemáticos criados a partir de RNA podem apresentar melhores resultados do que os tradicionais modelos de regressão (PATEL E JHA, 2014; EL-SHAFIE ET. AL, 2014).

3. PARÂMETROS DO ENTORNO URBANO E MICROCLIMA

A geometria urbana é um dos fatores mais significativos na alteração do microclima. O clima urbano também pode ser associado a fatores morfológicos, como, o tamanho das cidades, a forma e altura das edificações, o fator de visão de céu, a orientação das vias e as características térmicas dos materiais artificiais. Na medida em que aquela morfologia urbana é modificada, o comportamento térmico dos espaços também é alterado (BOURBIA E BOUCHERIBA, 2010; SOUZA 2010).

Dentre os parâmetros associados à morfologia urbana e que exercem influência sobre o microclima dos espaços abertos, podem ser listados:

- Massa construída;
- Fator de visão do céu;
- Vegetação Urbana;
- Revestimento do solo urbano;

3.1 Massa Construída

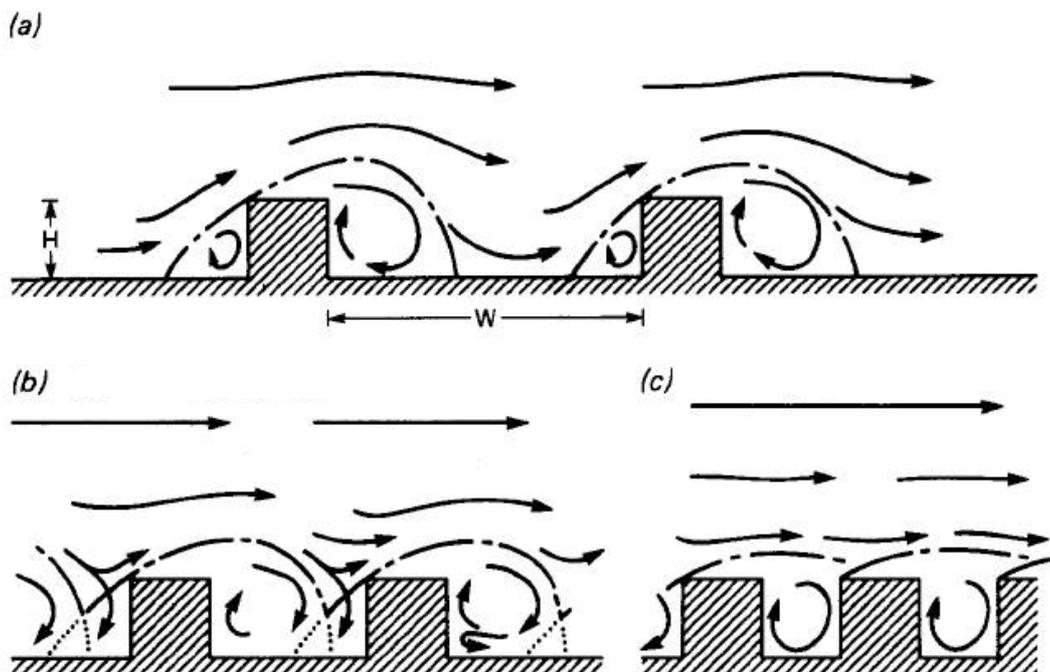
Os fatores climáticos locais ligados à conformação dos espaços das cidades podem ser relacionados a parâmetros de caracterização do entorno urbano a partir de índices urbanísticos, como, por exemplo, o coeficiente de ocupação do solo (CO), o coeficiente de vegetação e arborização urbana (CVU) e o coeficiente de cobertura do solo (CCS).

A disposição espacial dos elementos urbanos também está diretamente ligada às tendências de ventilação intraurbana. As orientações dos cânions urbanos podem canalizar o vento, aumentando sua velocidade, como também, servir de barreiras, dificultando a dispersão de poluentes e massas de ar.

A morfologia urbana e os índices de massa construída estão diretamente ligados à alteração do microclima dentro dos cânions urbanos. A densidade e a altura das edificações podem alterar a temperatura do ar no nível do solo, a velocidade dos ventos e conseqüentemente o balanço energético (OKE, 1987; ROSSI, KRÜGER E NIKOLOPOULOU, 2011).

A Figura 05 ilustra possíveis variações no fluxo do vento, em função da massa construída.

Figura 5: Fluxo dos ventos associados a diferentes geometrias urbanas



Fonte: Adaptado de Oke (1987)

A rugosidade do solo exerce importante função, ao influenciar e alterar as condições do vento dentro dos cânions urbanos. Afetando a quantidade de ventilação natural, a rugosidade é definida pela área de ocupação do solo e a variação na altura dos edifícios (LAMENHA ET AL., 2014).

Áreas com maiores índices de massa construída e maior área pavimentada e impermeável, tendem a acumular mais calor durante o dia. Rocha et al. (2011) ressaltaram a importância do equilíbrio entre ocupação do solo e as demais variáveis climáticas urbanas.

Souza, Nakata e Marques (2010) investigaram a relação entre temperatura do ar e a geometria urbana e encontraram correlação entre o coeficiente de aproveitamento e o aumento das temperaturas máximas e mínimas, destacando que há a necessidade de maiores investigações sobre o tema.

Em um estudo realizado em um campus universitário brasileiro, Silva et al. (2013) identificaram maior intensidade de ilha de calor noturna em meio às áreas mais edificadas em residências estudantis.

Os índices de massa construída estão intrinsecamente ligados ao fator de visão de céu (área de céu visível a partir de um ponto urbano) e a relação H/W (razão entre a altura das edificações e a largura do cânion urbano), posto que, configurações urbanas semelhantes podem produzir diferentes valores de FVC, produzindo diferentes efeitos sobre o microclima.

3.3 Fator de Visão do Céu (FVC)

Rocha e Souza (2011) relatam que o conforto térmico urbano é resultado de um difícil equilíbrio entre a ocupação do solo e a obstrução do céu, causada pela relação entre a altura dos edifícios e a largura das vias.

Aquelas autoras ressaltam que baixa densidade e baixa altura das edificações podem implicar em maiores temperaturas do ar durante o dia, devido a um maior acesso à radiação solar. Porém, durante a noite, esses espaços passam a se resfriar a um ritmo mais acelerado; enquanto altas densidades e a verticalização podem contribuir para o conforto durante o dia, fornecendo sombra. No entanto, durante a noite esse tipo de ocupação apresenta maior dificuldade para a dispersão do calor acumulado pelas superfícies.

Em seu experimento pioneiro Oke (1987) estudou várias configurações de H/W em modelos reduzidos, em uma câmara fechada com temperatura controlada. O autor verificou que a intensidade máxima de ilha de calor em cânions urbanos está diretamente relacionada à razão entre altura dos edifícios e a largura das vias.

Importante elemento para o equilíbrio térmico, o céu é essencial para as trocas de calor e para dispersão de ondas longas emitidas pelas superfícies e fachadas durante a noite. Mesmo após o sol se pôr, o céu pode continuar irradiando ondas longas para a terra por um curto intervalo de tempo. Após esse período de transição, a abóboda celeste apresenta taxas de radiação

negativas, passando a ser naturalmente mais fria do que a camada terrestre (OKE, 1973).

O fator de visão de céu é uma razão aritmética entre zero e um, que pode ser obtido por métodos analíticos, fotográficos ou topográficos. É extraído a partir de um ponto na altura do observador e representa a faixa de céu disponível para trocas térmicas em relação ao limite de céu obstruído por qualquer elemento físico, natural (vegetação) ou artificial (edifícios) (MATZARAKIS, RUTZ E MAYER, 2009; MINELLA, ROSSI E KRÜGER, 2009).

Durante o dia, um baixo valor de FVC pode propiciar menores temperaturas das superfícies e, conseqüentemente, do ar, em decorrência da menor incidência da radiação solar direta. Porém, durante a noite, esses locais enfrentam maior dificuldade na dispersão de ondas longas durante a troca de calor com o céu, afetando as trocas térmicas e contribuindo para o surgimento do fenômeno da ilha de calor (SOUZA et al., 2010).

3.4 Vegetação urbana

Um notável elemento regulador das temperaturas no meio urbano, a vegetação fornece sombra, evitando o ganho de calor para as superfícies, e promove arrefecimento evapotranspirativo, ao transformar calor sensível em calor latente, no processo de transpiração das folhas.

A vegetação absorve parte da radiação solar e tem comportamento diferente para diferentes comprimentos de onda. Pode ainda atenuar os efeitos de aquecimento causados pela incidência direta da radiação solar nas superfícies e fachadas (LÓIS, LABAKI e SANTOS, 2011).

Por possuírem calor específico mais alto que os materiais artificiais, as árvores contribuem para o aumento das taxas de umidade do ar, auxiliando também na melhora do desempenho energético e favorecendo a ventilação natural para as edificações e passeios (ROSSI, KRÜGER E NIKOLOPOULOU, 2011; YU E HIEN, 2006).

O efeito do resfriamento evapotranspirativo e da sombra afetam diretamente a sensação de conforto nos espaços abertos (SHASHUA-BAR, TSIROS E HOFFMAN, 2012).

Sabbag e Fontes (2014) constataram, em um estudo realizado em um campus universitário na cidade de Bauru, SP, a importância do sombreamento arbóreo para a percepção do conforto térmico dos usuários dos espaços abertos, dos locais de passagem e permanência da universidade.

O arrefecimento evapotranspirativo durante o dia em áreas vegetadas muito densas pode, no entanto, em determinadas épocas do ano, em função da variação sazonal, dificultar a dispersão de ondas longas no período noturno, diminuindo a amplitude térmica desses locais (ZHANG ET AL., 2014; PEZZUTO ET. AL. 2014).

Além de contribuir para a qualidade do microclima, as vegetações também contribuem para a melhora da qualidade do ar, absorvendo partículas suspensas no ar e reduzindo as taxas de poluição atmosférica. O grau de influência da vegetação sobre o clima intraurbano sofre variação de acordo com o tipo, a idade e o porte das árvores, além dos efeitos sazonais de cada época do ano e a própria distribuição espacial e o arranjo paisagístico (ABREU E LABAKI, 2010; BARBOSA ET. AL. 2015).

A cerca do arranjo paisagístico, Hien e Jusuf (2010) constataram, em um estudo realizado em Singapura, que a presença de maciços de vegetação tende a ser termicamente mais eficiente, ao proporcionar resfriamento evapotranspirativo para o clima local, do que as árvores espaçadas no alinhamento dos passeios e vias.

Yan et al. (2014), em um estudo realizado no parque olímpico de Pequim, China, analisou a influência de um parque de reflorestamento urbano, verificando que a temperatura do ar aumenta gradativamente, à medida que um ponto se afasta da área florestada.

O coeficiente de vegetação urbana (CVU) é comumente utilizado para quantificar a presença de vegetação sobre determinada área ou região da

cidade. É um coeficiente que representa a razão entre a área total da copa das árvores e arbustos projetados sobre o solo em relação à área não vegetada.

3.5 Revestimentos do solo urbano

As características de cobertura do solo são importantes fatores a influenciar o comportamento do clima nas cidades. É devido à grande variedade das formas de adensamento e ocupação, que, em função da grande complexidade das interações térmicas entre os elementos da paisagem urbana, o clima passa a assumir a microescala.

As coberturas das superfícies exercem papel direto na alteração da temperatura do ar. As superfícies naturais (permeáveis) ou vegetadas possuem menor potencial de armazenamento térmico e são em geral mais frias que as superfícies impermeabilizadas e artificiais (YAN ET AL., 2014).

A capacidade de refletir ou absorver a parte da radiação solar em materiais opacos está relacionado à sua cor e textura (CASTRO et. al. 2003).

O índice de refletância do solo (albedo) está de certa forma associado às cores e aos tipos de revestimentos artificiais e naturais do meio urbano, determinando a capacidade de armazenar ou refletir a radiação solar. Ainda que as cores não sejam a característica mais precisa para distinguir o albedo, como demonstra Dornelles (2008), em geral, materiais escuros, como pavimento asfálticos, têm maior capacidade de armazenamento térmico, liberando também calor mais lentamente durante a noite (WANG E AKBARI, 2014).

Rocha, Souza e Castilho (2010) concluíram, em um estudo realizado na cidade de São José do Rio Preto, SP, que para o clima daquela cidade, as taxas de permeabilidade do solo e as áreas vegetadas estavam correlacionadas negativamente com a temperatura do ar, além de contribuírem para o aumento das taxas de umidade do ar.

Em outro estudo para a mesma cidade, Masiero e Souza (2012) avaliaram a influência da cobertura por corpos d'água, nos arredores da represa municipal. Os autores verificaram que, na medida em que um ponto se

afasta do corpo d'água e se aproxima da área urbana edificada, a amplitude térmica nestes pontos tende a aumentar.

Vasconcelos (2014) investigou a influência dos índices urbanísticos de coeficiente de ocupação (CO), coeficiente de aproveitamento (CA) e coeficiente de cobertura vegetal urbana (CVU) para o ambiente térmico da cidade de São Carlos, SP. O autor verificou que para o clima local, o CA e o CVU exerceram um papel mais significativo ao influenciar a temperatura do ar, do que o CO.

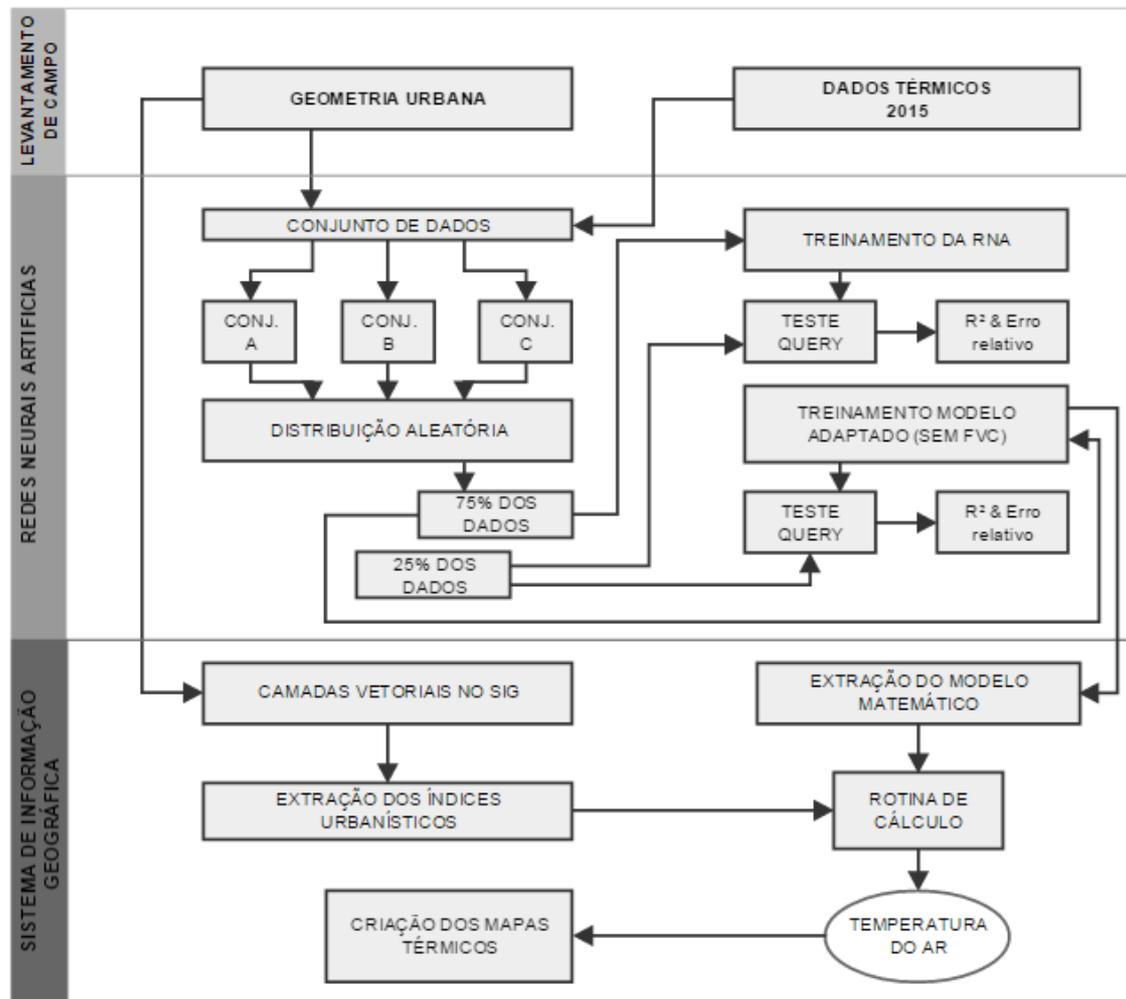
O mesmo autor verificou ainda o papel da absorvância e refletância das superfícies urbanas como um índice urbanístico e constatou a influência térmica dessa propriedade dos materiais, ressaltando a necessidade e importância de maior aprofundamento sobre o tema para aplicação no planejamento urbano.

Andreou (2010), no entanto, afirma que a refletância do solo, reduzida devido à textura urbana, é mais suscetível a afetar a temperatura na mesoescala do que na microescala. Esse ressalta ainda que a geometria urbana afeta mais a temperatura da microescala, do que as propriedades dos materiais e o albedo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado nesta pesquisa foi inicialmente baseado nos apontamentos da revisão bibliográfica e de maneira sucinta pode ser descrito e organizado de acordo com a Figura 6.

Figura 6: Fluxograma metodológico



Para averiguar o ambiente térmico do universo amostral cinco campanhas de coleta de dados micrometeorológicos foram feitas com equipamentos especializados e adequados para o levantamento de dados a respeito da temperatura do ar.

A caracterização da morfologia urbana foi obtida pela parametrização de índices urbanísticos, extraídos graficamente com método de sobreposição de imagens de satélite, com auxílio de um programa computacional de Sistemas de Informações Geográficas Quantum GIS 2.4 (QGIS).

O Fator de Visão do Céu (FVC) também foi utilizado como parâmetro para caracterização do entorno urbano.

Após o tratamento em planilhas digitais, o *software EasyNN+*¹ foi utilizado para desenvolvimento de Redes Neurais Artificiais (RNA), que fossem capazes de descrever a temperatura do ar a partir de índices urbanísticos do entorno. Após adequação do modelo e identificação de sua equação, o modelo foi incorporado ao QGIS através do desenvolvimento de um algoritmo de cálculo para a criação de mapas temáticos para o *Campus* da UFSCar.

Por último, os mapas temáticos permitiram ainda a proposição de uma classificação térmica de toda a área do Campus.

4.1 Local de aplicação do estudo

A cidade de São Carlos está localizada na região central do Estado de São Paulo, a cerca de 220 km de distância da capital. Está situada sob as coordenadas 47°30' e 48°30' longitude Oeste e 21°30' e 22°30' Latitude Sul, entre as altitudes de 560 e 1.000, com média de 856 metros de altitude.

O município está inserido na Bacia Hidrográfica dos rios Tiête-Jacaré e Mogi-Guaçu, com bioma caracterizado pela presença predominante de Cerrado. A Figura 06 mostra a localização do município de São Carlos.

Com temperaturas médias anuais de 19,6° C, São Carlos pertence à zona bioclimática brasileira nº 04 (NBR 15.220), com clima tropical de altitude, caracterizado principalmente por verão chuvoso e inverno seco. A sede do município de São Carlos possui a malha urbana bastante heterogênea, com maior verticalização das edificações no centro urbano, e predominância de edificações térreas nos bairros periféricos.

Para avaliar o ambiente térmico, o *Campus* da UFSCar foi escolhido como recorte amostral de fração urbana. Esse campus foi fundado a mais de quarenta anos e conta com uma extensa área de mais de 640 hectares na área periurbana, sendo muito arborizada e com predominância de edificações de

¹ Gentilmente disponibilizado pelo Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

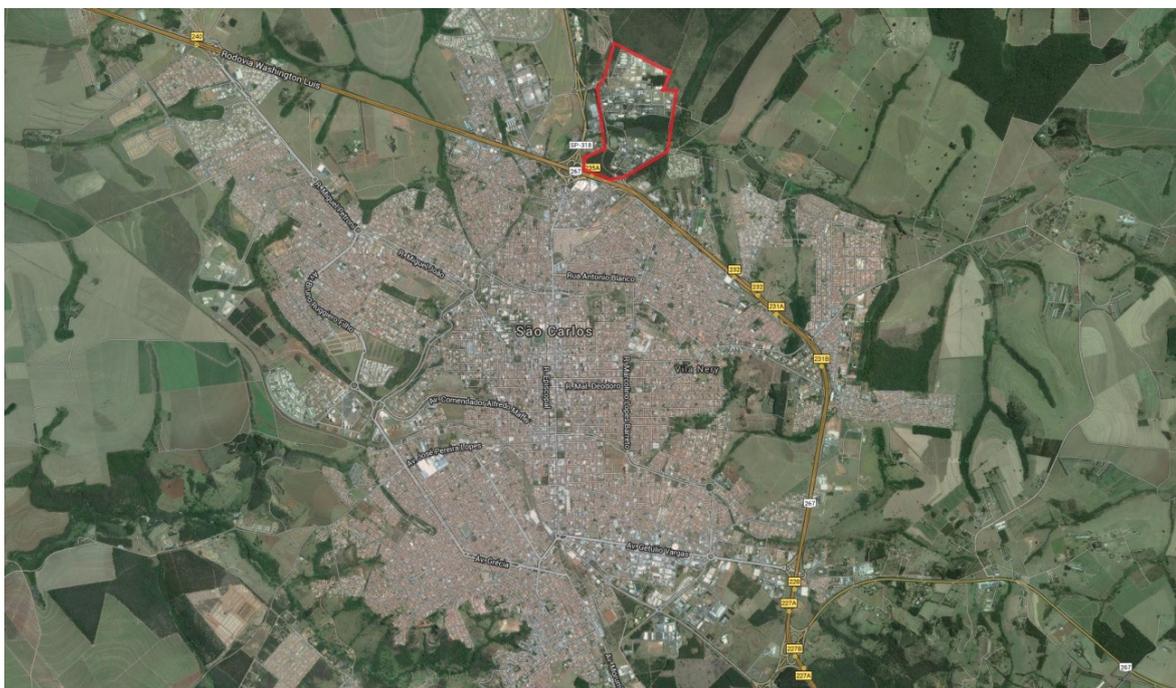
média altura. Nessa área encontram-se distribuídos mais de 105 mil m² de área construída, abrigando atividades acadêmicas de mais de dez mil alunos.

O campus apresenta vegetação abundante, com alguns maciços de reflorestamento localizados, além de uma área de preservação de Cerrado. Ao Sul concentra os cursos da área de humanas, parte da área institucional, os alojamentos estudantis e as áreas esportivas. Por ser mais antiga essa área tem vegetação densa e adulta, e predominância de edifícios térreos.

A área Norte é caracterizada por concentrar os cursos nas áreas da saúde, exatas e biológicas. Por ser relativamente mais nova e estar em constante expansão, essa área possui a arborização mais escassa e com pequeno porte, com predominância de edifícios de até três pavimentos.

As Figuras 07 e 08 mostram a localização da UFSCar (em vermelho) e uma vista panorâmica, respectivamente.

Figura 7: Localização do campus da Universidade Federal de São Carlos



Fonte: Adaptado do Google Maps (2015)

Figura 8: Vista panorâmica do Campus



Fonte: http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/6659-ufscar-abre-vagas-para-professor-adjunto-de-mecanica

4.2 Pontos de Coleta dos dados térmicos

As campanhas para coleta dos dados térmicos foram realizadas em cinco etapas durante os anos de 2014 e 2015, em função da abordagem metodológica utilizada para análise dos dados e em função das características urbanas a serem investigadas.

A primeira campanha foi direcionada para investigar a influência térmica da vegetação sobre o fator de visão de céu e o desenvolvimento de ilha de calor noturno. As demais campanhas foram direcionadas a investigar a influência térmica dos índices urbanísticos em relação à temperatura do ar e ao comportamento microclimático nos períodos diurno e noturno.

Ao longo das campanhas de coleta de dados térmicos, foram selecionados diferentes pontos amostrais dentro da UFSCar. Os pontos de coleta levaram em conta diferentes situações de ocupação urbana, para os quais foram elencados os seguintes critérios para escolha:

- Locais de passagem de pedestre com vegetação arbórea;
- Locais de passagem de pedestre com vegetação arbustiva e rasteira;
- Locais de passagem de pedestre descampado e sem vegetação;
- Locais de permanência com vegetação arbórea;
- Locais de permanência descampados e sem vegetação;
- Locais de passagem de pedestre em vias com edificação e vegetação;

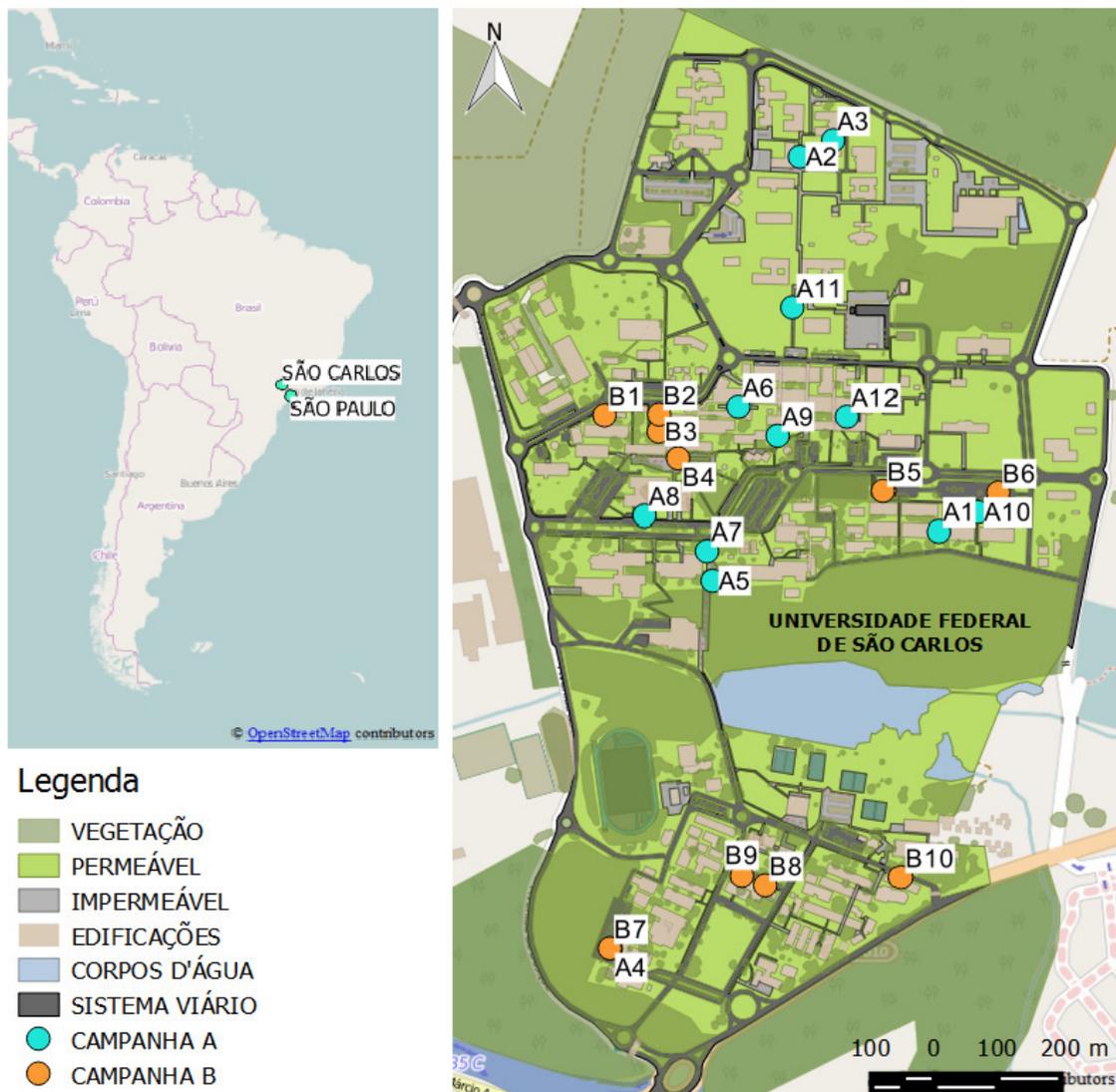
- Locais de passagem de pedestre em vias com edificações e sem vegetação;

Simultaneamente à coleta de dados micrometeorológicos, foram obtidas imagens do satélite GOES e dados climáticos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada dentro da UFSCar. Foram também acompanhados os boletins meteorológicos de análise sinótica disponibilizada pelo CPTEC - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Em função das características climáticas observadas e também por problemas técnicos enfrentados durante três das cinco campanhas, foram selecionadas para análise apenas as campanhas A e B, pois, possuíam as características ideais descritas na revisão bibliográfica para dias típicos de céu claro, vento calmo, e sem a presença da passagem de massas de ar.

A Figura 9 apresenta a localização dos pontos de coleta de dados térmicos durante as das campanhas A e B, realizadas entre os meses de Julho a Agosto de 2015, e Maio e Julho de 2014 respectivamente.

Figura 9: Localização dos pontos de medição térmica nas duas campanhas



4.3 Instrumentos de coleta de dados micrometeorológicos

Para levantar os dados horários do ambiente térmico da UFSCar, foram utilizados instrumentos HOBO Pro V2 U23-001, com faixa de operação entre -40° a 70° C, com índice de precisão de 0,2° C acima de 0° C até 50° C e resolução de 0,02 °C a 25 °C, fixados em postes de iluminação a 2,5 metros do solo, devidamente equipados com escudos para proteção da radiação solar direta.

Para evitar possíveis interferências de fontes luminosas de calor durante o período noturno, foi utilizada uma cobertura extra com material metálico reflexivo (Figura 10).

Figura 10: Sensor HOBO Pro V2 U23-001



Sensor digital com data-logger



Equipamento instalado



Escudo solar

Fonte: Debiazi e Souza (2014)

Os dados obtidos da estação meteorológica do INMET, localizada dentro da UFSCar, foram utilizados como referência para temperaturas registradas em áreas abertas. A estação do INMET é uma estação de monitoramento automático, que registra dados de temperatura do ar, umidade relativa, e insolação, integrando 12 dados amostrais registrados a cada 05 segundos, e disponibilizando de hora em hora (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO).

4.4 Análise atmosférica

Simultaneamente às campanhas micrometeorológicas, imagens do satélite GOES foram obtidas para ajudar a investigar a influência das passagens de massas de ar atmosférico sobre a temperatura do ar na camada de cobertura urbana. As imagens coletadas correspondem ao horário das quinze horas, normalmente representando o pico de maior intensidade de temperaturas do ar na superfície (Anexo A).

As imagens foram então analisadas, juntamente com os dados de umidade, nebulosidade e velocidade dos ventos, fornecidos pela estação do INMET, e também com os boletins sinóticos mensais, fornecidos pelo CEPTEC – INPE. Essas ajudaram a efetuar o recorte amostral dos dias típicos de céu claro, vento calmo e umidade estável.

Após essa análise atmosférica e meteorológica, foram recortados para tratamento estatístico apenas os dados referentes a campanha A, para às horas dos dias de céu claro, sem a influência da passagem de massas de ar,

com nebulosidade abaixo de 0,5 décimos, ventos abaixo de 0,3 m/s e com mais de 1,5° C de diferença entre os pontos de coleta, para o período os períodos diurno e noturno (Apêndice A e B).

4.5 Inserção dos dados em uma plataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Os dados micrometeorológicos e os dados acerca da geometria urbana foram inseridos em uma plataforma de Sistema de Informações Geográficas, para obtenção dos índices urbanísticos, análises estatísticas e a criação de mapas temáticos.

O Programa computacional *Quantum GIS versão 2.6.1-Brighton* (Qgis) foi escolhido para esta pesquisa, por ser um *software* livre e *Open Source* (código aberto), que possibilita a criação de ferramentas, com maior controle sobre as operações realizadas. Além disso, utilizou-se o *Open Street Map (OPM)*, que é uma base de dados geográficos livre, que disponibiliza mapas e ferramentas para integração com o Qgis.

Os dados da caracterização urbana foram inseridos através de camadas vetoriais poligonais (*polygons*), obtidos por meio de observação gráfica sobre imagens de satélite, fornecidas pela base de dados OPM. Foi criada então uma base de dados para armazenar registros sobre a localização geográfica das edificações, cobertura arbórea ou arbustiva e o tipo de cobertura do solo.

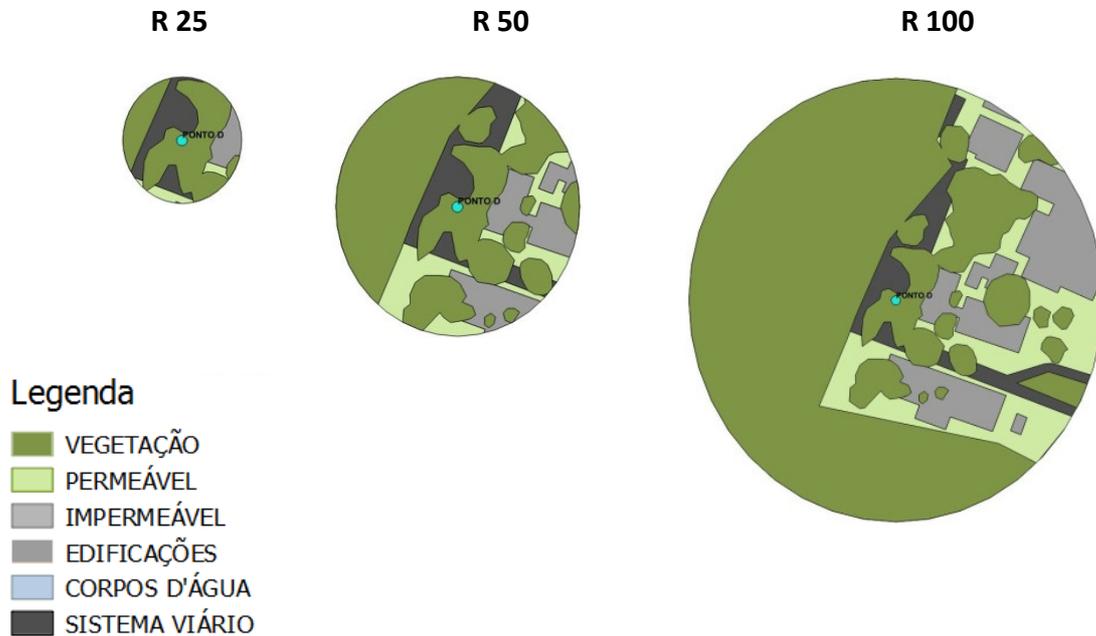
Os dados climatológicos foram inseridos por camadas vetoriais do tipo ponto (*point*), que armazenam informações geográficas de latitude, longitude e registros sobre temperatura do ar e umidade relativa, separados em dois períodos de doze horas, de acordo com o recorte amostral.

4.6 Obtenção dos índices urbanísticos

Para a caracterização do entorno urbano da UFSCar foram extraídos índices urbanísticos, a respeito da massa construída, vegetação urbana e a cobertura do solo, em três escalas de abrangência, para raios de 25, 50 e 100 metros ao redor dos pontos de coleta de dados térmicos (Figura 11). A escolha dos raios de abrangência visou verificar qual raio melhor representa a

morfologia urbana, e ainda, verificar o limite de influência de cada parâmetro urbanístico sobre a temperatura do ar.

Figura 11: Exemplo dos raios de abrangência para extração dos índices urbanísticos



4.6.1 Massa construída

Para caracterizar a geometria urbana de acordo com a massa construída, foi extraído o Coeficiente de Ocupação do Solo (CO), obtido pela Equação 3.

Equação 3

$$CO = \frac{\text{Área ocupada por edifícios}}{\text{Área total do raio de abrangência}}$$

4.6.2 Vegetação urbana

O Coeficiente de Vegetação Urbana (CVU) foi utilizado para quantificar o valor da área do solo coberta por vegetação arbórea ou arbustiva, em relação à área do solo não vegetada. O CVU foi então expresso pela Equação 5.

Equação 5

$$CVU = \frac{\text{Área com vegetação}}{\text{Área total do raio de abrangência}}$$

4.6.3 Revestimento do solo

O Coeficiente de Cobertura do Solo (CCS) foi extraído para quantificar o tipo de revestimento do solo, separando as áreas por características de permeabilidade. CCS P, quantificou as áreas naturais e permeáveis, e, CCS I, quantificou as áreas impermeáveis e artificiais.

Estes índices foram expressos pelas Equações 5 e 6.

Equação 5

$$CCS P = \frac{\text{Área livre permeável}}{\text{Área total do raio de abrangência}}$$

e

Equação 6

$$CCS I = \frac{\text{Área livre impermeável}}{\text{Área total do raio de abrangência}}$$

4.6.4 Fator de visão de céu

Também foram obtidos os valores do Fator de Visão de Céu dos pontos estudados. Para isso, uma câmera digital equipada com lente tipo olho de peixe com ângulo de visão de 180° (Figura 12) foi utilizada. A câmera digital foi disposta a 1,50 metros do solo na posição do observador, normalmente posicionada em pontos no meio das quadras ou no centro geométrico dos passeios e áreas abertas investigadas.

Figura 12: Câmera equipada com lente tipo olho de peixe de 180°



As fotografias foram obtidas com auxílio de uma bússola e um tripé fotográfico, equipados com niveladores para evitar possíveis interferências de deslocamentos horizontais causados pela inclinação da câmera.

Posteriormente as imagens foram tratadas digitalmente em preto e branco, rotacionadas e posicionadas em relação ao Norte verdadeiro. Em seguida foram submetidas ao programa computacional RAYMAN 1.2, para cálculo dos valores de FVC.

4.6.5 Caracterização urbana

A tabela 01 mostra a síntese das informações sobre a caracterização do design urbano nos locais das duas campanhas de coleta de dados térmicos.

Tabela 1: Caracterização do design urbano

	PONTO	FVC	25 METROS				50 METROS				100 METROS			
			CO	CVU	CCS P	CCS I	CO	CVU	CCS P	CCS I	CO	CVU	CCS P	CCS I
CAMPANHA A	A1	0.32	0.46	0.16	0.54	0.01	0.41	0.26	0.51	0.09	0.21	0.35	0.57	0.22
	A2	0.58	0.43	0.01	0.32	0.23	0.38	0.00	0.47	0.16	0.27	0.01	0.56	0.18
	A3	0.47	0.55	0.01	0.41	0.04	0.44	0.01	0.51	0.06	0.24	0.08	0.50	0.18
	A4	0.18	0.15	0.63	0.17	0.69	0.18	0.65	0.51	0.31	0.14	0.71	0.74	0.13
	A5	0.22	0.02	0.65	0.45	0.51	0.20	0.54	0.63	0.19	0.18	0.53	0.65	0.18
	A6	0.65	0.58	0.03	0.24	0.17	0.48	0.08	0.42	0.12	0.37	0.11	0.54	0.09
	A7	0.53	0.12	0.42	0.62	0.26	0.17	0.37	0.51	0.33	0.16	0.45	0.58	0.25
	A8	0.56	0.21	0.14	0.43	0.35	0.29	0.16	0.42	0.30	0.26	0.26	0.41	0.30
	A9	0.32	0.38	0.18	0.51	0.09	0.30	0.21	0.52	0.19	0.32	0.24	0.46	0.22
	A10	0.28	0.44	0.06	0.37	0.19	0.41	0.09	0.29	0.31	0.17	0.18	0.56	0.27
	A11	0.81	0.01	0.01	0.86	0.13	0.14	0.00	0.78	0.09	0.12	0.03	0.49	0.11
	A12	0.62	0.69	0.01	0.29	0.02	0.45	0.15	0.48	0.07	0.30	0.17	0.46	0.23
CAMPANHA B	B1	0.29	0.44	0.36	0.21	0.19	0.25	0.23	0.49	0.28	0.23	0.25	0.47	0.30
	B2	0.21	0.35	0.57	0.10	0.60	0.21	0.41	0.38	0.42	0.28	0.25	0.44	0.30
	B3	0.50	0.49	0.35	0.17	0.61	0.31	0.43	0.38	0.31	0.32	0.26	0.39	0.32
	B4	0.21	0.17	0.59	0.35	0.42	0.39	0.33	0.35	0.34	0.31	0.30	0.45	0.27
	B5	0.28	0.35	0.57	0.10	0.34	0.17	0.33	0.43	0.41	0.20	0.28	0.52	0.29
	B6	0.69	0.22	0.75	0.04	0.15	0.15	0.11	0.42	0.45	0.15	0.05	0.58	0.28
	B7	0.18	0.18	0.71	0.13	0.64	0.17	0.66	0.53	0.31	0.14	0.71	0.74	0.13
	B8	0.34	0.38	0.28	0.35	0.28	0.23	0.30	0.53	0.25	0.21	0.23	0.56	0.24
	B9	0.51	0.40	0.30	0.31	0.33	0.22	0.25	0.52	0.27	0.23	0.22	0.54	0.24
	B10	0.45	0.45	0.19	0.37	0.21	0.32	0.19	0.52	0.17	0.24	0.32	0.47	0.19

4.7 Redes Neurais Artificiais

Um programa computacional de Redes Neurais Artificiais, o EasyNN² foi utilizado para averiguar a importância relativa dos parâmetros do entorno urbano sobre o ambiente térmico.

Dados térmicos da campanha A foram utilizados para a criação das RNA por apresentar um número efetivamente maior de amostras, tornando o treinamento das redes estatisticamente mais confiável.

² Gentilmente disponibilizado pelo Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

Os índices urbanísticos e as horas do dia corresponderam ao campo Input (entrada de dados), e os dados sobre temperatura do ar corresponderam ao output (saída de dados).

Após a distribuição aleatória, 50% desses dados foram destinados para o treinamento das redes, 25% foi destinada a validação do modelo pelo próprio software. O restante de 25% foi utilizado para teste Query e análise de correlação.

Foram treinadas três redes, com diferentes conjuntos de dados para cada raio de abrangência (25, 50 e 100 metros), para os períodos do Dia (06h00min às 17h00min) e Noite (18h00min às 05h00min), num total de dezoito redes. Os valores do coeficiente de correlação (R) e a média dos valores de erros foram utilizados para verificar o desempenho e a adequabilidade dos modelos treinados.

Após a análise correlação e erro, a rede com melhor desempenho para o dia e para noite foi selecionada para a simulação e aplicação do modelo para outros pontos dentro do *campus*. Os dados da campanha B foram então distribuídos aleatoriamente e foram utilizados para o teste de validação do modelo escolhido.

4.8 Desenvolvimento de mapas temáticos

Dentro da plataforma QGIS, foi ainda incorporado o modelo desenvolvido por RNA para previsão da temperatura do ar por todo o *Campus*. Nesse caso, foi necessário desenvolver um algoritmo de cálculo dentro da plataforma QGIS, utilizando-se das ferramentas disponíveis naquele software. Optou-se por apresentar esse procedimento detalhadamente junto aos resultados, no item 5.7, para que fossem melhor associadas as operações e as finalidades.

Posteriormente, com base nos mapas, foi possível fazer uma proposta de classificação microclimática do potencial térmico de todo o campus, adotando-se uma divisão em células octogonais (como pode ser visto em detalhes no capítulo 6).

5.0 ANÁLISE DO USO DAS RNA'S E DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Este capítulo apresenta os resultados das análises sobre a relação entre a temperatura do ar e parâmetros do entorno urbano, a partir da análise dos dados térmicos obtidos nas campanhas de coleta de dados e o uso de RNA's.

5.1 Desempenho das Redes Neurais Artificiais

Para cada raio de abrangência, três conjuntos de dados aleatórios foram treinados dentro do programa computacional EasyNN+³, totalizando a criação de dezoito redes. Após a fase de treinamento dos dados, foi realizado o teste *Query* para todas as redes. Foram também analisados os erros e o coeficiente de correlação entre dados reais e simulados.

Todas as redes treinadas apresentaram desempenho similar nos testes de erro e correlação entre as temperaturas reais e aquelas simuladas. Foram então separadas as redes mais precisas⁴ para cada raio de abrangência. A Tabela 2 mostra o resultado do teste de correlação, os erros relativos, médios e máximos, das redes escolhidas para a segunda etapa da análise de dados a respeito da contribuição relativa dos parâmetros urbanos sobre a temperatura do ar.

Tabela 2: Resultado da análise de correlação e erro relativo das redes treinadas e escolhidas

25 METROS					
	CORRELAÇÃO	ERRO RELATIVO	ERRO RELATIVO MÁX	ERRO MÉDIO	ERRO MÁXIMO
DIA	0.92	8%	43%	1.59	6.14
NOITE	0.75	8%	47%	1.23	5.98
50 METROS					
	CORRELAÇÃO	ERRO RELATIVO	ERRO RELATIVO MÁX	ERRO MÉDIO	ERRO MÁXIMO
DIA	0.91	9%	51%	1.56	5.8
NOITE	0.74	9%	39%	1.43	6.18
100 METROS					
	CORRELAÇÃO	ERRO RELATIVO	ERRO RELATIVO MÁX	ERRO MÉDIO	ERRO MÁXIMO
DIA	0.92	8%	63%	1.53	6.34
NOITE	0.76	8%	45%	1.21	5.07

³ Gentilmente disponibilizado pelo Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

⁴ A precisão das RNAs variam de acordo com o uso empregado, neste caso foram considerados como mais precisas as redes que obtiveram valores de correlação mais próximos á 1, e erros relativos mais próximos á 0.

5.2 Análise da contribuição relativa dos parâmetros urbanos

A partir das análises sobre o desempenho das RNA foi observado à contribuição relativa dos parâmetros do entorno urbano a respeito do Fator de visão do céu (FVC), Coeficiente de vegetação urbana (CVU), Coeficiente de ocupação (CO), Coeficiente de cobertura do solo permeável (CCS P) e impermeável (CCS I), sobre a temperatura do ar, de acordo com o período e os raios de abrangência adotados para análise (Figuras 13 e 14).

Figura 13: Contribuição relativa dos parâmetros urbanos em relação ao raio de abrangência - DIA

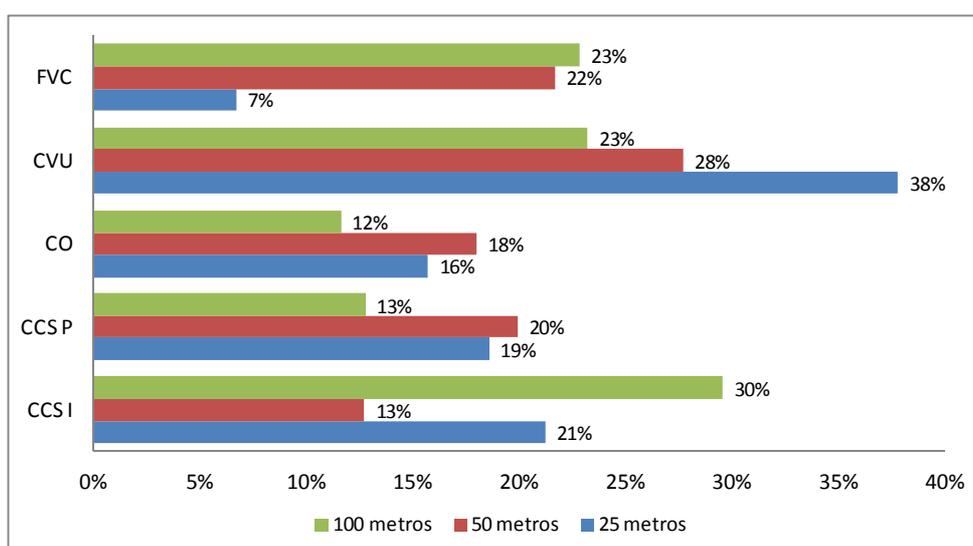
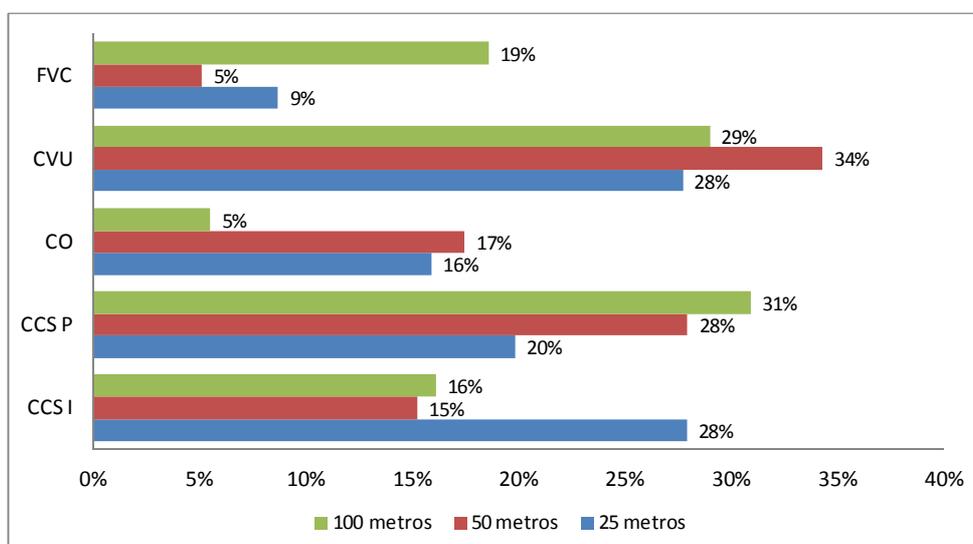


Figura 14: Contribuição relativa dos parâmetros urbanos em relação ao raio de abrangência - NOITE



Observou-se que, o CVU foi o parâmetro mais importante durante o dia para os raios de 25 e 50 Metros (38% e 28%). No entanto, a partir do raio de 100 metros, o CCS I passou a ser o parâmetro mais importante a influenciar a temperatura do ar (30%). À noite o CVU também exerceu forte influência sobre a temperatura do ar, para todas as escalas analisadas (28%, 34% e 29%).

Durante o dia o FVC exerceu maior importância para os raios de 50 e 100 metros (22% e 23%) e a menor para o raio de 25 metros (7%). Para o período noturno, a maior contribuição atribuída ao FVC sobre a temperatura do ar ocorreu para o raio de 100 metros (19%). Esses dados evidenciam que o FVC está relacionado aos parâmetros urbanos em escalas ampliadas, cuja análise pode ser feita para raios de abrangência maiores. Tal fato pode estar associado à ocupação fragmentada do campus que não tipifica um cânion urbano.

O parâmetro CO exerceu maior contribuição nas menores escalas de análise para ambos os períodos, desempenhando maior importância relativa para raio de 50 metros (18% dia e 17% noite), e menor para o raio de 100 metros (12% dia e 5% noite).

No que diz respeito à contribuição relativa da cobertura do solo sobre a temperatura do ar, CCS P mostrou maior influência nas menores escalas durante o dia, 25 e 50 metros (19% e 20% respectivamente), entretanto, durante a noite, este cenário se inverteu, e a escala de 100 metros passou a ser o parâmetro mais importante (31%).

O CCS I revelou maior importância sobre a escala de 100 metros para o dia (30%) e para escala de 25 metros para a noite (28%). Para a escala intermediária de 50 metros, o cenário se manteve relativamente estável nos dois períodos analisados.

5.3 Análise de sensibilidade dos parâmetros urbanísticos

A análise de sensibilidade dos modelos foi realizada a partir de simulações dentro das RNA's escolhidas. Para isso, as médias de cada parâmetro foram fixadas para os horários com maior diferença entre as

temperaturas (às 14h00min para o dia e às 21h00min para a noite) e variou-se controladamente apenas uma das variáveis de cada vez

Assim, foi possível verificar a variância de temperatura do ar em relação à variação dos índices urbanísticos em cada raio de abrangência. As Figuras 15 a 24 dos subcapítulos seguintes mostram o resultado da análise de sensibilidade para os parâmetros urbanísticos do FVC, CO, CVU, CCS P e CCS I, respectivamente, nos dois períodos de análise.

5.3.1 Sensibilidade Fator de visão do céu

Foi possível notar, pela análise da sensibilidade do FVC (Figuras 15 e 16), que às 14h00min, para o raio de 25 metros, a variação de temperatura em função do aumento FVC foi insignificante, se mantendo estável. Para os raios de 50 e 100 metros, a temperatura do ar variou em média -2,5° C.

Figura 15: Sensibilidade FVC – 14h00min

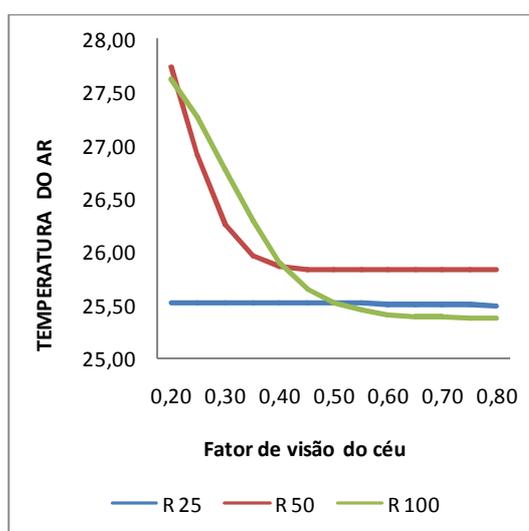
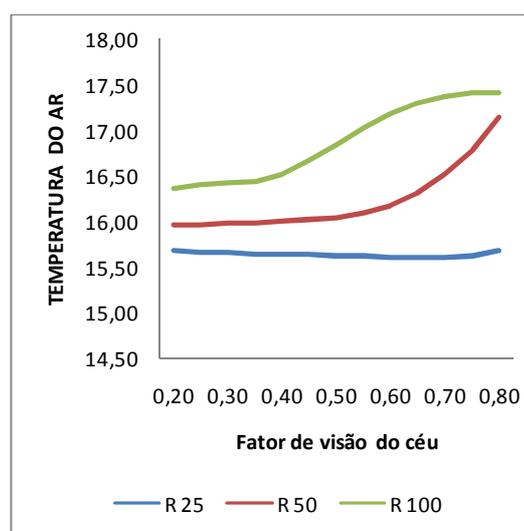


Figura 16: Sensibilidade FVC – 21h00min



Este cenário pode estar associado ao raio de abrangência que não engloba totalmente os edifícios ou vegetações que caracterizam a redução da faixa de céu visível em pequenos raios de abrangência.

No período das 21h00min, novamente a variação de temperatura do ar em função do aumento do FVC para o raio de 25 metros se manteve estável. Para os raios de 50 e 100 metros a temperatura variou em média 1,25° C.

Diferente do que foi encontrado na literatura, houve imprecisão ao avaliar a temperatura do ar em função da variação do FVC. A diminuição de temperaturas do ar na hora do dia provavelmente esteve associada à configuração específica do campus, disperso, que favorece a ventilação natural nas áreas mais abertas.

O aumento das temperaturas às 21h00min pode estar relacionado à presença de vegetação, que influencia mais a temperatura do que o FVC. Maiores valores de CVU, normalmente também proporcionam menores FVC. Outro fato que pode contribuir para este cenário é o calor antropogênico gerado nas áreas de estacionamento, que normalmente estão localizadas sobre as áreas vegetadas.

5.3.2 Sensibilidade Coeficiente de ocupação do solo

Sobre o CO (Figura 17 e 18), observou-se que, para a hora analisada do dia nos raios de 25 e 50 metros, a curva de temperatura do ar variou negativamente, em média $-2,0^{\circ}\text{C}$, enquanto, para o raio de 100 metros, a temperatura do ar desenvolveu uma curva sutilmente ascendente.

Figura 17: Sensibilidade CO – 14h00min

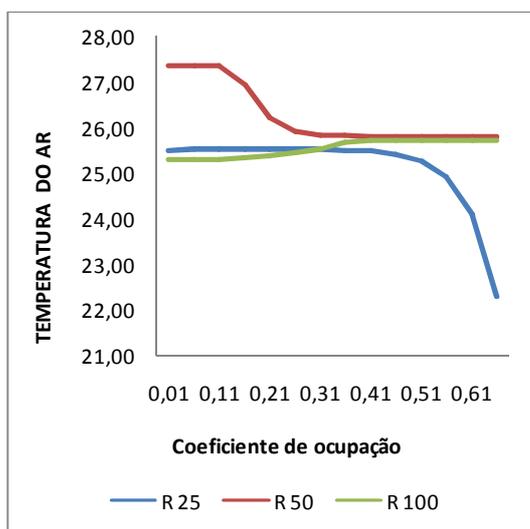
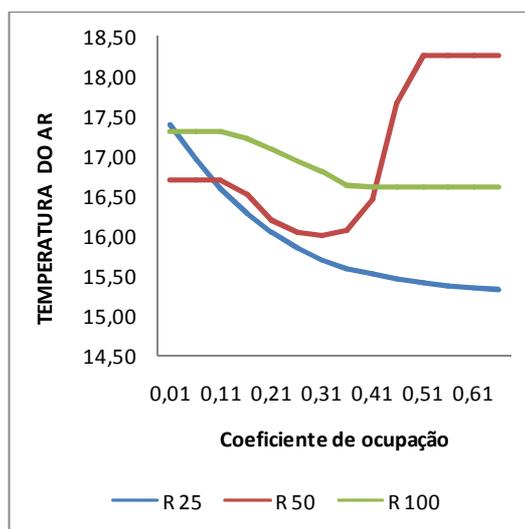


Figura 18: Sensibilidade CO – 21h00min



O cenário observado para as 14h00min para a sensibilidade do parâmetro CO nos raios de 25 e 50 metros esteve provavelmente associado ao sombreamento proporcionado pelos edifícios.

Às 21h00min, o raio de 25 metros apresentou a maior variação de temperatura decrescente, $-2,0^{\circ}\text{C}$. Comportamento parecido foi encontrado no raio de 100 metros, porém, com uma diferença decrescente mais sutil de cerca de $-1,0^{\circ}\text{C}$.

Ainda para as 21h00min, o raio de 50 metros apresentou comportamento ligeiramente decrescente entre a faixa de CVU de 0.01 a 0.31, após essa faixa, a tendência observada foi ascendente em cerca de 2°C .

5.3.3 Sensibilidade Coeficiente de vegetação urbana

A análise de sensibilidade do parâmetro urbano sobre o Coeficiente de vegetação urbana (CVU) (Figuras 19 e 20) revelou comportamento decrescente para a temperatura do ar no raio de 25 metros de cerca de $-4,0^{\circ}\text{C}$ às 14h00min. Para os raios de 50 e 100 metros, a temperatura do ar variou sutilmente. No entanto, essa última variação é muito discreta e não se pode afirmar que a temperatura variou em função do CVU para estes raios.

Figura 19: Sensibilidade CVU – 14h00min

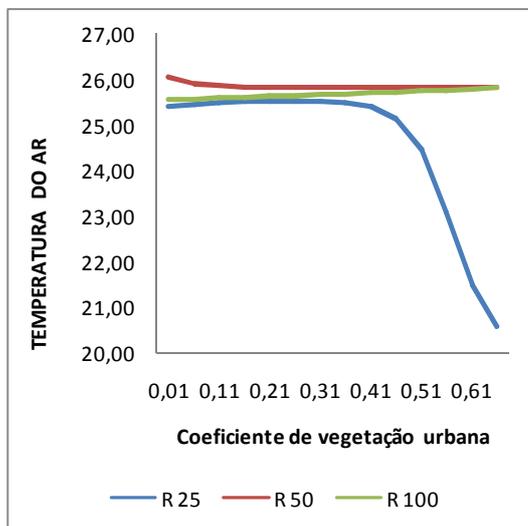
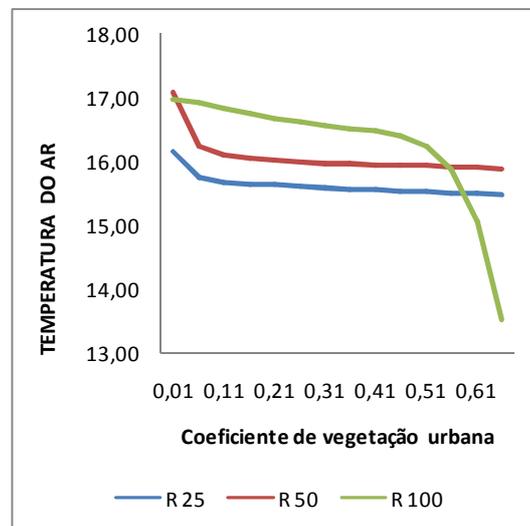


Figura 20: Sensibilidade CVU – 21h00min



Para as 21h00min todos os raios de abrangência apresentaram curva decrescente de temperatura do ar em função do CVU. A maior contribuição foi percebida no raio de 100 metros, que variou cerca de -3°C .

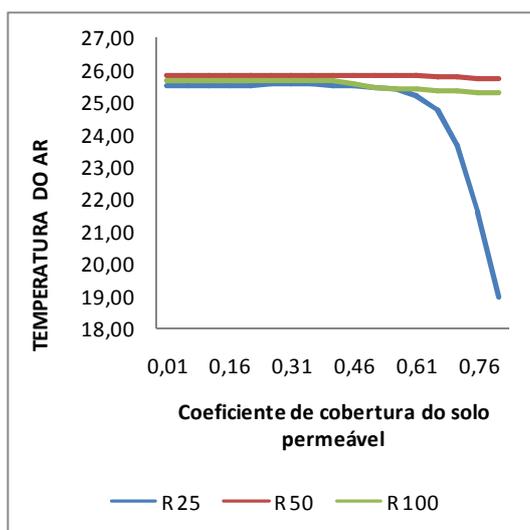
Para às 14h00min, a maior contribuição do CVU sobre a temperatura foi observada no menor raio de abrangência, inversamente ao que foi observado

às 21h00min. Observou-se também, que, assim como nos outros parâmetros urbanos analisados, houve faixas em que a temperatura do ar sofreu maior influência da variação do parâmetro, e houve faixas em que a temperatura se manteve sutilmente estável.

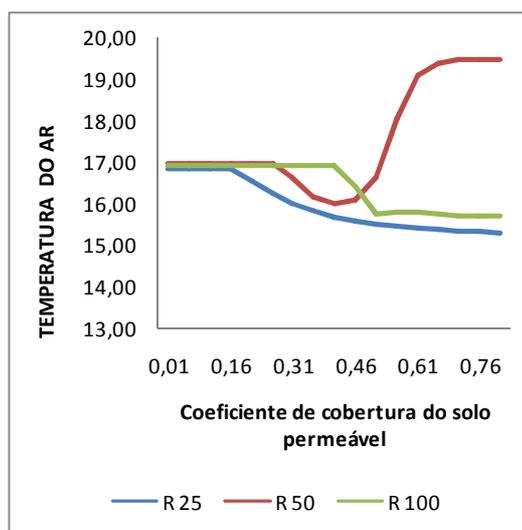
5.3.4 Sensibilidade Coeficiente de cobertura do solo permeável

Para as 14h00min o CCS P apresentou pouca influência sobre a temperatura do ar entre as faixas de 0.1 a 0.5, para o raio de 25 metros. Para o mesmo raio, o CCS P teve maior influência após a faixa de 0.6, variando a temperatura em cerca de -6.0° C. Para os raios de 50 e 100 metros, a variação da curva de sensibilidade foi muito sutil e não foi permitido afirmar que a temperatura do ar sofreu influência deste parâmetro. As Figuras 21 e 22 mostram as curvas de temperatura em função do CCS P.

**Figura 21: Sensibilidade CCS P –
14h00min**



**Figura 22: Sensibilidade CCS P –
21h00min**



Na hora analisada do período noturno, foi observada curva decrescente na temperatura do ar para os raios de 25 e 100 metros. Para o raio de 50 metros houve ligeira curva decrescente até a faixa de 0.46, após esse valor a curva foi ascendente em cerca de $3,0^{\circ}$ C. Tal comportamento na curva de 50 metros pode revelar um limite de influência negativa na temperatura. Descobrir quais são esses limites de contribuição sobre a temperatura do ar podem ajudar a responder a hipótese inicial desta pesquisa.

5.3.5 Sensibilidade Coeficiente de cobertura do solo impermeável

Às 14h00min, o CCS I exerceu influência negativa na curva de temperatura do ar para o raio de 25 metros, cerca de $-5,0^{\circ}\text{C}$. No raio de 50 metros não houve influência do parâmetro e a curva se manteve estável. No raio de 100 metros a temperatura do ar variou positivamente cerca de $1,0^{\circ}\text{C}$, em função do aumento do CCS I. As Figuras 23 e 24 mostram a curva de sensibilidade do parâmetro CCS I.

Figura 23: Sensibilidade CCS I – 14h00min

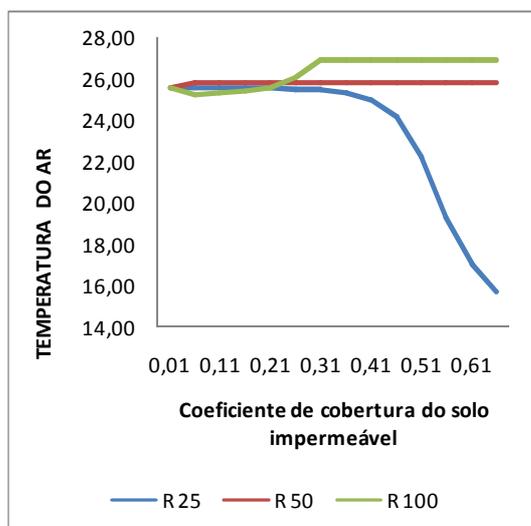
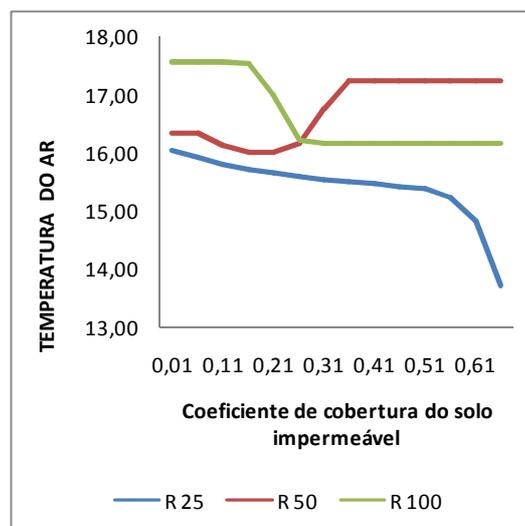


Figura 24: Sensibilidade CCS I – 21h00min



Foram notados ainda dois períodos de estabilidade das curvas de temperatura entre as faixas de 0.01 e 0.31 para os raios de 25 e 100 metros.

A curva ascendente no raio de 25 metros, provavelmente, esteve associada à configuração do campus. Maiores valores de CCS I, normalmente representam maiores áreas livres descampadas, em vias de passeios ou pátios de estacionamento, o que contribui para a ventilação natural.

Para a hora analisada do período noturno, foram observadas curvas de temperatura decrescente em função do aumento do CCS I, nos raios de 25 e 100 metros. A maior influência para o raio de 25 metros ocorreu entre a faixa de 0.51 e 0.61, que registrou diferença negativa de cerca de $-2,0^{\circ}\text{C}$.

Para o raio de 100 metros ocorreram dois períodos de estabilidade e verificou-se que a curva da temperatura do ar só foi efetivamente influenciada pelo aumento do CCS I, entre a faixa de 0.11 e 0.31. Ainda para o período das

21h00min, o raio de 50 metros apresentou curva ascendente de cerca de 1,0º C.

5.4 Quadro síntese das análises de sensibilidade

As informações obtidas nas análises de sensibilidade podem ser sistematizadas de acordo com o Quadro 01, que, mostra o tipo de influência (positiva ou negativa) de cada parâmetro urbanístico em função do raio de abrangência. No quadro estão ainda delimitadas as faixas de influência de cada parâmetro sobre a temperatura do ar, e as grandezas observadas dentro de cada faixa.

Quadro 1: Síntese das análises de sensibilidade

PARÂMETRO	RAIO	AS 14h00min			21h00min		
		INFLUÊNCIA	FAIXA DE INFLUÊNCIA	T _A	INFLUÊNCIA	FAIXA DE INFLUÊNCIA	T _A
FVC	R 25	-	-	-	-	-	-
	R 50	NEGATIVA	ENTRE 0,0 A 0,4	1,75º C	POSITIVA	ENTRE 0,5 A 0,8	1,0º C
	R 100	NEGATIVA	ENTRE 0,0 A 0,6	2,60º C	POSITIVA	ENTRE 0,4 A 0,8	1,0º C
CO	R 25	NEGATIVA	ACIMA DE 0,41	3,0º C	NEGATIVA	ENTRE 0,0 A 0,61	2,0º C
	R 50	NEGATIVA	ENTRE 0,11 A 0,31	1,25º C	NEGATIVA	ATÉ 0,31	1,0º C
	R 100	-	-	-	POSITIVA	ENTRE 0,32 A 0,51	2,25º C
CVU	R 25	NEGATIVA	ACIMA DE 0,41	5,0º C	NEGATIVA	ATÉ 0,41	1,0º C
	R 50	-	-	-	-	-	-
	R 100	-	-	-	NEGATIVA	ENTRE 0,0 a 0,61	3,0º C
CCS P	R 25	NEGATIVA	ACIMA DE 0,46	6,0º C	NEGATIVA	ACIMA DE 0,16	1,5º C
	R 50	-	-	-	NEGATIVA	ATÉ 0,41	1,0º C
	R 100	-	-	-	POSITIVA	ACIMA DE 0,46	4,5º C
CCS I	R 25	NEGATIVA	ACIMA DE 0,31	10,0º C	NEGATIVA	ENTRE 0,0 A 0,61	3,0º C
	R 50	-	-	-	POSITIVA	ENTRE 0,0 A 0,41	1,5º C
	R 100	-	-	-	NEGATIVA	ENTRE 0,11 A 0,31	1,5º C

FVC Fator de visão de céu
 CO Coeficiente de ocupação
 CVU Coeficiente de vegetação urbana
 CCS P Coeficiente de cobertura do solo permeável
 CCS I Coeficiente de cobertura do solo impermeável

- Não houve influência

5.5 Análise de aplicabilidade do modelo

Após análises a respeito dos raios de abrangência e o teste de sensibilidade dos modelos, duas redes foram selecionadas para aplicação do modelo na análise do ambiente térmico do *campus* da UFSCar.

A rede de 25 Metros foi escolhida para aplicação como modelo de análise do ambiente térmico no período diurno, pois foi à rede que apresentou melhor desempenho na análise sobre os erros e o maior coeficiente de correlação entre os dados reais e os dados simulados na fase de teste ($R = 0,92$). A Figura 25 mostra à arquitetura da Rede escolhida e a Figura 26 a análise de regressão linear com o coeficiente de correlação.

Figura 25: Arquitetura da Rede selecionada para o dia

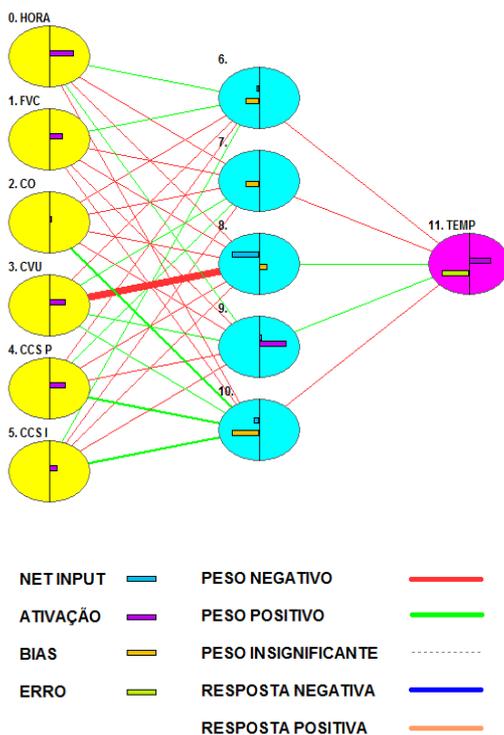
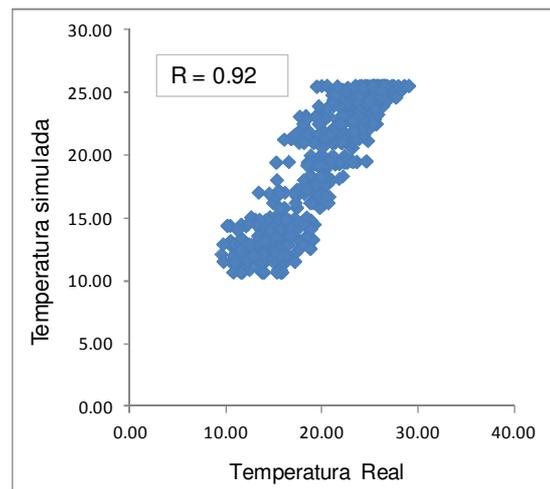


Figura 26: Correlação entre real e simulado para período diurno



Para o período noturno, a rede de 100 metros foi a escolhida para aplicação do modelo de análise do ambiente térmico, pois apresentou melhor desempenho nos teste de erro e o maior coeficiente de correlação entre os dados reais e os dados simulados na fase de teste ($R = 0,76$). A Figura 27

mostra a arquitetura da rede e a Figura 28 mostra a análise de regressão linear e o coeficiente de correlação.

Figura 27: Arquitetura da Rede selecionada para a noite

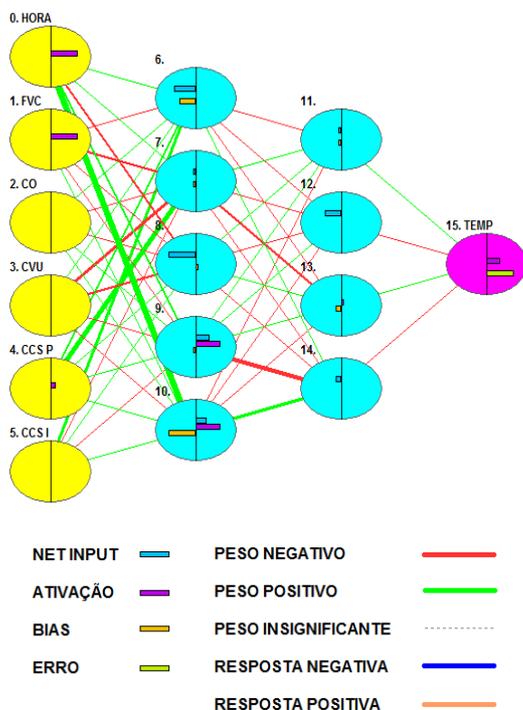
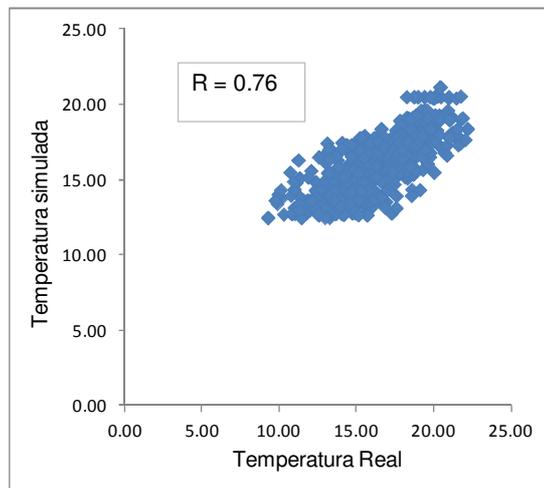


Figura 28: Correlação entre real e simulado para período noturno



Para analisar a aplicabilidade dos modelos escolhidos em outros períodos e em diferentes conjuntos de dados térmicos e parâmetros urbanos, os dados microclimáticos sobre temperatura do ar da campanha B foram distribuídos aleatoriamente e posteriormente submetidos para simulação dentro do ambiente da RNA.

Os dados simulados para temperatura do ar foram então relacionados com os dados reais medidos em campo e o coeficiente de correlação de *Pearson* foi extraído para validação dos modelos.

Para os dados do dia, o modelo proposto se mostrou adequado, com coeficiente de correlação de $R = 0,93$. No entanto, o modelo proposto para a noite não obteve bons resultados e não foi possível validar os dados simulados. As Figuras 29 e 30 mostram a validação entre os dados reais e simulados a partir da análise de correlação de *Pearson*.

Figura 29: Validação da simulação para o dia

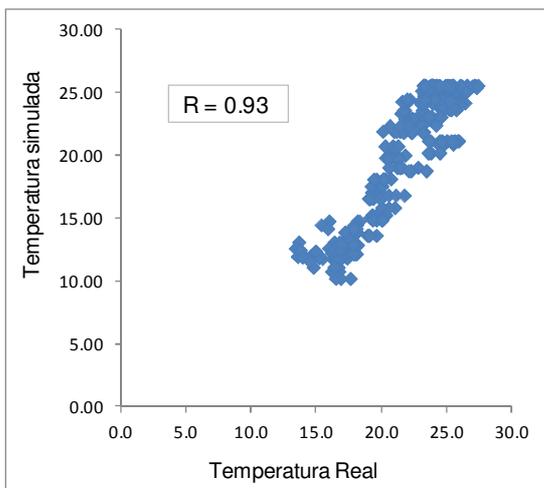
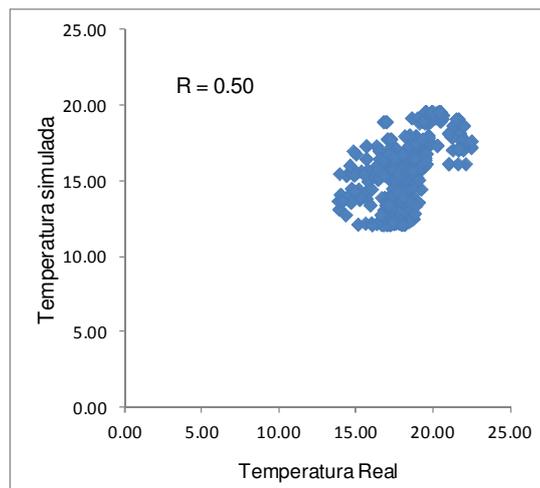


Figura 30: Validação da simulação para a noite



Os resultados obtidos nos testes de validação apontaram que os parâmetros urbanos elencados para avaliar o ambiente térmico nesta pesquisa melhor se relacionaram com as temperaturas diurnas. É preciso assim repetir a metodologia com a criação de novas redes para o período noturno, elencando novos parâmetros urbanísticos.

A configuração de ocupação do campus muito arborizada e com predominância do solo natural do tipo gramínea favorece a criação de bolsões térmicos em função do comportamento natural da vegetação, que eleva as taxas de umidade do ar. Assim, o efeito da evapotranspiração sobre a temperatura do ar pode ter contribuído para o fraco desempenho do modelo durante a noite.

5.6 Modelo aprimorado para o dia

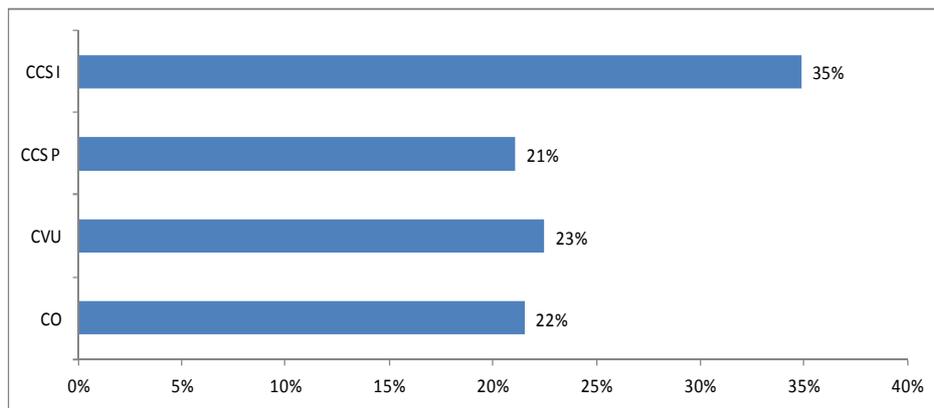
De modo geral o FVC apresentou contribuição relativa inferior a 5% no modelo escolhido para o dia, desta maneira, foi aconselhável treinar novas redes com a exclusão desta variável. A fim de melhorar o desempenho e facilitar a aplicação do modelo, três novas redes foram submetidas para o treinamento sem a utilização da variável do parâmetro urbano sobre o FVC.

Os dados da campanha A foram distribuídos aleatoriamente e inseridos no programa computacional *EasyNN+* para o treinamento das redes. Novamente foram treinados dentro das RNA's três conjuntos de dados

aleatórios. Após as análises de erro e correlação de *Pearson* foi selecionada a rede com melhor desempenho para aplicação do modelo aprimorado.

A respeito da importância relativa dos parâmetros urbanos sobre a temperatura do ar para a rede aprimorada, foi observado que a maior contribuição aconteceu sobre o Coeficiente de cobertura do solo impermeável (CCS I), seguido pelo Coeficiente de vegetação urbana (CVU), Coeficiente de ocupação e Coeficiente de cobertura do solo permeável (Figura 31).

Figura 31: Contribuição relativa dos parâmetros urbanos



As figuras 31 e 32 mostram a arquitetura da rede selecionada e o teste de correlação entre os dados reais e simulados no teste Query.

Figura 32: Arquitetura da rede sem FVC

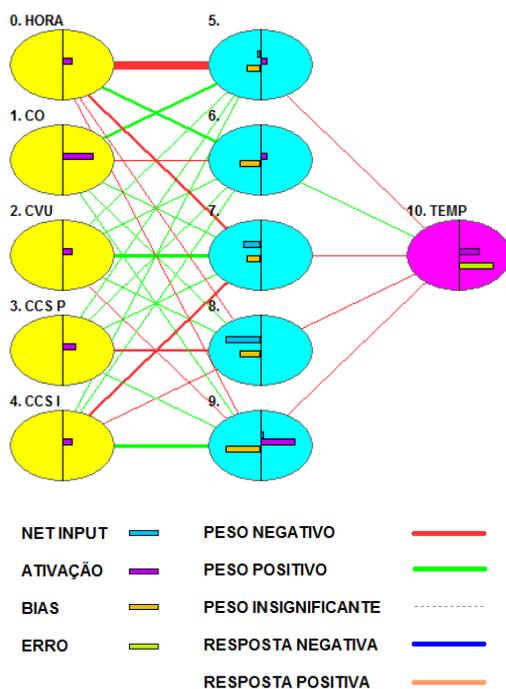
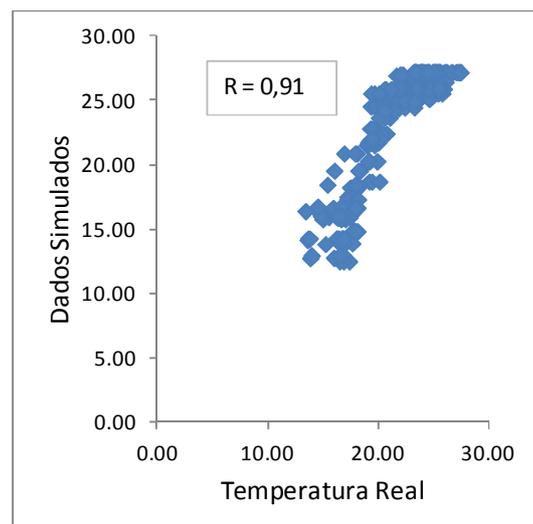
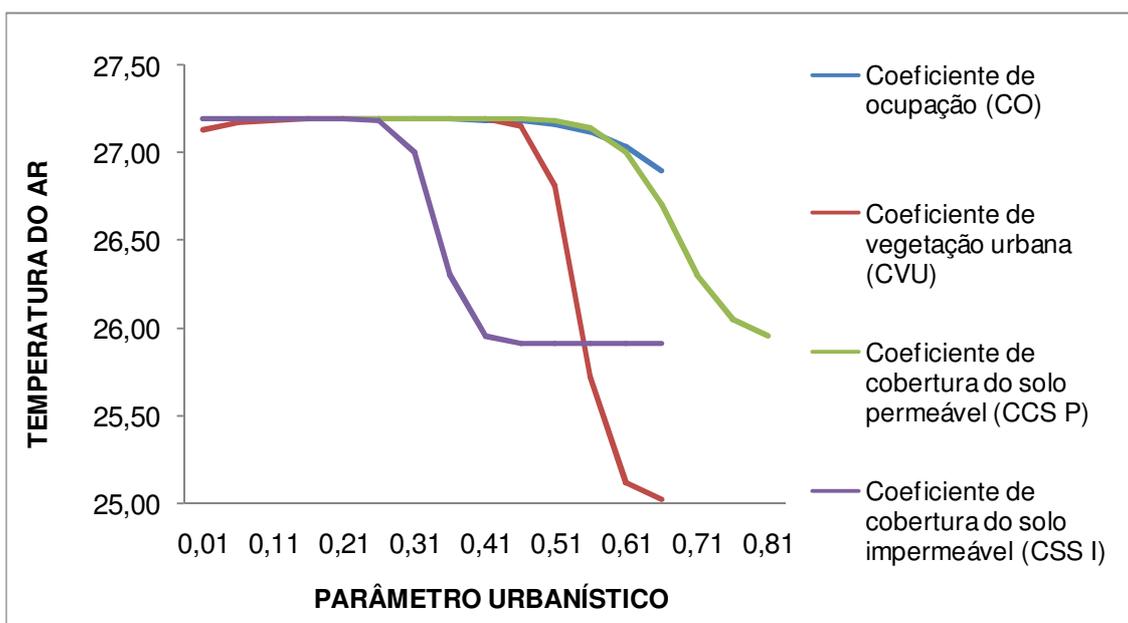


Figura 33: Teste de correlação



A sensibilidade do novo modelo também foi avaliada. As médias de cada variável foram fixadas para o horário de maior diferença de temperatura do ar entre os pontos (às 14h00min), e, posteriormente, foram submetidas para simulação dentro da RNA. A Figura 34 mostra o perfil de sensibilidade para os parâmetros de CO, CVU, CCS P e CCS I, respectivamente.

Figura 34: Sensibilidade parâmetros urbanos – 14h00min



Na análise de sensibilidade foi possível notar que o CVU e o CCS I foram os parâmetros que mais influenciaram negativamente a temperatura do ar às 14h00min - cerca de $-2,0^{\circ}\text{C}$, o primeiro, e, $-1,0^{\circ}\text{C}$, o último.

Notou-se também que a vegetação só passou a influenciar a temperatura após a faixa de CVU de 0,41. Para o CCS I houve dois períodos de estabilidade que revelou que este parâmetro só influenciou a temperatura do ar entre as faixas de 0,31 e 0,51.

A curva de sensibilidade da temperatura do ar em função do CCS P desenvolveu comportamento parecido com a curva do CVU. Esse fato era esperado, devido ao comportamento do solo natural de vegetação rasteira. No entanto, a influência deste parâmetro sobre a temperatura foi mais sutil, cerca de $-1,0^{\circ}\text{C}$, com período de estabilidade entre as faixas de 0,01 e 0,61.

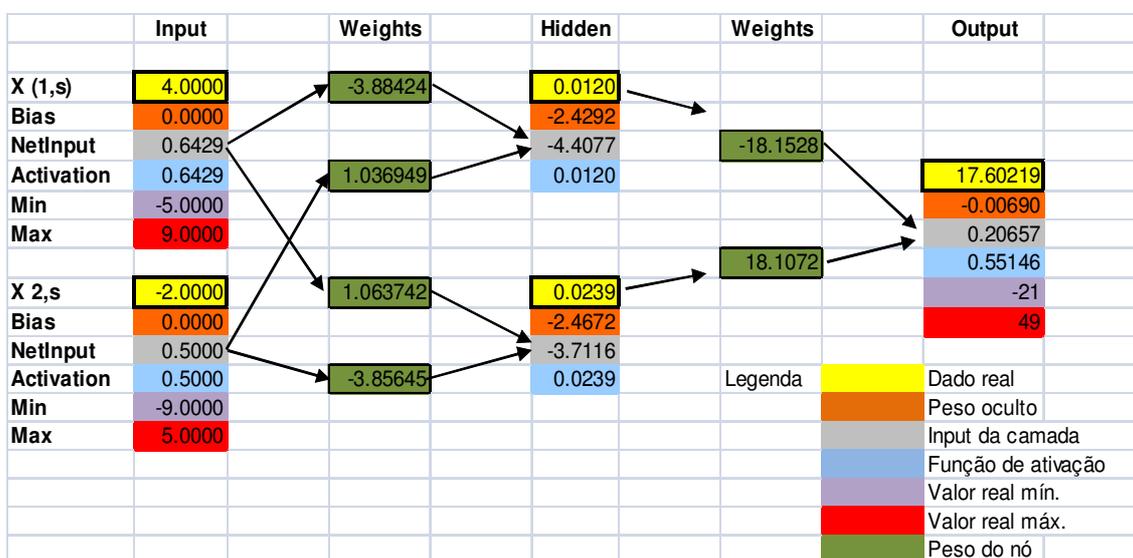
O CO foi o parâmetro que menos influenciou as temperaturas do ar as 14h00min, e não apresentou diferenças consideráveis na curva de sensibilidade.

É importante salientar que o comportamento das curvas de sensibilidade dos parâmetros urbanísticos estão relacionadas, o que dificulta a compreensão de sua influência direta sobre a temperatura de forma isolada.

5.7 Reconstrução do modelo

O modelo aprimorado para o dia foi reconstruindo em ambiente fora da RNA, com base nos procedimentos sugeridos por Silva et al. (2004). Para isso foram extraídos os pesos de cada camada e o peso de cada nó, a partir de dados fornecidos pelo programa computacional EasyNN+. A reconstrução do modelo foi baseada na arquitetura da RNA anteriormente apresentada e seguiu os passos de acordo com o exemplo fornecido pelo próprio *software* (Figura 35).

Figura 35: Exemplo de RNA em planilha eletrônica

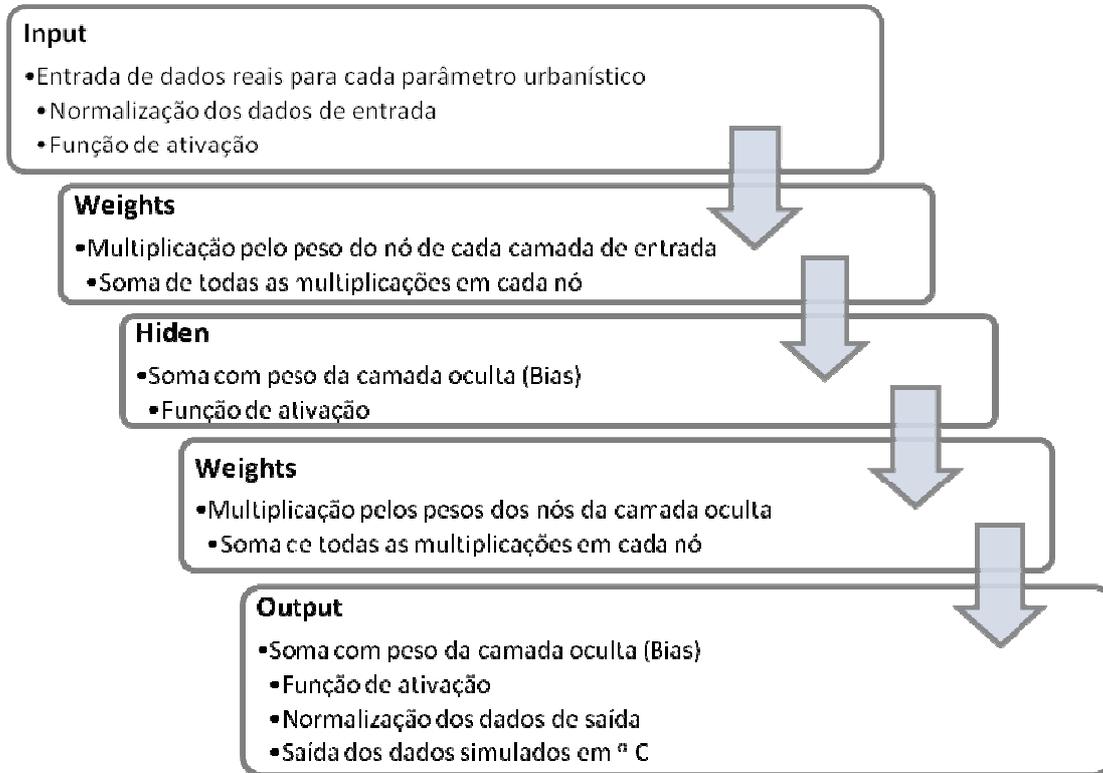


No exemplo acima, as colunas representam os neurônios da rede e, sequencialmente, correspondem a:

- Input – Entrada de dados reais;
- Weights – Peso atribuído pela RNA aos nós de cada camada de entrada;
- Hiden – Camadas intermediárias ou camadas ocultas;
- Weights – Peso atribuído pela RNA aos nós de cada camada oculta;
- Output – Saída de dados simulados;

O modelo matemático foi então construído seguindo a estrutura do exemplo acima, de acordo com os passos descritos no processo da Figura 36.

Figura 36: Processo de reconstrução do modelo



Na reconstrução do modelo de acordo com passos citados acima, a função de normalização dos dados é necessária para analisar variáveis não comparáveis, e foi executada de acordo com a Equação 7.

Equação 7

$$x = \frac{Real - Mín.}{Máx. - Mín.}$$

A função de ativação é responsável por transmitir os resultados de cada neurônio para as etapas de cálculo subsequentes nos neurônios a ele conectados, no exemplo acima foi adotada a função sigmoideal fornecida pelo próprio *software* para a reconstrução do modelo de acordo com a Equação 8.

Equação 8

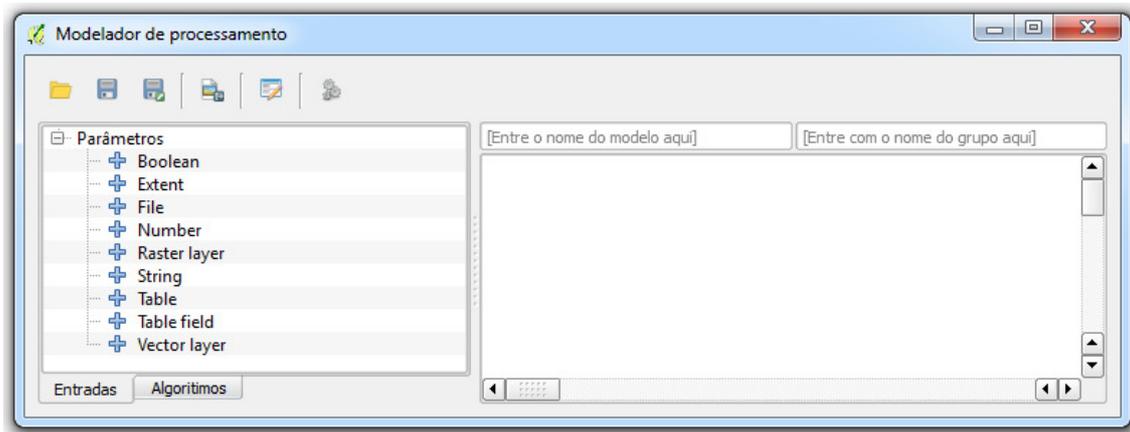
$$f(x) = 1 - \exp(-\exp(x))$$

5.8 Inserção do modelo no SIG

Após a reconstrução, optou-se por incorporar o modelo criado dentro da plataforma do Sistema de Informações Geográficas *Quantum GIS* versão 2.6.1-*Brighton*. Um algoritmo foi desenvolvido para efetuar o cálculo, utilizando ferramentas e recursos disponíveis neste programa computacional e os atributos das camadas vetoriais inseridas pelo usuário.

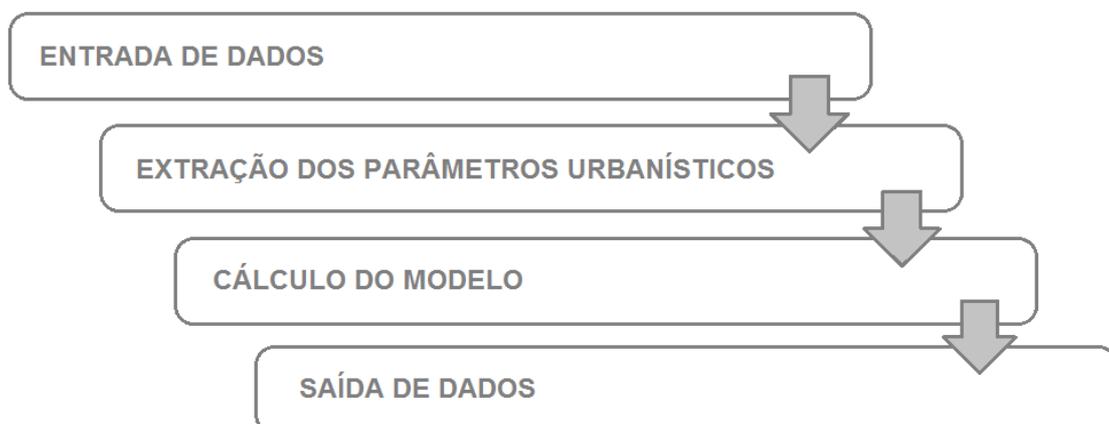
O *Qgis 2.6* disponibiliza o recurso de Modelagem de processamento (*Graphical Modeler*), que possibilita a criação de tarefas e procedimentos lógicos, através de uma biblioteca de algoritmos pré-definidos para o processamento de dados (Figura 37).

Figura 37: Modelagem de Processamento - Qgis 2.6



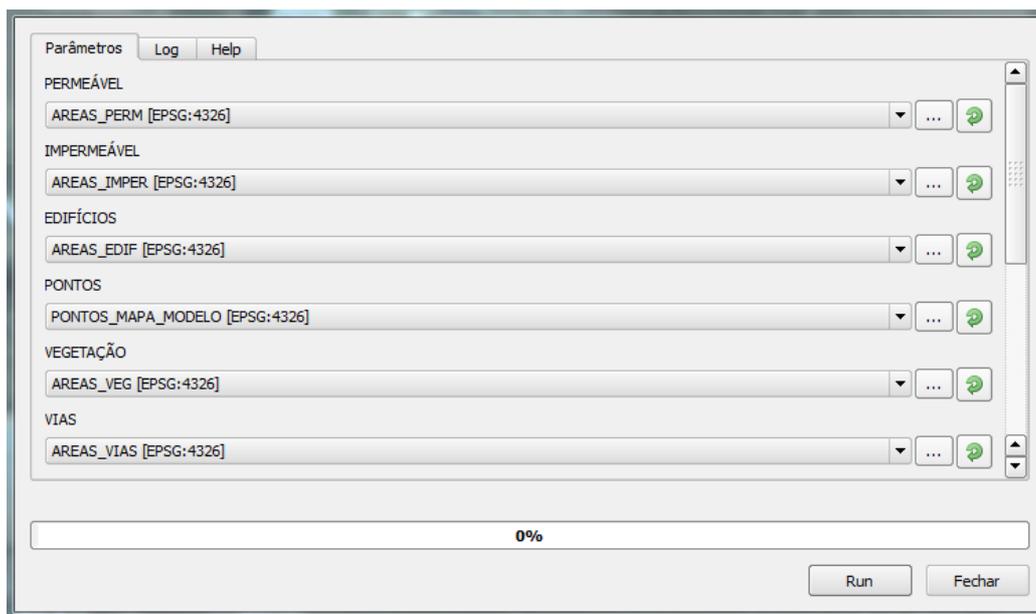
De maneira geral o algoritmo desenvolvido realiza os procedimentos lógicos organizados, conforme ilustra a Figura 38.

Figura 38: Organização do algoritmo



As entradas de dados para execução do algoritmo representam a camada vetorial do tipo “pontos”, que contêm atributos sobre as horas do dia e a localização geográfica. Além disso, há também as camadas vetoriais do tipo “polígono” para as áreas permeáveis, áreas impermeáveis, edifícios, vegetação e as vias de circulação (Figura 39).

Figura 39: Entrada de dados no algoritmo



Em seguida, a extração dos índices urbanísticos foi executada pelo procedimento que consiste primeiramente em aplicar as ferramentas de geoprocessamento de “Borda” na camada de “pontos”, cruzando os resultados com as camadas vetoriais de “polígonos”, através da ferramenta “Interseção”.

-  **Borda(s)...** A ferramenta “Borda” foi utilizada para criar uma região de armazenamento de dados temporários em um raio de abrangência pré-definido de 25 metros ao redor de uma feição inserida na camada;
-  **Interseção...** A ferramenta de “Interseção” foi utilizada para extrair as áreas do cruzamento entre as camadas poligonais inseridas pelo usuário para descrever o ambiente urbano e a área de armazenamento de dados temporários criados a partir da ferramenta “Borda”;

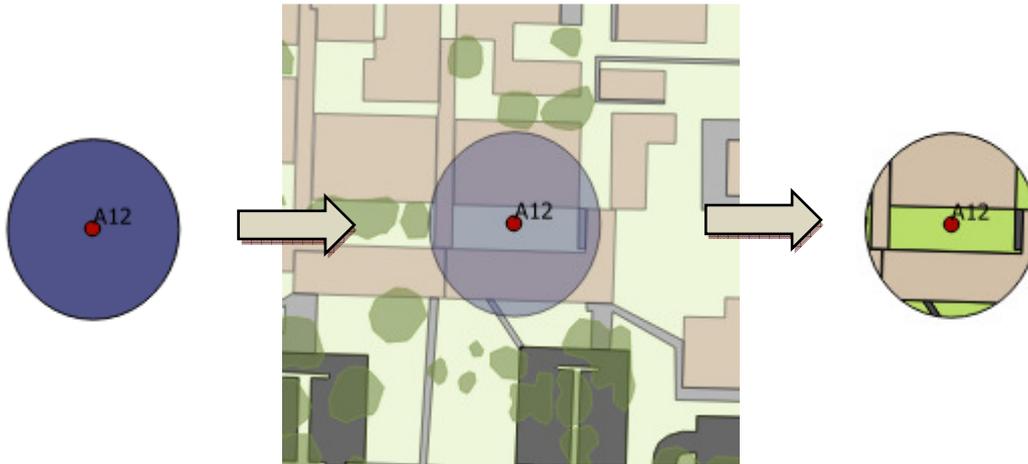
A Figura 40 exemplifica o início do processo de extração dos parâmetros urbanísticos na segunda parte do algoritmo.

Figura 40: Exemplo do procedimento para extração dos parâmetros urbanos

“Borda” na camada de entrada de “pontos”

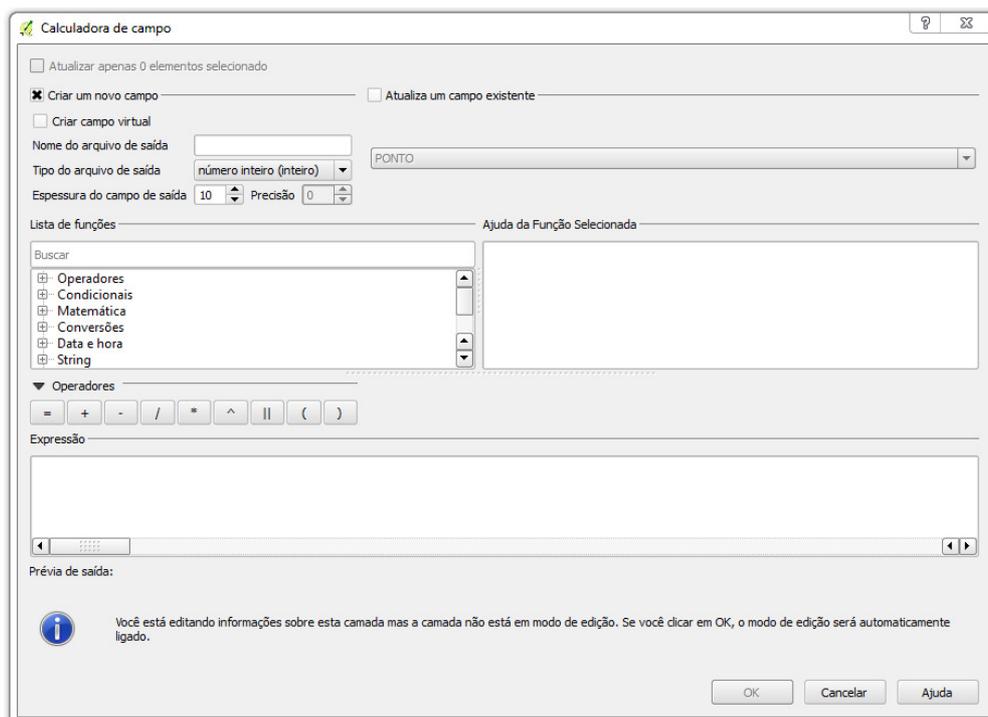
Interseção entre as camadas de “polígonos” e a borda criada

Resultado do procedimento de interseção



Após a extração das áreas de interseção, a ferramenta de “Calculadora de campo” (Figura 41) foi utilizada para calcular os parâmetros urbanísticos de CO, CVU, CCS P e CCS I.

Figura 41: Ferramenta "Calculadora de campo"



Os resultados obtidos pela “Calculadora de campo” são inseridos no banco de dados de “pontos” como mostra a Figura 42.

Figura 42: Resultado da "Calculadora de campo" no banco de dados de "pontos"

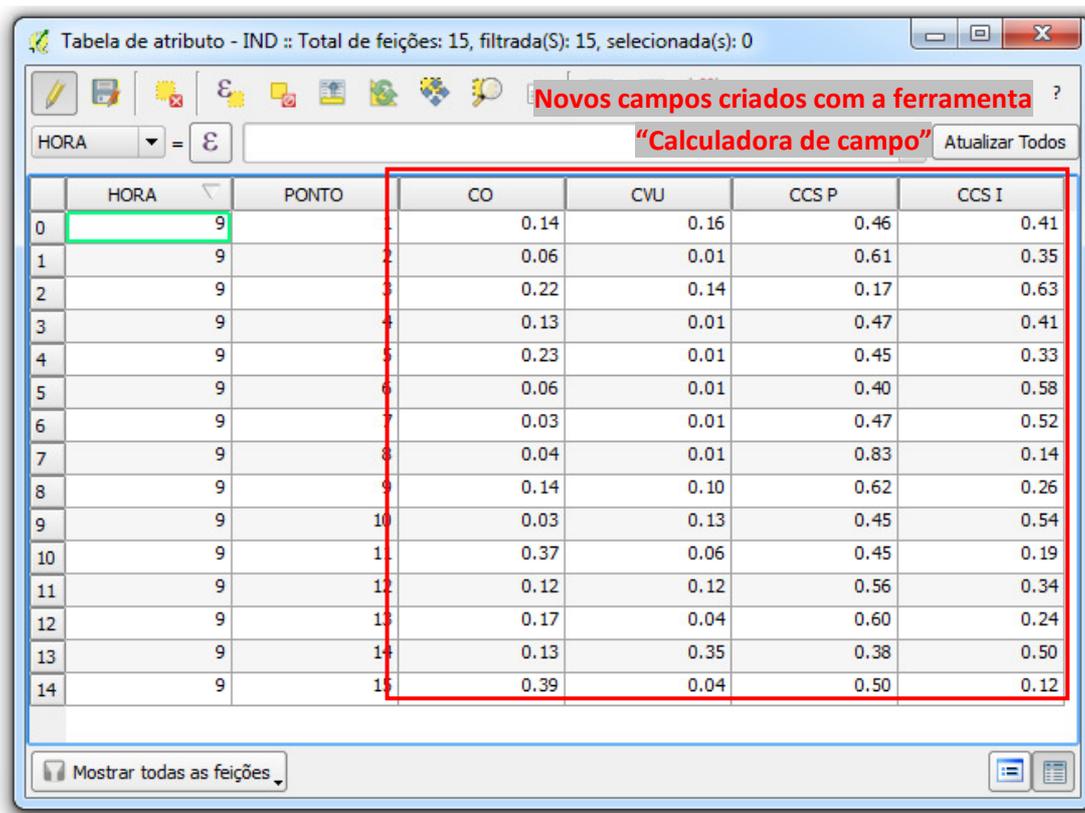


Tabela de atributo - IND :: Total de feições: 15, filtrada(S): 15, selecionada(s): 0

Novos campos criados com a ferramenta ?

HORA = ϵ "Calculadora de campo" Atualizar Todos

	HORA	PONTO	CO	CVU	CCS P	CCS I
0	9	1	0.14	0.16	0.46	0.41
1	9	2	0.06	0.01	0.61	0.35
2	9	3	0.22	0.14	0.17	0.63
3	9	4	0.13	0.01	0.47	0.41
4	9	5	0.23	0.01	0.45	0.33
5	9	6	0.06	0.01	0.40	0.58
6	9	7	0.03	0.01	0.47	0.52
7	9	8	0.04	0.01	0.83	0.14
8	9	9	0.14	0.10	0.62	0.26
9	9	10	0.03	0.13	0.45	0.54
10	9	11	0.37	0.06	0.45	0.19
11	9	12	0.12	0.12	0.56	0.34
12	9	13	0.17	0.04	0.60	0.24
13	9	14	0.13	0.35	0.38	0.50
14	9	15	0.39	0.04	0.50	0.12

Mostrar todas as feições

Na sequência, o algoritmo utiliza os dados gerados nos procedimentos anteriores e armazenados no banco de dados de “pontos” a respeito dos parâmetros urbanos, para o cálculo da temperatura do ar, por meio do modelo matemático reconstruído a partir da RNA.

O modelo extraído da RNA também foi inserido no algoritmo, utilizando-se a “Calculadora de campo”, que permitiu aplicar equações complexas integradas ao banco de dados das camadas. O resultado final da expressão na camada de “pontos” pode ser visto na Figura 43.

Figura 43: Resultado final do algoritmo no banco de dados

Resultado final temperatura do ar

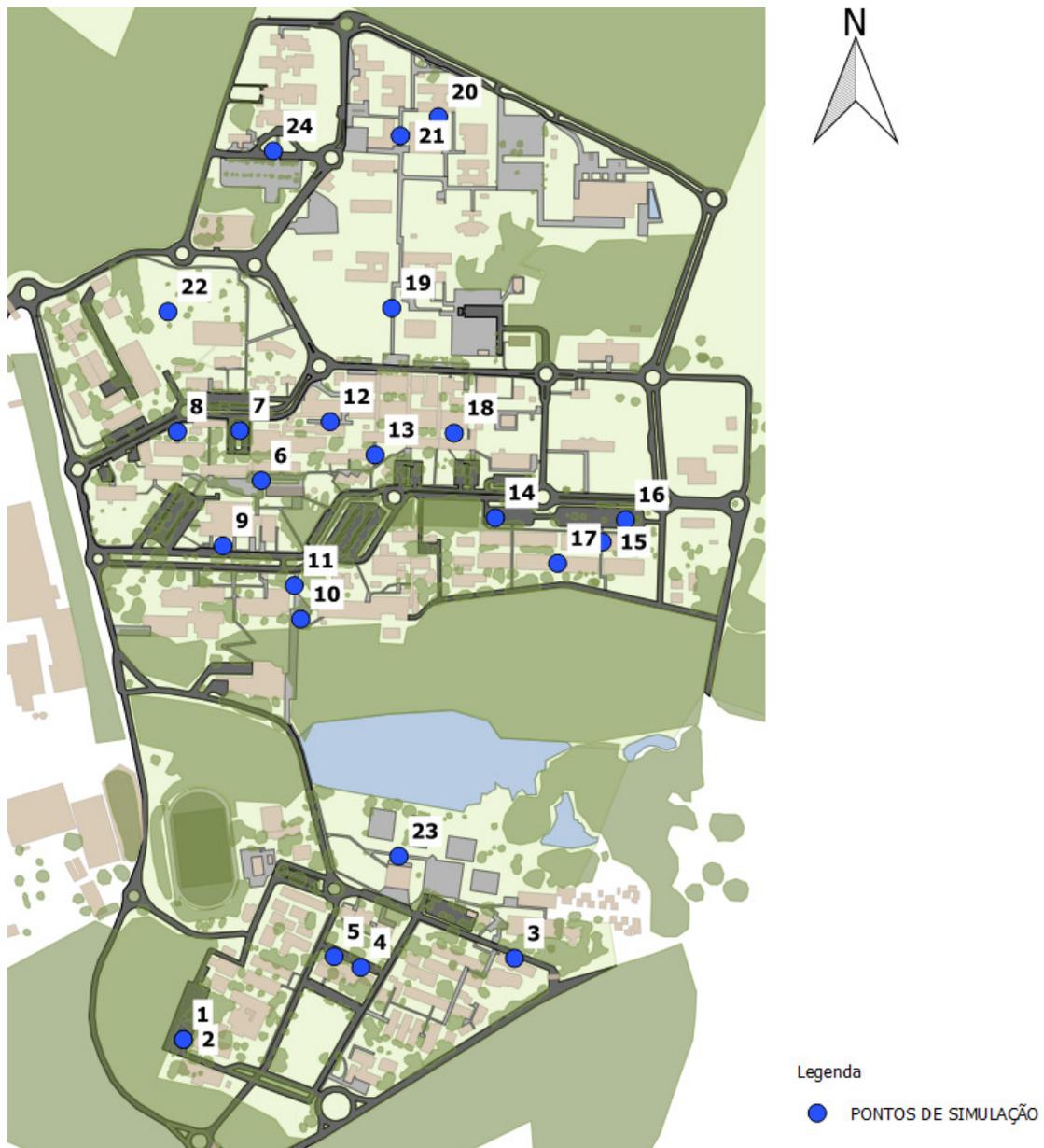
	HORA	PONTO	CO	CVU	CCS P	CCS I	TEMP AR
0	9	1	0.14	0.16	0.46	0.41	22.6900
1	9	2	0.06	0.01	0.61	0.35	21.9390
2	9	3	0.22	0.14	0.17	0.63	23.9540
3	9	4	0.13	0.01	0.47	0.41	22.4840
4	9	5	0.23	0.01	0.45	0.33	21.0280
5	9	6	0.06	0.01	0.40	0.58	24.9080
6	9	7	0.03	0.01	0.47	0.52	24.4350
7	9	8	0.04	0.01	0.83	0.14	20.2010
8	9	9	0.14	0.10	0.62	0.26	20.7780
9	9	10	0.03	0.13	0.45	0.54	24.7630
10	9	11	0.37	0.06	0.45	0.19	20.8860
11	9	12	0.12	0.12	0.56	0.34	21.7190
12	9	13	0.17	0.04	0.60	0.24	20.4910
13	9	14	0.13	0.35	0.38	0.50	23.9330
14	9	15	0.39	0.04	0.50	0.12	21.7990

Mostrar todas as feições

6.0 RESULTADO DA APLICAÇÃO DO MODELO NO SIG

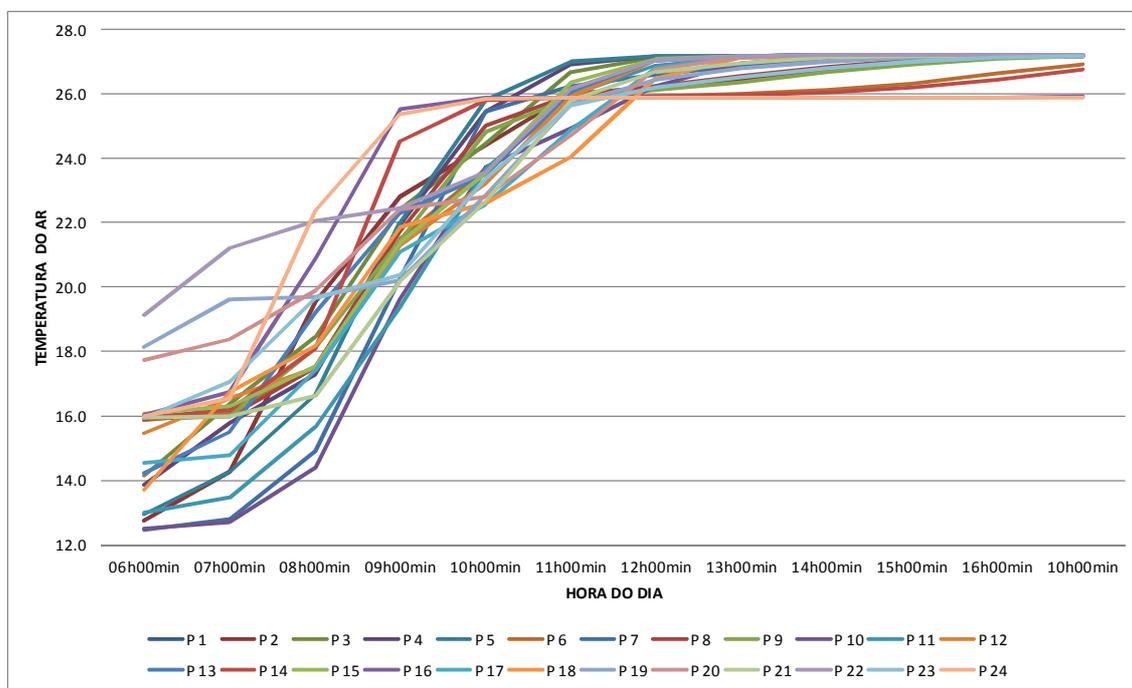
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do algoritmo inserido no SIG, para a criação e aprimoramento de mapas temáticos para avaliação do ambiente térmico da UFSCar. Vinte e quatro pontos geográficos dentro da UFSCar foram elencados para a simulação dentro do SIG (Figura 44).

Figura 44: Localização dos pontos para simulação com modelo no SIG



Os resultados das simulações sobre a temperatura do ar para os vinte e quatro pontos da UFSCar podem ser observados na Figura 45.

Figura 45: Resultado das simulações térmicas



A análise do perfil térmico permitiu visualizar que as maiores diferenças de temperatura do ar foram observadas no período de ascensão, durante as horas da manhã, entre das 06h00min às 11h00min. Após este período, a diferença de temperatura entre os pontos foi muito sutil e praticamente estável.

Posteriormente os resultados das simulações térmicas foram utilizados para a criação de mapas temáticos pelo método de interpolação “Krigagem ordinária⁵” no programa computacional SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses), um complemento que acompanha o pacote de ferramentas e extensões do Qgis 2.6.

Os mapas térmicos criados a partir dos dados simulados sobre a temperatura do ar para as doze horas do dia foram combinados com imagens de satélite para a criação de mapas temáticos. Os resultados podem ser observados na Figura 46.

⁵ A Krigagem é um método que utiliza dados tabulares e suas posições geográficas para calcular as interpolações.

Figura 46: Resultado criação dos mapas temáticos

Figura 46 A: Mapa térmico – 06h00min

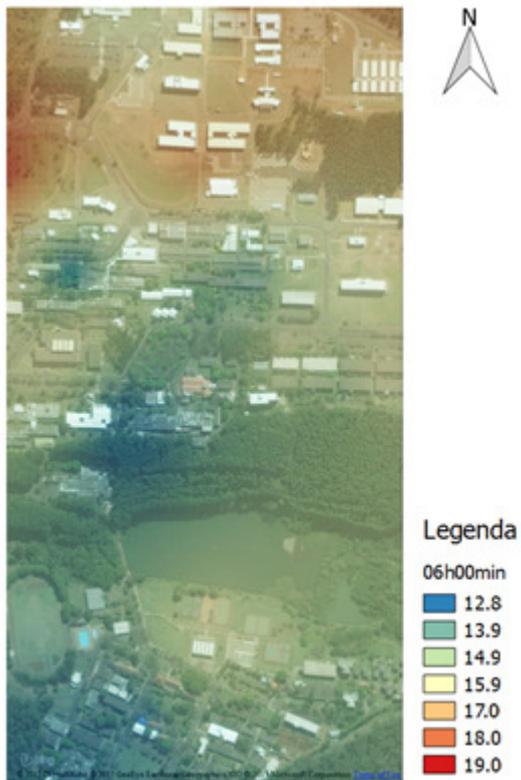


Figura 46 B: Mapa térmico – 07h00min

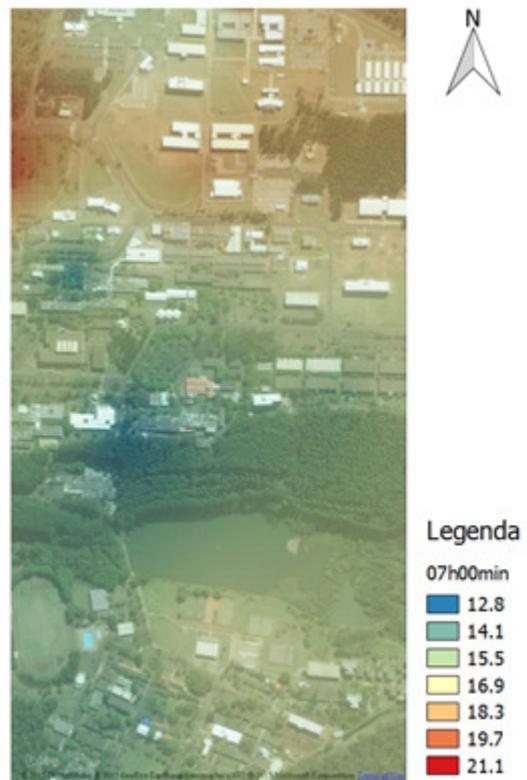


Figura 46 C: Mapa térmico – 08h00min

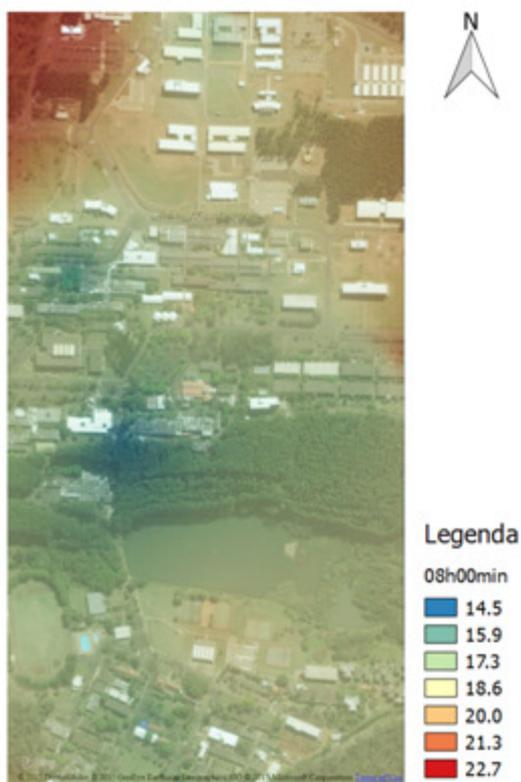


Figura 46 D: Mapa térmico – 09h00min

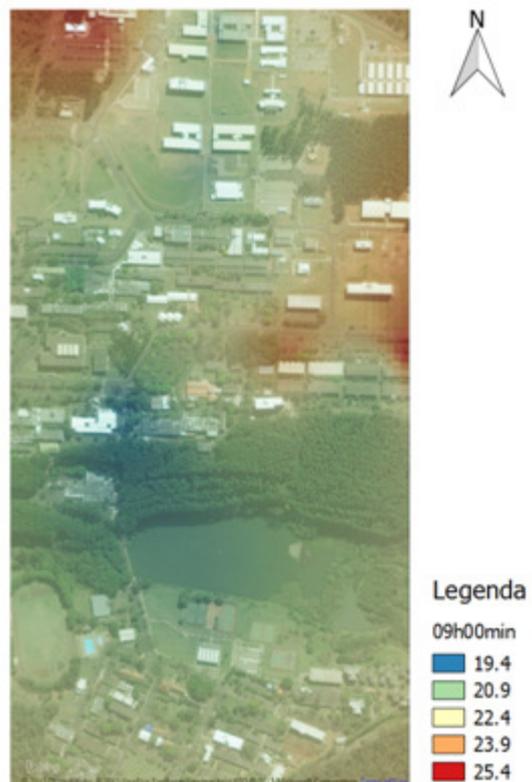


Figura 46 E: Mapa térmico – 10h00min

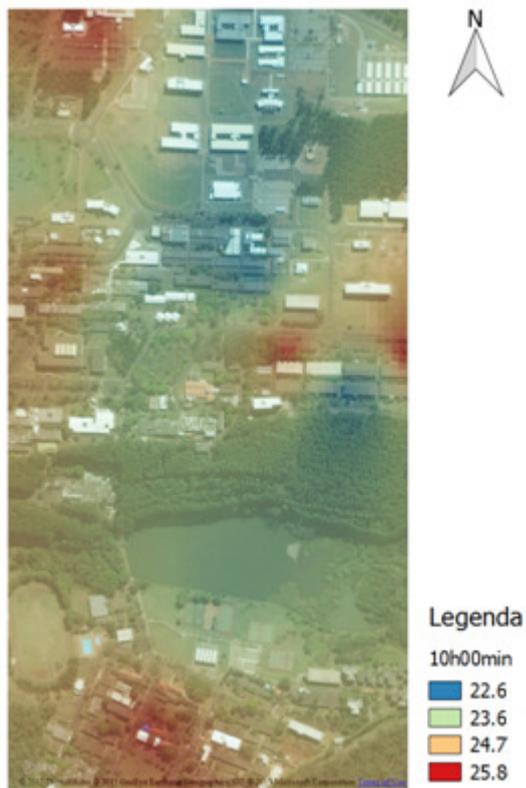


Figura 46 F: Mapa térmico – 11h00min

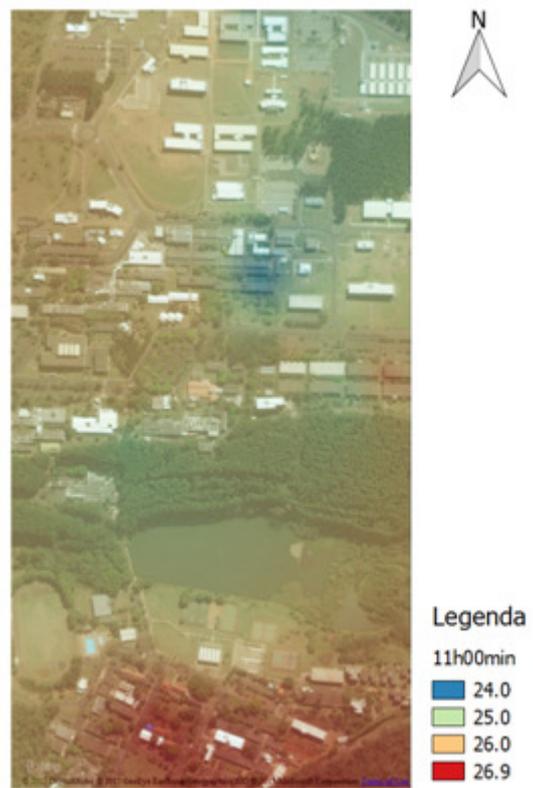


Figura 46 G: Mapa térmico – 12h00min



Figura 46 H: Mapa térmico – 13h00min

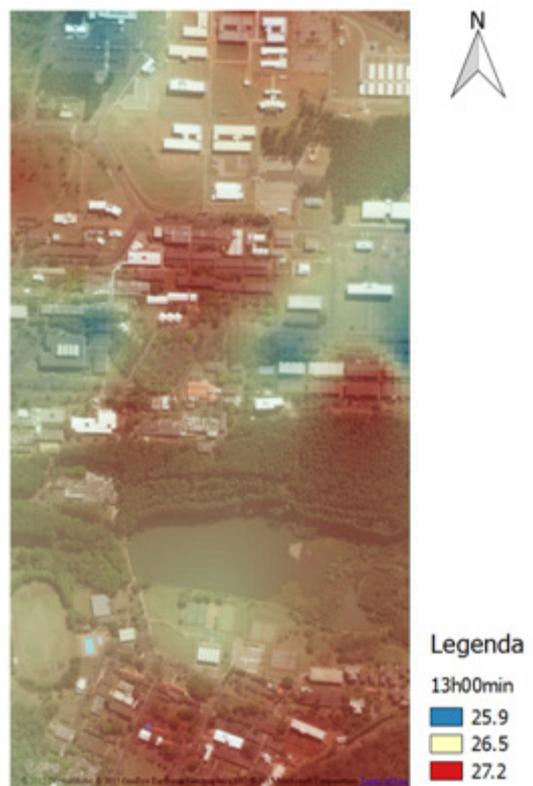


Figura 46 I: Mapa térmico – 14h00min

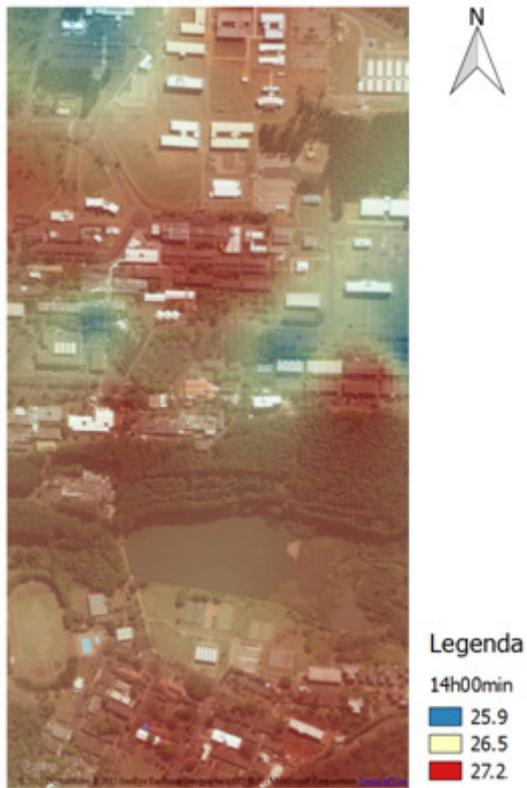


Figura 46 J: Mapa térmico – 16h00min

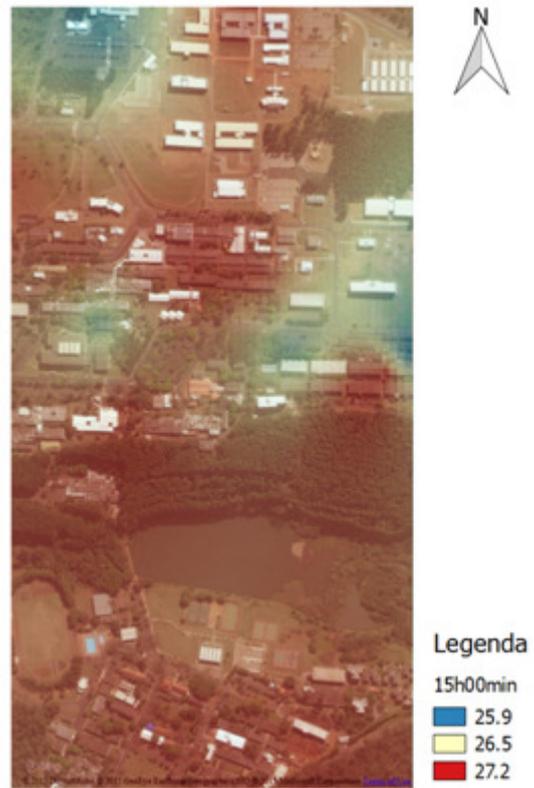


Figura 46 K: Mapa térmico – 16h00min

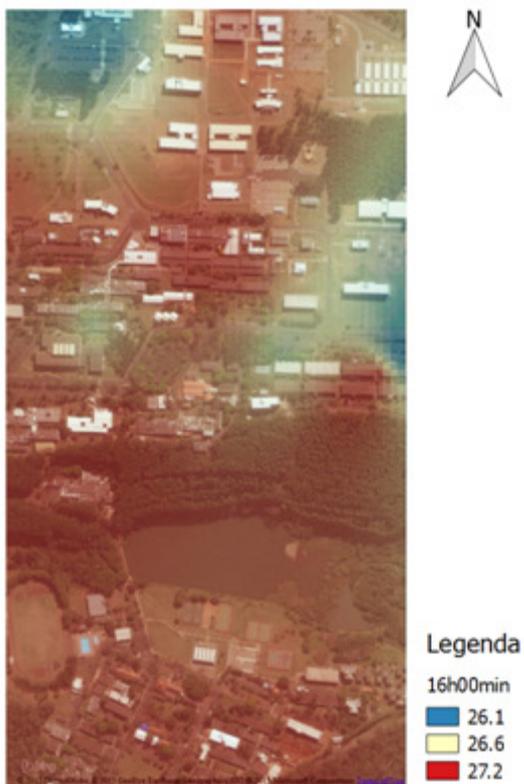


Figura 46 L: Mapa térmico – 17h00min



Os mapas criados permitiram observar o comportamento do ambiente térmico da UFSCar durante as horas do dia. Visualmente, foi permitido observar que houve tendência de maior aquecimento nas áreas mais abertas, durante as primeiras horas da manhã. No mesmo período as áreas mais vegetadas e mais fechadas exibiram as menores temperaturas.

A tendência de aquecimento nas áreas mais abertas foi percebida até as 10h00min, quando o cenário se inverteu e as temperaturas tenderam a ser mais elevadas nas áreas mais fechadas e ocupadas. As taxas de umidade fornecidas pelo processo de evapotranspiração das árvores, o calor antropogênico e a baixa porosidade para a circulação dos ventos pode ter contribuído para as tendências observadas nas áreas mais fechadas.

Após as 12h00min as temperaturas tenderam a se estabilizar, e apresentaram diferenças muito modestas. Após as 14h00min observou-se que a área sul do campus manteve as temperaturas mais elevadas durante toda a tarde. Este cenário pode estar associado à orientação das vias e edifícios, que podem ter afetado o efeito da circulação dos ventos.

Chama-se a atenção para o fato de que o *Campus* possui uma grande área de corpo d'água e que o algoritmo não foi destinado a simular situações desse tipo. Nenhum dos dados que geraram as RNA está baseado em temperaturas correspondentes a camadas de ar acima de corpos d'água. Portanto, os resultados encontrados nos mapas temáticos para o ar acima do corpo d'água não podem ser considerados para fins de uma análise térmica.

6.1 Proposta de classificação do potencial térmico

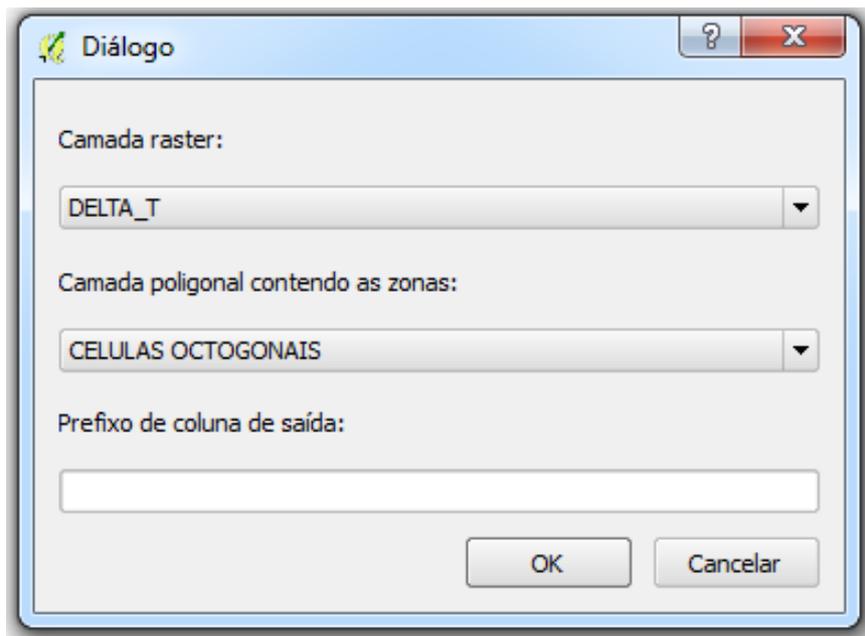
Posteriormente à criação dos mapas térmicos para os dados horários, um mapa da diferença entre os dados simulados para as médias de temperaturas da área aberta circundante (“rural”) e os dados simulados para as médias de temperaturas das áreas ocupadas da UFSCar (“urbano”) foi criado a partir do método de Krigagem ordinária.

A proposta da classificação do ambiente térmico da UFSCar consistiu em demonstrar o potencial térmico das áreas urbanas em relação à área rural,

através de zonas microclimáticas celulares representadas em formato octogonal.

A ferramenta de Estatística por Zonas (Figura 47) foi utilizada para cruzar os dados entre as temperaturas do ar, expressas graficamente no mapa criado, e a camada do tipo “polígonos”, contendo as células octogonais.

Figura 47: Ferramenta de Estatística por zonas



O Resultado do mapa térmico da diferença entre “urbano” e “rural” e a classificação do potencial térmico da UFSCar pode ser observado na Figura 48.

Figura 48: Proposta de classificação microclimática

Figura 48 A: Mapa térmico ΔT_a

Figura 48 B: Classificação térmica média por células

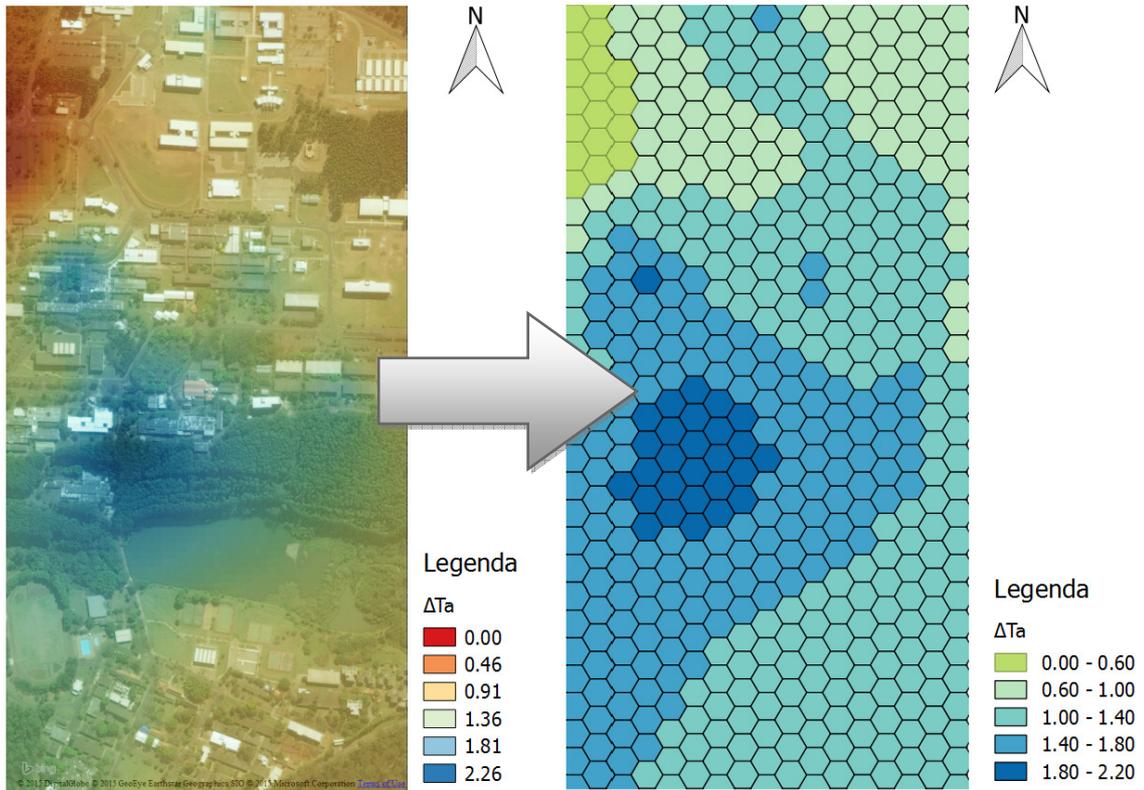
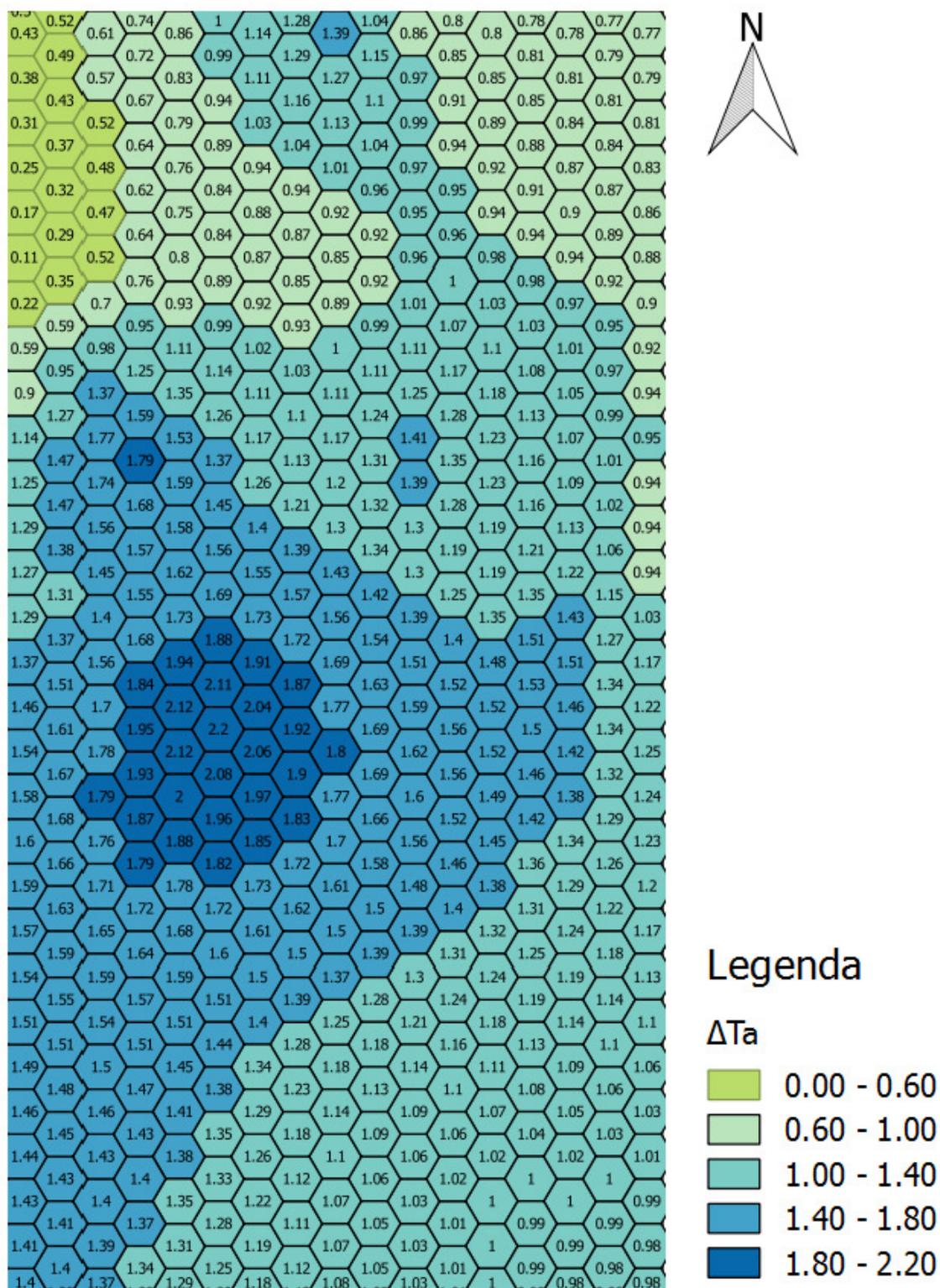


Figura 48 C: Classificação térmica por células (Ampliação)



No mapa da classificação apresentado acima, as células mais escuras representaram as áreas observadas, que desenvolveram as maiores diferenças negativas entre as temperaturas médias observadas na área “rural” e aquelas observadas nas áreas “urbanas”.

Visualmente foi possível observar que as maiores diferenças térmicas se localizaram nas áreas mais ocupadas e vegetadas do campus, e criaram o efeito de ilha de frescor nesses locais. Tal comportamento nas áreas urbanas em relação à área rural é previsível para período do dia, quando a temperatura do ar no nível do solo está estritamente relacionada ao acesso solar.

7. CONSIDERAÇÕES

Os resultados obtidos colaboraram positivamente para responder a principal hipótese abordada. Embora não tenha sido possível apontar efetivamente ao tipo de ocupação termicamente mais eficiente para cada localidade, o presente estudo observou a contribuição relativa dos parâmetros do entorno urbano sobre o ambiente térmico de um campus universitário na cidade de São Carlos, com auxílio de uma Plataforma SIG e o uso de Redes Neurais Artificiais.

O desempenho das redes treinadas reforça que o uso de RNA's pode ser um instrumento significativo para simulação e avaliação do ambiente térmico urbano com base em modelos matemáticos, para prever a temperatura do ar no nível do pedestre a partir dos parâmetros urbanos.

Foi possível observar como os parâmetros urbanos, descritos por índices urbanísticos, influenciaram a temperatura do ar nos períodos de doze horas para o Dia e Noite. A partir dos dados obtidos com as simulações feitas nos modelos construídos dentro da RNA, se constatou que a importância relativa destes parâmetros é diferente para cada raio de abrangência adotado.

Ficou evidente que para a configuração de urbana da UFSCar, o CVU foi um dos parâmetros mais importantes ao influenciar a temperatura do ar em todos os raios de abrangência averiguados nos dois períodos analisado.

O FVC desempenhou maior influência na temperatura do ar para as escalas mais ampliadas nos maiores raios de abrangência, fato provavelmente associado à configuração fragmentada do *campus*.

Inversamente ao que foi observado no FVC, o CO desenvolveu maior contribuição relativa nos menores raios de abrangência.

Para os parâmetros de cobertura do solo, o CCS P demonstrou maior influência nas menores escalas durante o dia, e maior contribuição relativa sobre a temperatura do ar no maior raio durante a noite.

A respeito da impermeabilidade do solo, conclui-se, a partir das análises desenvolvidas, que o CCS I exerceu maior importância sobre os raios mais ampliados durante o dia, e nos menores durante a noite.

A forte influência dos parâmetros de cobertura do solo sobre a temperatura do ar nos dois períodos analisados, provavelmente esteve associado ao acesso à ventilação natural e à radiação solar. Altos índices de cobertura do solo (permeável ou não) normalmente representam grandes áreas abertas (arborizadas ou não), que favorecem à ventilação, permitindo que esses locais mesmo recebendo maior quantidade de radiação solar, mantenham temperaturas mais amenas.

Os resultados obtidos com o modelo aprimorado para o período diurno na previsão das temperaturas do ar reforçam a sua boa aderência a diferentes conjuntos de dados para diferentes configurações urbanas, em diferentes datas.

Entretanto, foi demonstrado que os índices urbanísticos adotados neste estudo melhor se relacionaram com as temperaturas do período diurno. Desta maneira, é preciso aprimorar a metodologia aplicada, utilizando-se novos índices, para descrever fenômenos térmicos e padrões urbanísticos para averiguar a influência destes sobre a temperatura do ar no período noturno.

É preciso ainda repetir a metodologia aplicada nesta pesquisa para ampliar as faixas de dados de entrada nas redes neurais, para caracterização de diferentes ambientes urbanos com diferentes índices urbanísticos.

O modelo matemático desenvolvido na RNA aprimorada para o dia foi reconstruído em uma planilha digital, e, posteriormente foi implementado através de um algoritmo em uma rotina de procedimentos lógicos em uma plataforma SIG.

A metodologia utilizada nesta pesquisa e o algoritmo desenvolvido podem ser utilizados para a simulação das temperaturas do ar dentro do SIG para a criação de mapas temáticos para avaliação visual do ambiente térmico de outras localidades, desde que considerado uma configuração urbana

semelhante ao do campus da UFSCar, dentro dos limites estabelecidos pelo treinamento das RNA.

É importante salientar que a quantidade de pontos utilizados para a criação destes mapas térmicos está diretamente associada à precisão desejada, assim, o resultado dos mapas temáticos pode ser melhorado, adicionando-se novos pontos para simulação com o modelo proposto.

Os mapas temáticos desenvolvidos com auxílio da plataforma SIG podem ser utilizados como instrumentos de previsão e avaliação de cenários futuros, contribuindo para o planejamento urbano mais sustentável.

Por fim, uma metodologia de classificação microclimática em células octogonais foi proposta como forma de traduzir os mapas térmicos em informações gráficas, que podem ser diretamente aplicadas no desenvolvimento de planos de ações, para a elaboração de diretrizes de ocupação e requalificação urbana, com medidas de mitigação e adaptação térmica.

REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, dez. 2010.

AMIRTHAM, L. R.; HARRISON, E.; RAJKUMAR, S.; Impact of urban morphology on microclimatic conditions and outdoor thermal comfort – a study in mixed residential neighbourhood of Chennai, India. In: ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment. 2016. **Anais do 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, 2016.**

ANDREOU, E. Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. **Renewable Energy**, v. 66, p. 182-188, jul. 2013.

ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L.; MARRA, N. C. S. N.; AMARAL, D. O.; MEDEIROS, M. B.; SILVA, B. M. F.; RIBEIRO, N. F.; ZUQUIM, K.; SOUZA, C. A. S. Elaboração de Mapas Climáticos Urbanos: variáveis e resultados preliminares para Belo Horizonte, MG. in: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, CAMPINAS, 2016. **Anais do XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, Campinas, 2016.

BARBOSA, W. S.; FREITAS, R. M.; AZERÊDO, J. F. A.; MORAES, T.; GALDI, A. A. Inventário qualiquantitativo da vegetação arbórea em duas ruas do Bairro Espinheiro, Recife – PE. in: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, CAMPINAS, 2016. **Anais do XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, Campinas, 2016.

BOURBIA, F.; BOUCHERIBA, F. Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). **Renewable Energy**, v. 36, n. 2, p. 343-347, 2010.

CARFAN, A. C.; GALVANI, E.; Nery, J.T. Study of the microclimate effect in the urban vertical structure in Ourinhos, São Paulo State. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.34, n. 3, p.313-320, jul./set. 2012.

CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; BASSO, A.; FERNANDES, M. R. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 69-76, abr./jun. 2003.

COHEN, P.; POTCHTER, O.; MATZARAKIS, A. Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments. **Applied Geography**, v. 37, p. 1-10, fev. 2013.

CUNHA MAIA, F. M. **Caracterização da ilha de calor urbano de Bragança**. 2013. 49 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia e Oceanografia Física) – Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2013.

DORNELLES, K. A. Absortância solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. **Programa de Pós-**

Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Tese de Doutorado. Campinas, 2008.

DUARTE, H.; SERRA, G.. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental: correlações e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 7-20, abr./jun. 2003.

EL-SHAFIE, A.; NAJAH, A.; ALSULAMI, H. M.; JAHANBANI, H. Optimized neural network prediction model for potential evapotranspiration utilizing ensemble procedure. **Water resources management**, v. 28, n. 4, p. 947-967, 2014. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11269-014-0626-1>.

GOMES, P. S. **Ocupação do solo e microclimas urbanos: o caso de Montes Claros – MG**. 2008. 212 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GÓMEZ, N.; HIGUERAS, E.; ESCALONA, M. Técnica estadística de evaluación de sostenibilidad del microespacio entre edificaciones en clima cálido húmedo. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, Portugal, 2014. **Anais do 6º Congresso Luso-Brasileiro para planejamento urbano, regional, integrado e sustentável**, Portugal, 2014.

HANIEF, M.; WANI, M.F.; Modeling and prediction of surface roughness for running-in wear using Gauss-Newton algorithm and ANN, **Applied Surface Science**, V. 367, Part B, Dez. 2016, Pages 1673-1677, ISSN 0169-4332, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.10.062>.

HEBBERT, Michael. Climatology for city planning in historical perspective. **Urban Climate**, v. 10, p. 204-216, Dez. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2014.07.001>

HIEN, W. N.; JUSUF, S. K. Air temperature distribution and the influence of sky view factor in a green Singapore estate. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 136, n. 3, p. 261-272, set. 2010.

JOHANSSON, E.; THORSSON, S., EMMANUEL, R.; KRÜGER, E. Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies—the need for standardization. **Urban Climate**, v. 10, parte 2, p. 346-366, dez. 2014.

KRÜGER, E. L.. Impacto do adensamento e da orientação solar de cânions urbanos na demanda por condicionamento térmico de edificações sob condições de clima desértico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 66-87, jan./mar. 2008.

LAMENHA, M. A.; BARBOSA, R. V. R.; BITTENCOURT, Leonardo Salazar. Análise da ventilação natural em diferentes arranjos construtivos urbanos. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, Portugal, 2014. **Anais do 6º Congresso Luso-Brasileiro para planejamento urbano, regional, integrado e sustentável**, Portugal, 2014.

LANDSBERG, H. E. *The Urban Climate*. Academic Press, INC. New York, 1981.

LÓIS, É.; LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. Efeitos de diferentes estruturas de vegetação ciliar sobre as variáveis de microclima e a sensação de conforto térmico. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 117-136. jun. 2011.

LOKOSHCHENKO, M. A. Urban 'heat island' in Moscow. **Urban Climate**, v. 10, p. 660-662, Dez. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2014.01.008>

MAHDAVI, A. The Urban Climate. **Proceedings of the 2nd ICAUD International Conference in Architecture and Urban Design**, Epoka University, Tirana, Albania, 08-10 Mai. 2014, Paper No. 269.

MARROQUIM, F. M. G.; CRUZ, M. S.; BARBIRATO, G. M. A influência do desenho urbano no ambiente térmico resultante de um empreendimento do programa minha casa minha vida em clima quente úmido do nordeste brasileiro, In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, Portugal, 2014. **Anais do 6º Congresso Luso-Brasileiro para planejamento urbano, regional, integrado e sustentável**, Portugal, 2014.

MARTINS, T. A. de L.; BONHOMME, M.; ADOLPHE, L. Análise do impacto da morfologia urbana na demanda estimada de energia das edificações: um estudo de caso na cidade de Maceió, AL. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 213-233, out./dez. 2013.

MASIERO, É. **Influência de corpos d'água em microclimas urbanos**: estudo de caso em São José do Rio Preto – SP. 2014. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, 2014.

MASIERO, É.; SOUZA, L. C. L. Simulação do comportamento microclimático urbano. In: SIMPÓSIO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA. Maringá, 2012. **Anais do 3º Simpósio De Pós Graduação Em Engenharia Urbana**. Maringá, 2012.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 2, p. 131-139, set. 2009.

MILLS, Gerald. Urban climatology: History, status and prospects. **Urban Climate**, v. 10, p. 479-489, Dez. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2014.06.004>.

MINELLA, F. O.; ROSSI, F. A., KRÜGER, E. L.. Influência do fator de visão do céu no conforto térmico em duas situações urbanas distintas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal - RN. **Anais do X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Natal, 2009.

MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos**. 378 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. Routledge, New York, 2ª Ed., 1987.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment (1967)**, v. 7, n. 8, p. 769-779, ago. 1973.

PASSOS, I. C. S.; SACRAMENTO, A. S.; BARBIRATO, G. M. Ventilação natural urbana: análise de cenário futuro em zona residencial em expansão na cidade de Maceió-AL 2014. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, Portugal, 2014. **Anais do 6º Congresso Luso-Brasileiro para planejamento urbano, regional, integrado e sustentável**, Portugal, 2014.

PATEL, D. A.; JHA, K. N. Neural Network Approach for Safety Climate Prediction. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 6, p. 06014027, 2014. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-6479.0000348](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-6479.0000348)

PEZZUTO, C. C.; ALCHAPAR, N. L.; LABAKI, L. C.; CORREA, E. N. Efeito da vegetação na variação da temperatura urbana em diferentes climas: estudo de caso na cidade de Campinas e Mendoza. in: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, CAMPINAS, 2016. **Anais do XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, Campinas, 2016.

PEZZUTO, C. C.; MONTEZUMA, R. C. M.; MONTEIRO, V. S.; ALBUQUERQUE, C. T. Avaliação do comportamento térmico de áreas verdes em diferentes configurações de entorno imediato - estudo de caso em regiões metropolitanas do Brasil. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, Portugal, 2014. **Anais do 6º Congresso Luso-Brasileiro para planejamento urbano, regional, integrado e sustentável**, Portugal, 2014.

RANGEL, P. D.; GOMES, M. G. M.; COSTA, J. M.; BARBIRATO, G. M. Comportamento térmico de espaços externos urbanos em ambiente tropical úmido: efeitos da ocupação do solo no microclima de ruas e praças. in: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, CAMPINAS, 2016. **Anais do XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, Campinas, 2016.

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L. de; CASTILHO, F. J. V. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 161-176, jun./set. 2011.

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L. de; CASTILHO, F. J. V.. Estudo piloto: configuração urbana e clima ao longo de córrego urbano em São José do Rio Preto. CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 2010, Faro, Portugal. **Anais do 4º Congresso Luso-Brasileiro Para O Planejamento Urbano, Regional, Integrado E Sustentável, 2010, Faro, Portugal.**

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L.. Contribuição da vegetação e permeabilidade do solo para o ambiente térmico em avenidas de fundo de vale. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011, Búzios – RJ. **Anais do XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L.. Comparação entre sensação térmica real e o índice pet para Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2013, Brasília. **Anais do XII Encontro Nacional de Conforto no**

Ambiente Construído e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Universidade de Brasília, 2013.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E.; NIKOLOPOULOU, M. A. Influência da Configuração Urbana no Microclima e na Sensação Térmica em Ruas de Pedestre de Curitiba, Paraná. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011, Búzios – RJ. **Anais do XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

SABBAG, F.P.; FONTES, M. S. G. C. 2014. Conforto térmico em ambientes universitários: estudo em espaços de passagem. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, Portugal, 2014. **Anais do 6º Congresso Luso-Brasileiro para planejamento urbano, regional, integrado e sustentável**, Portugal, 2014.

SHASHUA-BAR, L.; TSIROS, I. X.; HOFFMAN, M. Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate (Athens) under hot summer conditions. **Building and Environment**, v. 67, p. 110-119, nov. 2012.

SILVA, A. N. R. D., RAMOS, R. A., SOUZA, L. C. L., RODRIGUES, D. S., & MENDES, J. F.. **SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes**. São Carlos, SP. Ed. autores, 2004.

SILVA, I. A.; VIEIRA, M. L. S.; SANTOS, J. S.; ARAÚJO, L. E. Clima Urbano: Uma Avaliação do Campo Térmico Urbano do Campus IV da UFPB\ Rio Tinto-PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 6, p. 1384-1399, 2013.

SOUZA, L. C. L. Relações entre ilhas de calor, geometria urbana e consumo de energia elétrica. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, jan./jun. 2010.

SOUZA, L. C. L.; NAKATA, C. M.; MARQUES, E L. M. Escalas de análise urbana e seus diferentes efeitos térmicos. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, Portugal, 2014. **Anais do 4º Congresso Luso-Brasileiro para planejamento urbano, regional, integrado e sustentável**, Portugal, 2014.

SOUZA, L. C. L.; TENENTE, C. M.; GIUNTA, M. B.; NAKATA, C. M. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 166-167, out./dez. 2010.

STEINIGER, S.; HUNTER, A. JS. The 2012 free and open source GIS software map—A guide to facilitate research, development, and adoption. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 39, p. 136-160, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.10.003>.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, mai. 2012.

STEWART, T. J.; JANSSEN, R. A multiobjective GIS-based land use planning algorithm. **Computers, environment and urban systems**, v. 46, p. 26-34, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.04.002>.

VASCONCELOS, J. S. **Índices Urbanísticos e o ambiente térmico**: Estudo em uma fração da Cidade de São Carlos – SP. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

WANG, Y.; AKBARI, H. Effect of Sky View Factor on Outdoor Temperature and Comfort in Montreal. **Environmental Engineering Science**, v. 31, n. 6, p. 272-287, 2014.

XIAODONG, H.; SHUANGHE, S.; SHIGUANG, M.; JINGJING, D.; YIZHOU, Z. Quantitative detection of urban climate resources and the establishment of an urban climate map (UCMap) system in Beijing, **Building and Environment**, v. 92, p. 668-678, out. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.044>.

YAN, H.; FAN, S.; GUO, C.; WU, F.; ZHANG, N.; DONG, L. Assessing the effects of landscape design parameters on intra-urban air temperature variability: The case of Beijing, China. **Building and Environment**, v. 76, p. 44-63, jun. 2014.

YASSIN, M. A.; ALAZBA, A. A.; MATTAR, M. A. Artificial neural networks versus gene expression programming for estimating reference evapotranspiration in arid climate. **Agricultural Water Management**, v. 163, p. 110-124, Jan. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.09.009>.

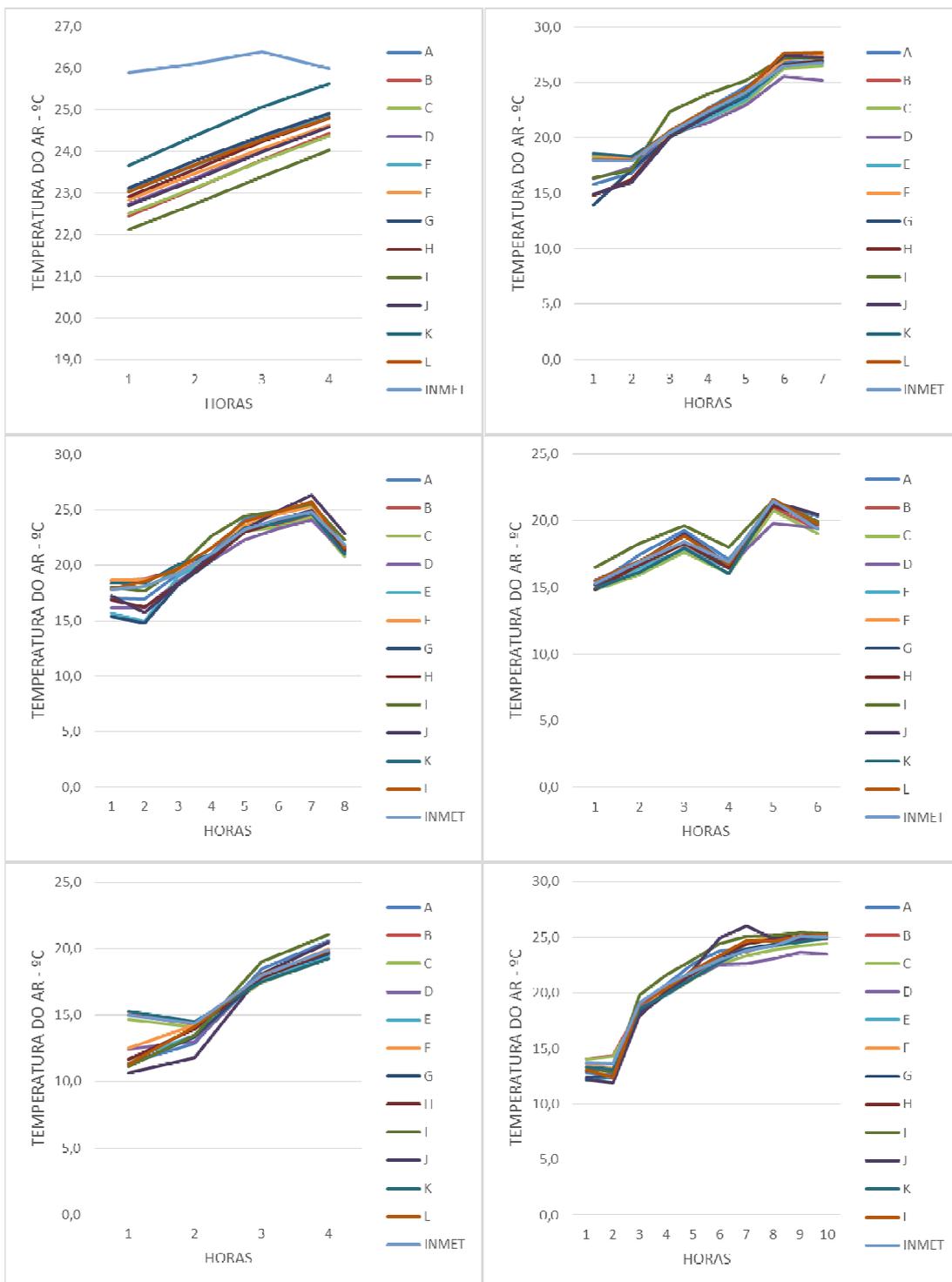
YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 2, p. 106-120, fev. 2006.

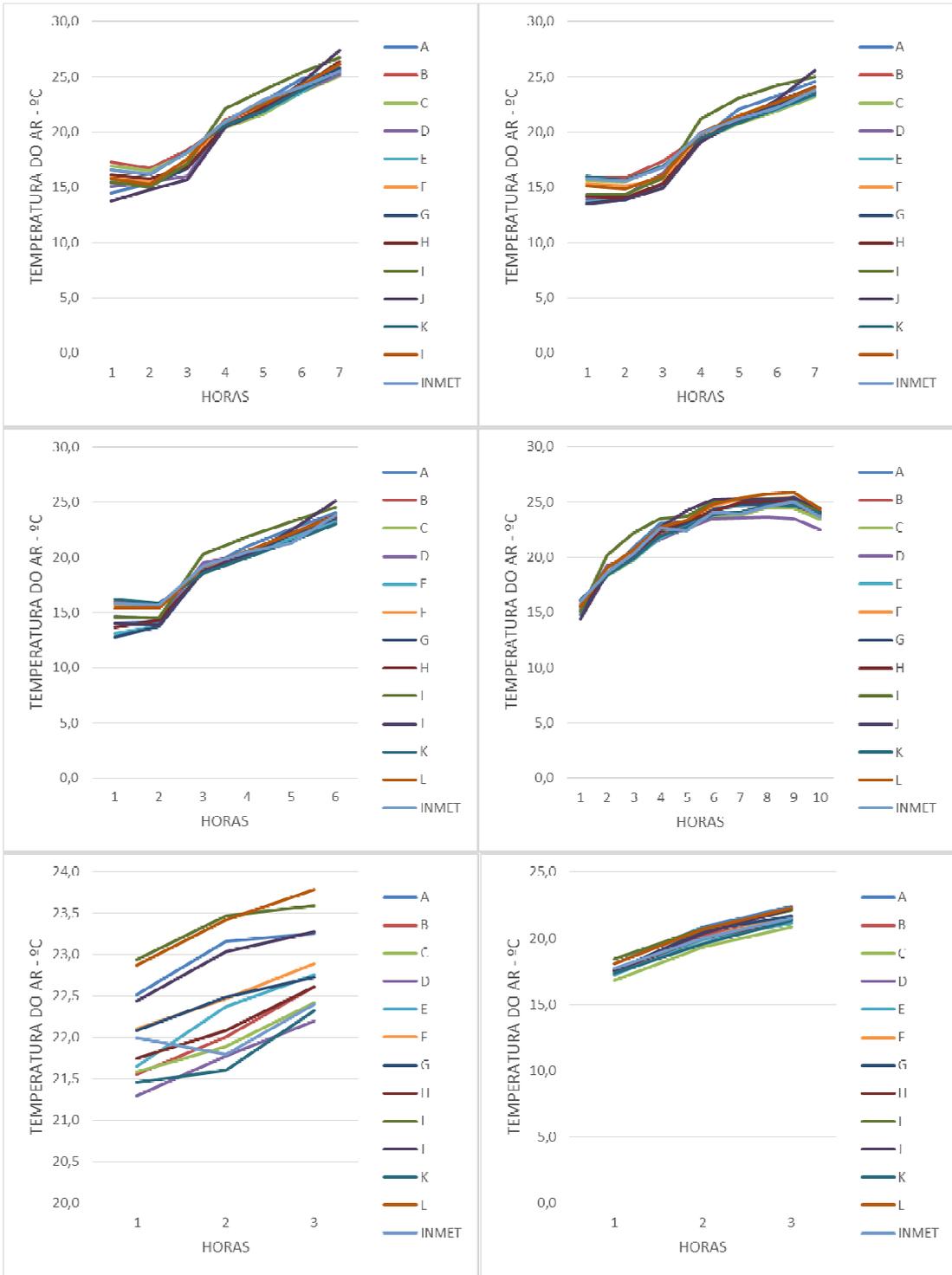
ZHANG, B.; XIE, G. D.; GAO, J. X.; YANG, Y. The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: A case study in Beijing, China. **Building and Environment**, v. 76, p. 37-43, jun. 2014.

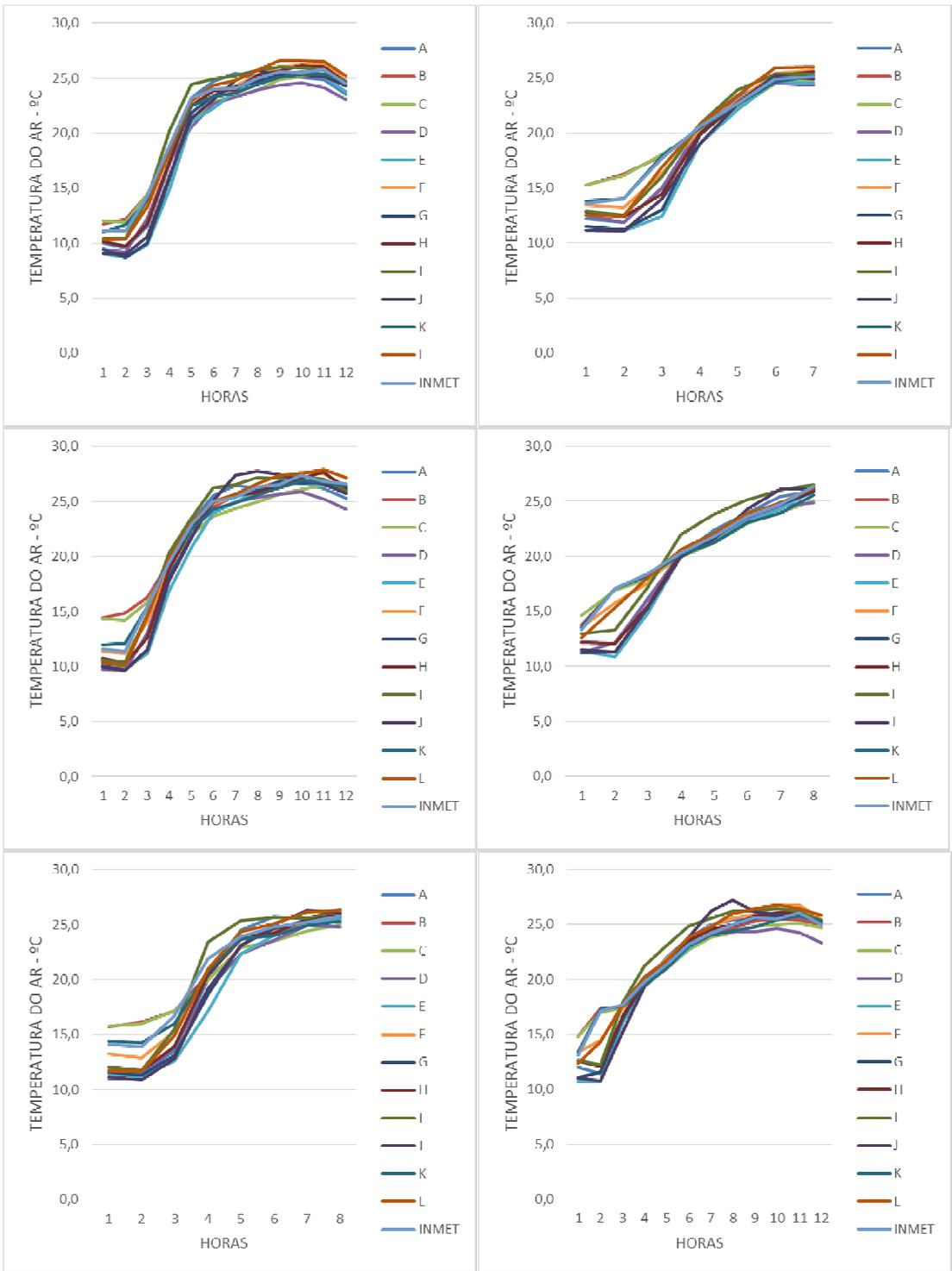
APÊNDICES

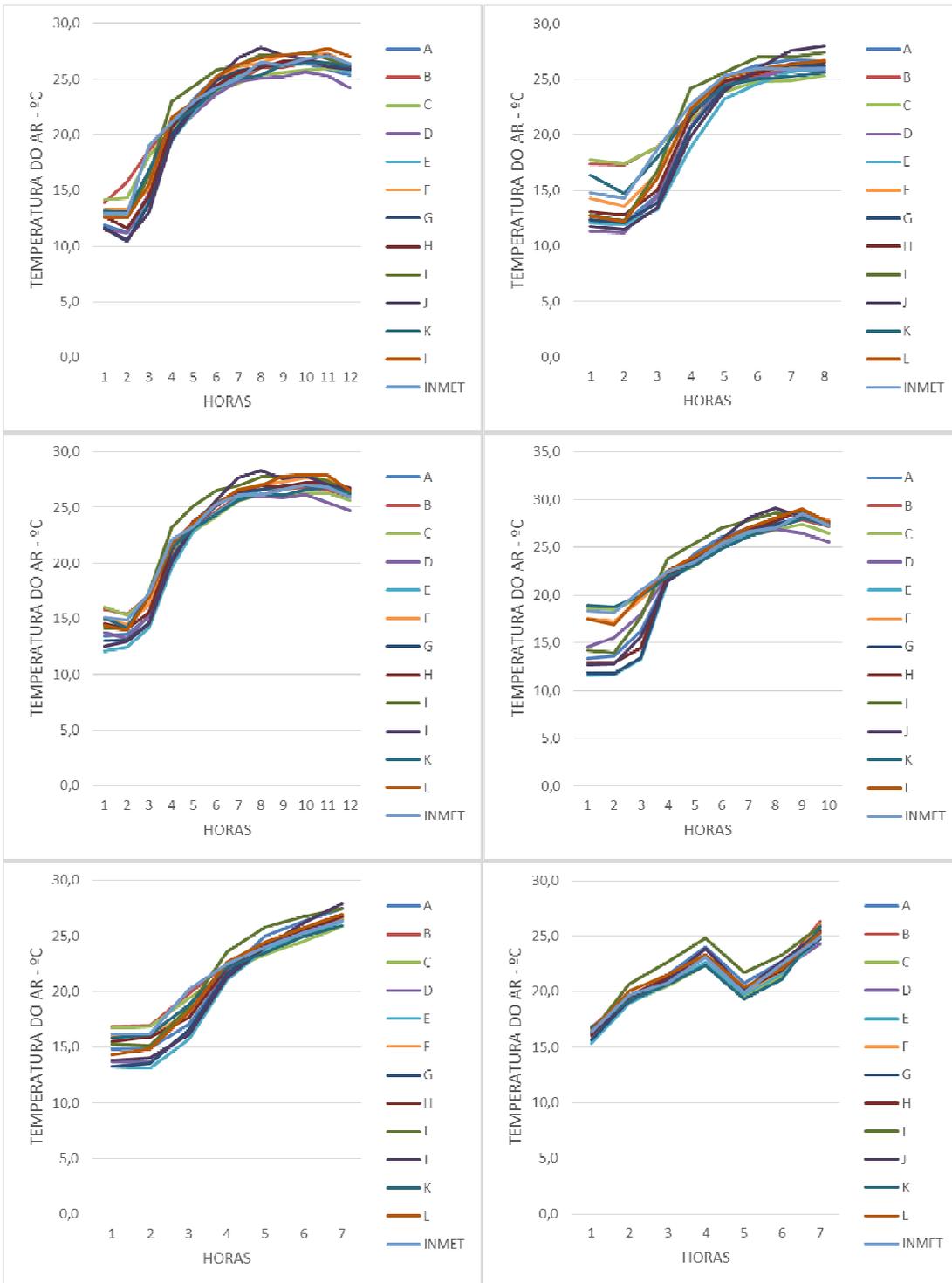
APÊNDICE A

Dados sobre temperatura do ar utilizados para a criação das redes neurais artificiais para o período diurno, registrados durante a campanha A, separados em horas para cada dia, de acordo com o recorte amostral.



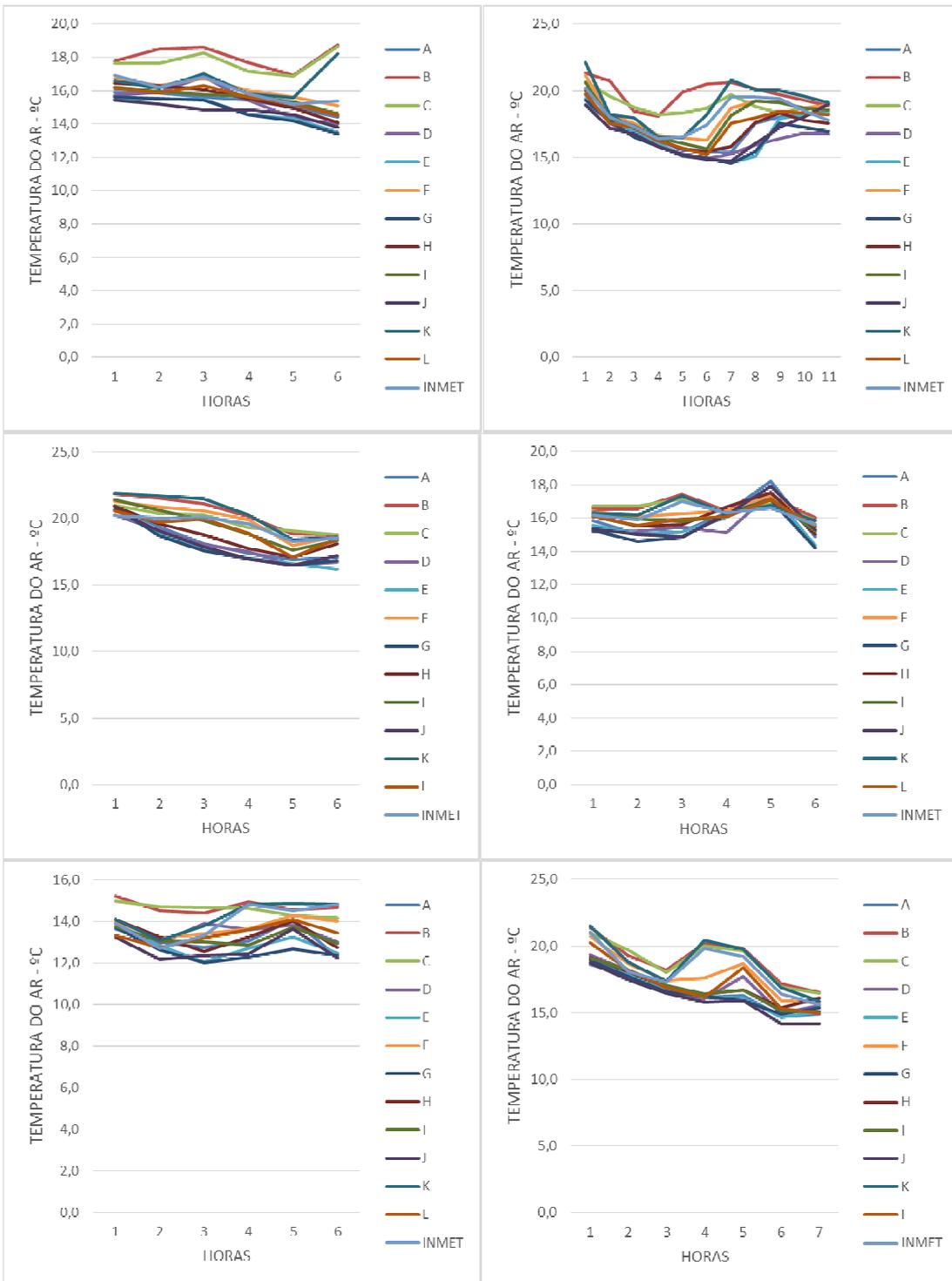


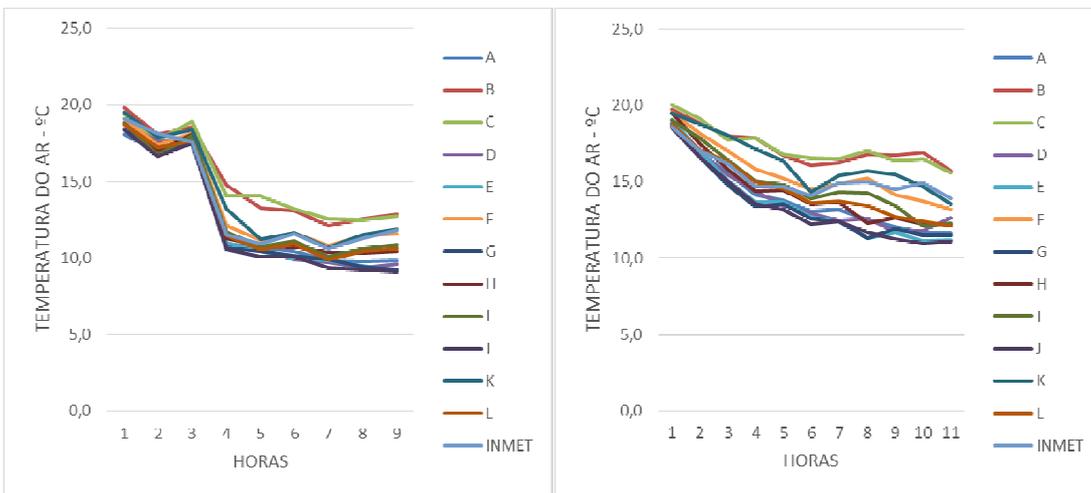
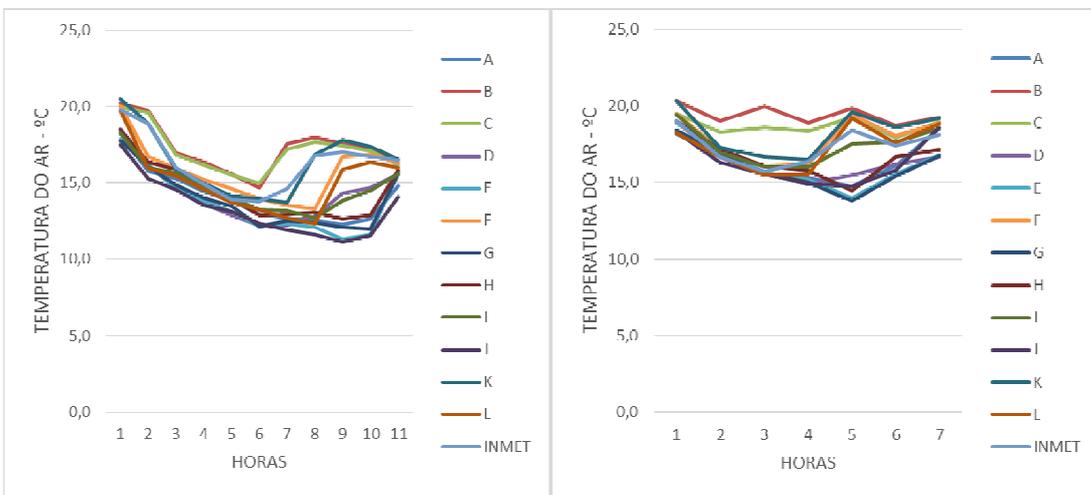
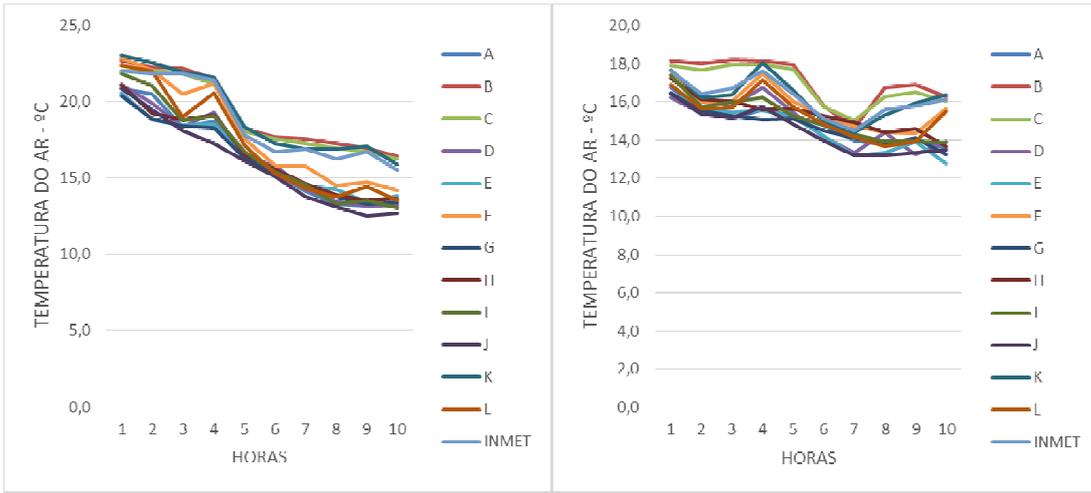


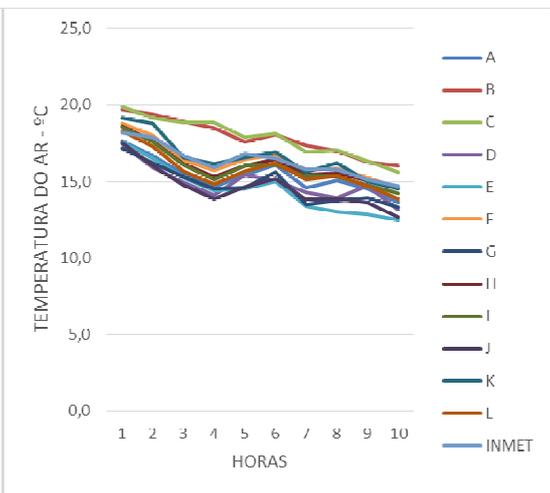
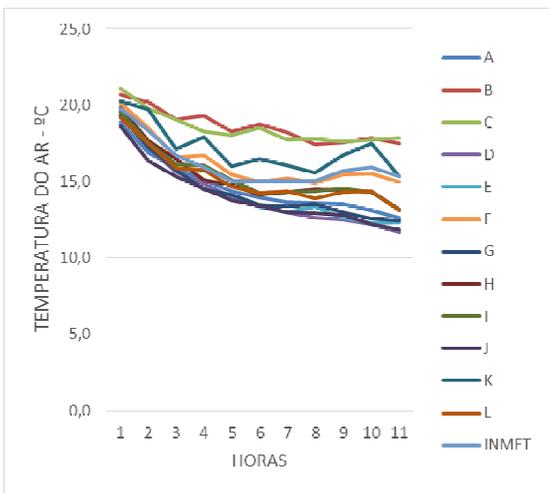
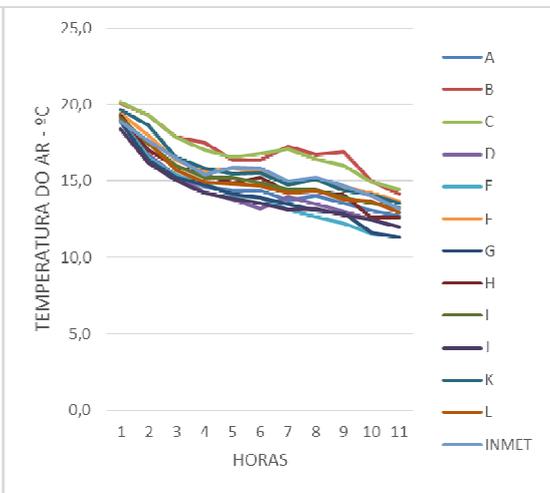
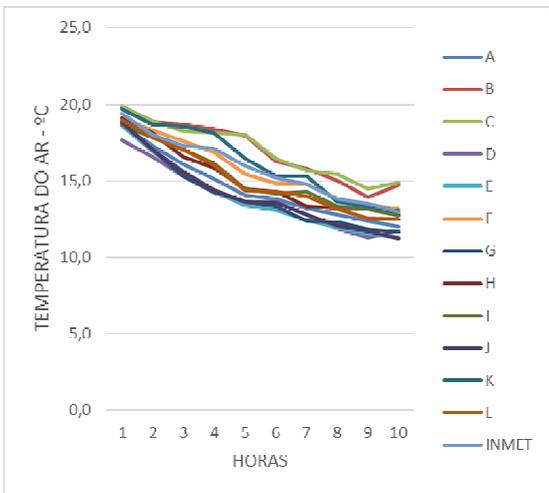
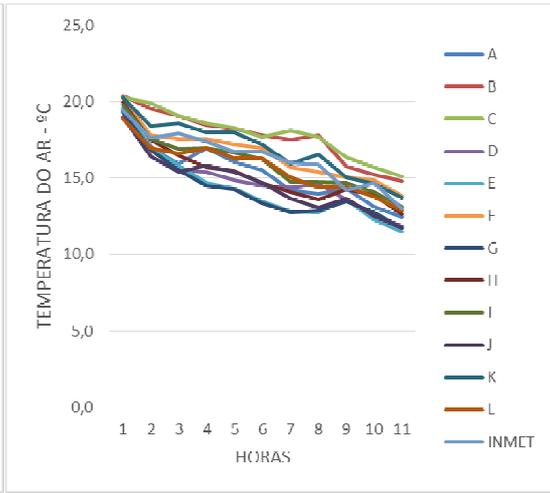
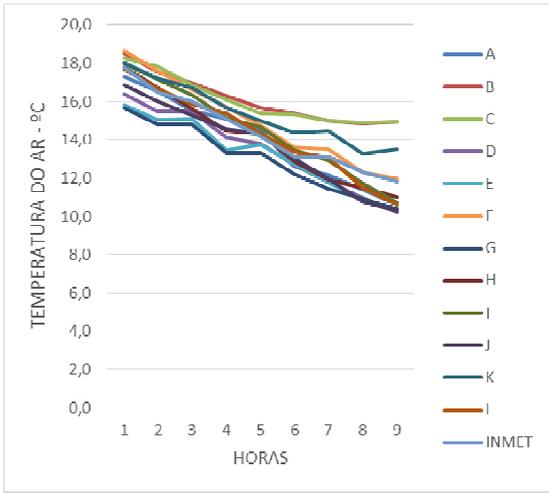


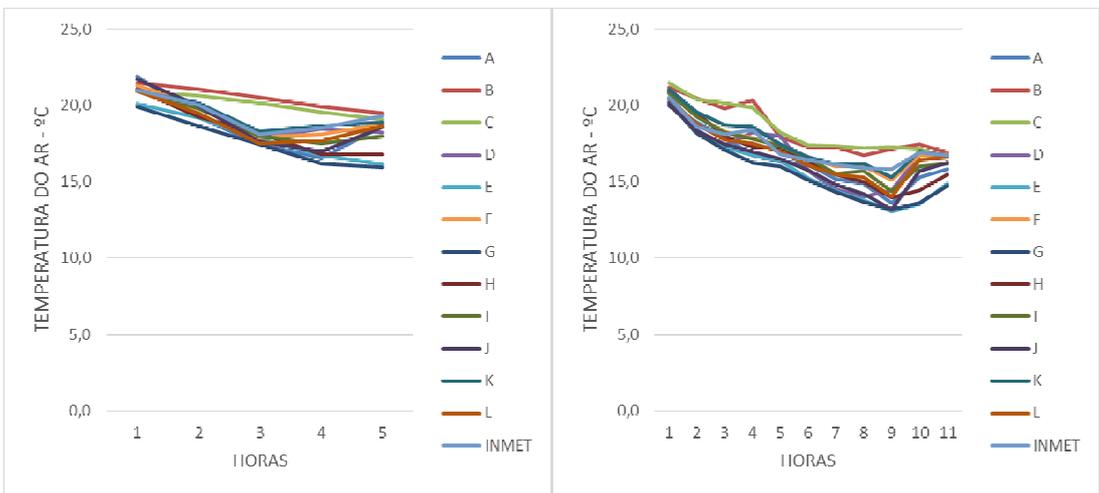
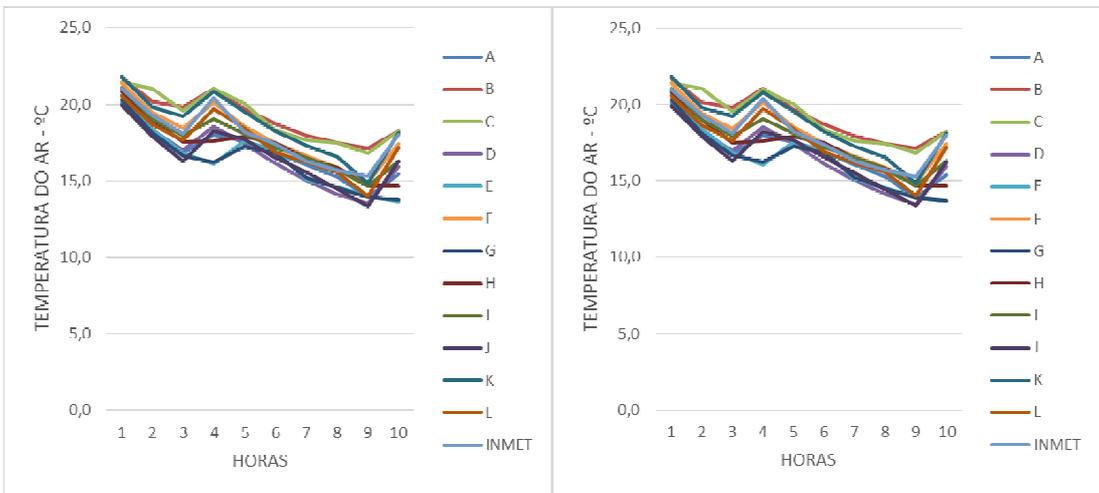
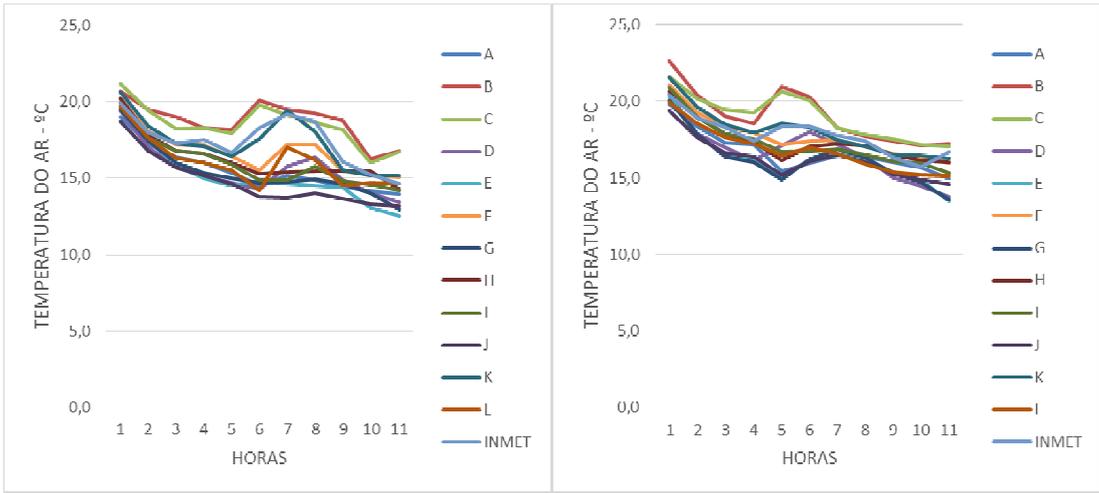
APÊNDICE B

Dados sobre temperatura do ar utilizados para a criação das redes neurais artificiais para o período noturno, registrados durante a campanha A, separados em horas para cada dia, de acordo com o recorte amostral.





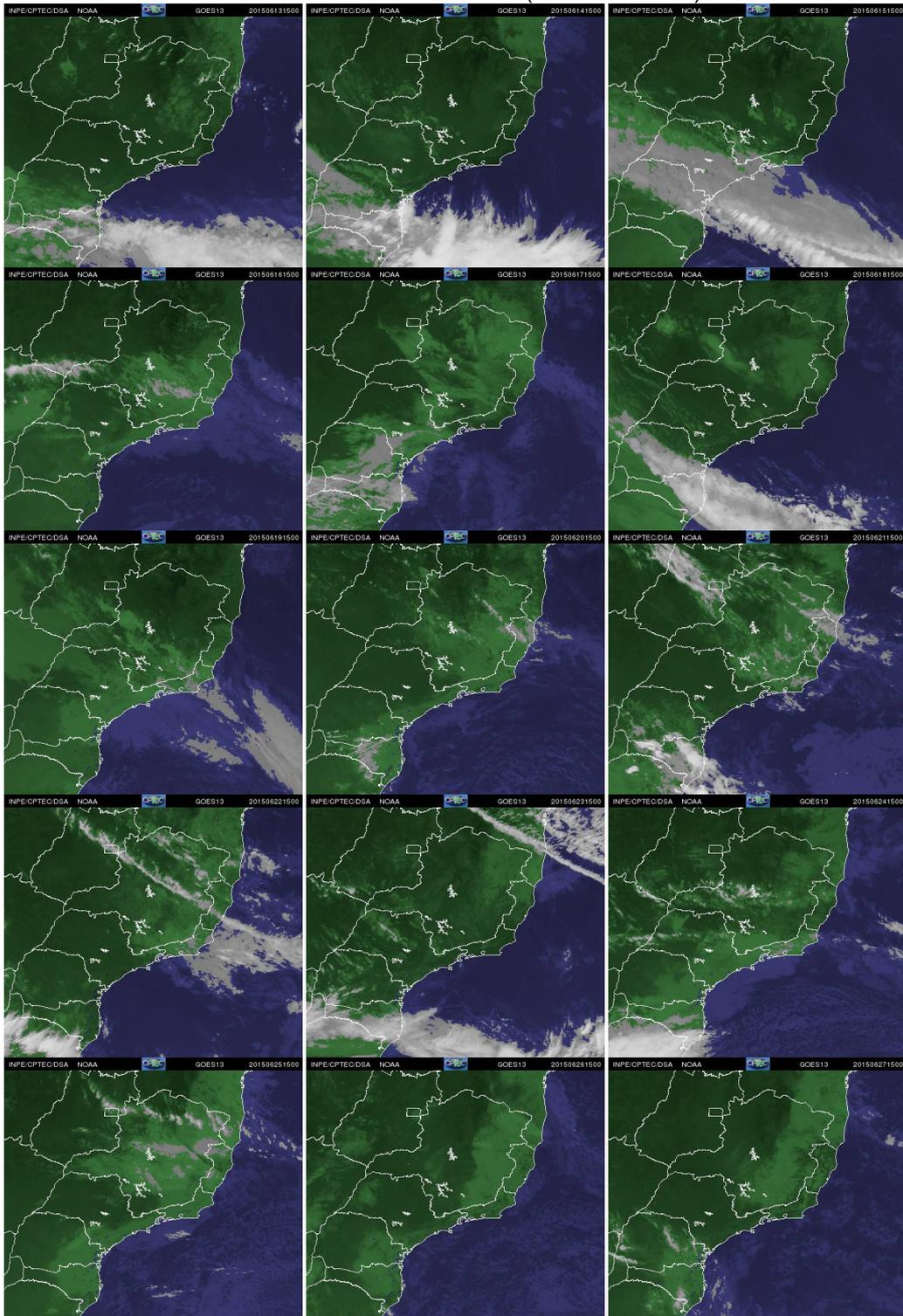




ANEXOS

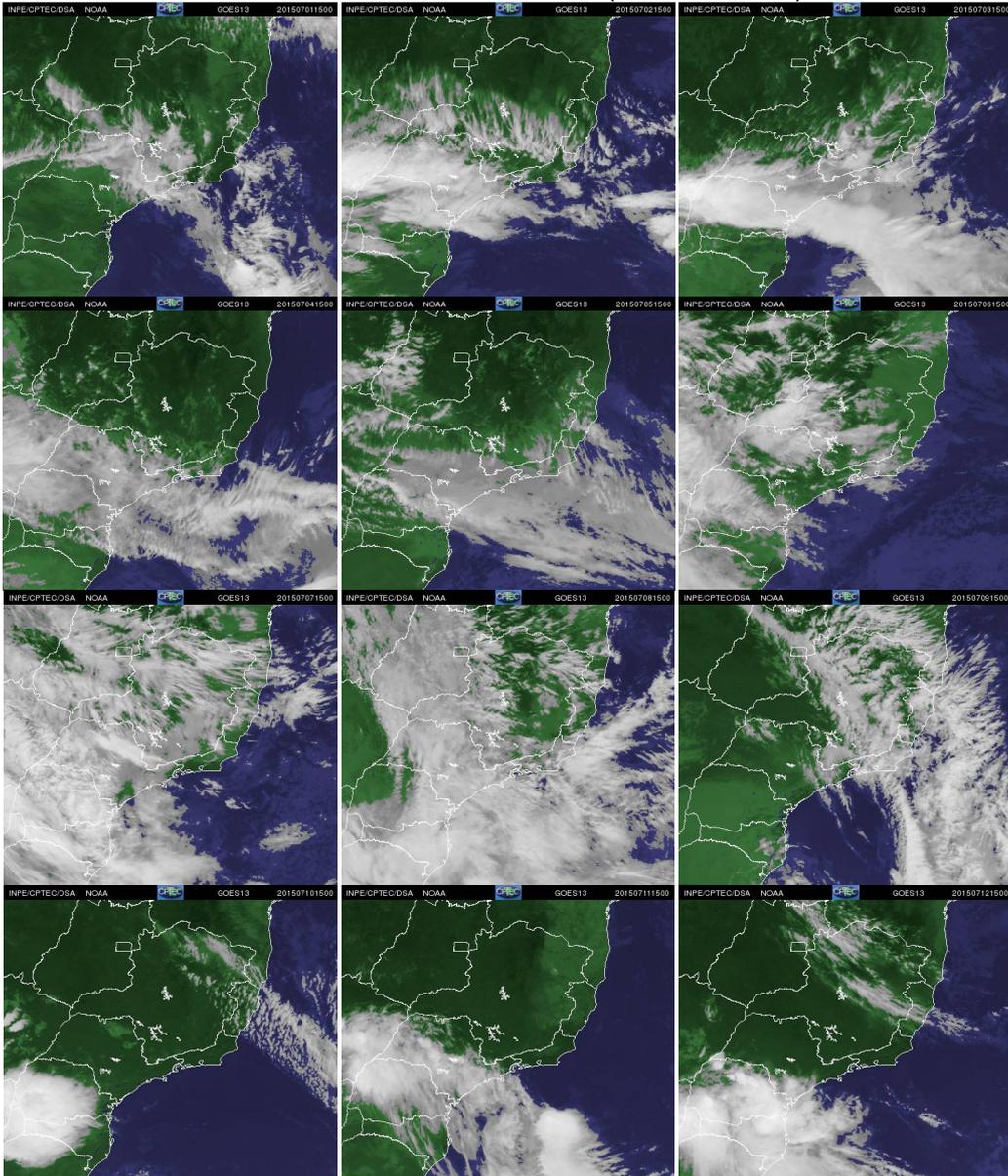
ANEXO A

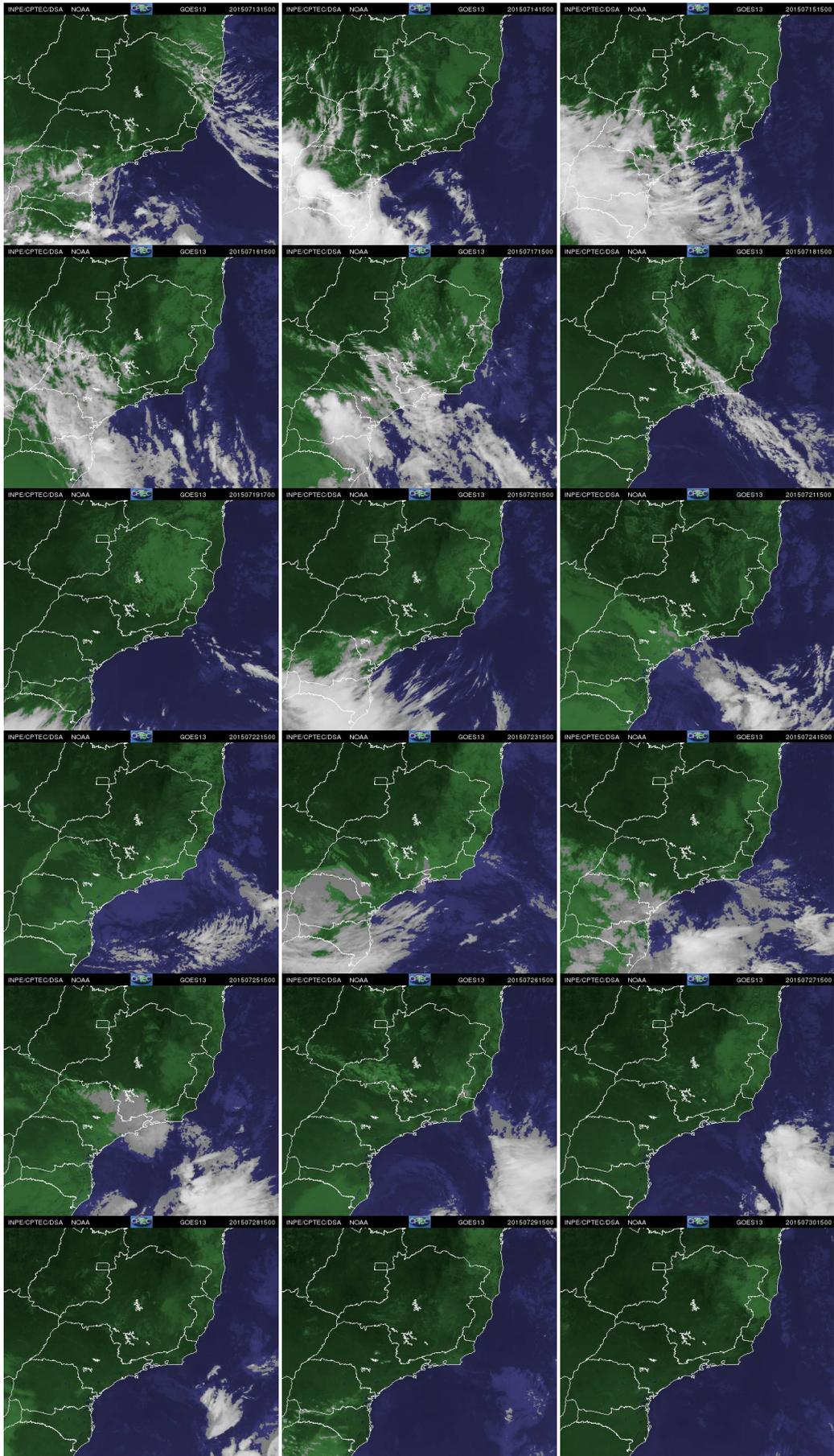
JUNHO 2015 – 15H00MIN (13/06 A 30/06)





JULHO DE 2015 – 15H00MIN (01/07 A 31/07)







AGOSTO DE 2015 – 15H00MIN (DE 01/08 A 13/08)

