

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS (UFAL)  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO (FAU)  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO (PPGAU)

TESE DE DOUTORADO

**O EFEITO MICROCLIMÁTICO DA APLICAÇÃO DE ENVOLTÓRIAS  
VEGETADAS NO CONTEXTO TROPICAL ÚMIDO ALAGOANO**

CAMILA ARAUJO DE SIRQUEIRA SOUZA

Maceió

2019

CAMILA ARAUJO DE SIRQUEIRA SOUZA

**O EFEITO MICROCLIMÁTICO DA APLICAÇÃO DE ENVOLTÓRIAS  
VEGETADAS NO CONTEXTO TROPICAL ÚMIDO ALAGOANO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Gianna Melo Barbirato

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Valentim dos Santos

Maceió

2019

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S729e Souza, Camila Araújo de Sirqueira.  
O efeito microclimático da aplicação de envoltórias vegetadas no contexto tropical úmido alagoano / Camila Araújo de Sirqueira Souza. - 2019.  
138 f. : il. color.

Orientadora: Gianna Melo Barbirato.

Coorientador: Pedro Valentim dos Santos.

Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 119-123.

Apêndices: f. 124-138.

1. Plantas - Controle de temperatura. 2. Microclima urbano. 3. Simulação (Computadores). 4. Planejamento urbano - Fatores climáticos. I. Título

CDU: 711:551.584.5(813.5)

**Folha de aprovação**

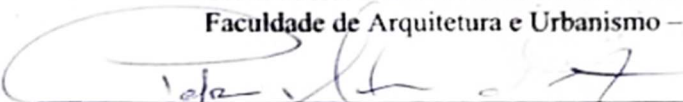
**AUTORA: CAMILA ARAUJO DE SIRQUEIRA SOUZA**

**O EFEITO MICROCLIMÁTICO DA APLICAÇÃO DE ENVOLTÓRIAS  
VEGETADAS NO CONTEXTO TROPICAL ÚMIDO ALAGOANO**

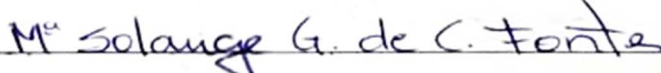
Tese submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção do grau de Doutora em Arquitetura e Urbanismo, aprovada em 03 de maio de 2019.



Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Gianna Melo Barbirato  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL

  
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Valentim dos Santos  
Instituto de Física – UFAL

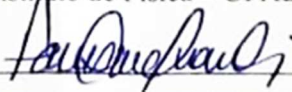
Banca Examinadora:



Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Solange Gurgel de Castro Fontes  
Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação – UNESP



Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Socorro Seixas Pereira  
Instituto de Física – UFAL



Prof. Dr. Fernando Sá Cavalcanti  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



À Adriano e Diogo,  
minhas maiores motivações.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Gianna Melo Barbirato, pela orientação dedicada e exigente, pelo incentivo e acolhimento no grupo de pesquisa GATU e por me guiar desde o segundo período da graduação acompanhando meu desenvolvimento.

Ao meu coorientador, Prof. Pedro Valentim dos Santos, pela assistência e apoio no decorrer do desenvolvimento desta tese.

À minha Família, pelo apoio incondicional, pelo estímulo desde o início de minha vida acadêmica e pela confiança em minhas escolhas.

Aos professores do PPGAU/DEHA que contribuíram com conhecimento e incentivo.

Aos meus colegas do PPGAU/DEHA que trilharam comigo nesses 4 anos de doutorado, apoiando um ao outro e incentivando cada passo dado por cada um.

Aos colegas do Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana (GATU), pela amizade, companheirismo e incentivo durante esses 4 anos de pesquisa, em especial à Miquelina Cavalcante, por trabalharmos em conjunto desenvolvendo pesquisas para compor resultados relevantes para o presente trabalho e que se tornou parte indispensável desse processo, tanto acadêmico como de vida.

Aos membros da Banca, que contribuíram para a qualificação deste trabalho: à professora Maria Solange Gurgel de Castro Fontes, à professora Maria Socorro Seixas Pereira, ao professor Fernando Antônio de Melo Sá Cavalcanti e ao professor Ricardo Victor Rodrigues Barbosa.

À Luciane secretária do DEHA pelo apoio e as funcionárias da limpeza Nete e Dilma por melhorar nosso ambiente de estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) juntamente com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), as quais possibilitaram através do Convênio CAPES/FAPEAL, o auxílio financeiro de Bolsa de pesquisa para o desenvolvimento da presente tese.

## RESUMO

A influência da vegetação e sua ação benéfica no microclima é uma das principais estratégias utilizadas para a mitigação de temperaturas do ar nos centros urbanos. Com uso de elementos rasteiros como gramíneas e árvores de grande porte, a difusão de possibilidades para aplicação de elementos vegetados em terrenos e edificações vem aumentando ao longo dos anos. Algumas características devem ser consideradas ao se escolher o tipo de estrutura vegetada a se aplicar no espaço a fim de se obter a sua influência em um determinado local. O objetivo geral desta tese foi avaliar e prever a influência de envoltórias (paredes e telhado) vegetadas como possíveis elementos para a mitigação do microclima, no contexto microclimático tropical úmido, com estudo de caso em Maceió, Alagoas. Para tanto, foram realizadas medições micrometeorológicas *in loco*, através de estação móvel, para aquisição de dados utilizados como base para definição de parâmetros internos, a serem alimentados no programa computacional ENVI-met, utilizado para aquisição dos principais resultados dessa pesquisa. A partir da escolha de um tipo de elemento vegetativo para aplicação em envoltórias, foram criados cenários hipotéticos de alterações nos parâmetros urbanísticos locais em relação aos afastamentos e recuos das edificações e a inserção de envoltórias vegetadas nas edificações existentes em um recorte urbano. Esses cenários variaram em dezessete tipologias hipotéticas, sendo uma baseada no recorte real, dez com modificações nas áreas intralotes e seis cenários com inserção de envoltórias vegetadas com utilização de vegetação em trepadeira. Como principais resultados encontrados, as diferenças de temperaturas do ar chegaram a valores de até 3°C de redução em cenários com a inserção de envoltórias vegetadas em comparação aos cenários com modificações de recuos e cenário baseado no recorte real. Quanto à influência da ventilação urbana no contexto estudado, vale salientar que os locais posicionados a barlavento não sofreram influência expressiva dos elementos vegetativos de envoltória, chegando a apresentar até 0,5°C a menos entre as temperaturas do ar existentes nos cenários simulados. Para locais a sotavento a direção e velocidade do vento no local de estudo influenciaram diretamente nos dados adquiridos pelas simulações, levando em consideração três pontos de análise, apresentando temperaturas em média 2°C a menos em cenários com presença de envoltórias totais vegetadas que os demais cenários simulados. Os resultados apontam que a influência de envoltórias vegetadas em áreas urbanas pode mitigar a temperatura do ar do local em que esses elementos são inseridos e podem ser um importante auxílio para o planejamento urbano na definição de parâmetros que envolvam índices de áreas verdes bem como em parâmetros urbanísticos como recuos e gabaritos de modo a trazer possibilidades de implantação de vegetação urbana especialmente em áreas com altas taxas de ocupação do solo.

Palavras-chave: envoltória vegetada; microclima urbano; simulação computacional



## ABSTRACT

The influence of vegetation and its beneficial action in the microclimate is one of the main strategies used to mitigate air temperatures in urban centers. With the use of underfloor elements such as grasses and large trees, the diffusion of possibilities for the application of vegetated elements in land and buildings has been increasing over the years. Some characteristics should be considered when choosing the type of vegetated structure to be applied in the space in order to obtain its influence in a given location. The General objective of this thesis was to evaluate and predict the influence of envelopes (walls and roof) vegetated as possible elements for the mitigation of the microclimate, in the humid tropical microclimatic context, with a case study in Maceió, Alagoas. For This purpose, micrometeorological measurements were made in loco, through a mobile station, to acquire data used as a basis for the definition of internal parameters, to be fed in the ENVI-Met computational program, used for acquisition of the main results of this research. Based on the choice of a type of vegetative element for application in wraps, hypothetical scenarios of changes in the local urban parameters were created in relation to the spacing and indentations of the buildings and the insertion of vegetated envelopes in Existing buildings in an urban cut. These scenarios varied in seventeen hypothetical typologies, being one based on the real clipping, ten with modifications in the intralotes areas and six scenarios with the insertion of vegetated envelopes with the use of vegetation in creeper. As The main results found, the differences in air temperatures reached values of up to 3 ° C of reduction in scenarios with the insertion of vegetated envelopes in comparison to scenarios with changes in relocations and scenery based on the actual clipping. Regarding the influence of urban ventilation in the studied context, it is worth noting that the locations positioned to windward did not suffer expressive influence of the vegetative elements of the envelopment, reaching up to 0.5 ° C less between the air temperatures In simulated scenarios. For sites to be sotavento the direction and wind velocity at the study site directly influenced the data acquired by the simulations, taking into consideration three points of analysis, presenting temperatures averaging 2 ° C less in scenarios with the presence of vegetated total envelopes than the other simulated scenarios. The results indicate that the influence of vegetated envelopes in urban areas can mitigate the air temperature of the site in which these elements are inserted and can be an important aid for urban planning in the definition of parameters that involve Indexes of green areas as well as in urban parameters such as indentation and feedbacks in order to bring possibilities for the implantation of urban vegetation, especially in areas with high rates of land occupation.

Keywords: Vertical greenery; Urban microclimate; ENVI-met simulation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Escalas climáticas: (a) mesoescala, (b) microescala e (c) escala local.</b>	<b>25</b>
<b>Figura 2 - Apresentação da formação do espaço urbano de uma zona climática local em suas diferentes composições.</b>	<b>26</b>
<b>Figura 3 - Desvio médio da temperatura do ar em cenários hipotéticos.</b>	<b>27</b>
<b>Figura 4 - a) Representação esquemática da troca de fluxos de energia; b) representação esquemática do balanço hídrico de um volume do edifício e o ar urbano.</b>	<b>28</b>
<b>Figura 5 - Representação esquemática da estrutura do modelo de Tso et al (1990).</b>	<b>29</b>
<b>Figura 6 - Representação da função da vegetação quanto à evapotranspiração.</b>	<b>32</b>
<b>Figura 7 - Classificação dos sistemas de jardins verticais por suas características construtivas.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 8 - Determinação de processo de projeto para criação de uma parede verde.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 9 - Exemplo de fachada verde indireta por treliça.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 10 - Exemplo de módulos e painel modular para instalação de parede viva à edificação.</b>	<b>38</b>
<b>Figura 11 - modelo da arquitetura do programa computacional</b>	<b>40</b>
<b>Figura 12 - Apresentação visual do modelo computacional, constando suas principais configurações em relação ao controle de volume do cenário urbano.</b>	<b>42</b>
<b>Figura 13 – Exemplo de formatação apresentada pelo aplicativo LEONARDO</b>	<b>43</b>
<b>Figura 14 - Diferentes conceitos para organizar o layout da grade vertical: (A): grade equidistante, (B1 e B2): grades telescópicas e (C): grade telescópica sem fator de extensão.</b>	<b>44</b>
<b>Figura 15 - Fluxograma com a sequência metodológica do desenvolvimento trabalhado.</b>	<b>51</b>
<b>Figura 16 - Cidade de Maceió, Alagoas.</b>	<b>52</b>
<b>Figura 17 - Rosa dos ventos de Maceió, apresentando a intensidade de ventilação e direção dos ventos.</b>	<b>53</b>
<b>Figura 18 - Recorte urbano da área de estudo. Imagem de Satélite adaptada: Jardim do Horto I – contorno vermelho; Jardim do Horto II – contorno amarelo; Reserva florestal – contorno verde e local de coleta de dados (estrela).</b>	<b>55</b>
<b>Figura 19 - malha viária da área de estudo com marcação do local de aquisição de dados por estação móvel</b>	<b>57</b>

<b>Figura 20 - Estação móvel VANTAGE PRO 2 – DAVIS, instrumentos de medição contidos na estação móvel.</b>	<b>58</b>
<b>Figura 21 - Gráfico de aferição dos dados obtidos entre a estação móvel e a estação automática do INMET – utilização do MBE (Desvio médio padrão dos valores).</b>	<b>61</b>
<b>Figura 22 - Gráfico de aferição dos dados obtidos entre a estação móvel e a estação automática do INMET – utilização do RMSE (dispersão dos valores pelo Erro Médio Quadrático).</b>	<b>61</b>
<b>Figura 23 - Gráfico de aferição dos dados obtidos entre a estação móvel e a estação automática do INMET – adição de linha de base para alinhamento dos dados.</b>	<b>62</b>
<b>Figura 24 - Representação gráfica referente à demarcação dos pontos utilizados para análise.</b>	<b>63</b>
<b>Figura 25 - Representação para os cenários com 1 e 2 pavimentos sem modificação na ocupação dos lotes.</b>	<b>64</b>
<b>Figura 26 - Representação para os cenários com 1 e 2 pavimentos com modificação na ocupação dos lotes.</b>	<b>65</b>
<b>Figura 27 - Representação para os cenários com 1 e 2 pavimentos com modificação na ocupação dos lotes – ampliação do recuo frontal.</b>	<b>65</b>
<b>Figura 28 - Representação para os cenários com 1 e 2 pavimentos com modificação na ocupação dos lotes – ampliação do recuo posterior.</b>	<b>66</b>
<b>Figura 29 - Representação para os cenários com 1 e 2 pavimentos com modificação na ocupação dos lotes – ampliação do recuos laterais.</b>	<b>66</b>
<b>Figura 30 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de telhado vegetado em todas as edificações.</b>	<b>67</b>
<b>Figura 31 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de telhado vegetado em todas as edificações com 2 pavimentos.</b>	<b>68</b>
<b>Figura 32 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de telhado vegetado em todas as edificações com 1 pavimento.</b>	<b>68</b>
<b>Figura 33 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de envoltória vegetada em todas as edificações</b>	<b>69</b>
<b>Figura 34 - epresentação para os cenários vegetados – aplicação de envoltória vegetada em edificações alternadas.</b>	<b>70</b>
<b>Figura 35 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de envoltória vegetada em edificações alternadas (25% de lotes receberam a vegetação nas fachadas).</b>	<b>70</b>

<b>Figura 36 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de envoltória vegetada em edificações alternadas (25% de lotes receberam a vegetação nas fachadas).</b>	<b>71</b>
<b>Figura 37 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de envoltória vegetada em edificações alternadas (25% de lotes receberam a vegetação nas fachadas).</b>	<b>72</b>
<b>Figura 38 - Cenário real – dia inicial de simulação 14/10/2018; (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h. Áreas demarcadas em laranja para acentuar as diferenças encontradas nas manchas térmicas</b>	<b>75</b>
<b>Figura 39 - Cenário real – dia inicial de simulação 14/10/2018; (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h. Áreas demarcadas em laranja para acentuar as diferenças encontradas nas manchas térmicas</b>	<b>76</b>
<b>Figura 40 - Cenário modificado para edificações para 1 (um) pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h. Áreas demarcadas em laranja para acentuar as diferenças encontradas nas manchas térmicas</b>	<b>78</b>
<b>Figura 41 - Cenário modificado para edificações para 1 (um) pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h. Áreas demarcadas em laranja para acentuar as diferenças encontradas nas manchas térmicas</b>	<b>79</b>
<b>Figura 42 - Cenário modificado para edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h. Áreas demarcadas em laranja para acentuar as diferenças encontradas nas manchas térmicas</b>	<b>80</b>
<b>Figura 43 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>81</b>
<b>Figura 44 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>82</b>
<b>Figura 45 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento de altura – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>83</b>

<b>Figura 46 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>84</b>
<b>Figura 47 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>84</b>
<b>Figura 48 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>85</b>
<b>Figura 49 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>86</b>
<b>Figura 50 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>87</b>
<b>Figura 51 -Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>87</b>
<b>Figura 52 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>88</b>
<b>Figura 53 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>89</b>
<b>Figura 54 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>90</b>
<b>Figura 55 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018;</b>	

aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.	91
<b>Figura 56 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>92</b>
<b>Figura 57 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>92</b>
<b>Figura 58 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>93</b>
<b>Figura 59 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>94</b>
<b>Figura 60 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>96</b>
<b>Figura 61 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>97</b>
<b>Figura 62 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>98</b>
<b>Figura 63 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>99</b>
<b>Figura 64 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>100</b>
<b>Figura 65 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>100</b>

<b>Figura 66 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>101</b>
<b>Figura 67 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h</b>	<b>102</b>
<b>Figura 68 - cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>103</b>
<b>Figura 69 - cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>103</b>
<b>Figura 70 - Cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas (25% das fachadas com aplicação de vegetação) – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.</b>	<b>104</b>
<b>Figura 71 - Cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas (25% das fachadas com aplicação de vegetação) – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.</b>	<b>105</b>
<b>Figura 72 – marcação dos pontos de aquisição de dados.</b>	<b>105</b>
<b>Figura 73 - Comparação entre resultados obtidos de 3 pontos do Cenário Real: A, B e RECEPTOR (T).</b>	<b>106</b>
<b>Figura 74 - Análise dos resultados obtidos do ponto A para diversas aplicações de envoltórias vegetadas envolvendo o cenário real</b>	<b>107</b>
<b>Figura 75 - Comparação entre todas as simulações realizadas para o ponto A</b>	<b>108</b>
<b>Figura 76 - Comparação entre todas as simulações realizadas para o ponto B</b>	<b>109</b>
<b>Figura 77 - Análise dos resultados obtidos do ponto B para diversas aplicações de envoltórias vegetadas envolvendo o cenário real</b>	<b>110</b>
<b>Figura 78 - Análise dos resultados obtidos do ponto RECEPTOR para diversas aplicações de envoltórias vegetadas envolvendo o cenário real</b>	<b>111</b>
<b>Figura 79 - Comparação entre todas as simulações realizadas para o ponto A</b>	<b>115</b>
<b>Figura 80 - Comparação entre todas as simulações realizadas para o ponto B</b>	<b>115</b>
<b>Figura 81 - Recorte de estudo</b>	<b>125</b>

<b>Figura 82 - Balanço energético da fachada vegetada</b>	<b>127</b>
<b>Figura 83 - Cenário 1 - Recorte urbano do bairro de Jatiúca, Maceió -AL - CASO 1</b>	<b>129</b>
<b>Figura 84 - Cenário 2 - Recorte urbano modificado, com acréscimo de elementos vegetativos verticais – CASO 2</b>	<b>129</b>
<b>Figura 85 - Cenário 3 - Recorte urbano modificado, com acréscimo de elementos vegetativos verticais ao longo das vias paralelas a Avenida Dr. Antônio Gomes de Barros – CASO 3</b>	<b>129</b>
<b>Figura 86 - Recorte com as demarcações dos receptores</b>	<b>130</b>
<b>Figura 87 - Imagem referente a temperatura do ar no recorte do Caso 1 a 1,5m de altura do solo</b>	<b>133</b>
<b>Figura 88 - Representação gráfica referente a comparação CASO 1 e CASO 2 e 3</b>	<b>134</b>
<b>Figura 89 - Quadras utilizadas para simulação computacional</b>	<b>136</b>



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	28
Equação 2 .....	30
Equação 3 .....	44
Equação 4 .....	45
Equação 5 .....	46
Equação 6 .....	60
Equação 7 .....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010 .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 2 - Coeficientes de aproveitamento do terreno da Macrozona de Adensamento Controlado.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 3 - Dados utilizados para simulações computacionais da área de estudo .....</b>	<b>73</b>
<b>Tabela 4 - Temperatura máxima do ar pelo horário simulado, referente ao ponto RECEPTOR com indicação das maiores temperaturas do ar encontradas para o ponto em análise .....</b>	<b>112</b>
<b>Tabela 5 - Temperatura máxima do ar pelo horário simulado, referente ao ponto A com indicação das maiores temperaturas do ar encontradas para o ponto em análise.....</b>	<b>112</b>
<b>Tabela 6 – temperatura máxima do ar pelo horário simulado, referente ao ponto B com indicação das maiores temperaturas do ar encontradas para o ponto em análise.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabela 7 - Dados meteorológicos utilizados para simulação computacional .....</b>	<b>126</b>
<b>Tabela 8 - Dados utilizados para a parede verde.....</b>	<b>128</b>
<b>Tabela 9 - Dados utilizados nas simulações.....</b>	<b>136</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1- Classificação dos Jardins verticais. ....</b>	<b>35</b>
<b>Quadro 2 - Vantagens e desvantagens presentes nos modelos de fachada verde. ....</b>	<b>39</b>
<b>Quadro 3 - Vantagens e desvantagens presentes em paredes vivas. ....</b>	<b>39</b>
<b>Quadro 4 - Possibilidades de simulação com o programa computacional ENVI-met. ....</b>	<b>41</b>
<b>Quadro 5 - Apresentação dos requisitos de escolha da área de estudo e os pontos que atenderam os mesmos. ....</b>	<b>54</b>
<b>Quadro 6- configurações básicas da estação micrometeorológicas, precisão de medição e alcance, com grifo nas variáveis as quais foram utilizadas nas análises do trabalho. ....</b>	<b>59</b>
<b>Quadro 7- apresentação e o nome de representação em legenda de gráficos analisados</b>	<b>74</b>
<b>Quadro 8 - Apresentação dos cenários simulados e nomes de representação em legenda de gráficos analisados. ....</b>	<b>77</b>
<b>Quadro 9 – Apresentação dos cenários simulados e nomes de representação em legenda de gráficos analisados. ....</b>	<b>95</b>

## SUMÁRIO

<b><u>1. INTRODUÇÃO.....</u></b>	<b><u>19</u></b>
1.1 OBJETIVOS.....	21
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	21
<b><u>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</u></b>	<b><u>23</u></b>
2.1. MICROCLIMA E SEUS ELEMENTOS MODIFICADORES.....	23
2.2. BENEFÍCIOS DO USO DE ENVOLTÓRIAS VEGETADAS E DENTRO DELE AS DIFERENTES TIPOLOGIAS E SEU DESEMPENHO (TETO VERDE E JARDINS VERTICAIS) .....	34
2.2.1 FACHADAS VERDES .....	37
2.2.2 PAREDES VIVAS .....	38
2.2.3 VEGETAÇÃO, IRRIGAÇÃO E VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS JARDINS VERTICAIS ..	38
2.3. O USO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL ENVI-MET PARA SIMULAR O EFEITO MICROCLIMÁTICO COM APLICAÇÃO DE ÁREAS VERDES E ENVOLTÓRIAS VEGETADAS .....	40
2.3.1 MODELO DE TURBULÊNCIA .....	42
2.3.2 GRADE EQUIDISTANTE .....	44
2.3.3 GRADE TELESCÓPICA (TELESCOPING) .....	45
2.3.4 ÁREA DE ALINHAMENTO.....	45
2.3.5 RESULTADOS COM A UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL ENVI-MET COM APLICAÇÃO DE VEGETAÇÃO.....	47
<b><u>3. METODOLOGIA .....</u></b>	<b><u>50</u></b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	51
3.2 MEDIÇÕES MICROMETEOROLÓGICAS.....	57
3.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....	62
3.3.1 Simulações para o recorte de estudo – configuração urbanística local e algumas possibilidades de modificação de malha para possíveis influências no clima local.....	64
3.3.2 Simulações para o recorte de estudo – modificação nos revestimentos da envoltória das edificações para possíveis influências no clima local. ....	67

3.3.3 Simulações para o recorte de estudo – modificação nos revestimentos da envoltória das edificações e em sua configuração urbana para possíveis influências no clima local..... 71

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....73**

##### **4.1 RESULTADOS PARA O RECORTE DE ESTUDO .....73**

##### **4.2 MODIFICAÇÃO NO CENÁRIO REAL – RECUOS .....77**

4.2.1 Área com modificação nas edificações existentes: para 1 pavimento.....77

4.2.2 Área com modificação nas edificações existentes: para 2 pavimentos ..... 79

4.2.3 Área com modificação nas edificações existentes: 1 pavimento com todos os lotes ocupados ..... 81

4.2.4 Área com modificação nas edificações existentes: 2 pavimentos com todos os lotes ocupados ..... 83

4.2.5 Área com modificação nas edificações existentes: 1 pavimento com todos os lotes ocupados e recuos frontais ampliados ..... 85

4.2.6 Área com modificação nas edificações existentes: 2 pavimentos com todos os lotes ocupados e recuos frontais ampliados ..... 86

4.2.7 Área com modificação nas edificações existentes: 1 pavimento de altura com todos os lotes ocupados e corredor ao fundo do lote ampliado ..... 88

4.2.8 Área com modificação nas edificações existentes: 2 pavimentos com todos os lotes ocupados e corredor ao fundo do lote ampliado..... 89

4.2.9 Área com modificação nas edificações existentes: 1 pavimento com todos os lotes ocupados e recuos laterais ampliados ..... 91

4.2.10 Área com modificação nas edificações existentes: 2 pavimentos com todos os lotes ocupados e recuos laterais ampliados ..... 93

##### **4.3 MODIFICAÇÃO NO CENÁRIO REAL E COM RECUOS – ENVOLTÓRIAS VEGETADAS .....95**

4.3.1 Cenário com vegetação aplicada: cenário com telhados vegetados ..... 96

4.3.2 Cenário com vegetação aplicada: cenário com cobertura total de telhados de 1(um) pavimento ..... 97

4.3.3 Cenário com vegetação aplicada: cenário com cobertura total de telhados de 2 pavimentos..... 99

5.3.4 Cenário com vegetação aplicada: cenário aplicação de fachada frontal vegetada em todas as edificações ..... 101

5.3.5 Cenário com vegetação aplicada: cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas .....	102
5.3.6 Cenário com vegetação aplicada: cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas (25% das fachadas com aplicação de vegetação).....	104
<b>4.4 ANÁLISE DOS PONTOS A, B E RECEPTOR - CENÁRIO REAL .....</b>	<b>105</b>
4.4.1 Análise do Ponto A.....	106
<b>4.5 ANÁLISE DO PONTO B.....</b>	<b>108</b>
<b>4.6 ANÁLISE DO PONTO RECEPTOR.....</b>	<b>110</b>
<b>4.7 ANÁLISE GERAL DOS CENÁRIOS SIMULADOS.....</b>	<b>111</b>
<b>4.8 CENÁRIOS COM ACRÉSCIMO DE ENVOLTÓRIAS VEGETADAS - 4MCRL E 4MCR.....</b>	<b>114</b>
<b><u>5. CONCLUSÃO .....</u></b>	<b><u>117</u></b>
<b><u>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u></b>	<b><u>119</u></b>
<b><u>APÊNDICE A .....</u></b>	<b><u>124</u></b>
<b><u>APÊNDICE B.....</u></b>	<b><u>135</u></b>

## 1. INTRODUÇÃO

O tema escolhido para a presente pesquisa é o estudo da influência de envoltórias vegetadas (paredes e telhado) em áreas residenciais que possam atuar na mitigação da temperatura do ar no microclima local. Estudos voltados para o microclima com utilização de elementos vegetados no meio urbano vêm crescendo ao longo dos anos e com maior enfoque na aplicação de telhados vegetados e envoltórias verticais vegetadas, porém no contexto urbano maceioense ainda é pouco explorado.

A influência da vegetação e sua ação benéfica no microclima urbano é estudada por autores que afirmam a sua importância para o resfriamento urbano, caracterizando-a como principal ferramenta para mitigação do microclima (DIMOUNDI e NICOLOPOULOU, 2003) ou que ajudam pela evapotranspiração no decréscimo da temperatura do ar, ao gerar um aumento de sua umidade relativa e absorção da radiação inserida no meio urbano (BONAN, 2002).

As fachadas vegetadas utilizam-se de plantas trepadeiras para recobrir as paredes de edifícios, e configura-se como uma ferramenta flexível e adaptável para qualquer projeto, exercendo a função de filtro de radiação, aumentando a umidade relativa do ar através da evapotranspiração da planta, podendo reduzir a velocidade do vento na superfície (HUNTER, A.M. *et al*, 2014).

Conforme a Associação Espanhola de Telhados Verdes (2014), as fachadas de edificações que possuem aplicação de vegetação geram benefícios para a biodiversidade, ampliam a eficiência energética do edifício, a diminuição da poluição e a absorção de ruídos, além de ajudar a elevar a qualidade do meio urbano.

Cameron, Taylor e Emmett (2014) afirmam que as fachadas vegetadas são componentes de infraestrutura urbana que beneficiam o ecossistema, incluindo a provisão de habitat para a biodiversidade urbana, captação da precipitação e redução das taxas de escoamento, aprisionamento de partículas suspensas no ar, ajudam a melhorar a qualidade do ar no local, auxiliam na atenuação de ruído, mitigam as temperaturas do ar urbano e de superfícies dos edifícios, reduzem a necessidade de utilização de condicionamento de ar e contribuem para o bem-estar psicológico e para a paisagem urbana.

Para Malys, Musy e Inard (2014), uma alternativa para amenizar as temperaturas internas e externas das edificações consiste em revestir suas fachadas com vegetação, o que

oferece resfriamento e sombreamento para seus ambientes internos e externos. A depender da aplicabilidade e tipologia vegetativa escolhida para essa função, esse elemento construtivo pode gerar diferentes resultados para a mitigação no microclima de um determinado local.

A tipologia morfológica de fachadas vegetadas é o que difere nos resultados de resfriamento dos espaços. Jang *et al* (2015) apontam que a evapotranspiração da vegetação é mais eficaz em resfriar o entorno próximo do que um possível sombreamento gerado por essa vegetação. Soma-se a isso, a fotossíntese que absorve a radiação ao contrário da estrutura caule e copa – árvores frondosas (elemento vegetativo utilizado para resfriamento urbano) – que pode ao mesmo tempo gerar um sombreamento aceitável ou bloquear a entrada de ventilação em espaços e torná-los ambientes com temperaturas mais elevadas que o seu entorno.

Segundo Susorova *et al* (2015) as fachadas vegetadas são utilizadas como adereços decorativos, como também, em projetos que necessitam de redução do consumo de energia no interior das edificações. Estudos realizados em Illinois - EUA, mostraram que o uso de fachadas vegetadas no meio urbano pode auxiliar na diminuição de temperaturas com a diminuição das temperaturas superficiais dos materiais posteriores à fachada vegetada em até 5,5°C, além da redução da temperatura do ar, aumento da umidade do ar, redução da transferência de calor no ambiente externo e interno e redução no consumo energético da edificação, entre outros benefícios.

Estudos realizados sobre o tema no Brasil tratam, em sua maioria, da construção e aplicabilidade dessas envoltórias vegetadas em edificações de diferentes tipologias, ressaltando os efeitos que esses elementos provocam para a sensação de conforto térmico humano dentro da edificação. Com base nessa informação é importante conhecer qual é a influência desses elementos construtivos no contexto climático tropical, mais precisamente no microclima local, ao utilizar um recorte urbano da cidade de Maceió. Alguns estudos microclimáticos voltados para esse contexto são apresentados a seguir.

De acordo com Duarte (2009), a cidade de Maceió passou por um processo de crescimento urbano que promoveu a ocupação e expansão da malha urbana acelerada, impactou diretamente no desmatamento de áreas verdes e impermeabilizou extensões significativas de solo, o que gerou modificação no microclima de diversos pontos na cidade. Nogueira (2011) apresentou diferenças térmicas na temperatura do ar que variava entre 2°C



e 7°C dentro de condomínios residências no município, as quais sofreram modificações após a retirada da vegetação no local. Esses resultados mostraram a necessidade de empregar alternativas construtivas e mecanismos que auxiliassem a redução do microclima urbano, prevendo a necessidade de modificações na malha urbana existente para evitar tais influências no microclima local.

Barbirato, Barbosa e Torres (2015) avaliaram que a inclusão de instrumentos bioclimáticos de planejamento urbano (no nível do solo), bem como, no nível dos edifícios são capazes de favorecer a qualidade ambiental e o bem-estar humano; afirmam ainda que a presença de espaços com solo natural e vegetação a barlavento auxiliam a produzir um microclima diferenciado no local.

A partir dessas afirmações, surgiu a principal hipótese deste trabalho: com aplicação de envoltórias vegetadas em edificações residências de até dois pavimentos é efetiva a mitigação do microclima de um determinado local através do resfriamento das massas de ar presentes pela evapotranspiração da vegetação inserida na malha urbana.

O atual estudo pode auxiliar na utilização de envoltórias vegetadas em edificações no contexto climático tropical úmido, através da apresentação de possibilidades de arranjos urbanos em função da redução da temperatura do ar com a perspectiva de serem utilizadas em outras regiões do nordeste brasileiro.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral proposto pela presente pesquisa é o de avaliar e prever a influência de envoltórias vegetadas como possíveis elementos para amenização microclimática, no contexto microclimático tropical úmido, com estudo de caso em Maceió, Alagoas.

São os seguintes os objetivos específicos:

- Caracterizar e compreender o ambiente térmico de um recorte urbano de Maceió -AL;
- Criar cenários hipotéticos baseados na configuração urbana atual;
- Avaliar a influência de envoltórias vegetadas e sua abrangência no contexto microclimático tropical úmido.

## **1.2. Estrutura do trabalho**

Constam seis capítulos no decorrer deste trabalho:

O capítulo 1, trata da introdução do tema desta tese, bem como de seus objetivos, justificativa da escolha da pesquisa e hipótese buscada pelo trabalho.

O capítulo 2 traz o embasamento e fundamentação teórica para a presente tese, abordando conceitos de climatologia urbana e elementos vegetados utilizados como base de análise e apresentação de demais estudos realizados com enfoque no tema investigado. Para apresentar a estrutura do programa computacional e suas funcionalidades possui informações relevantes quanto à configuração das grades horizontais e verticais para criação de espaços de simulação.

Em seguida, o capítulo 3 mostra a metodologia adotada para o desenvolvimento e realização da pesquisa, apresenta a aquisição e medição dos dados climáticos e seu tratamento estatístico para comprovar a confiabilidade dos resultados obtidos, traz a caracterização da área de estudo com seu recorte urbano e os pontos de medição demarcados e expõe os cenários hipotéticos com as modificações realizadas na área de estudo quanto à aplicação de envoltórias vegetadas.

O capítulo 4 trata dos resultados referentes às simulações realizadas com o programa computacional ENVI-met para obter informações relevantes sobre a configuração urbana do recorte de estudo, das configurações hipotéticas, além de materiais existentes na área de estudo e materiais que foram modificados para melhor compor a área estudada.

O capítulo 6 apresenta as considerações finais concluindo a presente pesquisa. As referências são apresentadas na seção posterior, e os Apêndices trazem informações e estudos relevantes utilizados para o desenvolvimento inicial desta tese.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, tomando como base diversas referências, foram levantadas informações relevantes quanto ao clima, microclima urbano e zona climática local, escalas microclimáticas, balanço energético, envoltórias vegetadas e tipologias de sistemas diferentes de jardins verticais. Essas informações são discutidas nas seções que se seguem.

### 2.1. Microclima e seus elementos modificadores

Neste tópico são apresentados alguns dos elementos modificadores do microclima que foram utilizados com base para o desenvolvimento da presente tese, entre eles encontram-se estudos sobre escalas climáticas, de balanço energético, da vegetação urbana, envoltórias vegetadas e

Em meados da década de 1930, os estudos sobre microclimatologia urbana foram iniciados a partir das escalas de tempo de Schmidt na Alemanha e na Áustria. Após os anos 50 os estudos sobre o tema foram ampliando-se de modo a tratar das modificações climáticas que foram provocadas pela urbanização. Landsberg (1980), com seu trabalho renomado “O clima das cidades”, é o marco histórico dos estudos climatológicos desse período pelo tratamento dos estudos dos climas urbanos em cidades de latitudes médias.

Os aspectos fundamentais que caracterizam o clima urbano são: crescimento urbano que tende a acentuar ou eliminar as diferenças causadas pela posição do sítio; a cidade que modifica o clima através de alterações em superfície; a cidade que produz um aumento de calor devido às modificações na ventilação, na umidade e até nas precipitações, que tendem a ser mais acentuadas e a poluição atmosférica, que representa o problema básico da climatologia das modernas cidades industrializadas (MONTEIRO, 1976).

Monteiro (1976) ainda afirma que o clima urbano é um sistema complexo, dinâmico e aberto que admite uma visão sistêmica, com vários graus de hierarquia funcional e diferentes níveis de resolução. Esses níveis permitem que exista uma fonte de energia do ambiente, gerada pela radiação absorvida e transformada em calor, a energia gerada pelos automóveis e a poluição liberada pelos mesmos.

Através de modelos físicos e numéricos, Oke (1981) comprova que a geometria urbana e suas propriedades de superfície influenciam diretamente o clima da cidade, a paisagem e a morfologia do solo. Traz a comparação entre a área urbana e a rural. Ele afirma que essa comparação é a melhor maneira de entender/aprender e avaliar as modificações geradas pela inserção da cidade em um determinado local. Assim a delimitação do microclima de uma dada região pode ser realizada a partir dos efeitos e da influência das atividades humanas sobre o entorno, sendo, portanto, um “desvio climático” de características singulares, em recintos como praças, ruas, jardins, parques, entre outros.

Oke (1978) apresenta a classificação de escalas para facilitar o entendimento das características do clima existente em determinado local, essas são divididas em dois níveis espaciais, vertical e horizontal, além de uma escala temporal. Dentre as escalas horizontais temos a *microescala*, a qual refere-se a camada do pedestre, do edifício, da rua, a na qual as superfícies dos materiais e suas propriedades específicas influenciam diretamente o clima; a escala *local* que representa a microescala com acréscimo de alguns quilômetros de seu entorno, caracterizando uma escala bairro a bairro que leva em consideração a cobertura de superfície, tamanho e espaçamento dos edifícios e atividades realizadas no local; a *mesoescala*, a qual representa o clima em escala ampliada em relação ao micro, se refere a extensão da cidade por completo, ou até um espaço que necessite de mais de uma estação meteorológica para medições.

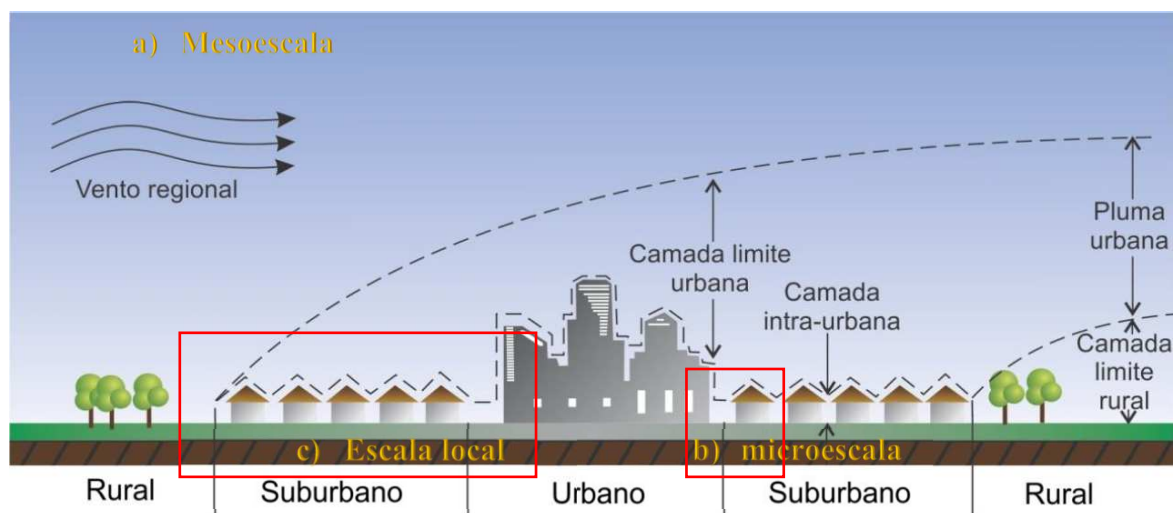
Oke (2004) sobre as Camadas Atmosféricas verticais mostra uma divisão em dois níveis da Camada Limite Atmosférica (CLA) ou Planetária (CLP), sendo o primeiro nível delimitado entre a superfície terrestre até uma dada altura, a Camada de Mistura, que é determinada pelo deslocamento das massas de ar que possuem um comportamento diferenciado do que ocorre mais próximo à superfície terrestre e o segundo nível denominado de Camada Limite Superficial (CLS) é a que sofre diretamente a influência do tipo de solo, rugosidade, pavimentação de superfície e sua interferência, onde o atrito é quase inexistente (figura 1).

A CLA é a região que sofre maior influência das trocas e acúmulos de energia verticais do solo com a atmosfera, sendo que o calor e a umidade são os principais fenômenos observados. É nela aonde ocorrem os processos turbulentos responsáveis pelo transporte e dispersão dos poluentes atmosféricos, podendo variar de alguns metros até poucos quilômetros, dependendo da intensidade dos raios solares incidentes, bem como de outros

fatores como latitude, tipo de solo e ocupação, tipo de vegetação, umidade do solo, topografia, entre outros (SALVADOR, 2014).

Oke (2006) apresenta a principal diferença entre o clima de áreas urbanas e áreas rurais, onde a troca de calor e umidade ocorre verticalmente em uma camada atmosférica que equivale à altura média de edifícios e árvores, (figura 1) sendo essa a Camada de Cobertura Urbana (UCL). Acima desta, contemplando a altura máxima das edificações do perímetro urbano, é apresentada a Camada Limite Urbana (UBL).

**Figura 1 - Escalas climáticas: (a) mesoescala, (b) microescala e (c) escala local.**













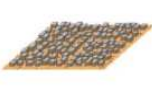






Fonte: NOGUEIRA (2011) adaptado de OKE, 2006.

Stewart e Oke (2012) apresentaram um breve levantamento de diversos estudos sobre as paisagens urbanas, apontando as diferenças existentes entre as configurações construtivas, vegetais, de rugosidade do solo, admitância térmica de materiais, entre outros fatores, para caracterizar zonas climáticas com interferências locais (figura 2). Observaram que em regiões cobertas de materiais com área superficial uniforme e locais com grande atividade humana com extensão de centenas de metros em escala horizontal, possuem um regime característico de temperatura do ar (STEWART; OKE, 2012). Assim, as zonas de clima local foram apresentadas como uma classificação abrangente baseadas no clima de sítios urbanos e rurais para estudos dessa temperatura.

Stewart e Oke (2012) apresentam a seguir a classificação de uma zona climática local (ZCL) (Figura 2).

**Figura 2 - Apresentação da formação do espaço urbano de uma zona climática local em suas diferentes composições.**

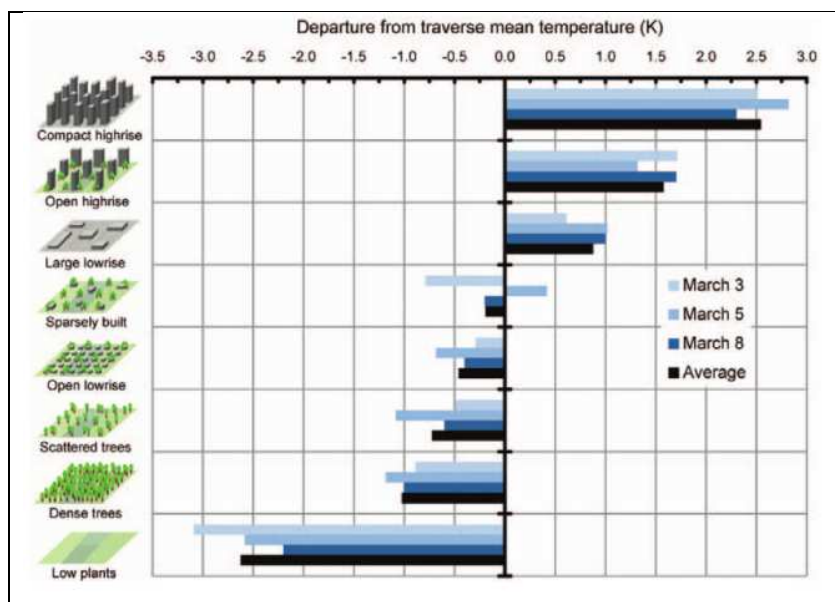
Tipos de edifícios		Tipos de coberturas do solo	
<p>1. Compacta de alta elevação</p> 	<p>Densa mistura de edifícios altos de dezenas de pavimentos. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo normalmente pavimentada. Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.</p>	<p>A. Árvores densas</p> 	<p>Paisagem fortemente arborizada de árvores decíduas e/ou de folhas perenes. A cobertura do solo é principalmente permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.</p>
<p>2. Compacta de média elevação</p> 	<p>Densa mistura de edifícios de média elevação (3-9 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, azulejo e concreto.</p>	<p>B. Árvores espaçadas</p> 	<p>Paisagem levemente arborizada de árvores de folha caduca e/ou perenes. A cobertura do solo é principalmente permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.</p>
<p>3. Compacta de baixa elevação</p> 	<p>Densa mistura de edifícios de baixa elevação (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, azulejo e concreto.</p>	<p>C. Moita, Arbusto</p> 	<p>Arranjo aberto de moitas, arbustos, e árvores curtas e lenhosas. A cobertura do solo é extremamente permeável (solo nu ou areia). Função da zona é mata natural ou agricultura.</p>
<p>4. Aberto de alta elevação</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios altos de dezenas de pavimentos. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.</p>	<p>D. Poucas plantas</p> 	<p>Paisagem inexpressiva de grama ou cultivo de plantas herbáceas. Poucas ou nenhuma árvore. A função da zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.</p>
<p>5. Aberto de média elevação</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios de média elevação (3-9 pavimentos). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.</p>	<p>E. Pedra nua ou asfaltado</p> 	<p>Paisagem inexpressiva de rocha ou cobertura pavimentada. Poucas ou nenhuma árvore ou plantas. Função de zona é deserto natural (rocha) ou transporte urbano</p>
<p>6. Aberto de baixa elevação</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios de baixa elevação (1-3 pavimentos). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de madeira, tijolos, pedra, azulejo e concreto.</p>	<p>F. Solo nu ou areia</p> 	<p>Paisagem inexpressiva de cobertura de solo ou areia. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é deserto natural ou agricultura.</p>
<p>7. Leve de baixa elevação</p> 	<p>Densa mistura de edifícios de pavimento único. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente bem compactado. Materiais de construção leves (madeira, metal corrugado).</p>	<p>G. Água</p> 	<p>Corpos de água grandes e abertos, como mares e lagos, ou pequenos corpos, como rios, reservatórios e lagoas.</p>
<p>8. Grande de baixa elevação</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios de baixa elevação (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de aço, concreto, metal e pedra.</p>	<p><b>Propriedades da cobertura do solo variável</b></p>	
<p>9. Edificações espaçadas</p> 	<p>Arranjo escasso de pequenos ou médios edifícios em um ambiente natural. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas).</p>	<p>Árvores nuas</p>	<p>Árvores de folha caduca (ex. inverno). Fator de visão do céu aumentado. Albedo reduzido.</p>
		<p>Cobertura de neve</p>	<p>Cobertura de neve &gt;10cm de profundidade. Admitância baixa. Albedo alto.</p>
<p>10. Indústria pesada</p> 	<p>Estruturas industriais de baixa elevação e de médio alcance (torres, tanques, chaminés). Poucas ou nenhuma árvore. A cobertura do solo é principalmente pavimentada ou bem compactada. Materiais de construção de metais, aço e concreto.</p>	<p>Terra seca</p>	<p>Solo compactado. Admitância baixa. Taxa de Bowen grande. Albedo elevado.</p>
		<p>Terra molhada</p>	<p>Solo encharcado. Admitância alta. Taxa de Bowen pequena. Albedo reduzido.</p>

Fonte: CAVALCANTE (2019) adaptado de STEWART; OKE, 2012.

Para a caracterização da ZCL, primeiro deve-se observar a estrutura dos elementos verticais. Havendo edifícios e vegetação arbórea, deve-se classificá-los por sua altura como na figura 2. Em seguida foi investigada a densidade de ocupação desses elementos dentro do recorte observado. A identificação dos elementos de revestimento do solo foi estudada na constituição da caracterização da ZCL. E por fim, a envoltória das edificações, tendo como foco a admitância térmica dos materiais utilizados na edificação (STEWART; OKE, 2012).

Através dos estudos realizados, os autores identificaram que as densidades de fluxos existentes entre as camadas urbanas verticais e suas diferenças devem ser estudadas em escalas diferenciadas, devido as diversas estruturas existentes (STEWART; OKE, 2012) (figura 3).

**Figura 3 - Desvio médio da temperatura do ar em cenários hipotéticos.**



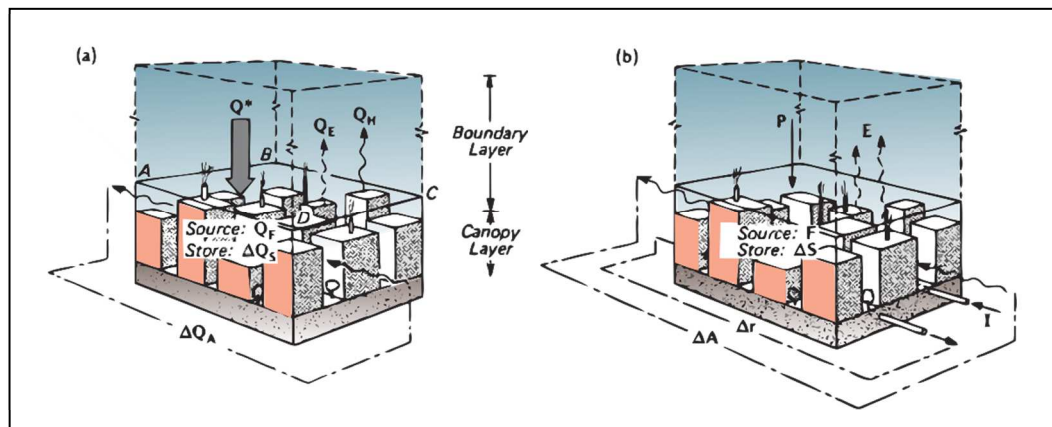
Fonte: STEWART; OKE, 2012.

A população urbana tem aumentado consideravelmente ao longo dos anos. Atualmente 54% da população mundial mora em áreas urbanas (ONU, 2014) e no Brasil esse número ultrapassa 80% (IBGE, 2015). O crescimento das cidades aumenta a expansão de áreas impermeabilizadas com a redução da absorção da água pelo solo e, conseqüentemente, na qualidade ambiental dos espaços externos. Entre as conseqüências identificadas estão os alagamentos, enchentes, inundações, diminuição da vazão dos mananciais e incremento do calor urbano. Este último contribui para a formação de microclimas desfavoráveis no meio urbano, particularmente em ambientes tropicais.

Modelos atmosféricos são ferramentas importantes para o desenvolvimento e planejamento urbano, auxiliando na formação e modificação climática para áreas já existentes e de novas cidades, testando novos materiais e configurações urbanas diferenciadas (BARBIRATO; BARBIRATO, 2000).

Para Oke (1988), uma das possibilidades de obter dados referentes ao balanço energético de uma porção urbana é através da soma de todas as trocas de energia, considerando suas leis de conservação. Todo e qualquer elemento presente no recorte urbano é levantado (figura 4) considerando suas alturas e dimensões, gerando um *elemento de volume*. A Equação 1 representa esse somatório.

**Figura 4 - a) Representação esquemática da troca de fluxos de energia; b) representação esquemática do balanço hídrico de um volume do edifício e o ar urbano.**



Fonte: Adaptado de OKE, 1988.

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

**Equação 1**

Sendo,

$Q^*$  = radiação líquida (saldo de radiação)

$Q_F$  = fluxo de calor antropogênico e outros fatores não naturais

$Q_H$  = fluxo turbulento de calor sensível, que normalmente representa o calor libertado pelas estruturas edificadas

$Q_E$  = representa o fluxo turbulento de calor latente

$\Delta Q_S$  = representa o fluxo de calor armazenado dentro das estruturas do dossel urbano

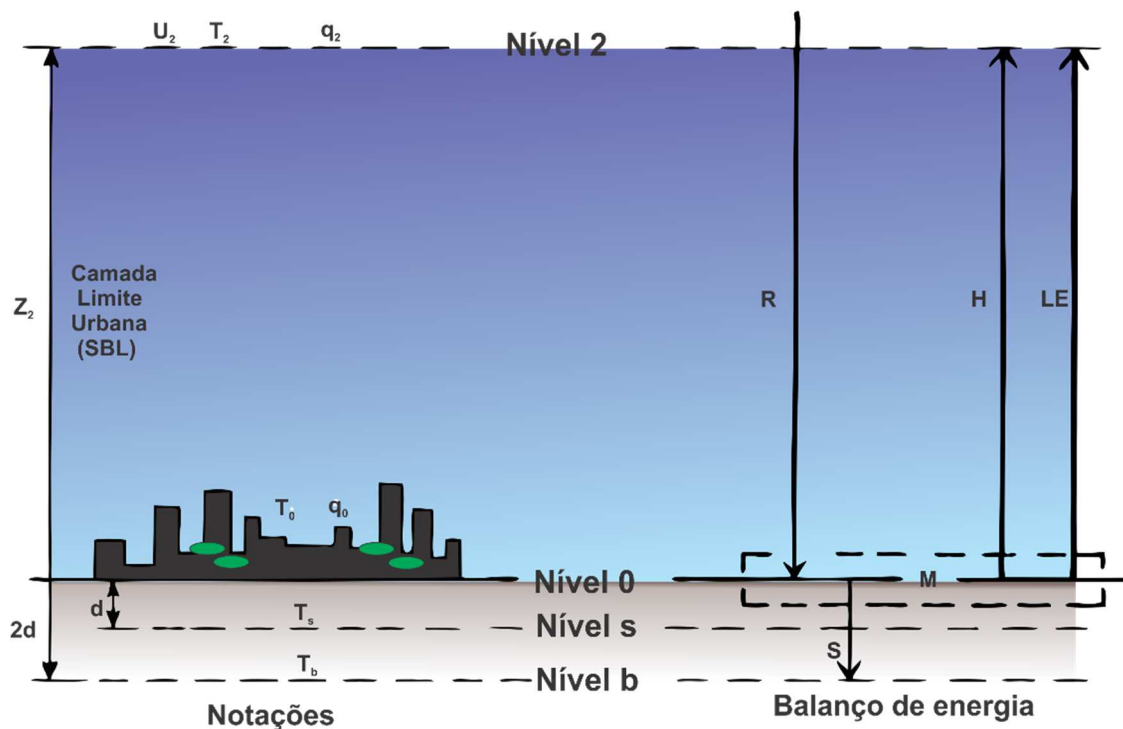


$\Delta Q_A$  = união do calor sensível e latente na camada horizontal.

Tso *et al.* (1990) realizaram um modelo de balanço de energia de análise do ambiente térmico urbano, acrescentando a importância da massa edificada sobre o equilíbrio de energia de superfície. Os resultados apresentaram uma melhor correlação com temperaturas típicas de Kuala Lumpur, na Malásia. Os autores sugerem que esse efeito deve ser utilizado em todos os modelos climatológicos voltados para estudos urbanos avançados.

O modelo sugeriu que o balanço energético é feito em um plano sobre a superfície terrestre e que a massa edificada é reduzida à um plano homogêneo sem volume, porém com capacidade de armazenar energia térmica (figura 5). Desse modo, o solo, o edifício e as temperaturas do ar estão sempre em equilíbrio térmico (TSO; CHAN; HASHIM, 1990).

**Figura 5 - Representação esquemática da estrutura do modelo de Tso *et al* (1990).**



Fonte: Adaptada de TSO; CHAN; HASHIM, 1990.

A equação de balanço energético sugerida pelos autores é a seguinte (Equação 2):

$$M = R - H - L \cdot E - S$$

**Equação 2**

$M$  = armazenamento de energia ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$R$  = fluxo de radiação líquida ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$H$  = fluxo de calor sensível para o ar ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$L$  = calor latente da água ( $\text{J}/\text{kg}$ )

$E$  = taxa de evaporação ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ )

$S$  = fluxo de calor no solo ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

Barbirato (2010) demonstrou através de um programa computacional, que o modelo um modelo climático de balanço de energia é sensível a configurações urbanas distintas no contexto de Maceió, o que possibilitou diversos estudos para o planejamento e controle de ambientes urbanos. A autora comenta que o modelo possui limitações quanto a sua alimentação de dados, referente ao calor antropogênico e efeitos gerados pela nebulosidade apresentada no local. O modelo admite, ainda, uma única temperatura de equilíbrio da superfície, sem considerar a complexidade da paisagem urbana, levando em consideração a estrutura organizacional espacial (BARBIRATO, 2010).

Grimmond e Oke (2002) demonstraram a importância do balanço de energia de superfícies em escala local para revelar os fluxos de calor sensível, calor latente, armazenamentos de energia e turbulências em uma cidade. Os autores observaram que os fluxos de calor variam tanto espacialmente quanto temporalmente, sendo que as condições de baixa ventilação ligadas diretamente ao fluxo de calor armazenado, são mais relevantes para áreas centrais da cidade e, em locais residenciais, o fluxo de calor sensível é o mais importante (GRIMMOND; OKE, 2002).

Salmond *et al.* (2012) realizaram um estudo voltado para a obtenção de dados referentes aos fluxos urbanos em microescala na Suíça através de medições *in-loco* com a utilização de instrumentos para a obtenção de dados referentes a troca de calor sensível, usando como área de estudo um recorte central da cidade.

Através de cintilômetro, foram obtidas em Salmond *et al.* (2012) medidas médias referentes ao fluxo turbulento de calor sensível para a subcamada de rugosidade (RSL), observando a região existente entre solo e telhados das edificações. Para avaliar as condições da subcamada inercial (ISL) foi utilizado um sistema de covariância de *Eddy* (Covariância de

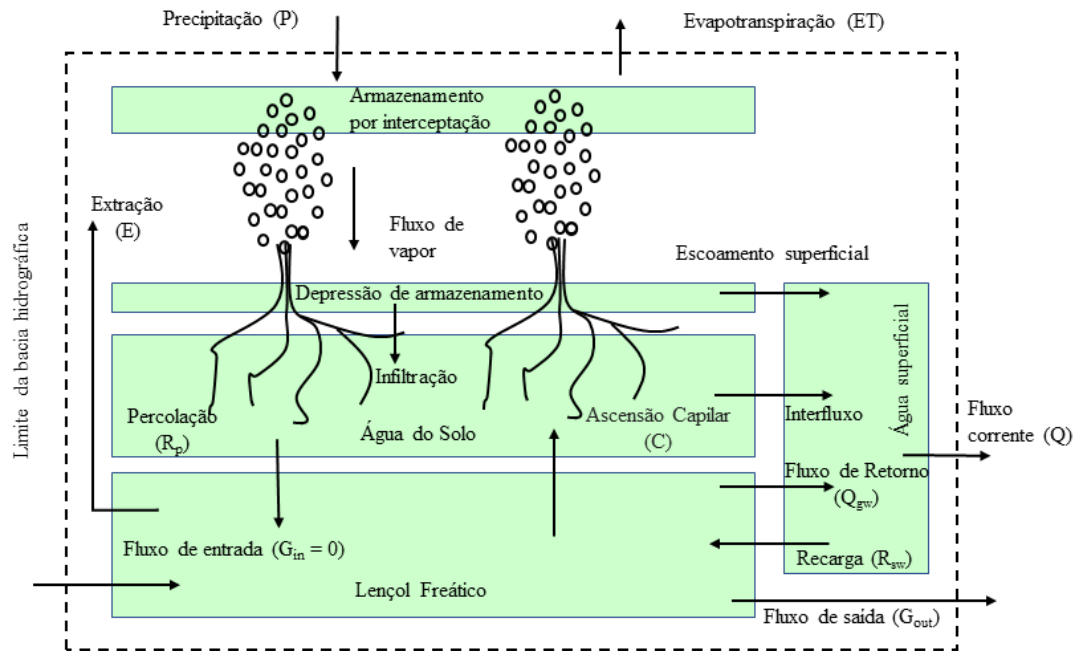
Vórtices Turbulentos). Os autores apresentaram um breve histórico acerca dos primeiros estudos voltados aos fluxos turbulentos em *canyons* urbanos e simultaneamente acima dos telhados das edificações adjacentes. Comentaram sobre a complexidade espacial existente e sua interação com a ventilação local. Nessa referência, são exemplificados os fluxos existentes no estreitamento das ruas e sua relação com o desvio da ventilação, os quais podem direcionar o vento que armazenou energia da troca de calor entre o telhado e a atmosfera e direcioná-lo para o corredor de ventilação (SALMOND *et al.*, 2012). Foi observado que com a modificação das áreas de cerrado no estado de Mato Grosso para áreas de cultura agrônômicas, gerou-se impacto no balanço energético local. Como exemplos, pode-se citar: uma redução do fluxo de calor latente e da evapotranspiração, um aumento do calor sensível e do fluxo de calor no solo em relação a área original (ANGELINI *et al.*, 2017).

Dimoundi e Nikolopoulou (2003) afirmaram que áreas vegetadas com plantas nativas ou não nativas dentro de uma cidade, são chamadas de arborização urbana, sendo essa uma das principais ferramentas e estratégias para o resfriamento urbano, regulando o clima local e assim ajudando e diminuir a temperatura do ar.

Para o condicionamento térmico urbano, a temperatura do ar é um fator bastante observado, sendo a absorção da radiação solar pelos materiais superficiais uma das principais causas no aumento da temperatura do ar. Na cidade é constatado com maior frequência, em comparação com áreas rurais, a presença de diferentes materiais de superfície (OKE, 1996). Estudos apresentam a utilização de áreas vegetadas, materiais leves e com albedo elevado, para mitigação dos efeitos gerados por esses materiais de revestimento (SHAHIDAN *et al.*, 2012; CARNIELO; ZINZI, 2013).

A Evapotranspiração é um dos fenômenos decorrentes de trocas entre o meio ambiente e a vegetação. Ela ajuda a aumentar a umidade relativa do ar e auxilia a redução da temperatura do ar no ambiente, o que propicia a área rural possuir menores temperaturas em comparação com os centros urbanos, devido à escassez de áreas vegetadas e grandes áreas impermeabilizadas. A figura 6 apresenta a relação da vegetação com o ambiente, mostrando as trocas realizadas com o meio e os fluxos gerados pelas mesmas (BONAN, 2002).

**Figura 6 - Representação da função da vegetação quanto à evapotranspiração.**



Fonte: Adaptado de BONAN, 2002.

Paredes vegetadas são componentes de infraestrutura verde urbana que visam contribuir de várias formas para o ecossistema, como: prover habitat para a biodiversidade urbana, interceptar a precipitação e a redução das taxas de escoamento, aprisionar partículas, assim melhorando a qualidade do ar, atenuar o ruído, reduzir as temperaturas do ar urbano ajudando a atenuar a temperatura do ar de um determinado recorte urbano, e diminuir as temperaturas superficiais dos edifícios, reduzir a dependência de condicionamento de ar, contribuindo para o bem-estar psicológico e para a paisagem urbana (CAMERON; TAYLOR; EMMETT, 2014).

Feyisa *et al* (2014), estudaram a interferência dos parques vegetados no condicionamento térmico de áreas urbanas, em Adis Abeba (Etiópia), concluíram que o grupo de espécies e a cobertura do dossel são importantes para o efeito de arrefecimento de áreas próximas. Da mesma forma, Shahidan *et al* (2012), em Putrajaya (Malásia), encontraram uma redução de 2,7°C na temperatura do ar com o aumento de 50% de área preenchida com vegetação arbórea, agregada a utilização de materiais de revestimentos frios, como o granito branco polido, em outras áreas.

Parizotto e Lamberts (2011) observaram em Florianópolis (Brasil), que durante o período quente, os telhados vegetados reduziram o ganho de calor por 92 – 97% em comparação com os telhados cerâmicos e metálicos, e durante o período de frio, o telhado

verde reduziu o ganho de calor de 70 a 84%. Os autores indicaram a eficácia desse tipo de aplicação de cobertura para eficiência energética e melhoria no conforto térmico do usuário. No que se refere às temperaturas de superfície externas, o telhado verde apresentou a menor amplitude diária em ambos os períodos analisados, reduzindo as diferenças entre períodos quentes e frios quando comparado com os outros telhados. Foi observado que durante o período quente do ano houve a menor amplitude térmica para as temperaturas externas no decorrer dos dias (PARIZOTTO; LAMBERTS, 2011).

Rosseti *et al.* (2013) observaram que a principal influência das coberturas vegetadas no microclima urbano ocorre devido ao alto índice de umidade relativa do ar e a presença de água na cobertura por irrigação, sendo o processo de evapotranspiração o principal fator influenciador do local.

Scherer e Fedrizzi (2014) apresentaram diferentes tipos e nomenclaturas para estruturas vegetadas e suas funcionalidades. Afirmam que a vegetação pode modificar o microclima local, tornando-o mais agradável aos usuários. Rosseti *et al.* (2014) comprovaram que com 100% de revestimento de cobertura vegetada, há modificações significativas dentro do cenário urbano principalmente nas ilhas de calor.

Jesus *et al.* (2016) exibiram um estudo de caso que identificou o real impacto da presença de paredes vegetadas no comportamento térmico urbano, com escala microclimática na cidade de Madrid (Espanha). Foi observado que a principal influência dessa fachada vegetada chega a atingir 0,5m do meio urbano imediato. Foram realizadas duas medições, as quais apresentaram variações de 2,9°C e de 1,5°C para o verão e para o inverno, respectivamente, entre o ambiente urbano com fachada vegetada e o ambiente sem a presença da mesma.

Cruciol Barbosa, Santos e Fontes (2018) apresentaram um estudo com aplicação de jardins verticais e sua influência térmica no nível do pedestre em Bauru-SP. Ao analisar o entorno imediato do local com presença desse tipo de estrutura vegetada foi observado que houve uma redução nos valores da temperatura do ar local de até 2,5° C. Outros aspectos analisados pelos autores foram a temperatura radiante média apresentada no entorno próximo ao local com aplicação do jardim vertical e a temperatura superficial. Com valores apresentando redução em até 7,4 ° C para a temperatura radiante e para a temperatura superficial de até 21,5 ° C (CRUCIOL BARBOSA; SANTOS; FONTES, 2018).

## 2.2. Benefícios do uso de envoltórias vegetadas e dentro dele as diferentes Tipologias e seu desempenho (teto verde e jardins verticais)

Scherer e Fedrizzi (2014) afirmaram de que o uso da vegetação aplicada em projetos voltados para o urbanismo e arquitetura, representam uma forte estratégia com inúmeros benefícios para os centros urbanos, entre esses, “efeitos sobre a radiação solar, purificação do ar, retenção de poluentes e umidificação.” Como forma de utilização da vegetação, os autores propõem novas configurações de revegetação para a incorporação nas edificações devido à ausência de espaços urbanos vegetados como praças e parques em centros urbanos atuais (SCHERER; FEDRIZZI, 2014 p. 4).

Cruciol Barbosa e Fontes (2016) descrevem tecnologias existentes para jardins verticais apresentando seus benefícios e tipologias na escala da edificação. O jardim vertical, segundo os autores, é aquele que pode “crescer e se desenvolver pela parede ou pela estrutura”, e possui características construtivas sobre as possibilidades de fixação, crescimento e desenvolvimento da vegetação nos elementos construtivos verticais.

A dimensão mínima para um jardim vertical não é apresentada nos estudos observados pelos autores, o que possibilita o entendimento de que independente de sua dimensão, qualquer elemento vegetado verticalmente tanto em quadros verdes internos ou externos, quanto paredes ou muretas, são considerados jardins verticais. Essa compreensão é mais evidente ao se observar modelos reduzidos que apresentam elementos obrigatórios para a caracterização de um jardim vertical (CRUCIOL BARBOSA; FONTES, 2016). A terminologia utilizada para essas estruturas vegetadas verticais é diversificada e denominada a partir de modelos estruturais de construção e manutenção. Paredes vivas, paredes verdes, fachadas verdes, vegetação vertical, entre outras, são as denominações utilizadas para jardins verticais.

Rodrigues (2017) comenta que as edificações de grande porte deveriam ser projetadas para expressar uma urbanização vertical e seus terraços e jardins considerados como ecossistemas artificiais. Essas partes são integradas ao edifício para contribuir diretamente com a estética do ambiente construído, aproximar e integrar os ambientes internos com o meio externo e dar capacidade de cultivo de vegetais consumíveis ou que possam melhorar a qualidade e composição orgânica do ar. Os elementos vegetativos verticais podem ser uma opção para aplicar e trazer essa função ao edifício.

O quadro 1, criado por Scherer; Fedrizzi (2014) apresenta a classificação para tipologias de jardim vertical encontrada na literatura sua divisão obtida por fachadas verdes e paredes vivas, divididas entre sistemas extensivos e intensivos:

**Quadro 1- Classificação dos Jardins verticais.**

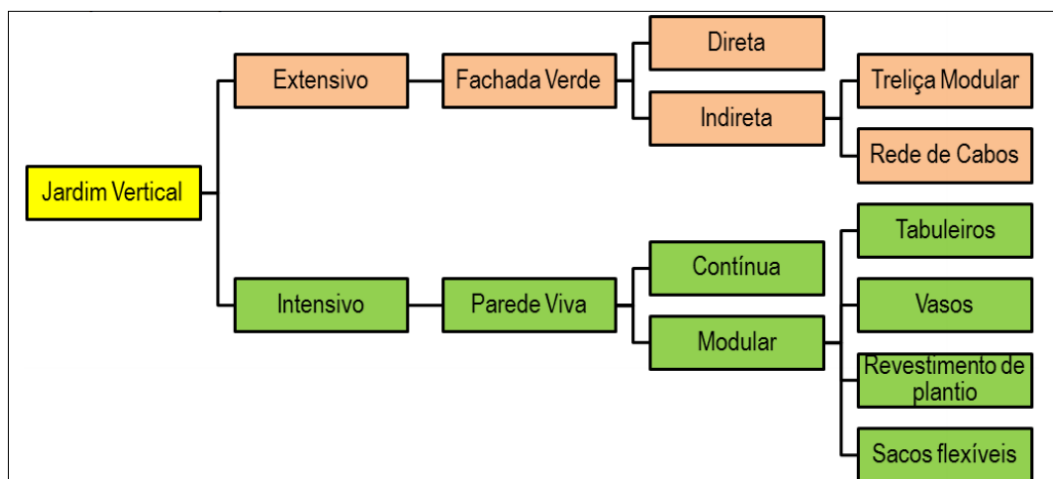
	Sistemas extensivos		Sistemas intensivos
<b>Fachadas verdes</b>	Fachada verde tradicional		
	Dupla fachada verde ou cortina verde	Modular	
		Treliça	
		Com fio ou cabeada	
		Malha	
	Jardineiras perimetrias		
<b>Paredes vivas</b>			Em vasos ou cavidades
			Painéis geotêxteis

Fonte: (SCHERER; FEDRIZZI, 2014).

Scherer; Fedrizzi (2014) comentam que os diferentes tipos de jardim vertical são utilizados na melhoria do desempenho térmico das edificações e apresentam a fachada verde como um revestimento isolante que reduz a energia consumida no espaço e pode aquecer ou resfriar ambientes internos.

Cruciol Barbosa e Fontes (2016) também apresentam uma classificação dos sistemas de jardins verticais utilizados nas edificações com separações entre extensivas e intensivas, com um aprofundamento dentre essas tipologias, como é visto no organograma da figura 7 a seguir.

**Figura 7 - Classificação dos sistemas de jardins verticais por suas características construtivas.**

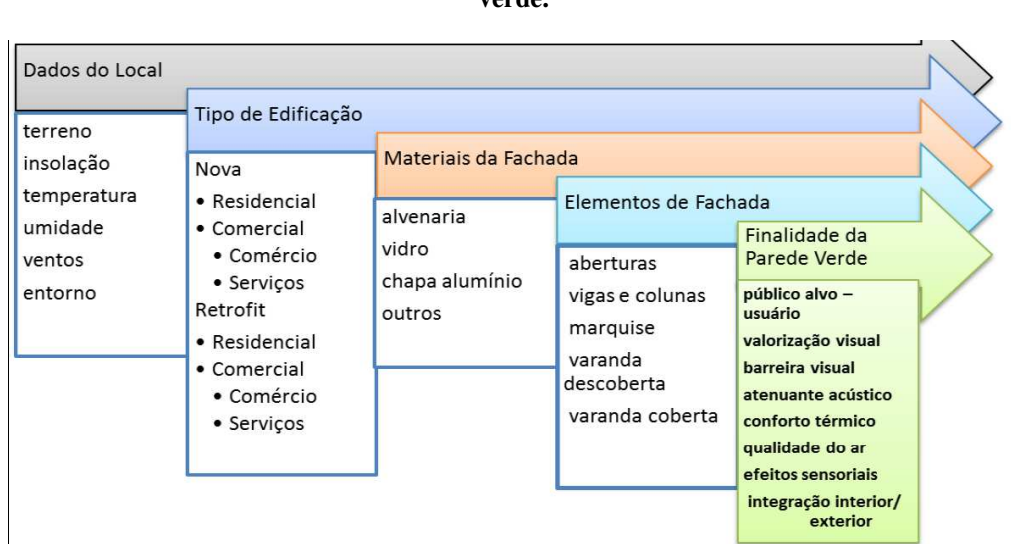


Fonte: CRUCIOL BARBOSA; FONTES, 2016.

Como apresentado no quadro 1 e na figura 7, os jardins verticais podem ser divididos em duas tipologias mais comuns, as fachadas verdes e as paredes vivas. A principal diferenciação desses tipos é a complexidade construtiva e de manutenção entre eles, sendo a fachada verde classificada de fácil construção e manutenção e a parede verde com sistemas mais complexos (CRUCIOL BARBOSA; FONTES, 2016).

Rodrigues (2017) traz outra terminologia que apresenta paredes verdes como o principal sistema de elementos verticais vegetados e suas divisões entre jardins verticais ou paredes vivas e fachadas verdes. A autora determina as principais preocupações que são consideradas ao realizar a construção de paredes verdes. A mesma considera dados locais, o tipo de edificação, materiais utilizados na construção das fachadas da edificação, os elementos utilizados nessa fachada (alvenarias, pórticos, aberturas em vidro, etc.) e a finalidade real da aplicação da parede verde na edificação. Cada elemento considerado pode influenciar diretamente no resultado que essa estrutura vai obter para que a sua finalidade seja realmente alcançada (RODRIGUES, 2017). A figura 8 mostra o processo de produção determinado pela autora para a criação de uma parede verde.

**Figura 8 - Determinação de processo de projeto para criação de uma parede verde.**



Fonte: RODRIGUES, 2017.

Para a presente tese foi utilizada a classificação de Cruciol Barbosa e Fontes (2016) traz a envoltória vegetada com elementos vegetativos nas Fachadas das edificações (Fachadas Verdes). Cada sistema de jardim vertical é apresentado separadamente a seguir.

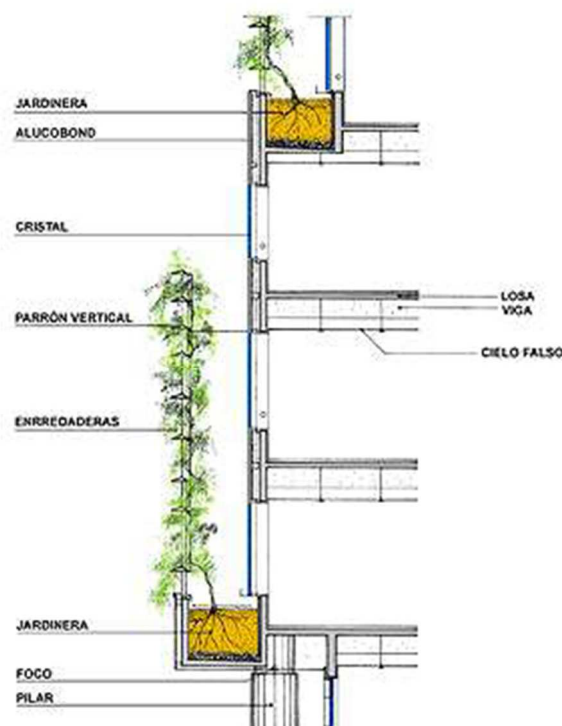


### 2.2.1 Fachadas Verdes

Cruciol Barbosa e Fontes (2016) trazem uma caracterização para fachadas verdes, que é determinada por espécies de trepadeiras ou vegetações pendentes que cobrem determinada superfície vertical, presas diretamente nas paredes da construção ou em estruturas de suporte criadas para as mesmas. As plantas que são afixadas por meio de estruturas externas à edificação são denominadas de Fachadas Verdes Indiretas e as que se desenvolvem e crescem nas paredes, são chamadas de Fachadas Verdes Diretas.

Ao se considerar as fachadas verdes indiretas, sua divisão é realizada entre treliças e rede de cabos. Em treliças, as fachadas vegetadas são fixadas através de módulos de aço galvanizado em formato de painel tridimensional com grades nas laterais de cada módulo e, com a utilização de rede de cabos de aço, a estrutura é mais flexível e maleável, fixada através de abraçadeiras. São painéis leves, com possibilidade de formas variadas para a adequação ao trabalho estético de fachada e rígidos para sustentação (figura 9). As fachadas verdes indiretas criam uma fachada independente da estrutura edificada a qual ela é inserida (CRUCIOL BARBOSA; FONTES, 2016).

**Figura 9 - Exemplo de fachada verde indireta por treliça.**



Scherer; Fedrizzi, 2014.

### 2.2.2 Paredes vivas

Essa tipologia é ligada a estruturas verticais diretamente presas as paredes das edificações ou a própria vegetação se desenvolve e cresce na parede edificada. As estruturas fixadas ao edifício são modulares, de alta tecnologia de produção e instalação; com suportes metálicos, membranas impermeáveis ou painéis modulares (figura 10) (CRUCIOL BARBOSA; FONTES, 2016).

**Figura 10 - Exemplo de módulos e painel modular para instalação de parede viva à edificação.**



Fonte: <https://dmaisimoveis.com.br/blog/wp-content/uploads/2015/03/2-Fonte-Ciclovivo.jpg>, acesso 2019.

### 2.2.3 Vegetação, irrigação e vantagens e desvantagens dos jardins verticais

Como Cruciol Barbosa e Fontes (2016) apresentam, a vegetação utilizada com função de jardim vertical tem características específicas que devem ser levadas em consideração. A estrutura vegetal só desempenha sua função se determinados cuidados forem tomados, como o tipo e espécie da planta, sua nutrição pelo solo e irrigação satisfatória.

Ao escolher a vegetação para a criação do jardim vertical, deve-se observar o clima ao qual a mesma tem exigências para seu desenvolvimento; a radiação solar é outro fator que necessita ser considerado e é de suma importância para a sua escolha. Ao propor a fachada que será inserida a vegetação, sua disposição em relação ao Norte geográfico e a presença ou não de edificações com proximidade a edificação a ser adaptada devem ser consideradas para obter a incidência luminosa que haverá naquela estrutura (CRUCIOL BARBOSA; FONTES, 2016; RODRIGUES, 2017).

Cruciol Barbosa e Fontes (2016) afirmam que quanto mais complexo for o jardim vertical, os cuidados e custos para sua manutenção e crescimento serão mais elevados. Para locais com a presença de fachadas verdes as principais preocupações em relação a manutenção são podas regulares e adubação para correção nutritiva; já com paredes vivas aplicadas, são necessários cuidados em relação ao crescimento das plantas, principalmente se for realizada uma estrutura modular para sua fixação, e cuidados constantes com a irrigação no local.

Ao se considerar os elementos levantados até o momento, é notório que esses tipos de sistemas construtivos vegetados (quadro 1 e figura 7) podem apresentar vantagens e desvantagens para a edificação em sua totalidade, para tanto, os quadros 2 e 3 trazem a comparação entre os diferentes modelos de jardins verticais e as principais vantagens e desvantagens de cada sistema (CRUCIOL BARBOSA; FONTES, 2016).

**Quadro 2 - Vantagens e desvantagens presentes nos modelos de fachada verde.**

Fachada Verde	Vantagens	Desvantagens
<b>Direta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo de instalação</li> <li>- Baixa demanda tecnológica</li> <li>- Fácil instalação</li> <li>- Escolha apropriada para reformas.</li> <li>- Indicada para área externa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas com umidade</li> <li>- Danos na integridade da fachada causados pelas raízes</li> <li>- Custo com podas contínuas para controle da massa vegetativa</li> <li>- Demora de cobertura e limite de altura</li> </ul>
<b>Indireta</b> (Trelça Modular e Rede de Cabos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há contato direto para apoio da vegetação na construção</li> <li>- Menos problemas com umidade</li> <li>- Apropriado para reformas</li> <li>- Permite desenvolvimento de paredes independentes</li> <li>- Indicada para área externa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto custo de instalação com as estruturas de suporte, jardineiras, meio de cultivo e irrigação.</li> <li>- Custo com manutenção para controle da massa vegetativa</li> <li>- Maior complexidade de instalação</li> <li>- Demora na cobertura.</li> </ul>

Fonte: CRUCIOL BARBOSA; FONTES, 2016.

**Quadro 3 - Vantagens e desvantagens presentes em paredes vivas.**

<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se adequa a qualquer fachada</li> <li>- Maior área de cobertura, pois não tem limite de altura para instalação.</li> <li>- Cobertura mais uniforme, o resultado é imediato após instalação.</li> <li>- Permite escolha de maior variedade de espécies</li> <li>- Maior densidade de plantio</li> <li>- Aplicação em ambientes internos e externos</li> <li>- Permite integração com outros sistemas de construção verde como sistemas de tratamento de águas cinza e biofiltros de ar.</li> <li>- Parede Verde Contínua utiliza materiais leves para sua construção.</li> <li>- Como utilizam membranas impermeáveis, os problemas com umidade na fachada são reduzidos.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto custo para compra e instalação</li> <li>- Necessidade de mão de obra especializada para instalação</li> <li>- Manutenção constante e trabalhosa</li> <li>- Maior peso</li> <li>- Alto custo de produção</li> <li>- Parede Viva Modular possui limitação de espaço para crescimento vegetal.</li> </ul>

Fonte: CRUCIOL BARBOSA; FONTES, 2016.

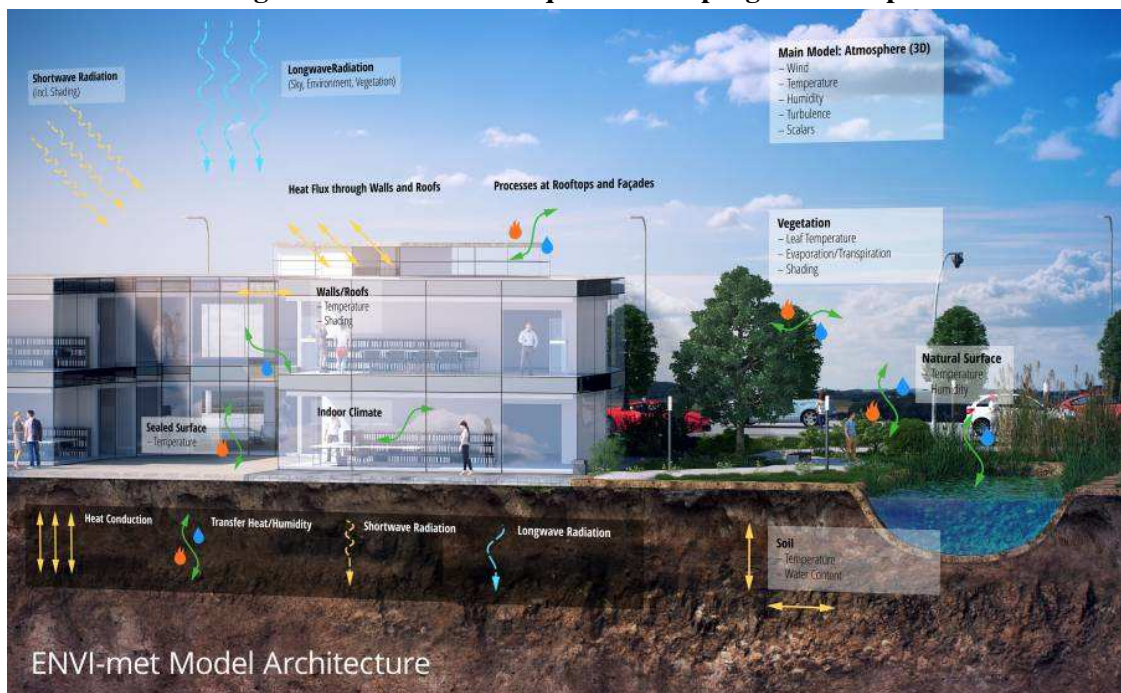
Com finalidade de mostrar o programa computacional ENVI-met (BRUSE, 2013), o a próxima seção do capítulo traz o conteúdo referente à funcionalidade do mesmo, seus fundamentos para configuração das simulações, informações sobre as grades vertical e horizontal, elaboração das imagens com o aplicativo LEONARDO e levantamento

bibliográfico sobre algumas pesquisas desenvolvidas com utilização do programa computacional.

### 2.3. O uso do programa computacional ENVI-met para simular o efeito microclimático com aplicação de áreas verdes e envoltórias vegetadas

Esse programa foi desenvolvido pela equipe de pesquisadores pertencentes ao departamento de Geografia da Universidade de Mainz, na Alemanha, com supervisão do pesquisador Michael Bruse. É um modelo micrometeorológico, que como mostra a figura 11, usa as leis da dinâmica dos fluidos e termodinâmica, trabalha as trocas térmicas e de vapor do solo, vegetação, vedações verticais, turbulências e simula parâmetros da bioclimatologia (evapotranspiração da vegetação inserida na área estudada, dispersão de partículas, volume de CO<sub>2</sub> no ambiente, entre outros fatores).

**Figura 11 - modelo da arquitetura do programa computacional**



Fonte: <http://envi-met.info/doku.php?id=intro:modelconcept>, acesso em 2018.

O Programa possui diversas versões, entre essas, a versão 3.0, a 3.1, a 4.0 (beta), a versão 4.1 (utilizada na presente tese) e a que está atualmente em funcionamento, a versão 4.4. A versão 3.1, que usava um formato de geração de informações em duas dimensões (2.5 D) como base na modelação para a simulação, continha algumas limitações diretamente

relacionadas com a diferença de altimetrias e posições geográficas próximas a regiões marítimas, segundo Bruse *et al* (2009). Tal fator demonstrou diversos conflitos sobre os resultados em diversas pesquisas com essa versão, que provocou a necessidade de aprimoramento e geração de maiores possibilidades de simulação por seus desenvolvedores, entre elas, a de incluir relevos diferenciados com a marcação da altura inicial (fixada ao solo) e da altura final da edificação, o que permitiu a demarcação de marquises e pilotis das construções (Quadro 4).

**Quadro 4 - Possibilidades de simulação com o programa computacional ENVI-met.**

<i>VERSÃO DE USO COMERCIAL</i>
<i>Trabalho simultâneo entre computadores</i>
<i>Tamanho de domínio aberto</i>
<i>Modelo microclimático holístico, modelo de vegetação, dispersão de poluentes</i>
<i>Modelo completo em 3d</i>
<i>Detalhamento físico da edificação (temperatura das fachadas, fluxos de troca energia)</i>
<i>Análise solar (hora solar, sombreamento nas fachadas e solo)</i>
<i>Desenho de elementos para paredes avulsas</i>
<i>Composição química de poluentes do ar</i>
<i>Simulação de pulverização de água</i>

Fonte: Adaptado de BRUSE, 2018.

O Programa usa como parâmetros para estudo de sombreamento, a irradiação e a reflexão das edificações por ondas longas e curtas dos fluxos de radiação do meio urbano. Para o estudo da vegetação, calcula a transpiração, a evaporação e o fluxo de calor sensível da vegetação para a atmosfera, incluindo a simulação completa de todos os parâmetros físicos (por exemplo, taxa de fotossíntese) da mesma. Além disso, o sistema verifica a troca de água e calor no solo, analisa a dispersão de gases inertes e partículas, incluindo a sedimentação de partículas em folhas e superfícies.

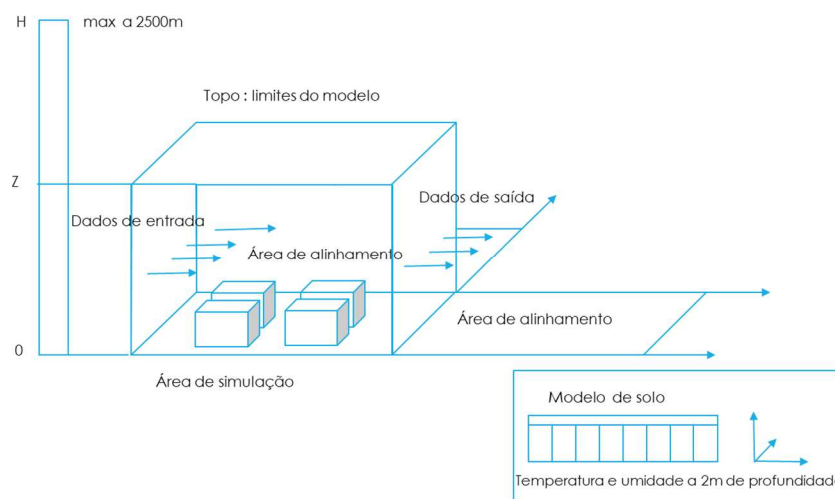
O modelo possui programação C++ (BRUSE, 2013), e atualmente traz um complemento OpenGL<sup>1</sup> para a utilização da ferramenta 3D, o que possibilita uma interface mais amigável para o usuário e de melhor manuseio. A primeira versão do programa foi

<sup>1</sup> Segundo a Fundação da indústria para gráficos de alto desempenho: é uma biblioteca de rotinas gráficas e de modelagem, rápida e compatível com os principais sistemas operacionais existentes com possível configuração e uso nas principais linguagens operacionais de programação. Ele oferece completa independência de protocolos de rede e topologias. Fonte: <https://opengl.org/>, acesso em 07/2018.

lançada em 2004 e possui limitações quanto aos dados inseridos e possíveis áreas de modelação. Após 10 anos de seu lançamento, surgiu a versão 4.0 com nova formatação e a possibilidade de editar relevo, fachadas, materiais de superfície, formato da vegetação, entre outras modificações (Michael Bruse *et al*, 2010).

Esse modelo micrometeorológico é utilizado para desenvolvimento de pesquisas com foco em Climatologia Urbana, Planejamento Urbano e Ambiental e Projeto de Edificações. É um modelo não hidrostático<sup>2</sup>, que simula a interação da superfície/planta/ar, desenvolvido para trabalhar diretamente com a microescala, com resolução típica horizontal de 0,5 – 10m e uma janela temporal de 24 – 48horas, o que possibilita todas as interações em pequena escala entre edificações, plantas e seres humanos (Figura 12).

**Figura 12 - Apresentação visual do modelo computacional, constando suas principais configurações em relação ao controle de volume do cenário urbano.**



Fonte: Adaptado de BRUSE, 2013.

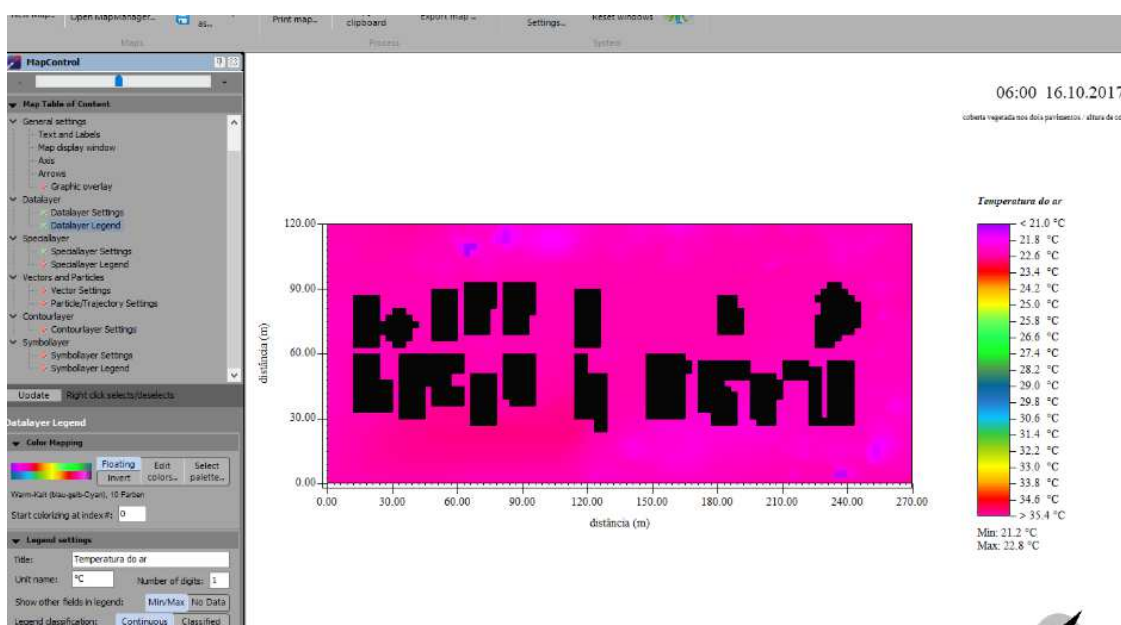
### 2.3.1 Modelo de turbulência

O programa computacional utiliza o modelo de previsão de turbulência no ar chamado de *Equação de Turbulência de Energia Cinética* (TKE). A vegetação por ser um elemento agrupado dentro de uma grade de até 11x11x10 *grids* (volume de controle que possui uma dimensão  $XxYxZ$ ), torna viável a criação de um elemento vertical para exercer a função de

<sup>2</sup> hidrostático: “Estudo das condições de equilíbrio dos líquidos e das pressões que eles exercem” <https://www.dicio.com.br/hidrostatica/>.

fachada vegetada e outros elementos vegetativos. Outro fator favorável para a utilização desse modelo é a geração de resultados e gráficos próprios, o qual acelera o processo de tratamento de dados e análise dos mesmos. A representação gráfica das informações pode ser como gráficos com padrões matemáticos ou representação gráfica por geração de imagem no aplicativo LEONARDO, o qual transforma os dados obtidos pela simulação em uma imagem tridimensional ou bidimensional, ilustrando em escala de cores o fator escolhido para estudo (figura 13).

**Figura 13 – Exemplo de formatação apresentada pelo aplicativo LEONARDO**



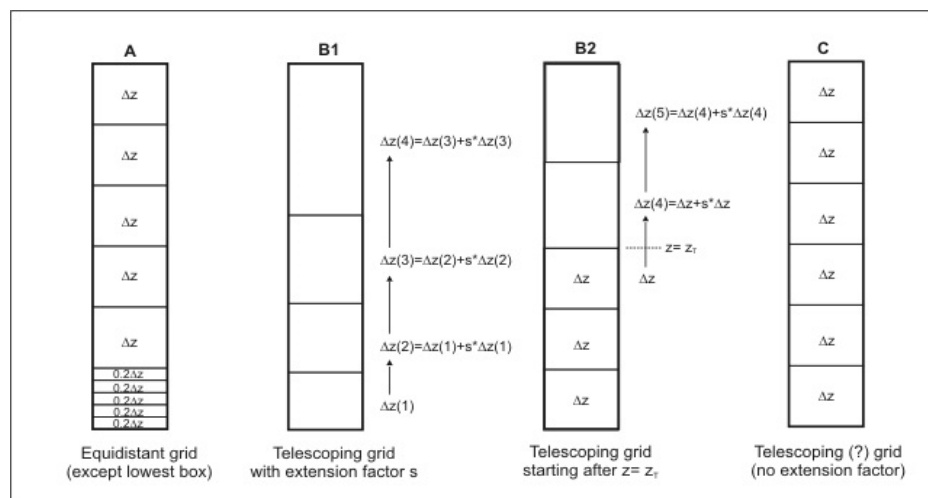
Fonte: Autora, (2018).

Como demonstra a figura 13, o aplicativo LEONARDO possui uma gama de ferramentas para edição de imagem afim de gerar padrões diferenciados ou resultados únicos em cada simulação realizada com o programa ENVI-met. A figura 13 mostra manchas térmicas que o usuário pode alterar a sua tonalidade de acordo com sua necessidade, comumente é utilizada a cor preta para o preenchimento de espaços que possuem edificações seccionadas em qualquer altura ou profundidade desejada. É possível a inserção de vetores para indicação de fluxos de ventilação e criar vídeos com a movimentação desses vetores na direção a qual foi gerada como resultado.

Diferentemente da disposição dos dados alimentados e considerações utilizadas para geração da grade horizontal do programa, a grade vertical pode ser alimentada e modificada ao

longo do processo de criação da área de estudo em modelos 2.5D, ao ser transformado em modelo 3D, as informações devem ser pensadas detalhadamente em três dimensões, antes de começar a editar o modelo. Dois tipos diferentes de grades verticais podem ser utilizadas no modelo para simulações (Figura 14): uma grade equidistante (A), onde todas as grades, exceto as cinco mais baixas, têm uma extensão vertical idêntica  $\Delta z$ , e uma grade telescópica (B1, B2 e C) onde o tamanho da grade se expande com a altura. A figura 14 mostra as diversificações dos diferentes tipos de grade vertical (BRUSE, 2018).

**Figura 14 - Diferentes conceitos para organizar o layout da grade vertical: (A): grade equidistante, (B1 e B2): grades telescópicas e (C): grade telescópica sem fator de extensão.**



Fonte: <http://www.envi-met.com/>, acesso em 2018.

### 2.3.2 Grade Equidistante

Essa grade de modelagem vertical possui o espaçamento semelhante em todas as suas camadas, com diferenciação em apenas uma delas. A camada inferior, tem uma divisão em 5 partes iguais e as demais camadas possuem o valor total da camada limite alimentada pelo usuário dividido pela quantidade de grades verticais estipuladas para a simulação. A equação 3 representa a primeira camada da grade equidistante (BRUSE, 2018).

$$\Delta z_s = 0,2 \Delta z$$

**Equação 3**



Sendo:

$\Delta z_s$  = subparte da camada inferior

$\Delta z$  = variação das camadas existentes

### 2.3.3 Grade Telescópica (Telescoping)

Para a modelagem usando o padrão *Telescoping*, o tamanho da grade vertical sofre uma deformação pelo fator de extensão  $s$  o qual representa a porcentagem de aumento para a próxima camada. A equação para determinar o valor de uma grade vertical com a sua porcentagem de extensão é a seguinte (equação 4) (BRUSE, 2018):

$$\Delta z(k) = \left[ \left( 1 + \frac{s}{100} \right) \right]^{k-1} \cdot \Delta z_{start} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

$\Delta z_{start}$  = subparte da camada inferior

$\Delta z(k)$  = variação das camadas existentes

$k$  = quantidade de camadas

$s$  = fator de extensão

### 2.3.4 Área de alinhamento

A área de alinhamento é um espaço fora do núcleo de simulação que serve para adicionar grades, tanto horizontais quanto verticais, para auxiliar nos cálculos de fluxos e turbulências existentes no programa computacional. É uma área que não é necessariamente utilizada para os cálculos, assim, não é obrigatoriamente necessária à sua predeterminação de dimensões e características para alimentar o espaço de simulação, porém a partir de sua introdução na área a ser simulada, sua retirada implica em modificações em todas as camadas existentes no programa (BRUSE, 2018).

A razão pela qual as áreas de alinhamento tornam-se uma opção no ENVI-met é que cada modelo numérico é diferenciado e pode não funcionar de forma segura em suas bordas e nas grades mais próximas a elas. No entanto, há uma situação ainda em que as grades de alinhamento podem ajudar a melhorar os resultados do modelo (ou tornar o modelo mais estável), é quando o usuário estipula o modo de simulação, seu ciclo de funcionamento e geração de resultados (BRUSE, 2018).

Ao utilizar o modelo com condições de limite fechado ou forçado, os valores são constantes para alimentação nas áreas de borda e o programa trabalha com dados alimentados referentes a horários pontuais, o que força a obtenção de resultados fixos para horários com menores e maiores temperaturas durante o dia simulado; com condições de limite aberto, os valores internos de cada camada são transmitidos para as áreas de alinhamento; por último, o programa possibilita condições cíclicas de borda, o qual gera uma retroalimentação de dados com as condições de saída após cada horário simulado (BRUSE, 2018).

Devido aos efeitos de borda e alimentação do programa para cada horário simulado, é importante levar em consideração cada elemento vertical utilizado para a simulação e a geração de fluxos horizontais e verticais obtidos por eles. A equação (5), base para alimentação do programa com a quantidade de grades para a área de alinhamento do mesmo, é mostrada a seguir (BRUSE, 2018):

$$\Delta xy(n) = \Delta xy(Main) \cdot n \quad \text{Equação 5}$$

Sendo:

$\Delta xy(n)$  = valor a ser adicionado a área de alinhamento

$\Delta xy(Main)$  = resolução do modelo principal

$n$  = índice da grade de alinhamento

### 2.3.5 Resultados com a utilização do Programa computacional Envi-Met com aplicação de vegetação

Foram realizadas simulações por Osmond (2004) e Jusuf et al. (2007) com o programa ENVI-met© acerca das modificações na malha urbana, realizando substituições em relação a vegetação por pavimentação e outros tipos de forração. Os resultados obtidos pelos pesquisadores foram contrastantes, sendo constatado um aumento na temperatura do ar com modificações por pavimentação e um decréscimo na temperatura do ar por modificação no tipo de forração do solo existente (OSMOND, 2004; JUSUF *et al.*, 2007). Na Coréia do Sul o modelo foi aplicado na comparação de possíveis mudanças causadas com a implantação de um projeto de revitalização do córrego Cheonggye, em Seul, a implantação do córrego na cidade causaria uma diminuição na temperatura média diária do local, e a umidade relativa sofreria um aumento. Após a execução do córrego, com medições no local, foi verificada uma diferença de 3°C entre os resultados da simulação para os das medições *in loco*, sendo esses 3°C a mais nas simulações computacionais.

Chatzidimitriou *et al.* (2006) realizaram a comparação de materiais de revestimento de solo em relação as suas temperaturas superficiais simuladas no programa ENVI-met, materiais como grama e pavimento de concreto apresentaram diferenças significativas em suas medições.

O efeito da vegetação na área urbana estudado por Santos *et al.* (2004) fez comparações entre uma área hipotética com cobertura vegetal densa e a mesma área sem vegetação por simulação no programa ENVI-met©. No local que havia vegetação próxima as vias de tráfego, para avaliar as condições de concentração de CO<sub>2</sub>, foi visto que a dispersão das partículas foi elevada.

Foi realizado por Castelo Branco (2009) em Brasília, um estudo baseado em áreas verdes com sua inserção na Superquadra 108 Sul através de simulações no programa ENVI-met©, como resultado obtido foi observado o surgimento de um microclima no cenário criado com amenização da temperatura do ar. Da mesma forma, em Teresina (Piauí) estudos direcionados à arborização em três avenidas da cidade, Silva (2009) realizou simulações e obteve como resultado a amenização da temperatura do ar pela influência da vegetação. A influência da ventilação urbana na distribuição da temperatura do ar em Campinas (São Paulo), foi investigada por DACANAL *et al.* (2010).

ASSIS *et al* (2013), fizeram uma análise comparativa de variados tipos de revestimento do solo urbano para Belo Horizonte (Minas Gerais), objetivando analisar a influência da vegetação no microclima local. Encontraram a diferença de 1°C entre o solo nu/gramado e o pavimento de concreto, e de 0,5°C entre o solo nu/gramado e o solo com 100% da área de bosque.

Sirqueira (2014) realizou a calibração do modelo microclimático para a cidade de Belo Horizonte através do programa ENVI-met e obteve resultados relevantes quanto a sua sensibilidade, tanto para as entradas médias e instantâneas de temperatura do ar e umidade relativa do ar, quanto para a sensibilidade da entrada de dados do solo, em áreas vegetadas. Após as simulações computacionais, foram realizados tratamentos estatísticos para confirmar a confiabilidade dos dados gerados, caracterizando um modelo confiável e de boa precisão em seus resultados.

Shinzato (2014) afirmou que o programa computacional é sensível aos tipos de vegetação, considerando suas formas de copa, densidade do dossel, entre outras diferenciações. A autora menciona a necessidade de modificar a fundo os parâmetros básicos do programa ENVI-met© e alimentar corretamente com dados climáticos gerando, assim, resultados mais satisfatórios quanto a influência da vegetação no microclima urbano. Foram encontrados resultados que apontam valores aproximados entre cenários de simulação com cenários reais do caso de estudo, com uma taxa de variação aceitável para validação do programa e trabalhos com foco em vegetação em áreas urbanas.

Rosseti (2013) realizou a incorporação do telhado vegetado em coberturas na cidade de Cuiabá (Mato Grosso) em cenários hipotéticos no programa computacional ENVI-met© e observou que independente de sua proporção de utilização, houve elevação na umidade relativa do ar no espaço das ruas e calçadas (ROSSETI, 2013).

Minella *et al* (2017) apresentaram um estudo referente à cidade de Curitiba (Paraná), resultando que para reduzir em até 1°C de temperatura do ar em área urbana na cidade, seria necessário que houvesse um aumento de até 72% de áreas vegetadas, desse modo, demonstrando a elevada quantidade de áreas vegetadas para se obter tão pequena variação e diminuição de temperatura. Os autores observaram que para um dia típico (dia/período de verão) mesmo que fosse realizado o acréscimo de árvores de copa densa, realizando um canteiro linear vegetado, não seria capaz de ter conforto térmico local (MINELLA *et al.*,

2017). No próximo capítulo serão elencados os procedimentos metodológicos aplicados no decorrer desta pesquisa.

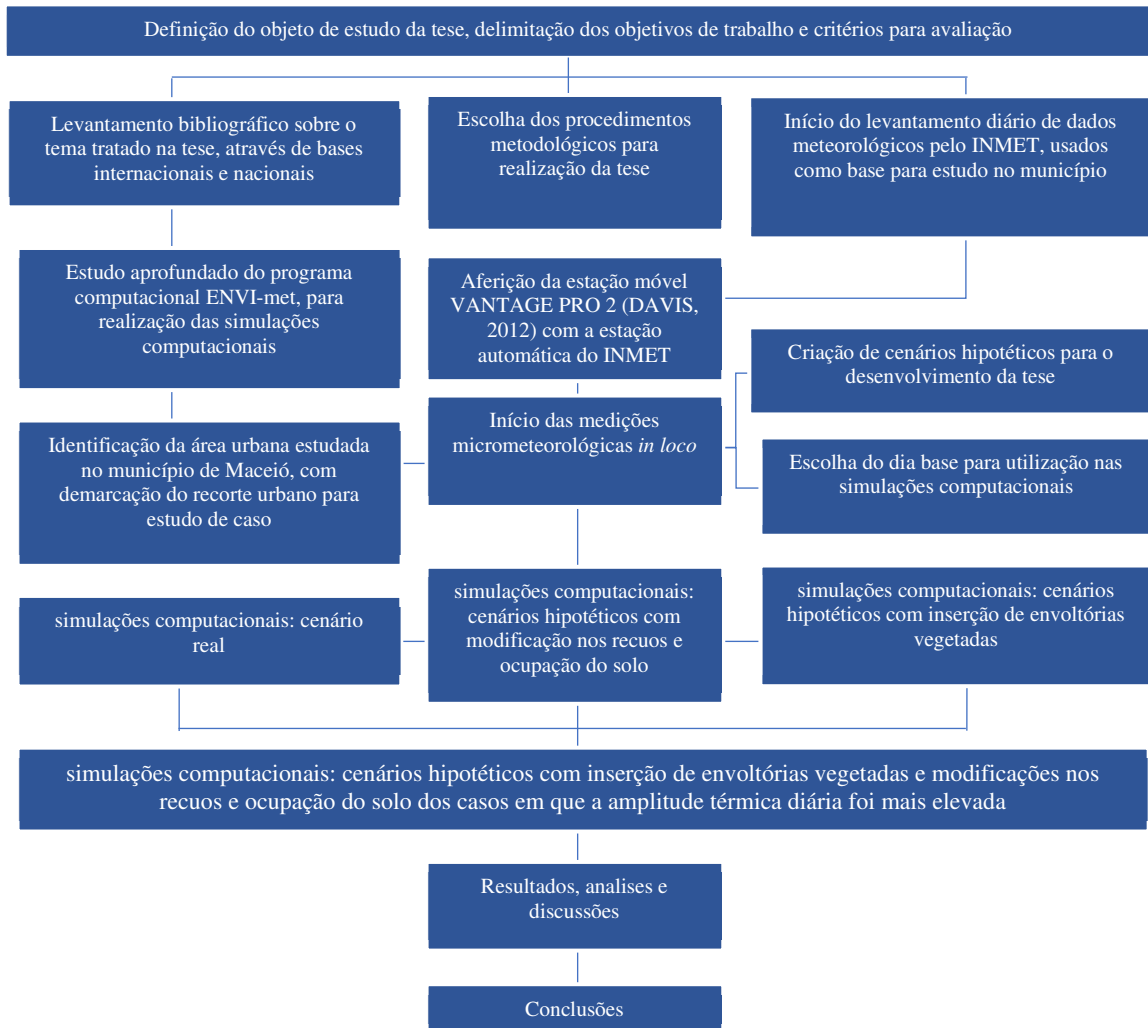
### 3. METODOLOGIA

Este capítulo aborda a metodologia utilizada para o desenvolvimento da tese, que além da busca por literaturas que tratassem do tema abordado. Foram utilizados três procedimentos metodológicos, como o uso de equipamentos para medições *in-loco* e uso de um programa computacional para simulações com cenários hipotéticos e o cenário real. Inicialmente foi realizada a caracterização da área de estudo, com informações sobre a cidade de Maceió e o recorte escolhido. Posteriormente foi apresentada a estação micrometeorológica utilizada para as medições de dados microclimáticos na área, cenários hipotéticos com modificação na estrutura urbana e cenário real foram criados e, por último, foram realizadas simulações computacionais para análise e previsão da influência das envoltórias vegetadas no local estudado.

Para compreender o ambiente térmico urbano da área de estudo foi realizado um levantamento de dados a partir de medições microclimáticas *in loco* através de uma estação móvel, o que possibilitou a geração de informações básicas quanto a temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação global, velocidade do ar, direção de ventos e pluviosidade na área estudada. Cenários hipotéticos foram criados com base no recorte urbano existente, sendo dezesseis cenários com modificações tanto em relação a configuração urbana para recuos e afastamentos e a inserção de envoltórias vegetadas.

Primeiramente, foi criado o cenário Real, o qual possui todas as características básicas existentes no recorte urbano escolhido para estudo. Dez dos cenários hipotéticos foram usados como base para possíveis alterações no padrão existente local, o que pode auxiliar na aplicação da metodologia dessa pesquisa em outros trabalhos ligados a diversos padrões urbanísticos. Seis simulações foram baseadas no recorte real com aplicação de diferentes padrões de envoltórias vegetadas para avaliar a influência dessas no recorte escolhido. Esta pesquisa obedeceu aos seguintes procedimentos (figura 15):

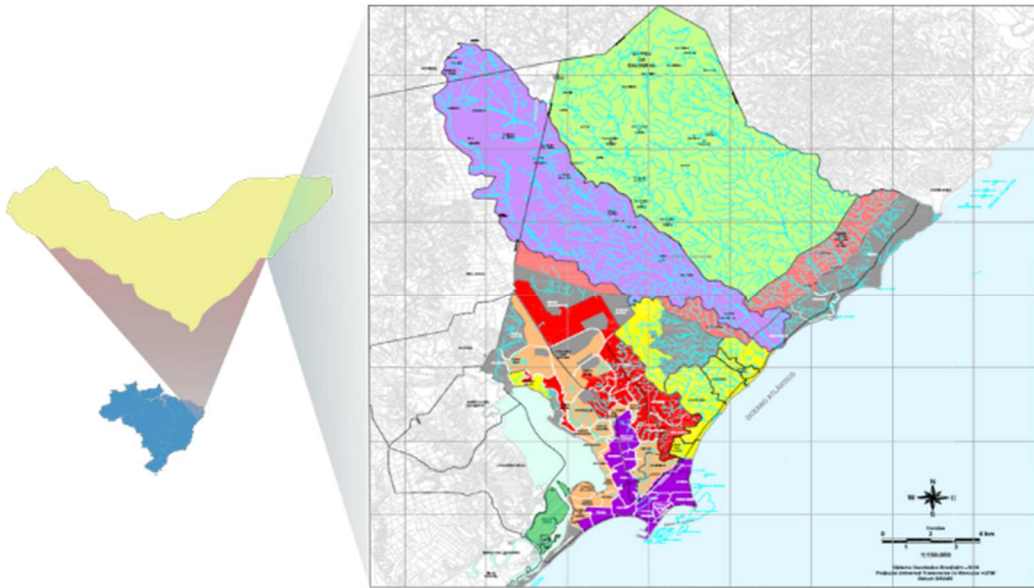
**Figura 15 - Fluxograma com a sequência metodológica do desenvolvimento trabalhado.**



Fonte: Autora, (2019).

### 3.1 Área de estudo

A cidade de Maceió localiza-se na latitude 9° 39" Sul e longitude 35° 44" Oeste, as margens do Oceano Atlântico, em seu território residem 932.748 habitantes e com divisão territorial em área urbana e rural. Possui aproximadamente 510km<sup>2</sup>, aonde 233km<sup>2</sup> correspondem a área urbanizada do município (Figura 16) (IBGE, 2016).

**Figura 16 - Cidade de Maceió, Alagoas.**

Fonte: PREFEITURA DE MACEIÓ, adaptado, 2016.

O município de Maceió (Alagoas) tem clima quente e úmido, tendo o verão com altas temperaturas e baixa pluviosidade e o inverno com temperaturas mais amenas e altos índices pluviométricos. Por sua baixa latitude a cidade possui como característica a intensa incidência de radiação solar, e baixa amplitude térmica ao longo do dia.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) apresentou através das Normais Climatológicas (1981 – 2010) as temperaturas mínimas e máximas para as médias dos 30 anos (Tabela 1) para Maceió, sendo nos meses de julho e agosto a temperatura do ar mínima encontrada de 19,7° C e em março de 31,5°C (INMET, 2018), os ventos predominantes foram o Sudeste, Leste e Nordeste, sendo o Sudeste com maior intensidade (figura 17).

**Tabela 1 - Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010**

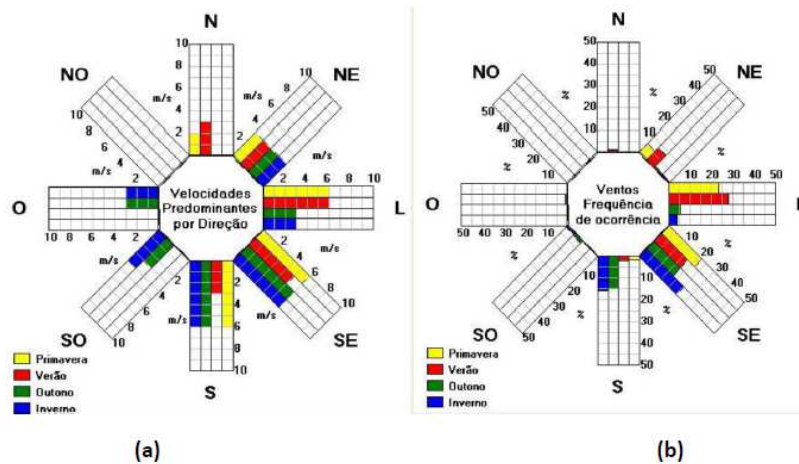
INMET - Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010														
Fator	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura Média	A	26,	26,	26,5	26,0	25,1	24,1	23,5	23,5	24,1	25,1	25,6	26,0	25,1
Temperatura Máxima	A	31,	31,	31,5	30,6	29,5	28,3	27,6	27,6	28,4	29,9	30,8	31,2	29,8
Temperatura Mínima	A	21,	21,	22,1	21,8	21,2	20,3	19,7	19,7	19,9	20,3	20,9	21,2	20,9



Umidade	A	75,	74,											
Relativa Do Ar	L	9	2	74,9	77,8	81,1	82,6	82,8	81,9	78,7	76,1	74,1	73,9	77,8
Precipitação	A	83,	72,	117,										1867,
	L	0	9	4	207,5	296,9	353,8	265,2	201,5	120,2	61,6	46,9	40,5	4
Ventos	A													
	L	3,5	3,3	3,1	2,6	2,4	2,4	2,4	2,7	3,1	3,6	3,8	3,7	3,1

Fonte: INMET, 2018.

**Figura 17 - Rosa dos ventos de Maceió, apresentando a intensidade de ventilação e direção dos ventos.**



Fonte: programa computacional SOL-AR, 2016.

Os pré-requisitos para escolha da área de estudo desta tese foram determinados a partir das observações realizadas com base no referencial teórico que apresentam pouca variação de pavimentos e áreas com expansão urbana controlada para evitar interferências de outras edificações na área de estudo, já que a forma urbana, a malha viária e padrões construtivos interferem diretamente na temperatura do ar e na direção e velocidade de ventos. Também foram escolhidos outros requisitos como: características de revestimento de piso, como vegetativo, asfaltado, com utilização de pedra e concreto e espaços livres na área de estudo. A segurança dos equipamentos e dos usuários ao realizarem as coletas de dados nas estações micrometeorológicas e, como último requisito selecionado escolheu-se a proximidade de áreas vegetadas.

Para a coleta de dados foi utilizado o período de 1 (um) ano de coleta de dados micrometeorológicos na área de estudo escolhida. Ao observar os dados colhidos nesse período, foi constatado que o ano em questão, apresentou a temperatura do ar média para o mês de agosto mais elevada que a média apresentada pelas Normais Climatológicas, chegando a atingir aproximadamente 25°C para o mês em questão.

Para a realização das medições in loco, foi escolhida uma área da cidade de Maceió que possuísse arranjos construtivos e urbanísticos com edificações de 1 e 2 pavimentos, com proximidade a áreas mais controladas urbanisticamente. Em sua maioria essas áreas possuem a presença de florestas urbanas que delimitam seu entorno, o que auxiliou a não influência de elementos com maior altimetria dentro e fora do recorte estudado. Foram observados como opções os conjuntos residenciais horizontais: A) Aldebaran – Alfa, Beta e Omega; B) Jardim do Horto – I e II; C) San Nicolas; D) Alto das alamedas. Os requisitos para escolha da área de estudo, são expostos a seguir (quadro 5):

**Quadro 5 - Apresentação dos requisitos de escolha da área de estudo e os pontos que atenderam os mesmos**

Conjuntos Residenciais horizontais observados				Requisitos para a escolha da área de estudo
A	B	C	D	
	X	X		1. Área com padrão residencial, com configuração urbana linear, regular, com a malha urbana composta por ruas paralelas e perpendiculares;
X	X	X	X	2. Local com baixo índice construtivo de edificações de grande porte e de muitos pavimentos, evitando influências de deslocamento de massas de ar e sombreamentos na área estudada;
	X	X	X	3. Área com diversidade de materiais de revestimento de piso;
X	X	X	X	4. Área próxima à reserva florestal;
X	X	X		5. Acesso e segurança para os equipamentos de medição.

Fonte: Autora, (2016).

As áreas B e C apresentadas no quadro 5 enquadram-se nos parâmetros escolhidos, porém, ao se observar no Plano Diretor de Maceió (PREFEITURA DE MACEIÓ, 2006), o local C encontra-se na Macrozona de Expansão Intensiva que é determinada por áreas com

baixa ocupação ou subutilizadas, junto aos vetores de crescimento urbano. Para a Macrozona de Expansão Intensiva, o incentivo ao uso residencial e as atividades complementares, preservação da vegetação nas bordas dos tabuleiros para evitar desmoronamentos, estímulo das atividades econômicas de comércio e serviço na ocupação urbana (PREFEITURA DE MACEIÓ, 2006). Devido a essa diretriz de expansão, a área C foi descartada, por existir a possibilidade de implantação de edificações de grande porte próximas à área de medição, o que poderia implicar em alteração nos dados colhidos *in loco* e apresentar inconstância significativa nos resultados finais para essa pesquisa.

**Figura 18 - Recorte urbano da área de estudo. Imagem de Satélite adaptada: Jardim do Horto I – contorno vermelho; Jardim do Horto II – contorno amarelo; Reserva florestal – contorno verde e local de coleta de dados (estrela).**



Fonte: Google Earth, adaptado, 2016.

De acordo com o Plano diretor de Maceió (PREFEITURA DE MACEIÓ, 2006) o macrozoneamento urbano no qual se enquadra a área B, foi visto que a mesma está locada no Macrozoneamento de Adensamento Controlado, que possui áreas com bairros de ocupação consolidada, passíveis de adensamento condicionado a melhorias urbanas como acessibilidade e mobilidade e sistemas de saneamento básico. Possui um grande potencial

quanto a utilização de seus vazios urbanos com o controle do adensamento e adoção de alternativas para preservação das encostas.

O Loteamento Jardim do Horto (área B) encontra-se no bairro Gruta de Lourdes e foi implantado em 1983 (MODESTO, 2010) sendo dividido em duas seções: Jardim do Horto I e Jardim do Horto II. O loteamento possui aproximadamente 330.000m<sup>2</sup> de área de lotes e tem como anexo uma área verde de 93.000m<sup>2</sup> de reserva florestal com área de lazer e piscina de nascente de água de preservação ambiental (figura 18).

Pertencente à ZR-7 (Zona Residencial, ocupações de predominância residencial), o condomínio segue as diretrizes estipuladas pelo Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (PREFEITURA DE MACEIÓ, 2007), que são:

- limitação de 20 pavimentos compatibilizados ao saneamento básico local; possibilidade de instalação de atividades comerciais, de serviço e industriais, desde que não prejudiquem nem gerem impactos ambientais e urbanos; é obrigatório o atendimento das taxas de permeabilização do terreno.
- Os lotes existentes no Condomínio possuem 15 metros de testada e 25 metros de profundidade. Pela legislação local, o coeficiente de aproveitamento do terreno para construção é de 3.5 como exemplifica a tabela 2 a seguir retirada do Plano diretor da cidade de Maceió.

**Tabela 2 - Coeficientes de aproveitamento do terreno da Macrozona de Adensamento Controlado.**

Unidade Geomorfológica	Bairros	Coeficiente de aproveitamento do terreno*	
		BÁSICO	MÁXIMO
Planície costeira	Prado	3,5	---
	Poço	3,5	---
	Centro	3,5	4
	Jaraguá	2	---
	Pajuçara	3,5	4
	Ponta da Terra	3,5	4
	Mangabeiras	4	---
	Ponta Verde	4	4,5
	Jatiúca	4	4,5
	Parte de Cruz das Almas	4	4,5
	Parte do Trapiche	4	---
	Pitanguinha	3,5	---
	Gruta de Lourdes	3,5	---
tabuleiro	Jardim Petrópolis	4	---
	Parte do Farol	4	---
	Parte de Pinheiro	4,5	---

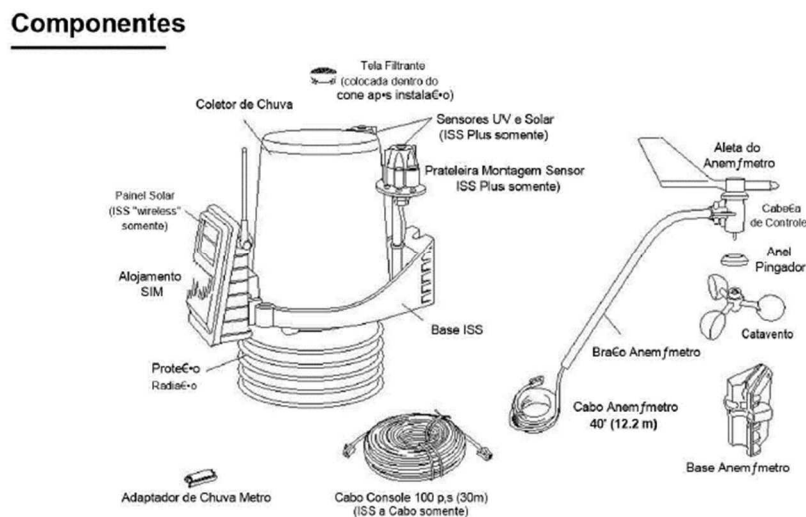
\* O coeficiente **MÍNIMO** de aproveitamento do terreno é de 0,5

Lei Nº.5.528 de 06 de abril de 2006.



A estação escolhida transmite e recebe dados até 500 metros de distância entre o console e o sensor de dados. Possui unidades de medida internacionais e sua altura é ajustável para sua melhor utilização (figura 20). Para esta pesquisa foram selecionados os sensores de medição de temperatura do ar, de umidade relativa do ar, captação de precipitação (com um balde de auto esvaziamento), de direção e velocidade de ventos (anemômetro) e um sensor de radiação direta. Os dados obtidos pelo console são apresentados, tratados e formatados previamente, apresentando as médias, máximas e mínimas obtidas por hora e diárias, com armazenamento de dados no intervalo de 3 segundos a 24 horas (quadro 6).

**Figura 20 - Estação móvel VANTAGE PRO 2 – DAVIS, instrumentos de medição contidos na estação móvel.**



Fonte: manual de instalação e guia rápido Vantage PRO - DAVIS, 2012.

A estação utilizada para as medições da área de estudo necessitou de aferição prévia com dados locais (esses disponibilizados pelo INMET) e por esse motivo, a colocação da estação móvel no mesmo espaço da estação automática que é locada na Universidade Federal de Alagoas se fez necessário. A aferição foi iniciada no mês de fevereiro de 2017 e finalizada no mês de março do mesmo ano.

Os dados obtidos através das medições pela estação foram armazenados por um console com transmissão de dados sem fio, que pode receber dados até 300m de diâmetro de distanciamento da estação, desse modo foi necessário a fixação do console no abrigo meteorológico próximo à estação do INMET, com proximidade de até 2m do local de fixação da estação móvel. A mesma possui seus sensores afixados em um tripé a 1.5 metros de altura

em relação ao solo, já os da estação automática do INMET, seguem o manual para instalação de estações automáticas nacionais, o qual possui as normativas da Organização Meteorológica Mundial e deve ser seguido para garantir a veracidade dos dados recolhidos pela mesma (NOTA TÉCNICA No. 01/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET, 2011). Vale ressaltar que o tempo de medição foi de 1 (um) ano completo, para melhor escolha e tratamento de dados utilizados na presente pesquisa.

**Quadro 6- configurações básicas da estação micrometeorológicas, precisão de medição e alcance, com grifo nas variáveis as quais foram utilizadas nas análises do trabalho.**

Variável	Resolução	Alcance	Precisão Nominal (+/-)
Direção do Vento	1°	0 a 360°	3°
Rosa-dos-Ventos	22,5°	16 pts.	
Velocidade do Vento	1 mph; 1 nó; 0,5 m/s; 1 km/h	2 a 150 mph; 2 a 130 nós 3 a 241 km/h, 1 a 67 m/s	Acima de 2 mph/nós; 1 m/s; 3 km/h ou 5%
Temperatura Interna	0,1° F; 0,1° C	+ 32° a + 140°F; 0 a +60°C	1°F; 0,5°C
Temperatura Externa *	0,1° F; 0,1° C	-40° a + 150°F; -40° a +65°C	1°F; 0,5°C
Umidade Interna	1%	0 a 100%	3% Umidade Relativa; 4% acima de 90%
Umidade Externa	1%	0 a 100%	3% Umidade Relativa; 4% acima de 90%
Pressão Barométrica**	0,01'' Hg; 0,1 mm Hg; 0,1 hPa; 0,1 mb	16'' a 32,5'' Hg; 410 a 820 mm Hg; 540 a 1100 hPa; 540 a 1100 mb	0,03'' Hg; 0,8 mm Hg 1,0 hPa; 1,0 mb
Tendência Barométrica (3 horas)	Taxas de Mudanças Rapidamente: ³,06'' Hg; 1,5 mm Hg; 2 hPa; 2 mb Lentamente: ³,02'' Hg; 0,5 mm Hg; 0,7 hPa; 0,7 mb	5 Posições de Seta: Subindo Rapidamente Subindo Lentamente Estável Caindo Lentamente Caindo Rapidamente	
Ponto de Condensação	1°F; 1°C	-105° a +130°F; -76° a +54°C	3°F; 1,5°C
Índice de Aquecimento	1°F; 1°C	-40° a +165°F; -40° a +74°C	3°F; 1,5°C
Resfriamento pelo Vento	1°F; 1°C	-110° a +135°F; -79° a +57°C	2°F; 1°C

Fonte: manual de instalação e guia rápido Vantage PRO - DAVIS, 2012.

Após a coleta de dados obtidos pelas estações móvel e do INMET, foi realizada uma aferição. A confiabilidade dos dados utilizados na pesquisa foi alcançada através de um tratamento com base no Desvio Médio dos Valores e em relação a dispersão dos valores pelo Erro Médio Quadrático (*Equações 9 e 10*). Foi observado que os dados obtidos pela estação móvel necessitavam de ajustes para sua correta utilização.

A escolha da data para a aferição dos dados foi a partir da análise do dia com menores variações dentro do perfil diário de amostras. O dia 19 de maio de 2017 foi o que apresentou melhor amostragem em relação aos dados da estação automática do INMET com a estação móvel. A aquisição total de dias realizada com as duas estações foi no período de 08 de março de 2017 até 20 de junho de 2017.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$MBE$  é o erro médio de estimativa;

$y_i$  é o valor estimado;

$x_i$  é o valor medido;

$N$  é o número de observações.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$RMSE$  é a raiz quadrada do erro quadrático médio;

$y_i$  é o valor estimado;

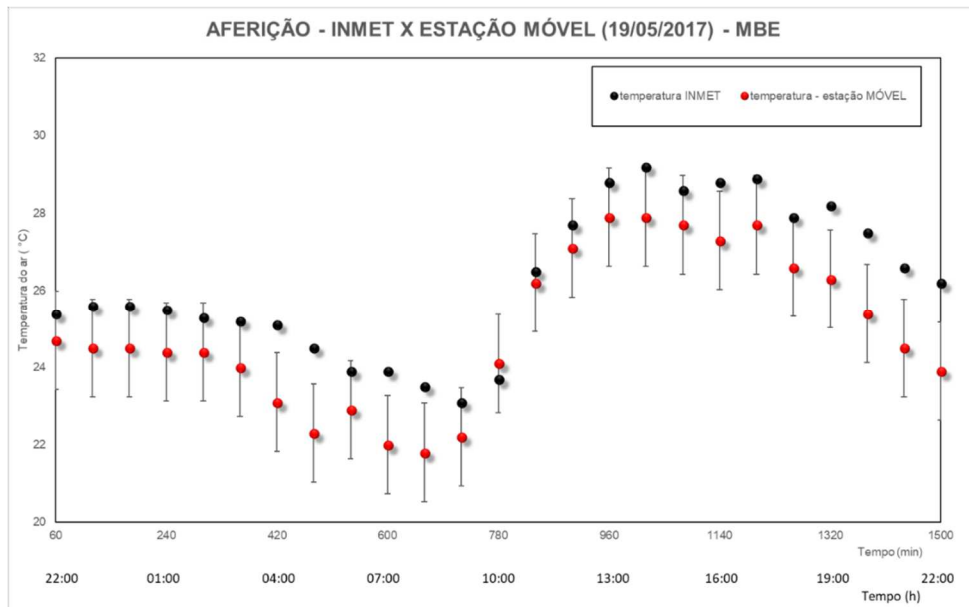
$x_i$  é o valor medido;

$N$  é o número de observações.



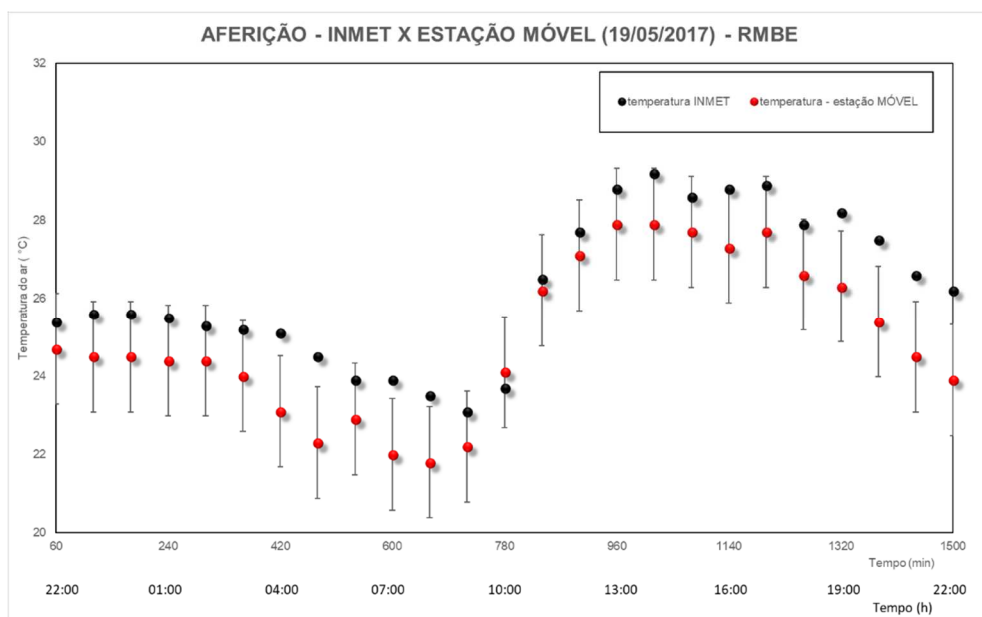
Através de base estatística foi possível observar que as medidas realizadas pela estação móvel estavam fora das faixas de erro aceitáveis e assim necessitaram de ajustes para a sua utilização na presente pesquisa (Figuras 21 e 22).

**Figura 21 - Gráfico de aferição dos dados obtidos entre a estação móvel e a estação automática do INMET – utilização do MBE (Desvio médio padrão dos valores).**



Fonte: Autora, (2018).

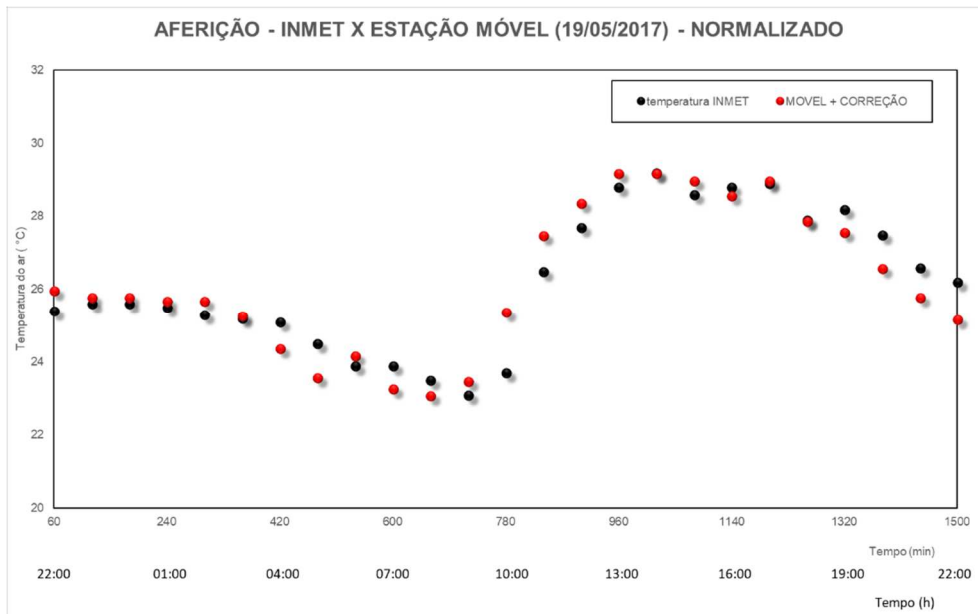
**Figura 22 - Gráfico de aferição dos dados obtidos entre a estação móvel e a estação automática do INMET – utilização do RMSE (dispersão dos valores pelo Erro Médio Quadrático).**



Fonte: Autora, (2018).

Desse modo foi visto que era necessária uma correção em relação aos dados obtidos pela estação móvel para que a utilização dos mesmos fosse possível. Realizada a normalização desses, foi visto que possuem um padrão de comportamento constante, com máximas e mínimas seguindo uma curva semelhante (figura 23).

**Figura 23 - Gráfico de aferição dos dados obtidos entre a estação móvel e a estação automática do INMET – adição de linha de base para alinhamento dos dados.**



Fonte: Autora, (2018).

Foi realizada uma adição de linha de base para que a correção fosse atingida. Essa linha foi gerada a partir da média entre a diferença dos dados da estação do INMET e a estação móvel, com acréscimo de 1,27 °C a cada medida realizada pela estação móvel (MSE usado como resultado padrão para linha de base dos resultados). A estação móvel foi transferida para a área escolhida para estudo após sua aferição e posicionada em local aberto e próximo a fachada frontal da edificação, local o qual a mesma permaneceu durante um ano, sendo retirada no final no mês de junho de 2018.

### 3.3 Simulação Computacional

A presente pesquisa utilizou o modelo micrometeorológico ENVI-met® (BRUSE, 2013), qual pode ser usado nas áreas de climatologia urbana, arquitetura, construção civil,

planejamento ambiental, entre outros. O modelo foi desenvolvido principalmente para fins de projetos de investigação científica diferentes e está em constante desenvolvimento, atualmente na versão 4.0.

Foram escolhidos previamente pontos que obtivessem dados diferenciados ao longo do dia para ter a possibilidade de avaliação e análise da influência da vegetação nas envoltórias das edificações, pontos esses denominados como *A*, *B* e *RECEPTOR* (figura 24). Esses pontos representam locais que poderiam sofrer alguma influência do entorno próximo em relação a presença de vegetação arbórea, de corredores de ventilação pela própria configuração urbana, locais a barlavento (lado em que a massa de ar se desloca em direção a edificação, gera pressão nas fachadas) e sota-vento (massa de ar que gera sucção nas fachadas da edificação, se desloca em sentido contrário a incidência direta da ventilação) de modo a observar as variações existentes entre os diversos cenários. A estação micrometeorológica DAVIS (2012) apresentada anteriormente, estava localizada no ponto especificado como *RECEPTOR*, o qual serviu de ponto inicial e de aquisição principal de dados para as simulações locais.

**Figura 24 - Representação gráfica referente à demarcação dos pontos utilizados para análise.**



Fonte: Autora, (2018).

Como produtos obtidos pelas simulações foram adquiridas imagens com manchas térmicas referentes aos cenários e gráficos que apresentam a relação entre todas as simulações realizadas e dados para comparação quantitativa com informações referentes à altura de 1,5m, e seguintes horários de análise das simulações: 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h.

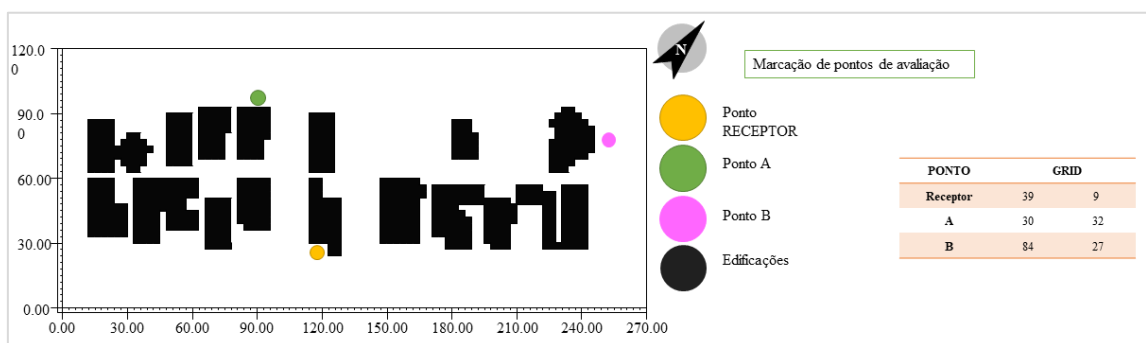
3.3.1 Simulações para o recorte de estudo – configuração urbanística local e algumas possibilidades de modificação de malha para possíveis influências no clima local.

Para os cenários hipotéticos com modificações foram realizadas alterações em relação à configuração urbana existente na área de estudo (padrão urbanístico local) baseadas na questão de gabaritos, afastamentos e recuos. Dentre essas alterações foram obtidos padrões para todos os lotes possuindo os mesmos afastamentos posteriores, frontais e laterais dentro do recorte. As análises gerais dos pontos de observação foram realizadas ao final de todas as simulações e comparadas com todos os dados obtidos nos cenários hipotéticos. Como apresentado no cenário baseado no recorte real os pontos possuem diferenças e devem ser descritos separadamente em cada avaliação.

Os cenários com modificações foram os seguintes:

- 1) Área com modificação nas edificações existentes: padrão modificado para 1 e 2 pavimentos - todas as edificações foram modificadas para um pavimento e dois pavimentos, sendo esses com 4 metros e 8 metros de altura respectivamente, sem alteração da malha urbana e mantendo todos os revestimentos de solo e padrões de revestimento das envoltórias, os mesmos do cenário real (figura 25);

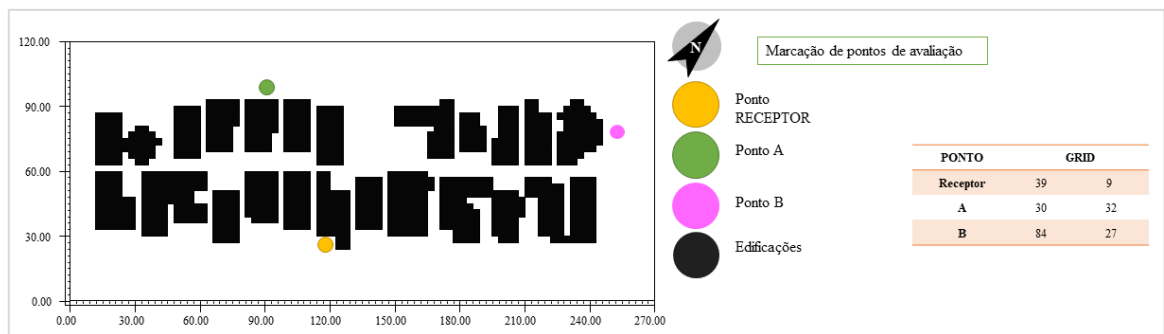
**Figura 25 - Representação para os cenários com 1 e 2 pavimentos sem modificação na ocupação dos lotes.**



Fonte: Autora, (2018).

- 2) Área com modificação em relação ao aproveitamento total de quadra: padrão modificado para 1 e 2 pavimentos com todos os lotes ocupados - realizando locação de edificações hipotéticas em lotes que estão livres na área de estudo, criando cenários com unidades possuindo 4 metros e 8 metros de altura em toda malha urbana (figura 26);

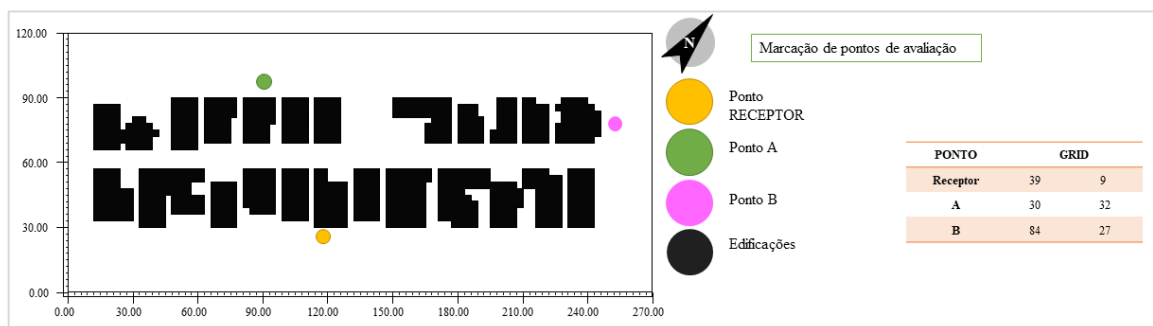
**Figura 26 - Representação para os cenários com 1 e 2 pavimentos com modificação na ocupação dos lotes.**



Fonte: Autora, (2018).

- 3) Área com modificação em relação ao aproveitamento total de quadra: padrão modificado para 1 e 2 pavimentos com todos os lotes ocupados e recuos frontais ampliados - realizando locação de edificações hipotéticas em lotes que estão livres na área de estudo, criando cenários com unidades possuindo 4 metros e 8 metros de altura em toda malha urbana (figura 27);

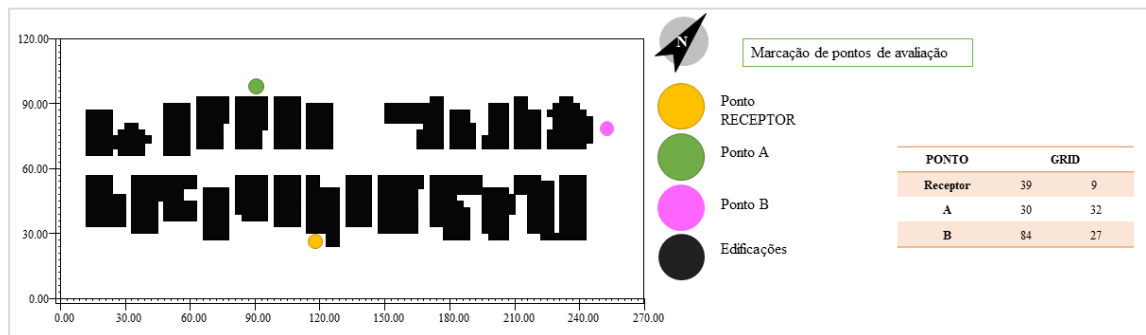
**Figura 27 - Representação para os cenários com 1 e 2 pavimentos com modificação na ocupação dos lotes – ampliação do recuo frontal.**



Fonte: Autora, (2018).

- 4) Área com modificação em relação ao aproveitamento total de quadra: padrão modificado para 1 e 2 pavimentos com todos os lotes ocupados e corredor ao fundo do lote ampliado - realizando locação de edificações hipotéticas em lotes que estão livres na área de estudo, criando cenários com unidades possuindo 4 metros e 8 metros de altura em toda malha urbana (figura 28);

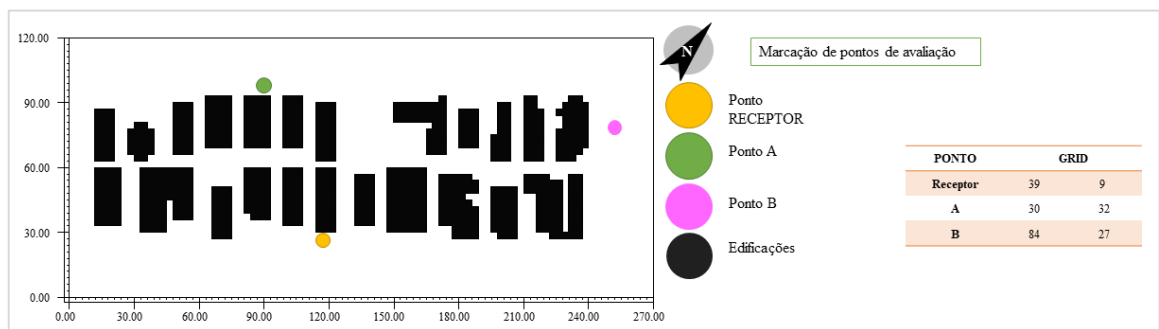
**Figura 28 - Representação para os cenários com 1 e 2 pavimentos com modificação na ocupação dos lotes – ampliação do recuo posterior.**



Fonte: Autora, (2018).

- 5) Área com modificação em relação ao aproveitamento total de quadra: padrão modificado para 1 e 2 pavimentos com todos os lotes ocupados e recuos laterais ampliados - realizando locação de edificações hipotéticas em lotes que estão livres na área de estudo, criando cenários com unidades possuindo 4 metros e 8 metros de altura em toda malha urbana (figura 29);

**Figura 29 - Representação para os cenários com 1 e 2 pavimentos com modificação na ocupação dos lotes – ampliação do recuos laterais.**



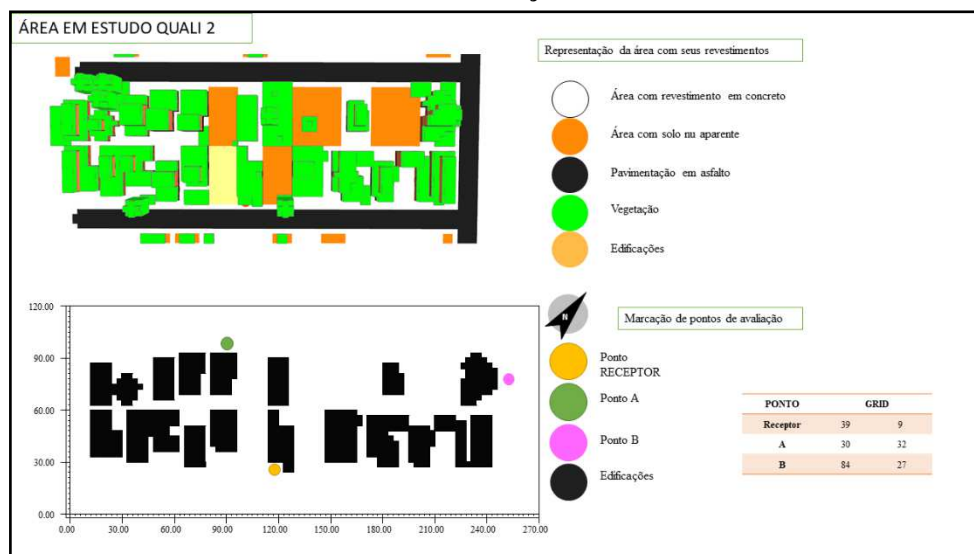
Fonte: Autora, (2018).

3.3.2 Simulações para o recorte de estudo – modificação nos revestimentos da envoltória das edificações para possíveis influências no clima local.

Foram realizadas alterações no cenário hipotético com base no recorte de estudo contendo acréscimo de envoltórias vegetadas. Os revestimentos de solo das edificações, o uso de gramínea e vegetação arbórea foram mantidos os mesmos do cenário *real*. Cinco cenários hipotéticos foram criados para esta etapa da pesquisa, todos os cenários sofreram modificações quanto à redução de uma linha de grade (3x3x3 m de *grid*) no sentido de recuos frontais, laterais e de fundo, sendo os seguintes cenários hipotéticos:

- 1) Vegetação em todas as edificações - com cobertura total dos telhados em gramínea com 1 ou 2 pavimentos, receberam a mesma totalidade de revestimento vegetado sobrepondo ao já existente (figura 30);

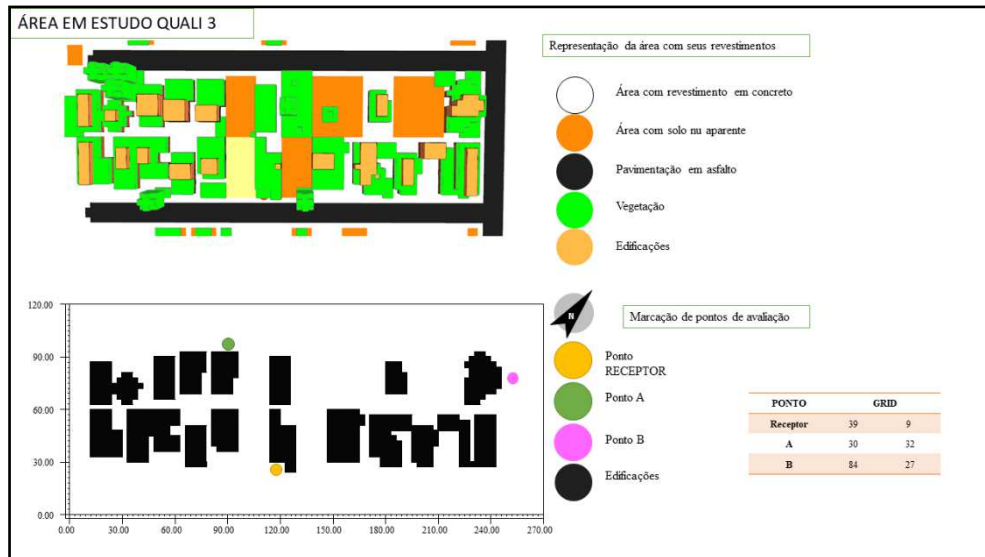
**Figura 30 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de telhado vegetado em todas as edificações.**



Fonte: Autora, (2018).

- 2) Vegetação apenas nos telhados de edificações de dois pavimentos, mantidos os revestimentos de solo e das edificações, modificando unicamente os telhados das residências com 2 pavimentos (figura 31);

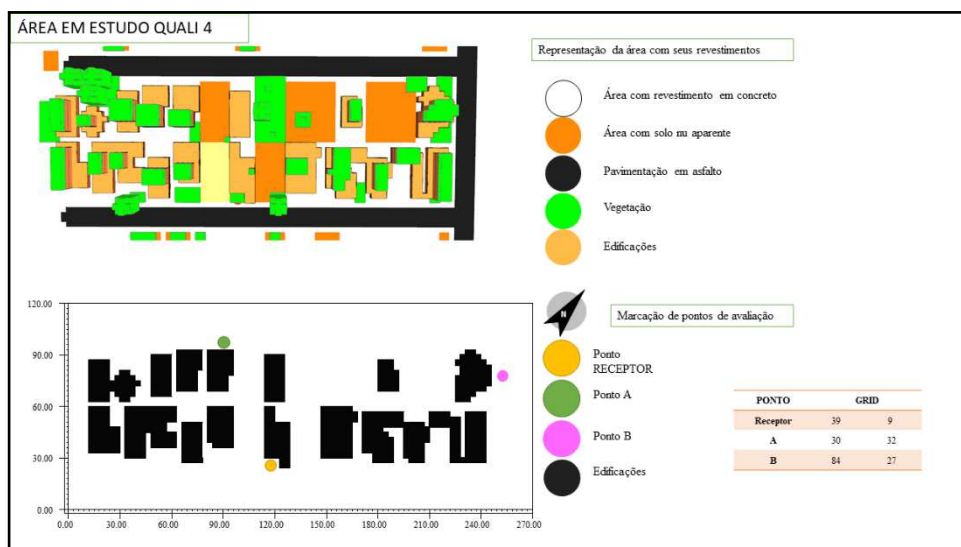
**Figura 31 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de telhado vegetado em todas as edificações com 2 pavimentos.**



Fonte: Autora, (2018).

- 3) Vegetação apenas nos *telhados de edificações de um pavimento*, mantidos os revestimentos de solo e das edificações, modificando unicamente os telhados das edificações com 2 pavimentos (figura 32);

**Figura 32 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de telhado vegetado em todas as edificações com 1 pavimento.**

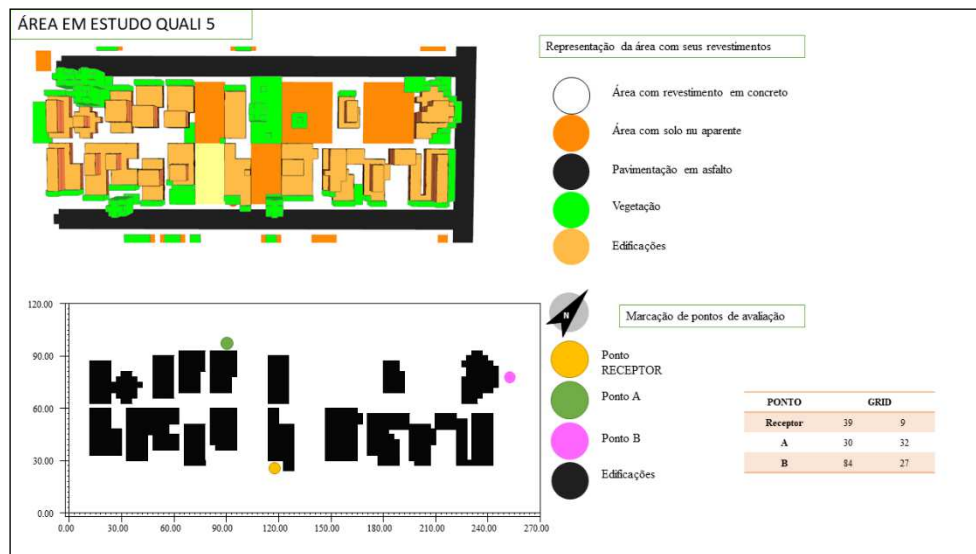


Fonte: Autora, (2018).



- 4) Vegetação em todas as edificações - receberam envoltórias vegetadas em suas fachadas frontais com aplicação de trepadeira, com 1 ou 2 pavimentos. Receberam a mesma totalidade de revestimento vegetado sobrepondo ao já existente na edificação (figura 33);

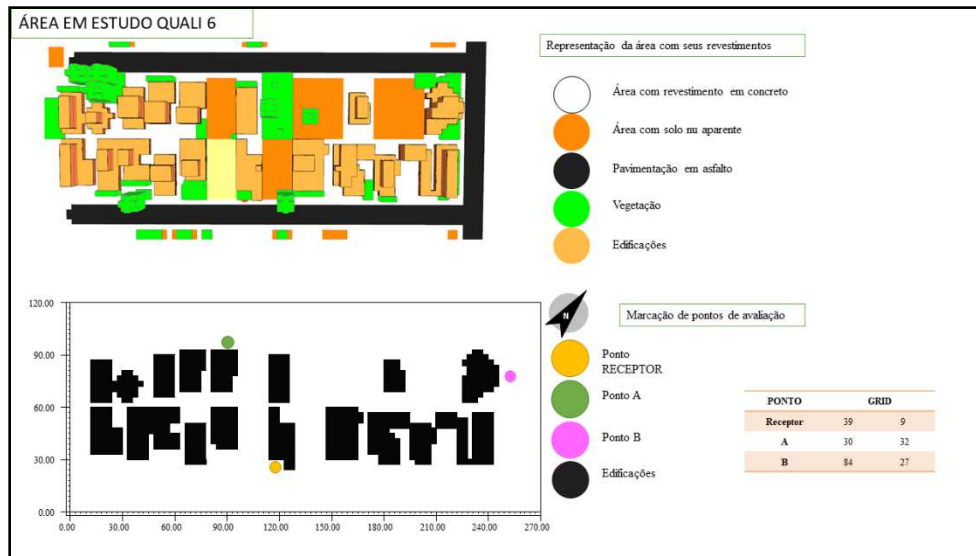
**Figura 33 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de envoltória vegetada em todas as edificações**



Fonte: Autora, (2018).

- 5) Vegetação em apenas edificações alternadas - com envoltórias vegetadas em suas fachadas frontais com aplicação de trepadeira, com 1 ou 2 pavimentos receberam a mesma totalidade de revestimento vegetado sobrepondo ao já existente (figura 34)

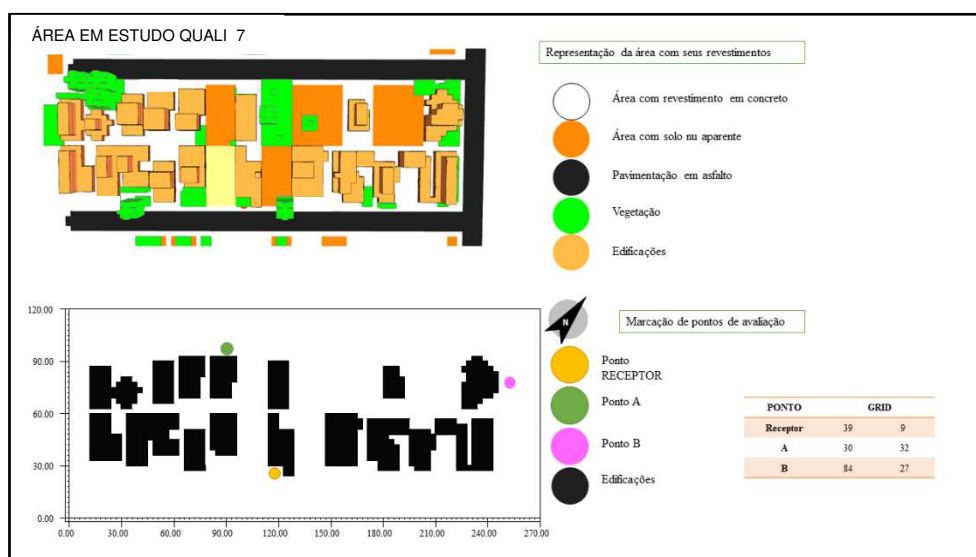
**Figura 34 - representação para os cenários vegetados – aplicação de envoltória vegetada em edificações alternadas.**



Fonte: Autora, (2018).

- 6) Vegetação em apenas edificações alternadas (25% de lotes construídos) com envoltórias vegetadas em suas fachadas frontais com aplicação de trepadeira, com 1 ou 2 pavimentos receberam a mesma totalidade de revestimento vegetado sobrepondo ao já existente (figura 35);

**Figura 35 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de envoltória vegetada em edificações alternadas (25% de lotes receberam a vegetação nas fachadas).**



Fonte: Autora, (2018).

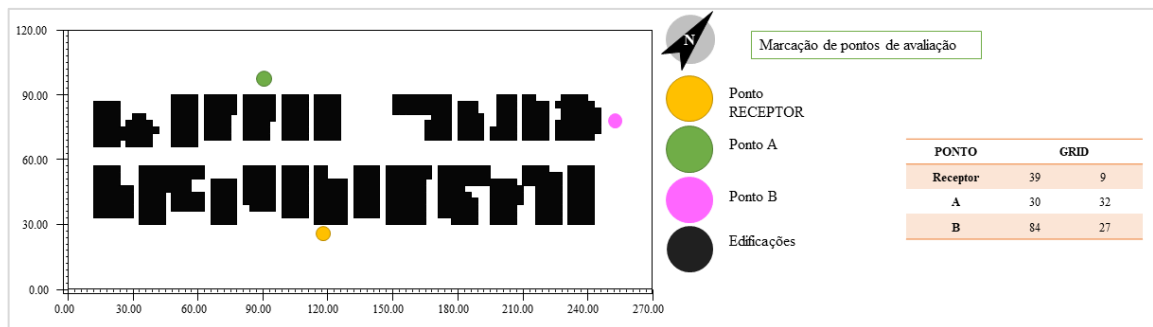
### 3.3.3 Simulações para o recorte de estudo – modificação nos revestimentos da envoltória das edificações e em sua configuração urbana para possíveis influências no clima local.

Após a realização das simulações computacionais envolvendo todos os cenários mencionados nessa metodologia, foram criados mais 2 cenários hipotéticos com aplicação de envoltórias vegetadas. Esses cenários foram determinados pela necessidade de estudar a influência dessas envoltórias nos casos em que as temperaturas do ar obtiveram maior amplitude térmica diária simulada.

Os casos com modificação nos recuos frontais e laterais foram os seguintes:

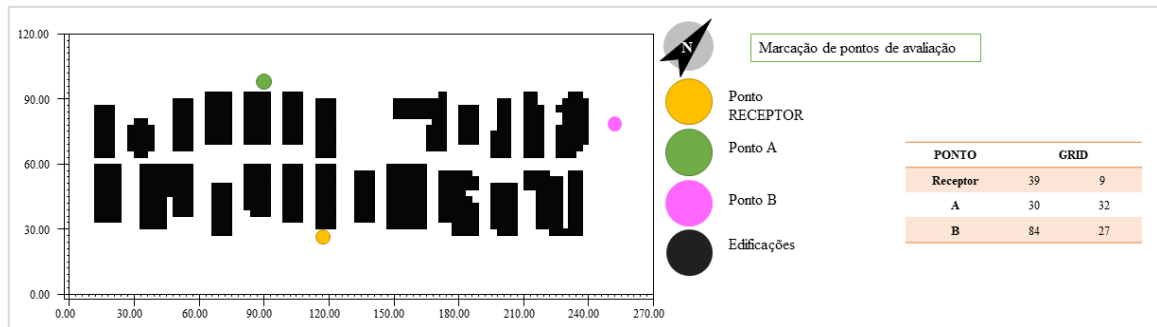
- Um pavimento com recuos frontais ampliados (figura 36) e Um pavimento com recuos laterais ampliados (figura 37): receberam aplicação de vegetação em todas as fachadas frontais das edificações existentes.

**Figura 36 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de envoltória vegetada em edificações alternadas (25% de lotes receberam a vegetação nas fachadas).**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 37 - Representação para os cenários vegetados – aplicação de envoltória vegetada em edificações alternadas (25% de lotes receberam a vegetação nas fachadas).**



Fonte: Autora, (2018).

Após a aplicação dos procedimentos metodológicos abordados neste capítulo, será mostrado a seguir os resultados obtidos nesta pesquisa. As simulações computacionais realizadas apresentaram resultados em imagens com representação em manchas térmicas e dados numéricos para análises referentes a temperatura do ar a 1,5m de altura.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os principais resultados encontrados na pesquisa referentes a 1 (um) cenário baseado na configuração real da área de estudo e 16 (dezesesseis) cenários hipotéticos. Como referência inicial, é apresentado o cenário que possui configurações urbanas referentes ao recorte real e com as mesmas características urbanas existentes. Os demais possuem variações em seus arranjos construtivos, no que diz respeito a revestimento, quanto à disposição intralote. Esses resultados são separados em duas seções: a 4.1 que apresenta o cenário base e as modificações intralote e a 4.2 que mostra as alterações quanto às envoltórias e telhados das edificações existentes no cenário real (base de estudo).

### 4.1 Resultados para o recorte de estudo

Na tabela 3 são apresentados os dados utilizados para o cenário baseado na configuração espacial original do local.

**Tabela 3 - Dados utilizados para simulações computacionais da área de estudo**

<i>Dados utilizados</i>	
Latitude	-9.36
Longitude	-35.44
Dia de simulação	14/10/2017
Referencial de Longitude	-35
UTC	-3
NORTE	Rotacionado 40° para Oeste
Altitude geográfica	49m
Dimensões do recorte	100m x 100m
Dimensões de grade do programa computacional	3m x 3m x 3m
Quadriculas utilizadas para área simulada	90x 40 x20
Quadriculas extras da área de entorno	3
Modelo simulado no padrão de malha	100x 100x 40
Horário inicial de simulação	21:00

Temperatura do ar (inst)	26,5°C
Umidade Relativa do ar	80 %
Umidade Absoluta do ar (2500m) (NATAL – RN)	12,01 g/kg
Velocidade do vento	1 m/s
Direção do Vento	202° (a partir da rotação do norte da planta)
Radiação global (max)	700Wh
Nebulosidade (oitavas)	6,4
Ajuste solar	0,98

Fonte: Autora, (2018).

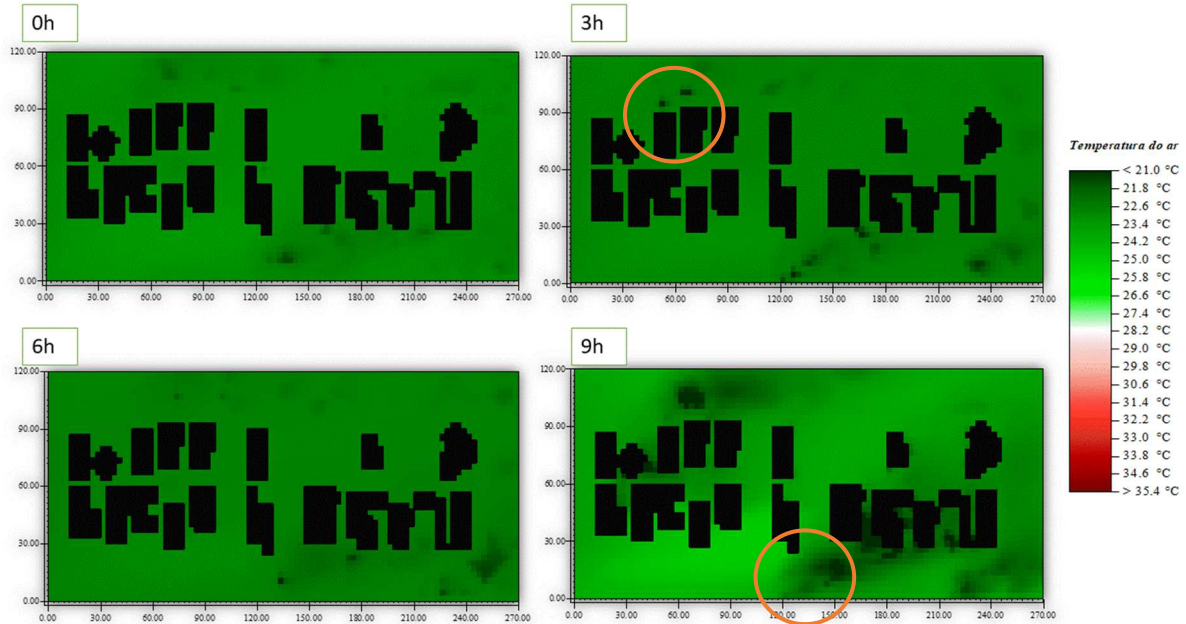
#### **Quadro 7- apresentação e o nome de representação em legenda de gráficos analisados**

<b>Cenário</b>	<b>Configuração simulada</b>	<b>Nome da simulação</b>
Recorte baseado no espaço urbano existente	Cenário Real	Real

Fonte: Autora, (2018).

O cenário real e a legenda que identifica os gráficos das simulações realizadas está apresentado no quadro 7. A figura 38 mostra os resultados das simulações computacionais relativas ao cenário para os horários de 0h, 3h, 6h e 9h.

**Figura 38 - Cenário real – dia inicial de simulação 14/10/2018; (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h. Áreas demarcadas em laranja para acentuar as diferenças encontradas nas manchas térmicas**

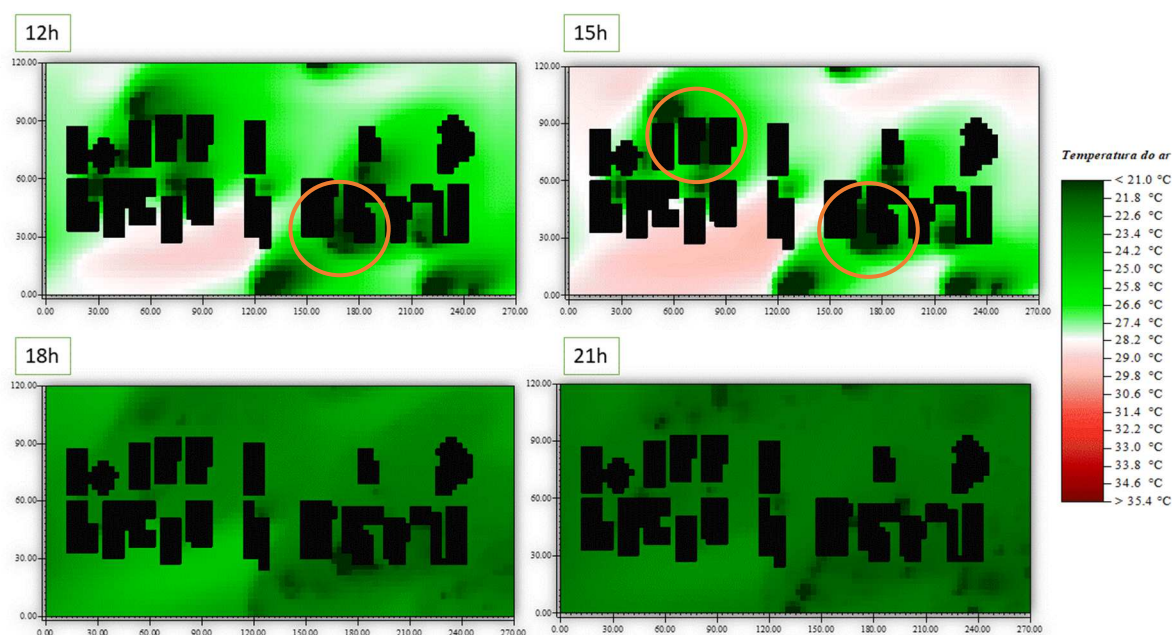


Fonte: Autora, (2018).

Inicialmente é observado que a variação de temperatura do ar existente no cenário real para os horários de 0h, 3h, 6h e 9h é pequena, sendo principalmente observada em locais com presença de vegetação arbórea para os menores valores de temperaturas do ar e presença de áreas asfaltadas para temperaturas do ar mais elevadas (Figura 38). Para os horários de 3h e 6h é notado que o recorte apresenta em sua totalidade a temperatura do ar semelhante com pequenos locais a sotavento possuindo temperaturas reduzidas em até  $1.5^{\circ}\text{C}$  em relação ao cenário por completo. Diferentemente das 9h que os locais com presença de asfalto e solo sem revestimento apresentaram as maiores temperaturas do ar encontradas. O recorte possui aproximadamente  $22.5^{\circ}\text{C}$  em média e temperatura do ar máxima de  $25^{\circ}\text{C}$  (figura 38).

A partir das 12h são bem demarcadas as regiões com menores e maiores ( $22^{\circ}\text{C}$  e  $29^{\circ}\text{C}$  respectivamente) temperaturas do ar do recorte, com principal destaque para locais com corredores de ventilação e presença de áreas vegetadas em suas adjacências (figura 39).

**Figura 39 - Cenário real – dia inicial de simulação 14/10/2018; (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h. Áreas demarcadas em laranja para acentuar as diferenças encontradas nas manchas térmicas**



Fonte: Autora, (2018).

Locais com presença de revestimento em asfalto e proximidade de áreas vegetadas com porte arbóreo apresentam temperaturas do ar reduzidas em comparação com as demais que possuem o mesmo revestimento, chegando à  $2^\circ\text{C}$  de diminuição; diferentemente de locais com presença de forração por gramíneas que, por sua vez, tem temperaturas elevadas, equiparando-se a locais com presença de revestimento em concreto (figura 39). Para o período da tarde o recorte apresenta, em média, temperaturas do ar de aproximadamente  $27^\circ\text{C}$  em grande parte de sua extensão, com alguns locais possuindo temperaturas mais elevadas chegando à  $29^\circ\text{C}$ . A noite o cenário demonstra uma queda de temperatura do ar de aproximadamente  $7^\circ\text{C}$ , atingindo  $22^\circ\text{C}$  de temperatura do ar para o horário de 21h (figuras 38 e 39).

Uma das possibilidades que pode ter influenciado esse resultado é o direcionamento de entrada de ventos no local, o qual apresenta canalização em terrenos não edificados com presença de revestimento de solo por vegetação rasteira (gramíneas) e intensificando sua velocidade de vento, o que possibilita um arrasto de até 5m da carga térmica dissipada pelos demais elementos que compõe o espaço estudado.



#### 4.2 Modificação no cenário real – recuos

As modificações realizadas no cenário base são apresentadas na presente seção (quadro 8):

**Quadro 8 - Apresentação dos cenários simulados e nomes de representação em legenda de gráficos analisados.**

Cenário	Configuração simulada	Nome da simulação
1	Área com base no cenário real: modificação para 1 pavimento	4m
2	Área com base no cenário real: modificação para 2 pavimentos	8m
3	Área com ocupação total de lotes: 1 pavimento	4mtc
4	Área com ocupação total de lotes: 2 pavimentos	8mtc
5	Área com ocupação total de lotes - configuração urbana modificada com recuos frontais: 1 pavimento	4mcr
6	Área com ocupação total de lotes - configuração urbana modificada com recuos frontais: 2 pavimentos	8mcr
7	Área com ocupação total de lotes - configuração urbana modificada com corredor ao fundo do lote: 1 pavimento	4mrr
8	Área com ocupação total de lotes - configuração urbana modificada com corredor ao fundo do lote: 2 pavimentos	8mrr
9	Área com ocupação total de lotes - configuração urbana modificada com recuos laterais: 1 pavimento	4mcr1
10	Área com ocupação total de lotes - configuração urbana modificada com recuos laterais: 2 pavimentos	8mcr1

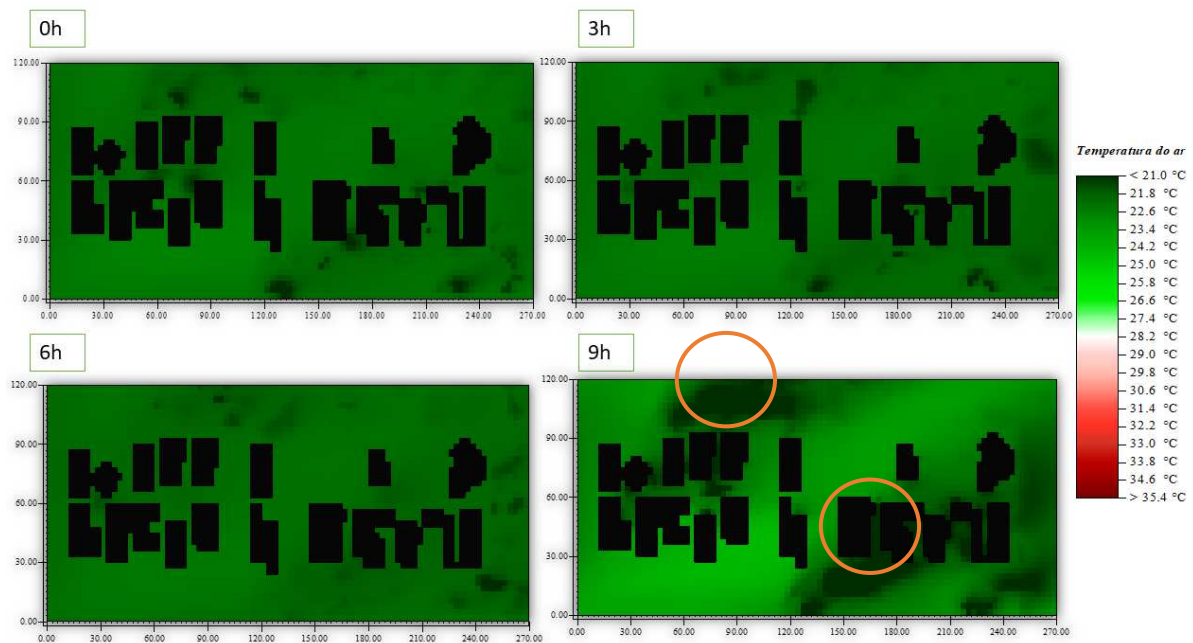
Fonte: Autora, (2018).

##### 4.2.1 Área com modificação nas edificações existentes: para 1 pavimento

A área com modificação permanece com os mesmos revestimentos de solo, parede e telhado existentes no cenário real, a alteração realizada para o presente cenário a quantidade de pavimentos das edificações existentes no local, que passam a possuir em todo o recorte 1 (um) pavimento, com 4m de altura.

O primeiro cenário hipotético apresenta à 0h temperaturas do ar mínimas em locais com canalização de ventilação posteriores às edificações. Ao se comparar o cenário à 0h, 3h e 6h é visto que a temperatura do ar na maior extensão do recorte é aproximadamente de 22°C (figura 40).

**Figura 40 - Cenário modificado para edificações para 1 (um) pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h. Áreas demarcadas em laranja para acentuar as diferenças encontradas nas manchas térmicas**

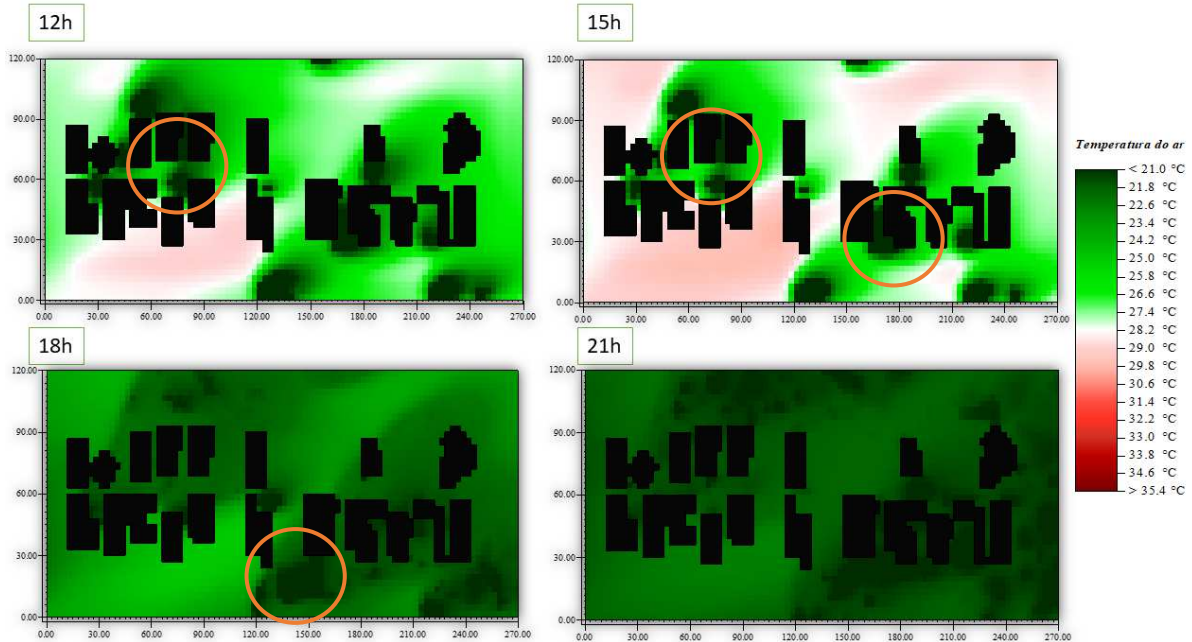


Fonte: Autora, (2018).

Às 9h é possível notar que a diferença de temperatura do ar entre as áreas asfaltadas e o restante do cenário é mais acentuada, porém não ultrapassando 24°C encontrada no recorte. Locais com corredores de ventilação possuem temperaturas do ar mais amenas que o restante do recorte independente da presença de vegetação em suas adjacências (figura 40) o que pode ser ocasionado pelo aprisionamento dessas massas de ar em alta circulação e a falta de insolação entre as edificações, o que diminui a carga térmica gerada nesses locais.

A mesma situação encontrada à 0h se repete no cenário em outros horários. Áreas de corredores de vento em locais posteriores às edificações são encontradas às 9h, 12h e 15h com maior intensidade e apresentam os menores valores de temperaturas do ar do cenário (figura 40 e 41). Às 12h estão presentes temperaturas variando entre 28°C e 26°C em locais asfaltados.

**Figura 41 - Cenário modificado para edificações para 1 (um) pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h. Áreas demarcadas em laranja para acentuar as diferenças encontradas nas manchas térmicas**



Fonte: Autora, (2018).

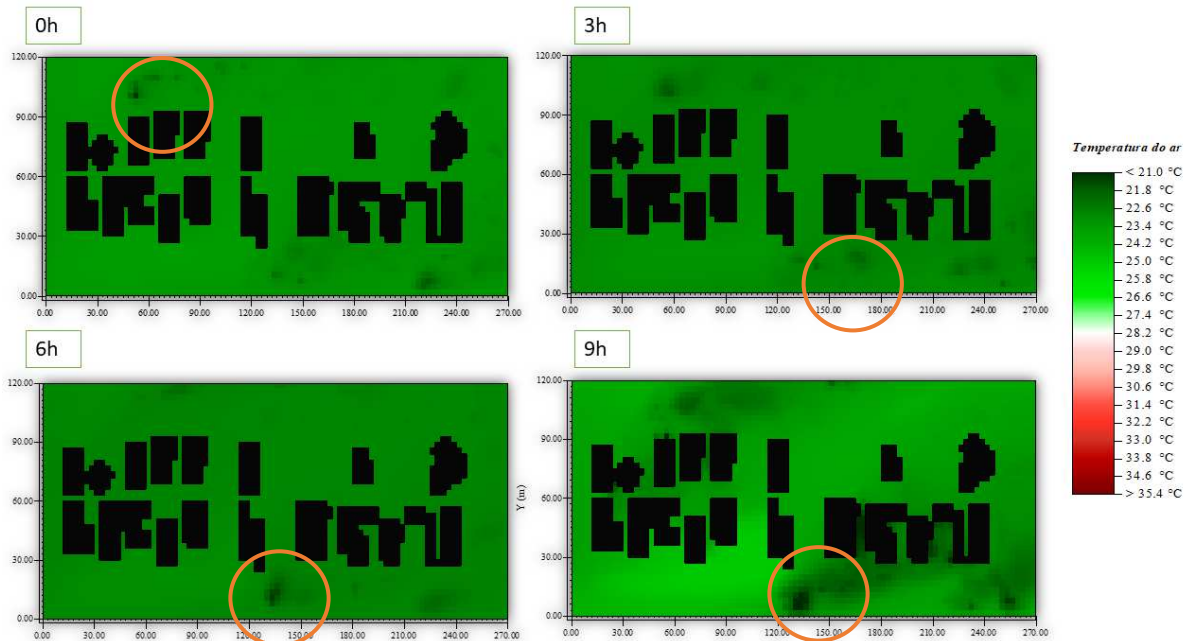
O cenário possui temperaturas do ar mais elevadas às 15h em locais asfaltados, concretados e com solo aparente, com temperaturas de até  $30^\circ\text{C}$ . Esses espaços, apresentam pouca interferência de áreas vegetadas (figura 41).

#### 4.2.2 Área com modificação nas edificações existentes: para 2 pavimentos

A modificação realizada para o cenário 2 é referente à padronização em 8m de altura das edificações presentes no recorte, sendo alterado o padrão existente da área de estudo, tornando-a uma área com saturação vertical.

Às 0h, 3h, 6h e 9h o cenário apresenta baixa variação de temperatura do ar entre máximas e mínimas, chegando à  $2^\circ\text{C}$  a diferença encontrada no recorte. A mínima apresentada foi de aproximadamente  $21.5^\circ\text{C}$  e a máxima de  $23.5^\circ\text{C}$ , locais que exibem as menores temperaturas estão próximos de áreas com vegetação arbórea, gramíneas e espaços revestidos com asfalto considerando a proximidade de locais vegetados. Pontos com concreto e solo aparente possuem as maiores temperaturas (figura 42).

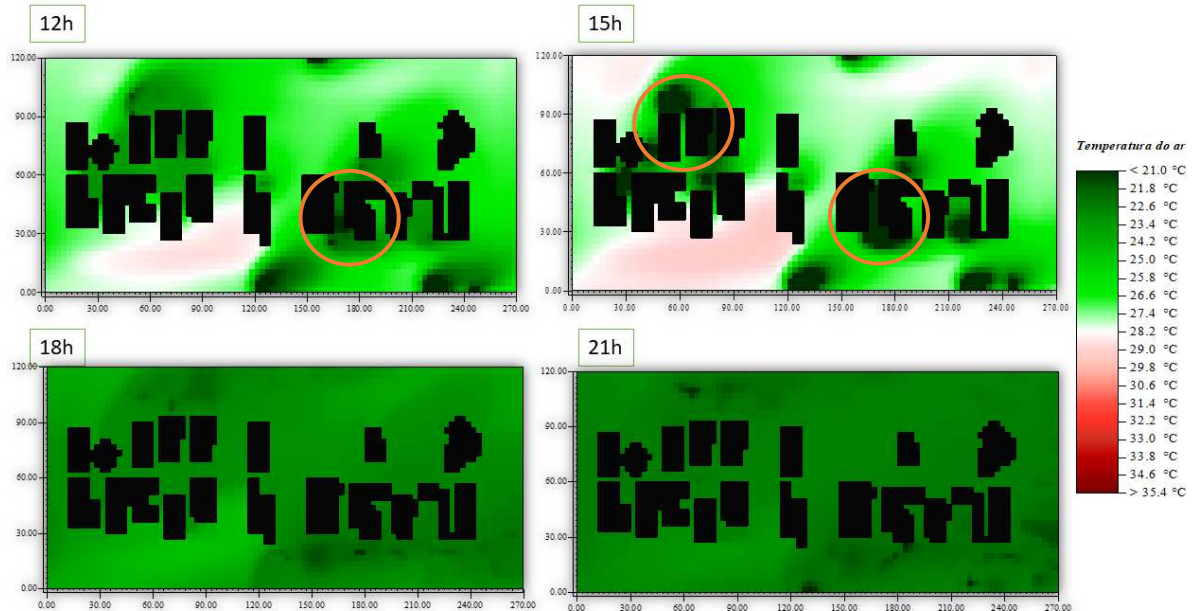
**Figura 42 - Cenário modificado para edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h. Áreas demarcadas em laranja para acentuar as diferenças encontradas nas manchas térmicas**



Fonte: Autora, (2018).

Na figura 43, às 12h observou-se áreas asfaltadas com temperaturas do ar elevadas em relação ao restante do cenário, igualmente ao horário de 15h, que apresenta a máxima temperatura do ar encontrada para a simulação, de aproximadamente 29°C. A partir das 18h o cenário apresenta temperaturas mais amenas, com pequena variação dentro do recorte. A temperatura máxima encontrada é de 25°C às 18h e 23°C para às 21h (figura 43).

**Figura 43 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



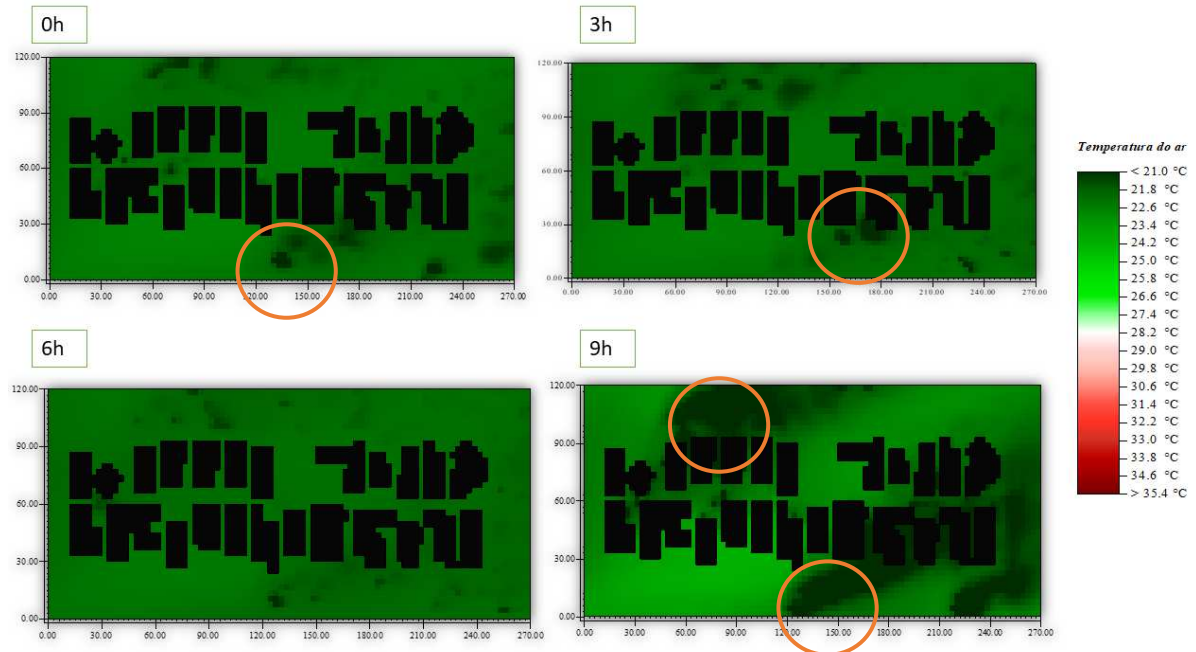
Fonte: Autora, (2018).

#### 4.2.3 Área com modificação nas edificações existentes: 1 pavimento com todos os lotes ocupados

O terceiro cenário apresenta, tanto nos terrenos com edificações originais quanto nos espaços vazios, construções configuradas para 1 (um) pavimento. Foi considerado a configuração urbana local, as possibilidades de afastamento existentes pelo plano diretor e pelo código de obras do município.

Para os horários de 0h, 3h e 6h a temperatura máxima do ar encontrada é de  $21.8^\circ\text{C}$ , às 9h ocorre uma elevação na temperatura do ar de modo que o cenário apresenta máxima de  $23^\circ\text{C}$ . É possível observar que os elementos vegetados, às 9h, geram influência em suas adjacências e ao longo da trajetória da ventilação (figura 44).

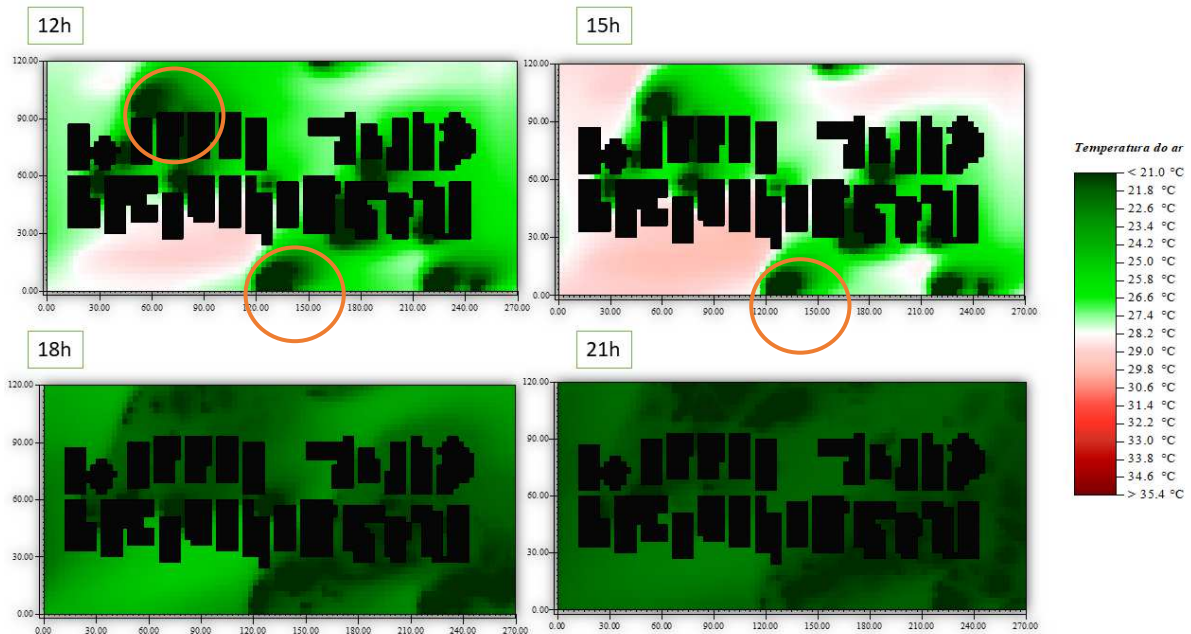
**Figura 44 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

O que se pode destacar em relação aos horários de 12h, 15h, 18 e 21h é a existência de diferença de temperaturas do ar entre os materiais de revestimento de solo até o último horário avaliado. Às 18h e 21h o cenário apresenta  $22^\circ\text{C}$  com temperaturas abaixo de  $21^\circ\text{C}$  em diversos locais com presença de vegetação arbórea (figura 45).

**Figura 45 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento de altura – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



Fonte: Autora, (2018).

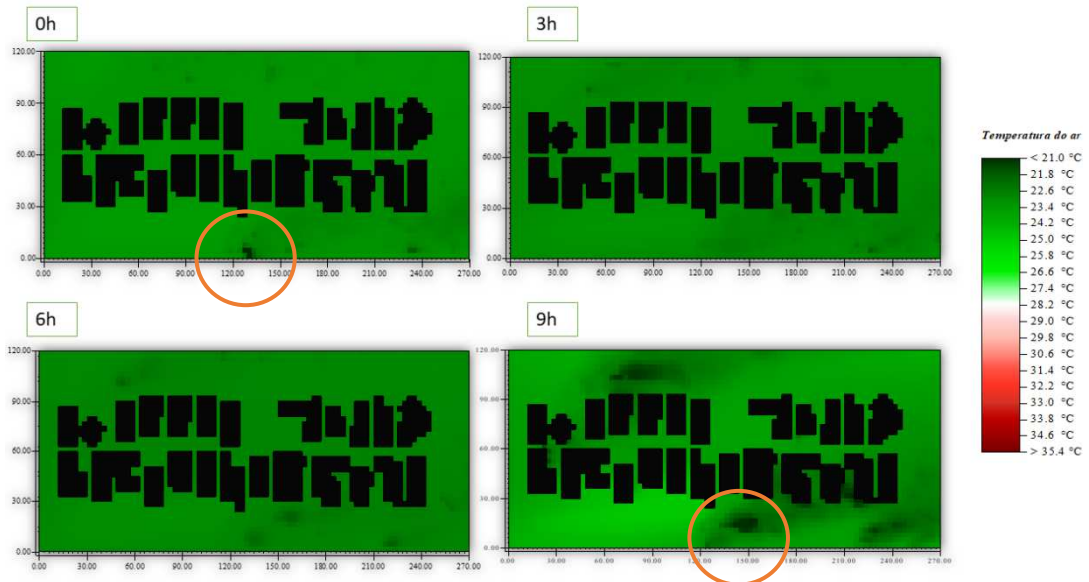
4.2.4 Área com modificação nas edificações existentes: 2 pavimentos com todos os lotes ocupados

O cenário 4 representa a modificação da malha urbana com ocupação total dos lotes do recorte estudado e com as edificações em dois pavimentos, mantendo todos os revestimentos de solo e das edificações do cenário real.

Às 0h, 3h, 6h e 9h a temperatura do ar apresenta pequena variação em toda a extensão do recorte, permanecendo em torno de 21.8°C (figura 46). A presença de vegetação arbórea mostra influência em pequenas áreas nesse cenário, aparecendo em horários específicos, 9h, 12h e 15h (figuras 46 e 47).

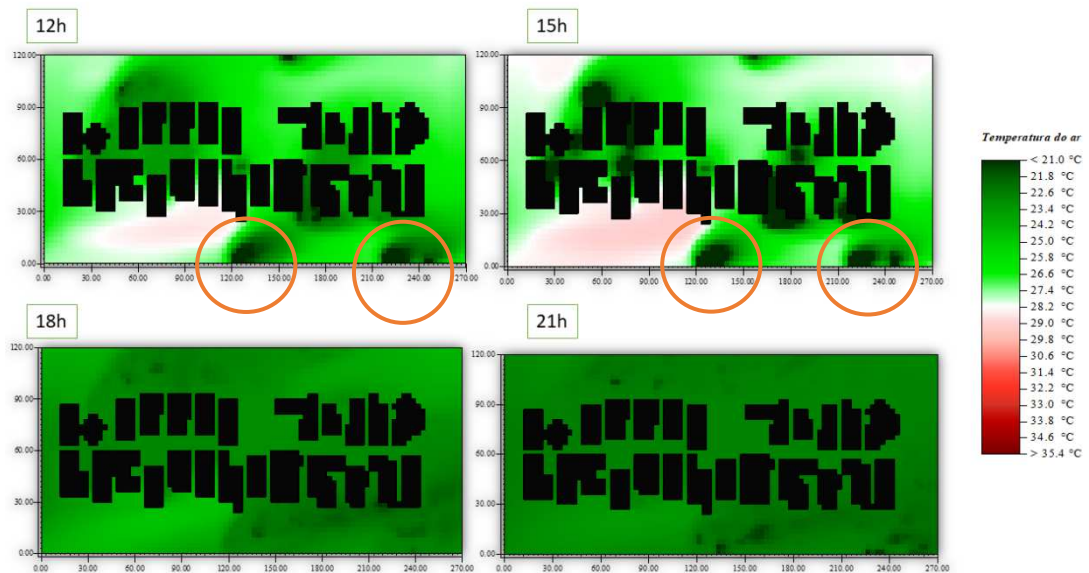
O terreno que possui vegetação como forração, apresenta às 15h uma temperatura reduzida de 26°C (figura 47) em comparação aos demais cenários para o mesmo horário. É possível notar uma redução de 2°C em relação ao primeiro cenário simulado.

**Figura 46 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 47 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



Fonte: Autora, (2018).

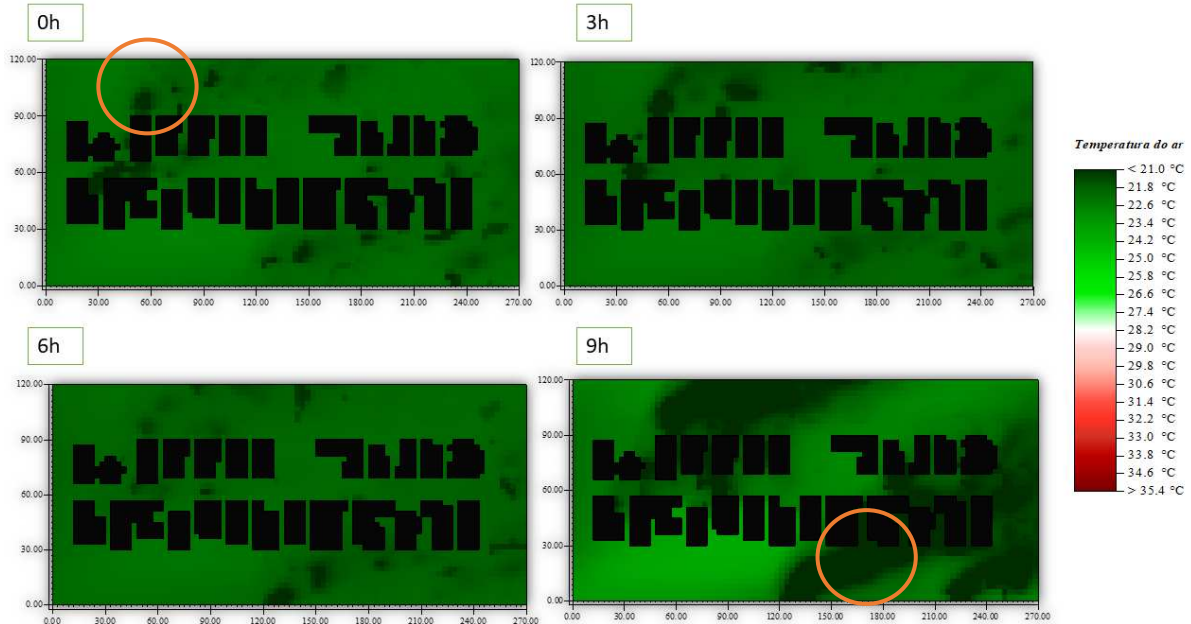


#### 4.2.5 Área com modificação nas edificações existentes: 1 pavimento com todos os lotes ocupados e recuos frontais ampliados

A simulação 5 com modificação dos recursos frontais das edificações e 1 (um) pavimento para todo o cenário, todos os materiais originais foram mantidos dentro da área de simulação.

À 0h a temperatura do ar encontrada no cenário é mais elevada em grande parte de sua extensão que às 6h, sendo 22°C e 21°C respectivamente. Locais com presença de vegetação arbórea possuem as menores temperaturas do ar encontradas na simulação para esses dois horários. Com o aumento dos recuos frontais a influência da vegetação arbórea obteve uma ampliação, possibilitando mais áreas com temperaturas reduzidas pela presença da vegetação (figura 48).

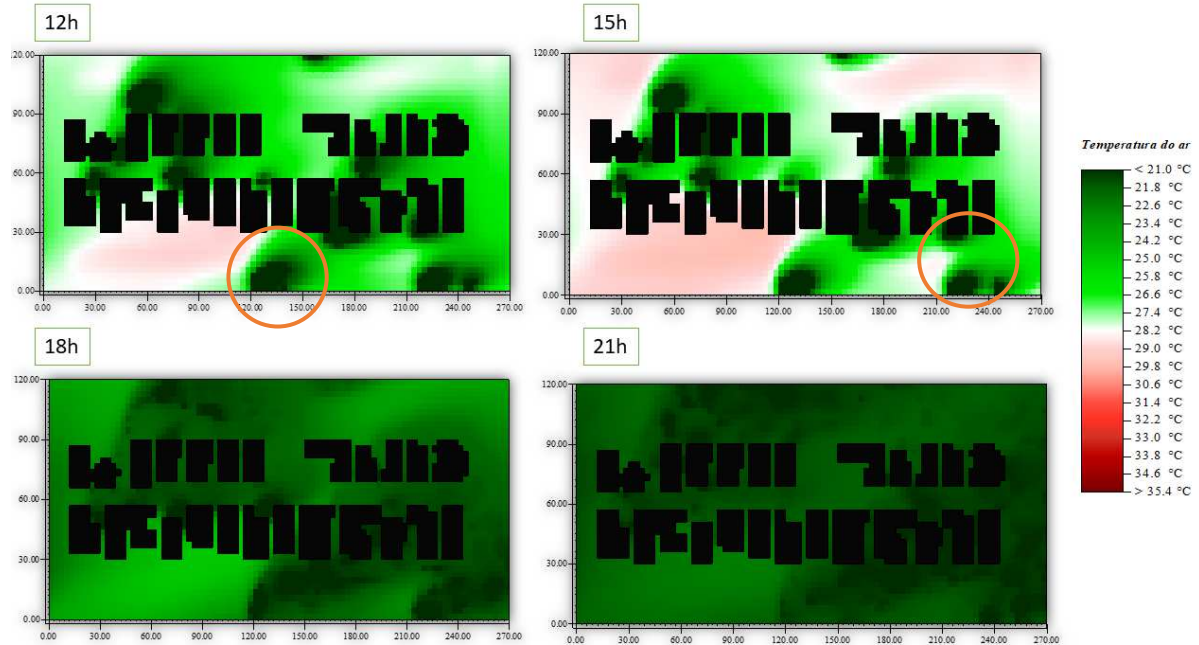
**Figura 48 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

No período noturno a simulação apresenta temperaturas em torno de 21°C, atingindo mínimas abaixo da escala numérica selecionada para mapeamento de temperatura (figura 49).

**Figura 49 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



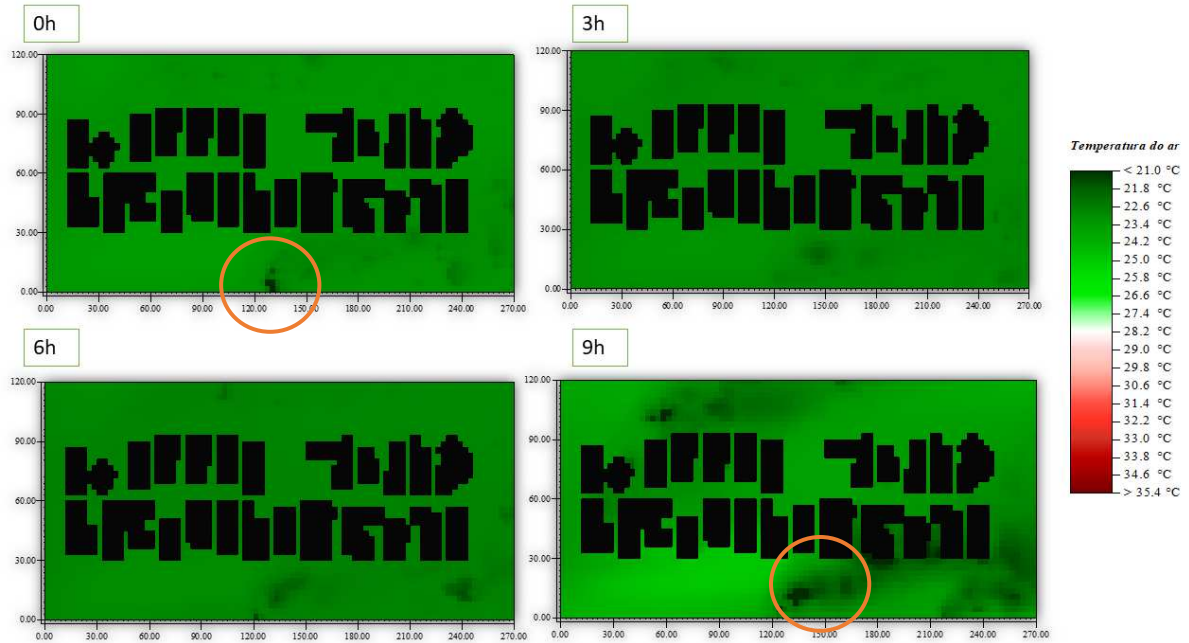
Fonte: Autora, (2018).

#### 4.2.6 Área com modificação nas edificações existentes: 2 pavimentos com todos os lotes ocupados e recuos frontais ampliados

A sexta simulação foi criada com modificação dos recursos frontais das edificações e 2 pavimentos para todo o cenário, todos os materiais originais foram mantidos dentro da área de simulação.

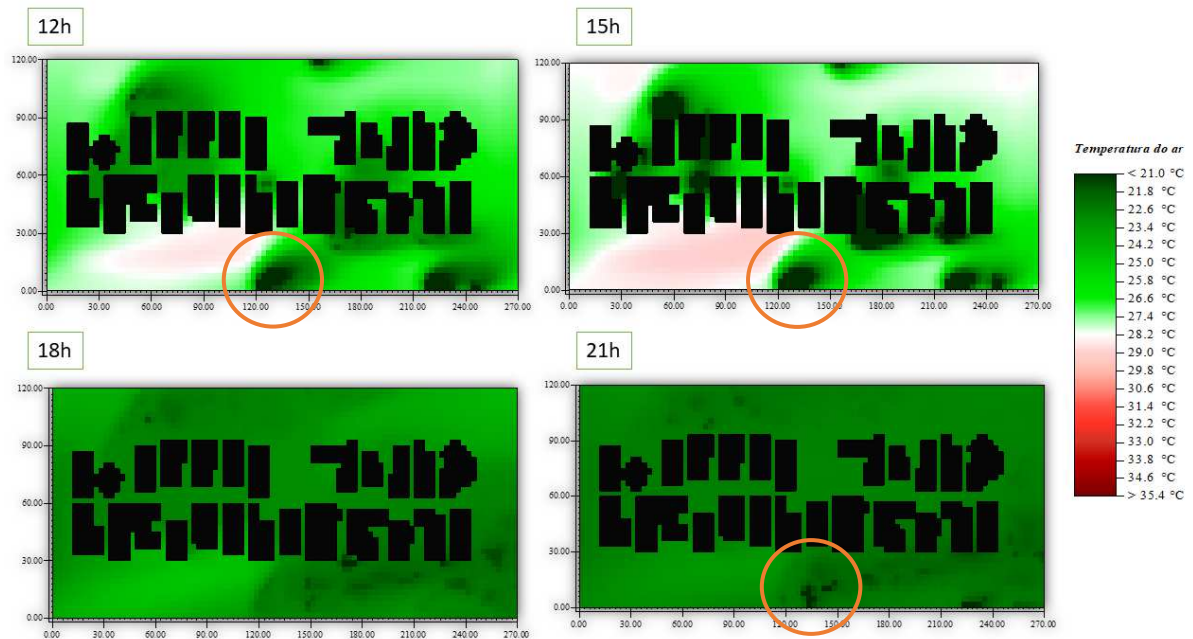
Às 0h, 3h e 6h há pequena variação entre as temperaturas do ar no recorte, os locais com temperaturas reduzidas são localizados com proximidade à entrada principal de ventilação na simulação com a influência de vegetação arbórea. O cenário apresenta temperatura do ar média de 24°C até as 9h (figura 50). Entre as 6 simulações realizadas, esta foi a que apresentou menor diferença entre os horários analisados no período diurno.

**Figura 50 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 51 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



Fonte: Autora, (2018).

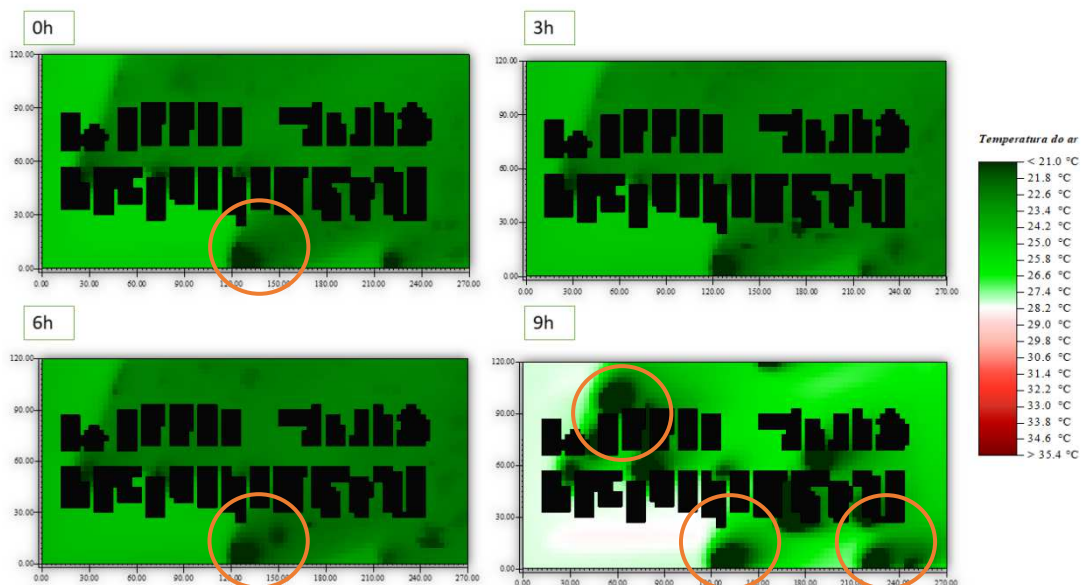
Tanto às 12h, quanto às 15h as temperaturas do ar presentes no cenário são semelhantes, possuindo variação em locais com presença de revestimento asfáltico e suas adjacências. No período noturno a diferença de temperatura é pequena entre os horários de 18h e 21h, constando porções do recorte com máximas de 23°C e 22°C respectivamente (figura 51).

4.2.7 Área com modificação nas edificações existentes: 1 pavimento de altura com todos os lotes ocupados e corredor ao fundo do lote ampliado

Para a sétima simulação foi realizada a modificação no recorte urbano quanto aos recuos posteriores das edificações criando um corredor posicionado ao fundo, no meio de quadra. As edificações possuem um pavimento e todas as configurações foram mantidas, tanto dos revestimentos de solo quanto de revestimento da própria envoltória das edificações.

O presente cenário possui temperaturas do ar mais elevadas no período da manhã para o horário de 9h, com áreas intralotes que apresentaram aproximadamente 27°C. O restante do recorte varia entre 27°C e 25.5°C. Para os demais horários, a temperatura do ar média encontrada para o cenário foi de 23°C (figura 52).

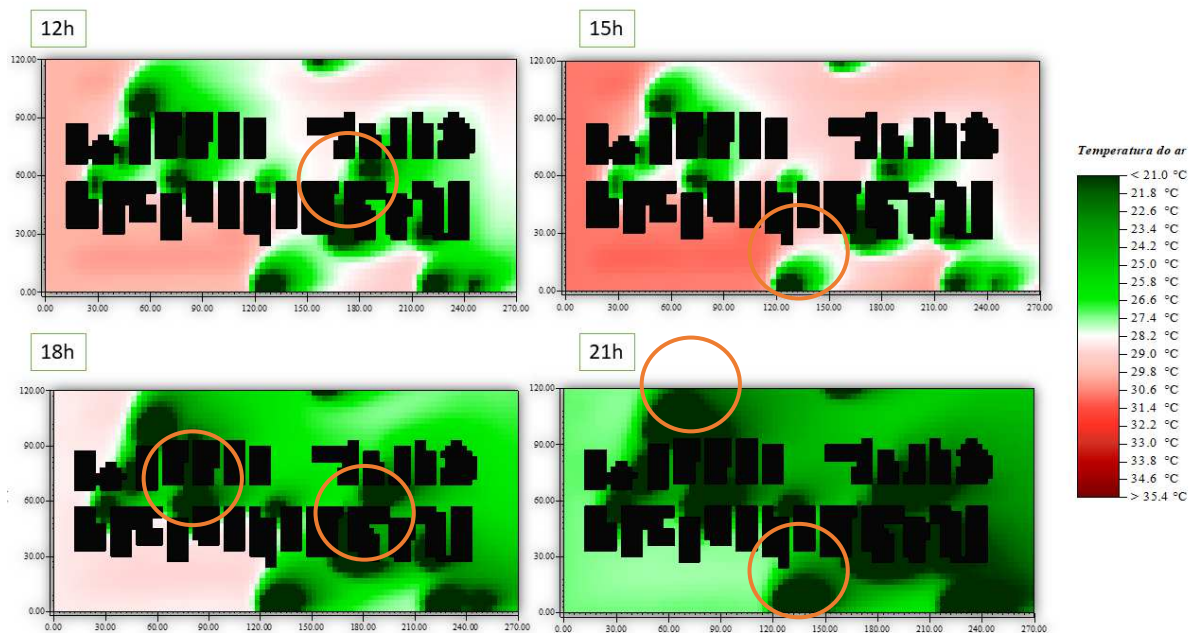
**Figura 52 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

Temperaturas aproximadas de 32°C são encontradas no cenário para o horário de 15h. Com a modificação realizada criando um corredor ao fundo dos lotes, possibilitou maior aprisionamento de massas de ar pelos corredores entre as edificações gerando espaços resfriados (figura 53).

**Figura 53 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



Fonte: Autora, (2018).

#### 4.2.8 Área com modificação nas edificações existentes: 2 pavimentos com todos os lotes ocupados e corredor ao fundo do lote ampliado

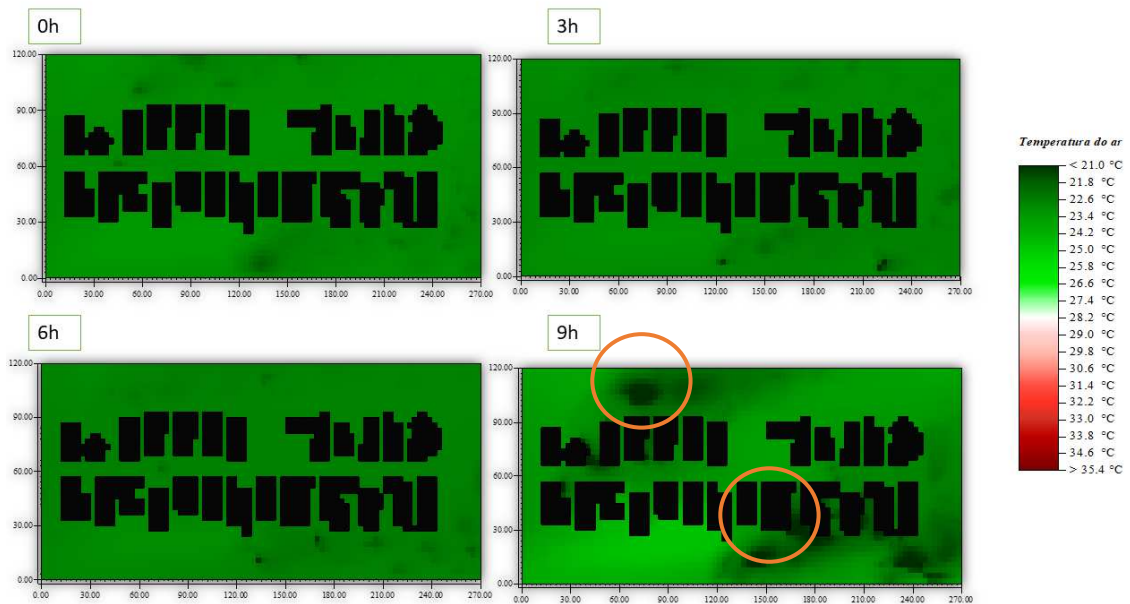
A oitava simulação foi realizada no recorte urbano com criação de recuos posteriores das edificações. As edificações possuem dois pavimentos e todas as configurações foram mantidas, tanto dos revestimentos de solo quanto de revestimento da própria envoltória das edificações.

Às 0h, 3h, 6h e 9h a temperatura do ar encontrada no cenário foi de aproximadamente 23°C em toda a extensão do recorte. As áreas com menores temperaturas são locais a barlavento e sotavento com incidência direta da ventilação predominante, diferentemente dos demais

cenários que possuem as áreas intralote com corredores de ventilação com menores temperaturas do ar (figura 54).

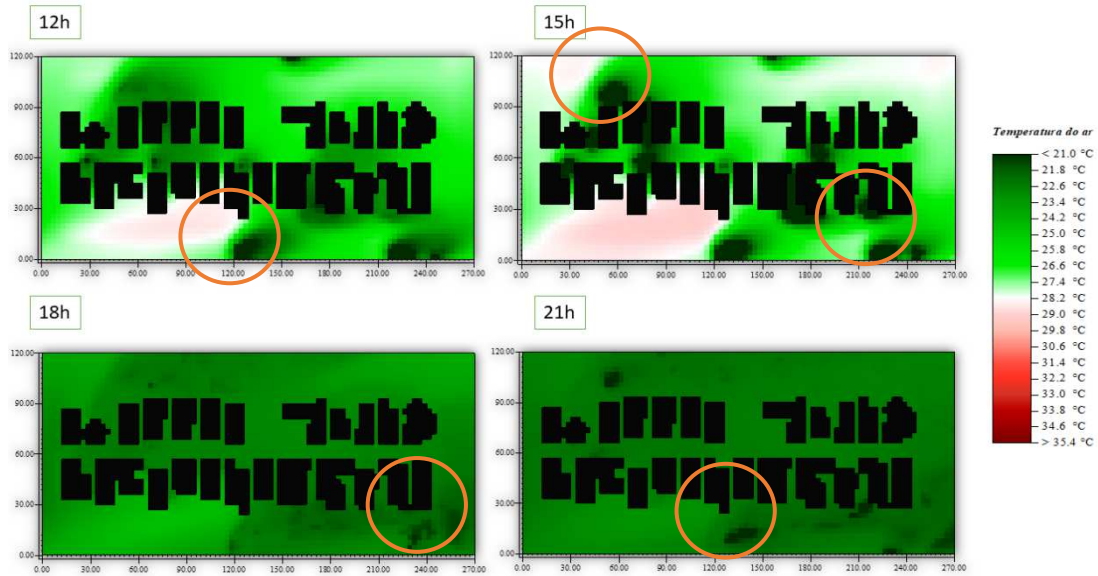
Como apresentado na figura 55, às 15h são encontradas as maiores temperaturas do ar para o cenário, aproximadamente 29°C em locais com revestimento asfáltico. Esse mesmo horário apresenta corredores de ventilação com menores temperaturas, diferenciando-se dos demais horários analisados.

**Figura 54 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 55 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



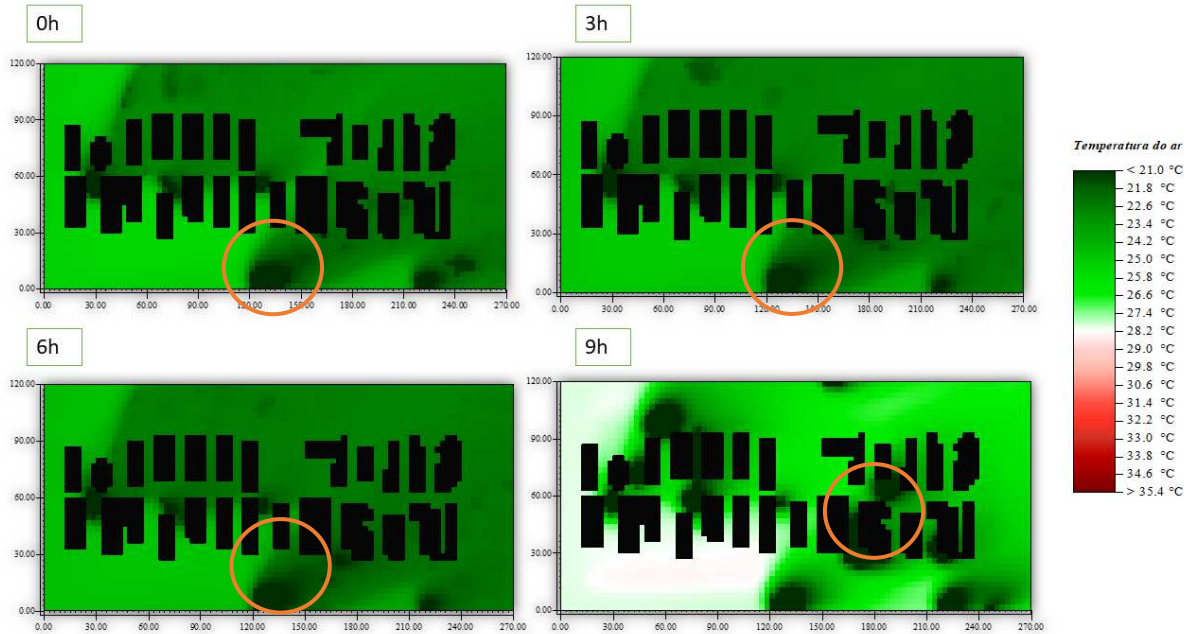
Fonte: Autora, (2018).

4.2.9 Área com modificação nas edificações existentes: 1 pavimento com todos os lotes ocupados e recuos laterais ampliados

O 9º (nono) cenário foi criado a partir da modificação em relação aos recuos laterais das edificações e a padronização das edificações com um pavimento. A simulação permanece com os mesmos revestimentos apresentados na área original tanto das edificações quanto de revestimento do solo.

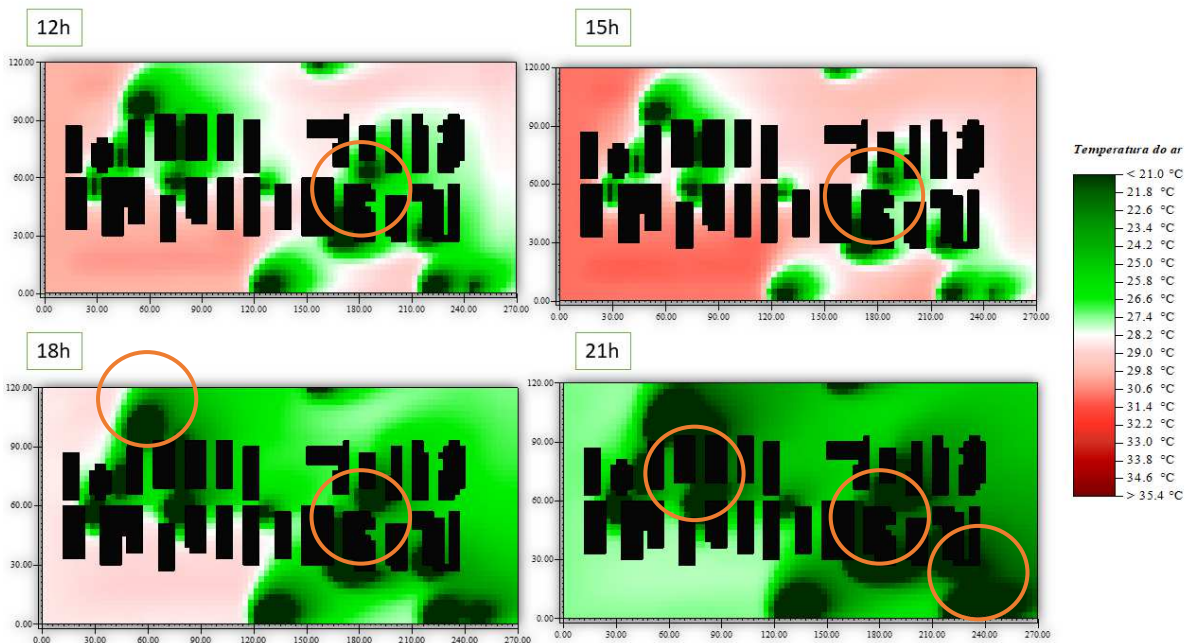
Os recuos laterais ampliados possibilitaram a entrada de ventilação com menos velocidade entre as edificações, dissipando a temperatura do ar existente nas proximidades de áreas com aplicação de revestimento em asfalto, o que propicia o aumento da temperatura em relação a outras simulações. É encontrado 24°C de máxima entre os horários de 0h, 3h e 6h (figura 56).

**Figura 56 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 57 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 1 pavimento – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



Fonte: Autora, (2018).



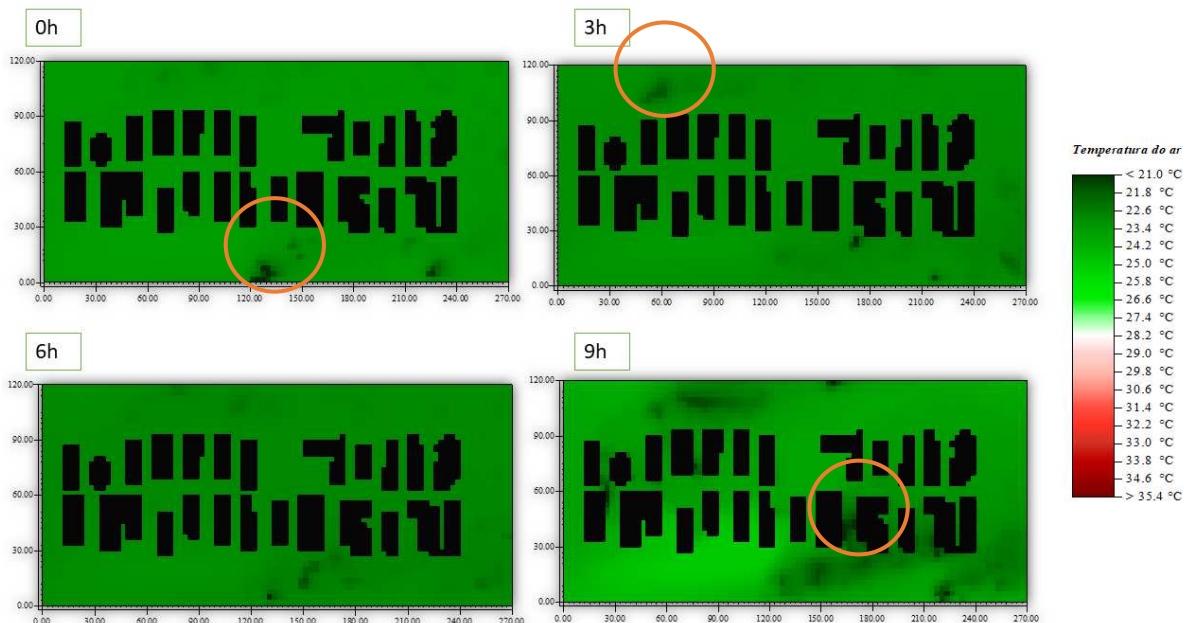
O cenário possui às 15h as maiores temperaturas encontradas entre as simulações realizadas, aproximadamente 31°C. Às 18h o cenário possui uma grande extensão com temperatura do ar de 29°C, apresentando uma diferença considerável em relação aos cenários analisados (figura 57).

4.2.10 Área com modificação nas edificações existentes: 2 pavimentos com todos os lotes ocupados e recuos laterais ampliados

O cenário 10 (dez) foi criado a partir da modificação dos recuos laterais das edificações e a padronização das edificações com dois pavimentos. A simulação permanece com os mesmos revestimentos apresentados na área original tanto das edificações quanto de revestimento de solo.

É notado que a temperatura do ar permanece constante de 0h às 6h, apresentando pequenas áreas com temperaturas do ar reduzidas, áreas essas com presença de vegetação, tanto arbórea quanto forração por gramínea (figura 58).

**Figura 58 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**

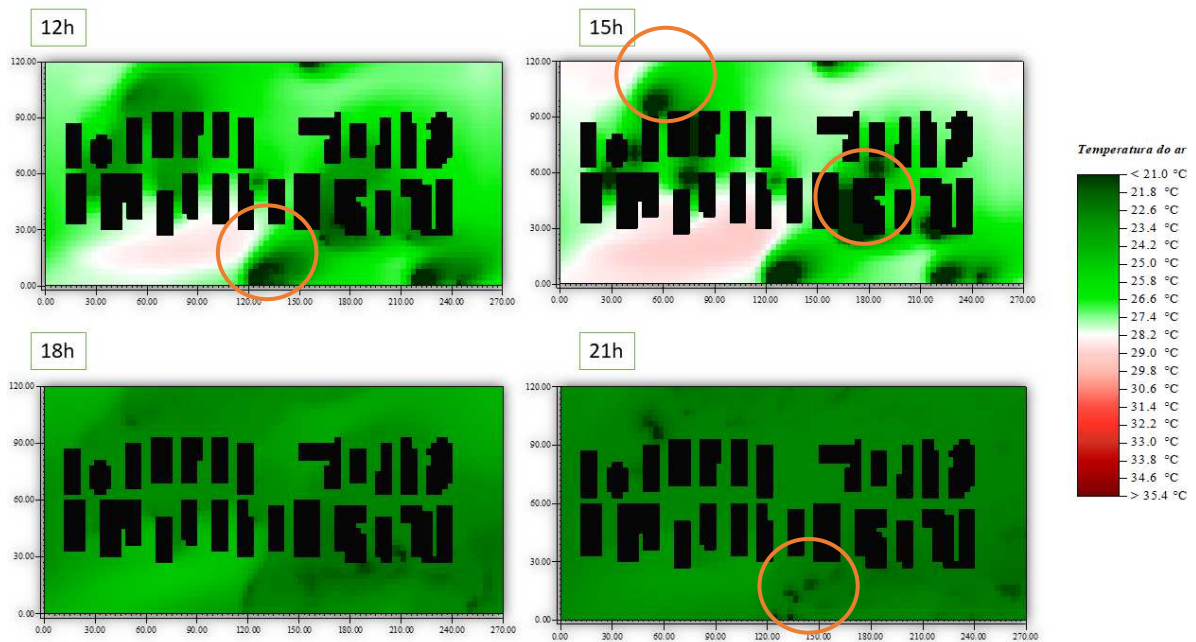


Fonte: Autora, (2018).

O cenário com 1 pavimento e recuos laterais apresentou temperaturas mais elevadas que este de 2 pavimentos. No período da tarde a maior diferença encontrada dentro do cenário foi às 15h e registrou-se uma temperatura do ar de 29°C nas proximidades de locais asfaltados. Os corredores de ventilação possuíam redução na temperatura do ar (figura 59).

Locais com presença de vegetação a barlavento apresentam as menores temperaturas do ar para o recorte às 15h, o que não é tão evidente nos demais horários no período da tarde. Os corredores de ventilação, tanto as 18h quanto as 21h possibilitam uma circulação de ar mais efetiva para a redução da temperatura do ar em locais com presença de vegetação rasteira, sendo mais acentuada essa mitigação no horário de 21h com presença de vegetação arbórea (figura 59).

**Figura 59 - Cenário baseado na modificação da configuração urbana atual, com padronização das edificações para 2 pavimentos – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



Fonte: Autora, (2018).

### 4.3 Modificação no cenário real e com recuos – envoltórias vegetadas

Para a modificação no cenário real contendo envoltórias vegetadas, inicialmente foram realizados seis cenários: 1) todas as edificações com cobertura total dos telhados com gramínea; 2) vegetação apenas nos telhados de edificações de dois pavimentos; 3) modificação em relação a vegetação apenas nos telhados de edificações de um pavimento; 4) todas as edificações com fachadas vegetadas; 5) com a vegetação em fachadas vegetadas alternadas; 6) com a vegetação em fachadas vegetadas alternadas (25% das fachadas frontais com vegetação). Ver quadro 9 a seguir.

**Quadro 9 – Apresentação dos cenários simulados e nomes de representação em legenda de gráficos analisados**

Cenário	Configuração simulada	Nome da simulação
Recorte baseado no espaço urbano existente	Cenário Real	Real
1	Área com base no recorte real: aplicação de telhados vegetados em todo cenário	Quali 2
2	Área com base no recorte real: aplicação de telhados vegetados nas edificações com 2 pavimentos	Quali 3
3	Área com base no recorte real: aplicação de telhados vegetados nas edificações com 1 pavimento	Quali 4
4	Área com base no recorte real: aplicação de fachadas vegetadas em todo cenário	Quali 5
5	Área com base no recorte real: aplicação de fachadas vegetadas intercaladas	Quali 6
6	Área com base no recorte real: aplicação de fachadas vegetadas intercaladas (25% de edificações com aplicação de vegetação nas fachadas)	Quali 7

Fonte: Autora, (2019).

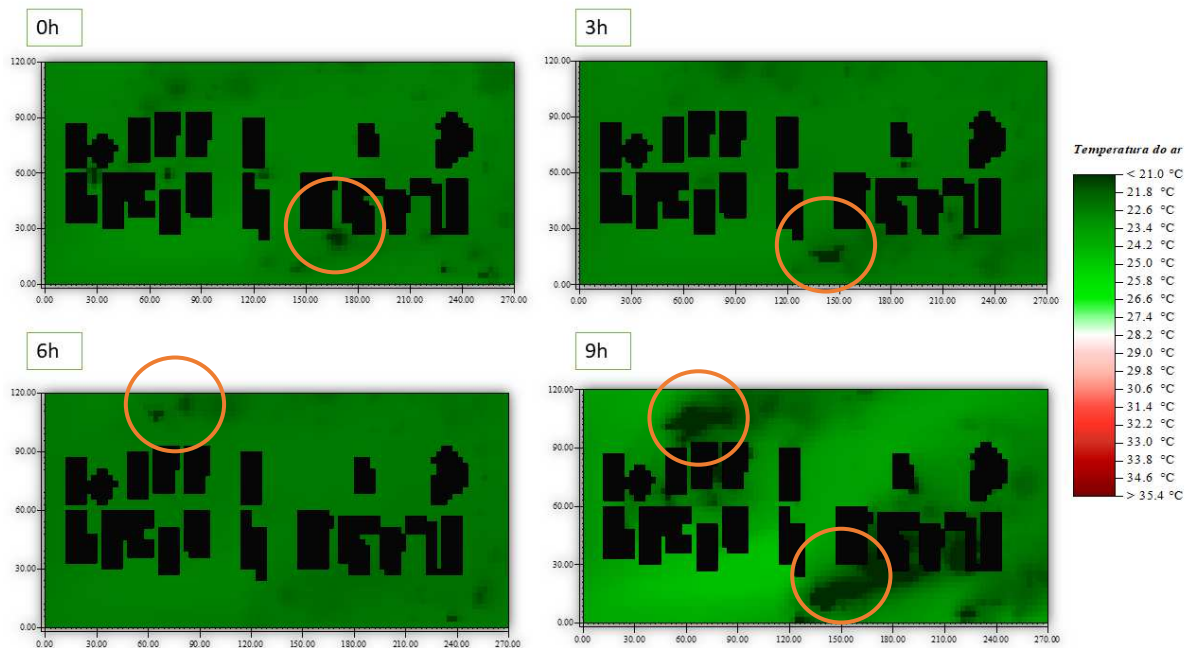
#### 4.3.1 Cenário com vegetação aplicada: cenário com telhados vegetados

O primeiro cenário desta seção apresenta a aplicação de gramínea em todos os telhados das edificações existentes no recorte urbano. A permanência dos revestimentos originais das edificações e dos revestimentos de piso é um dos fatores que foram utilizados para as principais comparações dos resultados obtidos.

É obtido como resultado principal temperaturas do ar constantes dentro do recorte para os horários de 0h, 03h e 6h. Nesses três horários a temperatura encontrada é de 21.5°C em média, com alguns locais apresentando temperaturas menores que 21°C. Às 9h o cenário possui próximo à locais com vegetação arbórea uma redução na temperatura do ar, tanto em regiões a barlavento quanto a sotavento (figura 60).

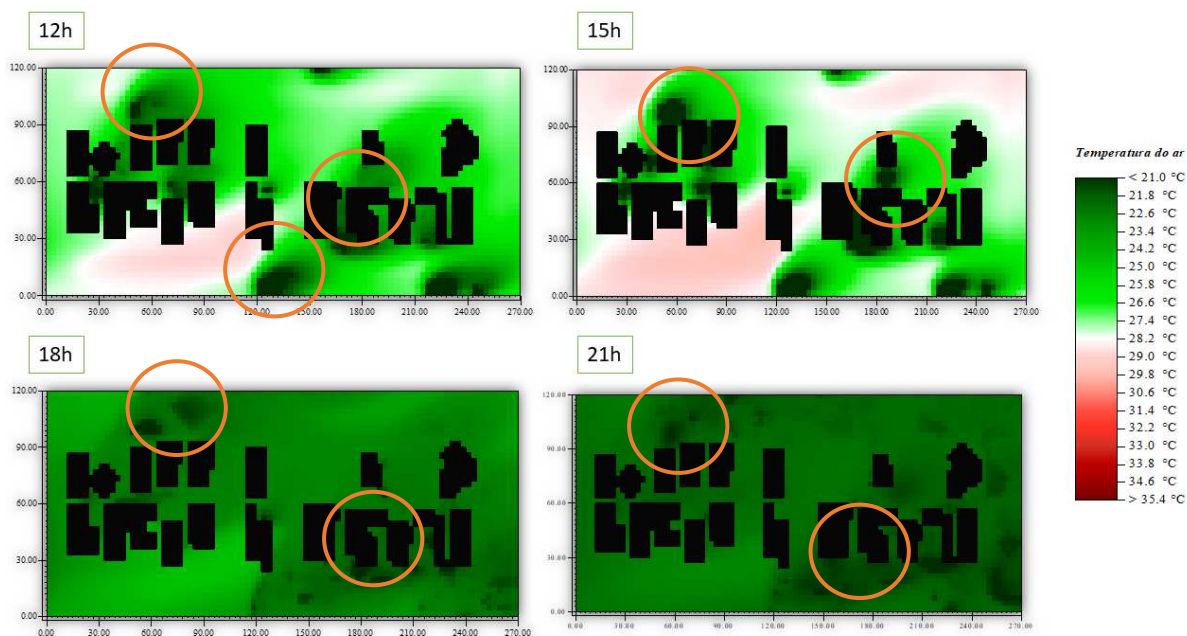
**Figura 60 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e**

**9h.**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 61 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



Fonte: Autora, (2018).

Às 12h e 15h a área de influência de locais com vegetação tanto arbórea quanto gramínea foi ampliada, abrangendo maior percentual do recorte. A temperatura do ar presente no cenário para esses horários foi de aproximadamente 26°C para regiões com proximidade de vegetações e 28°C para locais asphaltados (figura 61). No período noturno a aplicação do telhado vegetado possibilitou uma redução de 0.5°C no cenário, com locais possuindo temperaturas inferiores à 21°C.

4.3.2 Cenário com vegetação aplicada: cenário com cobertura total de telhados de 1 (um) pavimento

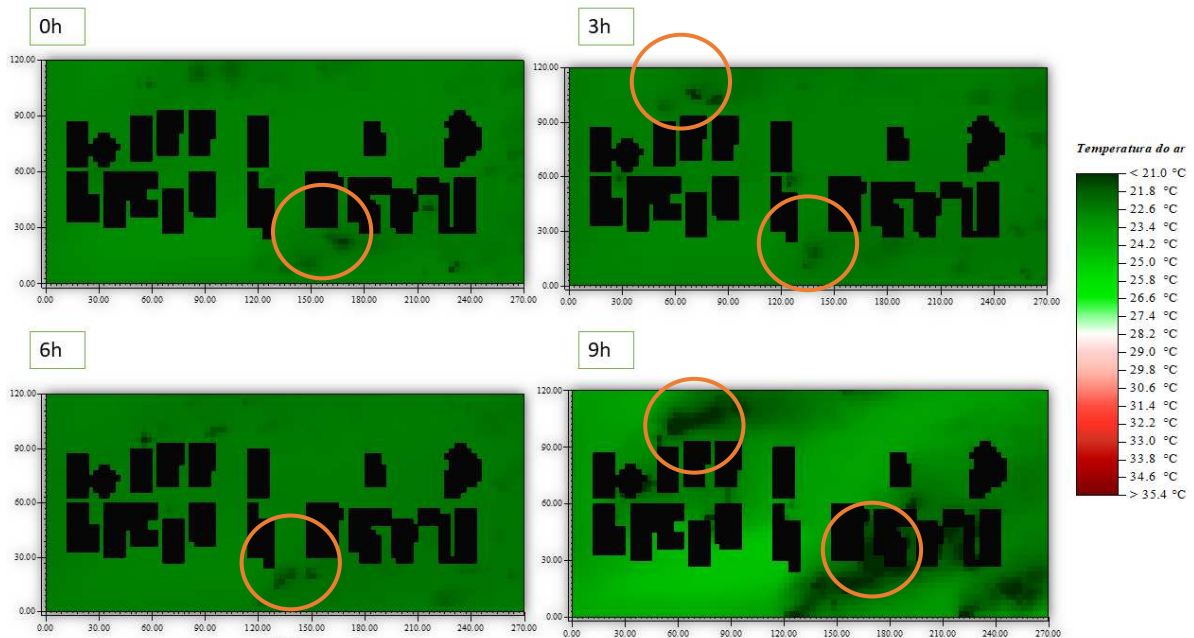
O segundo cenário possui telhados vegetados nas edificações com 1 pavimento. Os revestimentos de solo, envoltórias e coberturas da estrutura edificada permanecem os mesmos, apenas realizando aplicação de vegetação gramínea nas áreas modificadas.

Com a simulação de telhados vegetados nas coberturas com 1 (um) pavimento a diferença entre o cenário real para essa simulação foi pequena, apresentando maior diferenciação entre elas nos locais com vegetação arbórea e a entrada de ventilação do programa computacional. O resfriamento da massa de ar é intensificado no horário de 9h, já para os

demais horários, 0h, 3h e 6h, o cenário apresenta uma temperatura do ar constante de aproximadamente 22.6°C em todo seu recorte (figura 62).

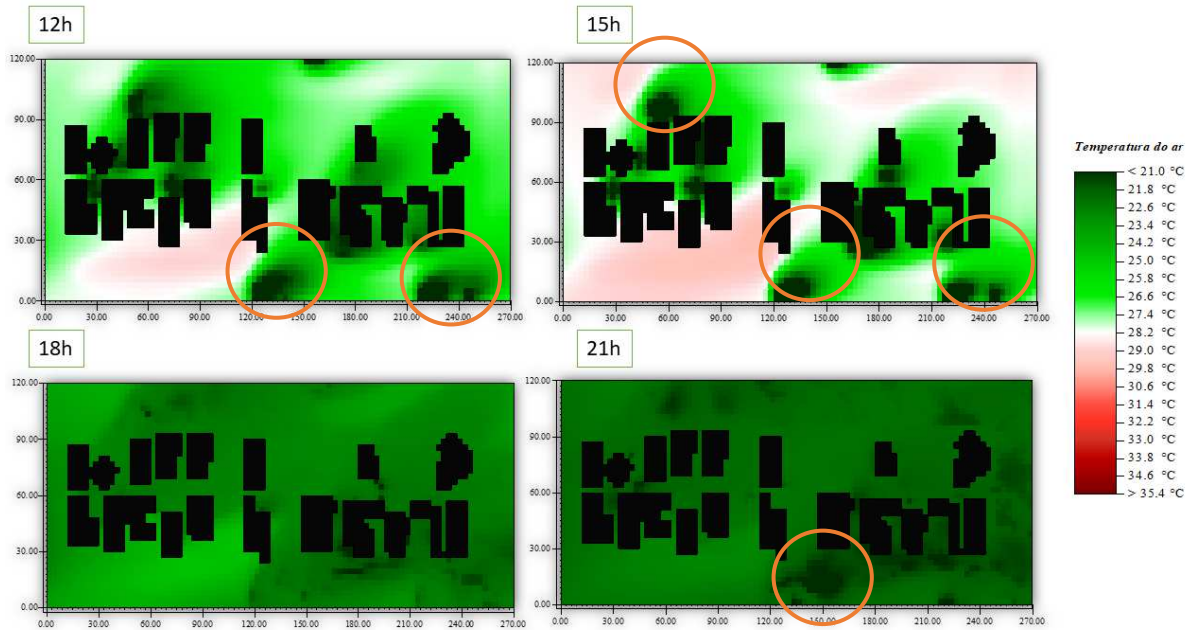
Às 12h e 15h a temperatura máxima encontrada foi de 28°C em locais asfaltados com proximidade da entrada e saída de ventilação na simulação, a presença de vegetação arbórea nesses horários é o principal elemento para mitigar a temperatura do ar (figura 63). A partir das 18h, a temperatura do ar foi reduzida para 22°C em todo o cenário.

**Figura 62 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 63 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



Fonte: Autora, (2018).

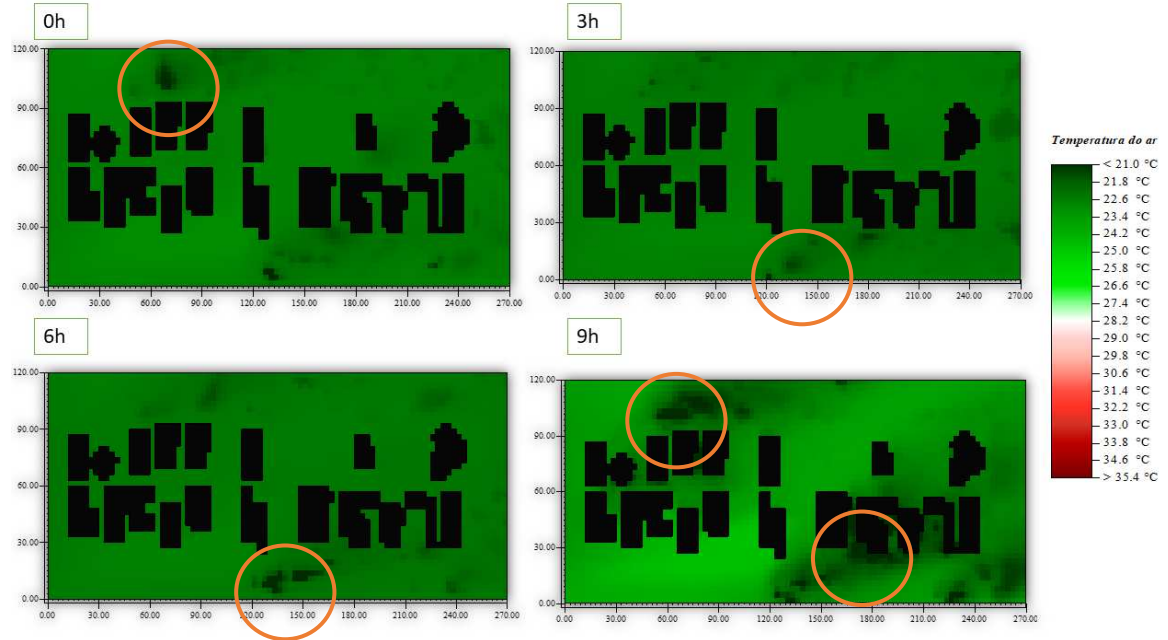
#### 4.3.3 Cenário com vegetação aplicada: cenário com cobertura total de telhados de 2 pavimentos

O terceiro cenário possui telhados vegetados nas edificações com 2 pavimentos. Os revestimentos de solo, envoltórias e coberturas da estrutura edificada permanecem os mesmos, apenas realizando aplicação de vegetação gramínea nas áreas modificadas.

Com a aplicação de telhados vegetados nas edificações com 2 pavimentos é possível notar maior interferência na temperatura do ar na área de estudo, deixando o cenário térmico mais homogêneo das 0h às 6h. Às 9h, locais com vegetação arbórea e corredores de ventilação apresentam menores temperaturas no recorte, áreas com asfalto começam a possuir temperaturas mais elevadas, aproximadamente 26°C (figura 64).

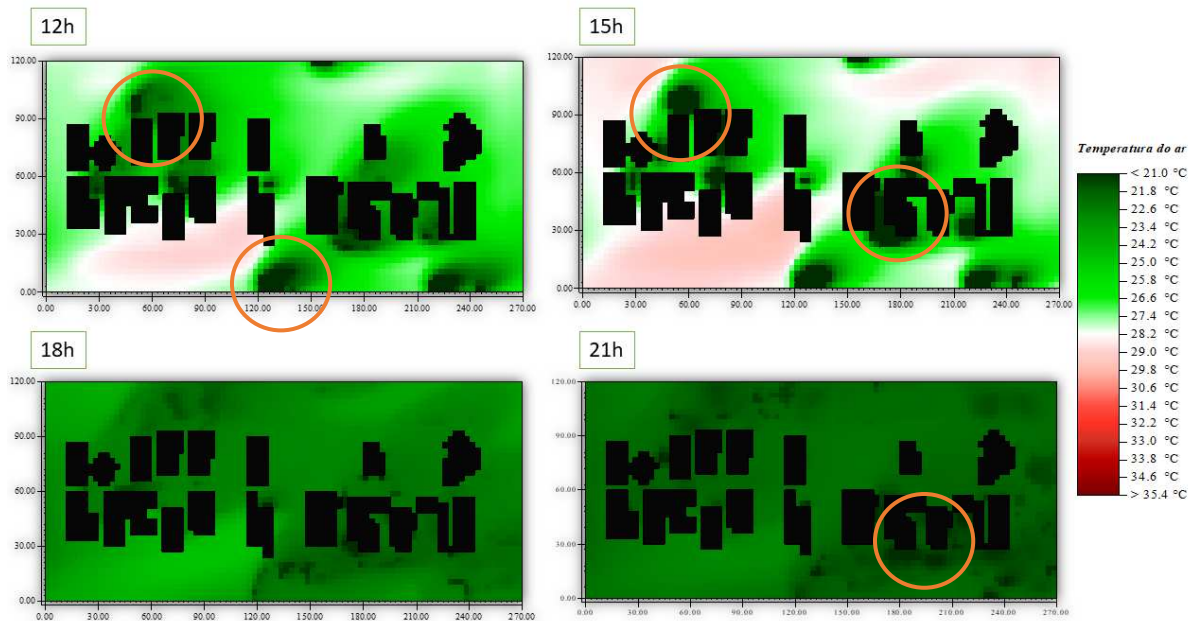
Às 15h, as áreas com presença de asfalto apresentam uma elevação na temperatura do ar do recorte, porem O período noturno é o que apresenta locais com temperaturas mais reduzidas, com aproximadamente 21°C e em média 22°C para o recorte estudado (figura 65).

**Figura 64 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 65 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



Fonte: Autora, (2018).

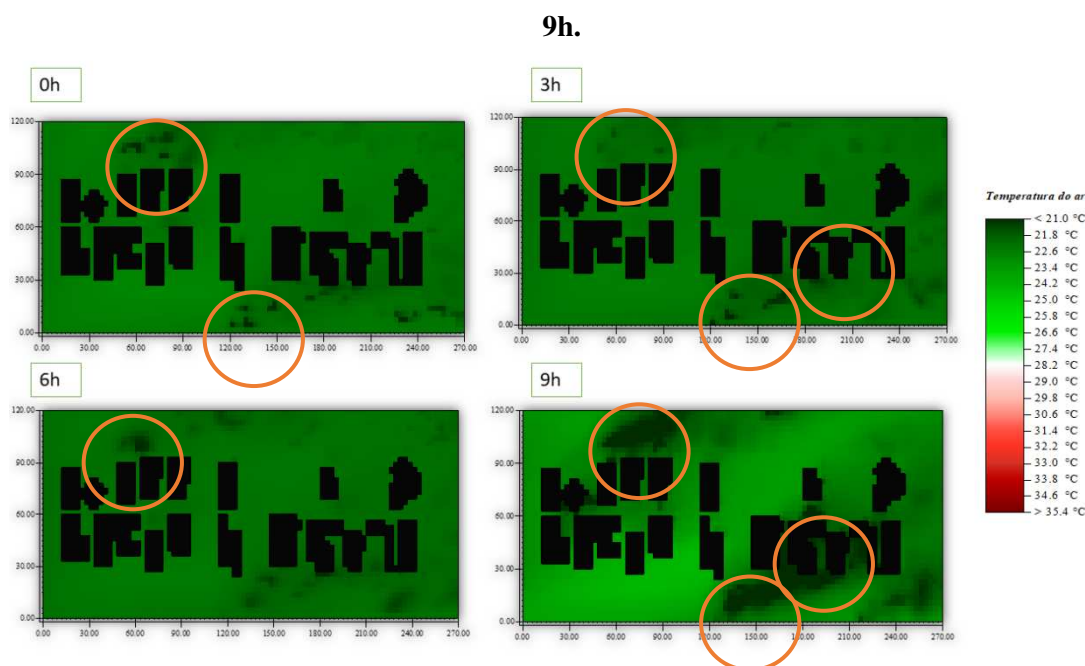


### 5.3.4 Cenário com vegetação aplicada: cenário aplicação de fachada frontal vegetada em todas as edificações

Para o quarto cenário, foi realizada modificação nas fachadas frontais de todas as edificações existentes no recorte estudado, acrescentando vegetação em sua superfície externa.

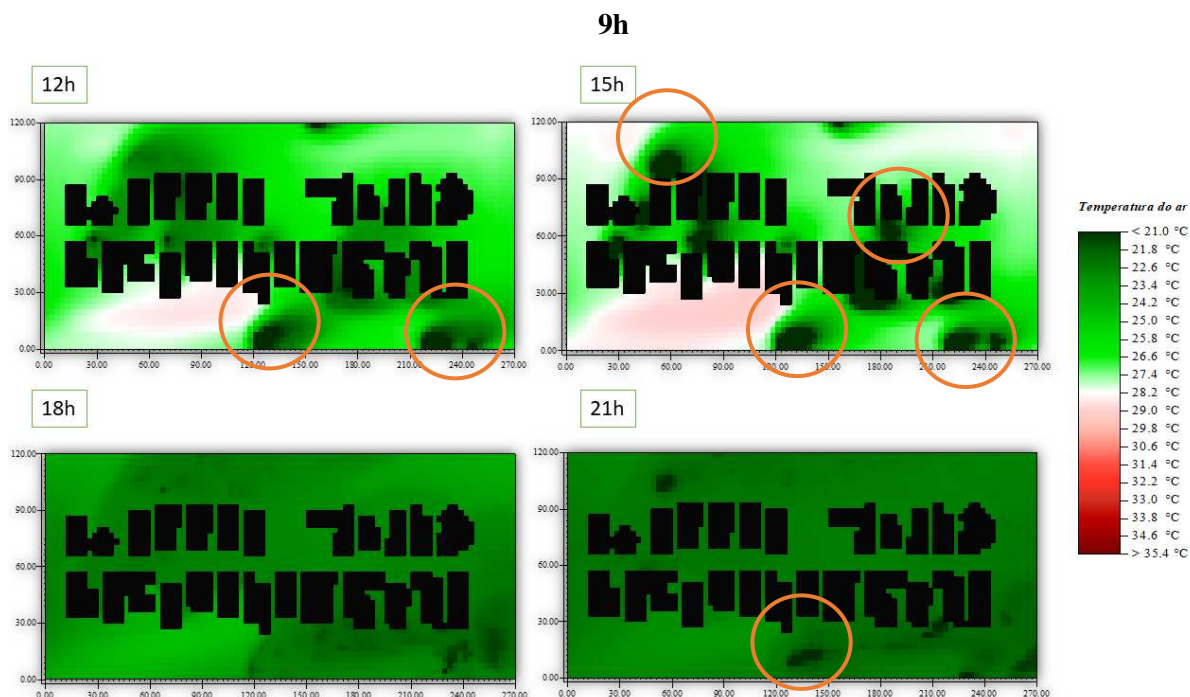
Com a simulação da aplicação de envoltórias vegetadas no cenário urbano o principal resultado encontrado foi que a influência desse elemento vegetado nas adjacências das edificações e intensificado os resultados gerados pela presença de vegetação arbórea. Todos os horários pela manhã apresentaram redução na temperatura do ar de pelo menos 0.5°C em relação ao cenário real (figura 66).

**Figura 66 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



O horário de 12h apresenta uma redução de área com temperatura mais elevada nas proximidades da estação micrometeorológica, interferindo diretamente no aumento de temperatura que era ocasionado pela presença de asfalto, o qual apresentou uma redução de 0.5°C. Às 15h corredores de ventilação possuíam as menores temperaturas do cenário e eram localizados em diversos pontos na simulação (figura 67).

**Figura 67 - Cenário baseado na modificação com telhado vegetado– dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e**



Fonte: Autora, (2018).

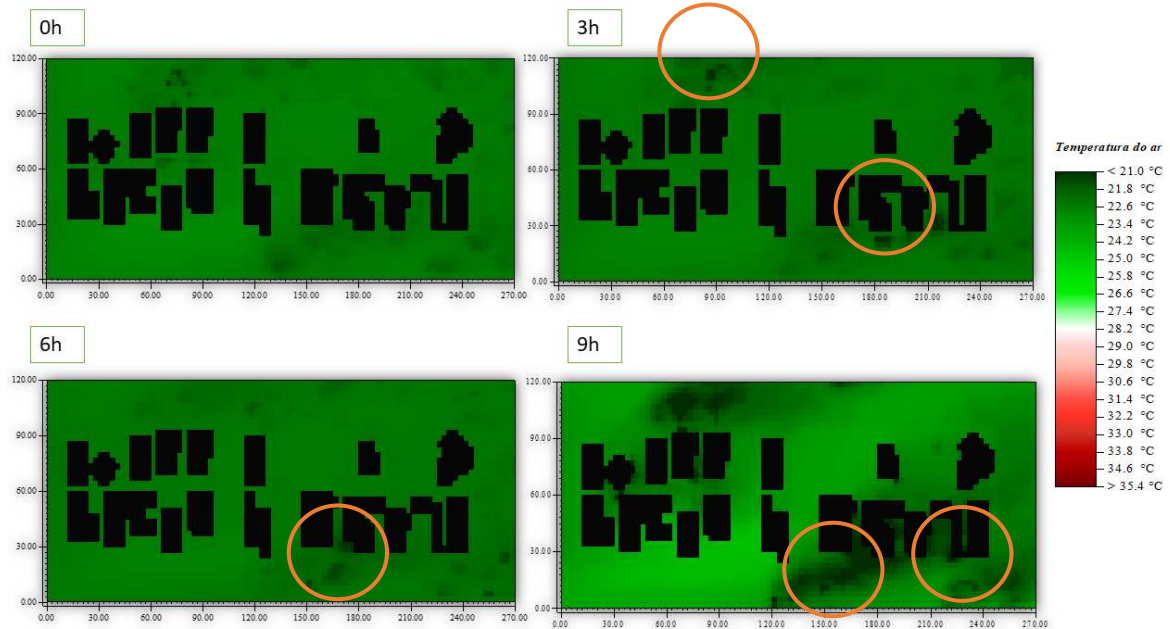
### 5.3.5 Cenário com vegetação aplicada: cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas

Para o quinto cenário modificado com presença de vegetação, foi realizado o acréscimo de fachadas frontais vegetadas intercaladas no cenário como um todo, mantendo os materiais das edificações os mesmos existentes no recorte real.

Com as fachadas vegetadas intercaladas houve uma redução de temperatura do ar diretamente relacionada aos pontos de inserção das mesmas no cenário. Às 3h possui uma redução de temperatura do ar para aproximadamente  $0.5^{\circ}\text{C}$  em local bem demarcado. Às 9h, tanto a barlavento quanto a sotavento, locais em que foram colocadas as envoltórias vegetadas apresentaram redução de  $1^{\circ}\text{C}$  em relação ao restante do cenário (figura 68).

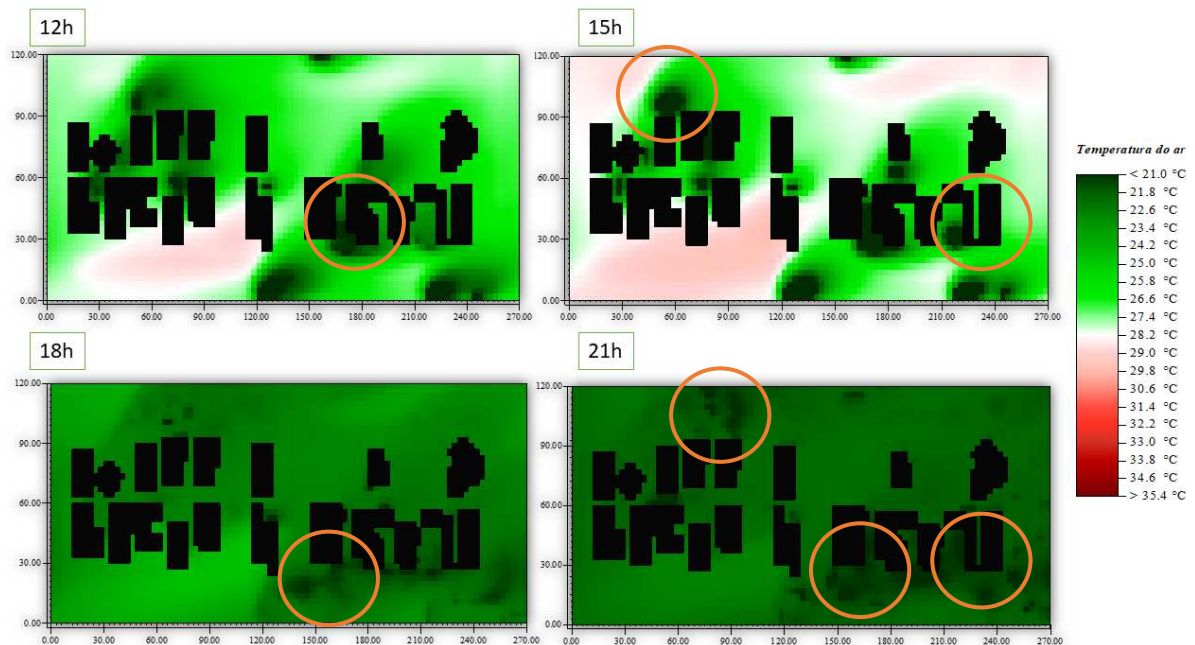
Às 12h, 15h, 18h e 21h, o cenário apresentou locais com corredores de ventos bem resfriados, principalmente entre os horários de 12h e 15h. A temperatura máxima foi de aproximadamente  $29^{\circ}\text{C}$  às 15h. Entre as duas modificações realizadas com envoltórias vegetadas, esta possui a menor influência no cenário urbano (figura 69).

**Figura 68 - cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 69 - cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**



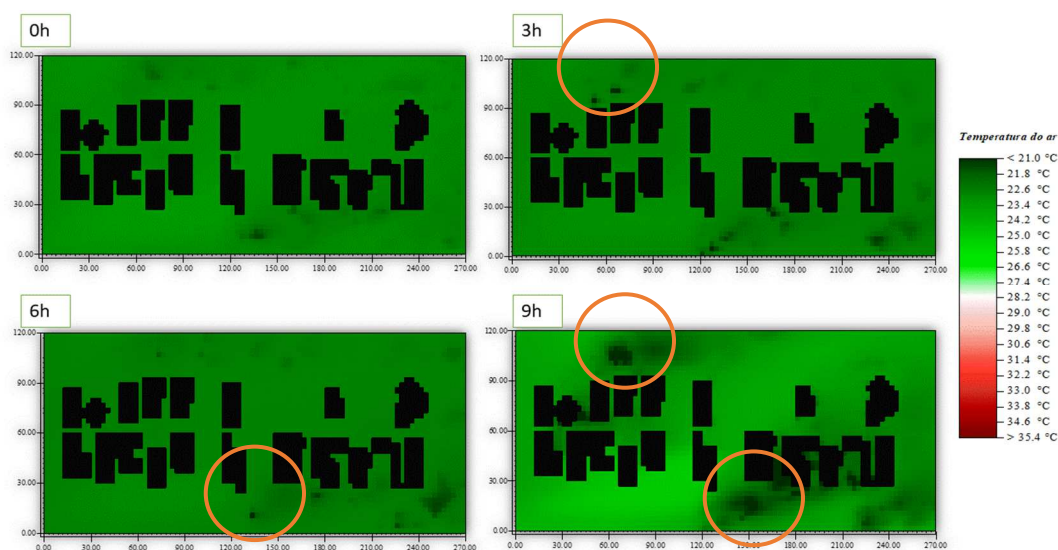
Fonte: Autora, (2018).

### 5.3.6 Cenário com vegetação aplicada: cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas (25% das fachadas com aplicação de vegetação)

O cenário com aplicação de envoltórias vegetadas em apenas 25% das edificações apresentou, no período de 0h à 6h (figura 70), temperaturas do ar com pouca variação térmica ao longo do recorte estudado. Os horários que possuem as maiores temperaturas dessa simulação são 12h e 15h (figura 71).

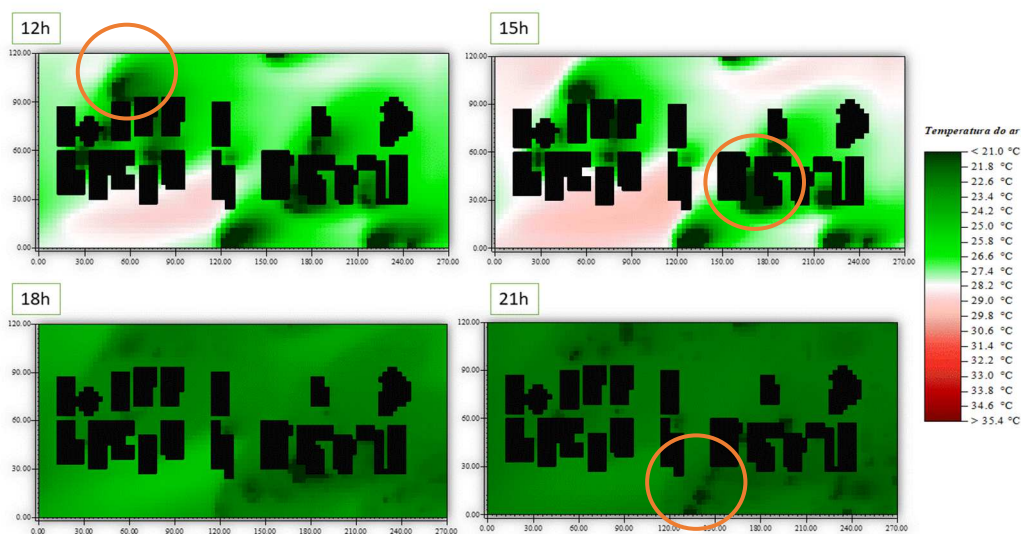
Às 21h o cenário apresenta aproximadamente 21°C em toda sua extensão, com pontos que possuem temperaturas do ar mais baixas em locais com proximidade de áreas vegetadas, tanto por árvores quanto por gramínea, porém, a principal modificação na área (inserção da envoltória vegetada) não modificou significativamente a área de estudo (figura 70).

**Figura 70 - Cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas (25% das fachadas com aplicação de vegetação) – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 0h, 3h, 6h e 9h.**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 71 - Cenário aplicação de fachada frontal vegetada em edificações intercaladas (25% das fachadas com aplicação de vegetação) – dia inicial de simulação 14/10/2018; aquisição de dados para o dia 16/10/2018 (referente a 48h simuladas) - 12h, 15h, 18h e 21h.**

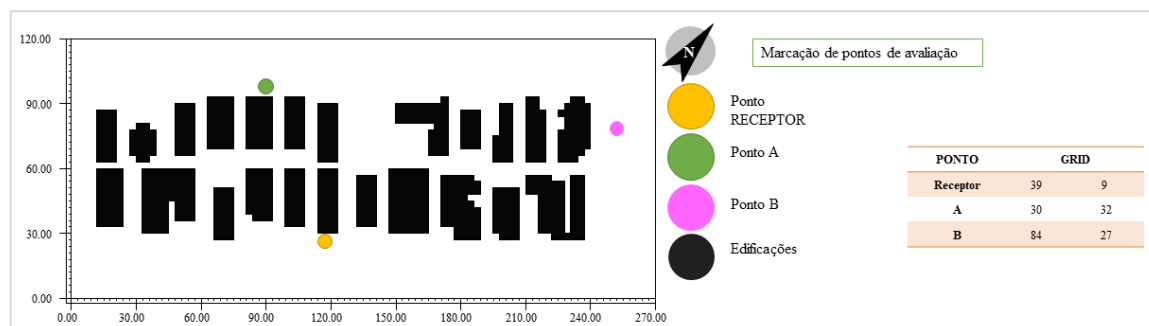


Fonte: Autora, (2018).

#### 4.4 Análise dos pontos A, B e RECEPTOR - Cenário Real

São analisadas as simulações realizadas para cenários hipotéticos como modificações de envoltórias vegetadas e de configuração urbana. O cenário real é mantido como base para as análises que são observadas pelos pontos marcados e apresentados na figura a seguir (figura 72).

**Figura 72 – marcação dos pontos de aquisição de dados.**

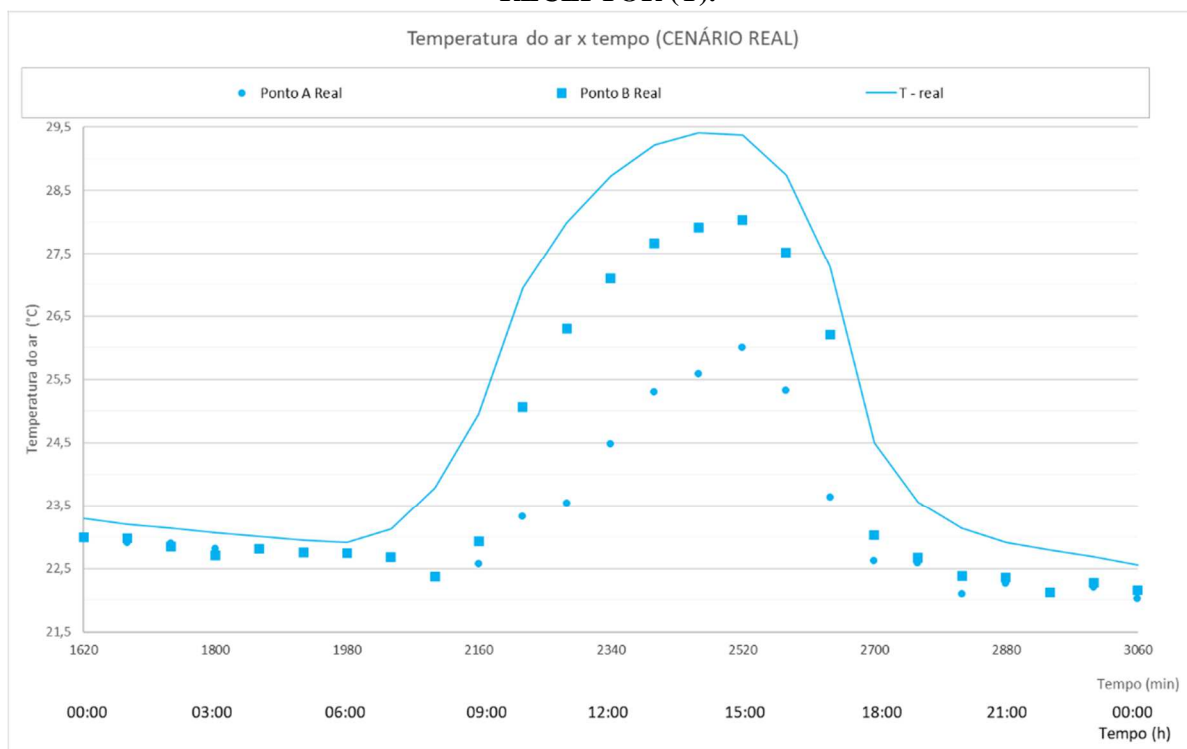


Fonte: Autora, (2018).

O cenário real apresenta dados referentes a simulação inicial da área estudada, nele nota-se a diferença de amplitudes térmicas referentes à 3 (três) pontos de observação, possuindo entre eles aproximadamente 3°C de diferença do ponto A ao ponto RECEPTOR às 15h (figura 73).

Tanto no período de 0h às 6h, quanto de 18h à 0h a diferença de temperatura existente no cenário é aproximadamente 0,5°C. O ponto A possui proximidade de vegetação arbórea e de forração de solo com gramínea, o ponto B possui revestimento em concreto e asfalto em sua adjacência e o RECEPTOR apresenta forração em gramínea.

**Figura 73 - Comparação entre resultados obtidos de 3 pontos do Cenário Real: A, B e RECEPTOR (T).**



Fonte: Autora, (2018).

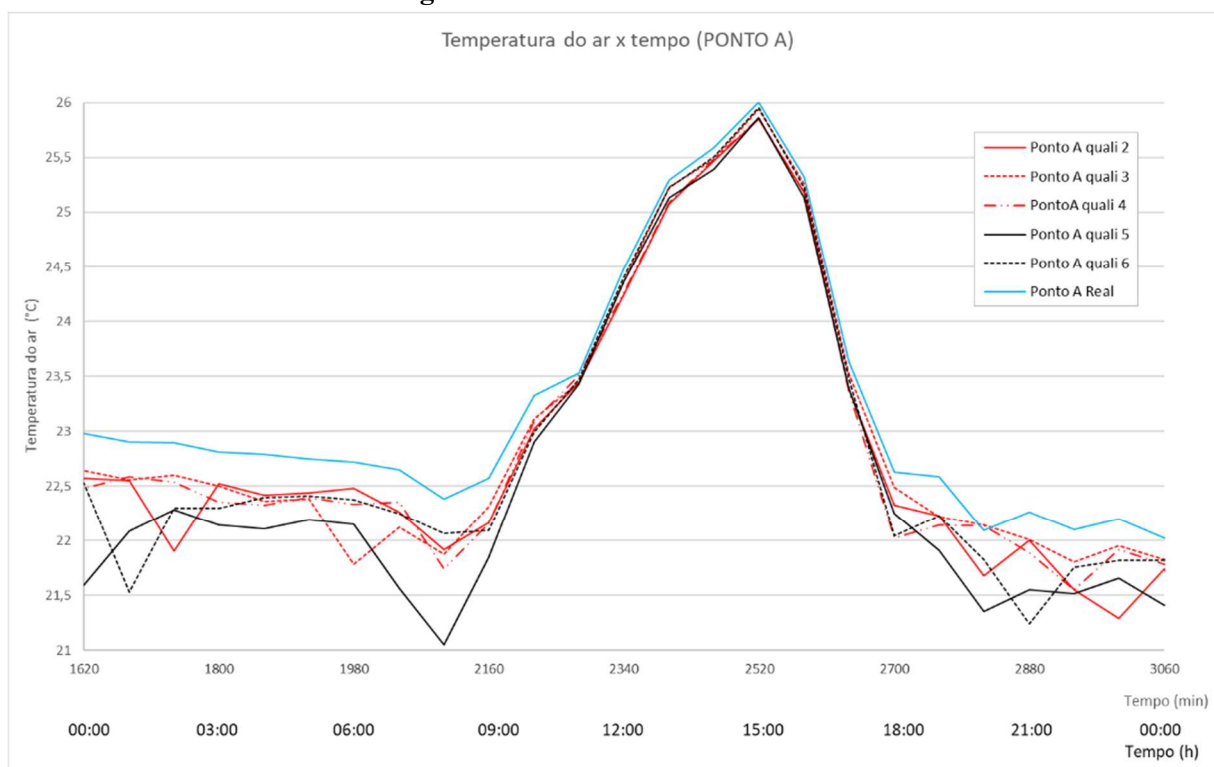
#### 4.4.1 Análise do Ponto A

O ponto A apresenta uma curva de temperatura com amplitude térmica acentuada no período da tarde. Considerando que a entrada de radiação dentro das simulações apresentadas é iniciada às 6 horas da manhã, os cenários começaram a demonstrar a variação de temperatura do ar a partir das 8h e redução da temperatura do ar às 18h. O cenário que possui as menores

temperaturas no período matutino é o cenário com um pavimento e o corredor ao fundo do lote, cenário *8mrr* (figura 74).

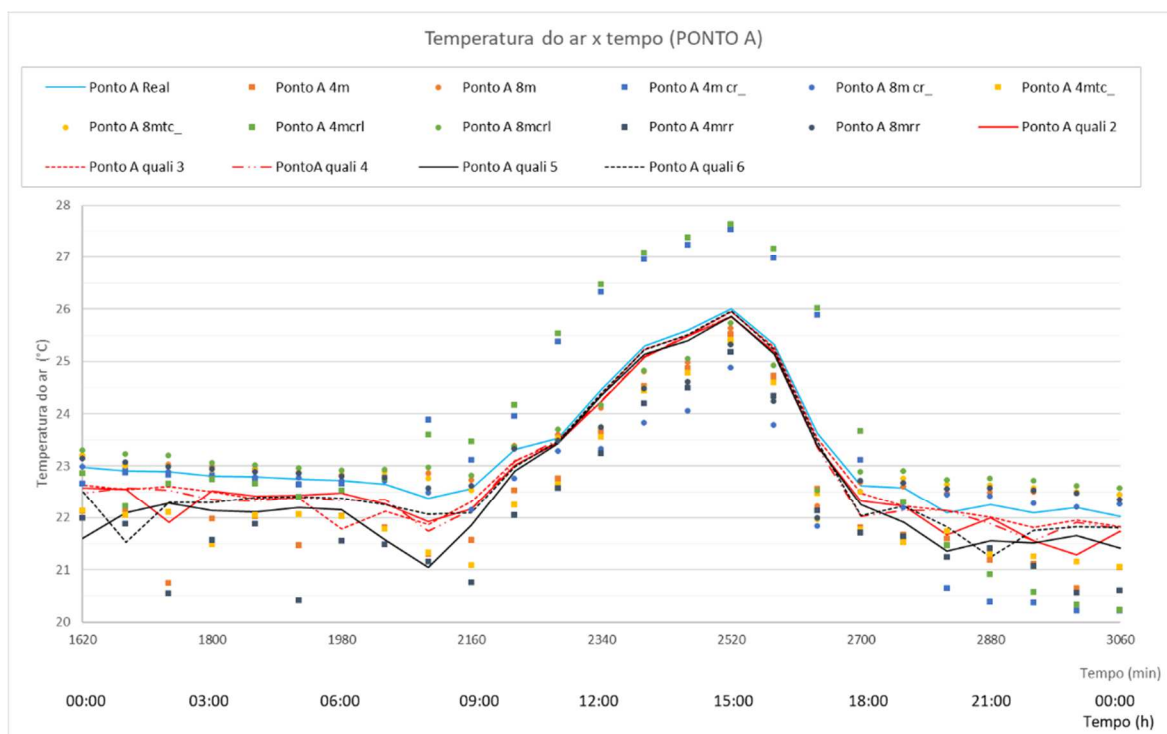
Para o *ponto A* os resultados dos cenários com modificação do padrão urbanístico existente foram os que mais obtiveram diferenciações. Os *pontos A4mcrl* e *A4mtc* foram os locais que apresentaram as temperaturas mais elevadas, chegando a 27.7°C, os mesmos apresentaram as menores temperaturas no período noturno, obtendo 20.2°C à 0h. Os cenários *quali 5* e *quali 2* possuem, entre as simulações com modificação nos revestimentos das envoltórias, as menores temperaturas encontradas nesse ponto. Ao longo do dia, o *quali 5* possui temperatura mínima encontrada de 21°C e máxima de 25.6°C (figura 75).

**Figura 74 - Análise dos resultados obtidos do ponto A para diversas aplicações de envoltórias vegetadas envolvendo o cenário real**



Fonte: Autora, (2018).

**Figura 75 - Comparação entre todas as simulações realizadas para o ponto A**



Fonte: Autora, (2018).

No período vespertino, os cenários *4mcr1* e *4mcr* possuem temperaturas semelhantes, as mais elevadas de todas as simulações; o *8mcr* possui a menor temperatura nesse período, com aproximadamente 2°C a menos que a máxima obtida para o ponto A em observação (figura 75).

A partir das 18 horas o cenário *4mcr* apresenta uma queda brusca de temperatura, chegando a ser o com menor temperatura no período noturno; os cenários com 2 pavimentos obedecem a mesma curvatura dos dados com o cenário *Real* ao apresentar curvas de temperatura com amplitude térmica diária semelhante.

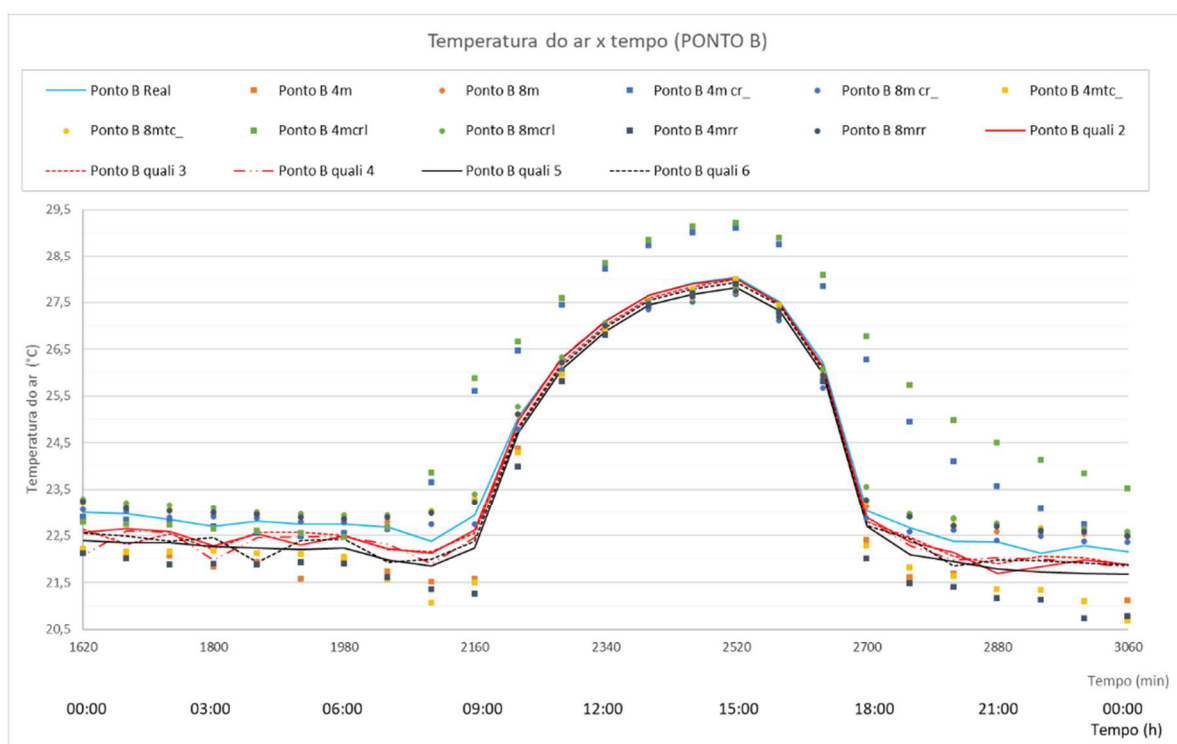
#### 4.5 Análise do Ponto B

O ponto B apresenta temperatura reduzida nos períodos diurno e noturno e elevadas no período vespertino, com início de elevação de temperatura a partir das 7 h e redução às 18 h (figura 76).



Novamente os cenários *4mcr1* e *4mcr* apresentam as temperaturas mais elevadas do ponto B analisado, tanto no período vespertino quanto no noturno, chegando a 1°C de elevação em relação à temperatura do cenário *Real*. Os demais cenários com 1 (um) pavimento apresentam temperaturas reduzidas em relação a simulação baseada no recorte real, atingindo aproximadamente 2°C de redução no período noturno e 1°C no período diurno. No período vespertino, os cenários permanecem com os resultados bem aproximados, praticamente sem modificação.

**Figura 76 - Comparação entre todas as simulações realizadas para o ponto B**



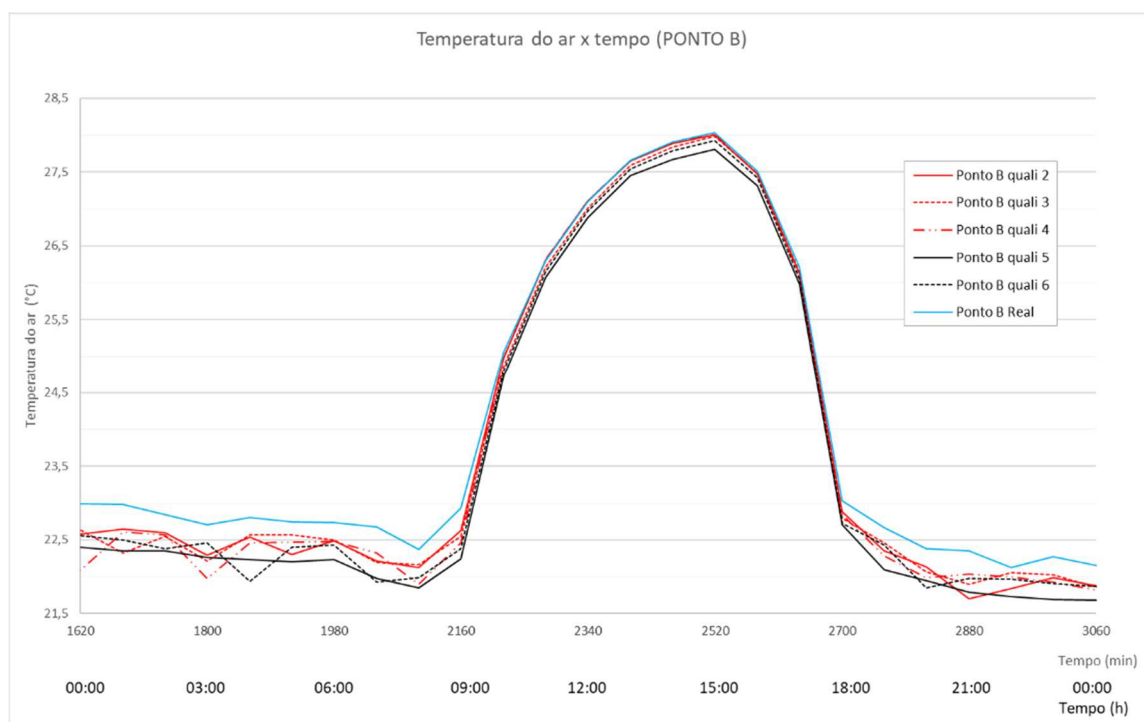
Fonte: Autora, (2018).

Para os cenários com 2 pavimentos nota-se que as curvas apresentadas pelos diversos cenários seguem junto com a do cenário Real, com pouquíssima variação entre elas, sendo o *8mcr* o cenário que mais se aproxima da curva baseada no recorte real.

Para o ponto B é possível observar que durante o período vespertino as simulações seguem muito próximas umas das outras, porém o cenário *quali 5* apresenta, em grande parte dos dados obtidos, as menores temperaturas diárias para os cenários com modificação nas envoltórias pela aplicação de vegetação, variando entre 21,3°C e 27,3°C, com amplitude

térmica de 6°C ao longo do dia. Ao obter a comparação entre todas as simulações realizadas é visto que o *4mrr* e *4mtc* possuem as menores temperaturas (figura 77).

**Figura 77 - Análise dos resultados obtidos do ponto B para diversas aplicações de envoltórias vegetadas envolvendo o cenário real**

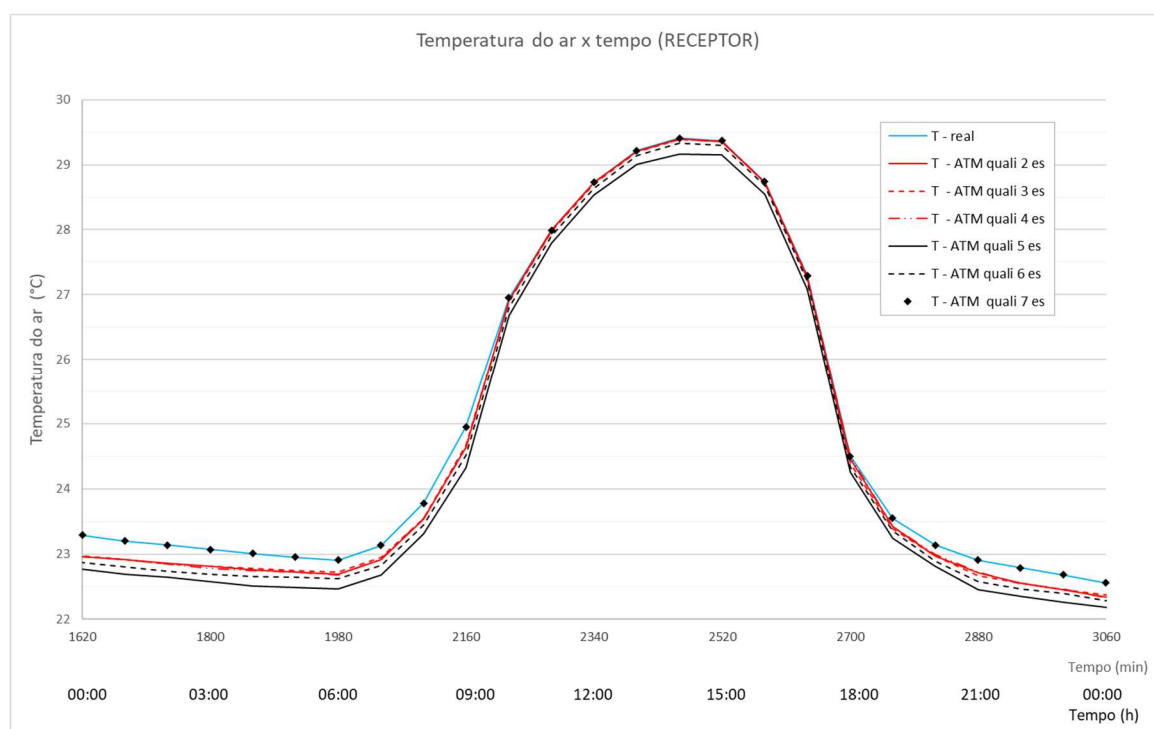


Fonte: Autora, (2018).

#### 4.6 Análise do Ponto RECEPTOR

O local em que se encontrava o *RECEPTOR* apresentou temperaturas com a maior amplitude térmica diária dos cenários, 7°C entre as mínimas e as máximas observadas. O cenário *quali 5* possui as menores temperaturas vistas tanto no período vespertino quanto no noturno, chegando a 22,5°C e 22,2°C respectivamente e, no período vespertino sendo 29,2°C, às 15h. As maiores temperaturas vistas são observadas no cenário baseado no recorte real, sem modificação, possuindo o *quali 2* como o cenário com os resultados mais aproximados do *real*. Ver figura 78.

**Figura 78 - Análise dos resultados obtidos do ponto RECEPTOR para diversas aplicações de envoltórias vegetadas envolvendo o cenário real**



Fonte: Autora, (2018).

#### 4.7 Análise Geral dos cenários simulados

A vegetação inserida nas envoltórias e nas proximidades apresentam um dos principais materiais de interferência na temperatura do ar no recorte modificado. Sua influência na temperatura em locais com materiais de revestimento de solo que apresentam carga térmica elevada demonstra sua relevância em diferentes arranjos construtivos e urbanísticos.

Os pontos que apresentaram maior redução de temperatura do ar estavam localizados em áreas próximas a corredores de ventilação com existência de vegetação arbórea em sua adjacência, o que implica diretamente no sombreamento dos materiais tanto de revestimento de solo, quanto das envoltórias das edificações. A troca de calor existente no ambiente e sua dissipação é modificada diretamente por fluxos de ventilação gerados por esses corredores e zonas a barlavento e sotavento.

Entre todos os pontos avaliados, o que apresentou menor variação entre os cenários foi o ponto *RECEPTOR*. Sua posição sofre influência direta da ventilação local, em pontos de

aprisionamento de ventilação, apresentando resultados mais constantes. As tabelas 4, 5 e 6 a seguir mostram os principais resultados de temperatura do ar máxima por horário simulado.

**Tabela 4 - Temperatura máxima do ar pelo horário simulado, referente ao ponto RECEPTOR com indicação das maiores temperaturas do ar encontradas para o ponto em análise**

Ponto RECEPTOR	Horário simulado								
Temperatura máxima do ar (°C)		00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h
	Real	22,75	22,88	22,9	24,93	27,84	28,6	24,63	23,64
	4m	22,71	22,88	22,88	24,86	27,94	28,73	24,51	23,07
	8m	22,67	22,8	22,82	24,83	27,67	28,3	24,55	23,73
	4mtc	22,68	22,86	22,85	24,69	27,92	28,72	24,5	22,95
	8mtc	23	22,8	23	25	28,3	29,3	24,5	23
	4mcr	23,03	23,18	23,2	26,75	28,69	29,48	27,46	25,85
	8mcr	23	22,8	23	25	29	29,3	24,5	23
	4mrr	22,67	22,84	22,84	24,71	27,91	28,71	24,55	23,07
	8mrr	23	22,8	23	25	28,7	29,3	25	23
	4mcr1	23,16	23,31	23,34	26,75	28,7	29,49	27,48	25,96
	8mcr1	23	22,8	23	25	29	29,3	24	23
	Quali 2	22,49	22,67	22,69	24,81	27,88	28,62	24,48	23,21
	Quali 3	22,66	22,82	22,85	24,83	27,87	28,63	24,51	23,3
	Quali 4	22,49	22,67	22,69	24,8	27,88	28,62	24,47	23,21
	Quali 5	22,57	22,75	22,75	24,69	27,79	28,5	24,4	23,11
	Quali 6	22,63	22,8	22,81	24,77	27,85	28,59	24,46	23,21
Quali 7	22,75	22,88	22,9	24,93	27,84	28,6	24,63	23,64	

Fonte: Autora, (2019).

**Tabela 5 - Temperatura máxima do ar pelo horário simulado, referente ao ponto A com indicação das maiores temperaturas do ar encontradas para o ponto em análise**

Ponto A	Horário simulado								
Temperatura máxima do ar (°C)		00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h
	Real	22,73	22,839	22,843	23,007	24,132	24,77	23,48	23,273
	4m	22,675	22,828	22,821	22,311	23,605	24,424	21,543	21,313
	8m	22,637	22,746	22,765	22,946	23,897	23,939	23,406	23,35
	4mtc	22,643	22,793	22,789	22,276	23,555	24,437	22,463	22,329
	8mtc	22,62	22,707	22,717	22,973	23,897	23,772	23,569	23,35
	4mcr	22,311	22,401	22,422	23,251	24,138	25,835	21,438	22,805
	8mcr	22,585	22,685	22,701	22,675	23,767	23,016	23,421	23,259

	4mrr	22,659	22,816	22,796	22,1	23,316	24,288	21,951	22,196
	8mrr	22,618	22,712	22,723	23,051	23,885	23,743	23,52	23,35
	4mcrl	22,384	22,475	22,487	23,264	24,282	25,937	21,796	22,755
	8mcrl	22,698	22,784	22,795	23,156	24,135	24,313	23,702	23,459
	Quali 2	22,432	22,595	22,608	22,649	23,781	24,35	22,953	22,159
	Quali 3	22,637	22,777	22,788	22,502	23,934	24,653	23,348	22,839
	Quali 4	22,432	22,595	22,609	22,586	23,829	24,402	23,024	22,579
	Quali 5	22,52	22,682	22,68	22,474	23,836	24,56	22,83	22,047
	Quali 6	22,597	22,744	22,75	22,558	23,905	24,667	22,944	21,573
	Quali 7	22,73	22,839	22,843	23,007	24,132	24,77	23,48	23,273

Fonte: Autora, (2019).

**Tabela 6 – temperatura máxima do ar pelo horário simulado, referente ao ponto B com indicação das maiores temperaturas do ar encontradas para o ponto em análise**

Ponto B	Horário simulado								
		00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h
Temperatura máxima do ar (°C)	Real	22,732	22,836	22,833	23,315	26,086	27,166	23,599	23,164
	4m	22,684	22,826	22,817	22,963	26,022	27,137	22,925	22,434
	8m	22,671	22,768	22,78	23,199	26,095	26,974	23,681	23,378
	4mtc	22,636	22,777	22,767	22,443	26,069	27,171	22,846	22,428
	8mtc	22,654	22,727	22,732	23,475	26,068	26,942	23,717	23,418
	4mcr	22,333	22,419	22,421	23,755	26,838	27,879	23,958	22,748
	8mcr	22,611	22,698	22,709	23,304	25,972	26,843	23,555	23,328
	4mrr	22,643	22,79	22,771	22,301	26,028	27,143	22,518	22,259
	8mrr	22,65	22,73	22,736	23,396	26,088	26,944	23,699	23,425
	4mcrl	22,396	22,491	22,489	23,88	26,983	28,017	24,656	22,836
	8mcrl	22,732	22,81	22,816	23,603	26,167	27,094	23,773	23,383
	Quali 2	22,42	22,58	22,581	23,077	26,14	27,134	23,285	22,533
	Quali 3	22,629	22,764	22,757	23,16	26,054	27,11	23,274	22,763
	Quali 4	22,421	22,58	22,583	23,058	26,139	27,141	23,318	22,618
	Quali 5	22,518	22,671	22,654	22,712	25,996	27,016	23,014	22,526
	Quali 6	22,595	22,734	22,726	23,027	26,021	27,076	23,241	22,566
	Quali 7	22,732	22,836	22,833	23,315	26,086	27,166	23,599	23,164

Fonte: Autora, (2019).

Ao analisar todos os resultados obtidos pelas simulações foi apontado que as maiores amplitudes térmicas no decorrer do dia foram encontradas nos seguintes cenários:

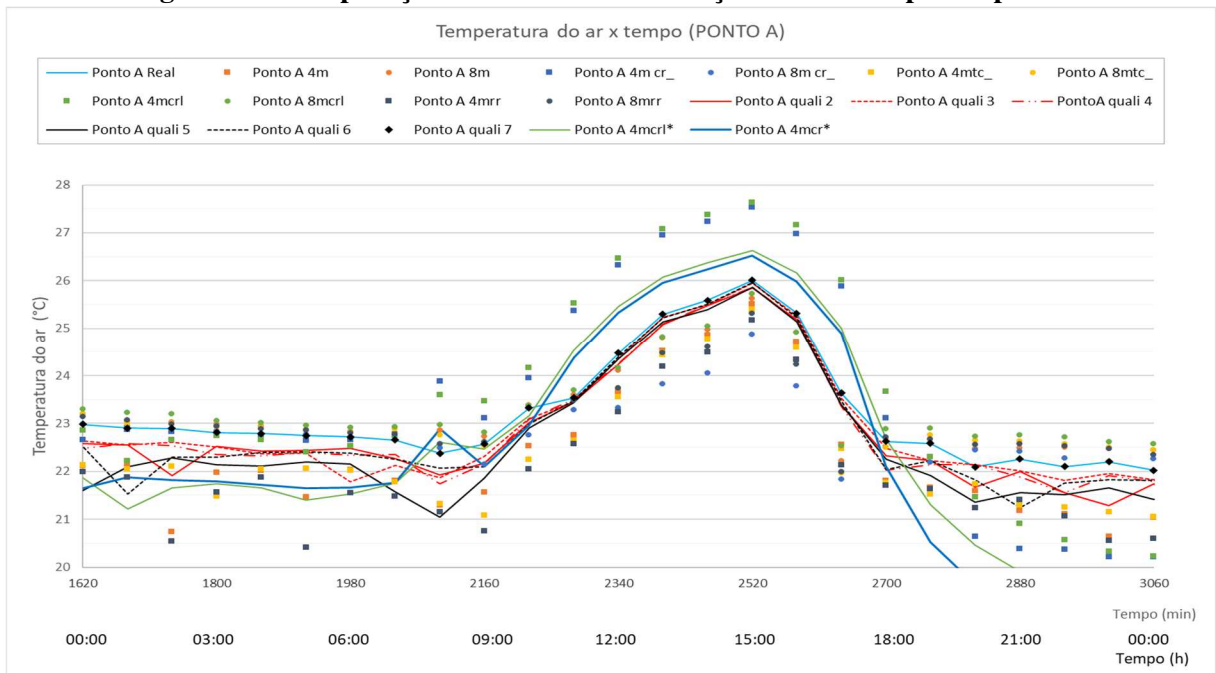
- *4mcr1* - Área com ocupação total dos lotes - configuração urbana modificada com recuos laterais: 1 pavimento;
- *4mcr* - Área com ocupação total dos lotes - configuração urbana modificada com recuos frontais: 1 pavimento.

Possivelmente essas simulações apresentaram esses resultados devido à existência de elementos vegetados arbóreos em frente aos corredores de ventilação principais, pois a simulação considerou as árvores inseridas no sistema como frondosas e de copas densas. Assim, as mesmas foram capazes de barrar as massas de ar de circular entre as edificações, árvores com altura de aproximadamente 5m de altura total (caule/copa). Com o padrão de um pavimento edificado, os fluxos de ventilação tenderam a circular acima das residências e desse modo, tanto horizontalmente quanto verticalmente, as massas de ar não adentraram nos corredores ampliados.

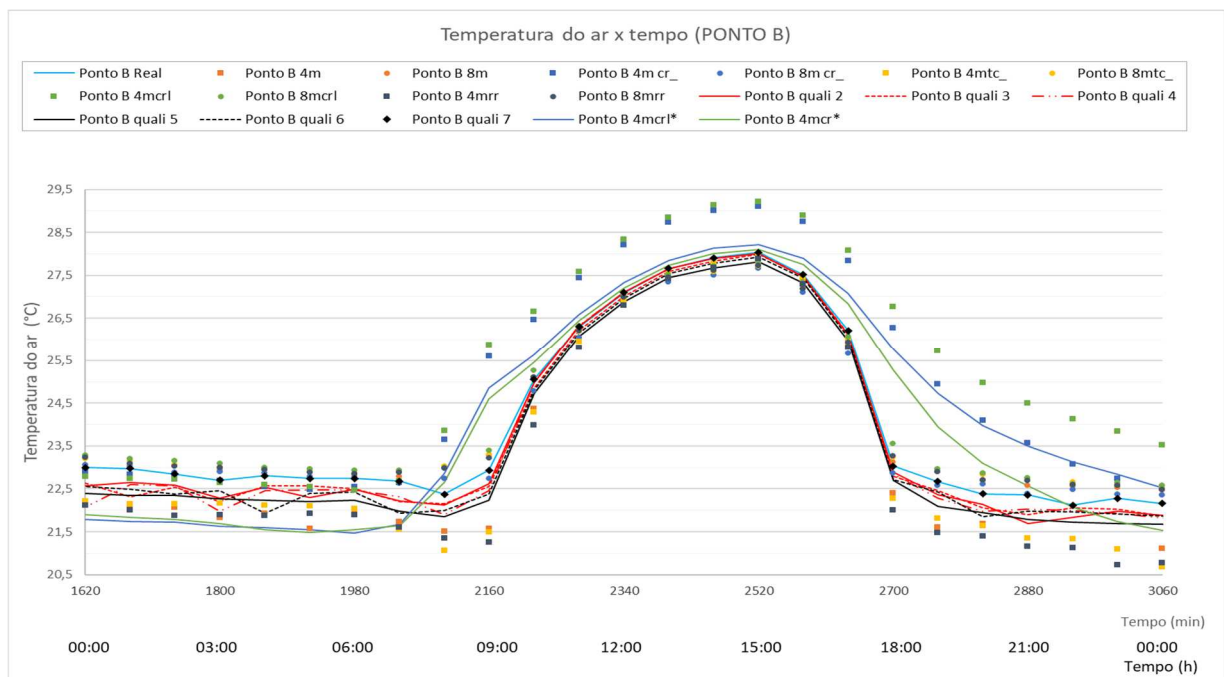
#### 4.8 Cenários com acréscimo de envoltórias vegetadas - *4mcr1* e *4mcr*

Após a análise individual de cada simulação foram criados mais dois cenários hipotéticos. Esses cenários foram baseados nas configurações modificadas de recuos frontais e laterais com inserção do melhor resultado obtido pelas simulações de envoltórias vegetadas, afim de demonstrar a influência desse elemento vegetado no ambiente urbano.

Os cenários modificados foram chamados de *4mcr1\** e *4mcr\**, e seus resultados obtidos foram referentes aos dois pontos estudados anteriormente. As simulações geraram os seguintes gráficos (figuras 79 e 80):

**Figura 79 - Comparação entre todas as simulações realizadas para o ponto A**

Fonte: Autora, (2019).

**Figura 80 - Comparação entre todas as simulações realizadas para o ponto B**

Fonte: Autora, (2019).

Com a aplicação das envoltórias vegetadas foi possível notar que os dois cenários obtiveram redução de temperatura do ar de até 1°C nos pontos A e B no decorrer do dia simulado. Uma suposição para a obtenção desse resultado é que as fachadas das edificações que anteriormente possuíam materiais de alta reflexão e transmissão térmica como vidros e paredes de pedra escura, respetivamente, foram revestidas por trepadeiras. Essa vegetação

inserida no ambiente possibilitou a absorção dessa energia liberada pelos materiais de revestimento de solo e composição das edificações, auxiliando assim, a dissipação térmica no local.

No ponto A, a influência da envoltória vegetada possibilitou uma redução de temperatura do ar no período noturno de até 1,5°C nos cenários *4mcr1\** e *4mcr\** em relação aos seus cenários originais, já em comparação com o cenário real, a temperatura do ar sofreu uma diminuição de até 3°C após a aplicação da vegetação nas fachadas.

Para o ponto B, a influência da vegetação gerou uma redução na temperatura do ar de aproximadamente 1°C no horário que possui as mais elevadas temperaturas das simulações, às 15h. Durante o período noturno, a diminuição de temperatura foi de até 1°C em relação aos cenários originais e possibilitou uma aproximação ao cenário real, o qual apresentava uma diferença de até 1,5°C anteriormente.

Outro fator que pode ter influenciado nos resultados foi que a proximidade da fachada vegetada aos revestimentos de solo auxiliou na absorção da carga térmica liberada ao longo do dia, assim, mesmo nos horários com temperatura do ar mais elevada, houve uma redução total de emissão de energia dentro do sistema e com maior dissipação térmica pelas massas de ar.

Depois de analisados e discutidos todos os resultados alcançados ao longo do desenvolvimento da presente tese, foram obtidas as conclusões referentes a existência da influência da aplicação de envoltórias vegetadas no contexto tropical úmido alagoano, com enfoque no recorte urbanístico realizado em Maceió, Alagoas.



## 5. CONCLUSÃO

O objetivo geral desta tese foi avaliar e prever a influência de envoltórias vegetadas como possíveis elementos para a mitigação do microclima, no contexto microclimático tropical úmido, com estudo de caso em Maceió, Alagoas. Dado isso, foi necessário o entendimento sobre o microclima e seus elementos modificadores, adentrando nas tipologias de envoltórias vegetadas.

Através dos estudos realizados foi possível confirmar que a aplicação de envoltórias vegetadas em edificações residenciais de até dois pavimentos mitiga o microclima de um determinado local. Através do resfriamento das massas de ar presentes pela evapotranspiração da vegetação inserida na malha urbana, bem como pelos corredores de ventilação com a proximidade de elementos vegetativos, considera-se que os resultados aqui obtidos foram satisfatórios para a comprovação da eficácia dessa estratégia mitigadora para áreas urbanas. Por outro lado, é essencial ressaltar a importância, dentro do contexto estudado, da orientação da aplicação dessa envoltória vegetada e quanto ao tipo de vegetação utilizada na estrutura anexada à edificação, pois diversas orientações e tipologias de trepadeiras em envoltórias vegetadas podem ser trabalhadas.

A escolha da vegetação para aplicação nas envoltórias consideradas no contexto da presente tese foi determinada a partir de características obtidas no levantamento teórico inicial, o que possibilitou a adição e modificação de parâmetros internos no programa computacional ENVI-met, utilizado para aquisição dos principais resultados dessa pesquisa. A partir dessa escolha foi notado que a aplicação de uma vegetação que possuísse maiores folhagens e menor espaçamento entre caule e folha possibilitaria resultados mais significativos para a redução de temperatura do ar próxima aos locais com inserção da envoltória vegetada.

Também pôde-se concluir que o revestimento existente na edificação, mesmo com a inserção da envoltória vegetada em sua fachada, influencia diretamente o microclima local. Pontos próximos dentro do recorte e possuindo materiais de revestimento de fachada com maior presença de elementos cerâmicos apresentaram temperaturas do ar em seu entorno em horários matutinos e noturnos de até 1°C menores que lugares com edificações com outros tipos de revestimento de fachada.

Outro ponto que vale destacar é que a direção e velocidade da ventilação no local de estudo influenciou diretamente nos dados adquiridos pelas simulações. Áreas a sotavento com vegetação arbórea apresentaram valores de temperaturas do ar em média 2°C a menos que os

outros locais observados. As diferenças de temperaturas do ar encontradas nos cenários com envoltórias vegetadas totais chegaram até 3°C de redução com a inserção de envoltórias vegetadas nas modificações em locais a sotavento.

É importante ressaltar que todos os resultados foram obtidos com a mesma configuração de envoltória vegetada e sem modificação no padrão de revestimentos de solo e das edificações existentes no local. Desse modo, existem diversas possibilidades de trabalho para desdobramento no presente tema da pesquisa e diversas modificações para criação de cenários futuros.

Outro ponto observado e que deve ser levado em consideração é que a modificação na configuração urbana impactou a temperatura do ar no local estudado, ou seja, com pequenas modificações no recorte, como recuos ampliados frontalmente ou lateralmente foi possível obter 3°C a mais que o cenário real no período vespertino.

E mesmo com a aplicação da envoltória tendo mitigado o microclima desses cenários com afastamentos modificados, foi notada sua relevância com a disposição urbanística das edificações para com as necessidades de construção atuais, de modo a evitar o adensamento urbano ocasional, sem a preocupação com os impactos que podem ser gerados ambientalmente e socialmente.

A coleta de dados locais através da estação micrometeorológica possibilitou uma investigação diária e horária das informações referentes ao local estudado, e assim, facilitou a escolha do dia padrão para as simulações computacionais. Os dados adquiridos *in loco* podem servir para pesquisas futuras para especificar dia padrão para simulações com configurações de épocas com maior umidade relativa do ar, por exemplo.

À face do exposto, pesquisas que complementem o tema aqui tratado são de grande relevância para avaliações referentes ao microclima urbano, devido ao crescimento e ao crescente desmatamento urbano, com possibilidade de discussões referentes a padrões construtivos, escolhas de materiais de revestimento e acabamento das edificações e, particularmente, ao principal foco dessa pesquisa, que é o de possibilitar a inserção da vegetação no meio urbano em diversos meios edificados. Com isso, a presente pesquisa pode possibilitar a continuidade do questionamento referente a essas informações e ser uma das bases para outros temas de investigação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHERN, J.; *et al.* The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: A framework for supporting innovation. **Landscape and Urban Planning**, v° 125, May 2014, 254–259.

ASSIS, E. S.; *et al.* Influência da vegetação no microclima em ambiente simulado controlado. *In: XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/ELACAC, Anais.* Brasília- DF, 2013.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CUBIERTAS VERDES. **Generalidades de las fachadas verdes.** Site: <http://www.asescuve.org/fachadas-vegetales/>, acesso em 27/10/2014.

BARBIRATO, J. C.; BARBIRATO, G.M. Implementação computacional de um modelo de balanço de energia para a Climatologia Urbana. **ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído: Modernidade e Sustentabilidade.** Salvador, 2000.

BARBIRATO, G. M; BARBOSA, R. V. R; TORRES, S. C. Espaços livres e morfologia urbana: discussões sobre influências na qualidade climática e sustentabilidade urbana a partir de estudos em cidades no estado de Alagoas – Brasil. **Paisagem e ambiente: ensaios** - n. 36 - São Paulo, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Normais Climatológicas 1961-1990.** Brasília: INMET, 2015.

BRUSE, M *et al.* **Updated overview over ENVI-met© 3.1 beta5.** Disponível em: <http://www.envi-met.com>. Acessado em AGOSTO, 2010.

BRUSE, M. **ENVI-met© 4.0 Updated Model Overview.** 2015. Disponível em: <<http://www.envi-met.com/#section/intro>>. Acesso em: Novembro, 2015.

BRUSE, M. **ENVI-Met® model homepage.** Disponível em: <http://www.envi-met.com/>. Acesso em: OUTUBRO, 2014.

BRUSE, M. **ENVI-Met® model homepage.** Disponível em: <http://www.envi-met.com/>. Acesso em: DEZEMBRO, 2018.

BONAN, G. B. **Ecological Climatology : Concepts and Applications. First Edition Cambridge University Press, 2002.**

CAMERON, R.W.F.; TAYLOR, J. E.; EMMETT, M. R. What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. **Building and Environment**, V. 73, Março 2014, p. 198–207.

CARNIELO, E.; ZINZI, M. Optical and thermal characterization of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand. **Building and Environment**, Nº 60, 2013.

CHATZIDIMITRIOU *et al.* Ground surface materials and microclimates in urban open spaces. **PLEA, The 23 Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Geneva, Switzerland, 2006.

CAVALCANTE, M. R. C.; BARBIRATO, G. M.; SOUZA, C. A. DE S. Análise da influência térmica de revestimento do solo para o microclima urbano em contexto tropical úmido. **In: 7º congresso luso brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável.** Maceió, 2016.

COMISSÃO EUROPEIA. **Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos.** Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2012. 62 p., 21x29,7 cm.

CRUCIOL BARBOSA, Murilo; FONTES, Maria Solange G. de C. Jardins verticais: modelos e técnicas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, p. 114-124, 2016.

DACANAL, C.; PEZZUTO, C. C.; LABAKI, L. e MATSUMOTO, E. Avaliação do efeito da ventilação nos espaços urbanos abertos através de simulações e medições experimentais. **In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 2010.

DIMOUNDI, A; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits. **Energy and Building**. 3, Lausanne, 2003.

DE MARCO, JÚLIO; ASSIS, ELEONORA SAD DE. Requisitos de desenvolvimento sustentável na legislação urbanística de Belo Horizonte – o caso da Taxa de Permeabilidade. **In: XII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. Anais.** Brasília - DF, Brasil, 2013.

FEDRIZZI, B. M.; SCHERER, M. J. Jardins verticais: potencialidades para o ambiente urbano. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção.** 2, Jan./jun. 2014.

FEYISA, G. L.; *et al.* Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. **Landscape and Urban Planning**. 123, Jan, 2014.

GROAT, L.; WANG, D. **Architectural Research Methods**. N. York, Livro, Ed: John Wiley & Sons, 2002.

HUNTER, A.M.; WILLIAMS, N. S.G.; RAYNER, J.P.; AYE, L.; HES, D.; LIVESLEY S.J.. Quantifying the thermal performance of green facades: A critical review. **Ecological Engineering**. V: 63, 2014. p .102– 113.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Resultado do universo** – Censo 2010. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/mapa\\_site/mapa\\_site.php#populacao](http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#populacao)>. Acesso em: abril de 2015.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Dados meteorológicos**. Brasília, Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 13 mar. 2018

JEROEN MENTENS, DIRK RAES, MARTIN HERMY. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? **Landscape and Urban Planning** 77 (2006) 217–226.

JUSUF, S. K.; WONG, N. H.; HAGEN, E.; ANGGORO, R.; HONG, Y. The influence of land use on the urban heat island in Singapore. **Habitat International**, V: 31, 2007.

MALYS, L.; MUSY M.; INARD, C. A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption. **Building and Environment**, V. 73, MARÇO, 2014, p. 187–197.

MODESTO, MARIA DA GLÓRIA SANTOS. **Condomínios horizontais e loteamentos fechados: dinâmica de “privatização” do tecido urbano**. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2010.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: Universidade de São Paulo/ Instituto de Geografia, 1976.

NUNES, Fabrizia Gioppo. Uso da técnica de fotogrametria digital na análise temporal da impermeabilização do solo em bacias hidrográficas urbanas. **In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Anais**. Curitiba-PR, Brasil, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0213.pdf>> Acesso em: 14/09/2015.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. 2. ed. New York. Taylor & Francis, 1996. 435 p.

OKE, T. R. Initial Guidance to obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. Instruments and Observing Methods. **Report No. 81. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION**. N. 1250, 2006.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ONU: mais de 70% da população mundial viverá em cidades até 2050**. Disponível em: <<http://nacoesunidas.org/onu-mais-de-70-da-populacao-mundial-vivera-em-cidades-ate-2050/>> Acesso em: 2014.

OSMOND. P. W. **Rooftop “greening” as na option for microclimatic amelioration in a high-density building complex**. University of New South Wales, Sydney, Australia, 2004.

PREFEITURA DE MACEIÓ. **Código de Urbanismo e Edificações de Maceió 2007**. Disponível em: < <http://www.maceio.al.gov.br> >. Acesso em: abril de 2015.

PARIZOTTO; LAMBERTS. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil **Energy and Buildings** 43 (2011) 1712–1722.

PERINI,K; ROSASCO, P. Cost - benefit analysis for green façades and living wall systems. **Building and Environment**, v. 70, p. 110-121, 2013

RODRIGUES, L. A. **Técnicas e tecnologias para implementar paredes verdes externas em edifícios residenciais e comerciais na cidade de São Paulo**. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT) São Paulo, 2017.

SANTOS, R. M. *et al.* **Morfologia urbana e conforto térmico**. AUP 823: Seminário da Integração, UnB, 2004.

SHINZATO, PAULA. **Impacto da vegetação nos microclimas urbanos em função das interações solo-atmosfera**. Tese (Doutorado – Área de concentração: tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP. São Paulo, 2014.

SALVADOR, Nadir. **Estudo da Camada Limite Atmosférica em Regiões Metropolitanas Costeiras com Simulações de Brisa Marítima**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Espírito Santo, 2014.

SHAHIDAN, M. F.; *et al.* An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. **Building and Environment**, N° 58, p. 245 – 257, 2012.

SIRQUEIRA, C.A. de. **Estudo microclimático de recortes urbanos vegetados em Belo Horizonte – MG, através de modelagem micrometeorológica**. Dissertação (Mestrado), UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, MACPS – Escola de Arquitetura. Belo Horizonte, OUTUBRO, 2014.

UNIVERSIDADE DO WYOMING. **Dados climáticos: Umidade absoluta do ar**. Acesso: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>, 2016.

## APÊNDICE A

### Simulações iniciais para calibração do programa computacional para Maceió – Alagoas

Foram realizadas simulações computacionais para verificação da real abrangência do programa computacional e o nível de calibração que seria necessário para a obtenção de resultados com real validade para o trabalho.

São apresentadas em três etapas as simulações para calibração do programa para o recorte de estudo:

- Configuração e funcionamento do programa com modificações básicas do programa e criação de envoltórias vegetadas;
- Criação de materiais dentro do programa computacional para melhor adequação ao local, seguindo a realidade do recorte estudado, levando em conta os tipos de material e vegetação, utilizando cenários hipotéticos quanto as suas dimensões e configuração urbana;
- Utilização das configurações realizadas anteriormente em um recorte urbano da área de estudo, com uma porção em formato de quadra.

Foram utilizados dados climáticos coletados de estação convencional do INMET, dados esses de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação, direção e velocidade dos ventos. Dados quanto a umidade absoluta do ar, foram obtidos através do site da Universidade do Wyoming para a cidade de Natal -RN<sup>3</sup>, pois não se encontram dados referentes a cidade de Maceió, sendo Natal o território mais próximo e com condições geográficas parecidas com a cidade em estudo, a umidade absoluta é solicitada à 2500 metros em relação ao mar. Essas informações foram utilizadas para configuração do arquivo padrão para simulação da área escolhida de estudo, recorte do bairro de Jatiúca, Maceió- AL (Figura 81).

Configuração e funcionamento do programa com modificações básicas do programa e criação de envoltórias vegetadas

---

<sup>3</sup>Site de pesquisa e levantamento de dados atmosféricos para busca de informações referentes a medições realizadas através de balões meteorológicos: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>



**Figura 81 - Recorte de estudo**



Fonte: GOOGLE. Site:www.google.com.br, Acessado em: 03.02.2016.

Para iniciar os estudos com a aplicação de envoltórias vegetadas em Maceió, foi realizada a escolha de um recorte urbano que possui edificações de um ou dois pavimentos e com controle de verticalização, desse modo o recorte inicial de estudo foi feito no bairro da Jatiuca que, segundo ao Plano diretor Municipal (2006), à Macrozona de Adensamento Controlado na planície costeira, que entre suas diretrizes estão elencadas a “*verticalização compatibilizada com o conforto ambiental, maior controle do adensamento onde há saturação viária e manutenção ou incentivo ao uso residencial*” (PLANO DIRETOR MUNICIPAL, 2006, p49), com coeficiente de aproveitamento do terreno básico de 4 e máximo de 4,5. Foi utilizada para simulação uma área de 170 metros por 170 metros, contendo principalmente edificações de dois pavimentos, com uso comercial e de serviços, edificações variando de 3 a 6 metros de altura, fachadas e comprimentos do lote de aproximadamente 11 metros e 15 metros, respectivamente. O coeficiente de aproveitamento de terreno na região indica o máximo de área que pode ser utilizada dentro do lote, conjuntamente com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (PREFEITURA DE MACEIÓ, 2007) que estipula a altura máxima e quantidade de pavimentos possíveis na região. A seguir, são apresentados os dados utilizados para simulação (Tabela 7).

**Tabela 7 - Dados meteorológicos utilizados para simulação computacional**

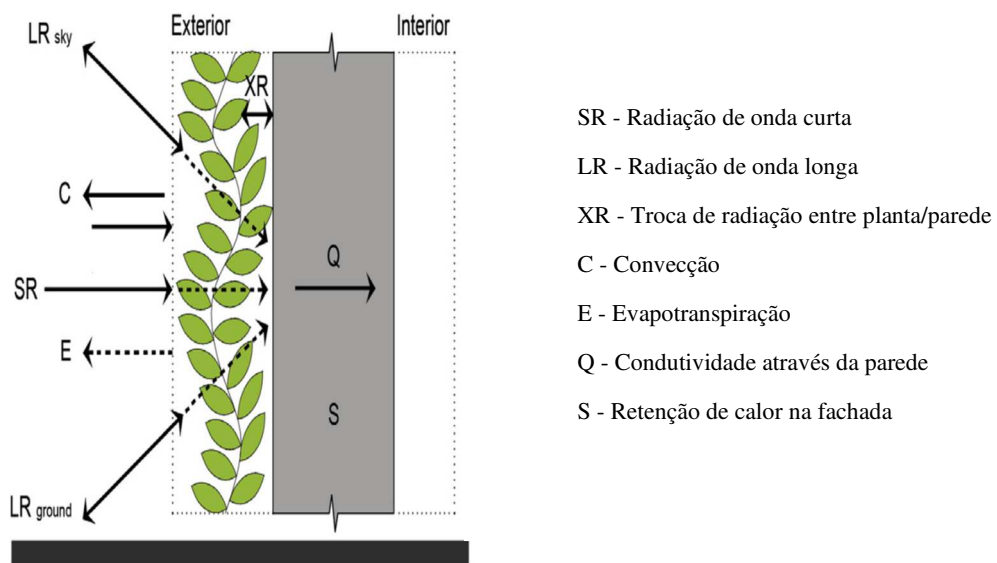
Latitude	-9.65
Longitude	-35.70
Dia de simulação	28/01/2016 - verão
Referencial de Longitude	-35
UTC	-3
Altitude geográfica	11
Dimensões do recorte	170m x 170m
Coordenadas X, Y do enquadramento inferior esquerdo do recorte	746;231
Dimensões de grade do programa computacional	1m x 1m x 3m
Quadriculas utilizadas para área simulada	170x 170 x10
Quadriculas extras da área de entorno	3
Modelo simulado no padrão de malha	180x 180 x 35
	21:00
Temperatura do ar (inst)	27°C / 300 K
Umidade Relativa do ar	75 %
Umidade Absoluta do ar (2500m) (NATAL – RN)	4,24 g/kg
Velocidade do vento	3.7 m/s
Direção do Vento	92°
Radiação global (max)	1067Wh
Nebulosidade (oitavas)	6,4

Fonte: Autora, (2016).

Inicialmente, para a elaboração da área de estudo, foram criados arquivos de entrada do programa, arquivos esses que possuem informações do recorte estudado, tanto geográficos, quanto dados climáticos. O ENVI-met® V 4 (BRUSE, 2013) possibilita a criação de paredes individuais, as quais podem ser caracterizadas com materiais contidos na base de dados do sistema ou novos dados adicionados pelo usuário, para a presente pesquisa, foi elaborada uma parede individual com características baseadas na pesquisa de Susorava; Ângulo; Bahrami; Stephens (2015) que trazem dados sobre as características de evapotranspiração das folhas, fluxo de calor, processos fisiológicos da planta, entre outros fatores referentes a envoltórias vegetadas.

A figura abaixo (figura 82) traz as trocas que ocorrem com a incidência da radiação na fachada vegetada com o meio. Essas informações foram utilizadas como base de alimentação de dados para as simulações com utilização de envoltórias vegetadas, considerando os revestimentos vegetados para elementos verticais.

**Figura 82 - Balanço energético da fachada vegetada**



Fonte: SUSOROVA; ANGULO; BAHRAMI; STEPHENS, 2015.

Foram adotados como dados base para configuração da fachada vegetada (Tabela 8):

**Tabela 8 - Dados utilizados para a parede verde**

Espessura	0,2 m
Absorção	0,7
Emissividade	0,9
Resistência térmica	0,25 m <sup>2</sup> K/W
Densidade	672 kg/m <sup>3</sup>
Calor Específico	468 J/kgK

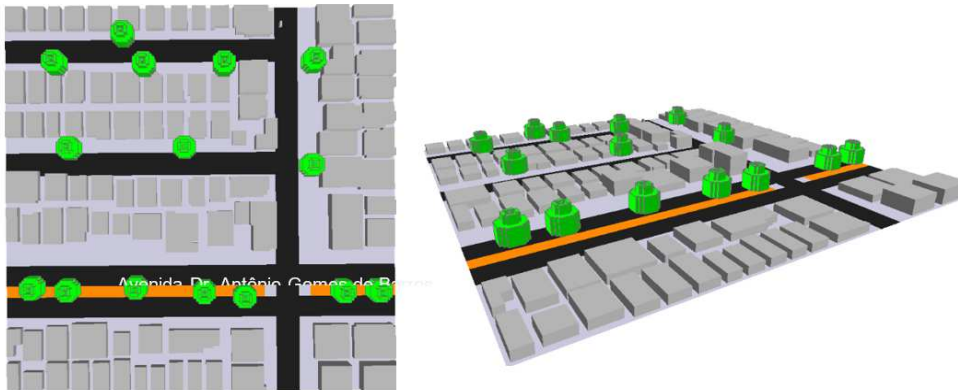
Fonte: SUSOROVA; ANGULO; BAHRAMI; STEPHENS, 2015.

Foram criados três cenários de simulação, o primeiro remete as suas características urbanísticas reais baseadas pela observação da vista área pelo Google Earth (GOOGLE, 2016) (figura 83), sendo o *CASO 1* de estudo; o segundo possui o acréscimo de elementos vegetados verticalmente no sentido transversal a Avenida Dr. Antônio Gomes de Barros (figura 84), designado como *CASO 2*; e o terceiro estudo possui os mesmos elementos em duas ruas paralelas a Avenida principal (figura 85), último recorte estudo denominado como *CASO 3*.

Devido à utilização de dados gerais de Maceió, os estudos de caso iniciais foram realizados para avaliar a sensibilidade do programa computacional e as possibilidades de modificação de elementos e materiais já existentes em sua base de dados para a região estudada, são esperados dados resultantes da simulação quanto a temperatura do ar e umidade relativa do ar na altura do observador, onde o *CASO 1* é utilizado para calibração do programa para o contexto urbano e climático de Maceió -AL.

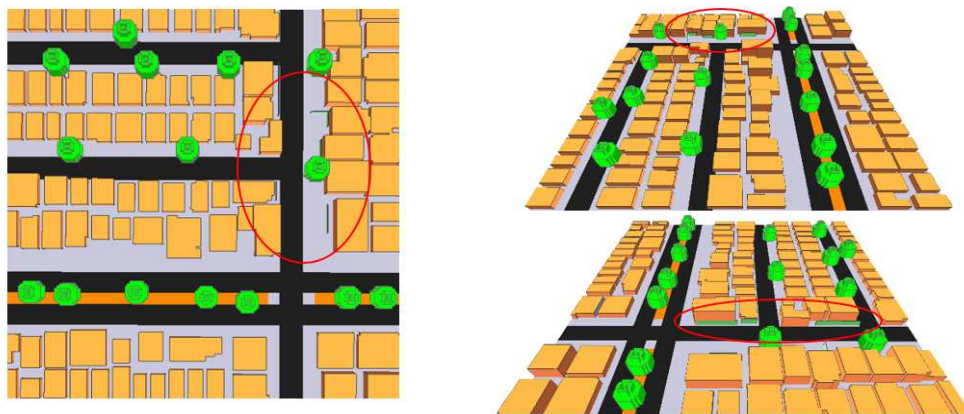
Os *CASO 2* e o *CASO 3* trazem resultados quanto as temperaturas e umidades do ar a 1,5 metros de altura do solo, para comparação com o cenário baseado nas características reais, observando o efeito dos arranjos desses elementos vegetados no ambiente térmico e na configuração urbana.

**Figura 83 - Cenário 1 - Recorte urbano do bairro de Jatiúca, Maceió -AL - CASO 1**



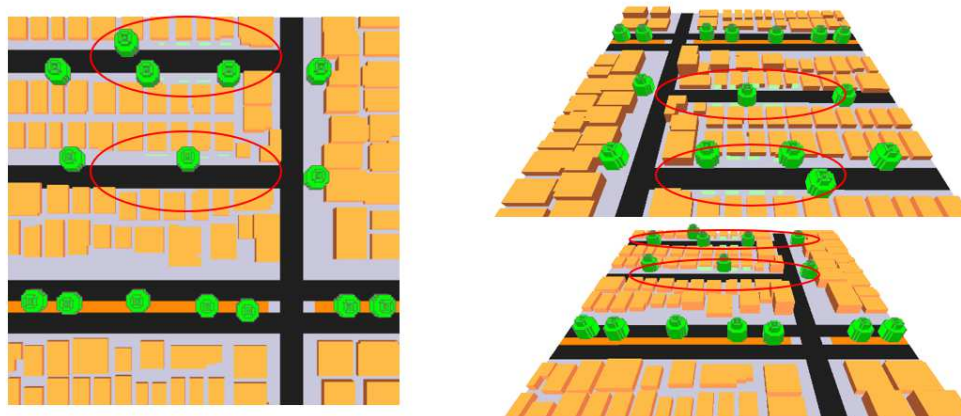
Fonte: Autora, (2016).

**Figura 84 - Cenário 2 - Recorte urbano modificado, com acréscimo de elementos vegetativos verticais – CASO 2**



Fonte: Autora, (2016).

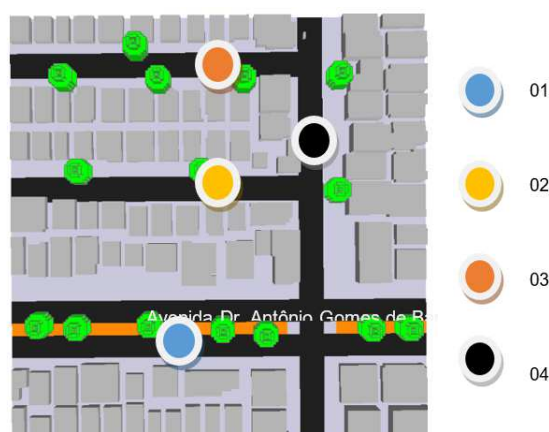
**Figura 85 - Cenário 3 - Recorte urbano modificado, com acréscimo de elementos vegetativos verticais ao longo das vias paralelas a Avenida Dr. Antônio Gomes de Barros – CASO 3**



Fonte: Autora, (2016).

Inicialmente foi realizado o tratamento estatístico básico para a interpolação dos dados utilizados da base do INMET e dos dados de saída da simulação, sendo observado que o desvio médio padrão foi de  $-0,64$  e o erro médio quadrático atingiu  $1,04$ , os resultados obtidos permaneceram dentro da margem de erro aceitável. A partir da confirmação da possibilidade de utilização da simulação, foram analisadas informações relevantes a temperatura do ar e umidade relativa do ar tanto do cenário baseado no real, *CASO 1*, quanto das áreas modificadas com a inserção dos elementos vegetativos, *CASO 2 e 3*. Foram escolhidos quatro pontos de estudos dentro do recorte urbano para aplicação de receptores (pontos de captação de dados), um ponto em cada via, seguindo o posicionamento da figura a seguir (Figura 86):

**Figura 86 - Recorte com as demarcações dos receptores**



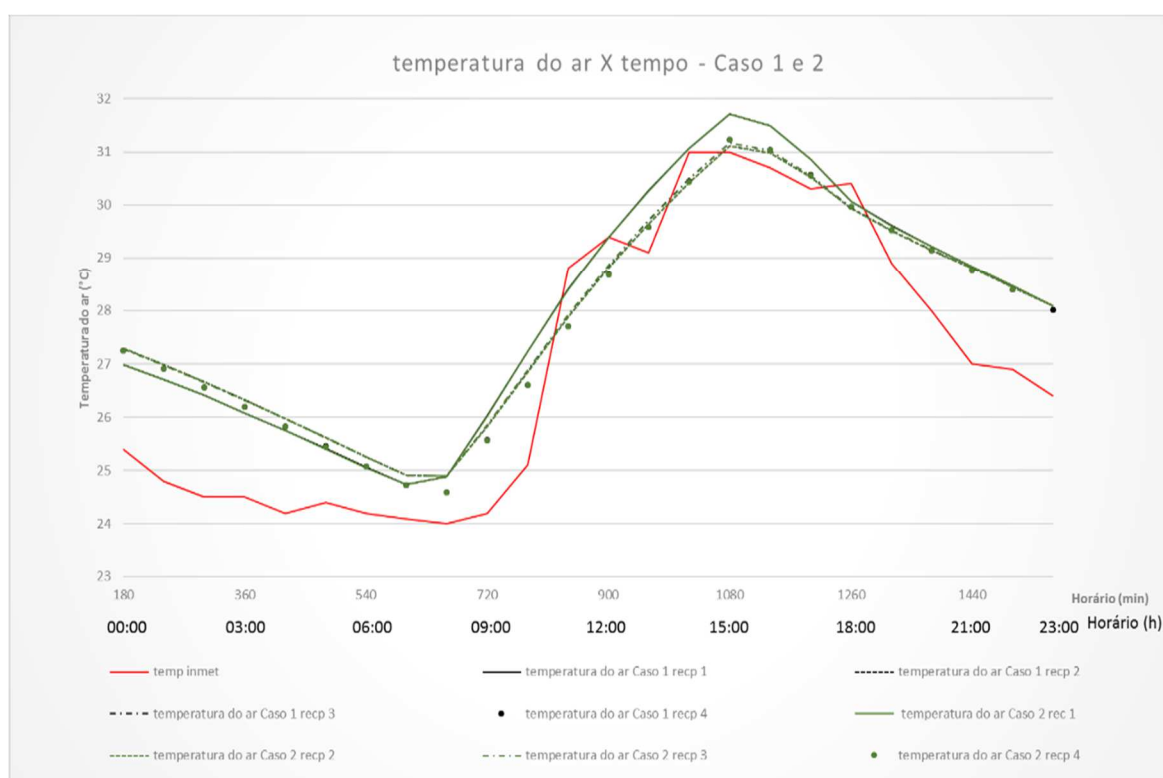
Fonte: Autora, (2016).

Os cenários foram simulados para a obtenção de 48 horas de dados, inicialmente as simulações apresentaram um padrão não satisfatório sobre a curva de temperatura do ar, demonstrando um decréscimo constante em relação aos dados de entrada, caracterizando uma falha na simulação. A partir deste fato, as demais simulações foram realizadas com o sistema forçado presente no programa computacional, que gera uma tendência de curva a ser apresentada nas primeiras 24 horas sendo alimentados dados de temperaturas e umidades do ar mínimas e máximas e seus horários de ocorrência, e os dados posteriores a essa são obtidos com base em alimentação cíclica (retroalimentação) do próprio ENVI-met, o que levou ao fato de nas novas simulações ser utilizado o padrão de 72 horas de processamento. Diante das modificações realizadas, os dados obtidos seguiram a tendência inicial das 24 horas de simulação e os dados utilizados para avaliação foram referentes as 48 horas posteriores, dando mais segurança ao resultado estudado.

Com resultados iniciais referentes ao recorte em estudo, para o *CASO 1* de simulação (situação “real”) foi verificado que os receptores 01 e 04 apresentaram maior variação entre os demais pontos de medição tanto no período noturno quanto no diurno a diferença entre a temperatura mais elevada entre esses receptores é de aproximadamente 0,7 °C às 15 horas. Os receptores 02 e 03 obtiveram dados aproximados e baixa variância ao decorrer do dia.

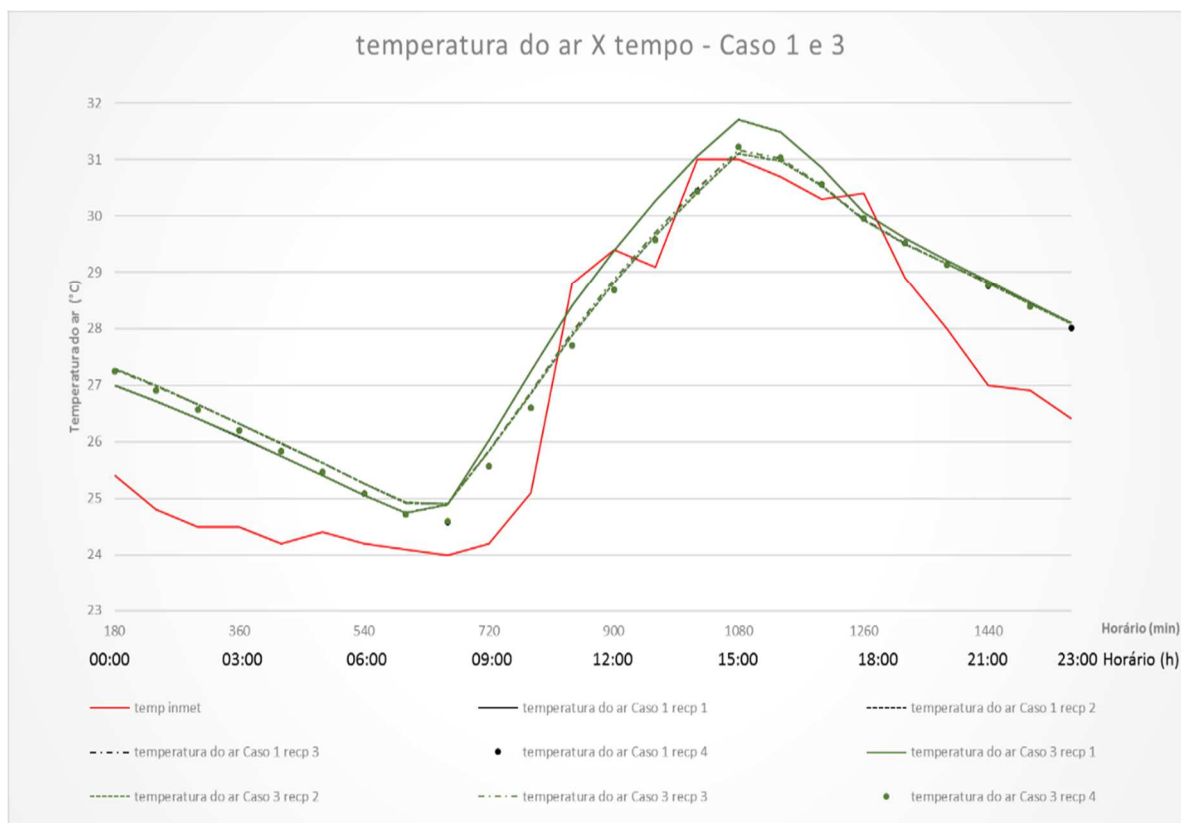
Ao aplicar as envoltórias vegetadas no recorte urbano, *CASO 2 e 3*, foi verificado que as mesmas não geraram influência no microclima urbano, em todos os pontos observados os resultados obtidos mostram que tanto a temperatura quanto a umidade do ar não sofreram modificação em relação ao *CASO 1* da área estudada. Ao se observar os gráficos 1 e 2, os dados obtidos entre o *CASO 1* por 2 e o *CASO 1* por 3 estão semelhantes ao logo do perfil diário, apresentando variação que não atinge 0.1°C.

**Gráfico 1- Temperatura do ar pelo tempo, relação entre o Caso 1 e o Caso 2**



Fonte: Autora, (2016).

**Gráfico 2- Temperatura do ar pelo tempo, relação entre o Caso 1 e o Caso 3**



Fonte: Autora, (2016).

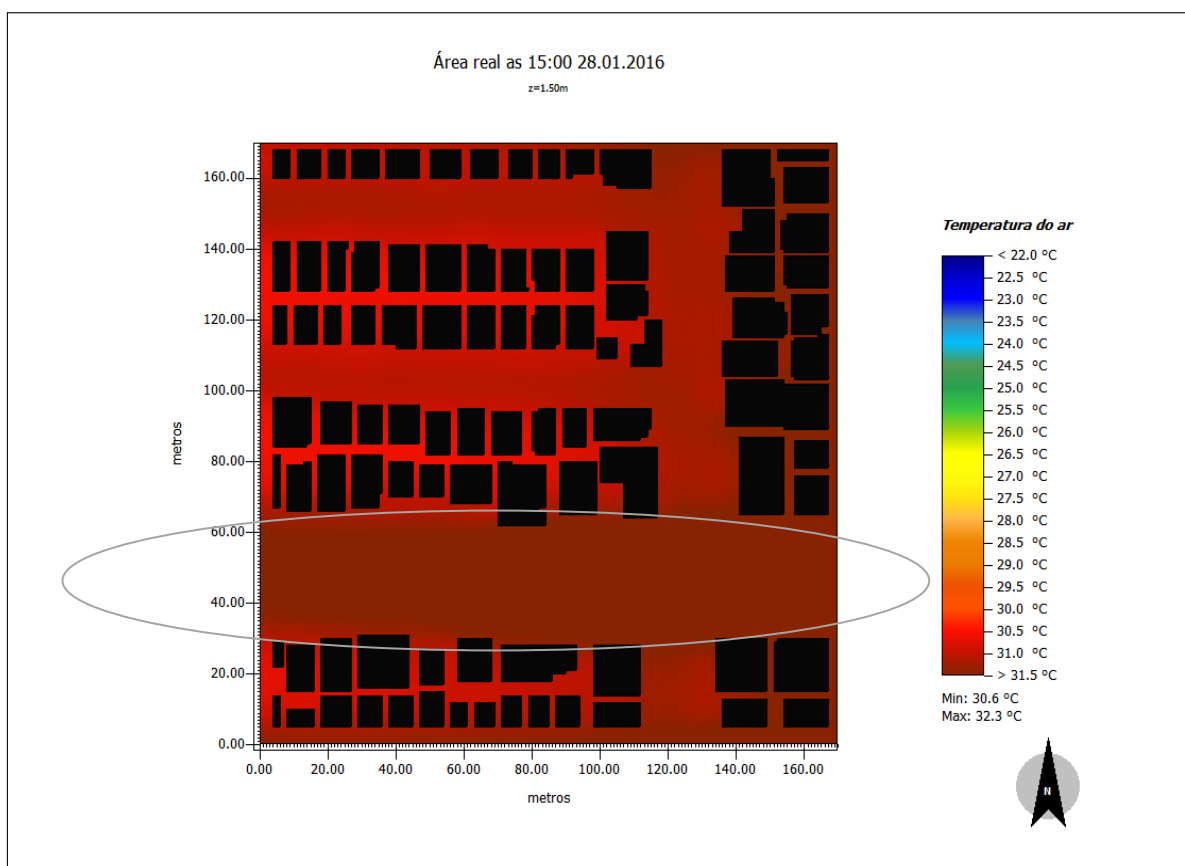
Os resultados dos receptores não apresentam diferença de valores, desse modo foi realizado o estudo do recorte a partir de imagens geradas pelo próprio programa computacional com as manchas de temperatura e umidade do ar no espaço, como demonstram as figuras a seguir, imagens essas obtidas pelo aplicativo LEONARDO.

As imagens geradas apresentam eixos com medidas em metros da dimensão do recorte, e a variação de cores que aparecem na ilustração é baseada no gradiente presente na legenda, com variação de  $0,5^{\circ}\text{C}$  entre cada marcação e possuindo as temperaturas mínima e máxima apresentadas na base de dados do programa para o horário de simulação em questão apresentado. Essa imagem é feita a partir do corte a 1,5 metros de altura do solo com a finalidade de obter a temperatura mais próxima as atividades a altura do usuário.

Através da figura 87, observa-se que ao longo da Av. Dr. Antônio Gomes de Barros a temperatura do ar é mais elevada, possuindo aproximadamente  $32,3^{\circ}\text{C}$ , enquanto o restante das vias apresenta temperatura do ar de até  $31^{\circ}\text{C}$ . O recorte tem a variação de temperatura do ar em aproximadamente  $1,7^{\circ}\text{C}$  em sua totalidade.



**Figura 87 - Imagem referente a temperatura do ar no recorte do Caso 1 a 1,5m de altura do solo**

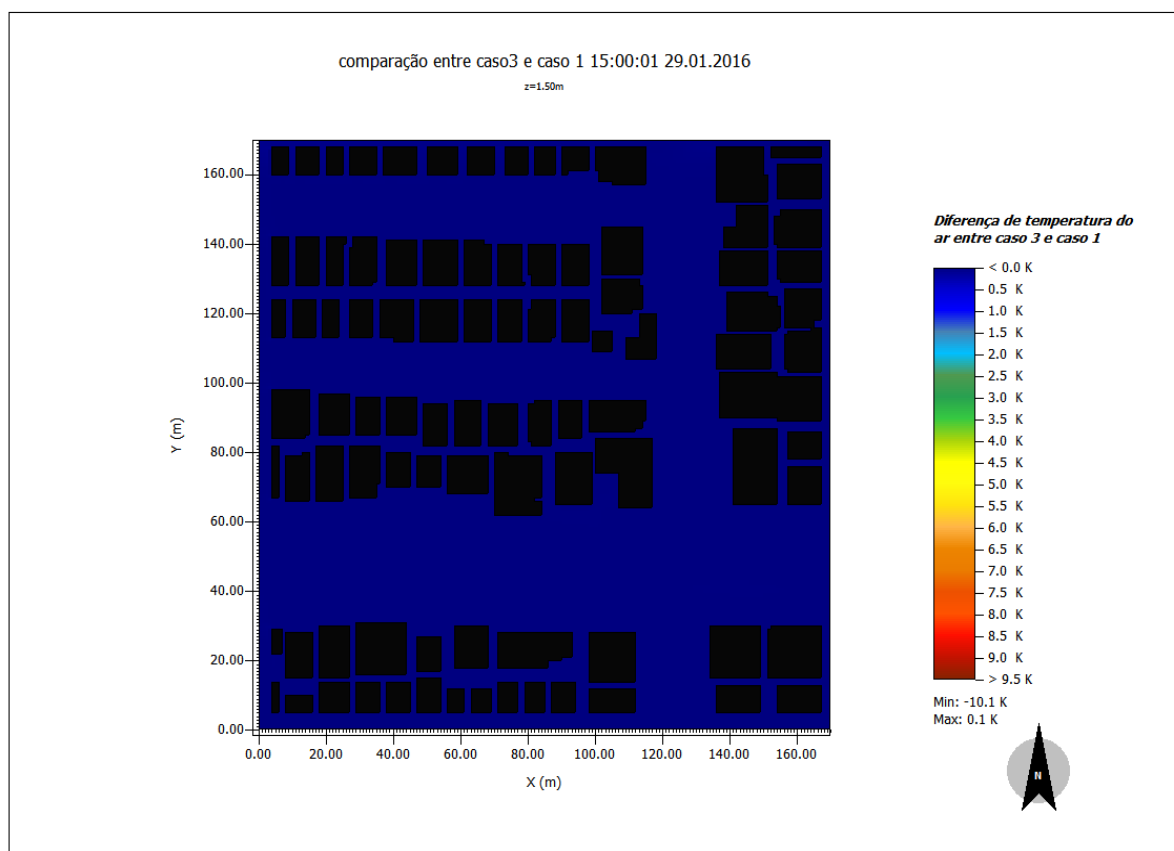


Fonte: Autora, (2016).

Áreas intralotes nas quadras centrais possuem as menores temperaturas do ar, 30,6°C, onde possui revestimento de solo diferenciado das vias, tanto intralotes quanto em calçadas foi utilizado o concreto cinza escuro (propriedade presente na base de dados do programa computacional) para aplicação no recorte.

Comparando os casos de estudo (figura 88), tanto o *CASO 2* quanto o *3* não apresentam diferenças de temperatura na totalidade do recorte em relação ao *CASO 1*.

Ao analisar os elementos utilizados para a simulação foi observado que nos resultados preliminares dessa pesquisa a fachada vegetada em pequenas proporções dentro do cenário urbano não gerou influências diretas no microclima local, usando como base de estudo a temperatura do ar.

**Figura 88 - Representação gráfica referente a comparação CASO 1 e CASO 2 e 3**

Fonte: Autora, (2016).

Um ponto a ser levado em consideração é que a temperatura do ar usada como base de início da simulação e os demais dados climáticos utilizados não são do recorte escolhido para o pré-teste, sendo um dado médio para a cidade de Maceió, o que pode ter influenciado diretamente o resultado geral das simulações. Os elementos de revestimento do solo e da composição das envoltórias edificadas não foram modificados em relação a área real, porém as propriedades da base de dados do programa são baseadas para elementos com composição e espessuras diferenciadas dos cenários urbanos brasileiros, outro fator que pode ter influenciado nos resultados gerais simulados.

## APÊNDICE B


















Criação de materiais dentro do programa computacional para melhor adequação ao local

Como observado no pré-teste apresentado anteriormente, uma das possibilidades de modificação de temperatura do ar no recorte pode ser determinada pelo material aplicado no lugar. Desse modo foram realizadas novas simulações para obter uma calibração de materiais de revestimento de solo observando as possíveis implicações de sua utilização em porcentagens no cenário climático alagoano. Utilizando as Normais Climatológicas (INMET, 1990) como base de dados, as simulações foram realizadas para 4 tipos diferentes de cenários com 4 caracterizações de porcentagem de revestimento (CAVALCANTE; BARBIRATO; SOUZA, 2016).

As simulações foram realizadas dentro de um recorte em formato de quadra, com 2401,00 m<sup>2</sup> de área total, sendo uma área com revestimento possuindo vias ao seu redor sem influência de entorno edificado. Possuindo dimensões de 49m x 49m revestida totalmente de concreto, modelo definido como padrão devido a caracterização urbanística de quadra a qual foi comparada com os demais cenários simulados, vias de 7m de largura revestida com asfalto, gerando uma grade de simulação de 63m (largura) x 63m (comprimento) x 20m (altura). Foram definidos quatro modelos de quadra com a mesma configuração em variados revestimentos do solo: arenoso, argiloso, gramado e vegetação arbórea; esses revestimentos também foram aplicados em proporções na quadra com revestimento cimentício.

Cada um dos modelos (Figura 89) apresentou quatro variações: a) totalmente revestido com um dos materiais definidos; b) com 5% da quadra revestida com um material permeável e o restante do terreno revestido de concreto; c) com 10% da quadra revestida com um material permeável e o restante do terreno revestido de concreto; d) 15% da quadra revestida com um material permeável e o restante do terreno revestido de concreto. A escolha dos percentuais 5%, 10% e 15% de permeabilidade aconteceu por serem comumente encontrados nas leis municipais vigentes e principalmente no Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (PREFEITURA DE MACEIÓ, 2006). Os modelos estudados são mostrados no quadro da Figura 89 a seguir:

**Figura 89 - Quadras utilizadas para simulação computacional**

Área padrão com 100% de revestimento de concreto		Quadras Padrão de simulação 63m (comprimento) x 63m (largura) x 20m (altura)			
Percentual de área permeável	Solo gramado	Solo argiloso	Solo arenoso	Solo com vegetação arbórea	
100% de revestimento					
5% de revestimento					
10% de revestimento					
15% de revestimento					

Fonte: Autora, (2016).

**Tabela 9 - Dados utilizados nas simulações**

Quadra (grids x,y,z)	63 x 63 x 20		
Área de alinhamento (Nesting grids)	3		
Solo A	Argiloso (Loamy soil – LO)		
Solo B	Concreto (Concrete – PP)		
Tamanho do grid	dx = 1	dy = 1	dz = 2
Localização	Maceió / Brasil		
Latitude	- 9°40'		
Longitude	- 35°44'		
Zona de hora referencial	CET/UTC-3		
Longitude referencial	- 35°		
Data inicial	06/02/1990		
Hora inicial	21:00:00		
Total de horas simuladas	36 horas		
	Direção predominante do vento		Sudeste (135°)

Ventilação predominante em fevereiro	Velocidade média do vento	5 m/s
Temperatura média mensal em fevereiro	299,45°K (26.3°C)	
Umidade específica (Natal)	5,3 g/kg	
Umidade relativa do ar em fevereiro	76,60%	
Nebulosidade	4,8	
Insolação	225,7 horas/décimos	

Fonte: Autora, (2016).

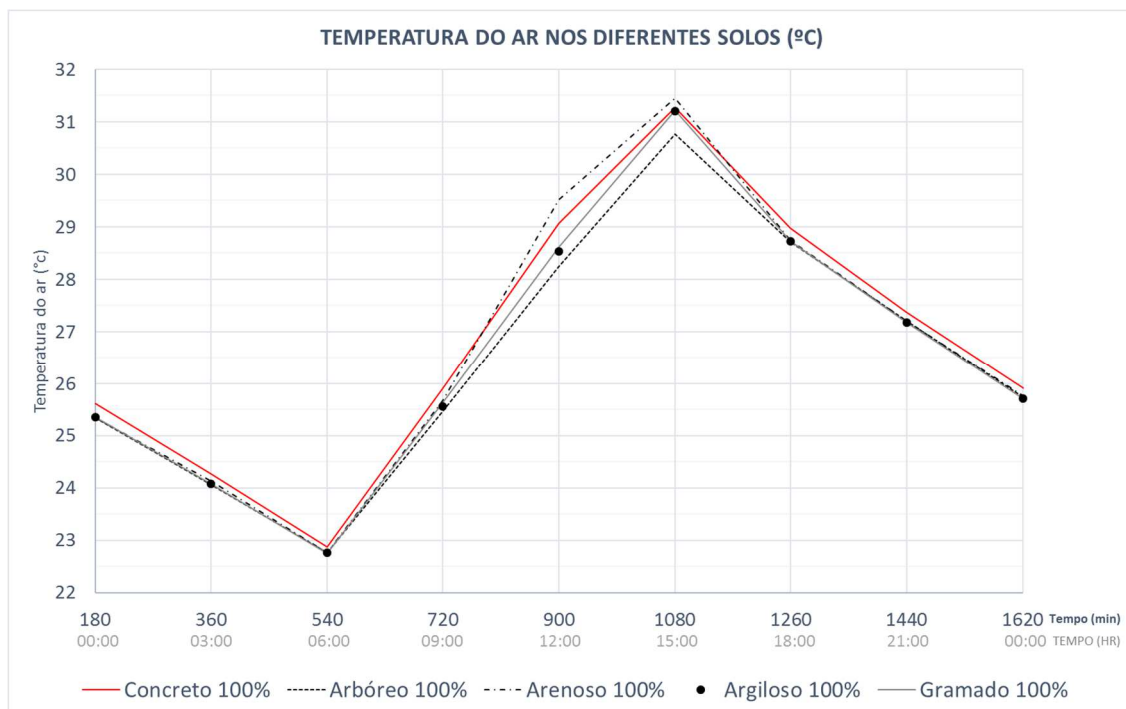
Variáveis analisadas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura radiante média e temperatura da superfície; nos horários: 00h, 03h, 06h, 09h, 12h, 15h, 18h, 21h.

Nas simulações com vegetação arbórea, as espécies utilizadas foram: laranjeira (*Citrus Aurantium*) e jacarandá-mimoso (*Jacaranda Mimosifolia*), comumente encontradas em regiões de clima tropical e que compõem o banco de dados do programa.

Analisaram-se os resultados das simulações sob dois aspectos: quanto ao comportamento térmico das quadras totalmente revestidas com tipos de solo distintos (arenoso, argiloso, gramado, vegetação arbórea e concreto); e quanto à influência dos percentuais de área permeável naquelas revestidas de concreto.

Os resultados do comportamento térmico das simulações mostraram, entre os casos estudados, um comportamento semelhante de temperatura do ar ao longo do dia para as cinco quadras analisadas. Os maiores valores foram registrados às 15h e os menores às 06h. Às 12h, observou-se uma diferença de 1,4°C entre aquelas revestidas com solo arenoso (29,6°C) e com vegetação arbórea (28,2°C) que, por não ter influência de entorno edificado ou de corpos d'água, pode ser considerado uma diferença significativa (gráfico 3).

**Gráfico 3- Temperatura do ar nas quadras totalmente revestidas com um único material**



A quadra revestida com solo arenoso apresentou uma amplitude térmica de 8,7°C, com a máxima temperatura do ar de 31,4°C registrada às 15h e a mínima de 22,7°C às 06h, enquanto aquela com vegetação arbórea apresentou a menor amplitude térmica, 8°C, com a máxima temperatura do ar de 30,7°C registrada às 15h e a mínima de 22,7°C às 06h.