

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE PLANALTINA**

ANDRÉ MIGUEL DO NASCIMENTO

**ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO NO CAMPUS UnB PLANALTINA POR
MEIO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS UTILIZANDO O SOFTWARE
ENVI-MET**

PLANALTINA - DF

2019

ANDRÉ MIGUEL DO NASCIMENTO

**ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO NO CAMPUS UNB PLANALTINA POR
MEIO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS UTILIZANDO O SOFTWARE
ENVI-MET**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Gestão
Ambiental, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Gestão
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo José da
Costa Ribeiro

PLANALTINA – DF

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Nascimento, André Miguel do

Estudo do conforto térmico no campus UnB Planaltina por meio de simulações computacionais utilizando o software ENVI-met/ André Miguel do Nascimento. Planaltina - DF, 2019. 34 f.

Monografia - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientador: Rômulo José da Costa Ribeiro

1. Urbanização, 2. Gestão Ambiental, 3. Vegetação, 4. Clima Urbano. I. Nascimento, André Miguel do. II. Estudo do conforto térmico no campus UnB Planaltina por meio de simulações computacionais.

ANDRÉ MIGUEL DO NASCIMENTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de gestão ambiental, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em gestão ambiental.

Banca examinadora:

Planaltina-DF, 03 de julho de 2019.

Prof. Dr. Rômulo José da Costa Ribeiro

Prof. Dr. Caio Frederico e Silva

Prof. Dr. Tamiel Khan Baiocchi Jacobson

RESUMO

O processo de crescimento urbano das cidades, sem um planejamento ambiental, vem causando sérios problemas de aumento de temperatura e desconforto térmico nos meios urbanos. Essa falta de planejamento do crescimento urbano está frequentemente ligada à supressão da vegetação local e impermeabilização dos solos. O Campus Planaltina da Universidade de Brasília, não vem se desenvolvendo segundo o plano diretor e não agrega de maneira efetiva o parque ecológico que o cerca. O principal objetivo do estudo é compreender o impacto no conforto térmico, de inserção de vegetação através de simulação computacional utilizando o *software* ENVI-met. A área de estudo, com cerca de 250000m², engloba todo o Campus Planaltina e arredores. Foram utilizados dados climáticos do INMET, *Universidade de Wyoming e Projeteo* para realização das simulações, que foram rodadas por 24h do dia 21/09/2018, dia típico de setembro (mês de mais calor no Distrito Federal). Foram então analisados os horários de 9h, 12h, 15h e 18h, sendo os outros horários dispensados por possuírem valores mais homogêneos de conforto ou desconforto térmico. Os resultados apresentam diminuição da temperatura nas áreas onde há inserção da vegetação, melhora no conforto térmico das áreas abertas e possivelmente das áreas internas dos edifícios, corroborando para a ideia da vegetação como auxiliar do microclima urbano, sendo possível reduções de 1°C em várias áreas do local de estudo no às 15h, que pelos resultados foi considerado o horário de maior desconforto térmico. A influência da vegetação se mostra principalmente nos seus arredores imediatos, perdendo efetividade com a distância, o que leva a concluir que é desejável ampliação das áreas arborizadas.

Palavras-Chave: Urbanização; Gestão Ambiental; Vegetação; Clima Urbano.

ABSTRACT

The process of urban growth of cities, without an environmental planning, has been causing serious problems of temperature increase and thermal discomfort in urban environments. This lack of urban growth planning is often linked to suppression of local vegetation and soil sealing. The Planaltina Campus of the University of Brasília, has not developed according to the master plan and does not effectively add to the ecological park that surrounds it. The main objective of the study is to understand the impact on thermal comfort of vegetation insertion through computer simulation using ENVI-met software. The study area, with about 250000 m², encompasses the entire Campus Planaltina and surrounding area. Climatic data from INMET, University of Wyoming and Projeteo were used to perform the simulations, which were run for 24 hours on 09/21/2018, typical day of September (hotter month in the Distrito Federal). The hours of 9h, 12h, 15h and 18h were analyzed, and the other schedules were dispensed because they had more homogeneous values of comfort or thermal discomfort. The results show a decrease in temperature in the areas where vegetation is inserted, improvement in the thermal comfort of open areas and possibly of the internal areas of buildings, corroborating the idea of vegetation as an auxiliary of the urban microclimate, being possible reductions of 1°C in several areas of the place of study at 15, which by the results was considered the time of greatest thermal discomfort. The influence of the vegetation is shown mainly in its immediate surroundings, losing effectiveness with distance, which leads to the conclusion that it is desirable to expand the forested areas.

Keywords: Urbanization; Environmental Management; Vegetation; Urban Climate.

I. LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carta Bioclimática de Givoni	4
Figura 2 – Carta bioclimática de Givoni.....	5
Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro	6
Figura 4 – Carta Bioclimática usada para Brasília.....	7
Figura 5 - Localização do Campus UnB Planaltina com relação à Brasília - DF.	12
Figura 6 – Área de 500m ² onde se encontra o Campus UnB-Planaltina	13
Figura 7 – Rosa dos Ventos de Planaltina – DF	15
Figura 8 – Mapa do Campus UnB Planaltina	16
Figura 9 - Modelo de simulação baseado no cenário real	17
Figura 10 - Modelo de simulação 3D baseado no cenário real.....	17
Figura 12 - Modelo de simulação baseado no cenário proposto.....	17
Figura 11 - Modelo de simulação 3D baseado no cenário proposto	17
Figura 13 - Variação de temperatura entre cenário real e cenário proposto no horário de 9h. 18	
Figura 14 - Temperatura do ar em modelo de simulação real x modelo de simulação com intervenção proposta para o horário de 09h.	19
Figura 15 - PMV modelo real x modelo com intervenção proposta às 09h.....	19
Figura 16 - Variação de temperatura entre cenário real e cenário proposto no horário de 12h20	
Figura 17 - Temperatura do ar em modelo de simulação real x modelo de simulação com intervenção proposta para o horário de 12h.	21
Figura 18 - PMV modelo real x modelo com intervenção proposta às 12h.....	21
Figura 19 - Variação de temperatura entre cenário real e cenário proposto no horário de 15h22	
Figura 20 - Temperatura do ar em modelo de simulação real x modelo de simulação com intervenção proposta para o horário de 15h.	23
Figura 21 - PMV modelo real x modelo com intervenção proposta às 15h.....	23
Figura 22 - Variação de temperatura entre cenário real e cenário proposto no horário de 18h24	
Figura 23 - Temperatura do ar em modelo de simulação real x modelo de simulação com intervenção proposta para o horário de 18h.	25
Figura 24 - PMV modelo real x modelo com intervenção proposta às 18h.....	25

II. LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variáveis condicionantes de conforto térmico em espaços abertos. Fonte: (Campanhoni, 2011).....	3
Quadro 2 – Escala numérica do índice PMV de Fanger (1972) (Predicted Mean Vote – Voto Médio Estimado).	8
Quadro 3 – Correlação entre o valor número do índice PMV, a sensação térmica dada em cada um desses valores e o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) com a sensação térmica.....	8
Quadro 4 - Sensação térmica e nível de estresse térmico para os índices PMV e PET.....	9
Quadro 5 - Dados climáticos.	14

III. SUMÁRIO

RESUMO	III
ABSTRACT	III
I. LISTA DE FIGURAS.....	IV
II. LISTA DE QUADROS	IV
III. SUMÁRIO	V
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	1
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
3.1. CONFORTO TÉRMICO	2
3.2. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO	3
3.3. INFLUÊNCIA DO CLIMA.....	10
4. MATERIAIS E MÉTODOS	12
4.1. ÁREA DE ESTUDO	12
4.2. DADOS CLIMÁTICOS	13
4.3. SOFTWARE.....	15
5. RESULTADOS	18
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUÇÃO

Segundo Silva (2013), o processo de urbanização intensa pelo qual as cidades vêm passando, evidencia graves problemas de ordem ambiental. Alguns problemas afetam diretamente o conforto do usuário, assim, alguns dos fatores mais agravados pela urbanização foram o aumento da impermeabilização do solo e a consequente alteração do microclima urbano. Essas alterações ao solo natural tornam o centro urbano cada vez mais desconfortável termicamente segundo exposto por.

Além da alteração do solo, um problema frequentemente notado na urbanização é a supressão da vegetação local. De acordo com Shinzato e Duarte (2018), a ausência da vegetação influencia no aumento da temperatura do ar devido ao aquecimento das superfícies (pisos, fachadas e coberturas) ao longo do dia e na redução de superfícies evaporativas que realizam trocas térmicas úmidas.

Com a deficiência no quesito conforto térmico nos meios urbanos, a tendência é cada vez mais a busca por soluções rápidas como ventilação artificial, a qual demanda mais energia elétrica pelo uso de aparelhos, o que por consequência gera ainda mais calor no ambiente externo urbano.

A alteração dos microclimas urbanos, muitas vezes, gera áreas desconfortáveis termicamente, pois o incremento dos materiais impermeáveis e, ainda, a retirada da cobertura do solo ou vegetal aumentam o fenômeno de ilhas de calor urbanas, entre outros problemas diretamente relacionados com a qualidade de vida das pessoas (SILVA, 2013).

Werneck (2018) mostra que uma alteração relacionada ao clima que pode ser observada nas cidades é a ilha de calor urbana (ICU) que, segundo a Agência de Proteção Ambiental Norte-americana EPA (Environmental Protection Agency, 2008), se caracteriza por áreas urbanas mais aquecidas que a vizinhança menos urbanizada e rural. O efeito pode ser observado na superfície e na atmosfera urbana.

Silva (2013) destaca que a qualidade na cidade está diretamente relacionada à condição de incorporar o ambiente natural na composição do ambiente urbano, desconstruindo o conceito de cidade opositor ao conceito de natureza.

Ainda segundo Shinzato e Duarte (2018), a inserção de vegetação em áreas urbanas, pode vir a ser uma das melhores estratégias na mitigação do aquecimento urbano, considerando que as plantas servem como reguladoras do clima nas cidades, além de atuarem também como proteção da envoltória nos edifícios, atuando nos fluxos de calor das coberturas e fachadas, podendo auxiliar no controle térmico dentro das edificações.

Considerando então o contexto do campus UnB Planaltina, que nasceu dentro de um parque ecológico na região de Planaltina-DF e traz cursos de natureza ambiental e visão sustentável, o crescimento do campus até o presente momento, não ocorreu como previsto no plano diretor do campus e se deu de forma não agregadora para com a natureza que o cerca.

2. OBJETIVOS

Compreender o impacto no conforto térmico por meio do uso de vegetação simulada. Experimentar o uso do Software ENVI-MET, com dados da estação meteorológica localizada na Estação ecológica de Águas Emendadas em Planaltina-DF. E realizar

análise comparativa do Campus UnB-Planaltina no cenário atual com ausência de vegetação e uma situação hipotética com vegetação inserida.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. CONFORTO TÉRMICO

De acordo com Lamberts, Dutra, Pereira (1997), conforto ambiental pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo.

A zona de conforto pode ser definida como o “alcance das condições climáticas onde a maioria das pessoas não sentiriam desconforto térmico, seja por calor ou frio” (GIVONI, 1992, p. 11).

Ainda de acordo com Lamberts, Dutra, Pereira (1997), se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente Conforto Térmico.

Conforto térmico pode ser entendido então como a satisfação do indivíduo para com o ambiente térmico que o cerca.

Monteiro e Alucci (2010) colocam que grande parte dos trabalhos de conforto objetiva aplicações para ambientes fechados, uma vez que as condições climáticas internas são mais controladas e passíveis de intervenções com usuais sistemas passivos e ativos de condicionamento térmico.

Já nos espaços abertos, as variáveis climáticas são também passíveis de condicionamento, mas o controle é substancialmente menor, devido à ausência parcial ou total de confinamento.

Essa ausência de confinamento leva a certas especificidades:

- A necessidade de consideração do ganho de radiação solar;
- A importância da ação do vento conjugada com a incerteza de sua ação e impossibilidade de intervenções de controle efetivo;
- Baixo controle das variáveis temperatura e umidade do ar devido ao transporte de massa e energia proporcionado por ação dos ventos;
- E diferentes anseios de conforto térmico devido à heterogeneidade de indivíduos e atividades.

Deve-se citar ainda mais uma dificuldade, segundo Monteiro e Alucci (2010): a questão da aclimação dos indivíduos, que acaba por gerar a necessidade de estudos experimentais mais complexos que em ambientes fechados, uma vez que se tem menor controle das variáveis.

Apesar das dificuldades citadas, ainda assim grande parte dos modelos preditivos existentes para conforto térmico em espaços abertos derivam de modelos para espaços fechados ou são analogias de situações típicas destes.

Romero (2011) coloca que o conforto térmico nos espaços abertos envolve uma grande variedade de situações, desde a existência de áreas com uma vegetação e sombra densas até áreas completamente expostas ao sol e ao vento. A definição do conforto térmico é dificultada pelo fato de que os dados das estações meteorológicas não são adequados para apresentar as condições microclimáticas do sítio, sendo necessária a inclusão de fatores de correção, entre os quais pode ser considerada, por exemplo, a influência da vegetação na modificação do microclima. Os estudos de Romero (2011) também propõem que é importante realçar que a noção de conforto térmico está associada a uma boa dose de fatores psicológicos e fisiológicos, que variam de pessoa para pessoa, levando a sensações diferentes de conforto térmico, mesmo que no mesmo local.

Segundo Campanhoni (2011), para o estabelecimento de parâmetros relativos às condições de conforto térmico em espaços abertos, é necessária a incorporação das variáveis ambientais, humanas e construtivas. Por meio de levantamento de autores referentes no tema, Campanhoni (2011) classifica esses parâmetros de acordo com o Quadro 1.

Parâmetros relativos às condições de conforto térmico em espaços abertos	
Variáveis humanas	
atividades	calor gerado pelo metabolismo
vestimentas	resistência térmica da roupa
parâmetros pessoais	idade, sexo, cor da pele, peso e altura
fatores subjetivos	experiência, expectativa e adaptação térmica
Variáveis ambientais	
temperatura do ar	
umidade relativa	
velocidade do ar	
temperatura radiante média	
Variáveis construtivas	
materiais	superfícies, cobertura vegetal
formas	alturas, larguras, comprimentos
planejamento	posição dos volumes edificados, afastamentos

Quadro 1 - Variáveis condicionantes de conforto térmico em espaços abertos. Fonte: (Campanhoni, 2011)

3.2.ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Lamberts, Dutra, Pereira (1997) indicam em seu estudo que conforto térmico sempre foi um conceito subjetivo, pois diversos são os fatores e variáveis que influenciam no bem-estar térmico do homem no meio em que se encontra. Muitos pesquisadores buscaram enquadrar de forma simplificada este conceito para facilitar sua compreensão e mesmo prever quando o conforto ou desconforto ocorreria em determinada situação.

Campanhoni (2011) cita que em estudos sobre conforto térmico, verifica-se a impossibilidade de se expressar em um único fator as reações humanas ao ambiente térmico, tornando-se necessária a análise do efeito de combinação de vários fatores, como

variáveis ambientais e fatores pessoais para um único parâmetro, denominando-se assim o índice térmico.

No trabalho de Monteiro e Alucci (2010) é apresentado em relação ao panorama brasileiro, um levantamento de vários trabalhos relacionados a esses índices, publicados na primeira década deste século nos principais eventos científicos e revistas nacionais, que focam a relação entre o microclima e usuário.

Dentre esses índices, neste trabalho são destacados a Carta Bioclimática (Olgay 63 ou Givoni 92), o índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*) e o PMV (Voto médio estimado - *Predicted mean vote*).

De acordo com Campanhoni (2011), a carta bioclimática de Olgay de 1963, é um índice biofísico de conforto térmico e foi desenvolvida a partir de estudos acerca de efeitos do clima sobre o homem, quer ele esteja abrigado ou não, composta por relações entre elementos do clima e conforto térmico.

Cartas bioclimáticas facilitam a análise de características climáticas de um dado local de acordo com o ponto de vista do conforto humano, já que apresentam em um gráfico psicrométrico a combinação da temperatura e umidade em qualquer momento dado. Essas cartas também podem orientar o design de edifícios para maximizar as condições do conforto interno quando o interior do edifício não é mecanicamente condicionado. Todos esses tipos de gráficos/cartas são estruturados ao redor, e se referem à “zona de conforto” (Givoni, 1992).

A carta então, determina condições de temperatura e umidade onde existe grande probabilidade de pessoas sentirem conforto térmico. Essas são as condições que delimitam a zona de conforto, a qual pode ser obtida para a umidade relativa entre 20% e 80% e temperatura entre 18°C e 29°C.

A Figura 1 apresenta as variáveis utilizadas na carta, enquanto a Figura 2 indica com legenda cada zona.

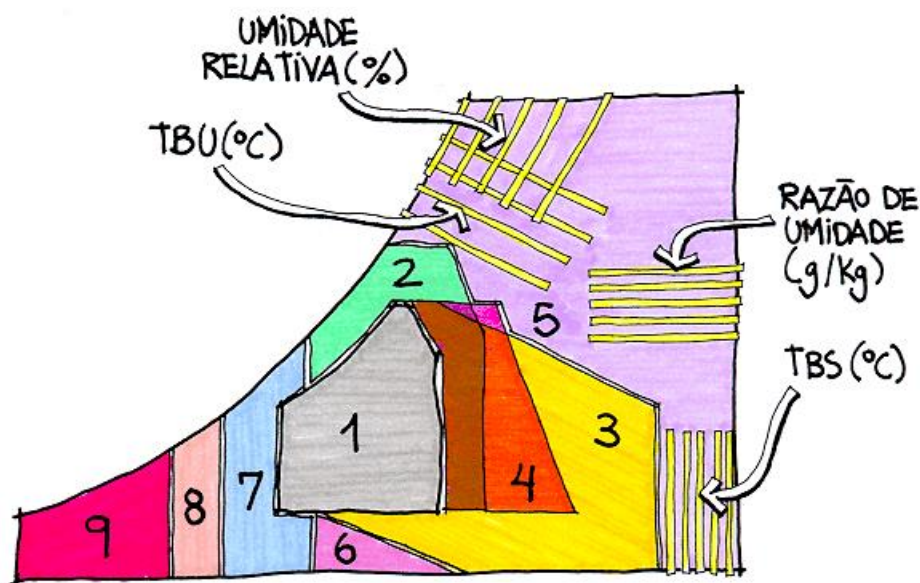


Figura 1 - Carta Bioclimática de Givoni. Fonte: Lamberts et al (1997).

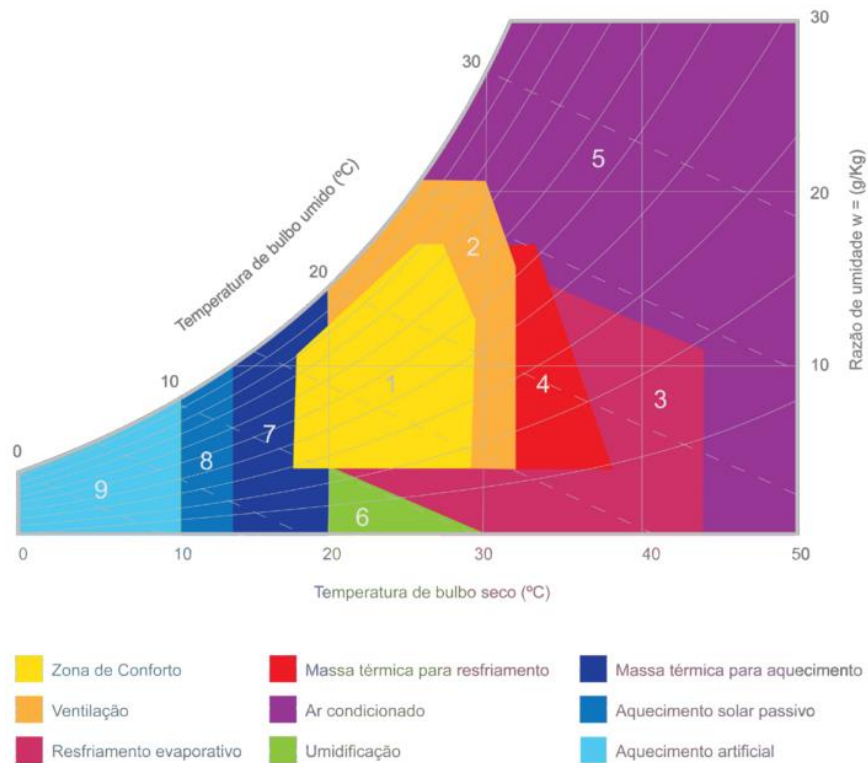


Figura 2 – Carta bioclimática de Givoni. Fonte: Campanhoni (2011).

Em 2003 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou a norma NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações. Na parte 3 da NBR: “Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social” ao mesmo tempo em que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados. Foi feita então a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, e para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho técnico das edificações, a partir de sua melhor adequação climática.

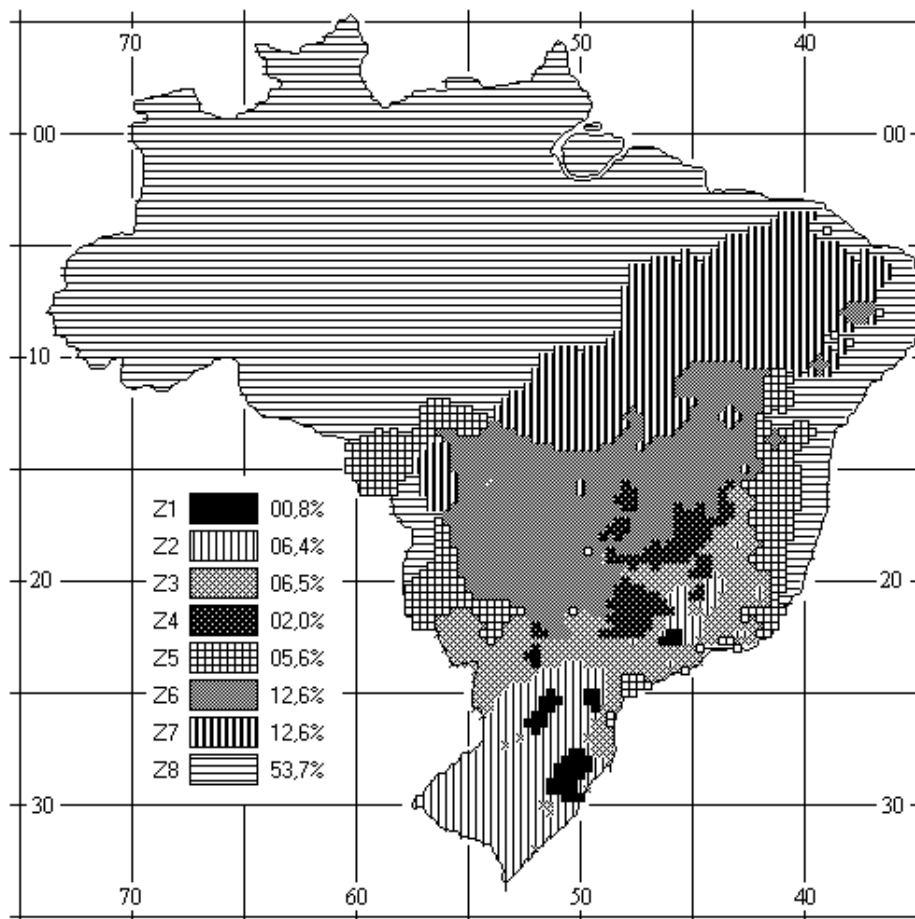


Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro. Fonte: NBR 15220 (2003).

De acordo com a NBR 15220, Brasília então foi classificada dentro da zona 4, que é indicada na Figura 3. Levando em consideração Brasília, de acordo com Romero (2011) o clima foi um dos itens considerados para a construção da capital e para a elaboração do projeto do arquiteto Lúcio Costa. E essa foi uma ótima escolha, haja vista que as temperaturas de Brasília, entre 18°C e 28° C – intervalo de temperatura situado na Zona de Conforto proposta pela Carta Bioclimática de Givoni (1992) -, representam os maiores percentuais mensais para todos os meses do ano.

A Figura 4, indica com os traços azuis a área onde se encontra Brasília na Carta Bioclimática, que de acordo com a Figura 3, estaria em sua maior parte na área considerada com Zona de Conforto.

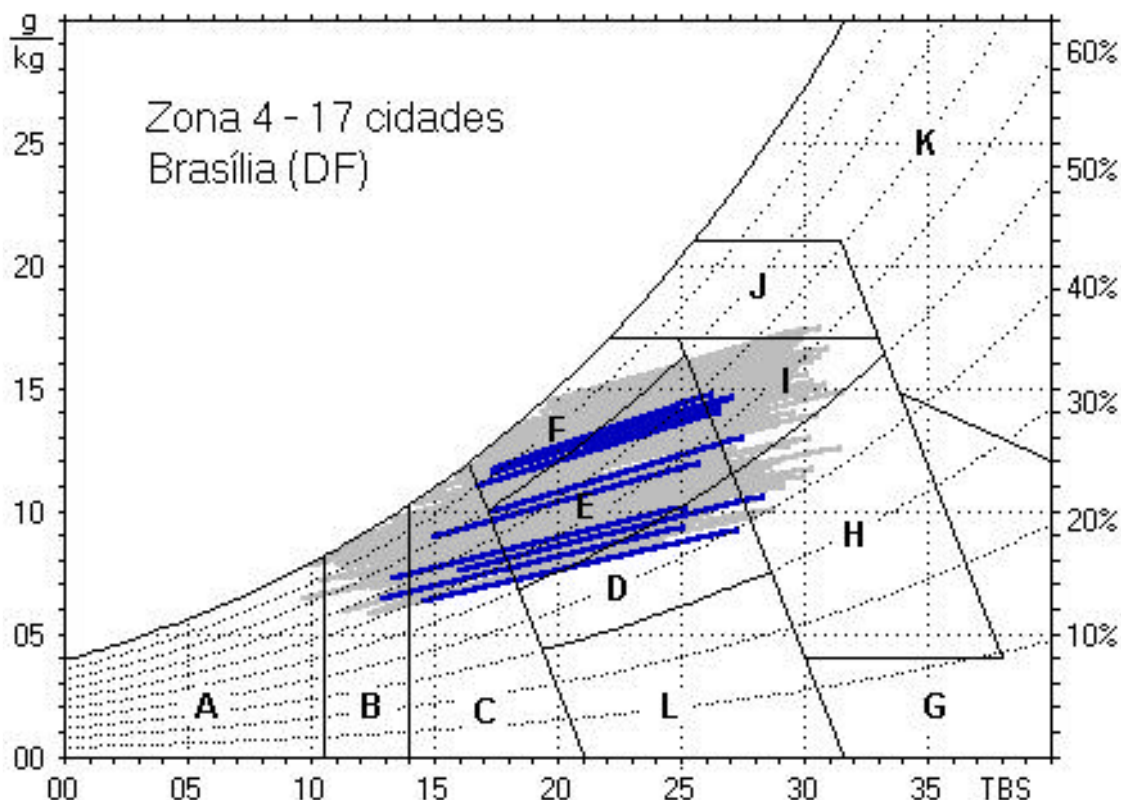


Figura 4 – Carta Bioclimática usada para Brasília. Retirado de NBR 15220 – 3ª parte, 2003.

Segundo Campanhoni (2011), apesar de a NBR 15220 ser voltada para avaliação do desempenho térmico de habitações, ela ainda assim estabelece o zoneamento bioclimático de todo o território brasileiro, assim podendo ser utilizado no estudo de áreas abertas.

Segundo estudo de Goulart et al (1998), o qual foi realizado estudo das variáveis climáticas de 14 capitais brasileiras (utilizando a Carta bioclimática como referência), pode-se concluir que Brasília é onde permanece durante maior parte do ano dentro da zona de conforto.

Entretanto, como colocado ainda por Campanhoni (2011) é importante frisar que a Carta Bioclimática apresenta dados relativos apenas a temperatura e umidade, desconsiderando aqueles como radiação solar e velocidade do vento, e também não tem resultados expressos em um parâmetro único, que facilite o detalhamento da análise.

A sensação térmica do ser humano é principalmente relacionada com o balanço térmico do seu corpo como um todo. Esse balanço é influenciado por atividade física e roupas, assim como pelos parâmetros ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar. Quando esses fatores são estimados ou mensurados, a sensação térmica do corpo como um todo pode ser predita calculando o Voto Médio Estimado (PMV).

A partir de seu trabalho experimental, Fanger (1972) avaliou pessoas de diferentes nacionalidades, idade e sexos obtendo o Voto Médio Estimado (PMV do inglês predicted mean vote) para determinadas condições ambientais. O PMV consiste em um valor número que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. O PMV para conforto

térmico é zero, para o frio é negativo e para o calor é positivo (Lamberts, Dutra, Pereira, 1997).

Segundo Campanhoni (2011), o índice prevê o valor médio dos votos de um grande grupo de pessoas numa escala numérica com sete pontos. Os valores variam de - 3 a 3 e expressam a satisfação humana em relação ao ambiente térmico.

-3	-2	-1	0	1	2	3
Muito frio	Frio	Levemente Frio	Neutro	Levemente quente	Quente	Muito quente

Quadro 2 – Escala numérica do índice PMV de Fanger (1972) (Predicted Mean Vote – Voto Médio Estimado) – Fonte: adaptado de Campanhoni (2011).

Esse valor encontrado no índice do PMV está relacionado ao PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied* – Percentual de pessoas insatisfeitas), o qual prevê informação sobre o desconforto ou insatisfação térmica prevendo a porcentagem de pessoas suscetíveis a sentir muito calor ou muito frio em dado ambiente.

Segundo a norma ISO 7730 (1994), os ambientes ideais possuem valor PMV entre -0,5 e +0,5, o que corresponde a até 10% de pessoas insatisfeitas. São toleráveis, porém, os ambientes com até 20% de pessoas insatisfeitas (Campanhoni, 2011).

PMV	SENSAÇÃO TÉRMICA	PPD
-3	Muito frio	100%
-2	Frio	75%
-1	Levemente Frio	25%
-0,5	Confortável	10%
0		5%
0,5		10%
1	Levemente Confortável	25%
2	Quente	75%
3	Muito Quente	100%

Quadro 3 – Correlação entre o valor número do índice PMV, a sensação térmica dada em cada um desses valores e o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) com a sensação térmica.

Desconforto térmico pode ser causado por aquecimento ou resfriamento local não desejado no corpo. Os fatores locais de desconforto térmico mais comuns são assimetria de temperatura radiante (superfícies quentes ou frias), corrente de ar (definido como

resfriamento local do corpo causado por movimento do ar), diferença vertical de temperatura do ar, e pisos frios ou quentes.

Assim como outros índices, o PMV foi inicialmente desenvolvido para estimativas em espaços internos, mas é usado amplamente em pesquisas sobre conforto em espaços abertos.

Baseado no modelo de balanço de calor MEMI (*Munich Energy-Balance Model for Individuals*), o índice PET (*Physiological Equivalent Temperature – Temperatura Fisiológica Equivalente*) foi desenvolvido por Höpfe (1999), sendo de grande valia para os estudos de conforto urbano, pois foi desenvolvido para modelos tanto de ambientes fechados quanto abertos.

É um índice que define a temperatura fisiológica equivalente em determinado local (seja ao ar livre ou ambiente fechado, com uma temperatura do ar igual à de equilíbrio térmico do corpo humano). Dado em graus centígrados, traduz a sensação térmica resultante da interação das quatro variáveis ambientais: a temperatura, umidade do ar, velocidade do vento e temperatura radiante média, baseado na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade, metabolismo de trabalho e vestimenta (Campanhoni, 2011).

Para a obtenção do PET, os dados climáticos do ambiente de referência e os dados individuais são estabelecidos da seguinte forma:

- Metabolismo de 80W em atividade leve, adicionado ao metabolismo básico;
- Temperatura média radiante igual a temperatura do ar;
- Velocidade do ar é definida em 0,1 m/s
- Pressão do vapor da água é definida em 12 hPa (aproximadamente equivalente a umidade relativa de 50% à 20 °C).

O Índice PET define os limites de conforto como situados entre 22 e 24°C.

PMV PET	Sensação Humana	Nível de estresse térmico
	muito frio	estresse extremo ao frio
-3,5 4 °C	-----	-----
	frio	estresse forte ao frio
-2,5 8 °C	-----	-----
	pouco frio	estresse moderado ao frio
-1,5 13 °C	-----	-----
	leve frio	estresse leve ao frio
-0,5 18 °C	-----	-----
	confortável	sem estresse térmico
0,5 23 °C	-----	-----
	leve calor	estresse leve ao calor
1,5 29 °C	-----	-----
	pouco calor	estresse moderado ao calor
2,5 35 °C	-----	-----
	calor	estresse forte ao calor
3,5 41 °C	-----	-----
	muito calor	estresse extremo para calor

Quadro 4 - Sensação térmica e nível de estresse térmico para os índices PMV e PET. Fonte: Minella, Rossi e Krüger (2011).

3.3. INFLUÊNCIA DO CLIMA

O clima constitui a fonte principal de influências térmicas sobre o ambiente, que por sua vez atuará sobre o indivíduo. Para projetar uma arquitetura que visa o conforto térmico deve-se conhecer os parâmetros climáticos locais, para um projeto que vise o melhor desempenho térmico possível (Campanhoni, 2011).

Segundo Romero (2001), o clima urbano aparece com uma categoria à parte, pois o clima local numa cidade é influenciado pelos materiais constituidores da superfície urbana, muito diferentes dos materiais das superfícies não construídas. Os materiais urbanos possuem uma capacidade térmica mais elevada que a dos materiais das áreas do entorno e são melhores condutores. A superfície urbana apresenta um aspecto mais rugoso que as superfícies construídas, acarretando uma maior fricção entre as superfícies e os ventos que as atravessam. Ao mesmo tempo, as superfícies das edificações atuam como refletoras e radiadoras que, em seu conjunto, aumentam os efeitos da radiação incidente.

A ocupação do solo em uma cidade é fundamentalmente caracterizada por uma elevada densidade edificada e de pavimentação asfaltada (ROMERO, 2011). Apenas esses elementos já conseguem causar elevação na temperatura em alguns graus centígrados e isso aliado à poluição, redução de espaços verdes e calor antropogênico liberado pela indústria, por veículos, equipamentos e atividades humanas, contribui para o surgimento de áreas com elevadas temperaturas, conhecidas como “ilhas de calor urbanas”.

Brasília se localiza no centro-oeste do Brasil, a uma latitude de 15°52' sul e 47°55' de longitude à oeste de Greenwich, com altura média de 1.100m. Já na questão climática, como apresentado por Campanhoni (2011), Brasília possui clima tropical de altitude caracterizada por amplitudes diárias e duas estações bem definidas: quente-úmida (verão) e seca (inverno).

Entretanto, como coloca Campanhoni (2011), é importante acrescentar que não necessariamente as condições climáticas de uma aglomeração urbana vão ser igual ao macroclima ao qual está inserida. O clima local da cidade é fortemente influenciado pelos materiais os quais compõem a superfície urbana.

O desempenho climático de um espaço urbano é influenciado ao passo que a urbanização aumenta, provoca modificações no meio natural e, razão desta, nas características originais do clima. Muitos problemas atmosféricos urbanos ocorrem pela não consideração da relação entre o crescimento da cidade e o meio natural. Surge então aliado as preocupações com o clima, a necessidade de estratégias para criar conforto térmico em espaços urbanos e edifícios das cidades.

Como demonstrado por Campanhoni (2011), o conforto térmico de espaços abertos envolve a incorporação de variáveis ambientais, humanas e construtivas. Portanto as variáveis ambientais que se mostram pertinentes ao estudo de conforto térmico em espaços abertos são as seguintes:

- Temperatura do ar;
- Umidade Relativa;
- Velocidade do ar;
- Temperatura radiante média (TRM).

De acordo com Lamberts et al (1997), a temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico. As perdas de calor do corpo produzidas pelo metabolismo, são menores quando a temperatura do ar está mais alta, ou maior quando está mais baixa. A sensação de conforto baseia-se nessa perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar, complementada pelos outros mecanismos termo-reguladores.

Segundo Romero (2001), há diversos fatores capaz de alterar a temperatura, como tipos diferentes de solo e água, cada um com sua absorção solar específica. As massas de ar e a topografia também são pontos que influenciam na variação da temperatura.

Segundo Campanhoni (2011), os efeitos da umidade do ar no conforto humano se dão na medida em que ela atua diretamente na capacidade da pele de evaporar o suor.

De acordo com Romero (2001), as substâncias orgânicas têm propriedades de absorção maiores que as inorgânicas. Quando os materiais contêm água, eles possuem um maior coeficiente de transmissão de calor, já que a água é um bom condutor de calor.

Com isso, ambientes que apresentam alta umidade relativa, apresentam em consequência menor evaporação, aumentando assim a sensação de desconforto térmico.

Campanhoni (2011) ainda coloca que a umidade relativa pode variar ao longo das horas e épocas do ano, devido a mudanças na temperatura do ar. A relação entre temperatura e umidade se dá pela questão da umidade aumentar quando há diminuição da temperatura e diminuir quando há aumento desta.

Segundo Romero (2001), de todos os elementos climáticos, as condições do vento são as mais modificadas pela urbanização. Por sua vez, o vento urbano é também o elemento climático que mais pode ser controlado e modificado pelo desenho urbano.

Para Campanhoni (2011) os ventos alteram a sensação térmica que sentimos, provocando sensação de resfriamento pela perda de calor corporal. Os ventos aumentam a velocidade de evaporação, reduzindo o desconforto pelo excesso de umidade. Entretanto, cada ponto geográfico, possui regime de ventilação muito irregular, o que torna difícil prever intensidade e condições em determinado momento.

Relativo à velocidade do vento em questão de conforto térmico, Souza (2006) realizou estudo em que propõe critérios para estação quente-úmida do clima tropical de altitude. Ele propõe que a velocidade do vento menor que 1m/s não consegue proporcionar o conforto térmico, enquanto uma velocidade maior que 4m/s é desagradável em ambientes externos.

Segundo Campanhoni (2011), TRM poderia ser definida como a média de todas as temperaturas superficiais, considerando área e valor de energia liberada por radiação. Considera-se o valor médio entre a radiação térmica que incide sobre as superfícies e a radiação que estas emitem de volta ao ambiente.

Ainda de acordo com Campanhoni (2011), a TRM é um dos parâmetros mais importantes no balanço de energia e no conforto térmico, sendo utilizado na equação do PMV para calcular a perda de calor sensível. Estar exposto à radiação solar, pode causar uma TRM muito superior à temperatura ambiente.

Seguindo os padrões da ISO 7730 (1994), a TRM para uma condição de conforto, deve estar entre 10°C e 40°C. Em situações de temperatura radiante média e temperatura do ar iguais, se tem condição ótima para conforto térmico e temperatura aconselhada pela ASHRAE (1993).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado em Planaltina – DF, região administrativa do Distrito Federal, com território de 1.535 km² e distância de Brasília de cerca de 28km. A figura 5 indica a localização do Campus UnB-Planaltina como sendo na entrada da região administrativa. A área de estudo engloba cerca de 250000m² identificados na Figura 6, a qual inclui o campus da Faculdade UnB Planaltina, parte do parque ecológico Sucupira e alguns conjuntos da Vila Nossa Senhora de Fátima.

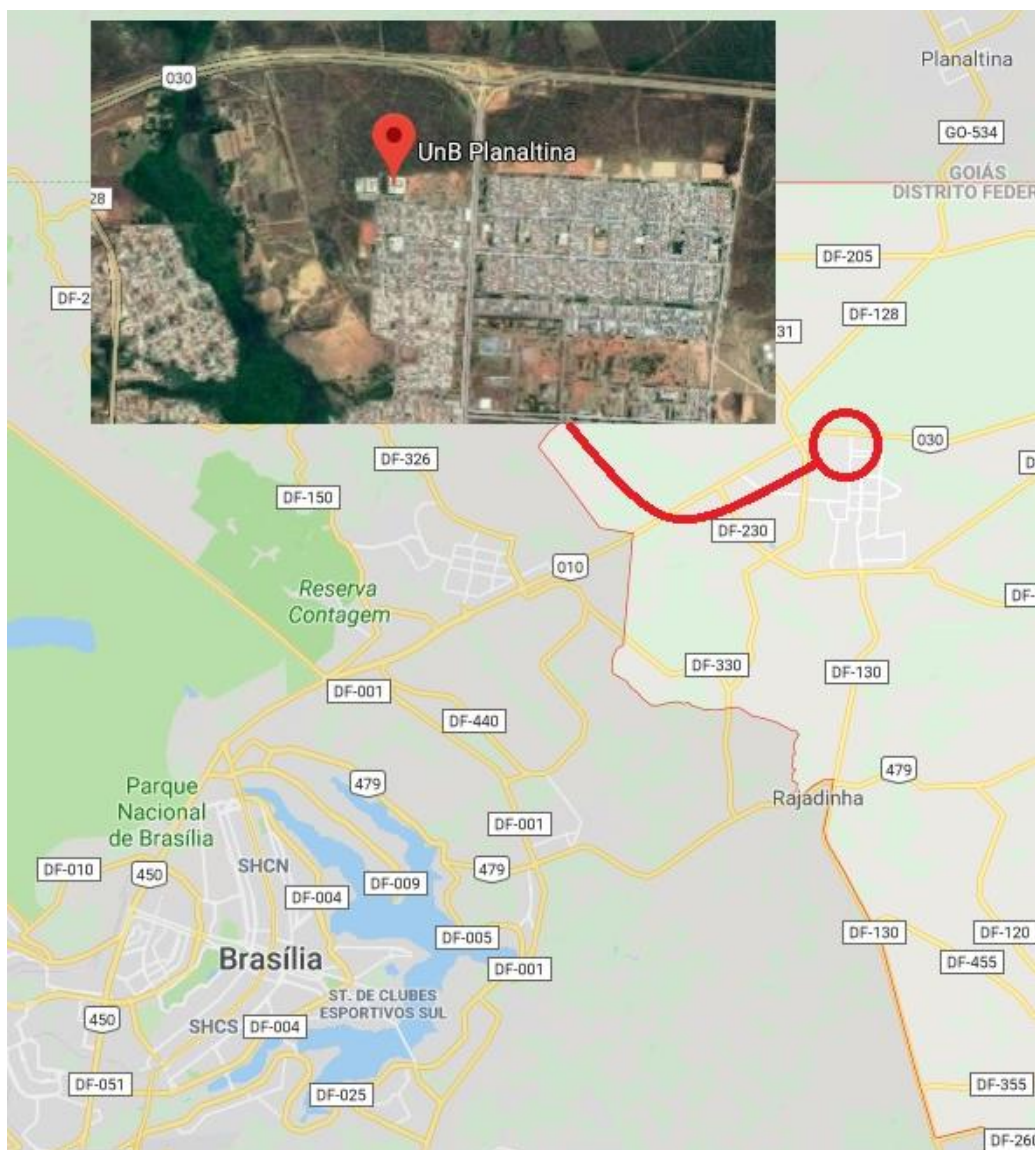


Figura 5 - Localização do Campus UnB Planaltina com relação à Brasília - DF. Fonte: Google Earth.



Figura 6 – Área de 500m² onde se encontra o Campus UnB-Planaltina. Fonte: Google Earth.

4.2. DADOS CLIMÁTICOS

Os dados climáticos relativos a temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%) (Quadro 5), foram obtidos com relação ao dia 21/09/2018, dia típico do mês mais quente no Distrito Federal, através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (<http://www.inmet.gov.br>, acessado em 10/10/2018) onde são disponibilizados dados relacionados a diversas estações meteorológicas espalhadas pelo país. No caso em questão foram retirados dados da estação automática localizada na Estação Ecológica de Águas Emendadas em Planaltina - DF.

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)		
		UTC	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.
21/09/2018	00	21.8	24.8	21.8	73	73	54
21/09/2018	01	18.9	21.8	18.9	85	85	70
21/09/2018	02	18.7	19.2	18.7	87	87	84
21/09/2018	03	18.5	19.2	18.5	89	89	85
21/09/2018	04	18.3	18.7	18.3	90	92	89
21/09/2018	05	18.9	18.9	18.2	88	90	88
21/09/2018	06	18.3	18.9	18.3	90	90	88
21/09/2018	07	17.4	18.3	17.4	91	92	90
21/09/2018	08	17.7	17.7	17.4	87	91	87
21/09/2018	09	18.1	18.1	17.6	86	89	86
21/09/2018	10	18.7	18.8	18.0	85	87	82
21/09/2018	11	21.6	21.6	18.7	72	85	72
21/09/2018	12	23.7	23.8	21.6	63	73	62
21/09/2018	13	26.4	26.7	23.7	50	63	49
21/09/2018	14	27.4	27.6	25.8	44	53	43
21/09/2018	15	28.7	28.7	27.4	38	46	36
21/09/2018	16	28.6	29.7	28.4	35	39	33
21/09/2018	17	30.4	31.1	28.6	31	36	31
21/09/2018	18	30.3	31.3	29.8	32	33	30
21/09/2018	19	28.8	30.3	28.8	36	37	32
21/09/2018	20	26.7	29.1	26.7	46	46	35
21/09/2018	21	24.2	26.7	24.2	58	58	45
21/09/2018	22	22.0	24.2	22.0	66	66	57
21/09/2018	23	20.9	22.0	20.9	70	71	63

Quadro 5 - Dados climáticos da estação meteorológica da Estação Ecológica de Águas Emendadas. (<http://www.inmet.gov.br>, acessado em 10/10/2018).

Também foram utilizados os sites da *University of Wyoming* (a qual mantém base de dados climáticos de todos os aeroportos) (<http://weather.uwyo.edu/>, acessado em 10/10/2018) para obtenção de dados sobre umidade relativa do ar numa altura de aproximadamente 2500m de altitude do solo na localização do Aeroporto de Brasília (Quadro 6), e do site *Projeteee* (<http://projeteee.mma.gov.br/>, acessado em 10/10/2018) para obtenção do gráfico da rosa dos ventos da área de Planaltina – DF (Figura 6).

83378 SBBR Brasilia (Aeroporto)
Observations at 12Z 15 Sep 2018

PRES	HGHT	TEMP	RELH
hPa	m	C	%
1000.0	128		
925.0	814		
899.0	1061	21.6	69
893.0	1119	19.2	78
850.0	1540	15.2	94
843.0	1610	14.8	97
836.0	1681	15.5	84
829.0	1753	16.2	72
810.0	1951	16.4	59
803.0	2023	15.9	60
758.0	2507	12.3	68

Quadro 6 - Umidade relativa do ar em altitude de 2500m (<http://weather.uwyo.edu>, acessado em 10/10/2018).

Dados de umidade específica a 2500m de altitude foram retirados do site da unidade de Wyoming, a qual mantém dados de bases meteorológicas em diversos aeroportos do mundo.

DADOS CLIMÁTICOS

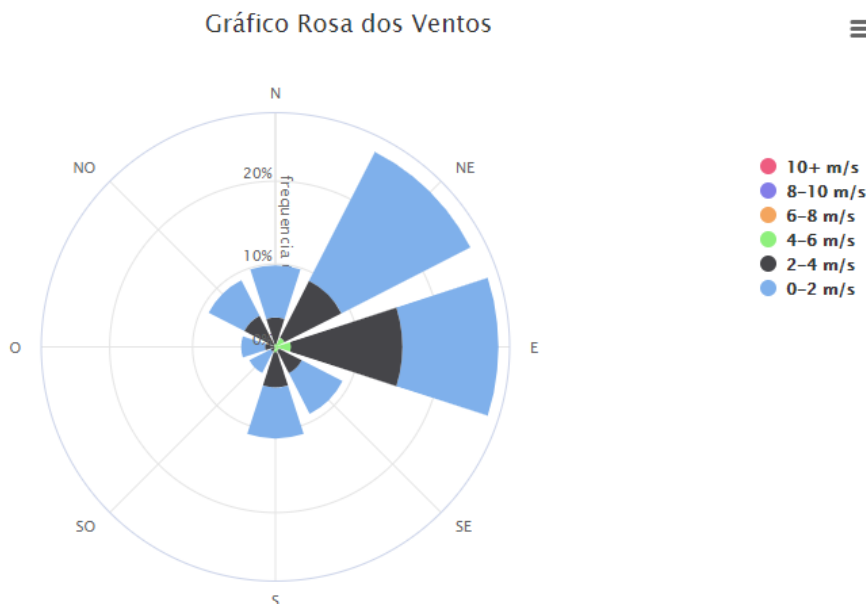


Figura 7 – Rosa dos Ventos de Planaltina – DF (<http://projeteee.mma.gov.br>, acessado em 10/10/2018)

“O gráfico da rosa dos ventos mostra as estatísticas sobre o vento, reunidas ao longo do tempo. Essas medições incluem velocidade do vento, direção e frequência. Estas informações são importantes medidores para estudar e prever as condições do vento em sua área.” (<http://projeteee.mma.gov.br>, acessado em 10/10/2018)

4.3. SOFTWARE

Para modelagem e análise foi utilizado o software alemão ENVI-met versão 4. O Software é um “modelo holístico tridimensional não hidrostático para a simulação de interações de superfície-planta-ar não limitado a, mas frequentemente usado para simular ambientes urbanos e avaliar os efeitos das visões de arquitetura verde. É projetado para microescala com uma resolução tipicamente horizontal de 0,5 a 5m e um tempo de 24 a 48h com intervalo de 1 a 5 segundos. Essa resolução permite analisar interações em pequena escala entre edifícios, superfícies e plantas (<https://www.envi-met.com>, acessado em 10/10/2018).

A Figura 7 apresenta um mapa do campus UnB Planaltina, com a indicação dos estacionamentos, quadra esportiva, e edifícios. Para a modelagem da área no software, foram determinados como padrão 3m de altura para os pavimentos dos prédios “UEP” (Unidade de Ensino e Pesquisa), “UEA” (Unidade de Ensino e Administração) e Alojamento, assim como 4m de altura para o prédio “UAC” (Unidade Acadêmica) e MESP (Módulo Esportivo e Serviços) onde se localiza o Restaurante Universitário.

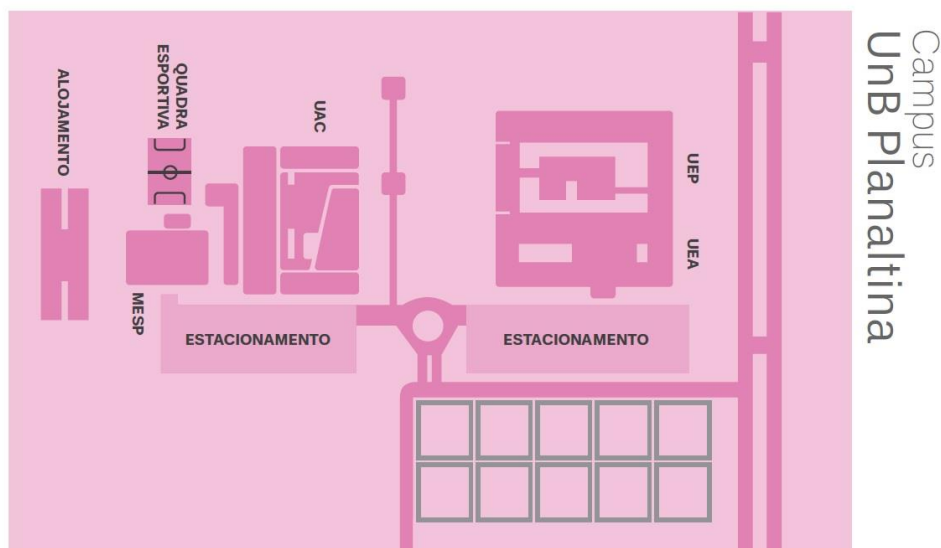


Figura 8 – Mapa do Campus UnB Planaltina

(http://www.boasvindas.unb.br/images/campus_planaltina_2_2016_2.pdf, 2018, acessado em 11/10/2018).

A vegetação utilizada foi a padrão do programa, sendo que por ausência de vegetação nativa da área, foram utilizadas plantas com alturas e tamanhos de copas similares as encontradas na área de estudo.

Foi realizada simulação durante 24h do dia 21/09/2018. Foram então analisados os horários de: 9h, 12h, 15, 18h. Os outros horários foram dispensados por possuírem valores mais homogêneos de conforto ou desconforto térmico. As simulações são registradas para cada 3h por orientação técnica da Organização de Meteorologia Mundial, segundo Silva (2013).

A Figura 10 mostra o processo inicial da modelagem no software ENVI-Met, com uma simulação baseada no cenário real, antes do processamento dos dados climáticos, onde são inseridos os edifícios, vegetação e solo na área, trazendo ainda uma visão mais ampla do cenário com o modelo de simulação em formato 3D na Figura 9.

Similarmente ao processo anterior, a Figura 12 também mostra o modelo de simulação da área, mas agora com a intervenção proposta por meio de inserção de vegetação, além da retirada do galpão que se encontra ao lado oeste do edifício UAC. A elipse vermelha na Figura 12 indica a área central onde ocorreria a adição de árvores. É também possível visualizar essa simulação por uma perspectiva tridimensional mostrada na Figura 11.

As áreas de vegetação inseridas correspondem a uma área de: 1750m² ao lado do edifício UEP/UEA, 1325m² no estacionamento do edifício UAC, 1250m² entre UAC e MESP, além de 850m² ao lado do alojamento estudantil.

O solo das áreas não foi modificado nas diferentes simulações, com a área de vegetação no estacionamento permanecendo como asfalto no cenário proposto.

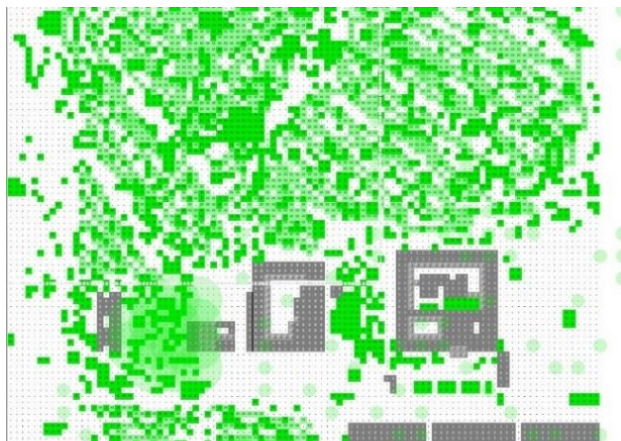


Figura 9 - Modelo de simulação baseado no cenário real (Fonte: ENVI-Met, acessado em 09/10/2018).

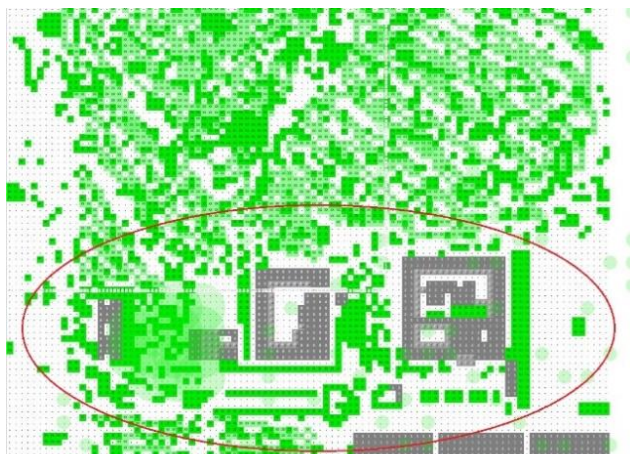


Figura 11 - Modelo de simulação baseado no cenário proposto (ENVI-Met, acessado em 09/10/2018).

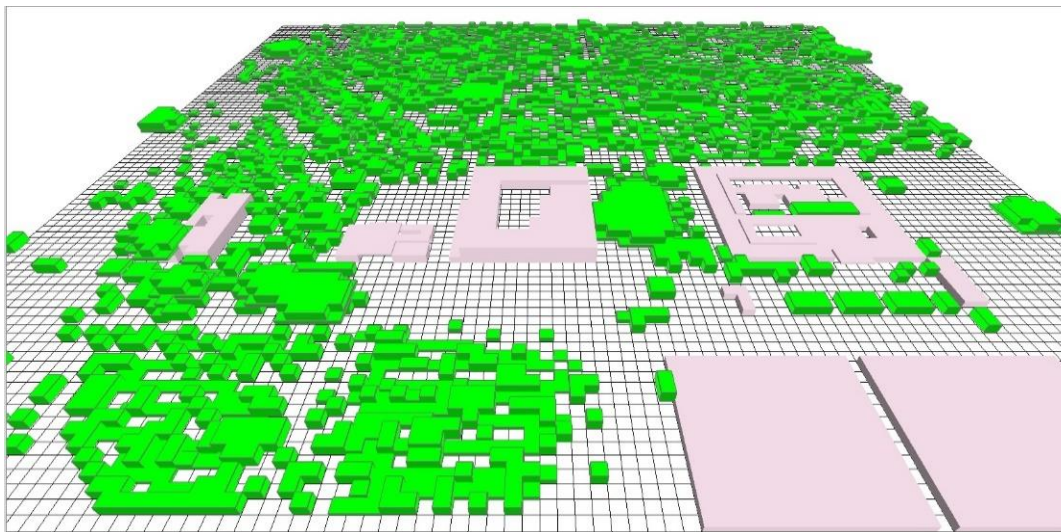


Figura 10 - Modelo de simulação 3D baseado no cenário real (Fonte: ENVI-Met, acessado em 09/10/2018).

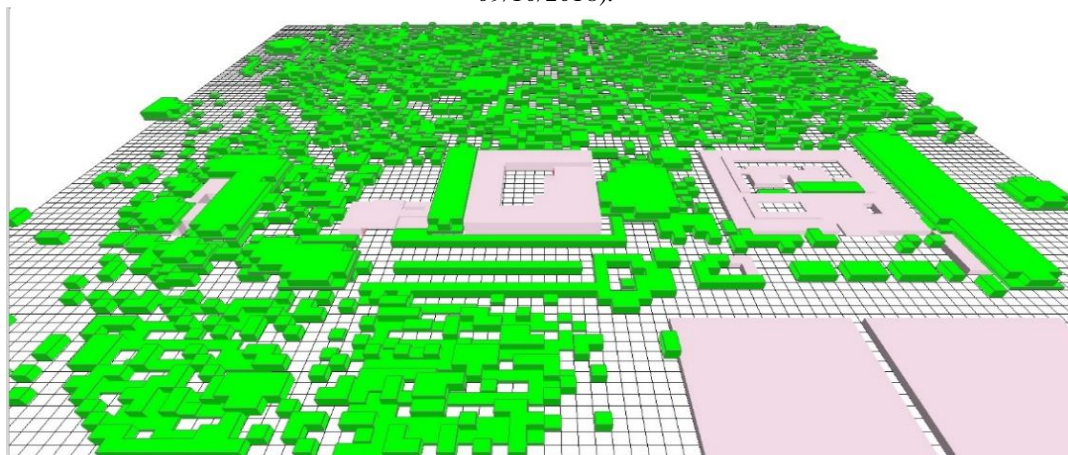


Figura 12 - Modelo de simulação 3D baseado no cenário proposto (ENVI-Met, acessado em 09/10/2018).

5. RESULTADOS

No geral, no período da manhã às 9h do dia analisado, ainda podem ser consideradas temperaturas não tão altas, mas já há sensação de leve desconforto térmico em algumas regiões da área analisada. O sol nesse momento incide principalmente sobre o lado leste dos edifícios, e a proposta de inserção de vegetação se mostra como uma barreira para radiação solar nos prédios UEP/UEA e alojamento.

A Figura 14 mostra temperaturas mínimas de 18,33°C e 18,32 ° C, e máximas de 22,84° C e 22,76° C para o cenário real e proposto, respectivamente. Podem ser notadas na Figura 13, variações de 0.4~0.5°C nas áreas próximas ao alojamento, MESP e estacionamento, chegando até acima de 1°C na lateral direita do UEP/UEA.

O PMV das áreas que receberam vegetação e seus arredores próximos aos edifícios, todos passam a ser considerados como confortáveis (Figura 15). Com a barreira verde construída ao lado direito do UEP/UEA e a vegetação inserida no estacionamento do UAC, até mesmo a pista em frente ao Campus começa a ter uma pequena melhora nos índices de conforto.

O lado oeste do prédio UAC, apesar de não receber a incidência direta no sol nesse período, tem ao lado a quadra e um galpão, os quais absorvem mais calor do que um local com cobertura vegetal. No cenário proposto, a inserção de vegetação nessa área e a retirada do galpão, resultam numa melhor sensação térmica na área da quadra e possivelmente para as salas de aula que se concentram em sua maioria no lado oeste do edifício UAC.

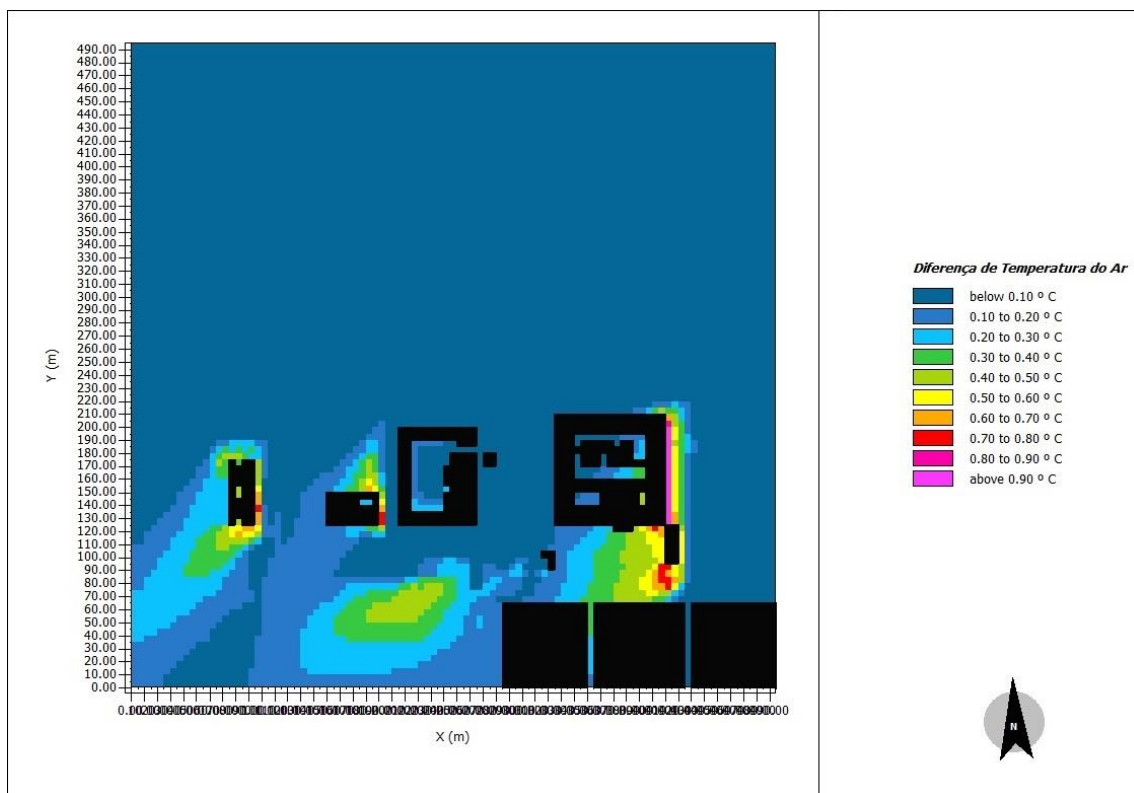


Figura 13 - Variação de temperatura entre cenário real e cenário proposto no horário de 9h

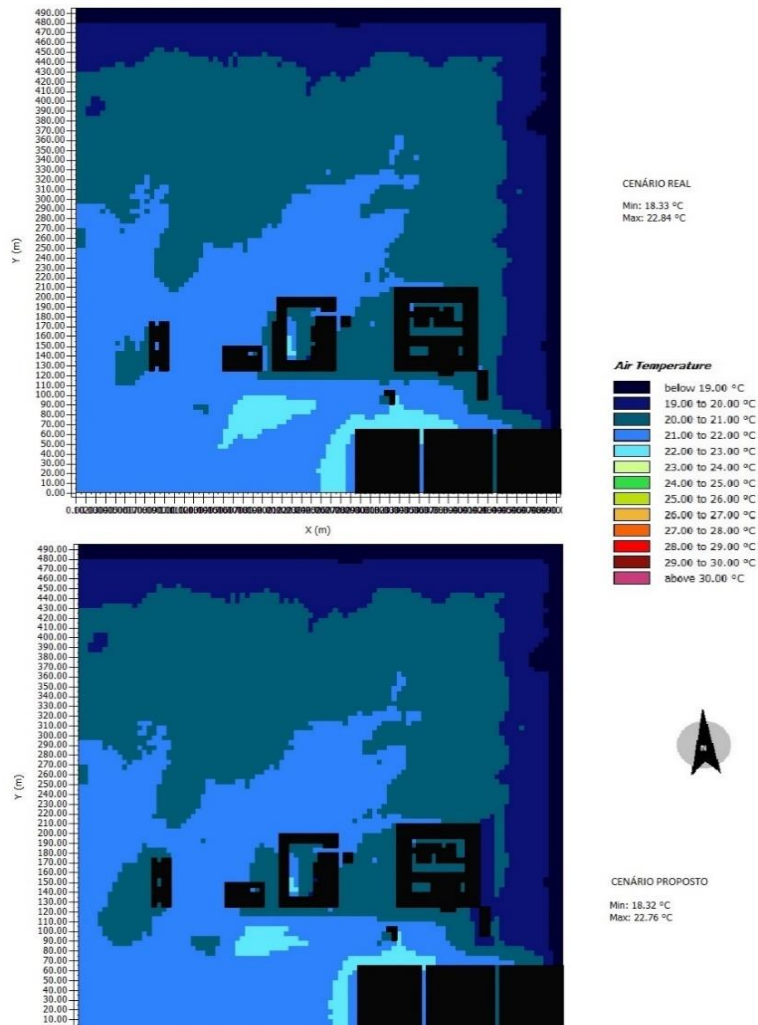


Figura 14 - Temperatura do ar em modelo de simulação real x modelo de simulação com intervenção proposta para o horário de 09h.

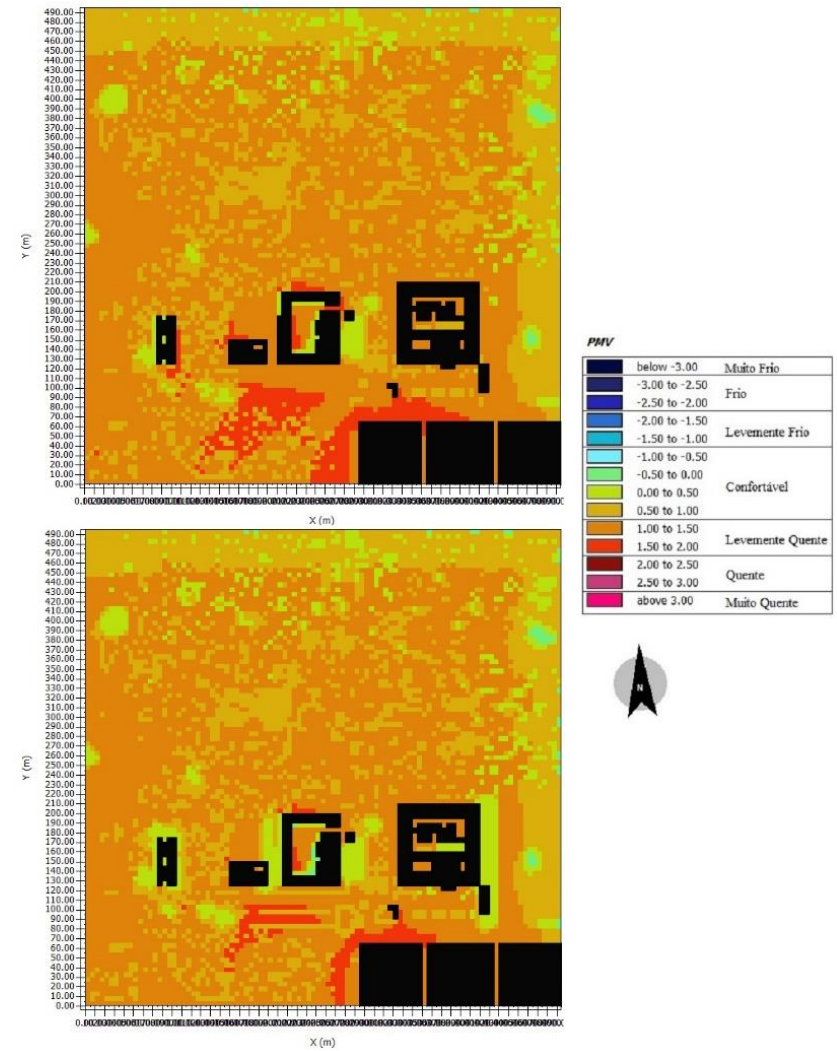


Figura 15 - PMV modelo real x modelo com intervenção proposta às 09h.

Horário em que é perceptível o aumento de temperatura em relação ao horário anterior, a Figura 16 mostra temperaturas mínimas de 22,06° C e 22,04° C, e máximas de 27,16° C e 26,96° C do horário de 12h para o cenário real e proposto, respectivamente. A temperatura máxima do horário anterior, agora passa a ser a mínima.

O sol aqui, tem uma incidência na direção nordeste. Como exemplo, a área ao lado leste do edifício UAC, que já possui vegetação, apesar de considerada levemente quente (Figura 18), possui índice mais baixo do que grande parte da área como um todo, corroborando com a ideia que a inserção de árvores pode auxiliar na modificação do microclima local.

No cenário proposto, a vegetação agora influencia na temperatura e no PMV de uma área ainda maior. Grande área da rua e do estacionamento do UAC, assim como a área norte do MESP onde fica localizada uma parte da quadra de esportes, passam a ser considerados levemente quentes, onde antes já haviam atingido o patamar de quentes. A área próxima ao alojamento que também recebe parte da intervenção verde proposta, percebe uma área de efeito com um ainda maior.

Todos os locais que receberam a vegetação na simulação puderam reduzir a temperatura em até 1° C (Figura 16) em ao menos alguma pequena parte, com destaque para o lado leste do edifício UEP/UEA e o estacionamento do edifício UAC, que obtiveram as maiores áreas com grandes reduções de temperatura. Essas duas áreas possivelmente sofreram tamanha redução devido ao lado leste do edifício UEP/UEA no cenário atual, possuir uma grande área descampada, enquanto o estacionamento do UAC também não possui vegetação, sendo considerado o material de sua constituição na simulação como concreto.

No cenário proposto a vegetação vem ajudando a reduzir a radiação direta no solo e edifícios, ação essa que se espera resultar em uma menor liberação de calor ao final do dia.

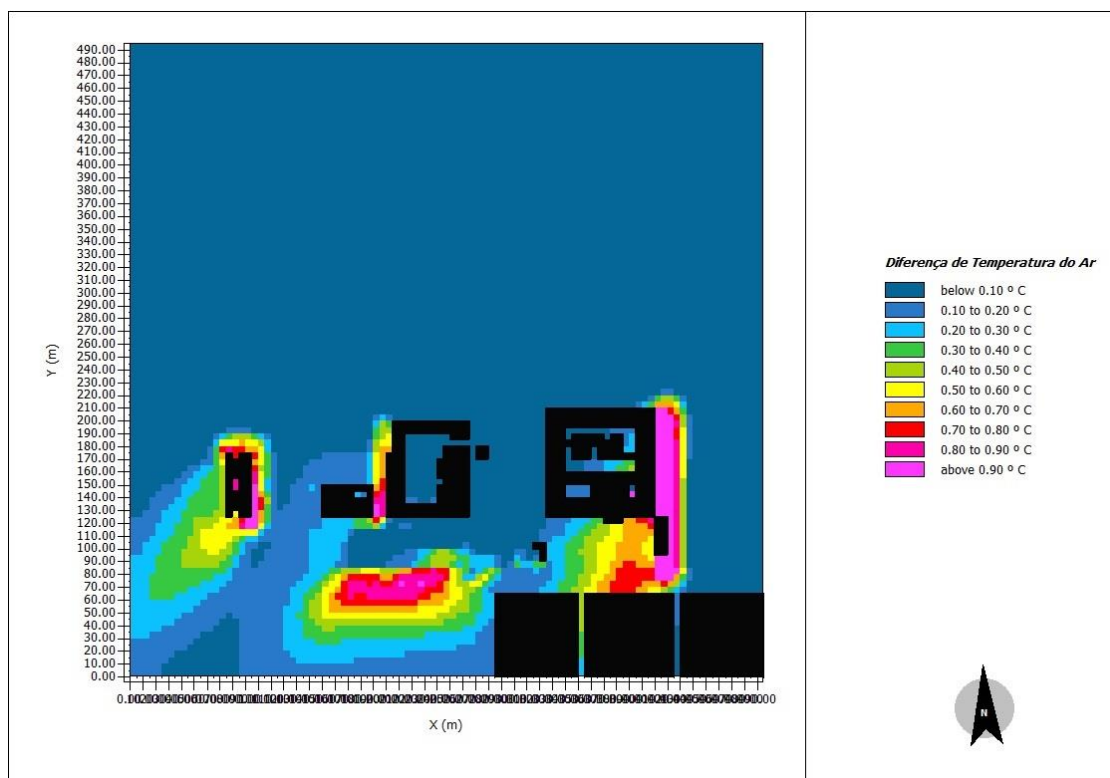
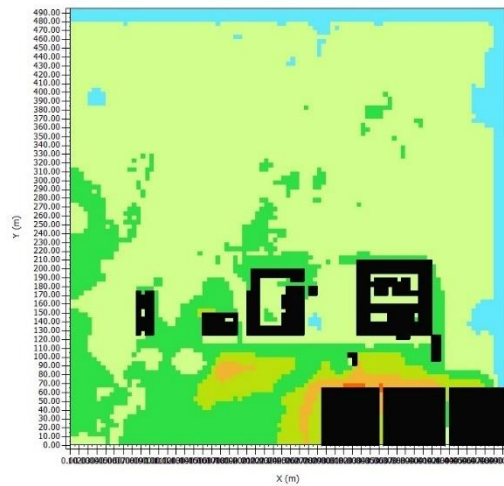


Figura 16 - Variação de temperatura entre cenário real e cenário proposto no horário de 12h



CENÁRIO REAL
Min: 22,06 °C
Max: 27,16 °C

Air Temperature



CENÁRIO PROPOSTO
Min: 22,04 °C
Max: 26,96 °C

Figura 17 - Temperatura do ar em modelo de simulação real x modelo de simulação com intervenção proposta para o horário de 12h.



PMV

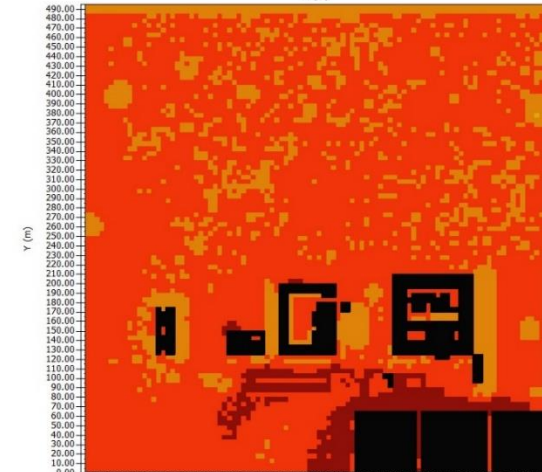


Figura 18 - PMV modelo real x modelo com intervenção proposta às 12h.

Nos horários simulados considerados no trabalho, 15h é a parte do dia considerada a mais crítica em questão de conforto térmico. A figura 20 mostra temperaturas mínimas de 24,76° C e 24,72° C, e máximas de 29° C e 28,86° C para o cenário real e proposto respectivamente.

Como se pode ver na Figura 21, este é o horário com maiores áreas de desconforto térmico no dia. Há incidência solar principalmente na direção oeste/noroeste dos edifícios. O maior problema nisso pode ser considerado que a maioria das salas de aula do campus se concentram nesse lado do edifício UAC. As paredes do edifício UAC, além do galpão ao lado e a quadra de esportes próxima, todos absorvem parte da radiação solar que incide sobre eles. Essa região de calor, afeta diretamente as salas de aula, as quais também possuem deficiência de ventilação natural e mecânica, problemas que podem se refletir diretamente no desempenho dos discentes.

No cenário proposto, essa área entre o MESP e o UAC passa a ser avaliada como levemente quente, onde antes era quente, ação essa que mesmo visando o espaço urbano aberto pode ajudar no conforto térmico e numa significativa melhora da condição interna do edifício nos momentos de aula no período vespertino.

Com a intervenção, uma parte da quadra de esportes passa de muito quente para quente, assim como é possível notar efeito sobre os estacionamentos e uma pequena parte da rua em frente ao campus que deixam de ser considerados muito quentes.

Em relação a maior variação de temperatura, o horário em questão possui as áreas mais extensas com (Figura 19), com muitos locais com diminuições de aproximadamente 1° C.

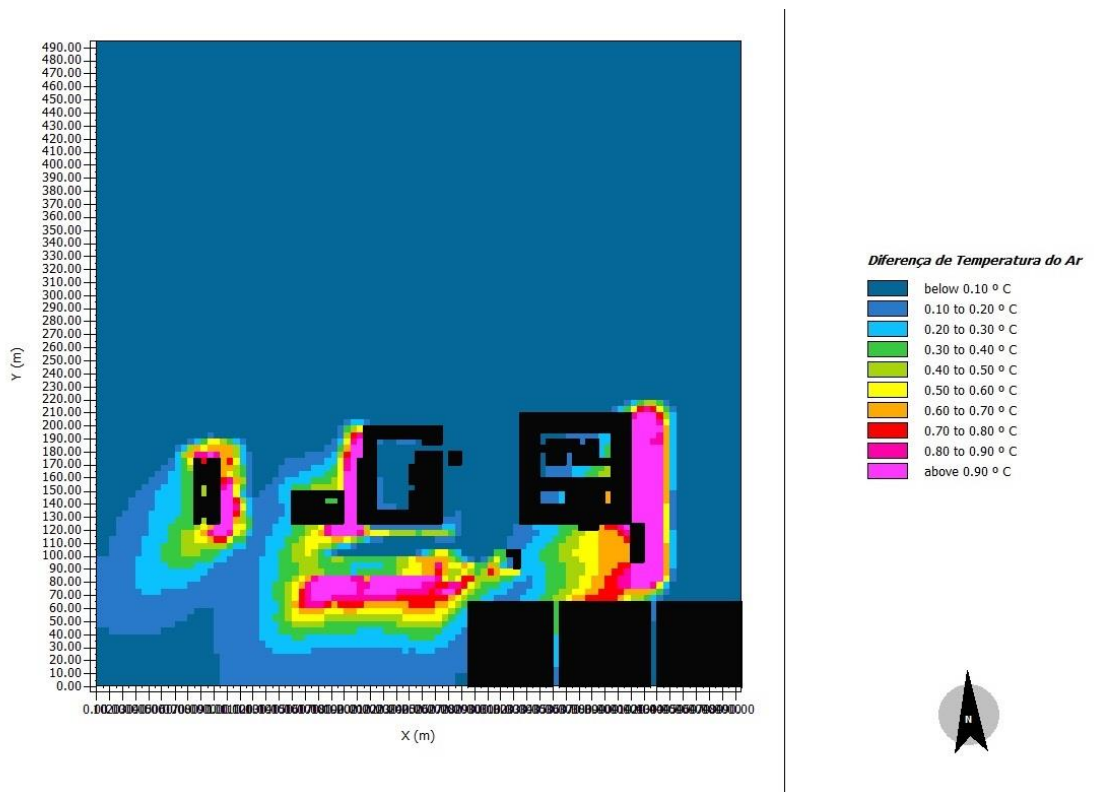


Figura 19 - Variação de temperatura entre cenário real e cenário proposto no horário de 15h

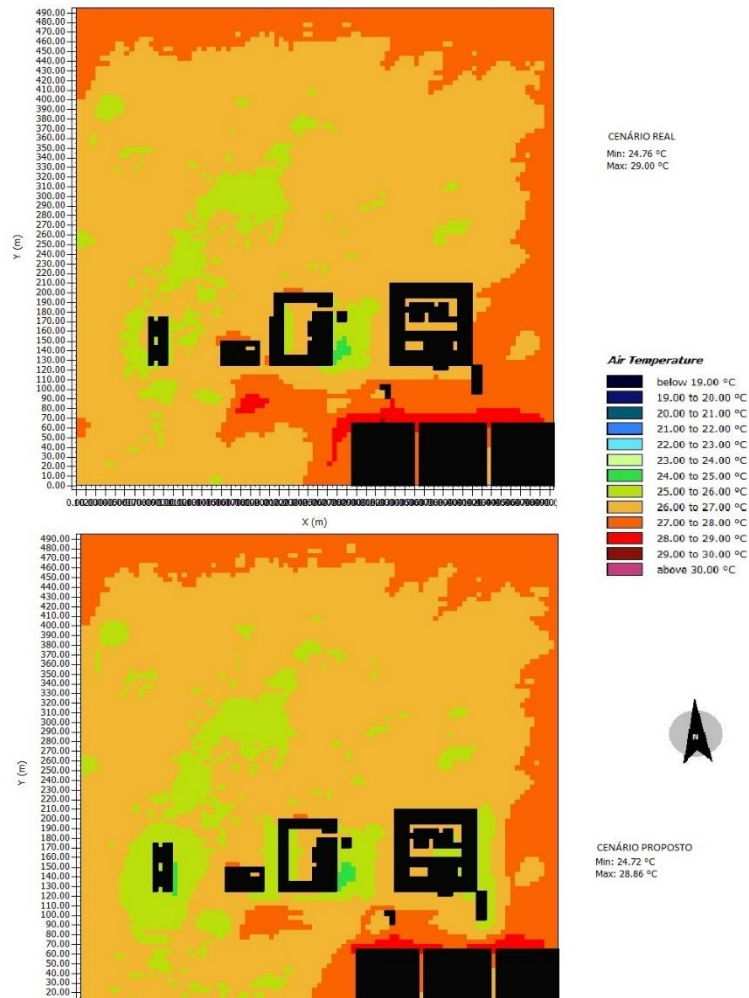


Figura 20 - Temperatura do ar em modelo de simulação real x modelo de simulação com intervenção proposta para o horário de 15h.

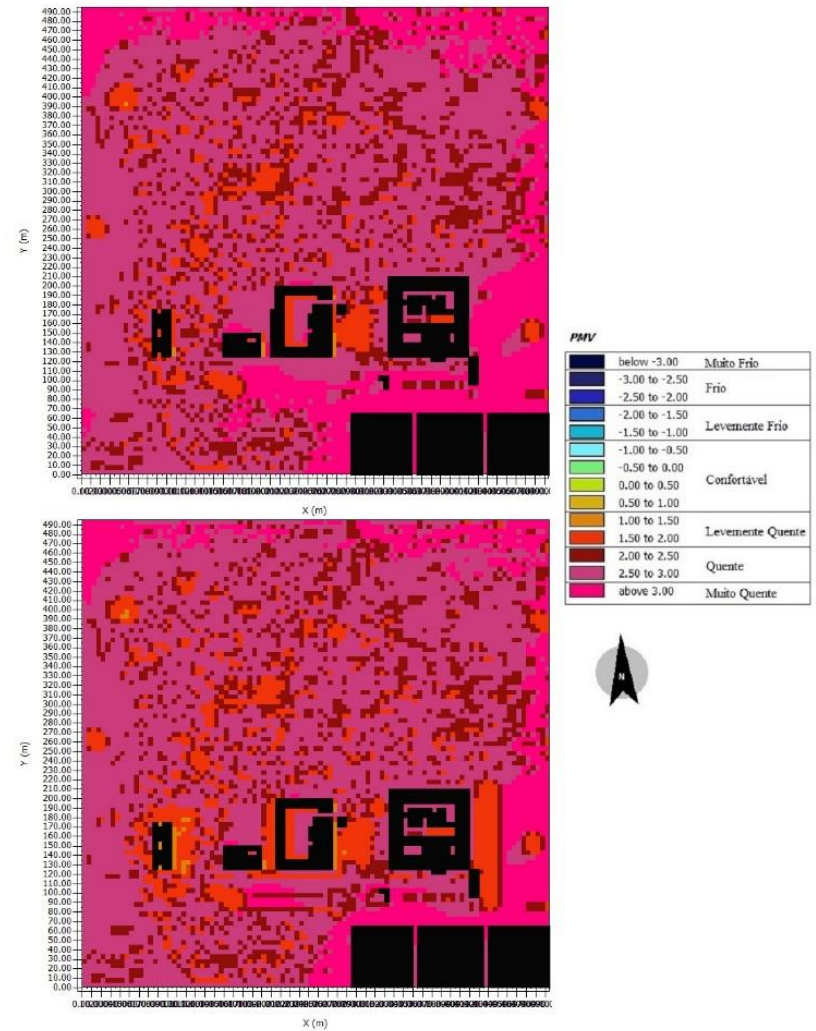


Figura 21 - PMV modelo real x modelo com intervenção proposta às 15h.

Observa-se na Figura 23, temperaturas mínimas de 25,37° C e 25,19° C, e máximas de 28,97° C e 28,96° C no horário de 18h, para o cenário real e proposto respectivamente.

Com sol próximo a se por, a incidência solar diminui, ainda no lado leste. A temperatura se faz mais homogênea ao longo da área, com menores áreas de variação (Figura 22). Apesar das temperaturas ainda consideravelmente altas na maior parte da área, o processo de resfriamento do solo e materiais começa a se fazer presente, o que se observa pela simulação de PMV no horário de 18h (Figura 24) a qual mostra todo o local de estudo como considerado confortável em relação ao conforto térmico

Na Figura 22, a área com maior variação diminui, mas ainda assim possibilitando variações entre 0.5 até 1° nas proximidades dos edifícios.

Nas simulações PMV do horário das 18h, passa a ser mais amena com sensação térmica considerada confortável em toda a área analisada.

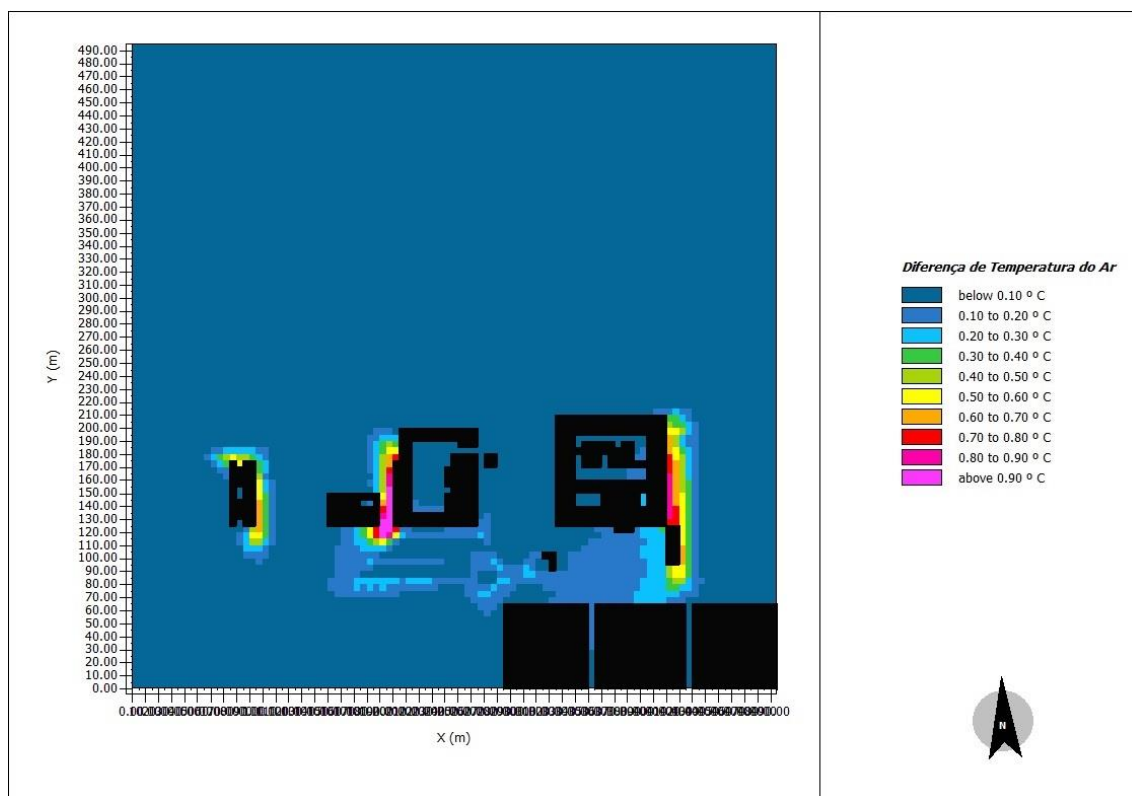


Figura 22 - Variação de temperatura entre cenário real e cenário proposto no horário de 18h

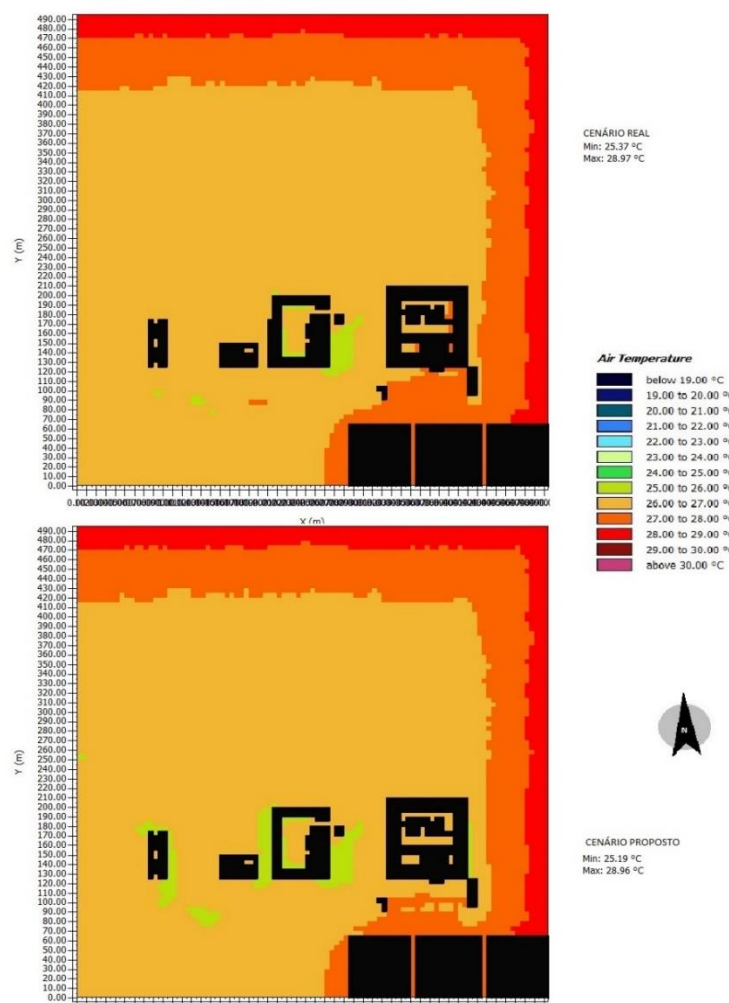


Figura 23 - Temperatura do ar em modelo de simulação real x modelo de simulação com intervenção proposta para o horário de 18h.

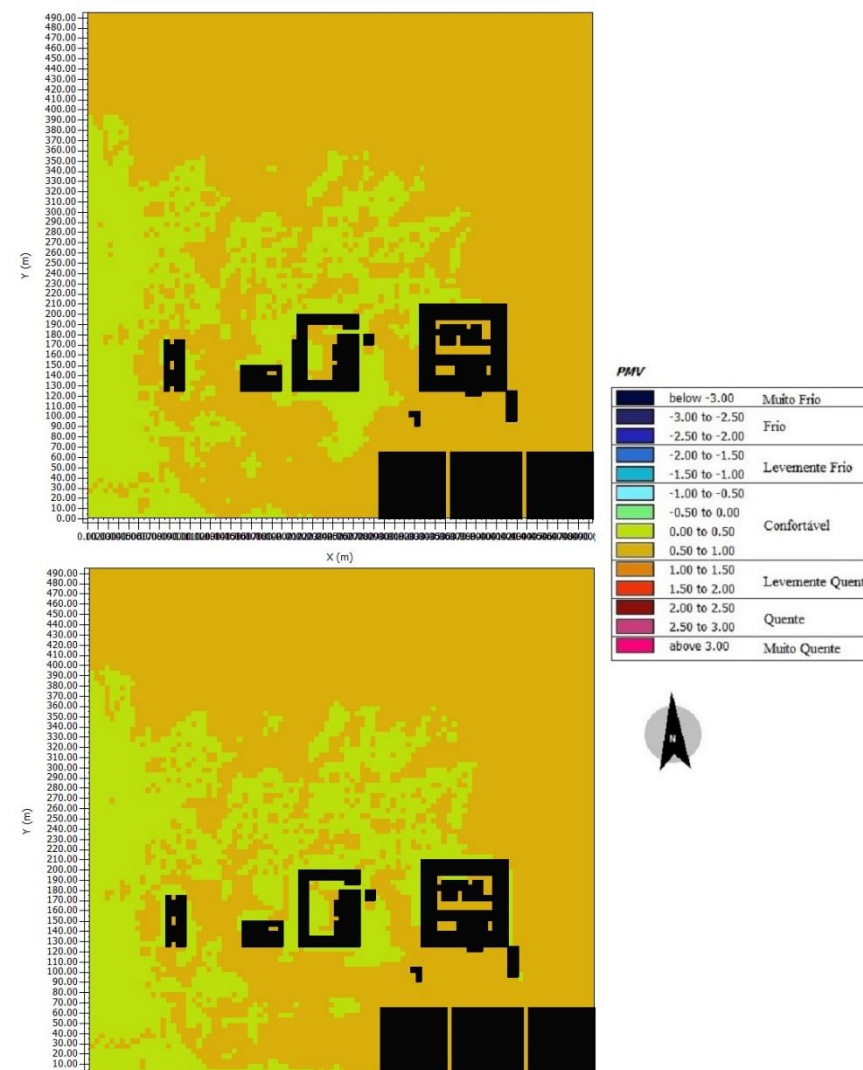


Figura 24 - PMV modelo real x modelo com intervenção proposta às 18h.

Os horários de 9h e 18h apresentaram significância menor dos resultados em relação aos horários de 12h e 15h, seja por menor incidência solar ou resfriamento das superfícies, mas ainda assim trazem variações perceptíveis entre os dois cenários (real x intervenção proposta), sempre com benefícios no cenário forjado. Às 12h e 15h, a influência da vegetação se torna mais considerável no controle do microclima e melhora do conforto térmico, onde as temperaturas aumentam e a incidência solar direta sobre as superfícies dos edifícios e solo.

Romero (2001) coloca que a vegetação pode ajudar de inúmeras formas no quesito clima/conforto seja influenciando diretamente na redução de temperatura, fornecendo sombra e/ou interagindo com o vento. Também coloca que a vegetação não absorve toda radiação solar que recebe, sendo que parte é absorvida e parte refletida.

“As principais variáveis que afetam os registros da temperatura do ar são as áreas sombreadas por árvores, que atenuam o aquecimento do solo pela radiação direta, incluindo o efeito secundário da temperatura do ar junto a essas áreas circundantes” (ROMERO, 2011, p. 87).

Como colocado por Silva (2013), a contribuição da vegetação no espaço urbano como objeto de melhora no conforto térmico é objeto de pesquisa de muitos profissionais que trabalham na questão de qualidade ambiental urbana.

Os resultados obtidos corroboram com estudos que indicam que a vegetação é um bom instrumento para controle do microclima e melhora no conforto térmico, devendo sempre que possível, se buscar envolver o ambiente construído ao meio natural. Também indicam que se faz interessante o estudo das variáveis climáticas como direção da radiação solar ao longo do dia e direção/velocidade dos ventos, a fim de aproveitar da melhor maneira as formas de resfriamento e aquecimento naturais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho tem como objetivo realizar simulação comparando um cenário que simula a atual situação do campus versus um cenário hipotético onde há uma intervenção proposta, no caso, com a inserção de 5175m² de vegetação, e discutir a efetividade de tal implementação.

Os resultados apresentados indicam que a vegetação pode se tornar uma efetiva aliada na atenuação da temperatura e formações de ilhas de calor nas áreas urbanas. Nas simulações onde há inserção da vegetação, é comprovada a diminuição da temperatura, assim como melhora no conforto térmico da área.

No horário de 15h, sendo considerado o mais crítico considerando o mapa de PMV, consegue-se reduções de até 1° C em várias áreas da simulação onde a vegetação foi inserida, sendo possível significativa redução da área considerada “muito quente”.

Na questão da amenização das temperaturas, nota-se também influência da vegetação nos seus arredores imediatos, perdendo efetividade com sua distanciação, o que leva a concluir que é desejável ampliação das áreas arborizadas.

No caso das áreas que obtiveram melhoras térmicas, além da melhora no conforto dos ambientes abertos, por estarem próximas aos edifícios, podem trazer também uma

melhora na sensação térmica interna tanto de quem está no alojamento, como nas salas de aula, trazendo possivelmente uma melhora no ambiente de ensino da UnB-Planaltina, que nesse período da tarde e do ano recebe bastante incidência solar e por sua vez, grande calor, vez que os edifícios não foram construídos de forma que se considerasse as condições de vento e radiação solar do local.

O Software ENVI-met se mostrou uma poderosa ferramenta de modelagem e processamento com dados confiáveis, mas sendo limitado em relação ao tamanho da área máxima na versão *freeware*, sendo que para analisar uma maior área, será necessário sacrificar nitidez nos resultados.

Considerando que o objetivo do trabalho foi alcançado e a efetividade dos resultados, sugere-se como continuação da pesquisa, um aprofundamento em pontos que possam dar mais precisão aos resultados:

- Análise de cada material do ambiente construído em específico um aprofundamento no estudo dos materiais envolvidos: solo e materiais construídos para novas simulações mais precisas;
- Coleta de dados climáticos manualmente no local e datas específico além de aprofundamento no estudo de cada variável climática em separado.
- Realização de análise aprofundada em relação as melhores espécies de árvores e a melhor disposição/forma de plantio no local.

Sugere-se também mais autonomia da gestão ambiental do campus, levando em consideração que atualmente, qualquer intervenção ambiental, mesmo que no sentido de beneficiar o campus, necessita aprovação da prefeitura da UnB, que se localiza no Campus Darcy Ribeiro e é analisada por pessoas que não tem vivência no campus Planaltina. Também é sugerido para que em eventuais novos edifícios a serem construídos no campus da UnB-Planaltina, seja considerada mais fortemente a ideia de incorporar o próprio ambiente natural, que já foi severamente suprimido no local, na composição da evolução do ambiente urbano, assim como aproveitar as variáveis climáticas do local de forma efetiva, de forma a tentar amenizar a forte necessidade de formas artificiais de ventilação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Brasil, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

ASHRAE 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers. Atlanta, 1993.

CAMPANHONI, A. **Implantação dos edifícios Águas Claras – DF: Influência no desempenho térmico ambiental dos espaços abertos**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

ENVI-MET. **Introdução ao software ENVI-met**. Disponível em <<https://www.envi-met.com>>. Acesso em 10 out, 2018.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company, 244 p, 1972.

- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992.
- GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998. 345 p.: il.
- HOPPE, P. **The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment**. International journal of biometeorology, v. 43, n. 2, p. 71–75, 1999.
- INMET. **Dados climáticos relativos à temperatura média e umidade relativa do ar na Estação Ecológica de Águas Emendadas em Planaltina – DF**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2018.
- MINELLA, F. C. O.; ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. **Análise do efeito diurno do fator de visão do céu no microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba**. Ambiente Construído, v. 11, n. 1, p. 123–143, mar. 2011.
- ISO 7730. **Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. International Standard Organization. Geneva, 1994.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Índices de conforto térmico em espaços urbanos abertos**. Fórum Patrimônio, v. 3, n. 2, p. 1–23, 2010.
- PROJETEEE. **Dados climáticos relativos a velocidade e direção do vento**. Disponível em <<http://projeteee.mma.gov.br/>>. Acesso em 10 out. 2018.
- ROMERO, M. A. B. **Arquitetura do Lugar: Uma Visão Bioclimática da Sustentabilidade em Brasília**. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2011.
- ROMERO, M. A. B. **A Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.
- SILVA, C. F. **Simulações computacionais para o conforto térmico urbano: contexto climático do Distrito Federal** (Tese de Doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2013.
- SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. **Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera**. Ambiente Construído, v. 18, n. 2, p. 197–215, abr. 2018.
- UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. **Campus UnB Planaltina**. Disponível em: <http://www.boasvindas.unb.br/images/campus_planaltina_2_2016_2.pdf>. Acesso em 11, out. 2018.
- UNIVERSITY OF WYOMING. **Dados Climáticos relativos à humidade específica**. Disponível em <<http://weather.uwyo.edu>>. Acesso em: 10 out. 2018.
- WERNECK, D. R. **Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas: estudo de caso em áreas comerciais em Brasília–DF** (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2018.