INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES ESCOLARES POR MEIO DO ENVI-MET

Marta Laura Milhomem da Cruz (1); Liliane Flavia Guimarães da Silva (2)
(1) Engenheira civil, martalauramilhomem@gmail.com
(2) Doutora, arquiteta, lilianeg@ifto.edu.br, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins.

RESUMO
Nos últimos anos, muitas escolas têm seguido projetos padrões sem considerar que o conforto climático pode variar de acordo com as particularidades de cada região. Na expectativa de melhorar as condições desse conforto no ambiente escolar, este estudo buscou analisar a influência da vegetação na área externa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Campus Palmas, por meio de simulação computacional utilizando o software ENVI-met. No estudo, fez-se comparações utilizando como parâmetro a temperatura, a umidade relativa e o PMV entre duas tipologias construtivas, nos blocos de tipologia térreo (antigos) e nos blocos com dois pavimentos (recentes), sendo este último o projeto que se tornou padrão em todos os blocos do instituto em suas ampliações. Os dados apontaram melhores resultados nos três parâmetros em análise para o cenário com vegetação, tanto nos blocos antigos como para os blocos novos. Ainda, foi possível visualizar que o turno mais desconfortável independentemente do bloco é o vespertino e o mais confortável é o matutino, período que pode favorecer um melhor desempenho para os alunos exercerem suas atividades.

Palavras-chave: escolas, simulação computacional, ENVI-met.

ABSTRACT
In recent years, many schools have followed standard designs without considering that the climatic comfort can vary according to the particularities of each region. In the expectation of improving the conditions of this comfort in the school environment, this study sought to analyze the influence of vegetation in the external area of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins (IFTO), Campus Palmas, through computer simulation using the ENVI-met software. In the study, comparisons were made using as a parameter the temperature, relative humidity and PMV between two constructive typologies, in the blocks of ground floor typology (old) and in the blocks with two floors (recent), the latter being the project that became standard in all blocks of the institute in its expansions. The data showed better results in the three parameters under analysis for the scenario with vegetation, both in the old blocks and for the new blocks. Still, it was possible to see that the most uncomfortable shift regardless of the block is the afternoon and the most comfortable is the morning, a period that can favor a better performance for students to perform their activities.

Keywords: schools, computational simulation, ENVI-met.

1. INTRODUÇÃO

O conforto se dá por questões físico-ambientais nas quais se detectam condições naturais e de salubridade por meio de reações metabólicas associadas a condições adequadas de iluminação, acústica, conforto térmico, ventilação e dimensionamento espacial, fatores esses que interferem na qualidade do ambiente. Assim, o conforto térmico está diretamente relacionado ao desejo que o ser humano tem de sentir-se bem na sua localidade (SILVA, 2015).

No ambiente escolar, antes do conforto ser uma necessidade, ele precisa ser uma condição, devido à importância da percepção de quanto a temperatura do ambiente pode afetar no desempenho dos estudantes (CAIRRÃO, 2019). Infelizmente, na maioria das vezes, o ambiente escolar não apresenta condições muito confortáveis em suas edificações, pois a construção de uma escola em sua maioria costuma seguir projetos padrões independente de sua localidade. Devido a tais inadaptações construtivas, o ambiente externo passa a ser um local procurado pelos estudantes, tanto para descanso como para realizar grupos de estudos ou de interação social. Apesar disso, nem sempre esses ambientes possuem o conforto necessário ao longo do dia, principalmente em regiões de clima quente como na cidade de Palmas/TO, que possui temperaturas elevadas durante todo o ano, segundo os dados do INMET (2022).

Neres, Silva e Pereira (2021), apontam a vegetação como uma boa alternativa para climatizar esses locais, isso por ser um recurso frequente para alcançar o conforto térmico em ambientes urbanos pela sua eficiência na atenuação do ar. Ainda de acordo os autores, a arborização urbana é uma alternativa que pode contribuir para a redução do impacto da radiação solar na superfície, amortecendo o ruído, diminuindo a poluição do ar e o consumo de energia em regiões quentes.

Para avaliação do efeito da vegetação no conforto térmico, muitas pesquisas utilizam a técnica da simulação computacional para avaliar os parâmetros de conforto térmico inserindo os dados microclimáticos da região em questão. A simulação computacional é um método de representação relacionado diretamente com a comprovação da eficiência de um projeto com a realidade, disponibilizando interfaces aprimoradas que permitem aos usuários criações tridimensionais de construção, simulação e resultados no entendimento dos fenômenos naturais (CAMPOS, 2018). Desse modo, o instrumento utilizado nessa pesquisa foi o software ENVI-met, conhecido por demonstrar com eficiência os efeitos da vegetação e a possibilidade de avaliar cenários existentes e planejados.

O software permite a extração de dados de variados parâmetros, incluindo os dessa pesquisa que são: a temperatura do ar, definida por Romero (2000) como a relação entre as taxas de aquecimento e esfriamento da superfície da terra e relacionada com a radiação solar que é absorvida pelos níveis inferiores da atmosfera. A umidade relativa do ar, que nas palavras de Lamberts (2011, p. 60) “é o montante de vapor de água do ar, em relação com o máximo montante de vapor de água que o ar pode conter a uma dada temperatura”. E o Voto Médio Estimado (PMV), índice fundamentado e normatizado pela ISO 7730 elaborado com base no método de Fanger e definido como “as sensações térmicas médias das pessoas submetidas a determinadas condições ambientais e individuais, através de uma escala quantitativa da sensação de calor e de frio” (SANTOS, 2018, p.30).

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo analisar a influência da vegetação no conforto térmico na área externa do campus Palmas do IFTO, na perspectiva de avaliar seus impactos no dia a dia dos alunos nos entornos das duas tipologias dos blocos. A pesquisa utiliza o método de simulação computacional através do software ENVI-met, afim de validar seu uso por meio da modelagem da vegetação atual para o contexto do microclima do campus e a comparando em relação a uma vegetação planejada.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

1. Análise das edificações e vegetação existente no campus;
2. Modelagem em dois espaços do campus e duas tipologias construtivas, sendo elas os blocos de tipologia térreo (antigos) e os blocos com dois pavimentos (novos), em cenário comparativo de vegetação atual e planejada, utilizando o software ENVI-met;
3. Simulação e análises dos parâmetros: temperatura do ar, umidade relativa do ar e índice de conforto térmico PMV para os dois cenários analisados.

3.1. Análise das edificações e vegetação do campus

O local de estudo é o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas, localizado na capital do estado Tocantins, com área total de 128.508,38 m² e aproximadamente 31.879,59m² de área construída com capacidade aproximadamente para 4000 alunos (IFTO, 2022). O campus é organizado com blocos numerados e estruturado com elementos educativos e de lazer e maior parte dos blocos segue o modelo construtivo original da fundação do campus (blocos antigos), com estrutura metálica, alvenaria convencional, esquadria de ferro e vidro, telhados com laje inclinada com telha cerâmica e lanternim, e telha metálica na circulação externa. A outra parte possui blocos mais recentes com tipologia de dois pavimentos, sendo esse o projeto que se tornou padrão em suas ampliações, construídos com estrutura de concreto armado, alvenaria convencional, laje plana com platibanda e telha metálica termoacústica com calhas e rufos. Ambas edificações estão representadas nas Figuras 1 e 2, é possível visualizar ainda, que entre os blocos existe uma área não construída com árvores em quase todo o local na área dos blocos antigos e próximo a escada e rampa dos blocos novos, localidade que pode ser visualizada na Figura 6 mais adiante.

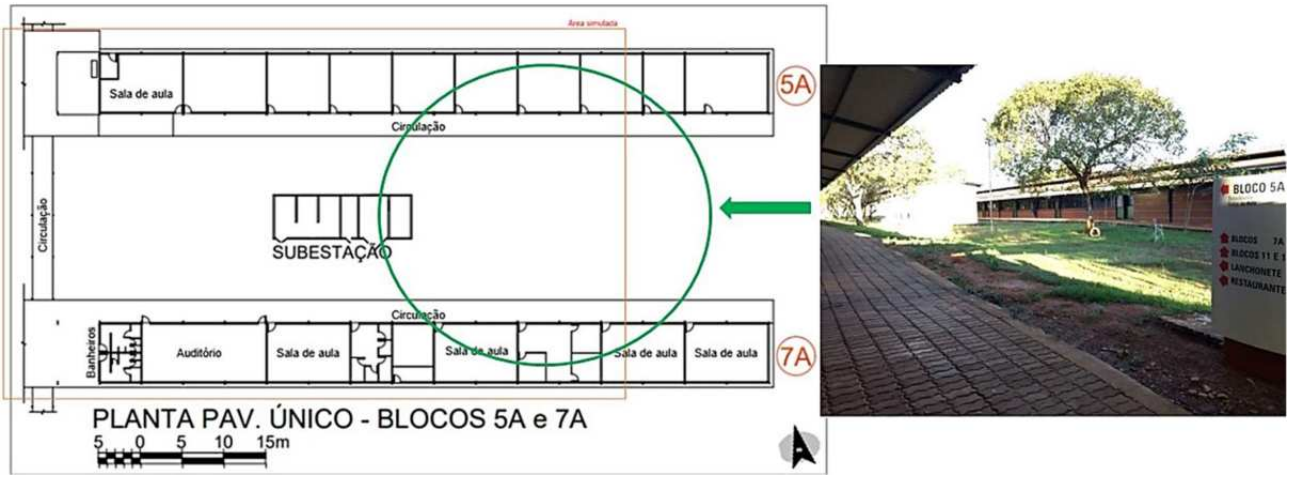


Figura 1 - Planta baixa e foto dos blocos antigos (IFTO, 2022; Autora, 2022).

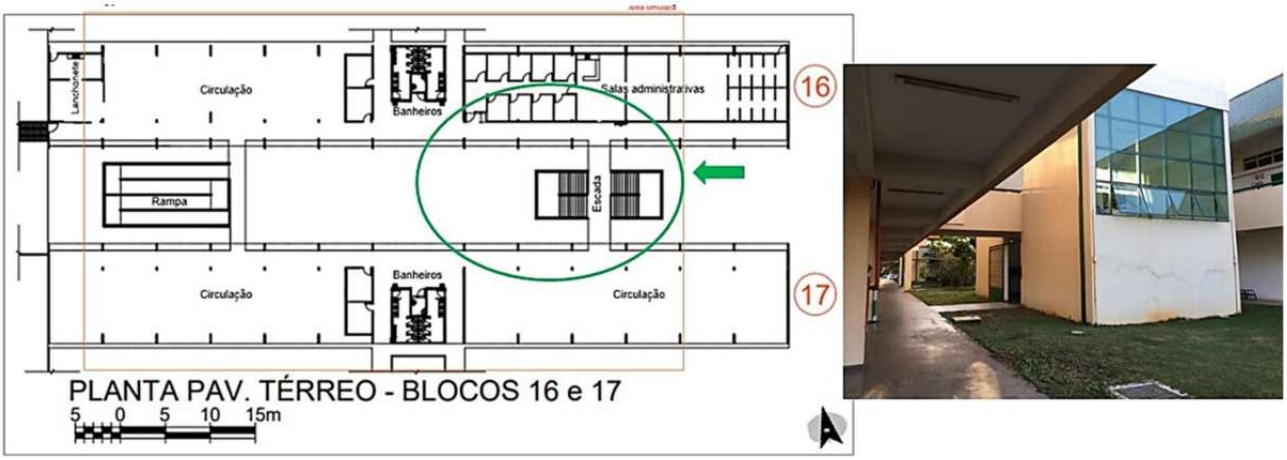


Figura 2 - Planta baixa e foto dos blocos novos (IFTO, 2022; Autora, 2022).

Em relação às árvores existentes nos ambientes estudados foram analisadas árvores de médio e grande porte. As de médio porte podendo apresentar tamanhos de 6 a 12 metros de altura com diâmetro de até 10 metros, enquanto as de grande porte pode ultrapassar os 12 metros de altura e seu diâmetro pode variar de 12 a 20 metros. Nos blocos antigos, tem 13 árvores de médio porte, localizada uma à frente, outra na lateral e as demais na parte leste. Nos blocos novos foram identificadas 2 árvores, uma de médio porte localizada entre os blocos e a outra de grande porte na entrada lateral de um dos blocos. Essas árvores são conhecidas popularmente como Pequi e Fava-de-bolotas (Figuras 3 e 4) e cientificamente como Caryocar brasiliense Cambesse e Parkia platycephala Benth respectivamente, além disso ambas são de origem nativa e indicadas pelo plano de arborização de Palmas (2016).





Figura 3 – Árvore pequi (Autora, 2022).





Figura 4 - Árvore fava-de-bolota (Autora, 2022).

3.2. Modelagem em dois espaços do campus com cenário comparativo de vegetação atual e planejada, utilizando o software ENVI-met.

A técnica de estudo adotada nessa pesquisa foi a da simulação computacional utilizando como instrumento o software ENVI-met disponível na sua versão gratuita lite 5.0.2. Seguindo a premissa de simulação comparativa adotada por Nascimento e Silva (2019), fez-se a simulação de forma fracionada devido à limitação de tamanho estabelecido na versão gratuita do software que é de 50x50x40 pixels. Desse modo, adotaram-se dois cenários, o primeiro com a vegetação atual e o segundo com vegetação planejada, ambos aplicados em dois ambientes do campus, um entre os blocos antigos 5A e 7A e o outro entre os blocos novos 16 e 17, na perspectiva de observar a influência da tipologia construtiva dos edifícios e da vegetação no conforto térmico dos estudantes nas áreas externas do campus no início e no final do período seco. Com base no método utilizado por Campos (2018), foi aplicado à simulação a configuração geométrica, os materiais utilizados e dados microclimáticos para aferir resultados em três horários do dia no intuito de verificar o conforto nos três turnos de funcionamento do campus. Para desenvolver as modelagens no ENVI-met, foi necessário organizar a configuração dos dados de entrada na localização do modelo e na geometria do modelo. Os dados utilizados na localização dos modelos foram latitude e longitude de Palmas com fuso horário predominante do Brasil, e na geometria dos modelos, por a malha do ENVI-met ser adimensional, foram adotadas dimensões de 50x30x20 metros, alongada adaptando-se ao formato dos blocos, com pixels equivalentes a 1x1x1 metros. Dessa forma, essa pesquisa seguiu com a execução de quatros modelos, divididos em dois locais e em dois cenários (quadro 1) e utilizou-se materiais semelhantes aos existentes nos blocos (quadro 2), conforme listados no memorial descritivo.

Quadro 1 - Sequência de modelagem

Cenário 1	**Vegetação Atual**	Bloco antigo	28 jun. 2021	Simulação 1
		Bloco novo	28 jun. 2021	Simulação 2
		Bloco antigo	20 set. 2021	Simulação 3
		Bloco novo	20 set. 2021	Simulação 4
Cenário 2	**Vegetação Planejada**	Bloco antigo	28 jun. 2021	Simulação 5
		Bloco novo	28 jun. 2021	Simulação 6
		Bloco antigo	20 set. 2021	Simulação 7
		Bloco novo	20 set. 2021	Simulação 8

Quadro 2 - Materiais utilizados no Envi-Met

Materiais adotado nos modelos no ENVI-met	
Bloco antigo	**Bloco novo**
[0100B3] Brick wall (reinforced) - Parede de tijolos (reforçada)	[0100B3] Brick wall (reinforced) - Parede de tijolos (reforçada)
[0100R1] Roofing: Tile - Cobertura: telha	[0100R1] Roofing: Tile - Cobertura: telha
[0100ST] Steel (one layer) - Aço (uma camada)	[0100C4] Concrete (Filled block) - Concreto (bloco preenchido)
[0100XX] Grass 25cm - Grama 25cm	[0100XX] Grass 25cm - Grama 25cm
[DM] Spherical, medium trunk, dense, medium (15cm) - Esférico, tronco médio, denso, médio (15cm)	[DM] Spherical, medium trunk, dense, medium (15cm) - Esférico, tronco médio, denso, médio (15cm)
	[DM] Spherical, large trunk, dense, medium (15cm) - Esférico, tronco grande, denso, médio (15cm)

3.3. Simulação e análises de temperatura do ar, umidade relativa e conforto térmico nos dois cenários analisados.

Com o fim da modelagem, iniciou-se a fase de simulação com a inserção dos dados meteorológicos relacionado aos dias escolhidos e informações sobre dados de saída no ENVI-guide. Para a escolha dos dados, fez-se a análise com dados do INMET (2022) para o ano de 2021, a escolha se deu por ser um ano recente e também para evitar que o mesmo não tenha sofrido com as interferências do El Niño em 2016, que afetou os anos posteriores. O critério para selecionar os dias foi através da temperatura máxima e mínima, com base nesse parâmetro, ao verificar os dados anuais no INMET os dias escolhidos foram: 28 jun. 2021 com temperatura mínima de 17,2 °C as 7h e 20 set. 2021 com temperatura máxima de 40,1°C às 16h, na perspectiva de comparar o período de temperaturas mais elevadas e menos elevadas do ano. Utilizou-se os dados da estação meteorológica automática A009, pois na inserção dos dados no software são necessários valores de máximos e mínimos tanto para temperatura como para umidade relativa e a estação convencional 83033 não fornece valores de máximo e mínimo de umidade relativa, disponibilizado dados desta variável apenas para três horários do dia. Na fase de inserção dos dados, optou-se pela metodologia simples (Figura 5), devido à sua opção de inserção de dados de forma manual, assim foram inseridos os dados de temperatura máxima e mínimo e de dados de umidade relativa máxima e mínima para cada dia. Além disso, para direção e velocidade do vento foram adotados valores referentes ao horário de início das simulações. Em 28 jun. foram utilizados 0,4m/s para velocidade do vento e 101 graus para direção e no dia 20 set. utilizou-se 0,4m/s e 2 graus respectivamente. Esses dados foram extraídos da estação meteorológica de Palmas mencionada anteriormente, disponibilizada pelo INMET (2022). Desse modo, prosseguiu-se com a checagem e rodagem da simulação no ENVI-core para posteriormente observar seus resultados para os horários 10h, 15h e 19h em cada cenário nos dois dias.

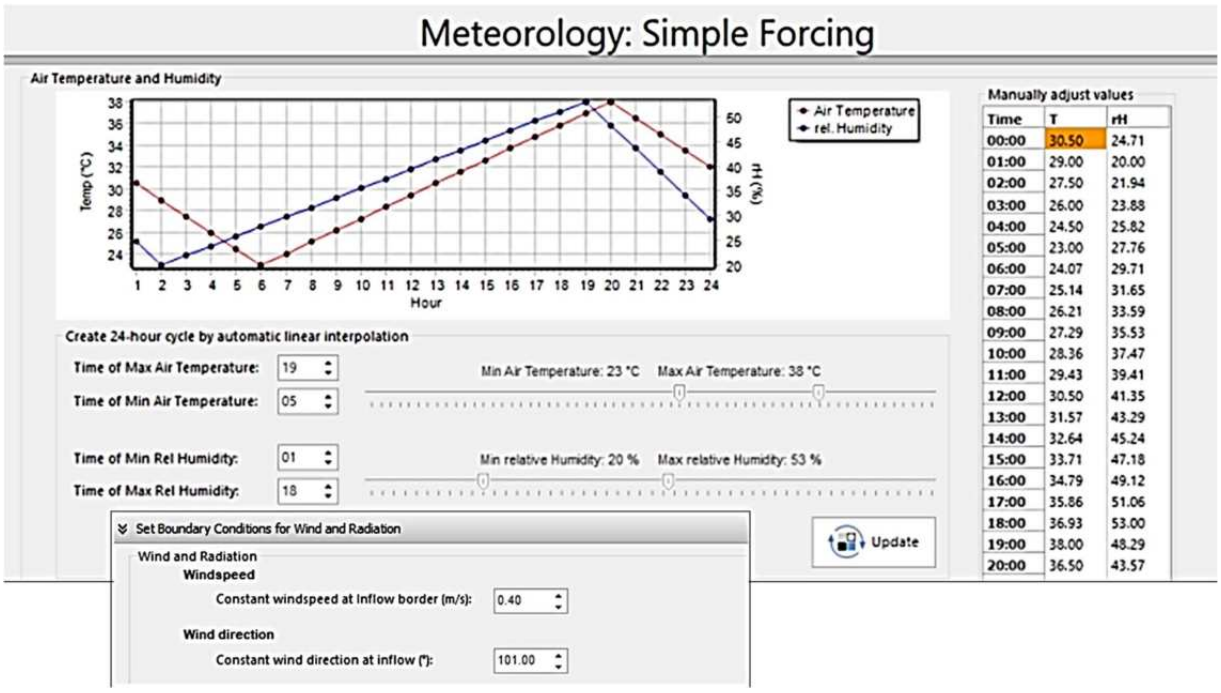


Figura 5 - Inserção de dados no ENVI-Guide (ENVI-met, 2022).

As variáveis analisadas, além do que foi preconizado por Rosseti et al. (2015), que utiliza para análise dos resultados a temperatura e umidade relativa do ar, foi utilizado também o PMV, um dos índices mais utilizados em análises de conforto térmico.

4. RESULTADOS

Os resultados começam apresentando o planejamento vegetativo realizado no campus e segue com os resultados da simulação que foi organizado por parâmetros, iniciando por temperatura, seguido de umidade relativa e finalizado com o índice de conforto térmico PMV. A análise se deu por mês e horário, assim os mapas comparativos compreendem três horários do dia simbolizando os três turnos de funcionamento do campus, sendo eles: 10h (matutino), 15 (vespertino) e 19h (noturno).

4.1. Planejamento vegetativo aplicado aos modelos

Seguindo as recomendações do Plano da Arborização Urbana de Palmas (2016), foi adotado o método de arborização para parques, praças e jardins nas áreas entre os blocos e orientações para arborização em calçadas na parte externa dos blocos. O plano não especifica uma quantidade mínima ou máxima de árvores, informando apenas que podem ser dispostas aleatoriamente, formando maciços com espaçamento padrão de um metro a partir do diâmetro da copa ou espaçamento igual à copa no caso de querer a sombra contínua. As árvores devem ser prioritariamente compostas por espécies autóctones e nativas do cerrado.

Nos blocos antigos, as árvores foram distribuídas e reduzidas da sua quantidade original para 8 unidades, baseando-se no estudo de Gomes e Silva (2020, p. 8) que cita sobre as árvores que "quando dispostas em grupos, formando uma espécie de bosque, a vegetação cria uma barreira que dificulta a ventilação, melhorando o conforto apenas próximo à árvore". Nos blocos novos, acrescentou-se mais 7 unidades da mesma nas partes internas e externas dos blocos (devido ao espaço), totalizando uma quantidade de 8 árvores em cada ambiente no segundo cenário (ver figura 6).

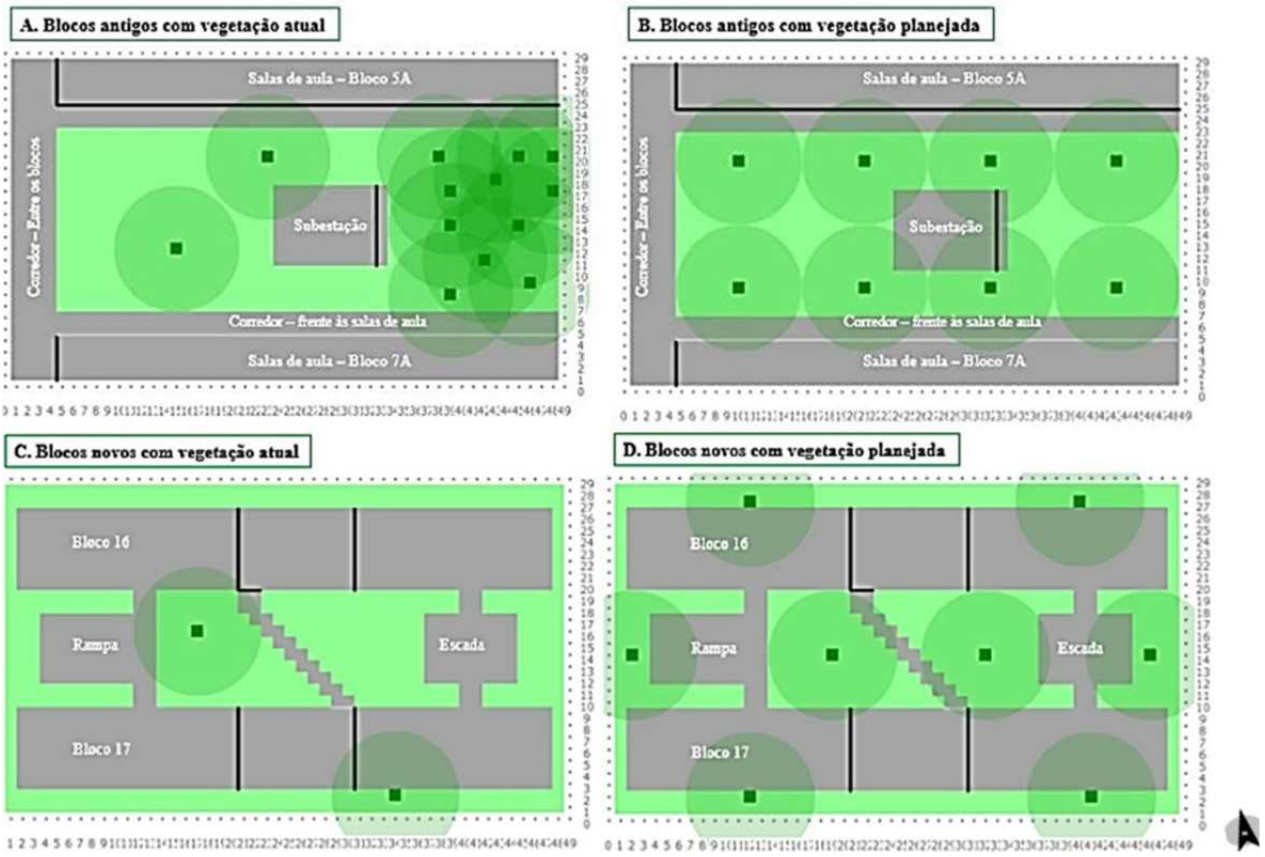


Figura 6 - Vista superior das modelagens (ENVI-met, 2022; organizado pela autora, 2022).

4.2. Efeitos da temperatura do ar nos cenários 1 e 2

No cenário de vegetação atual (Figura 7), para o mês de junho, expressou-se valores com uma variação de 25°C a 35°C nos blocos antigos e uma faixa de 23°C a 33°C para os blocos novos. Nos blocos antigos, é possível visualizar uma variação maior de temperatura nos três turnos, com temperaturas mais elevadas na área onde se encontra a maior quantidade da vegetação. Gomes e Silva (2020) explicam que isso acontece em decorrência da disposição das árvores em conjunto, que acabam se tornando um obstáculo para a ventilação. Já nos blocos novos, onde as árvores são dispostas de forma ordenada, as temperaturas foram mais baixas, confirmando em como essa configuração do posicionamento das árvores podem influenciar na variação da temperatura. Para o mês de setembro, ambos os blocos apresentaram valores semelhantes de temperatura em decorrência da forma em como a cidade recebe a insolação, desse modo os dois locais resultaram em temperaturas maiores que 30ºC em todos os períodos do dia, sendo o período vespertino o mais quente. Ainda foi possível visualizar que o período noturno apresentou altas temperaturas ambos os locais, isso pode ser explicado devido à capacidade que os materiais possuem de absorver e armazenar calor ao longo do dia que Segundo Shinzato (2009, p. 20) esse fato acontece porque "durante o dia, a radiação solar aquece as superfícies e este calor é armazenado nos materiais urbanos, sendo liberado no período noturno".

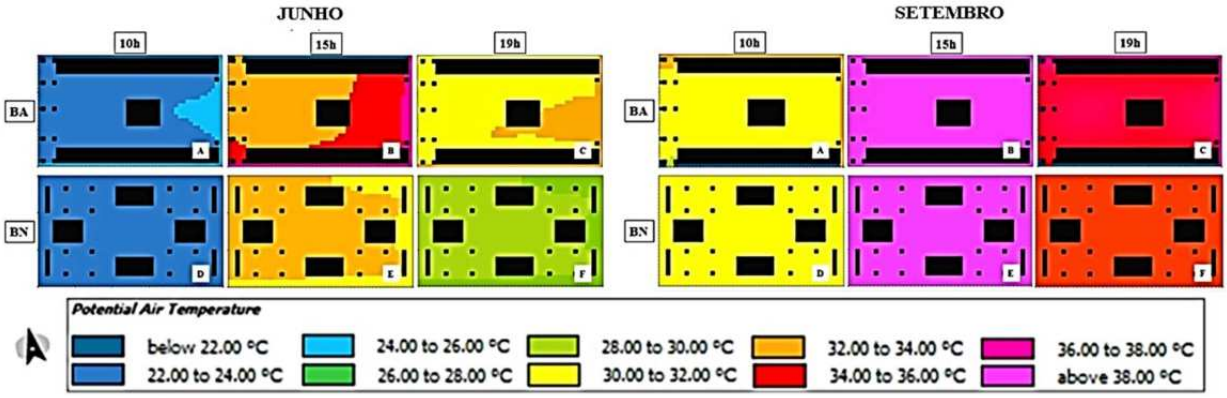


Figura 7 - Pranchas de mapas de temperatura em planta baixa para os meses de junho e setembro de 2021 no Cenário 1 (ENVI-met, 2022; organizado pela autora, 2022).

Com vegetação planejada (Figura 8), o mês de junho apresentou uma redução de até 1,56ºC em relação ao cenário anterior. Mesmo que os blocos antigos tenham permanecido nas mesmas faixas de temperatura, todos os horários sofreram reduções. Os valores saíram de 25,18ºC para 23,62ºC pela manhã, de 34,85ºC para 33,50ºC na parte da tarde e temperatura reduzida para faixa dos 30ºC nos corredores dos blocos que teve as árvores reorganizadas. Para o período da noite, as variações foram de 32,42ºC para 31,02ºC, enquanto os blocos novos permaneceram com as mesmas faixas. Analisado os blocos antigos e novos foram notados valores mais próximos entre eles, continuando com maiores diferenças apenas no período noturno que obteve uma variação de 2,44ºC de um para o outro. No mês de setembro, os dois locais também continuaram com os valores de temperatura semelhantes, mas mesmo assim tiveram reduções de até 0,30ºC para os blocos antigos e de até 0,48ºC para os blocos novos. Entre os cenários observou-se uma maior redução de temperatura principalmente no período da manhã em ambos os locais, pois o período matutino contém menor radiação que os demais.

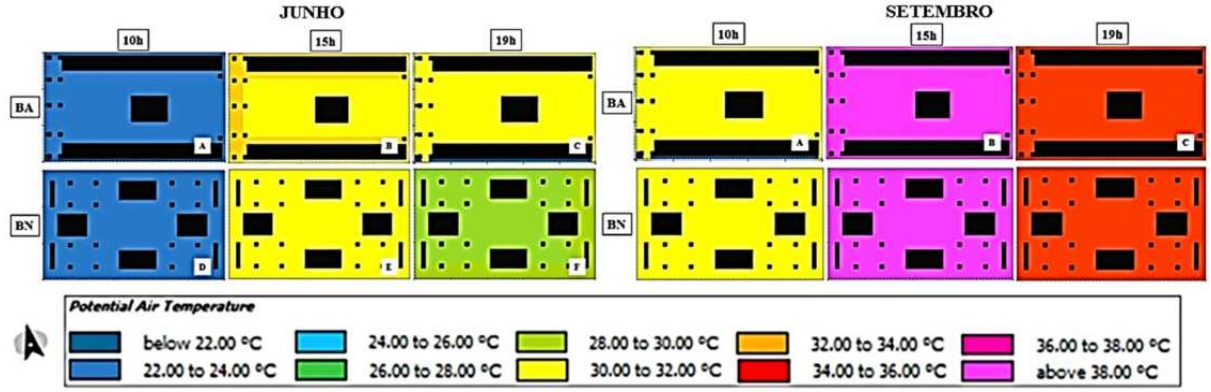


Figura 8 - Pranchas de mapas de temperatura em planta baixa para os meses de junho e setembro de 2021 no Cenário 2 (ENVI-met, 2022; organizado pela autora, 2022).

4.2. Efeitos da umidade relativa do ar nos cenários 1 e 2

Com os mapas a seguir, foi possível visualizar que o período matutino é o período que apresentou maior umidade e que os demais períodos foram mais secos nos dois meses em ambos os blocos. Ainda, pode-se observar que o cenário com vegetação planejada conseguiu aumentar de forma significativa a umidade relativa nos dois blocos. No primeiro cenário, a umidade relativa do ar no mês de junho (Figura 9) variou de 24% a 52% nos blocos antigos e de 26% a 55% nos blocos novos. Entre os locais, notou-se que os blocos antigos obtiveram maiores variações, com até 6,8% de diferença em relação aos novos, pois a área entre os blocos antigos possui uma quantidade maior de árvores do que nos blocos novos, essa vegetação no local contribuiu para o aumento da umidade devido ao seu processo de evapotranspiração na superfície das folhas, que amenizam o calor do meio e o transformam em umidade (SHINZATO, 2009; PLANO ÁRBOREO DE PALMAS, 2016; CAMPOS, 2018). Como setembro é um mês que apresentou elevadas temperaturas, consequentemente os valores da umidade relativa do ar foram mais baixos que no mês de análise anterior (Figura 9). Os blocos antigos obtiveram umidades entre 18% e 47% enquanto os blocos novos variaram entre 19,51% e 42%, sendo a parte matutina a com maior umidade em ambos os locais. Nesse caso, os locais entre si não tiveram tanta diferença como no mês de junho, principalmente no período vespertino e noturno que nos mapas apresentam cores bem semelhantes evidenciando assim o quanto o mês de setembro é seco

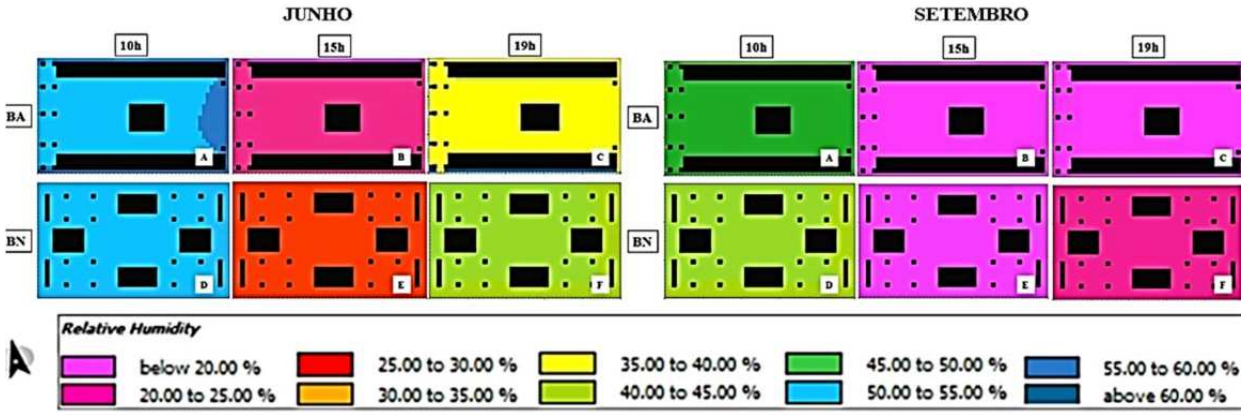


Figura 9 - Pranchas de mapas de umidade relativa em planta baixa para os meses de junho e setembro de 2021 no Cenário 1 (ENVI-met, 2022; organizado pela autora, 2022).

No mês de junho, a vegetação planejada foi capaz suavizar a diferença entre os dois ambientes (Figura 10), com até 3,01% de diferença nos blocos antigos e 4,22% nos blocos novos em relação ao cenário anterior. No mês de setembro (Figura 10), não houve muitas diferenças do cenário anterior quanto à mudança na posição de suas faixas, havendo alterações apenas no horário de 15h para os blocos novos, que saiu de 19,51% para 20,20%. Mesmo permanecendo com as mesmas faixas, todas as umidades relativas aumentaram com o planejamento arbóreo.

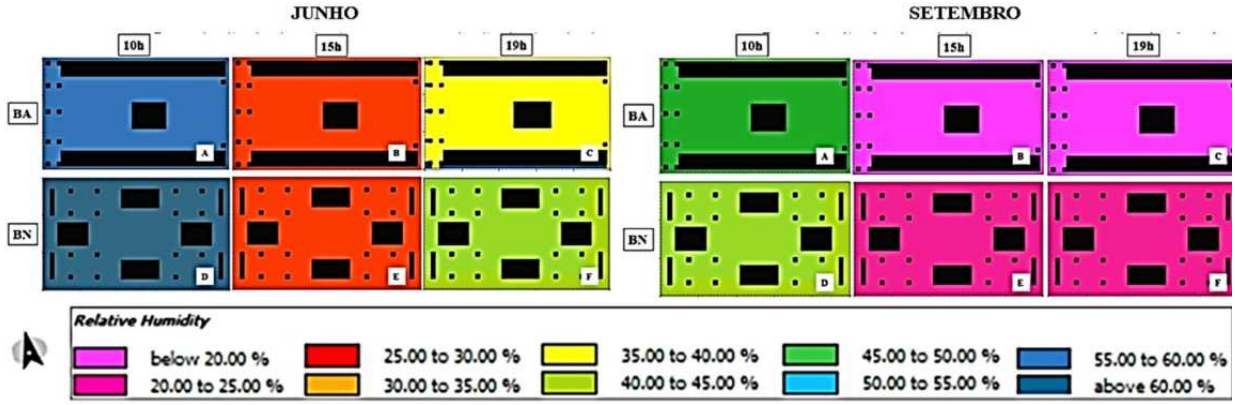


Figura 10 - Pranchas de mapas de umidade relativa em planta baixa para os meses de junho e setembro de 2021 no Cenário 2 (ENVI-met, 2022; organizado pela autora, 2022).

4.2. O conforto térmico nos cenários 1 e 2

Para verificar o conforto térmico nos ambientes, utilizou-se como parâmetro o índice PMV, que foi extraído do programa através do plugin BIO-met. Foram inseridos dados de entrada para uma pessoa considerada jovem, do sexo masculino, com 20 anos de idade, 1,78m altura, pesando 80kg e com índice percentual de vestimenta de 0,5clo considerando calça e camiseta e a taxa metabólica basal foi calculada pelo próprio software considerando que o aluno estava realizando atividade sedentária. A partir dos resultados do índice para os dois cenários, fez-se a leitura e interpretação dos dados com base no Quadro 3 que estabelece o nível de conforto adotado na pesquisa de Nascimento e Silva (2019).

Quadro 3 - Níveis de conforto com o valor do PMV (Nascimento e Silva, 2019; organizado pela autora 2022).

Valor de PMV	Nível de Conforto
-0,5 até 0	Confortável
0 até 0,5	Confortável
0,5 até 1,0	Levemente quente
1,0 até 1,5	Pouco quente
1,5 até 2,0	Quente
2,0 até 2,5	Muito quente
Acima de 2,5	Extremamente quente

O primeiro cenário, referente ao mês de junho, os índices de PMV foram do “levemente quente” ao “extremamente quente” nos dois blocos (Figura 11). Os mesmos apresentaram valores bem próximos entre si com pequenas variações e ambos tiveram o período da tarde como o mais desconfortável com valores acima de 2,5 nos dois locais em faixas de “extremamente quente”. O período vespertino também obteve desconforto com valores acima de 2,0 nas faixas de “muito quente” e o turno matutino foi o único período com índice “confortável” com valores de 0,50 (blocos antigos) e 0,49 (blocos novos) coincidindo com o horário que possuiu as menores temperaturas e maiores umidade relativas para o período.

Em setembro (Figura 11), os blocos apresentam mesmas faixas, sendo elas do “pouco quente” ao “extremamente quente”. Diferente do anterior, esse mês não apresentou faixa “confortável” em nenhum período do dia e tanto o período da tarde como o da noite contém faixas de “extremamente quente” com valores acima de 2,5.

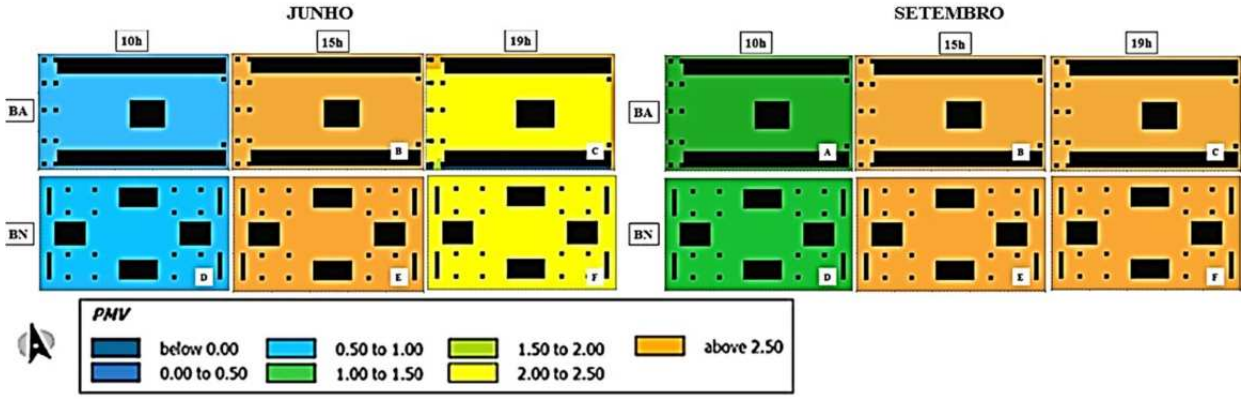


Figura 11 - Pranchas de mapas de PMV em planta baixa para os meses de junho e setembro de 2021 no Cenário 1 (ENVI-met, 2022; organizado pela autora, 2022).

No segundo cenário, após o planejamento arbóreo, o mês de junho (Figura 12) apresentou melhorias no conforto térmico dos ambientes e redução de faixas do “levemente quente” para o “confortável” tanto nos blocos antigos como nos novos e do “muito quente” para o “pouco quente” nos blocos novos. Em relação aos dois ambientes, os blocos novos obtiveram melhores variações no índice de conforto chegando até -0,12 às 10h, provavelmente pelas menores temperaturas apresentadas. No mês de setembro (Figura 12), com o planejamento vegetativo, as mudanças foram significativas para os dois locais principalmente no período matutino e vespertino, mas nenhum dos períodos atingiu o nível “confortável”, pois setembro é um dos meses com maiores temperaturas do ano em Palmas gerando assim grandes desconfortos em quase todo o local. Nos dois cenários, foi notável a redução do desconforto ao longo do dia com valores chegando até 0,61 entre eles, assim mesmo que os locais continuassem com mesmas faixas, todas conseguiram obter reduções.

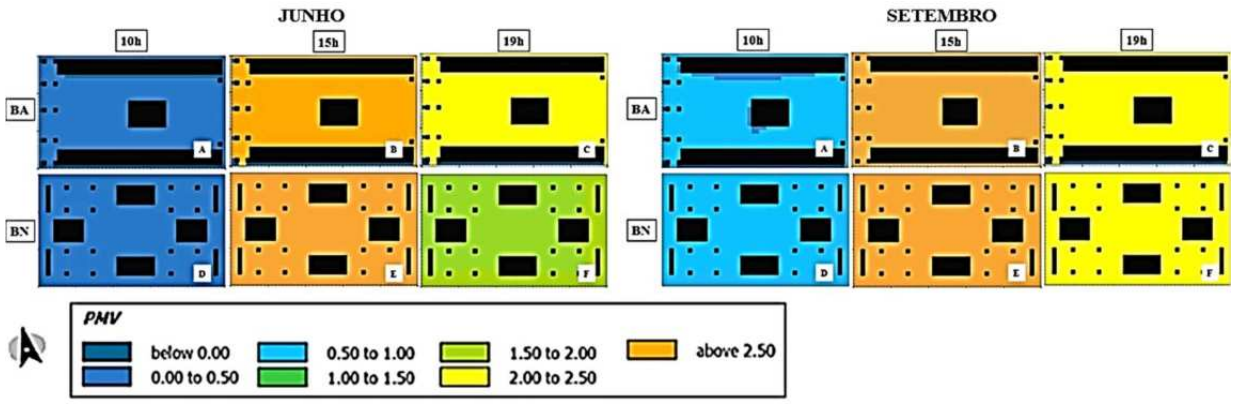


Figura 12 - Pranchas de mapas de PMV em planta baixa para os meses de junho e setembro de 2021 no Cenário 2 (ENVI-met, 2022; organizado pela autora, 2022).

5. CONCLUSÕES

Com base nesses resultados, verificou-se que a vegetação é uma importante aliada como estratégia para melhorar os ambientes externos, pois “mitiga o aquecimento urbano não por resfriar o ar, mas por se aquecer menos do que as superfícies inertes” (DUARTE, 2015). Logo, a aplicação da vegetação não é capaz de solucionar todo o desconforto da escola, visto que o mesmo é causa de um conjunto de fatores, mas ela

apresenta uma boa solução para melhorar o microclima escolar e contém grande vantagem para amenizar o estresse térmico causado por calor aos alunos.

Quanto ao software ENVI-met, apesar de suas limitações da versão gratuita, verificou-se que seu uso é acessível para modelar e simular ambientes urbanos e suas interações com o meio, conseguindo avaliar o microclima em diferentes escalas do espaço urbano com dados próximos aos dados do INMET. O mesmo é disponibilizado sem custos, mas precisar ser utilizado com atenção, observando a inserção correta dos dados ao programa, a análise dos modelos de vegetação existentes no banco de dados do software e a área a ser modelada, devido ao limite permitido pelo programa. O software mostrou-se eficaz para compreender o conforto térmico dos alunos no campus ao longo dos dias simulados, pois permitiu a visualização em como os efeitos do microclima de Palmas pode interferir no desempenho dos alunos devido as suas altas temperaturas e períodos secos principalmente no vespertino.

Vale ressaltar que apesar dos resultados não apresentarem uma melhoria muito grande em relação aos dados registrados no INMET, mesmo com as limitações do programa, ainda foram positivos mostrando ser um assunto exploratório para pesquisa, visto que a área simulada se refere apenas as dimensões de 50x30x20 metros e o campus contém na sua totalidade 128.508,38m². Dessa forma, ao considerar a vegetação como uma vantagem para o conforto térmico no ambiente escolar, recomenda-se que o estudo do planejamento arbóreo seja abordado e inserido no projeto de novos blocos e até mesmo outras escolas, que também deve ter seus projetos construtivos avaliados conforme as necessidades de cada região.

Essas melhorias podem garantir vantagens de melhorar no desempenho dos alunos visto que o conforto influencia de forma significativa no bem-estar do mesmo. Além disso, com os resultados verificou-se que o horário de melhor conforto para os estudantes no campus é no período matutino, por ser o turno no qual a temperatura e o índice de conforto são mais baixos que os demais chegando ao confortável no mês de junho. Isso demonstra mais uma vez que o papel da vegetação no campus é essencial, pois através dos estudos no ENVI-met foi possível visualizar como seu uso pode melhorar as condições microclimáticas do local. No entanto, mesmo que o campus contenha uma quantidade considerável de área verde que contém muita superfície exposta (terra aparente) e vegetação baixa (grama), há lugares que precisam de mais atenção nessa questão, como os entornos das novas edificações mais utilizadas e em áreas de vivência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAIRRÃO, Giselly. **Conforto térmico no ambiente escolar**: uma análise metacognitiva com aplicação da cortina térmica sustentável. Dissertação (Pós-Graduação em Rede Nacional de Ensino das Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

CAMPOS, Maíra. **O uso do ENVI-met na análise microclimática urbana: a praça Afonso Pena – Tijuca, RJ.** Dissertação (Mestrado em Ciências em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

DUARTE, Denise. **O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano.** Tese (Livre docência – Departamento de Tecnologia e Arquitetura) – FAUUSP, São Paulo, 2015.

GOMES, Bárbara; SILVA, Caio. **Análise comparativa da vegetação urbana e o seu impacto no conforto térmico na escala local.** Caso do Distrito Federal – DF. ENSUS - VIII ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, p. 46-56, Palhoça, 2020.

IFTO - INSTITUTO FEDERAL DO TOCANTINS. **Apresentação institucional - Campus Palmas.** Palmas, 2022. Disponível em: http://www.ifto.edu.br/palmas/acesso-a-informacao/palmas/institucional. Acesso em: 10 fev. 2022.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – **INMET**. Tabela de dados das estações. Palmas - TO, 2022.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress Térmico.** Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

NASCIMENTO, Luna; SILVA, Caio. **O conforto térmico em áreas escolares: análise da vegetação por meio do ENVI-met.** International Building Performance Simulation Association, Argentina, 2019.

NERES, Danillo; SILVA, Luma; PEREIRA, Miréria. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano em município do Sul do Tocantins.** Research, Society and Development, v. 10, 2021.

PREFEITURA DE PALMAS. **Plano de arborização urbana de Palmas.** Palmas, 2016.

ROMERO, M.A.B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Brasília: Editora UnB, 128p, 2000.

ROSSETI, K. de A. C.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. de J. A.; CALLEJAS, I. J. A.; KUHNEN, I. A.; NOGUEIRA, J. de S. Efeitos da incorporação de vegetação em telhados de zona urbana em clima tropical continental. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 6, n. 2, p. 121–128, 2015.

SANTOS, Juliana. **O uso do PMV para avaliação do conforto térmico em edifício de escritório tipo plano aberto e sua viabilidade de aplicação em clima quente e úmido.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2018.

SHINZATO, Paulo. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos.** Dissertação – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 173p. São Paulo, 2009.

SILVA, Brenda; XAVIER, Tatiana; SILVA, Fabiana; ALVAREZ, Cristina. **O impacto da distribuição de vegetação no microclima de ambiente urbanos.** Portugal, 2015.