INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO ARBÓREA NO MICROCLIMA DE ÁREAS VERDES URBANAS EM SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS

Jéssica Daiane Santos Pereira (1); Ricardo Victor Rodrigues Barbosa (2)
(1) Arquiteta e Urbanista, Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, jessica.pereira@fau.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas
(2) Doutor, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, rvictor@fau.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, S/N Tabuleiro do Martins, Maceió – AL, 57072-900, (82)3214-1283

RESUMO
As implicações do crescimento das cidades, que ocorre de forma a subjugar os espaços naturais, têm se tornado evidentes nas últimas décadas, sendo possível perceber a necessidade de se buscar equilíbrio e coexistência entre os meios natural e urbano. Dessa forma, buscou-se analisar a influência de áreas verdes arborizadas, com solo gramado e solo exposto na temperatura do ar presente na malha urbana, em condições climatológicas de dia quente e seco. Para isso, foi realizado levantamento das diretrizes municipais acerca dos percentuais de áreas verdes exigidos, bem como de outras orientações de dimensionamento, para subsidiar a criação de cinco cenários parametrizados. Os cenários apresentam áreas verdes cujos espaços equivalem a 10% da área geral da gleba projetada, em diferentes formas de espacialização: Central, Distribuído, Linear, Misto e Periférico. Todas as espacializações foram simuladas em três grupos: o primeiro, com áreas verdes arborizadas e com solo gramado; o segundo, com área verde com solo gramado apenas; e o terceiro, com área verde com solo exposto. Todos os cenários parametrizados foram modelados, primeiramente no software AutoCAD 2019 e, posteriormente, no software ENVI-Met 4.0 para gerar as simulações demonstrativas do comportamento da temperatura do ar nos cenários. As análises dos resultados mostraram que os cenários com arborização registraram valores de temperatura do ar menores em comparação com as tipologias de cenário com solo gramado e solo exposto, principalmente nos períodos diurnos, o que pode ser justificado pelo sombreamento produzido pela arborização presente nos cenários.

Palavras-chave: Planejamento urbano, áreas verdes, simulação computacional, microclima urbano.

ABSTRACT
The implications of city growth, which occurs in a way that subjugates natural spaces, have become evident in recent decades, and it is possible to perceive the need to seek balance and coexistence between natural and urban environments. In this way, the influence of green areas with trees, grassy soil, and exposed soil on air temperature in the urban fabric was analyzed under hot and dry climatic conditions. For this purpose, a survey was conducted on municipal guidelines regarding the required percentages of green areas, as well as other design guidelines, to support the creation of five parametrized scenarios. The scenarios present green areas whose spaces correspond to 10% of the total area of the planned plot, in different spatial forms: Central, Distributed, Linear, Mixed, and Peripheral. All spatializations were simulated in three groups: the first, with tree-covered green areas and grassy soil; the second, with green areas with grassy soil only; and the third, with green areas with exposed soil. All the parametrized scenarios were first modeled in AutoCAD 2019 software and then in ENVI-Met 4.0 software to generate demonstrative simulations of air temperature behavior in the scenarios. The analysis of the results showed that scenarios with trees recorded lower air temperatures compared to scenarios with grassy soil and exposed soil, especially during daylight periods, which can be justified by the shading produced by the trees in the scenarios.

Keywords: Urban planning, green areas, computer simulation, urban microclimate.

1. INTRODUÇÃO

A presença das áreas verdes nos centros urbanos é um importante instrumento mitigador do rigor térmico em cidades de clima tropical. Segundo Bargos e Matias (2011), a conservação das áreas verdes no interior da malha urbana sempre foi ancorada em seu potencial de melhoraria da qualidade ambiental, cuja presença interfere diretamente nas características urbanas e no que concerne à sua relação com os habitantes por meio de diversas funções – sociais, estéticas e/ou educacionais –, uma vez que a presença das áreas verdes buscam apaziguar as consequências adversas da urbanização.

Uma das principais funções das áreas verdes urbanas está relacionada ao fato de que as mesmas promovem equilíbrio na temperatura e na umidade do ar e sombreamento nos dias ensolarados, garantindo ambientes urbanos termicamente mais confortáveis (LIU et.al., 2020). Como a paisagem urbana avança gradativamente para um cenário no qual as áreas verdes são suprimidas e a cobertura do solo é cada vez mais impermeabilizada, verifica-se expressivo impacto na qualidade do conforto térmico em espaços externos, com maior acúmulo de calor sensível na camada do dossel urbano (PAN et.al., 2019). Desse modo, a arborização urbana pode ser considerada como um importante elemento da paisagem natural que compõe o ecossistema urbano e deve estar integrada aos processos de planejamento urbano, uma vez que sua presença favorece ao aumento da qualidade de vida à população (PERES, et.al., 2013).

A presença de vegetação nas áreas verdes é um dos fatores que mais contribuem para minimizar problemas ambientais urbanos, podendo ser de diferentes tipologias e porte: arbóreo, que promove sombreamento; arbustivo, que também pode ter as funções de barreira acústica e canalização dos ventos; ou ainda a vegetação do tipo rasteira, que impacta principalmente na permeabilidade do solo (YUAN et.al., 2019). De acordo com Cavalheiro e Del Picchia (1992), as cidades são constituídas, em sua essência, de espaços com influência mútua, entre edificações e espaços livres pressupondo a existência de certa proporcionalidade ideal entre estes usos, adaptada pelas legislações de cada localidade. Assim, pode-se deduzir que multifuncionalidade das áreas verdes é reflexo da organização do espaço urbano previsto no processo de planejamento da cidade.

As alterações ocorridas na paisagem natural de cada lugar possibilitam analisar os problemas urbanos que surgem das ações antrópicas. A redução das áreas verdes urbanas e o aumento das áreas impermeáveis promovem deslizamento de encostas, poluição das reservas hídricas, diminuição da cobertura vegetal em áreas de vale e margens de rios, entre outros problemas urbanos (VEIGA; MATTA; VEIGA, 2017). Outra consequência das alterações na cobertura do solo é a formação de ilhas de calor urbano, uma vez que, quanto maior a área de superfície impermeabilizada e com baixo albedo, maior a quantidade de radiação solar absorvida e reemitida por meio de ondas longas convertidas em calor sensível, aquecendo, consequentemente as áreas urbanas (OKE et.al., 2017).

Os sistemas de vegetação arbóreo reduzem o efeito de ilhas de calor a partir do sombreamento e do processo de evapotranspiração, quando planejados com o objetivo de promover qualidade ambiental ao espaço no qual será inserido (LIVESLEY; MCPHERSON; CALFAPIETRA, 2016), assim como as árvores contribuem para a redução do consumo de energia por meio do sombreamento, uma vez que evitam o armazenamento de calor nos diversos materiais construtivos, protegem os pedestres da radiação solar direta e promovem sensação de frescor às mesmas (GARTLAND, 2008).

Partindo dessa premissa, Alvarez (2004) destacou que, no processo de planejamento urbano, levantamentos e diagnósticos prévios acerca da presença de vegetação podem subsidiar planos de ação para a implantação e manutenção de áreas verdes urbanas, uma vez que estas áreas podem ser consideradas frágeis e facilmente corrompidas pelas ações antrópicas, impulsionadas pelo adensamento populacional, especulação imobiliária e expansão urbana. O autor afirmou, ainda, que, para garantir as funções destas áreas, é preciso qualificar e relacionar as áreas verdes, mantendo-as nas cidades de forma homogênea e adequadamente projetadas para cada realidade, sempre levando em consideração fatores condicionantes como a região, local de implantação etc.

Contudo, a implantação de espécies vegetais não deve ser feita aleatoriamente. Segundo Braz et.al. (2018), as áreas verdes devem possuir o predomínio de vegetação arbórea como os elementos mais comuns em praças, jardins públicos e parques urbanos. Diversos trabalhos analisaram os efeitos microclimáticos do uso da vegetação em espaços urbanos, tanto por meio de pesquisas experimentais, como também em simulações computacionais, demonstrando a influência da presença da vegetação na mitigação do rigor térmico (HUANG, CHEN, 2020; LIU et.al., 2020).

2. OBJETIVO

A partir do exposto, a presente pesquisa objetivou analisar e discutir a influência dos diferentes tipos de vegetação (arbóreo e gramíneo) em áreas verdes urbanas por meio de cenários parametrizados com auxílio de

simulação computacional no software ENVI-Met 4.0.

3. MÉTODO

O município de Arapiraca está localizado a 132 km da capital Maceió, nas coordenadas geográficas 9º75'25 de latitude Sul e 36º60'11 de longitude Oeste, pertencendo a mesorregião alagoana denominada Agreste. Faz parte da lista das 38 cidades alagoanas inseridas dentro da área referente ao Semiárido Brasileiro, definido no Zoneamento Bioclimático Brasileiro presente na NBR 15220-3/2003, caracterizada por amplitudes térmicas elevadas diária e sazonalmente, a ocorrência de massas de ar quente, radiação direta intensa e baixa umidade relativa do ar.

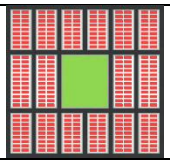
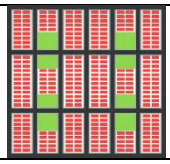
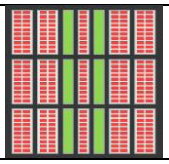
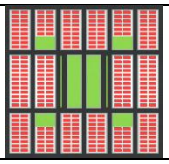
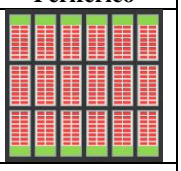
Diante desse cenário, Silva (2019) apontou que, a partir das informações do Ano Climático de Referência do município de Arapiraca (considerado pela autora o ano de 2010), o relatório da Carta de Givoni indica que durante 17,7% do ano, a cidade permanece em situação de conforto térmico, sendo que em 76,1% do ano enfrenta desconforto por calor e em 6,2% no ano ocorre desconforto por frio. Em relação as estratégias recomendadas para o município, o estudo aponta que as mais indicadas ao longo do ano inteiro são o sombreamento e a ventilação. Sendo o sombreamento uma das principais estratégias bioclimáticas indicadas para o município de Arapiraca – AL e, a partir da premissa que a arborização urbana é uma maneira de se conseguir implementar essa estratégia, a presente pesquisa buscou analisar o impacto do uso da vegetação de diferentes portes como estratégia mitigadora do rigor térmico em espaços urbanos simulados.

3.1. Caracterização dos cenários parametrizados

A definição da área a ser modelada teve como referência a unidade da quadra com 20 lotes retangulares, sendo 10 lotes voltados para cada face da quadra, com dimensões 8 m x 18 m, correspondendo ao tamanho mínimo de lote em Zona Especial de Interesse Social, de acordo com Lei Municipal Nº 2.770/2011 (ARAPIRACA, 2011). As dimensões dos lotes e edificações atenderam aos valores mínimos definidos pelo Código de Obras do município (ARAPIRACA, 2001) e pela Lei Parcelamento do Solo Urbano (ARAPIRACA, 2011).

Após a definição do tamanho das quadras a partir dos lotes, as áreas foram modeladas com base em dois parâmetros existentes na lei sobre Parcelamento do Solo Urbano: (a) percentual mínimo de 10% destinado às áreas verdes; e (b) percentual mínimo de 20% para áreas de circulação (ruas e calçadas) (ARAPIRACA, 2011). Em seguida, foram modelados cenários com cinco diferentes arranjos espaciais de áreas verdes baseadas nas distribuições espaciais de áreas verdes comumente encontradas nos loteamentos na cidade de Arapiraca-AL, que foram previamente identificados e analisados por Pereira (2020): Central, Distribuída, Linear, Mista e Periférica (Tabela 1). As distribuições espaciais das áreas verdes exigiu adaptações na quantidade de lotes presentes em cada cenário, de modo que o cenário Central ficou com 312 lotes, o cenário Distribuído com 304 unidades, o cenário Linear com 270 lotes, o cenário Misto com 288 unidades e o cenário Periférico com 300 lotes.

Tabela 1 - Áreas e percentuais gerais dos cinco cenários hipotéticos parametrizados.

Informações	**Cenários hipotéticos parametrizados**				
	Central	**Distribuído**	**Linear**	**Misto**	**Periférico**
					
Dimensões do modelo	280,00 x 268,00 m				
Área total do modelo	75.040 m²				
Tamanho dos lotes	8 m x 18 m				
Dimensões dos recuos	4 m (frontal) e 2 m (laterais/fundos)				
Quantidade de lotes	312	304	270	288	300
Percentual das áreas verdes	10,7%	10,7%	10,2%	11,2%	10,3%
Percentual de área de circulação	29,3%	30,1%	37,9%	33,4%	32,0%
Largura das ruas	8 m				
Largura das calçadas	2 m				

Considerando que todos os cenários deveriam possuir o mínimo de 10% de área verde, foram calculadas as dimensões mínimas necessárias para atender o pré-requisito. No entanto, seguindo as premissas de máximo aproveitamento da gleba para implantação de lotes e respeito as áreas mínimas e máximas exigidas pelas diretrizes, foram necessários ajustes pontuais nas dimensões das áreas verdes e na quantidade de lotes presentes em cada cenário. No caso das áreas verdes, a variação no percentual de área presente nos cenários foi de até 1%, para mais ou para menos. Os valores exatos dos percentuais das áreas verdes por cenários podem ser consultados na Tabela 1.

Definidos os arranjos espaciais das áreas verdes nos cinco cenários hipotéticos, foram consideradas três possibilidades de cobertura do solo nestas áreas: (a) áreas verdes vegetadas com espécies arbóreas de grande, médio e pequeno portes, combinadas com gramíneas; (b) áreas verdes sem espécies arbóreas, porém com solo permeável vegetado com gramínea; (c) áreas verdes não urbanizadas, com cobertura de solo exposto.

3.2. Cenários parametrizados com arborização

Para a criação dos cenários parametrizados arborizados, fez-se necessário estabelecer um padrão de cobertura vegetal arbórea (CVA). A partir dos estudos analisados (MORERO et.al., 2007; BARGOS, 2010), foi considerado que 70% dos espaços destinados para área verde receberia cobertura vegetal arbórea e sua totalidade permaneceria de solo permeável com gramíneas. Para garantir a aplicabilidade desse estudo em situações reais, foi analisado quais as espécies arbóreas comumente encontradas na flora local.

Com base nas semelhanças encontradas nas características como porte, altura e diâmetro da copa, entre algumas espécies descritas no diagnóstico do Plano Diretor Participativo de Arapiraca (PDPA) (ARAPIRACA, 2006) e espécies presentes no software ENVI-Met 4.0, foi definido um padrão para árvores de pequeno, médio e grande portes, baseando-se na altura da espécie e no diâmetro da copa. Dessa forma, foi possível estabelecer a área de cobertura da copa (ACC) para cada porte arbóreo (Tabela 2).

Tabela 2: Padrão dimensional de espécies utilizado nos cenários parametrizados.

Informações	**Pequeno porte**	**Médio porte**	**Grande porte**
Altura da espécie	De 02 a 09 metros	De 10 a 15 metros	De 16 a 25 metros
Diâmetro da copa	05 metros	09 metros	15 metros
Área de cobertura da copa (ACC)	19,63 m²	63,61 m²	176,71 m²
Espécie real (no PDPA)	Mulungu (*Erythrina speciosa*)	Craibeira (*Tabebuia caraíba*)	Pau-ferro (*Caesalpinia leiostachya*)
Espécie equivalente (no ENVI-Met® 4.0)	Álamo-branco (*Populus alba*)	Jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*)	Cárpino (*Carpinus betulus*)
Altura x Largura (m)	7,00 x 5,00	15,00 x 9,00	20,00 x 15,00

Por meio dos valores da ACC e da área verde a ser coberta por vegetação arbórea, foi definido quantas espécies seriam necessárias para cumprir o parâmetro de 70% de CVA preestabelecido para cada cenário parametrizado.

3.3. Cenários parametrizados com solo gramado e com solo exposto

Para os cenários cuja área verde recebeu espécie gramínea, todas as espacializações e metragens foram mantidas no mesmo padrão dos cenários com arborização, porém como se trata de uma cobertura do solo do tipo rasteira, o percentual de cobertura foi de 100%. Dessa forma, todos os espaços destinados à área verde receberam a mesma espécie de grama sobre o solo argiloso. Assim como as tipologias de cobertura anteriormente citados, os cenários parametrizados com solo exposto foram elaborados com as mesmas metragens, recintos e espacializações das áreas verdes, nas quais foram mantidas das características de solo argiloso natural, sem a adição de quaisquer coberturas vegetais.

3.4. Modelagem dos cenários parametrizados no ENVI-Met

A partir da definição completa das tipologias, das características, materiais e elementos necessários para a composição dos cenários a serem simulados, foi iniciado o processo de modelagem no software ENVI-Met 4.0. A primeira parte consistiu em inserir as configurações para criar o modelo de domínio no qual os cenários foram criados, com base no que foi estabelecido anteriormente (Tabela 3).

Tabela 3: Configurações para criação dos modelos de domínio (etapa pré-modelagem).

Propriedades do modelo de domínio utilizado			
Área principal do modelo	Nº de células nos eixos x, y e z		148, 142 e 10 células
	Nº de células de nidificação		8 células
	Tipo de solo na área de nidificação		Solo argiloso
Tamanho e estrutura das células	Tamanho da célula nos eixos x, y e z (m)		2 x 2 x 3 m
	Método de geração da grade vertical		Equidistante
Propriedades padrão de parede/telhado	Material da parede		Parede de tijolo (queimado)
	Material do telhado		Telhado em terracota
Propriedades geográficas	Indicação do Norte (em graus)		0.00º
	Localização na Terra	Nome da cidade	Arapiraca – AL
		Latitude	-9.45
		Longitude	-36.39
		Fuso horário	GMT -2
		Longitude de referência	-30.00

Nas localizações onde encontram-se a área verde, foi utilizado o solo argiloso; as calçadas e o interior das quadras receberam o pavimento do tipo concreto usado; já nas ruas, foi utilizado o asfalto. Logo depois, foi modelado edificações de um pavimento, cujos materiais definidos foram paredes de tijolo queimado e telhado em terracota. Para os cenários com solo exposto, os materiais inseridos e espaços modelados findaram nesse ponto. Para a modelagem dos cenários com grama, seguiu-se as mesmas etapas anteriormente citadas e, por fim, foi inserida sobre o solo exposto a vegetação gramínea. Em relação aos cenários arborizados, as mesmas fases foram cumpridas e os arquivos foram finalizados com a inserção das espécies arbóreas pré-definidas: o álamo branco, jacarandá e cárpino.

3.5. Configurações dos parâmetros de entrada para simulação

Para iniciar os processos de simulação dos cenários parametrizados, foi necessário configurar os parâmetros de entrada no software ENVI-Met 4.0, utilizando os valores das variáveis climáticas de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade/direção dos ventos com base no estudo de Silva (2019), que mostra o dia 26/11/2015 como representativo do período quente e seco. A duração total do tempo de simulação foi baseada no estudo de Torres (2017), que constatou a necessidade mínima de 52 horas simuladas (com intervalo de registro dos dados de saída a cada 60 minutos) (Tabela 4).

Tabela 4: Parâmetros de entrada para simulação dos cenários propostos no período quente e seco.

Parâmetro		**Informações**							
Data inicial de simulação		24/11/2015							
Horário inicial		21:00 horas							
Duração total		52 horas							
Intervalo de registro		60 minutos							
Velocidade dos ventos (10 m acima do solo)		2.7 m/s							
Direção dos ventos		90º							
Rugosidade Z0 (ponto de referência)		0.1 m							
Temperatura inicial da atmosfera		302.34 K (29.19ºC)							
Umidade específica (2500 m)		2.92 g/kg							
Umidade relativa (2 m)		64.8%							
Fator de ajuste para radiação solar		0.92 W/m²							
Simple Forcing	Temperatura do ar (em K) (Hora | Valor)	(00:00)	297,45	(06:00)	300,55	(12:00)	311,65	(18:00)	301,85
		(01:00)	297,25	(07:00)	302,95	(13:00)	312,95	(19:00)	300,05
		(02:00)	296,85	(08:00)	305,35	(14:00)	312,85	(20:00)	299,35
		(03:00)	296,05	(09:00)	308,15	(15:00)	311,85	(21:00)	298,95
		(04:00)	295,35	(10:00)	310,15	(16:00)	308,25	(22:00)	298,55
		(05:00)	296,85	(11:00)	311,05	(17:00)	304,95	(23:00)	297,95
	Umidade relativa (Hora | %)	(00:00)	81	(06:00)	72	(12:00)	24	(18:00)	76
		(01:00)	81	(07:00)	52	(13:00)	22	(19:00)	78
		(02:00)	79	(08:00)	43	(14:00)	21	(20:00)	78
		(03:00)	78	(09:00)	35	(15:00)	41	(21:00)	77
		(04:00)	83	(10:00)	30	(16:00)	54	(22:00)	79
		(05:00)	86	(11:00)	25	(17:00)	68	(23:00)	80

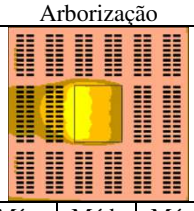
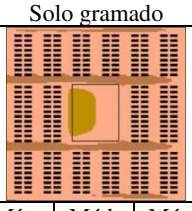
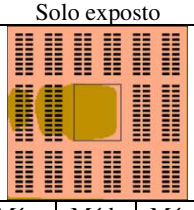
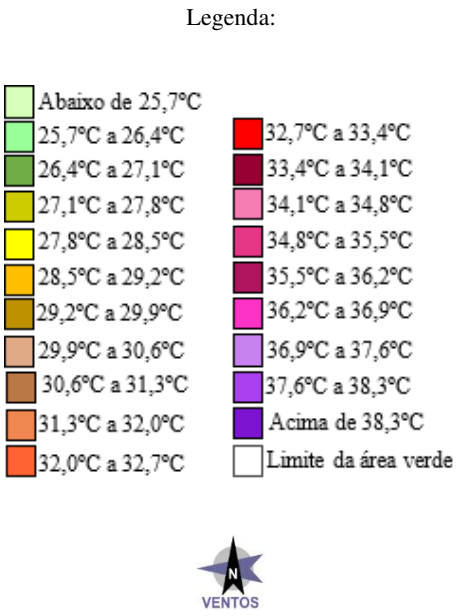
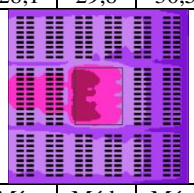
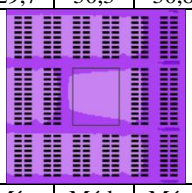
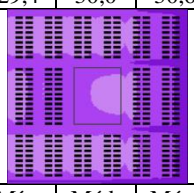
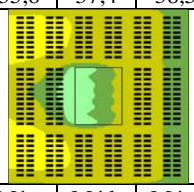
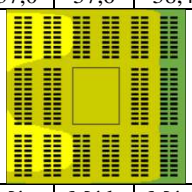
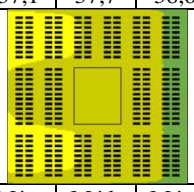
4. RESULTADOS

A partir dos arquivos resultantes das simulações dos cenários parametrizados, foi utilizado uma extensão do ENVI-Met de nome Leonardo (versão 3.3), que produz mapas relativos aos dados de temperatura do ar de cada cenário com arborização, solo gramado e solo exposto (para comparar seus desempenhos) às 09:00, às 15:00 e às 21:00 horas, a partir da visualização dos eixos X-Y, com o eixo z igual a 1,50 metros.

4.1. Análise do cenário Central

No cenário Central, as temperaturas do ar mínimas apresentam diferença entre a tipologia com arborização em relação as tipologias de solo gramado e solo exposto. Às 09:00 horas, essa diferença é de -1,6ºC e -1,3ºC, respectivamente, apresentando a influência da vegetação arbórea na redução da temperatura do ar. Às 15:00 horas, a área verde do cenário com arborização apresenta redução de -1,2ºC e -1,3ºC, no comparativo ao cenário com solo gramado e solo exposto, respectivamente, enquanto que às 21:00 horas, essa diferença equivale a -0,8ºC de redução da temperatura do ar nos cenários com arborização (Tabela 5).

Tabela 5: Mapas e dados de temperatura do ar das tipologias com arborização-solo gramado-solo exposto do cenário Central.

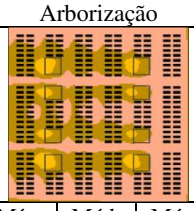
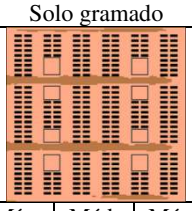
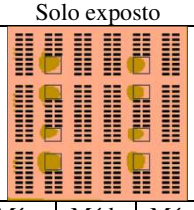
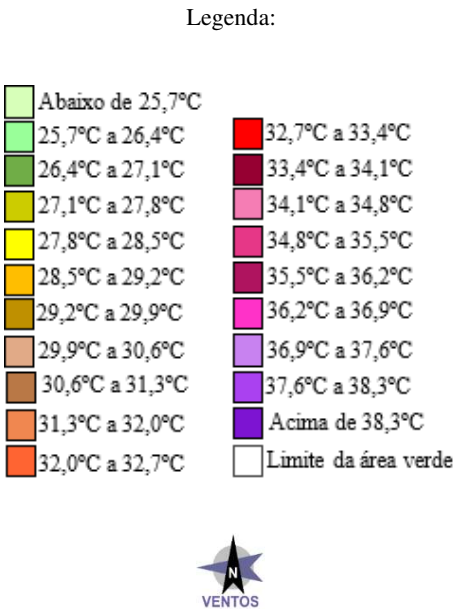
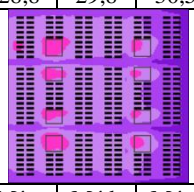
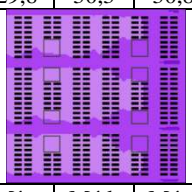
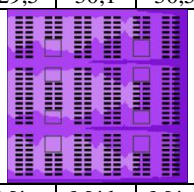
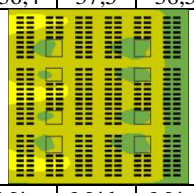
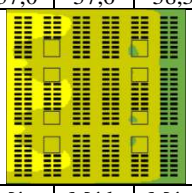
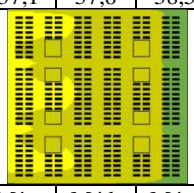
	Arborização			Solo gramado			Solo exposto			
09:00										
	Mín: 28,1	Méd: 29,8	Máx: 30,5	Mín: 29,7	Méd: 30,3	Máx: 30,8	Mín: 29,4	Méd: 30,0	Máx: 30,6	
15:00										
	Mín: 35,8	Méd: 37,4	Máx: 38,5	Mín: 37,0	Méd: 37,6	Máx: 38,4	Mín: 37,1	Méd: 37,7	Máx: 38,6	
21:00										
	Mín: 25,8	Méd: 27,2	Máx: 28,0	Mín: 26,6	Méd: 27,5	Máx: 28,0	Mín: 26,6	Méd: 27,5	Máx: 28,1	

4.2. Análise do cenário Distribuído

Quanto ao cenário Distribuído, os valores mínimos registrados às 09:00 horas, marcaram as diferenças de -1,0ºC e -0,7ºC quando comparados o cenário com arborização em relação as outras duas tipologias. Às 15:00 horas, a diferença nos valores mínimos é de -0,6ºC no cenário arborizado quando comparado com os cenários com solo gramado, e de e -0,7ºC no ambiente com arborização em relação ao ambiente com solo exposto.

A temperatura do ar no cenário arborizado é -0,2ºC no comparativo aos outras duas tipologias (com solo gramado e com solo exposto) às 21:00 horas. Mesmo apresentando diferenças menores no período noturno, o cenário Distribuído arborizado promoveu redução significativa da temperatura do ar nos horários diurnos, justificado pelo efeito do sombreamento (Tabela 6).

Tabela 6: Mapas e dados de temperatura do ar das tipologias com arborização-solo gramado-solo exposto do cenário Distribuído.

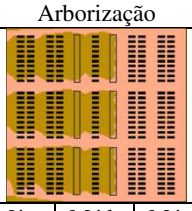
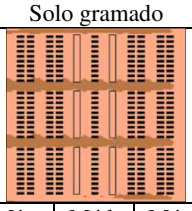
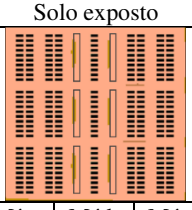
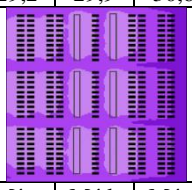
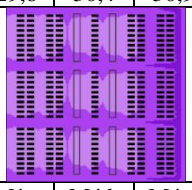
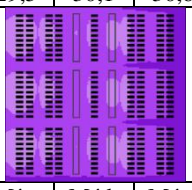
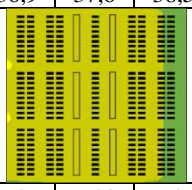
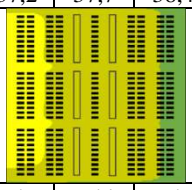
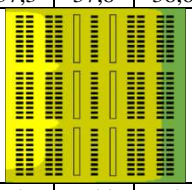
	Arborização			Solo gramado			Solo exposto			
09:00										
	Mín: 28,8	Méd: 29,8	Máx: 30,5	Mín: 29,8	Méd: 30,3	Máx: 30,8	Mín: 29,5	Méd: 30,1	Máx: 30,5	
15:00										
	Mín: 36,4	Méd: 37,5	Máx: 38,5	Mín: 37,0	Méd: 37,6	Máx: 38,3	Mín: 37,1	Méd: 37,8	Máx: 38,5	
21:00										
	Mín: 26,4	Méd: 27,3	Máx: 27,9	Mín: 26,6	Méd: 27,5	Máx: 28,0	Mín: 26,6	Méd: 27,5	Máx: 28,0	

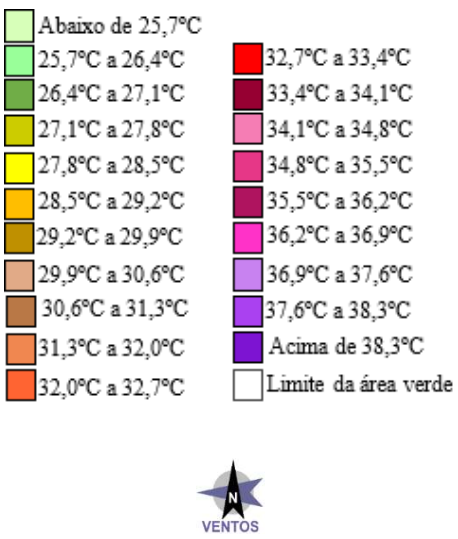
4.3. Análise do cenário Linear

Quanto aos valores mínimos de temperatura do ar registrados no cenário Linear, a diferença é de até -0,6ºC no cenário arborizado em comparação com os outros, o que pode ser justificado pela presença da vegetação arbórea e o consequente sombreamento no cenário. Já às 15:00 horas, no que se refere as mínimas temperaturas do ar, o cenário arborizado registou -0,3ºC em comparação com o cenário gramado e -0,4ºC em relação ao cenário com solo exposto, mostrando a influência da vegetação na redução da temperatura do ar.

No horário da noite, as diferenças na temperatura do ar foram nulas ou de até -0,2ºC no cenário arborizado em relação as tipologias com solo gramado e solo exposto, o que pode ser justificado pela ausência de radiação solar direta. Outra possível razão para a diferença de valores ser reduzida é a espacialização da área verde, que comporta as árvores de maneira sequenciada e diminui a densidade da massa vegetada no espaço (Tabela 7).

Tabela 7: Mapas e dados de temperatura do ar das tipologias com arborização-solo gramado-solo exposto do cenário Linear.

	Arborização			Solo gramado			Solo exposto		
09:00									
	Mín: 29,2	Méd: 29,9	Máx: 30,6	Mín: 29,8	Méd: 30,4	Máx: 30,9	Mín: 29,5	Méd: 30,1	Máx: 30,6
15:00									
	Mín: 36,9	Méd: 37,6	Máx: 38,5	Mín: 37,2	Méd: 37,7	Máx: 38,4	Mín: 37,3	Méd: 37,8	Máx: 38,6
21:00									
	Mín: 26,6	Méd: 27,3	Máx: 27,8	Mín: 26,6	Méd: 27,5	Máx: 27,9	Mín: 26,6	Méd: 27,5	Máx: 28,0

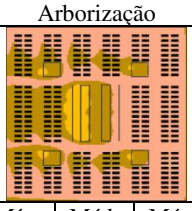
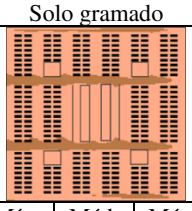
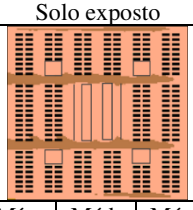
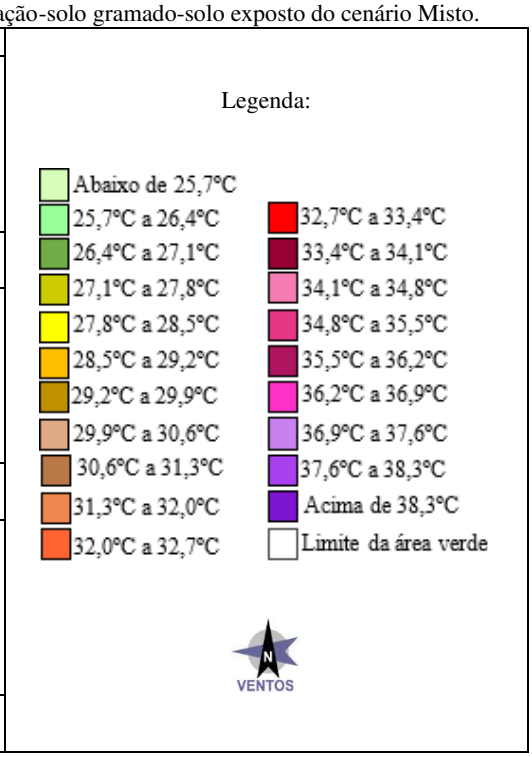
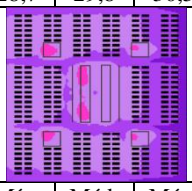
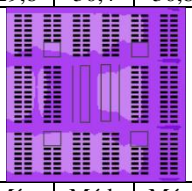
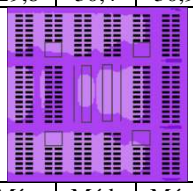
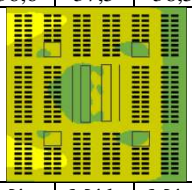
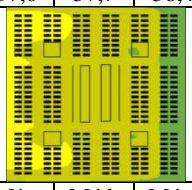
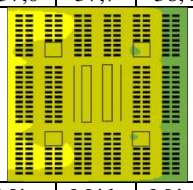


4.4. Análise do cenário Misto

Os resultados apresentados pelo cenário Misto mostram que a temperatura do ar mínima no cenário com arborização registrou uma diminuição de até -1,1ºC em relação as tipologias com solo gramado e solo exposto, durante o horário da manhã. Esses resultados são justificados devido ao processo de sombreamento promovido pelo agrupamento de árvores presentes na espacialização definida para o cenário.

Com base nos resultados apresentados, nota-se que o cenário Misto arborizado possui os menores valores de temperatura do ar e, consequentemente, melhor desempenho térmico, em comparação aos cenários com solo gramado e solo exposto, nos horários observados. Esses resultados mostram a influência exercida pela presença de vegetação arbórea nos cenários, no que concerne à diminuição da temperatura do ar, por meio do processo de sombreamento (Tabela 8).

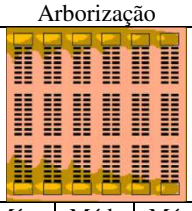
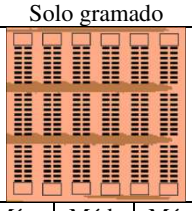
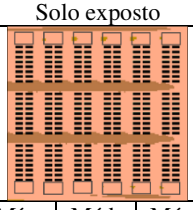
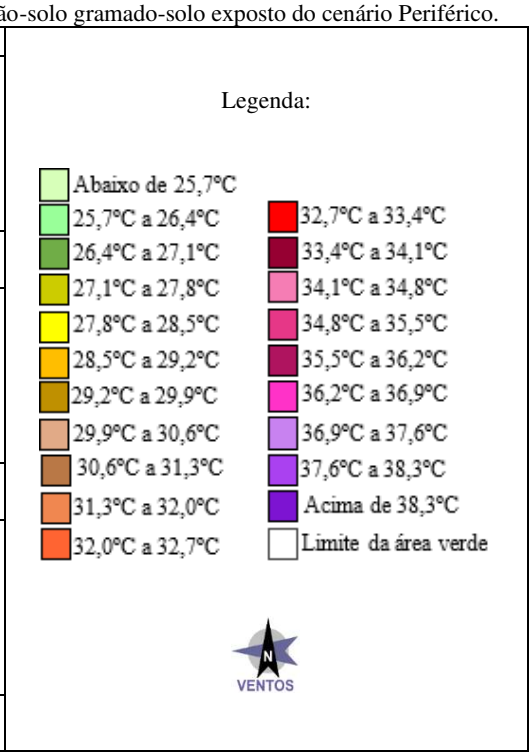
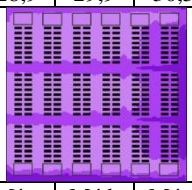
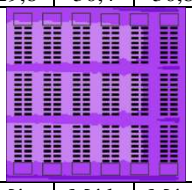
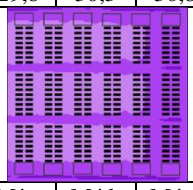
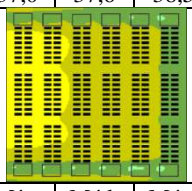
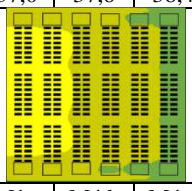
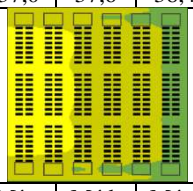
Tabela 8: Mapas e dados de temperatura do ar das tipologias com arborização-solo gramado-solo exposto do cenário Misto.

	Arborização			Solo gramado			Solo exposto			
09:00										
	Mín: 28,7	Méd: 29,8	Máx: 30,5	Mín: 29,8	Méd: 30,4	Máx: 30,8	Mín: 29,8	Méd: 30,4	Máx: 30,9	
15:00										
	Mín: 36,6	Méd: 37,5	Máx: 38,5	Mín: 37,0	Méd: 37,7	Máx: 38,4	Mín: 37,0	Méd: 37,7	Máx: 38,4	
21:00										
	Mín: 26,5	Méd: 27,3	Máx: 28,0	Mín: 26,6	Méd: 27,4	Máx: 28,0	Mín: 26,6	Méd: 27,4	Máx: 28,0	

4.5. Análise do cenário Periférico

Os resultados apresentados no cenário Periférico em relação as temperaturas do ar mínimas mostram que o cenário com arborização registrou -0,9ºC em comparação com os cenários com solo gramado e solo exposto, durante o horário matutino, podendo ser justificado pelo sombreamento no cenário. Não foram encontradas diferenças na temperatura do ar mínima às 15:00 horas, uma vez que os valores apresentados no horário são bastante elevados. Quanto ao horário analisado no turno da noite, o cenário arborizado apresentou -0,3ºC de temperatura do ar ao comparar com os valores registrados nos cenários com solo gramado e solo exposto (Tabela 9).

Tabela 9: Mapas e dados de temperatura do ar das tipologias com arborização-solo gramado-solo exposto do cenário Periférico.

	Arborização			Solo gramado			Solo exposto			
09:00										
	Mín: 28,9	Méd: 29,9	Máx: 30,5	Mín: 29,8	Méd: 30,4	Máx: 30,8	Mín: 29,8	Méd: 30,3	Máx: 30,8	
15:00										
	Mín: 37,0	Méd: 37,6	Máx: 38,5	Mín: 37,0	Méd: 37,6	Máx: 38,4	Mín: 37,0	Méd: 37,6	Máx: 38,4	
21:00										
	Mín: 26,3	Méd: 27,3	Máx: 28,0	Mín: 26,6	Méd: 27,5	Máx: 28,0	Mín: 26,6	Méd: 27,4	Máx: 28,0	

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados expostos, constatou-se que a presença da vegetação arbórea promove a redução da temperatura do ar por meio do processo de sombreamento (aliados as suas funções biológicas, como a evapotranspiração) em todos os cenários parametrizados analisados sob essa condição, ao se comparar com os cenários com solo gramado e solo exposto. Dessa forma, recomenda-se que as áreas verdes urbanas possuam tratamento paisagístico com a presença de vegetação de porte arbóreo que promova sombreamento, mantendo o solo com cobertura permeável.

Contudo, é importante ressaltar que a espacialização da área verde nos cenários pode ter interferido no desempenho térmico apresentado nos mesmos, uma vez que os cenários Central, Distribuído e Misto arborizados registraram redução da temperatura do ar nos três horários analisados quando comparados aos cenários sob ação do solo gramado e do solo exposto. Em contrapartida, os cenários Linear e Periférico arborizados apresentaram menores temperaturas do ar apenas no horário referente ao turno da manhã, na comparação com as tipologias de solo gramado e solo exposto. No entanto, analisar as diferentes distribuições espaciais das áreas verdes não é o foco do presente estudo, uma vez que pesquisas já publicadas foram usadas como referência na escolha das espacializações.

Além disso, as diferenças entre a temperatura do ar mínima apresentada nos cenários Central, Distribuído e Misto arborizados em relação aos mesmos com solo gramado e solo exposto são maiores do que as diferenças dos cenários Linear e Periférico arborizados no comparativo com solo gramado e solo exposto. Como em todos os cenários arborizados os resultados podem ser reflexo direto do processo de sombreamento, suas diferenças de desempenho térmico podem ser justificadas também pelas distintas espacializações de área verde.

Quanto ao comparativo entre os cenários com solo gramado e solo exposto, as diferenças observadas foram irrisórias nos horários analisados, o que pode ser explicado pela ausência do sombreamento, presente apenas nos cenários com arborização. A presença da vegetação gramínea promove um pequeno amortecimento na temperatura do ar em relação ao solo natural, contudo, sua presença por si só, não foi suficiente para reduzir, consideravelmente, a temperatura do ar. Verifica-se ainda que, a temperatura do ar presente nas áreas verdes está presente nas quadras a sotavento da mesma, o que demonstra a influência da ventilação nos cenários analisados, que conduz a ilha de frescor promovida pela área verde para o seu entorno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, I. A. **Qualidade do espaço verde urbano**: uma proposta de índice de avaliação. Dissertação (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração: Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2004.

ARAPIRACA. Lei nº 2.220/2001, de 31 de dezembro de 2001. Institui o Código de Obras e Edificações no Município de Arapiraca e dá outras providências. **Departamento Administrativo da Secretaria Municipal de Administração e Recursos Humanos**, Arapiraca, AL, 31 dez. 2001. Disponível em: http://web.arapiraca.al.gov.br/arquivos/lei-no-2-2202001-institui-codigo-de-obras-e-edificacoes-no-municipio-de-arapiraca-e-da-outras-providencias/ Acesso em: 18 ago. 2018.

ARAPIRACA. Lei nº 2.424/2006, de 23 de janeiro de 2006. Institui o Plano Diretor do Município de Arapiraca, estabelece as diretrizes gerais da política de desenvolvimento urbano e dá outras providências. **Departamento Administrativo da Secretaria Municipal de Administração e Recursos Humanos**, Arapiraca, AL, 23 jan. 2006. Disponível em: http://web.arapiraca.al.gov.br/wp-content/uploads/2019/03/2424.pdf. Acesso em: 18 ago. 2018.

ARAPIRACA. Lei nº 2.770/2011, de 19 de outubro de 2011. Dispõe sobre parcelamento de solo urbano no Município de Arapiraca, amplia o perímetro urbano e dá outras providências. **Departamento Administrativo da Secretaria Municipal de Administração e Recursos Humanos**, Arapiraca, AL, 19 out. 2011. Disponível em: http://web.arapiraca.al.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/LEI27702011PARCELAMENTODESOLOURBANONOMUNICIPIODEARAPICAAMPLIAOPERIMETROURBANO.pdf. Acesso em: 18 ago. 2018.

BARGOS, D. C. **Mapeamento e Análise das Áreas Verdes Urbanas como Indicador da Qualidade Ambiental Urbana: estudo de caso de Paulínia-SP.** 2010.151 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2010. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/286912 Acesso em: 31 maio 2019.

BARGOS, D. C. MATIAS, L. F. Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba-SP, v.6, n.3, p.172-188, set. 2011.

BRAZ, A. M.; KUNKEL, A. C.; BONI, P. V.; BRAZ, A. M.; MARTINS, A. P. Áreas verdes e temperatura da superfície na cidade de Três Lagoas/MS. **Revista Formação**. v. 25, n. 45, p. 93-122, 2018. ISSN 1517-543X. Disponível em: http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/5333/4512. Acesso em: 16 dez. 2018.

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCHIA, P. C. D. Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento. In: **Anais do 1º Congresso Brasileiro sobre Arborização Urbana e 4º Encontro Nacional sobre Arborização Urbana**. Vitória – ES, p.29-38. 1992. Disponível em: https://docplayer.com.br/19500059-Areas-verdes-conceitos-objetivos-e-diretrizes-para-o-planejamento.html Acesso em: 18 ago. 2018.

GARTLAND, L. **Heat Island** — Understanding and mitigating heat in urban areas. London: Earthscan. 2008.

HUANG, J.-M.; CHEN, L.-C. A Numerical Study on Mitigation Strategies of Urban Heat Islands in a Tropical Megacity: A Case Study in Kaohsiung City, Taiwan. **Journal Sustainability**. 12, 3952, 2020. Disponível em: https://doi:10.3390/su12103952.

Acesso em: 01 dez. 2021.

LIU, Z.; BROWN, R. D.; ZHENG, S.; JIANG, Y.; ZHAO, L. An in-depth analysis of the effect of trees on human energy fluxes. **Journal Urban Forestry & Urban Greening**. N.50, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126646. Acesso em: 01 dez. 2021.

LIVESLEY, S. J.; MCPHERSON, G. M.; CALFAPIETRA, C. The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. **Journal of Environment Quality**, 45(1), 119, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567. Acesso em: 16 fev. 2022.

MORERO, A. M. SANTOS, R. F.; FIDALGO, E. C. C. Planejamento Ambiental de Áreas Verdes: estudo de caso em Campinas – SP. **Revista Instituto Florestal**, v.19, n 1. São Paulo, 2007, p. 20. ISSN 2178-5031. Disponível em http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012069432. Acesso em: 31 maio 2019.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban Climate**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

PAN, T.; KUANG, W.; HAMDI, R.; ZHANG, C.; ZHANG, S.; LI, Z.; CHEN, X. City-Level Comparison of Urban Land-Cover Configurations from 2000–2015 across 65 Countries within the Global Belt and Road. **Journal Remote Sens**. 11, 1515, 2019. Disponível em: https://doi:10.3390/rs11131515. Acesso em: 01 dez. 2021.

PEREIRA, J. D. S. **As áreas verdes na qualidade térmica urbana**: análise de cenários parametrizados em cidade de clima semiárido. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

PERES, Â. R. A.; BREY, G. M. W.; MAGALHÃES, N. A.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A. A influência da vegetação e diferentes tipos de revestimentos do solo sob a ótica das condições ambientais e dos microclimas em praças na cidade de Cuiabá-MT. In: **Anais do XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC 2013 e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído – ELACAC 2013**. Brasília-DF, p.517-526, set. 2013.

SILVA, M. F. **Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas:** contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

TORRES, S. C. **Forma e conforto:** estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática. 2017. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Urbano) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/22459. Acesso em: 31 de maio 2019.

VEIGA, A. J. P.; MATTA, J. M. B.; VEIGA, D. A. M. Tipologia e usos das áreas verdes em Vitória da Conquista – Bahia, Brasil. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**. v.7, n.2, p. 17–31, 2017. ISSN 2236-9716.

YUAN, C.; SHAN, R.; ADELIA, A. S.; TABLADA, A.; LAU, S. K.; LAU, S. S.-Y. Effects of vertical farming on natural ventilation of residential buildings. **Journal Energy & Buildings**. N.185, p. 316-325, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.028. Acesso em: 01 dez. 2021.