

Influencia del tamaño de los árboles en la mejora del microclima urbano en Viçosa-MG, Brasil

Influence of tree size on the improvement of the urban microclimate in Viçosa-MG, Brasil

Yeison Arturo Poveda Santos¹ • Laíssa Ferreira Carvalho² • Angeline Martini²

Recibido: 7/4/2020

Aceptado: 6/5/2021

Publicado: 29/7/2021

Abstract

Urban tree planting planning is fundamental for the improvement of the urban microclimate and is therefore necessary in order to avoid various environmental problems. The general objective of this work was to evaluate the influence of the microclimate provided by the trees of different sizes and thus, to determine which provides a better performance in the thermal reduction and the increase of relative humidity. The study was carried out at the campus of the Federal University of Viçosa, in Viçosa-MG, Brazil. Twenty-seven trees were used, from nine different species, classified in three height sizes (small, medium and large). Data collection was carried out from August to September 2019, on clear or cloudless days, from 1:00 to 3:00 p.m., with monitoring intervals counted every 30 seconds, for 20 minutes for each tree. Results indicate that under the projected shade of the tree there is an approximate reduction of 4°C in the air temperature and an increase of 6.03 units of relative humidity, as well as an increase of 0.15 m/s in the wind speed. The shade projected by tree size (small, medium and large) showed a decrease in temperature (3.18 °C, 4.19 °C and 3.43 °C), respectively, and an increase in relative humidity (5.30 units, 7.31 units and 5.52 units). The medium size species present a better result of the regulation of the microclimate, which represent an increase in relative humidity of 7.31 units and a decrease in temperature of 4.19 °C. Of all the species studied; the species *Licania tomentosa* presented the best results in the regulation of the microclimate in terms of comparison of temperature and relative humidity. For this reason, it was concluded that the medium-sized trees presented the best results in microclimatic improvement.

Key words: Urban forestry, air temperature, air humidity, urban climate, Brazil.

1. Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia; poveda6610@gmail.com

2. Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil; laissafc@gmail.com, martini@ufv.br

Resumen

La planificación de la arborización urbana es fundamental para el mejoramiento del microclima urbano, por lo cual, es necesaria con el fin de evitar varios problemas ambientales. El objetivo general de este trabajo fue evaluar la influencia del microclima que proporcionan los árboles de diferentes tamaños y así para determinar cuál proporciona un mejor rendimiento en la reducción térmica y el aumento de la humedad relativa. El estudio se llevó a cabo en el campus de la Universidad Federal de Viçosa, en Viçosa-MG, Brasil. Se utilizaron veintisiete árboles, de nueve especies diferentes, clasificados en tres tamaños de altura (pequeño, mediano y grande). La toma de datos se realizó desde agosto a septiembre de 2019, en días de cielo despejado o con pocas nubes, desde la 13:00 a las 15:00 horas, con intervalos de monitoreo contados cada 30 segundos, durante 20 minutos para cada árbol. Los resultados indican a nivel general que bajo la sombra proyectada del árbol se genera una reducción aproximada de 4°C de la temperatura del aire y un aumento de las 6,03 unidades de la humedad relativa, al igual que, un aumento de 0,15 m/s de la velocidad del viento. La sombra proyectada por los árboles de tamaños (pequeño, mediano y grande) presentaron una disminución de la temperatura (3,18 °C, 4,19 °C y 3,43 °C), respectivamente, y un aumento de la humedad relativa (5,30 unidades, 7,31 unidades y 5,52 unidades). Las especies de tamaño mediano presentan un mejor resultado de la regulación del microclima, los cuales, representan un aumento de la humedad relativa de 7,31 unidades y una disminución de la temperatura de 4,19 °C. De todas las especies estudiadas; la especie *Licania tomentosa* presentó los mejores resultados en la regulación del microclima en términos de comparación temperatura y humedad relativa. Por tal motivo, se llegó a la conclusión de que los árboles de tamaño medio presentaban los mejores resultados en la mejora microclimática.

Palabras clave: Arborización urbana, temperatura del aire, humedad del aire, clima urbano, Brasil.

Introducción

En muchas regiones del mundo, se espera que el cambio climático aumente los efectos de las olas de calor, incluyendo el aumento de las temperaturas en las ciudades [1]. Además, la rápida urbanización causa muchos problemas ecológicos y ambientales, y disminuye la calidad de muchos entornos en todo el mundo [2]. La actividad humana en las ciudades conduce a un gran cambio en el clima local, la temperatura, la

humedad del aire y las precipitaciones [3].

La arborización urbana se destaca como una medida para mitigar los diversos factores negativos que conlleva la urbanización. Gonçalves, Monteiro, dos Santos, Maia e Rosal [4], señalan que los bosques urbanos desempeñan un papel importante en el mantenimiento de un entorno urbano saludable y son esenciales para la armonía entre los seres humanos y los entornos en los que viven.

En las ciudades, la contaminación atmosférica, debida principalmente a las partículas y los gases, causa preocupaciones sociales relacionadas con la salud humana, los ecosistemas, la infraestructura y la economía, es por eso que los entes gubernamentales ya centran sus actividades en la implementación de los árboles urbanos como parte de las medidas de reglamentación ambiental [5].

Martini, Biondi y Batista [6], afirman que las zonas con mayores proporciones de cobertura arbórea son las que tienen las mejores características de temperatura y humedad en todas las estaciones del año. Esto se debe a que los mejores reguladores climáticos existentes son los árboles, que actúan naturalmente para estabilizar el microclima [7]. Para Martelli y Cardoso [7], los árboles proporcionan muchos beneficios en el medio ambiente, como son la mejora de la calidad del aire y las islas de calor, la composición de la estética local, la reducción del ruido urbano, el desarrollo cognitivo de los niños y el alivio del estrés. Además, pueden atraer la fauna, al igual que reducir la contaminación del aire y actuar como una interceptación de la luz solar, y la energía solar.

En el proceso de intercepción de la luz solar por parte de los árboles la amplitud térmica del lugar disminuye, porque el calor se consume debido a la evapotranspiración y el suministro de sombra que proporcionan las copas de los árboles, el cual, es alto [7]. A través de la evapotranspiración, las plantas son capaces de bajar la temperatura a su alrededor.

Las zonas verdes urbanas ayudan a regular el microclima y a combatir el calor, debido a su capacidad para modificar la temperatura, la humedad y el viento [8]. Sin embargo, para que todo ocurra de la mejor manera, es necesaria una correcta planificación. La planificación del arbolado urbano debe ir incluida en la creación de parques, bosques y el arbolado de las calles, son las medidas más eficaces para promover cambios en el microclima urbano [9]. Por lo tanto, es importante que la planificación de la arborización sea adecuada para evitar diversos problemas ambientales y reducir los existentes.

De este modo, una selección ideal de especies para ser plantadas en ecosistemas urbanos debería tener en cuenta criterios ecológicos, paisajísticos, sociales y

urbanos, con información adecuada sobre la biología y la morfología de las especies [10]. Además, para generar herramientas de adaptación de las ciudades ante el cambio climático, es fundamental conocer las características de los árboles que más contribuyen a la mejora microclimática.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia microclimática que proporcionan los árboles de diferentes tamaños a fin de establecer cuáles de ellos presentan las mejores características en cuanto a reducción térmica y aumento de la humedad relativa en las zonas urbanas.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Campus de la Universidad Federal de Viçosa, situado en la ciudad de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Según la clasificación de Köppen, la ciudad está situada en la región climática de tipo Cwa, con inviernos fríos o suaves y veranos calurosos [11], y una altitud media de 648 metros.

Las estaciones meteorológicas de la ciudad, indican que la temperatura media de agosto y septiembre de 2019 en la ciudad de Viçosa fue de 18,8 °C, con un rango de 5,8 °C a 34,9 °C. La humedad relativa promedió el 75 %, con un máximo de 98 % y un mínimo de 23 %. La velocidad media del viento fue de 2,6 m/s, con un máximo de 11,2 m/s [11].

Para el desarrollo de la investigación, se analizaron veintisiete árboles, de nueve especies diferentes (Figura 1), clasificados en tres tamaños de altura [12],— pequeño (hasta 8 m de altura y con DAP inferior a 0,5 m), mediano (de 8 a 12 m de altura y con DAP entre 0,5 y 1,0 m) y grande (con una altura superior a 12 m y con DAP superior a 1,0 m). Se analizaron tres individuos de cada especie: los pequeños *Murraya paniculata* (L.) Jack, *Tecoma Stans* (L.) Juss. ex Kunth y *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cogn., los medianos *Bauhinia variegata* L., *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch y *Filicium decipiens* (Wight & Arn.) Thwaites, *Spathodea campanulata* P. Beauv., *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf. y *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz. El trabajo fue realizado a partir de un estudio meteorológico según la metodología adaptada de Martini, Biondi y Batista [6]. Para el análisis de las variables meteorológicas se utilizaron dos medidores de estrés térmico AK887 y dos anemómetros AK800A, ambos del fabricante AKSO, los cuales, se fijaron a un trípode a la altura de 1,5 metros del suelo.

El equipo de estrés térmico, AK887, mide la temperatura ambiental (bulbo seco), la temperatura del globo (interior y exterior), la humedad relativa y la presión absoluta. Tiene una precisión de 0,1 °C para la temperatura ambiente y

logra medir valores entre 0 °C y 50 °C. También mide la humedad relativa del aire (HR) en el rango de 0 a 99 %, con una precisión del 0,1 %. El anemómetro, AK800A, es capaz de medir velocidades de viento de hasta 30 m/s con una resolución de 0,1 m/s y una precisión del 3 % + 0,2 m/s para más o menos.

La ubicación de los equipos fue la siguiente, un equipo se mantenía a la sombra proyectada por la copa del árbol y el otro en medio del sol, a una distancia igual al diámetro de la copa de cada individuo, de igual manera para todos los árboles.

La toma de datos se realizó a finales de agosto y principios de septiembre de 2019, con días de cielo despejado o con poca presencia de nubes, de 13:00 a 15:00 horas, con intervalos de conteo cada 30 segundos, durante 20 minutos para cada árbol, se totalizaron 40 conjuntos de datos por cada individuo. Las variables meteorológicas evaluadas simultáneamente entre los sitios fueron: la temperatura del aire (°C), la humedad relativa del aire (%) y la velocidad del viento (m/s).

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa InfoStat, en el que se realizaron los siguientes análisis: determinación de las medias totales de las variables meteorológicas en cada situación; análisis de la varianza para los valores medios totales presentados por el equipo lejos del árbol (soleado) y bajo la cubierta (sombreado); análisis de la varianza para los valores de la diferencia media entre el equipo lejos del árbol (soleado) y bajo la cubierta (sombreado) agrupado por tamaño del árbol y por especies, además de una prueba de Tukey para la comparación de las medias con una probabilidad del 95 % media general entre soleado y sombreado, así como la media de las diferencias entre los lugares por tamaño del árbol y por especies.



Figura 1. Localización de los árboles muestreados en el estudio, dentro del Campus de la UFV en Viçosa.

Figure 1. Location of trees sampled in the study, inside the UFV Campus in Viçosa, MG.

Resultados y discusión

Las condiciones meteorológicas entre el entorno soleado y el sombreado (bajo la cubierta) mostraron una diferencia estadística significativa para las variables temperatura y humedad relativa, pero no para los valores de la velocidad del viento (Cuadro 1).

La temperatura del aire era aproximadamente 4 °C más baja en la sombra y la humedad relativa era 6,03 unidades más alta, es por eso, una de las razones por las que los árboles proporcionan un enfriamiento más agradable y un microclima es el sombreado en el lugar [13], el cual, puede ser destacado y cuantificado en este estudio. Estudios han demostrado la disminución de la temperatura del aire bajo la cubierta de los árboles individuales o grupos de árboles, donde se destaca la sombra sombreado como un factor importante para la variación de la temperatura [14], [15].

El autor Furtado [16], afirma que debido a la sombra del árbol hay una reducción en la conversión de la energía radiante en calor sensible y las temperaturas de los objetos sombreados se vuelven más bajas. Wu e Chen [17] afirman que esta disminución de la temperatura también se produce debido al aumento de la evapotranspiración. Esto ocurre porque la evapotranspiración en la superficie de las hojas conduce a un enfriamiento de las hojas y del aire adyacente. Debido a las funciones biológicas durante la fotosíntesis, en donde, las especies de plantas liberan humedad en el medio ambiente, lo que contribuye a un aumento de la humedad [18].

El enfriamiento se produce porque, además de que la vegetación aumenta la evapotranspiración y reduce el calentamiento sensible, cualquier cambio en los niveles de albedo entre la vegetación y la superficie que reemplaza provoca cambios en la radiación líquida, lo que disminuye la temperatura [19]. Según los estudios realizados por Puliafito, Ochata y Allende [20], los árboles interceptan la radiación solar hasta en un 90 %, donde la humedad relativa es mayor debido a la evapotranspiración, lo que se evidenció en los resultados del ambiente bajo el efecto de la sombra. Estudios han demostrado que el aumento de la vegetación urbana puede disminuir significativamente la temperatura urbana [21]–[24], a través de la evapotranspiración y de la sombra proyectada.

En un estudio realizado por Mascaraó y Mascaraó [25], se mostró una disminución de 3 a 4 °C para la temperatura y de 3 a 10 % para la humedad relativa entre las zonas con y sin vegetación, respectivamente. Además de la disminución de la temperatura, el aumento de la humedad relativa también contribuye a la mejora microclimática. En las zonas boscosas, este

aumento de la humedad relativa se produce debido a la termorregulación generada por el dosel de los árboles en el proceso de evapotranspiración [26]. Los estomas de las hojas de los árboles funcionan como bombas de agua autorreguladas, se abren cuando se dispone de agua y calor y se cierran cuando se producen situaciones adversas, esta apertura ayuda a refrescar el ambiente debido a la evapotranspiración y el cierre ayuda a preservar las condiciones agradables en el microclima [27]. Este conjunto de acciones produce alrededor del árbol una mayor humedad relativa.

También es importante señalar que, según Mascaraó y Mascaraó [25], el viento puede disminuir las diferencias de temperatura y humedad relativa entre las zonas soleadas y sombreadas. Sin embargo, este efecto se verifica mejor cuando la velocidad del viento es superior a 1,5 m/s. Cuando la velocidad del viento es baja, la mayor parte de la temperatura es el resultado del balance de la radiación solar en el sitio [28].

De los diferentes tamaños analizados en esta investigación, se encontró que los árboles de tamaño mediano presentaban los resultados más expresivos en la mejora del microclima urbano, siendo estadísticamente distintos de los otros (Cuadro 2).

Los árboles de tamaño mediano mostraron mejores resultados, debido a una disminución media de 4,19 °C en la temperatura y un aumento de 7,31 unidades de humedad relativa. Las dos variables, temperatura y humedad relativa, mostraron una diferencia significativa sólo para los árboles de tamaño mediano, pero para la variable de la velocidad del viento esta diferencia no se produjo. La diferencia en la velocidad del viento era mayor para los árboles grandes y menor para los pequeños.

Según Zardo, Geneletti y Pérez-Soba [29], los árboles que tienen un dosel menor a dos metros de diámetro no tienen una sombra que sea significativa para los

Cuadro 1. Análisis general de las variables meteorológicas entre lugares soleados y sombreados.

Table 1. General analysis of weather variables between sunny and shady places.

Tratamiento	Temperatura del aire (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)
Sol	34,72 A	36,25 A	0,83 A
Sombra	30,72 B	42,28 B	0,98 A

Nota: Las columnas con letras iguales no son significativamente diferentes (P> 0,05).

Note: Columns with equal letters are not significantly different (P> 0.05).

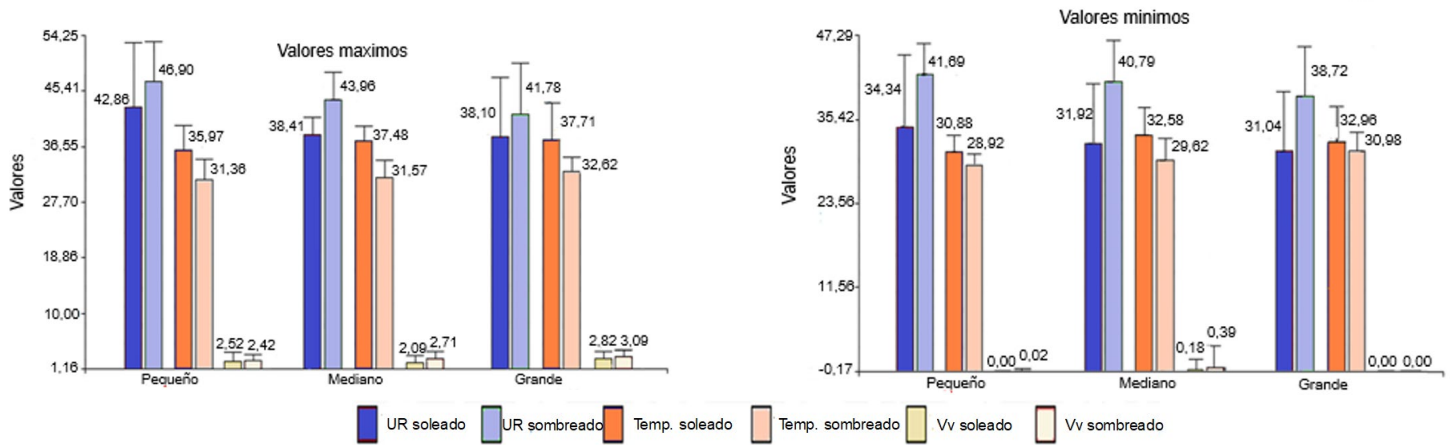


Figura 2. Análisis de los valores máximos y mínimos de las variables meteorológicas de los tres tamaños diferentes de árboles.

Figure 2. Analysis of the maximum and minimum values of the meteorological variables of the three different tree sizes.

beneficios humanos, pero sí tienen una contribución significativa en relación con la evapotranspiración. La cantidad de cubierta de copa y las características de las especies de árboles son las principales variables que afectan al potencial de evapotranspiración [15].

Muchas ciudades brasileñas tratan de reemplazar los árboles medianos y grandes por arbustos bajos, ignorando el beneficio que los árboles con alturas superiores a los 6 metros traen a la comunidad, especialmente en términos de regulación microclimática [30].

Júnior, Melo, Cunha y Stangerlin [31], al realizar un inventario de 212 árboles, determinaron que los árboles con alturas de 8 a 12 metros establecen mejores servicios a la comunidad, ya que no tienen una altura que perjudique la accesibilidad de los peatones y no

son demasiado altos para interferir con la red eléctrica. Así, las ciudades que optan por mantener y establecer árboles medianos y grandes, en lugar de utilizar arbustos, generan mejores beneficios en términos de calidad de vida, los cuales reducen la temperatura y aumentando la sombra [30].

Los valores extremos (máximo y mínimo) de las variables meteorológicas obtenidas en cada tamaño de árbol permiten detallar los resultados encontrados (Figura 2).

La figura muestra los valores máximos y mínimos establecidos para cada tamaño y detalla, a nivel general, el aumento de la humedad relativa y la disminución de la temperatura en todos los tamaños. Ferrelli, Vitale y Piccolo [32] en un estudio que abordó análisis diarios, mensuales y anuales del microclima del bosque urbano, encontraron que las variables humedad relativa y temperatura son los principales indicadores del microclima.

Puede observarse que el menor rango de temperatura y humedad relativa en el entorno de sombra se encontró en los árboles grandes (1,64 °C y 3,06 unidades de humedad relativa) y el mayor rango en los árboles pequeños (2,44 °C y 5,21 unidades de humedad relativa). Así, es posible inferir que los árboles grandes pueden disminuir aproximadamente las 53 unidades de la amplitud térmica, los árboles medianos las 51,2 unidades y los pequeños las 39 unidades.

La importancia de evaluar el rango de variación se debe a las proyecciones futuras o estimadas sobre el cambio climático. Lucena [33] sostiene que los escenarios del modelo climático, especialmente para las ciudades, mostrarán un aumento de la temperatura máxima y mínima anual con días más cálidos, con un aumento

Cuadro 2. Promedio de la diferencia entre los valores de las variables meteorológicas del entorno soleado al sombreado considerando los diferentes tamaños de los árboles.

Table 2. Mean of the difference between the values of the weather variables from the sunny to the shaded environment considering different tree sizes.

Portes	Temperatura del aire (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)
Pequeño	3,18 A	-5,30 A	-0,06 A
Mediano	4,19 B	-7,31 B	-0,02 AB
Grande	3,43 A	5,42 A	-0,22 B

Nota: Las columnas con letras iguales no son significativamente diferentes (P > 0,05).

Note: Columns with equal letters are not significantly different (P > 0.05).

Cuadro 3. Caracterización de las especies evaluadas y sus respectivos valores de diferencia - disminución de la temperatura y aumento de la humedad relativa y la velocidad del viento.

Table 3. Characterization of the evaluated species and their respective difference values - decrease in temperature and increase in relative humidity and wind speed.

Especies		h (m)	hC (m)	DAP (m)	dC (m)	dT (°C)	aUR (%)	aVv (m/s)
<i>Licania tomentosa</i>	Med.	10	4,67	0,41	10,17	4,67	8,16	0,14
	Min.	10	4	0,39	9,5	3,34	6,08	0,26
	Max.	10	6	0,43	11,5	5,45	9,22	0,43
<i>Filicium decipiens</i>	Med.	8,33	3,67	0,33	10,5	4,19	7,11	0,2
	Min.	7	3	0,18	9	3,2	5,63	-0,26
	Max.	10	4	0,45	12,5	5,39	8,73	0,7
<i>Delonix regia</i>	Med.	12,33	4,33	0,83	16,17	3,81	4,63	0,26
	Min.	10	3	0,67	13	1,84	2,38	0,1
	Max.	14	6	0,93	18	6,3	7,25	0,53
<i>Tecoma Stans</i>	Med.	5	2	0,15	6,08	3,8	5,95	0,12
	Min.	4	2	0,12	5,25	2,91	4,58	-0,12
	Max.	6	2	0,16	6,5	4,39	7,03	0,32
<i>Spathodea campanulata</i>	Med.	14	4,33	0,75	13,33	3,77	6,39	0,2
	Min.	13	2	0,43	11	1,54	3,72	0,16
	Max.	15	6	1,18	17	6,44	9,49	0,23
<i>Bauhinia variegata</i>	Med.	8,33	3,33	0,36	6,67	3,72	6,68	0,19
	Min.	8	3	0,26	5	2,51	4,78	-0,04
	Max.	9	4	0,42	8	4,45	8,24	0,41
<i>Murraya paniculata</i>	Med.	4,33	2,17	0,15	4,83	3,49	6,08	0,04
	Min.	4	2	0,13	4	2,62	4,92	-0,18
	Max.	5	2,5	0,17	5,5	4	7,08	0,18
<i>Libidibia ferrea</i>	Med.	14,67	5,67	0,55	12,5	2,72	5,24	0,2
	Min.	8	4	0,22	8,5	2,18	4,4	-0,09
	Max.	22	7	1	17	3,23	5,8	0,42
<i>Tibouchina granulosa</i>	Med.	5,33	2,33	0,16	5,33	2,26	4,07	0,02
	Min.	5	2	0,15	4,5	0,01	-0,12	-0,21
	Max.	6	2,5	0,19	6,5	4,1	7,1	0,21

Nota: h = Altura; hC = Altura de la copa; DAP = Diámetro a la altura del pecho; dC = Diámetro de la copa; dT = disminución de la temperatura del aire; aUR = Aumento de la humedad relativa; aVv = Aumento de la Velocidad del viento; Med. = Media; Min. = Valor mínimo; Máx. = Valor Máximo.

Note: h = Height; hC = Height of cup; DAP = Diameter at breast height; dC = Diameter of cup; dT = Decrease in air temperature; aUR = Increase in Relative Humidity; aVv = Increase in Wind Speed; Med = Mean; Min = Minimum Value; Max = Maximum Value.

de aproximadamente 4 °C, en relación con el valor presentado hoy.

En el proceso de intercepción de la luz solar, la amplitud térmica del lugar disminuye, porque el calor se consume debido a la evapotranspiración y el suministro de sombra que proporcionan las copas es alto [7]. Estos resultados demuestran que los árboles pueden reducir la amplitud térmica y mejorar las condiciones microclimáticas en las ciudades.

Con este análisis se pudo observar que, si bien las especies de tamaño medio demostraron ser más eficientes para el mejoramiento microclimático, la mitigación de los extremos meteorológicos fue más significativa en las especies grandes.

Además de analizar la influencia microclimática del tamaño de los árboles, en este estudio también se realizó un análisis para comprobar qué especies resultan más eficientes (Cuadro 3).

La mayor disminución de la temperatura se observó en un individuo de *L. tomentosa* (4,67 °C), seguido de *F. decipiens* (4,19 °C) y *D. regia* (3,81 °C). En cuanto a la humedad relativa, el mayor aumento se produjo en un individuo de *L. tomentosa* (8,16 unidades), seguido de *F. decipiens* (7,11 unidades) y *B. variegata* (6,68 unidades).

Las especies *L. tomentosa* y *F. decipiens*, clasificadas como de tamaño medio, tienen en común la similitud de su estructura de copa densa, grande y cerrada, con una cantidad expresiva de hojas, lo que da lugar a una sombra más eficiente y a una mayor evapotranspiración. El dosel, cuando es muy denso, tiene la capacidad de retener más agua y aumentar la humedad relativa del aire debajo de él, así como el tipo de follaje, lo que es siendo importante para el control de la humedad del aire [34].

Ciertos autores (Abreu-Harbach, Labaki y Matzarakis [35], Sanusi, Johnstone, May, Livesley [36]), señalan que las especies de árboles tienen diferentes funciones reguladoras en un microclima, y su correcta configuración es esencial para el funcionamiento de los bosques urbanos [37]. Por lo tanto, características como el ángulo de la hoja, el tamaño de la hoja, la densidad del dosel [36], el tamaño del dosel, la altura del árbol y la altura de la copa [38] pueden influir en los resultados. Según los estudios de Guarderas, Coelho y Silva [39], los resultados mostraron que las diferentes especies de árboles pueden contribuir de diferentes maneras al microclima de las ciudades.

Según Tenório [40], la especie *L. tomentosa* es una de las especies más utilizadas en la forestación urbana de Brasil, destacándose por tener una alta capacidad de adaptación en diferentes ambientes, con individuos vigorosos, ideales para mejoras climáticas significativas.

Martini, Biondi y Batista [6], ya han analizado tres especies de diferente tamaño que presentaron cambios en los valores de temperatura y humedad relativa del aire registrados entre ambientes soleados y sombreados, al igual que, se observó que existe una diferencia entre el uso de especies de tamaño grande, mediano y pequeño para el mejoramiento microclimático de la forestación urbana. Aunque otras características son relevantes el comprender la influencia del tamaño de los árboles es un avance importante.

Conclusiones

Se conforma que bajo las condiciones de este estudio los árboles mejoran la calidad del microclima, proporcionando bienestar a los seres humanos,

mediante la reducción de la temperatura del aire y el aumento de la humedad relativa y la velocidad del viento.

El efecto de sombra aportado por los árboles de tamaño medio, proporcionan un rendimiento eficaz con el aporte a la reducción térmica y aumento de la humedad relativa, lo cual, es consecuentemente directo para la mejoría de las condiciones del microclima urbano. Sin embargo, las especies grandes contribuyen más a la reducción de la amplitud térmica que las otras.

L. tomentosa y *F. decipiens* fueron las especies que presentaron mejores resultados en la regulación del microclima, debido a la disminución de la temperatura y el aumento de la humedad relativa.

Agradecimientos

A la Fundación Arthur Bernardes para la financiación de la compra de equipos.

Referencias

- [1] E. Koomen e V. Diogo, "Assessing Potential Future Urban Heat Island Patterns Following Climate Scenarios, Socio-Economic Developments and Spatial Planning Strategies", *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, vol. 22, no 2, p. 287–306, fev. 2017, doi: 10.1007/s11027-015-9646-z.
- [2] S. D. Matteucci e J. Morello, "Environmental Consequences of Exurban Expansion in an Agricultural Area: the Case of the Argentinian Pampas Ecoregion", *Agris*, vol. 12, no 3, p. 287–310, 2009.
- [3] A. Gonçalves, L. S. Camargo, e P. F. Soares, "Influência da Vegetação no Conforto Térmico Urbano: Estudo de Caso na Cidade de Maringá-Paraná", in *III Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana*, 2012.
- [4] L. M. Gonçalves, P. H. D. S. Monteiro, L. S. dos Santos, N. J. C. Maia, e L. F. Rosal, "Arborização Urbana: a Importância do seu Planejamento Para Qualidade de Vida nas Cidades", *Ensaio e Ciência: C. Biológicas, Agrárias e da Saúde*, vol. 22, no 2, Editora e Distribuidora Educacional, p. 128–136, jan. 25, 2018.
- [5] C. L. E. Egas, "Características Biológicas del Arbolado Urbano Para Contribuir con Nuevos Criterios de Selección de Especies Arbóreas.", Universidad de Chile, 2017.
- [6] A. Martini, D. Biondi, e A. C. Batista, "O Porte das Árvores e o Efeito Microclimático - uma Contribuição ao Planejamento da Arborização de Ruas", in *V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, 2014.
- [7] A. Martelli e M. D. M. Cardoso, "Favorecimento Da Arborização Urbana Com a Implantação Do Projeto Espaço Árvore Nos Passeios Públicos Do Município De Itapira-SP", *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, vol. 4, no 13, p. 184–197, 2018.

- [8] F. J. Escobedo, D. C. Adams, e N. Timilsina, "Urban Forest Structure Effects on Property Value", *Ecosyst. Serv.*, vol. 12, p. 209–217, 2015, doi: 10.1016/j.ecoser.2014.05.002.
- [9] L. Leal, "A Influência da Vegetação no Clima Urbano da Cidade de Curitiba - PR", Universidade Federal do Paraná, 2012.
- [10] Y. R. García, "Valoración de las Áreas Verdes en el Paisaje Cultural de la Ciudad de Santa Clara", Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2010.
- [11] INMET, "Instituto Nacional de Meteorologia", 2019. <http://www.inmet.gov.br/portal/> (acessado nov. 20, 2019).
- [12] C. for U. F. Research, "The Large Tree Argument - The case for Large-Stature Trees vs. Small-Stature Trees", 2004.
- [13] A. H. A. Mahmoud, "Analysis of the Microclimatic and Human Comfort Conditions in an Urban Park in hot and Arid Regions", *Build. Environ.*, vol. 46, no 12, p. 2641–2656, 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.06.025.
- [14] N. Schwarz, A. Bauer, e D. Haase, "Assessing Climate Impacts of Planning Policies-An Estimation for the Urban Region of Leipzig (Germany)", *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 31, p. 97–111, 2011, doi: 10.1016/j.eiar.2010.02.002.
- [15] N. Larondelle e D. Haase, "Urban Ecosystem Services Assessment Along a Rural-Urban Gradient: A Cross-Analysis of European Cities", *Ecol. Indic.*, vol. 29, p. 179–190, 2013, doi: 10.1016/j.ecolind.2012.12.022.
- [16] A. E. FURTADO, "Simulação e Análise da Utilização da Vegetação Como Anteparo às Radiações Solares em uma Edificação", Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1994.
- [17] Z. Wu e L. Chen, "Optimizing the Spatial Arrangement of Trees in Residential Neighborhoods for Better Cooling Effects: Integrating Modeling With in-Situ Measurements", *Landsc. Urban Plan. J.*, vol. 167, p. 463–472, 2017, doi: 10.1016/j.landurbplan.2017.07.015.
- [18] E. Higuera, *Urbanismo Bioclimático*. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.
- [19] M. Taleghani, P. J. Crank, A. Mohegh, D. J. Sailor, e G. A. Ban-Weiss, "The Impact of Heat Mitigation Strategies on the Energy Balance of a Neighborhood in Los Angeles", *Sol. Energy*, vol. 177, p. 604–611, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2018.11.041.
- [20] PULIAFITO S. E., F. OCHATA, e D. ALLENDE, "Contribución de los Parques Urbanos en la Regulación de la Ciudad de Guatemala", *Proyecciones*, vol. 11, no 2, 2013.
- [21] A. Elmes, J. Rogan, C. Williams, S. Ratick, D. Nowak, e D. Martin, "Effects of Urban Tree Canopy Loss on Land Surface Temperature Magnitude and Timing", *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. J. homepage www.elsevier.com/locate/isprsjprs Eff.*, vol. 128, p. 338–353, 2017, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2017.04.011.
- [22] K. R. Gunawardena, M. J. Wells, e T. Kershaw, "Utilising Green and Bluespace to Mitigate Urban Heat Island Intensity", *Sci. Total Environ.*, vol. 584–585, p. 1040–1055, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.158.
- [23] D. X. Tran, F. Pla, P. Latorre-Carmona, S. W. Myint, M. Caetano, e H. V. Kieu, "Characterizing the Relationship Between Land use Land Cover Change and Land Surface Temperature", *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 124, p. 119–132, fev. 2017, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001.
- [24] W. Zhou, J. Wang, e M. L. Cadenasso, "Effects of the Spatial Configuration of Trees on Urban Heat Mitigation: A Comparative Study", *Remote Sens. Environ. J.*, vol. 195, p. 1–12, 2017, doi: 10.1016/j.rse.2017.03.043.
- [25] L. Mascaraó e J. J. Mascaraó, *Ambiência Urbana*, 3o ed. Porto Alegre: +4, 2009.
- [26] F. R. Rodrigues, E. R. do N. Lopes, e R. W. Lourenço, "Análise Integral dos Impactos Urbanos em Áreas Verdes: uma Abordagem em Sorocaba, Brasil", *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, vol. 46, no 2, p. 135–151, 2019.
- [27] D. F. da Silva filho, K. F. L. Pivetta, H. T. Z. Couto, e J. L. Polizel, "Indicadores de Floresta Urbana a Partir de Imagens Aéreas Multiespectrais de Alta Resolução", *Scientia Forestalis*, p. 88–100, abr. 2005.
- [28] R. P. Giralt, "Conforto Térmico em Espaços Públicos Abertos na Cidade de Torres - RS", UFRGS, 2006.
- [29] L. Zardo, D. Geneletti, M. Pérez-Soba, e M. Van Eupen, "Estimating the Cooling Capacity of Green Infrastructures to Support Urban Planning", *Ecosyst. Serv.*, vol. 26, p. 225–235, 2017, doi: 10.1016/j.ecoser.2017.06.016.
- [30] J. H. de Aguirre Junior e A. M. L. P. Lima, "Uso de Árvores e Arbustos em Cidades Brasileiras", *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, vol. 2, no 4, Universidade Federal do Parana, p. 50–66, abr. 30, 2007.
- [31] F. R. Júnior, R. R. De Melo, e T. Augusto, "Análise da Arborização Urbana em Bairros da Cidade de Pombal no Estado da Paraíba", *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, vol. 3, Piracicaba - SP, p. 3–19, 2008.
- [32] F. FERRELLI, A. J. VITALE, e M. C. PICCOLO, "Urban Microclimate: Thermo-Hygro-metric Variations of Bahia Blanca, Argentina", *Anuário do Inst. Geociências - UFRJ*, vol. 41, no 1, p. 283–295, maio 2018, doi: 10.11137/2018_1_283_295.
- [33] A. Lucena, "Uma Análise de Técnicas nos Estudos de Clima Urbano Para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro", *Geo UERJ*, vol. 34, 2019, [Online]. Available at: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/40954/28463>.
- [34] L. Mascaraó e J. J. Mascaraó, *Vegetação Urbana*, 3o ed. Porto Alegre: +4, 2010.
- [35] L. V. de Abreu-Harbach, L. C. Labaki, e A. Matzarakis, "Effect of Tree Planting Design and Tree Species on Human Thermal Comfort in the Tropics", *Landsc. Urban Plan.*, vol. 138, p. 99–109, 2015, doi: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.008.
- [36] R. Sanusi, D. Johnstone, P. May, e S. J. Livesley, "Microclimate Benefits That Different Street Tree Species Provide to Sidewalk Pedestrians Relate to Differences in Plant Area Index", *Landsc. Urban Plan.*, vol. 157, p. 502–511, 2017, doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.08.010.
- [37] L. Xiao et al., "Urban Forest Tree Species Composition and Arrangement Reasonability in Harbin, Northeast China", *Chinese J. Ecol.*, vol. 35, no 8, p. 2074–2081, 2016, doi: 10.13292/j.1000-4890.201608.027.
- [38] B. ZHANG et al., "Shading, Cooling and Humidifying Effects of Urban Forests in Harbin City and Possible Association With Various Factors", *Chin J Ecol*, vol. 36, p. 951–961,

2017.

- [39] P. Guarderas, M. Coello, e X. Silva, “El Efecto de los Árboles Urbanos del Parque El Ejido en la Regulación del Microclima de Quito: Interacción Entre Medio Ambiente, Salud y Bienestar”, *Rev Fac Cien Med, Quito*, p. 81–90, 2016.
- [40] J. C. Tenório, “Avaliação do Vigor de *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch sob Diferentes Condições de Calçamento na Arborização de Itacoatiara, Amazonas”, Universidade do Estado do Amazonas, 2018.