

LA INFLUENCIA DE LA ARBORIZACIÓN Y DE LA PAVIMENTACIÓN EN EL CONFORT TÉRMICO URBANO EN LA VÍA PÚBLICA. ESTUDIO DE CASO: AVENIDA LEOPOLDO MACHADO, MACAPÁ-BRASIL**Celis A.M.C.*, Cárdenas J.W.****

* Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Amapá, Rod. Juscelino Kubitschek, km 02 - Jardim Marco Zero, Macapá - AP, 68903-419, (Amapá) Brasil, anneli.2792@gmail.com

**Ciência da Computação, Universidade Federal do Amapá, Rod. Juscelino Kubitschek, km 02 - Jardim Marco Zero, Macapá - AP, 68903-419, (Amapá) Brasil, jwcs.jwcs@gmail.com

<https://doi.org/10.34637/cies2020.2.1120>

RESUMEN

Esta investigación estudia la influencia de la arborización urbana y de la pavimentación en el confort térmico urbano de la Avenida Leopoldo Machado, en la ciudad de Macapá- Amapá, localizada en la región norte del Brasil, que es caracterizada por poseer un clima tropical húmedo, con elevadas temperaturas prácticamente todo el año. El principal objetivo es contribuir con espacios urbanos abiertos más confortables climáticamente mediante la análisis de la influencia de la arborización y pavimentación y de esa manera poder contribuir con datos micro climáticos para la ciudad. Para eso, se discute el microclima urbano que es generado en la Avenida Leopoldo Machado, objeto de estudio, a partir de tres puntos de medición: alta densidad de arborización, regular y sin presencia de arborización. Se realizaron mediciones con instrumentos meteorológicos portátiles y simulaciones numéricas mediante el uso de la herramienta computacional ENVI-met 4.0, analizando tres escenarios: ideal (abundante arborización), (escenario real) y sin arborización (escenario hipotético).

PALABRAS CLAVE: Arborización, Pavimentación, Microclima, Conforto térmico, ENVI-met

ABSTRACT

This research studies the influence of urban tree planting and paving on the urban thermal comfort of Leopoldo Machado Avenue, in the city of Macapá-Amapá, located in the northern region of Brazil, which is characterized by a humid tropical climate, with high temperatures practically all year round. For this purpose, the urban microclimate generated on Leopoldo Machado Avenue, which is the object of the study, is discussed based on three measurement points: high density of tree planting, regular and no tree planting. Measurements were made with portable meteorological instruments and numerical simulations using the computer tool ENVI-met 4.0, analyzing three scenarios: ideal (abundant tree cover), (real scenario) and without tree cover (hypothetical scenario).

KEYWORDS: Arborization, Paving, Microclimate, Thermal comfort, ENVI-met

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Brasil, más del 80% de la población reside en ciudades, de acuerdo con los datos del Instituto Brasileño de Estadística (IBGE, 2010). Eso significa que el incremento de la población urbana viene ocasionando cambios en el ambiente natural y en el ambiente construido. Dobbert (2015) comenta que factores como el aumento del tráfico de vehículos, la supresión de la vegetación nativa, el exceso de pavimentación del suelo ocasiona alteraciones en el microclima y consecuentemente en la ausencia de confort térmico en los ambientes urbanos.

Por lo tanto, el microclima juega un rol importante para las ciudades, especialmente en ciudades de elevadas de temperaturas, donde es fundamental ofrecer condiciones térmicas compatibles al confort térmico humano, mediante la utilización de estrategias bioclimáticas que proporcionen bienestar a los usuarios. Una de las estrategias para estabilizar esos efectos, es la utilización de arborización urbana, que proporciona el control de radiación solar, de humidificación, depuración del aire y minimizar los efectos de islas de calor.

Para Bravo & Torre (2014), la formación de islas de calor está relacionado a la impermeabilización del suelo, a la falta de humedad en los ambientes, en el empleo de materiales inadecuados y en la ausencia de áreas arborizadas. Una manera de poder mitigar es la utilización de arborización urbana, especialmente en climas con elevadas temperaturas, donde locales que proporcionen sombra son los más buscados entre los usuarios, entretanto, no es el caso del escenario urbano de la ciudad de Macapá que presenta condiciones de habitabilidad no siempre satisfactorias.

Moreno (2006), avenidas y veredas son elementos de la infraestructura urbana que componen el sistema viario urbano y deben garantizar el tránsito de personas. Para Tostes (2017), la reducción de áreas verdes en la ciudad de Macapá están relacionados a los investimentos en los últimos treinta años, el trazado urbano después de la implementación del Territorio Federal de Amapá también contribuyó para acelerar la pérdida de la vegetación, donde la vegetación nativa dio lugar a construcciones, calles y vías, sin ningún tipo de preservación o manutención.

Las temperaturas medias mensuales son divididas en tres grupos: las temperaturas máximas, medias y mínimas. Las máximas temperaturas varían entre 31°C y 33°C, llegando algunas veces hasta los 40°C, entre los meses de agosto y octubre. Las temperaturas medias más bajas generalmente ocurren en el mes de marzo variando entre 25°C y 26°C. La temperatura máxima media del mes más caliente ocurre en octubre, ateniendo 32.6°C, en cuanto la temperatura mínima media del mes más frío ocurre en julio ateniendo 22.9°C (TAVARES, 2014).

En climas de esas características, la arborización y los materiales apropiados en la pavimentación contribuyen de manera significativa para estabilizar los efectos del clima, teniendo un amplio significado social, cultural y científico para la ciudad y consecuentemente para los transeúntes de la avenida Leopoldo Machado que no obtienen el debido confort térmico urbano.

Entretanto, cada material utilizado en la pavimentación posee propiedades físicas diferentes que elevan las temperaturas por su capacidad de almacenamiento de calor y la radiación solar recibida por las superficies construidas. Romero (2001), ilustra las diferencias de temperatura de los materiales utilizados, para la autora el asfalto por ejemplo eleva drásticamente las temperaturas en comparación con la utilización de piedras o césped en la morfología urbana, habiendo una diferencia de 25 grados centígrados en relación con el césped y 15 grados centígrados con relación a la piedra.

El rol de los materiales utilizados en la pavimentación es un aspecto decisivo sobre las ganancias térmicas y el sobrecalentamiento en las zonas urbanas, ya que los materiales expuestos a la radiación convierten la radiación solar recibida en calor, que en parte se acumula y otra parte se reemite hacia la atmósfera en función de las características físicas del material.

Para obtener un espacio confortable es fundamental entender el comportamiento climático y el contexto en el cual está inserido en la morfología urbana. Las condiciones climáticas del local contribuyen para la determinación del confort, una vez que la temperatura y humedad del aire, así como la radiación y el viento, se comportan de manera diferenciada, variando de local para local.

En este sentido, la presente investigación buscar analizar la influencia de la arborización y de la pavimentación en la Avenida Leopoldo Machado, localizada en la ciudad de Macapá – Amapá, Brasil, mediante la medición de variables micro climáticas, realizando mediciones de temperatura del aire, velocidad del aire, humedad del aire, humedad relativa y temperatura superficial del suelo, así como la utilización de la herramienta ENVI-met 4.0, que permitió analizar el escenario real, así como escenarios hipotéticos.

La herramienta ENVI-met, permite el análisis micro climático a partir de las interacciones del edificio con el medio urbano, siendo empleada como un método de investigación por su facilidad de empleo en situaciones tanto reales cuanto hipotéticas, para la comprensión de los fenómenos relacionados al clima urbano y evaluar las estrategias de mitigación y adaptación antes de su implementación (SILVA & ROMERO, 2010).

Labaki, (2011), en su pesquisa experimental y cualitativa sobre “La vegetación y su influencia en el confort térmico urbano y sobre la cualidad de sombra producida en áreas arborizadas”, tuvo como motivación la necesidad decuantificar y cualificar la contribución de la vegetación para el confort térmico, o sea, la atenuación de la radiación solar por la vegetación y sus influencias de esta sobre la temperatura y humedad en las áreas próximas. Se pretendió establecer parámetros adecuados para la elaboración de planos y proyectos que tengan como objetivo el confort térmico urbano. Inicialmente, el principal punto de la pesquisa estuvo entre la relación entre especies arbóreas, agrupamiento de árboles, áreas verdes y el microclima proporcionado por ellas, posteriormente, se consideró la eficiencia de sombra proporcionada por la vegetación.

OBJETIVO

Medir la influencia de la arborización y de la pavimentación superficial en el confort térmico en la Avenida Leopoldo Machado, Macapá – Brasil, mediante:

- Medición de la temperatura superficial del suelo para los diferentes tipos de materiales utilizados en la pavimentación;
- Medición de la temperatura del aire, humedad relativa del aire y velocidad del viento en los diferentes tipos de densidad arbórea;

METODOLOGIA

La presente investigación está dividida en dos etapas. La primera etapa es referente a la medición de datos de las variables micro climáticas in loco con aparatos meteorológicos, realizadas en tres puntos diferentes de medición (abundante arborización, regular arborización y sin arborización), de acuerdo con la densidad arbórea utilizada por Labaki & Santos (1995). Las variables medidas fueron: la temperatura del aire, humedad relativa del aire, velocidad del viento y la temperatura superficial del material presente en la pavimentación. Esas mediciones fueron realizadas durante 24 horas del día, en el día 20 de julio de 2018.

Los aparatos meteorológicos portátiles utilizados para la medición de las variables micro climáticas fueron: anemómetro con registro de temperatura; termo higrómetro y termómetro infrarrojo.

La segunda etapa consistió en la simulación computacional mediante la herramienta ENVI-met 4.0, donde fueron modelados y simulados tres escenarios, denominados: el escenario ideal (abundante arborización), escenario real y escenario sin arborización, permitiendo entender el comportamiento de los índices de confort térmico. La herramienta ENVI-met, permite evaluar el microclima y entender la relación del edificio con el medio ambiente analizando variables como radiación solar, orientación de los vientos y humedad del aire, posibilita también evaluar el comportamiento de los materiales existentes en edificios, calles, analizar la dispersión de contaminantes y determinar el flujo de calor entre los materiales (SHINZATO, 2009).

RESULTADOS

En la primera etapa para las mediciones en campo, fueron escogidos tres puntos en la Avenida Leopoldo Machado, que se caracterizan por poseer diferentes densidades arbóreas, siendo denominados como P1, P2 y P3. El punto P1, es un punto en la Avenida Leopoldo Machado que no se observan árboles, el punto P2, se observa regular arborización y el punto P3 se observa abundante arborización.

Referente a los resultados de la temperatura superficial del suelo, los materiales presentes en la pavimentación son el asfalto utilizado en calles y avenidas, y el cemento o concreto utilizado en veredas y la tierra alrededor de las arboles. En los tres puntos de medición es perceptible la diferencia de temperatura, debido a la presencia o ausencia de

arborización. Se observa en la Fig.1 que en P1, la radiación solar incidente es intensa, debido a la ausencia de arborización, donde la amplitud de temperatura superficial varía de 29.1 grados centígrados a 60 grados centígrados en el asfalto y de 28° C a 58.6 °C en la vereda. Cuando se introduce un factor de reducción de incidencia de rayos solares, como los puntos P2 y P3 la amplitud térmica disminuye, especialmente en el horario de las 15:00.



Fig.1. Medición de temperatura superficial de la pavimentación

Los resultados de la temperatura, se observa que en los tres puntos de medición las temperaturas máximas se dan entre las 12:00 h y 15:00 h, coincidiendo con los horarios de mayor radiación solar. Como se observa en la Tabla 1. las temperaturas mínimas se dan a las 06:00h y 21:00 h, coincidiendo con horarios de menor de radiación solar. La amplitud de la temperatura del aire varía de 26.1°C a 35.1°C en el punto sin arborización, de 25.8°C a 33.6°C en el punto con regular arborización y de 25.5°C a 32.2°C en el punto con abundante arborización.

Tabla 1. Resultados de medición de temperatura del aire en los tres puntos de medición

	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	Temperatura del aire máxima
Sin arboles	26.1	31.2	34.0	35.1	29.4	28.5	35.1
Regular arborización	25.8	29.5	32.4	33.6	29.5	28.5	33.6
Abundante arborización	25.5	29.1	32.1	32.2	29.5	28.4	32.2

La humedad relativa del aire en los tres puntos de medición se puede observar que la amplitud de las medidas de la humedad relativa del aire varía entre 74.1% a 81.8% en el punto sin arborización, de 72.9% a 82.4% en el punto con regular arborización y de 72.1% a 81.2% en el punto con abundante arborización, como se observa en la Tabla 2. La media diaria de la humedad relativa es de 76.5% en el punto sin arborización, de 77.2% en el punto con regular arborización y de 77.8% en el punto con abundante arborización. Los mayores valores de la humedad relativa ocurren en el periodo nocturno y disminuyen en el transcurso del día con el aumento de la radiación solar.

Tabla 2. Resultados de humedad relativa del aire en los tres puntos de medición

	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	Humedad media (%)
Sin arboles	81.8	78.2	75.9	72.4	71.4	79.3	76.5
Regular arborización	82.4	77.6	72.9	76.3	72.6	81.2	77.2
Abundante arborización	81.2	81.0	75.4	75.9	72.1	81.1	77.8

Referente a la velocidad del viento, la amplitud es de 1.20 m/s a 1.88 m/s para el punto sin arborización, de 0.96 m/s a 1.63 m/s para los puntos con regular arborización y de 1.11 m/s a 1.37 m/s para los puntos con abundante arborización. La media de la velocidad del viento es de 1.48 m/s para el punto sin arborización, 1,32% para el punto con regular arborización y de 1.24 m/s para el punto con abundante arborización. Las mayores velocidades del viento son observadas entre las 12:00 a las 18:00 horas para el punto sin arborización, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la velocidad media del aire en los tres puntos de medición

	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	Velocidad media (m/s)
Sin arboles	1.20	1.21	1.55	1.76	1.88	1.57	1.48
Regular arborización	0.96	1.41	1.54	1.63	1.34	1.04	1.32
Abundante arborización	1.28	1.18	1.18	1.11	1.36	1.37	1.24

Sobre la simulación realizada en la herramienta ENVI-met 4.0, se insirió las configuraciones básicas de entrada de datos espaciales, siendo colocadas: los archivos de entrada (modelaje), el día de la simulación, nombre y pastas y configuraciones básicas meteorológicas. Los datos meteorológicos colocados fueron obtenidos de la estación climatológica del aeropuerto de la ciudad de Macapá y del Instituto Nacional de Meteorología (INMET), donde los datos obtenidos son: la velocidad del viento a 10 metros de la superficie (m/s) con valor de 1.5 m/s; dirección del aire (en grados) es de 40; rugosidad del suelo (estación) es de 0.1; temperatura del aire a 2m (°C) es de 31.89; humedad específica a 2.500 metros (g/kg) es de 8.91 y humedad relativa a 2 metros (%), siendo de 87.

En la etapa de modelaje se modelan tres escenarios, que fueron denominados como: la situación real, hipotética ideal con arborización y sin arborización, como se puede observar en la figura 02. Los datos para el modelaje como altura de las edificaciones y dimensionamientos fueron obtenidos mediante mediciones realizados presencialmente en el objeto de estudio y por mediciones realizados por Google Earth como se observa en la Fig.2.

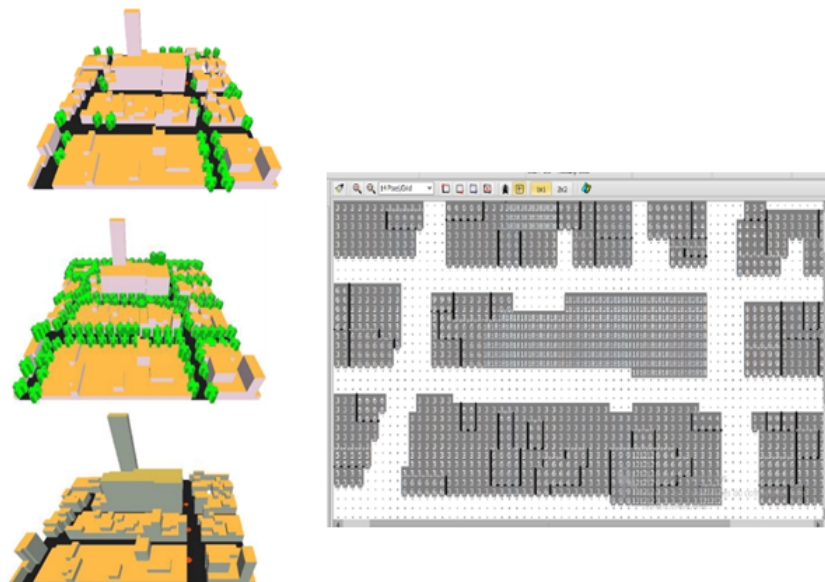


Fig.2. Modelaje de los escenarios con el uso de la herramienta ENVI-met 4.0

Los valores de la temperatura del suelo en el modelo AO se muestran compatibles con los valores observados en las mediciones con el termómetro infrarrojo, así las simulaciones numéricas reproducen el comportamiento observado de la temperatura del suelo, en todos los casos, tanto en los perfiles temporales, como de las diferencias en el área simulada entre cualquier dos de los modelos, se observa el efecto positivo de la disminución de la temperatura del suelo por la arborización de la ciudad.

En las series de tiempo en los receptores, se observa que los valores de la humedad relativa en los modelos SA y AO se mantienen próximos, en cuanto los valores en el modelo CA son más distantes. Esto también indica la influencia global de la arborización al aumentar la humedad en el ambiente, pues mismo en el modelo AO en los lugares con árboles, los valores de la humedad relativa siguen siendo mayores en el modelo CA.

En las simulaciones numéricas de la velocidad del viento con el ENVI-met 4.0 se puede observar como en el modelo con vegetación completa (CA) la velocidad del viento es más débil que en el modelo sin arborización (SA). La dirección del viento en ambos modelos es predominantemente del este en las calles situadas horizontalmente y del sur en las calles verticales en la región de simulación.

Los valores de la velocidad del viento resultantes de la simulación numérica son compatibles con los valores observados en las mediciones con el anemómetro, valores inferiores a 2m/s, por lo cual no interfieren en la sensación térmica de las personas. Las hojas y ramas de los árboles ayudan a disminuir la velocidad del viento, aumentando el confort de las personas, visto que los vientos fuertes dispersan la humedad promovida por los árboles, haciendo que no sea más percibida (Tabla 2).

Tabla 4. Resultados de los tres modelos en la herramienta ENVI-met 4.0

ESCENARIO SIMULADO - ENVI-met 4.0							
Índices de PMV			Temperatura del Suelo				
	R1	R2	R3		R1	R2	R3
Modelo SA	6.9539	6.9	6.8828	Modelo SA	53.454	53.718	51.885
Modelo AO	6.7824	4.5712	4.8518	Modelo AO	53.053	39.582	49.748
Modelo CA	6.2523	4.0772	3.6722	Modelo CA	52.479	38.766	37.91
Humedad Relativa %			Velocidad del viento m/s				
	R1	R2	R3		R1	R2	R3
Modelo SA	64.364	64.32	64.03	Modelo SA	0.72308	0.64737	1.0793
Modelo AO	65.618	66.152	66.123	Modelo AO	0.7343	0.40851	0.61788
Modelo CA	70.869	71.372	70.518	Modelo CA	0.3115	0.22667	0.70343

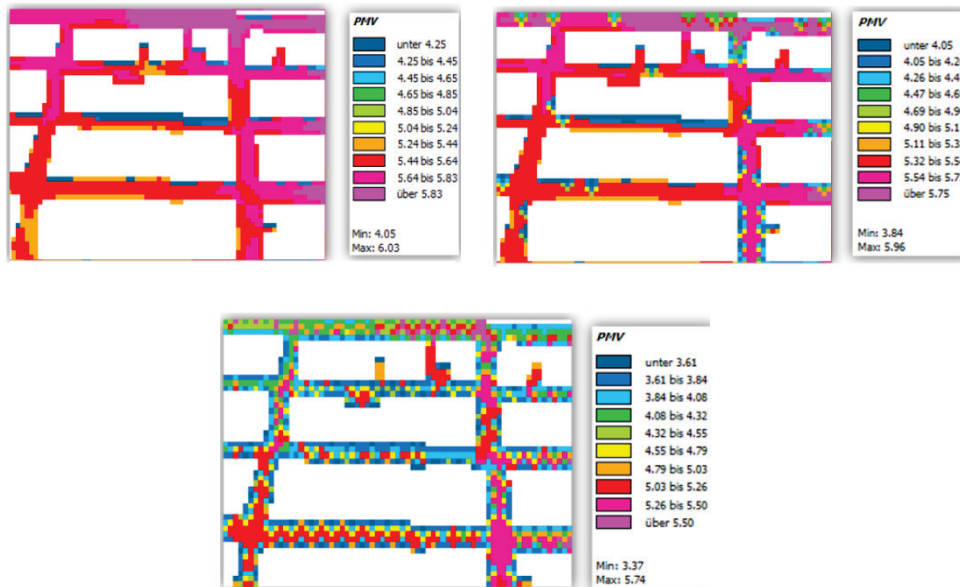
Es importante describir los resultados de las simulaciones numéricas para el índice de confort térmico PMV, en los tres puntos de medición. Para la obtención de los resultados, se hizo necesario colocar los datos de variables meteorológicas, tales como: temperatura del aire, temperatura media radiante y velocidad del viento, también como las configuraciones del cuerpo humano, considerando la insolación proveniente del vestuario, gasto de energía y factor de trabajo mecánico.

En la herramienta ENVI-met el cálculo es realizado mediante la utilización del plugin Biomet, que, dentro del programa, con los valores de unidad de clo (stating clothing insulation), según la Norma ISO 7730, siendo la utilización de camisa leve con mangas cortas, pantalón leve, zapatos, calzoncillo y medias finas. Para los parámetros especiales se consideró: Basal rate (W) de 84.49; Work metabolismo (W) de 100; Calculate from walking speed (m/s) de 1.9.

A lo que se refiere a la influencia de la densidad de la arborización en el índice de confort térmico (PMV), observa que la sensación térmica en la escala se denomina muy caliente (arriba de 3.5), observada en la escala de Fanger, donde permite observar la relación de la sensación térmica por un determinado grupo de personas.

Para en los tres modelos modelados, observa-s que los valores disminuyen cuando hay la presencia de regular arborización, sin embargo, todavía presenta altos niveles de disconfort, con valor mínimo de 3.84 e máximo con 5.96. En el modelo con alta densidad arbórea, el índice de confort térmico aumenta, obteniendo valores mínimos entre 3.37 y máximo 5.74.

Como se puede observar en la figura 03, los valores de disconfort térmico son elevados donde no hay la presencia de árboles, siendo demostrados por el color rojo, los valores de confort térmico aumento cuando hay la presencia de arborización, siendo representadas por el color azul.



Fuente: Los autores, 2018.

CONCLUSIONES

Referente a los resultados colectados en los tres puntos de observación, permitió analizar la influencia de la arborización y de la pavimentación en el microclima de la ciudad de Macapá, confirmando que con la implementación de la arborización en la Avenida Leopoldo Machado contribuye para disminuir la temperatura del aire en hasta 3 grados centígrados, en el aumento de la humedad relativa del aire, disminuyen la velocidad del viento, haciendo con que la sensación térmica mejore mediante la disminución de la temperaturas, permitiendo mejorar el confort térmico urbano y en la calidad de vida de lo habitantes.

REFERENCIAS:

Bravo, M. F., & Torre, J. M. (2014). *Confort Térmico en los espacios públicos urbanos: clima cálido y frío semi seco*. *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 4, N°. 2, 52-63.

Dobbert, L. Y. (2015). *Arborização na cidade de Campinas/SP- percepção e conforto*. São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz.

LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; ABREU, L. V. *Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos*. *Fórum Patrimônio, Belo Horizonte*, v. 4, n. 1, p. 23-42, 2011.

MORENO, M. M.; *Parâmetros para implantação efetiva de áreas verdes em bairro speriféricos de baixa densidade*. Campinas, SP, 2006. 155 p. *Dissertação (mestrado)*. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

Romero, M. A. (2001). *Arquitetura Bioclimática do Espaço Público*. Brasília: Universidade de Brasília.

Silva, C. F., & Romero, M. A. *Desempenho Ambiental de Vias Públicas quanto ao Conforto Térmico Urbano*. *Estudo de Caso: Tersina – Piauí*, 2010. *Pluris*.

Shinzato, P. (2009). *O impacto da vegetação nos microclimas urbanos*. São Paulo: *Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo*.

Tavares, J. P. (2014). *Características da Climatologia de Macapá- Ap*. *Caminhos da Geografia*.