

USO DE AMBIÊNCIA DE PRECISÃO PARA CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA SUSTENTÁVEL DE ÁREAS RURAIS URBANIZADAS

Juliano Lovato¹, Rodrigo Couto Santos², Cicero Emandes de Melo Santos³, João Pedro Jordan⁴, Rodrigo Aparecido Jordan²

¹ Mestre em Engenharia Agrícola (UFGD/FCA) – Dourados/MS

² Docente, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD/FCA) – Dourados/MS

³ Mestre em Ensino de Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

⁴ Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) – Cascavel/PR

E-mail de contato: rodrigoambiencia@gmail.com

Recebido em: 15/11/2025 – Aprovado em: 15/12/2025 – Publicado em: 30/12/2025
DOI: 10.18677/EnciBio_2025D10

RESUMO

A expansão de áreas rurais urbanizadas altera o microclima local e intensifica o estresse térmico, especialmente em regiões de clima quente. A ambiência de precisão oferece ferramentas eficazes para avaliar variações térmicas associadas ao uso e ocupação do solo. Assim, o objetivo deste estudo foi caracterizar microclimas em uma área periurbana por meio do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), identificando padrões horários de conforto e estresse térmico. O experimento foi conduzido na Unidade II da UFGD, em Dourados-MS, durante janeiro e fevereiro de 2025, com coleta horária de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) em três ambientes com três diferentes formas de intervenção antrópica cada um, totalizando nove espaços com morfologias distintas monitoradas e analisados, além de dados da estação meteorológica do INMET do município. Com T e UR foi calculado ITU, e seus valores submetidos à ANOVA em parcelas subdivididas, teste de Tukey e modelos de regressão linear. Os resultados mostraram heterogeneidade térmica significativa entre microambientes, destacando-se os ambientes com menores ITU de áreas arborizadas e maiores ITU nas superfícies asfaltadas e de concreto. Concluiu-se que a arborização superou amplamente o uso de gramados no conforto proporcionado às áreas ocupadas. Pavimentos impermeáveis intensificaram o estresse térmico, e o sombreamento arbóreo mitigou diretamente esses efeitos. Assim, para um processo de ocupação periurbana sustentável, recomenda-se priorizar a inclusão de árvores em relação ao uso isolado de gramados, reforçando a relevância dessa estratégia.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico, ITU, planejamento urbano.

USE OF PRECISION AMBIENT ANALYSIS FOR SUSTAINABLE MICROCLIMATIC CHARACTERIZATION OF URBANIZED RURAL AREAS

ABSTRACT

The expansion of urbanized rural areas alters the local microclimate and intensifies thermal stress, particularly in regions with warm climates. Precision ambience techniques offer effective tools for evaluating thermal variations associated with land

use and land cover. Therefore, the objective of this study was to characterize microclimates in a peri-urban area using the Temperature–Humidity Index (THI), identifying hourly patterns of thermal comfort and stress. The experiment was conducted at Campus II of UFGD, in Dourados, MS, during January and February 2025, with hourly records of air temperature (T) and relative humidity (RH) collected in three environments, each containing three distinct forms of anthropogenic intervention, totaling nine monitored spaces with different morphologies, complemented by data from the INMET meteorological station in the municipality. THI values were calculated from T and RH and analyzed using split-plot ANOVA, Tukey's test, and linear regression models. The results revealed significant thermal heterogeneity among microenvironments, with lower THI values occurring in tree-shaded areas and higher THI values observed over asphalt and concrete surfaces. The study concluded that tree cover provided substantially greater thermal comfort than grassed areas alone. Impervious pavements intensified thermal stress, whereas tree shading directly mitigated these effects. Thus, for sustainable peri-urban development, the inclusion of trees should be prioritized over the isolated use of grass, reinforcing the importance of this strategy.

KEYWORDS: Thermal comfort, THI, urban planning.

INTRODUÇÃO

O aquecimento global e a intensificação de extremos térmicos têm ampliado riscos à saúde e à produtividade em zonas tropicais e subtropicais, especialmente onde há mudanças rápidas no uso do solo. Sínteses recentes destacam o papel do microclima na conexão entre clima regional, superfície construída e conforto humano (ACHOURI *et al.*; 2024). Nesse contexto, métricas operacionais de conforto térmico tornam-se ferramentas-chave para orientar decisões territoriais e de desenho ambiental (BINARTI *et al.*, 2020).

No Brasil, a urbanização acelerada e a expansão de fronteiras agroindustriais produzem mosaicos de cobertura com forte heterogeneidade térmica. A literatura aponta aumento de ilhas de calor, modificações no balanço de energia superficial e impactos sobre bem-estar em cidades médias e áreas periurbanas (FEIO *et al.*, 2023; SANTOS, *et al.*, 2024). Tais efeitos são particularmente relevantes em regiões com estação quente prolongada.

A transição campo-cidade, comum em áreas rurais urbanizadas, combina pavimentos impermeáveis, edificações esparsas e remanescentes arbóreos. Esse cenário altera albedo, rugosidade e armazenamento de calor, reorganizando perfis de temperatura e umidade (GOMAA *et al.*, 2024). Medidas simples, como sombreamento arbóreo e manejo de superfícies, podem reconfigurar o microclima e reduzir estresse térmico.

As tendências climáticas recentes indicam maior frequência, duração e intensidade de episódios quentes em zonas tropicais continentais (MATTHEWS *et al.*, 2025). Em tais condições, a caracterização microclimática fina é necessária para discriminar ambientes com resposta térmica distinta ao longo do dia, subsidiando intervenções de baixo custo com ganhos ambientais e sociais (AGHAMOLAEI *et al.*, 2023).

Diversos índices têm sido empregados para representar sensação térmica e carga de calor, como Índice de Temperatura de Globo negro e Umidade (ITGU), Entalpia (H), e variações do Índice de Temperatura e Umidade (ITU). A escolha depende do objetivo, da disponibilidade de variáveis e equipamentos para

mensuração e do contexto de aplicação (HAMEREZAE *et al.*, 2020; MOTA *et al.*, 2023).

Para estudos de campo com restrição instrumental, índices derivados apenas de temperatura e umidade relativa oferecem boa operacionalidade para séries temporais densas (ISLAM *et al.*, 2024). Entre esses, destaca-se o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), sendo amplamente usado por depender de variáveis meteorológicas básicas e permitir comparações horárias entre microambientes. Além de sua simplicidade, o ITU discrimina faixas de conforto, alerta e estresse térmico que são úteis para manejo ambiental cotidiano (NAM *et al.*, 2024).

Em áreas rurais urbanizadas, diferentes arranjos de cobertura (árvores, gramados, pavimentos e edificações) produzem assinaturas microclimáticas contrastantes ao longo do dia, mas faltam avaliações sistemáticas que comparem esses microambientes com base em séries horárias e em classes padronizadas de ITU, o que configura o problema que originou essa investigação. Assim, ao se quantificar e comparar ambientes observando o comportamento do ITU, é possível propor diretrizes práticas de ambiência de precisão (sombreamento, seleção de materiais e organização espacial) visando melhorar o conforto térmico de forma sustentável em áreas rurais periurbanas, justificando essa pesquisa.

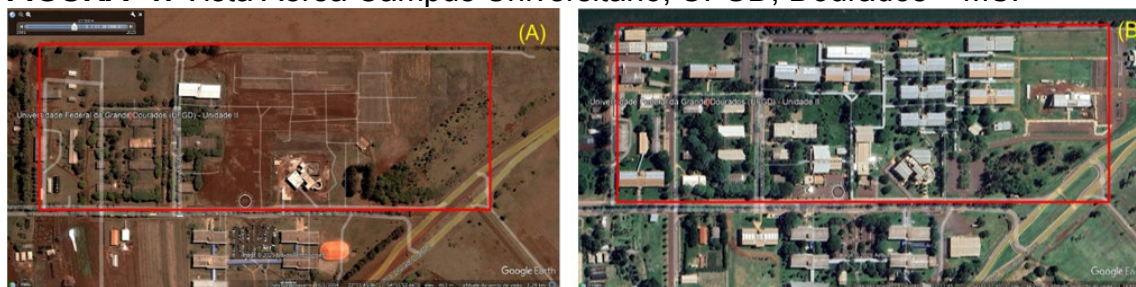
Dessa forma, foi objetivo geral caracterizar microclimas de uma área periurbana por meio do ITU, comparando padrões horários durante o período experimental. E foram objetivos específicos (i) calcular ITU horário para a série temporal; (ii) proceder à classificação horária das faixas de conforto e estresse; (iii) testar diferenças entre ambientes estudados via ANOVA e Tukey; (iv) modelar tendências por regressão; (v) aplicar ambiência de precisão para analisar os resultados encontrados.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Dourados – MS, na Universidade Federal da Grande Dourados – Unidade II, localizada nas coordenadas geográficas 22° 11' 45" latitude sul, 54° 55' 52" longitude oeste a uma altitude de 463 m, com classificação climática segundo Köppen como sendo do tipo Cwa (clima mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos secos), onde a temperatura do mês mais quente (janeiro) é superior a 22°C e dos meses mais frio (junho e julho) é inferior a 18°C (ALVARES *et al.*, 2013).

A Universidade Federal da Grande Dourados – Unidade II foi a área para parte prática da pesquisa, devido a sua localização distante do centro urbano de Dourados (MS) e estar passando por processo exponencial de antropização nos últimos 21 (vinte e um) anos, como pode ser observado nas Figuras 1.

FIGURA 1. Vista Aérea Campus Universitário, UFGD, Dourados – MS.



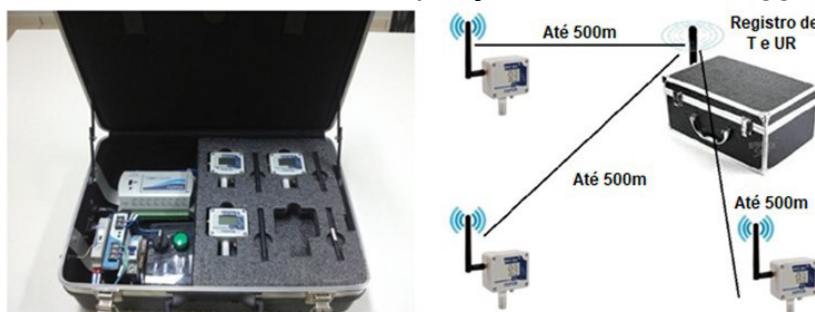
A – Área experimental no ano de 2004; B - Área experimental no ano de 2025

Fonte: Google Earth (2025)

Foram coletados 21 dias de dados climáticos de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) de verão, em dias com características semelhantes entre janeiro e fevereiro de 2025.

Para a medição de T e UR foi adotado um sistema automático de aquisição de dados *datalogger wireless* conforme Figura 2, composto por sensor de temperatura e umidade relativa (*wi-fi*), transmissor de sinal (*AirGate*) e sistema de processamento e armazenamento de dados (*FieldLogger*) calibrados pelo INMETRO, programado para armazenar informações referentes às médias horárias de temperatura (T) e umidade relativa (UR), das 6:00 h às 18:00 h, sendo esse o mesmo arranjo instrumental empregado em experimento de campo feito por (Santana *et al.*, 2024). Os sensores foram posicionados a 1 m de distância do solo de forma a refletir a realidade climática de interesse.

FIGURA 2. Sistema automático de aquisição de dados *datalogger wireless*.



Fonte: os autores

Registrou-se dados em três ambientes distintos que representaram as diferentes formas de intervenção humana no processo de antropização. A Região continha todas intervenções, porém predominava uma ocupação distinta. O ambiente A foi escolhido devido a elevada densidade arbórea. O B se destacou pela vegetação gramínea. E o ambiente C o foco foram as construções (edificações e pisos). Em cada ambiente foram coletadas informações referentes às paisagens com morfologias ambientais distintas, como pode ser visto na Figura 3, sendo:

Ambiente A

- ponto 1A: área com arborização e piso asfáltico,
- ponto 2A: área sem arborização e piso de concreto,
- ponto 3A: área com arborização densa e piso gramado;

Ambiente B

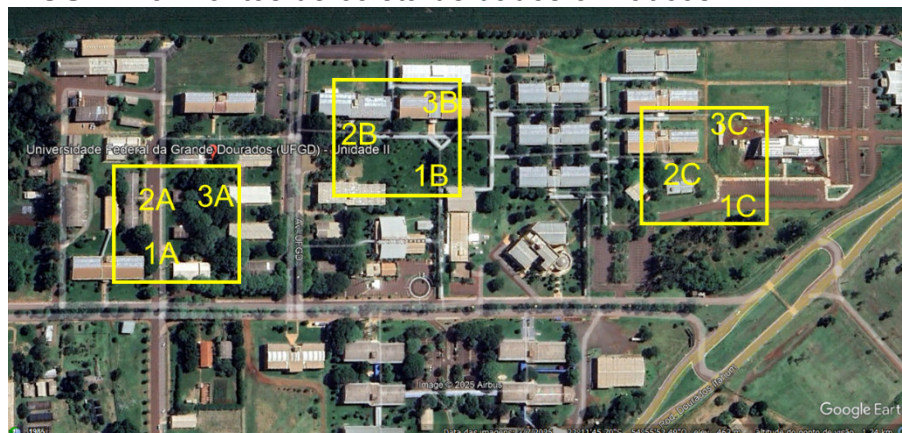
- ponto 1B: área sem sombreamento e piso gramado;
- ponto 2B: área com arborização e piso em paralelepípedo,
- ponto 3B: área entre duas edificações e piso de concreto,

Ambiente C

- ponto 1C: área sem sombreamento e piso asfáltico.
- ponto 2C: área próxima a uma edificação e parcialmente arborizada,
- ponto 3C: área próxima a uma edificação e piso parcialmente gramado,

Assim, o delineamento experimental foi em 3 parcelas, subdivididas em 3 casualizações e 21 repetições (dias experimentais).

FIGURA 3. Pontos de coleta de dados climáticos.



Fonte: (Google Earth, 2025), imagem aérea de 2025

Para fins de comparação, registrou-se também durante o período experimental, os valores horários de T e UR da estação meteorológica do INMET, Dourados/MS, localizada na Embrapa Agropecuária Oeste, nos mesmos intervalos de observação. A estação situa-se nas coordenadas 22° 16' S e 54° 49' W, com altitude aproximada de 452 m. A inclusão dessas séries permitiu confrontar os microclimas da área experimental com medições padronizadas em escala local.

Após a mensuração de T e UR, os dados foram organizados em planilha eletrônica e calculado o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), conforme a Equação 1 descrita por (GILES *et al.*; 1990).

$$ITU = Ta - 0,55 * (1 - 0,01 * UR) (Ta - 14,5) \quad (1)$$

em que,

ITU – índice de temperatura e umidade, adm;

Ta – temperatura ambiental, °C;

UR – umidade relativa do ar, %.

Para a classificação dos ambientes, conforme os valores calculados de ITU, utilizou-se as faixas de estresse e conforto recomendadas por (WANG *et al.*, 2022; SANTANA *et al.*, 2024). A Tabela 1 apresenta de forma adaptada os valores de ITU e as possíveis características observadas em pessoas expostas a esses ambientes.

TABELA 1. Faixas de Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e possíveis características observadas em seres humanos

Faixas	Intervalo do ITU (°C)	Características
1	$\leq 8,9$	Resfriamento elevado
2	9,0 a 11,9	Frio
3	12,0 a 14,9	Desconforto ao frio
4	15,0 a 17,9	Leve desconforto ao frio
5	18,0 a 20,9	Limite inferior da zona de conforto
6	21,0 a 23,9	Máxima zona de conforto
7	24,0 a 26,9	Limite superior da zona de conforto
8	27,0 a 29,9	Leve desconforto ao calor
9	30,0 a 32,9	Desconforto ao calor
10	≥ 33	Aquecimento elevado

Fonte: (WANG *et al.*, 2022; SANTANA *et al.*, 2024), adaptado.

Os dados coletados foram submetidos a análise estatística para verificação das diferenças existentes nos microambientes em estudo. As médias de ITU foram analisadas com o teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o *software* R (“Software R versão 4.3.1”, 2025) para comparação entre os microambientes e verificação de possíveis níveis de desconforto, procedimento semelhante ao adotado por (ANTUNES *et al.*, 2022) em seu experimento para avaliação ambiental.

Com os resultados gerados aplicou-se conceitos de Ambiência de Precisão para discutir o cenário existente e propor soluções sustentáveis para um desenvolvimento menos impactante de áreas rurais periurbanas, sujeitas ao processo de urbanização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância de dois fatores dessa investigação indicou que tanto o fator “Ponto Observado” quanto o fator “Horário” afetaram de forma altamente significativa o índice de temperatura e umidade (ITU), resultando $F = 225,296$ e $F = 136,767$, respectivamente, com $p < 0,0001$. Segundo a interação estatística do modelo, mais de 97% da variação total é devido a composição ambiental, 53,7% dessa atribuída às diferenças espaciais entre pontos e 43,5% devido a variação das horas de estudo. Já o erro residual representou apenas 2,9%. Esse comportamento indicou forte heterogeneidade microclimática entre os ambientes e dependência sistemática do ITU ao longo do dia, de forma análoga ao observado em estudos que aplicaram ANOVA para avaliar ITU em diferentes estações climáticas (MYLOSTYVYI; IZHBOLDINA, 2025).

Para a comparação entre ambientes e pontos, adotou-se análise de variância em delineamento de parcelas subdivididas, considerando os ambientes A, B e C como parcelas, e os pontos 1, 2 e 3 de cada ambiente como subparcelas, em 21 repetições (dias experimentais) que foram comparados pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade com resultados apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Estatística Descritiva do experimento realizado

Estatística	1A	2A	3A	1B	2B	3B	1C	2C	3C	INMET
Média	25,47	32,24	24,47	29,03	24,94	30,13	32,98	25,76	29,64	28,53
Desvio-padrão	2,53	3,74	2,30	2,34	2,42	2,58	4,08	2,62	2,39	2,26
Mínimo	21,01	24,71	20,37	23,88	20,77	24,68	24,91	21,12	24,43	23,55
Máximo	28,36	36,12	27,23	31,09	27,85	32,60	37,40	28,78	31,81	30,51

Observa-se na Tabela 2 que os valores médios de ITU variaram de 24,47 (3A) a 32,98 (1C), indicando elevado gradiente térmico entre áreas com arborização densa e área sem sombreamento e piso asfáltico. Os pontos 3A, 2B e 1A representam as áreas com arborização e com as menores médias de ITU (24,47; 24,94 e 25,47), reforçando a importância do uso de árvores para melhoria dos níveis de conforto, independentemente do tipo de piso sob a copa.

Os desvios-padrão de ITU tiveram sua mínima de 2,30 (3A) em área com arborização densa e piso gramado, e máxima de 4,08 (1C) em área sem sombreamento e piso asfáltico, evidenciando maior variabilidade intra-diária no ponto de maior exposição climática. Este comportamento sugeriu que locais que acumulam calor de forma mais intensa apresentaram maior amplitude térmica ao longo do dia. Em contraste, o ponto arborizado 3A apresentou o menor desvios-padrão, compatíveis com efeito amortecedor da vegetação sobre as flutuações térmicas. Resultados análogos, com menor variabilidade de ITU em espaços verdes e maior amplitude em superfícies impermeabilizadas, foram relatados em ambientes estudados por (LIN *et al.*, 2023).

Os valores mínimos e máximos evidenciaram forte contraste entre áreas arborizadas e impermeabilizadas, variando de 20,37 (3A) a 37,40 (1C). As faixas de ITU registradas abrangeram desde conforto até aquecimento elevado, indicando ampla oscilação térmica em apenas 21 dias. Esse comportamento confirma que microambientes com baixa arborização e presença de pavimentação exposta apresentam transição acelerada para estresse térmico, conforme demonstrado por (ZHANG *et al.*, 2024).

A Tabela 3 apresenta os modelos de regressão linear ajustados para o ITU em função do horário, permitindo comparar a dinâmica de aquecimento entre os diferentes microambientes. Os valores de intercepto, coeficiente angular e R^2 evidenciam como cada tipo de cobertura e arranjo espacial modula tanto as condições térmicas iniciais quanto a velocidade de elevação do ITU ao longo do dia.

TABELA 3. Regressões lineares do ITU em função dos horários de observação

Ponto	Intercepto (a)	Coefficiente angular (b)	R ²	Equação (ITU = a + b·x)
1A	22,0540	0,4878	0,5616	ITU = 22,0540 + 0,4878·x
1B	26,0063	0,4314	0,5147	ITU = 26,0063 + 0,4314·x
1C	27,3714	0,8006	0,5836	ITU = 27,3714 + 0,8006·x
2A	27,0247	0,7445	0,6003	ITU = 27,0247 + 0,7445·x
2B	21,7653	0,4534	0,5325	ITU = 21,7653 + 0,4534·x
2C	22,3022	0,4935	0,5376	ITU = 22,3022 + 0,4935·x
3A	21,4628	0,4294	0,5275	ITU = 21,4628 + 0,4294·x
3B	26,9841	0,4493	0,4609	ITU = 26,9841 + 0,4493·x
3C	26,6991	0,4195	0,4690	ITU = 26,6991 + 0,4195·x
INMET	25,5358	0,4272	0,5402	ITU = 25,5358 + 0,4272·x

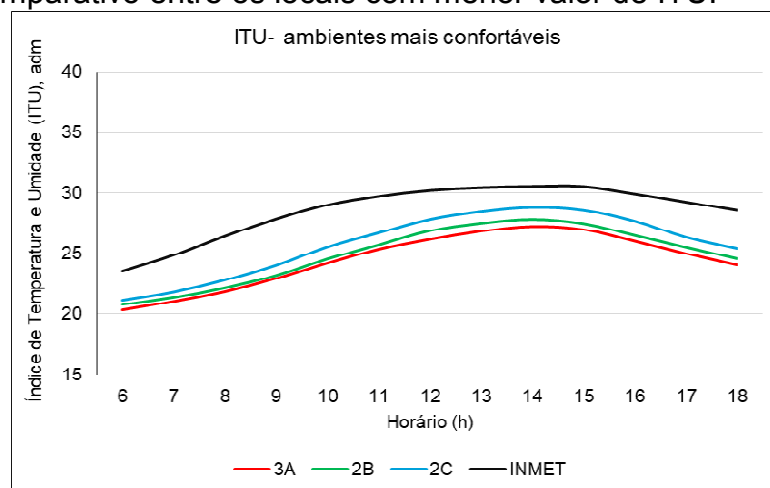
Os coeficientes angulares da Tabela 3 mostram gradientes distintos de aquecimento entre os microambientes. Os maiores valores ocorreram em 1C e 2A, refletindo forte acúmulo térmico em superfícies asfaltadas e sem arborização. Essa inclinação elevada indica aceleração do ITU durante o dia, comportamento típico de áreas com alta absorvância e baixa capacidade de dissipação de calor em ambientes antropizados, padrão também identificado em áreas densamente impermeabilizadas analisadas por (AHMADIZADEH; VAKILINEZHAD, 2025), ao descreverem rápida transição entre conforto e estresse térmico.

Ao comparar os interceptos, é possível observar diferenças nas condições térmicas iniciais. Ambientes arborizados, como 3A e 2B, iniciaram o dia com ITU reduzido, resultado compatível com maior eficiência de resfriamento noturno. Em contraste, pontos pavimentados, como 1C e 2A, apresentaram níveis basais mais elevados. Tais variações reforçam o papel da estrutura da paisagem na modulação térmica matinal, corroborando evidências de (GIANGRANDE *et al.*, 2025) sobre o efeito amortecedor da vegetação em áreas periurbanas.

Os valores de R² variando de 0,4609 a 0,6003 (Tabela 3), indicam que aproximadamente metade da variabilidade horária do ITU foi explicada pelo modelo linear. Essa consistência indica tendência diurna definida, embora influências meteorológicas rápidas permaneçam relevantes. Assim como discutido por (Santos *et al.*, 2024), o desempenho estatístico aqui apresentado reforça que a regressão linear é adequada para caracterizar tendências de aquecimento em microclimas diferenciados dentro de processos de urbanização rural.

A Figura 4 compara as áreas que apresentaram maior conforto em cada uma das 3 microrregiões estudadas, sendo a mais confortável do ambiente A: área 3A (área com arborização densa e piso gramado); do ambiente B: 2B (área com arborização e piso em paralelepípedo); e do ambiente C: 2C (área próxima a uma edificação e parcialmente arborizada).

FIGURA 4. Comparativo entre os locais com menor valor de ITU.



Legenda: ponto 3A: área com arborização densa e piso gramado; ponto 2B: área com arborização e piso em paralelepípedo, ponto 2C: área próxima a uma edificação e parcialmente arborizada.

Fonte: os autores (2025)

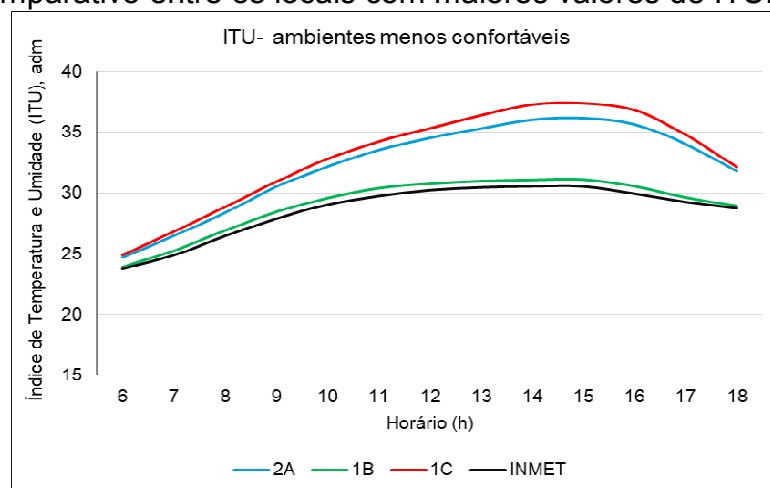
Observa-se na Figura 4 que os ambientes 3A, 2B e 2C apresentaram os menores valores de ITU ao longo do dia, permanecendo predominantemente nas faixas de máxima zona de conforto e limite superior da zona de conforto nas primeiras horas. O aumento gradual até o período de 13h a 15h manteve esses locais majoritariamente na classe de leve desconforto ao calor, diferindo da condição mais crítica registrada pela estação meteorológica do INMET. Padrões semelhantes foram observados em áreas arborizadas que amortecem o microclima diário (YU *et al.*, 2025).

A presença de arborização densa em 3A e 2B explicou a menor amplitude térmica, reforçando o papel do dossel arbóreo na modulação do balanço energético, reduzindo temperatura radiante e atenuando a exposição solar direta. Estudos recentes mostraram reduções significativas de índices térmicos em superfícies sombreadas em comparação a pavimentos descobertos expostos ao sol, especialmente em horários de pico de radiação (TALUKDAR, *et al.*, 2024). Esses mecanismos foram consistentes com o comportamento observado na Figura 4.

O microambiente 2C, embora parcialmente arborizado, apresentou desempenho intermediário, permanecendo próximo da curva de 2B até o período de maior aquecimento. Isso indica que mesmo sombreamentos descontínuos podem reduzir substancialmente o ITU, como apontado por modelos recentes que integram cobertura vegetal e ventilação local para prever conforto térmico (ZHENG *et al.*, 2024). Assim, os três microambientes analisados mantiveram condições mais favoráveis ao conforto humano quando comparados às demais áreas estudadas.

A Figura 5 apresenta os maiores valores de ITU de cada microrregião estudada, sendo a área 2A (área sem arborização e piso de concreto), 1B (área sem sombreamento e piso gramado), 1C (área sem sombreamento e piso asfáltico) e INMET (estação meteorológica oficial INMET, localizada em Dourados / MS).

FIGURA 5. Comparativo entre os locais com maiores valores de ITU.



Legenda: ponto 2A: área sem arborização e piso de concreto, ponto 1B: área sem sombreamento e piso gramado; ponto 1C: área sem sombreamento e piso asfáltico.

Fonte: os autores (2025)

A Figura 5 mostra que os microambientes 2A, 1B e 1C apresentaram os maiores valores de ITU ao longo do dia, atingindo classes de desconforto ao calor já nas primeiras horas da manhã e avançando para faixas de aquecimento elevado entre 13h e 16h. Esses padrões são compatíveis com estudos que identificaram elevação acentuada de índices termo-higrométricos em superfícies impermeáveis expostas ao sol, especialmente concreto e asfalto, devido à alta capacidade de armazenamento térmico desses materiais (KOBYLARCZYK et al., 2024).

A curva do ponto 1B mostrou que o gramado exposto ao sol apresenta desempenho térmico melhor que concreto e asfalto quando submetido à radiação direta, mantendo valores de ITU sempre inferiores aos ambientes 1C e 2A. Assim, quando não há possibilidade de sombreamento, o gramado representa a solução indicada para minimizar estresse térmico. Estudos realizados por (YU et al., 2025), confirmaram que superfícies gramadas moderam o aquecimento diurno mesmo sem o aporte adicional de sombra arbórea.

A proximidade entre as curvas de ITU nas curvas 1B e INMET indicou que gramados expostos ao sol tendem a reproduzir o comportamento térmico regional de forma aproximada, com pequenas variações atribuídas ao microclima local. Essa semelhança reforça que a grama, apesar de não impedir o desconforto térmico, não amplifica o aquecimento, como os pavimentos impermeáveis estudados.

Ao se comparar as Figuras 4 e 5, observou-se que a presença de arborização foi o fator determinante para manter ITU nas faixas de conforto ou desconforto. Mesmo sobre diferentes tipos de cobertura, ambientes arborizados apresentaram desempenho superior ao gramado exposto ao sol. A área de piso gramado exposto ao sol (Figura 5 – curva 1B) não evitou a ocorrência do estresse térmico em períodos críticos de calor, como mensurado na área de piso gramado sob arborização densa (Figura 4 – curva 3A), reforçando a conclusão de (TALUKDAR et al., 2024) de que o sombreamento arbóreo é essencial para mitigar aquecimento em zonas periurbanas.

Por fim, os resultados dessa pesquisa demonstraram que a aplicação da ambiência de precisão, por meio da análise horária do ITU, permitiu diferenciar

microclimas e identificar padrões térmicos diretamente associados às formas de ocupação. Os resultados mostraram que a arborização, mais que o tipo de piso, foi determinante para mitigar estresse térmico, consolidando-se como elemento estruturante no planejamento de áreas periurbanas. Essa abordagem oferece suporte técnico robusto para orientar ocupações sustentáveis e ambientalmente qualificadas.

CONCLUSÕES

A análise dos ambientes com índice de temperatura e umidade (ITU) confirmou que ambientes arborizados apresentaram melhor desempenho térmico, independentemente do tipo de piso utilizado.

A abordagem comparativa do ponto de vista da ambiência de precisão contribui diretamente para o desenvolvimento periurbano sustentável, podendo orientar decisões de ocupação mitigando impacto térmico.

Ao se fazer um planejamento urbano, ficou evidente que a inclusão de árvores deve prevalecer sobre o uso de áreas gramadas, pois o sombreamento arbóreo reduz significativamente o estresse térmico diário.

O selamento superficial por asfalto ou concreto intensifica o desconforto térmico, sendo o uso conjunto com arborização recomendável para reduzir seus efeitos negativos.

Recomenda-se, por fim, ampliar estudos sobre esse tema, incorporando novas tipologias construtivas e índices térmicos, fortalecendo ainda mais modelos de ambiência de precisão aplicáveis ao planejamento de ocupação territorial.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) pelos recursos disponibilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ACHOURI, H.; DJAGHROURI, D.; BENABBAS, M. Factors Affecting Microclimate and Thermal Comfort in Outdoor Spaces: a literature review, **Journal of Salutogenic Architecture**, v. 3, n. 1, p. 48–63, 22, 2024. Disponível em: <https://jsalutogenic.com/jsa/article/view/25>. doi: 10.38027/jsalutogenic_vol3no1_5.

AGHAMOLAEI, R.; AZIZI, M. M.; AMINZADEH, B.; DONNELL, J.O.; A comprehensive review of outdoor thermal comfort in urban areas: Effective parameters and approaches, **Energy & Environment**, v. 34, n. 6, p. 2204–2227, 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0958305X221116176>. doi: 10.1177/0958305X221116176.

AHMADIZADEH, O.; VAKILINEZHAD, R.; Evaluating the effect of urban surfaces albedo on the microclimate and outdoor thermal comfort in hot climate, **International Journal of Environmental Studies**, v. 82, n. 3, p. 1074–1098, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2444834>. doi: 10.1080/00207233.2024.2444834.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, P.C.M.; GERD, G.J.L.S.; Köppen's climate classification map for Brazil, **Meteorologische**

Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ANTUNES, B. M.; JORDAN, R. A.; MOTOMIYA, A. V.; SANTOS, R.C.; MOREIRA JUNIOR, O.; Electrical performance of a water-cooled pvt system with forced and natural circulation, **Engenharia Agrícola**, v. 42, p. e20220108, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/b9f3cbRjV7bpJKJvRLyZLZx/>. doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42nepe20220108/2022.

BINARTI, F.; KOERNIAWAN, M. D.; TRIYADI, S.; UTAMI, S.S.; MATZARAKIS, A.; A review of outdoor thermal comfort indices and neutral ranges for hot-humid regions, **Urban Climate**, v. 31, p. 100531, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095519302196>. Acesso em: 8 dez. 2025. doi: 10.1016/j.uclim.2019.100531.

FEIO, E. F.; HERRERA, R. C.; VELOSO, G. A.; SILVA JUNIOR, H.O.; Expansão urbana e sua influência no microclima na cidade de Altamira, PA, **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, n. 110, p. 282–297, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/3072>. doi: 10.61636/bpg.v1i110.3072.

GIANGRANDE, F.; PAPPACCOGLI, G.; CESARI, R.; ESPOSITO, A.; IPPOLITO, R.E.F. et al.; Modelling the Outdoor Thermal Benefit of Urban Trees: A Case Study in Lecce, Italy, **Environmental and Earth Sciences Proceedings**, v. 34, n. 1, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/3042-5743/34/1/8>. doi: 10.3390/eesp2025034008.

GILES, B. D.; BALAFOUTIS, C.; MAHERAS, P.; Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988. **International Journal of Biometeorology**, v. 34, n. 2, p. 98–104, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01093455>. Acesso em: 8 dez. 2025. doi: 10.1007/BF01093455.

GOMAA, M. M.; EL MENSRAWY, A.; NABIL, J.; RAGAB, A.; Investigating the Impact of Various Vegetation Scenarios on Outdoor Thermal Comfort in Low-Density Residential Areas of Hot Arid Regions, **Sustainability**, v. 16, n. 10, p. 3995, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/10/3995>. doi: <https://doi.org/10.3390/su16103995>.

GOOGLE EARTH. Google Earth. 8 dez. 2025. Google Earth Pro: **imagens de satélite e mapas digitais. Versão 7.*.***. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 8 dez. 2025.

HAMEREZAEI, M.; FARHANG DEGHAN, S.; GOLBABAEI, F.; FATHI, A.; ZAMANI, A.; Comparison of Different Heat Stress Indices for Assessing Farmers' Exposure to Heat Stress, Iranian **Journal of Public Health**, v. 49, n. 9, p. 1810–1812, 2020. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7898100/>. doi: 10.18502/ijph.v49i9.4107.

ISLAM, Md. S.; MONDAL, A. K.; AUWUL, Md. R.; SIDDIKI, S.H.M.F.; ISLAM, A.; Analysis of the climatic trends and heat stress periods for ruminants rearing in Bangladesh, **Veterinary and Animal Science**, v. 24, p. 100359, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451943X24000267>. doi: 10.1016/j.vas.2024.100359.

KOBYLARCZYK, J.; KUŚNIERZ-KRUPA, D.; NOWAK-OCŁOŃ, M.; Impact of paving surface material on thermal conditions within a residential building, **Archives of Thermodynamics**, p. 141–155, 2024. Disponível em: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/149709/edition/131108/content>. doi: 10.24425/ather.2023.149709.

LIN, J.; JIANG, S.; ZHANG, S.; YANG, S.; JI, W.; et al.; Thermal Comfort in Urban Open Green Spaces: A Parametric Optimization Study in China's Cold Region, **Buildings**, v. 13, n. 9, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/9/2329>. doi: 10.3390/buildings13092329.

MATTHEWS, T.; RAYMOND, C.; FOSTER, J.; BALDWIN, J.W.; IVANOVICH, C.; et al.; Mortality impacts of the most extreme heat events, **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 6, n. 3, p. 193–210, 2025. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43017-024-00635-w>. doi: 10.1038/s43017-024-00635-w.

MOTA, G.A.; SANTOS, R. C.; SANTOS, J. A.; LOVATTO, J.; GEISENHOF, L.O.; et al.; Smart sensors and Internet of Things (IoT) for sustainable environmental and agricultural management, **Caderno Pedagógico**, v. 20, n. 7, p. 2692–2714, 2023. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/1718>. doi: 10.54033/cadpedv20n7-014.

MYLOSTYVYI, R.; IZHBOLDINA, O.; An Integrated Approach Using Temperature–Humidity Index, Productivity, and Welfare Indicators for Herd-Level Heat Stress Assessment in Dairy Cows, **Animals**, v. 15, n. 22, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/15/22/3341>. doi: 10.3390/ani15223341.

NAM, K. T.; CHOI, N.; NA, Y.; CHOI, Y.; Effect of the Temperature–Humidity Index on the Productivity of Dairy Cows and the Correlation between the Temperature–Humidity Index and Rumen Temperature Using a Rumen Sensor, **Animals**, v. 14, n. 19, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/14/19/2848>. doi: 10.3390/ani14192848.

R: The R Project for Statistical Computing. 8 dez. 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 8 dez. 2025.

SANTANA, C.S.; SANTOS, R. C.; CARVALHO, T. I.; JORDAN, R.A.; SANCHES, A.C.; et al.; Use of artificial neural network to assess rural anthropization impacts, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 2, p. 1071–1085, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/258075>. doi: 10.26848/rbgf.v17.2.p1071-1085.

SANTOS, R. C.; BARÉA, R.; SANCHES, A. C.; GOMES FILHO, R.R.; Fuzzy inference algorithm for quantifying thermal comfort in peri-urban environments, **Environment, Development and Sustainability**, p.1-25, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05831-8>. doi: 10.1007/s10668-024-05831-8.

TALUKDAR, S.; TALUKDAR, S.; NAIKOO, M. W.; RIHAN, M.; MOHAMMAD, P. et al.; Seasonal dynamics of land surface temperature and urban thermal comfort with land use land cover pattern in semi-arid Indian cities: Insights for sustainable Urban Management, **Urban Climate**, v. 57, p. 102105, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221209552400302X>. doi: 10.1016/j.uclim.2024.102105.

WANG, H.; YOU, Q.; LIU, G.; WU, F.; Climatology and trend of tourism climate index over China during 1979–2020", **Atmospheric Research**, v. 277, p. 106321, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809522003076>. doi: 10.1016/j.atmosres.2022.106321.

YU, X.; YANG, Z.; XU, D.; WANG, Q.; PENG, J.; Urban green spaces enhanced human thermal comfort through dual pathways of cooling and humidifying, **Sustainable Cities and Society**, v. 118, p. 106032, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670724008540>. doi: 10.1016/j.scs.2024.106032.

ZHANG, M.; YİĞİT, İ.; ADIGÜZEL, F.; HU, C.; CHEN, E.; et al.; Impact of Urban Surfaces on Microclimatic Conditions and Thermal Comfort in Burdur, Türkiye, **Atmosphere**, v. 15, n. 11, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/15/11/1375>. doi: 10.3390/atmos15111375.

ZHENG, G.; XU, H.; LIU, F.; LIN, X.; WANG, S.; et al.; Study Roadmap Selection Based on the Thermal Comfort of Street Trees in Summer: A Case Study from a University Campus in China, **Sustainability**, v. 16, n. 11, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/11/4407>. doi: 10.3390/su16114407.