

CONFORTO TÉRMICO E ESTRESSE TÉRMICO AVALIADOS POR ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS NO MUNICÍPIO DE APODI- RN, BRASIL

Daniel Fernandes da Silva¹, Maria do Socorro Medeiros de Souza², Ana Vitória Benevides Câmara³, Ernandes Medeiros Rufino de Sousa⁴, João Luis Medeiros de Souza Filho⁵, Sofia Medeiros Rufino de Sousa⁶

^{1,3,4,5,6}Estudante da UFERSA, Caraúbas, Brasil (daniel.silva45319@alunos.ufersa.edu.br)

²PROFESSOR DA UFERSA – Caraúbas, RN, Brasil.

Resumo: Este estudo analisou o conforto térmico no município de Apodi, nos anos de 2008 e 2009, a partir da temperatura média do ar, da umidade relativa e dos índices bioclimáticos Índice de Calor (IC), Índice de Desconforto Térmico (IDT) e Índice de Temperatura e Umidade (ITU). A temperatura média do período foi de 33,56 °C, enquanto a umidade relativa apresentou média de 68,42%, com aumento de 5,33% em 2009. O IC apresentou média de 55,13 °C, caracterizando nível de perigo à saúde. O IDT registrou média de 30,12 °C e o ITU atingiu até 33,55 °C, ambos enquadrados em faixa desconfortável durante todo o período. Os maiores níveis de desconforto ocorreram no final de 2009, quando as temperaturas ultrapassaram 36 °C.

Palavras-chave: Chuva; Precipitação; Semiárida; Temperatura; Umidade

INTRODUÇÃO

O estudo da sensação térmica em cidades de clima semiárido, como Apodi, assume papel estratégico no planejamento urbano, na gestão ambiental e na promoção da saúde pública, pois estabelece uma relação direta entre as condições climáticas e o bem-estar humano. Em regiões onde predominam temperaturas elevadas durante grande parte do ano, a população encontra-se continuamente exposta a situações de desconforto térmico, que podem comprometer a qualidade de vida, o rendimento nas atividades diárias e até mesmo a saúde, favorecendo quadros de estresse térmico, desidratação, fadiga e agravamento de doenças preexistentes.

O conforto térmico está associado à interação entre variáveis meteorológicas como temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento e características da superfície urbana. Quando essas variáveis se combinam de maneira desfavorável, intensificam a sensação de calor percebida pelo organismo humano. Assim, a sensação térmica não depende apenas da temperatura medida pelos instrumentos meteorológicos, mas da forma como o corpo humano reage às condições ambientais. Em locais de clima semiárido, como o interior do Rio Grande do Norte, essa relação torna-se ainda mais evidente devido à elevada incidência solar e às altas temperaturas registradas ao longo do ano.

Nos centros urbanos, observa-se um aumento progressivo da temperatura do ar em função da forma

como esses espaços são estruturados. A ausência de planejamento urbano adequado, aliada à redução de áreas verdes e ao uso predominante de materiais construtivos que absorvem e armazenam calor, contribui significativamente para a formação de microclimas mais quentes, fenômeno conhecido como ilhas de calor urbanas (Almeida, 2005). Esse processo ocorre porque superfícies como asfalto, concreto e telhados metálicos apresentam alta capacidade de absorção térmica, liberando o calor lentamente para o ambiente, inclusive durante a noite, o que dificulta o resfriamento natural do ar.

Além disso, a retirada da cobertura vegetal compromete mecanismos naturais de regulação térmica, como o sombreamento e a evapotranspiração. As árvores, por exemplo, desempenham papel fundamental na redução da temperatura do ar, na melhoria da qualidade do ar e na manutenção da umidade relativa. A sua ausência agrava ainda mais as condições térmicas nas cidades, tornando os espaços urbanos mais suscetíveis aos extremos de calor. Dessa forma, a arborização urbana deixa de ser apenas um elemento paisagístico e passa a ser considerada uma estratégia essencial de conforto térmico.

Em áreas urbanizadas, a substituição de superfícies naturalmente permeáveis por materiais impermeáveis altera o balanço energético local. Essa transformação reduz a infiltração da água no solo, diminui a umidade disponível para evaporação e favorece o acúmulo de calor nas superfícies (Nice et al., 2022). Como

consequência, ocorre a elevação da temperatura média do ar, a redução da umidade relativa e a intensificação da sensação de abafamento, principalmente nos períodos mais quentes do dia. Esses fatores contribuem para que a população permaneça por mais tempo exposta a condições térmicas desfavoráveis.

De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMCI, 2021), a região Nordeste do Brasil é uma das mais vulneráveis às mudanças climáticas globais. As projeções indicam aumento gradual da temperatura média, redução da pluviosidade e maior frequência de eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas concentradas em curtos períodos. Esse cenário reforça a importância de estudos voltados à análise do conforto térmico, sobretudo em municípios do semiárido, onde as condições climáticas já são naturalmente severas.

Nesse contexto, o uso de índices bioclimáticos torna-se fundamental para avaliar a forma como as condições atmosféricas afetam a percepção térmica humana. O Índice de Calor (IC) considera a interação entre temperatura do ar e umidade relativa, permitindo classificar níveis de risco à saúde (Nóbrega; Lemos, 2011). O Índice de Desconforto Térmico (IDT), proposto por Thom (1959), interpreta a sensação térmica a partir dessas mesmas variáveis, enquanto o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) também analisa a percepção térmica em função da combinação desses elementos. Esses índices funcionam como importantes ferramentas para a compreensão dos impactos do clima sobre o organismo humano.

A aplicação desses índices possibilita identificar períodos críticos de desconforto térmico, contribuindo para a elaboração de estratégias preventivas. Por meio dessas análises, gestores públicos podem planejar intervenções urbanas mais adequadas, como ampliação de áreas verdes, incentivo à construção de edificações com melhor ventilação natural, utilização de materiais menos absorventes de calor e criação de espaços públicos mais sombreados e agradáveis.

Outro aspecto relevante diz respeito à saúde pública. Altas temperaturas associadas à elevada umidade relativa podem desencadear problemas como insolação, exaustão térmica, desidratação e agravamento de doenças cardiovasculares e respiratórias. Crianças, idosos e pessoas com comorbidades são os grupos mais vulneráveis a essas condições. Dessa forma, conhecer os períodos de maior desconforto térmico permite orientar campanhas de prevenção, como incentivo à hidratação, redução da exposição ao sol nos horários mais quentes e adaptação de rotinas escolares e laborais.

A compreensão da sensação térmica também contribui para o planejamento arquitetônico e urbanístico. A orientação correta das edificações em relação ao sol, a ventilação cruzada, o uso de coberturas vegetais, telhados térmicos e materiais refletivos são estratégias

que podem reduzir significativamente o calor acumulado nas construções. Essas práticas, quando aplicadas de forma integrada ao planejamento urbano, promovem melhorias substanciais nas condições de conforto térmico da população.

Dessa forma, estudos sobre conforto térmico não se restringem apenas à análise climática, mas abrangem aspectos sociais, ambientais, urbanísticos e de saúde. Eles fornecem subsídios importantes para políticas públicas voltadas à adaptação das cidades às condições climáticas locais, especialmente em regiões semiáridas.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo analisar os índices de conforto térmico no município de Apodi (RN), nos anos de 2008 e 2009, a partir de dados históricos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A partir dessa análise, busca-se compreender como as variáveis climáticas influenciam a sensação térmica da população e de que forma essas informações podem contribuir para reflexões sobre planejamento urbano, qualidade ambiental e promoção da saúde pública em cidades do semiárido nordestino.

MATERIAL E MÉTODOS

A partir dessas informações, foram calculados os índices de conforto térmico: Índice de Calor (IC), Índice de Desconforto Térmico (IDT) e Índice de Temperatura e Umidade (ITU). Esses índices foram escolhidos por sua ampla aplicação em estudos climatológicos e biometeorológicos, permitindo avaliar de forma integrada os efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o organismo humano.



Figura 1. Imagem do município de Apodi via satélite.

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Apodi#Povoados>

A partir dessas informações, foram calculados os índices de conforto térmico: Índice de Calor (IC), Índice de Desconforto Térmico (IDT) e Índice de Temperatura e Umidade (ITU). Esses índices foram escolhidos por sua ampla aplicação em estudos climatológicos e biometeorológicos, permitindo avaliar de forma integrada os efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o organismo humano.

Quadro 1. Níveis de alerta e possíveis sintomas fisiológicos às pessoas, de acordo com o Índice de Calor, adaptação de National Weather Service Eather Forecast Office, NOAA (1991)

Índice de Calor	Nível de perigo	Síndrome de calor
IC < 27 °C	Ausência	Ausência
27 – 32 °C	Atenção	Fadiga
32 – 54 °C	Muito cuidado	Câimbras, esgotamento, insolação para exposições prolongadas.
41 – 54 °C	Perigo	Câimbras, insolação e esgotamento prováveis. Possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas.
IC > 54 °C	Extremo perigo	Insolação e Acidente vascular cerebral (AVC) eminente.

Fonte: Steadman (1979)

O Índice de Calor (**Equação 1**) foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Steadman (1979), sendo função da temperatura do ar e da umidade relativa, representando a sensação térmica percebida pelo corpo humano de acordo com o **Quadro 1**.

Equação 1:

$$IC = -42,379 + 2,04901523 \cdot T + 10,14333127 \cdot UR - 0,22475541 \cdot T \cdot UR - 0,00683783 \cdot T^2 - 0,05481717 \cdot UR^2 + 0,0122874 \cdot T^2 \cdot UR + 0,00085282 \cdot T \cdot UR^2 - 0,00000199 \cdot T^2 \cdot UR^2 \dots\dots\dots (1)$$

onde :T=temperatura máxima (°C) e UR a umidade relativa (%).

Quadro 2. Nível de Desconforto Térmico em função do Índice de Desconforto Térmico

IDT (°C)	Nível de Desconforto Térmico
IDT < 14,9 °C	Desconfortável
15 – 19,9 °C	Confortável
20 – 26,4 °C	Conforto parcial
IDT > 26,5 °C	Desconfortável

Fonte: Silva et al.(2009)

O Índice de Desconforto Térmico (IDT) foi calculado conforme a metodologia proposta por Thom (1959), sendo expresso pela **Equação 2**, em que o índice é função da temperatura máxima e umidade relativa. Com base nos valores de IDT, é possível identificar o nível de desconforto, utilizando o Quadro 2.

Equação 2:

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 \cdot UR) \cdot (T - 14,5) \dots\dots\dots (2)$$

Onde :T= temperatura máxima (°C) e UR a umidade relativa (%).

Quadro 3. Nível de conforto térmico em função do Índice de Temperatura e Umidade

Nível de conforto	ITU
Confortável	42 < ITU < 24
Levemente desconfortável	24 < ITU < 26
Extremamente desconfortável	ITU > 26

Fonte: Silva et al.(2009)

Já o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi calculado conforme metodologia adaptada de Silva et al. (2009), sendo determinado pela **Equação 3**. Com base nos resultados de ITU, é possível observar o nível de conforto térmico, de acordo com o Quadro 3.

Equação 3:

$$ITU = 0,8 \cdot T + (UR \cdot T)/500$$

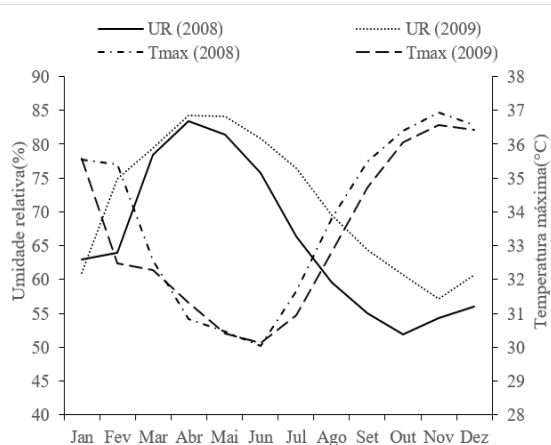
onde T= temperatura máxima (°C) e UR a umidade relativa (%).

Os valores obtidos para os índices IC, IDT e ITU foram analisados mensalmente, permitindo avaliar as condições de conforto térmico ao longo dos anos de 2008 e 2009 no município de Apodi – RN.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para o município de Caicó – RN evidenciam condições climáticas típicas de regiões semiáridas, caracterizadas por elevadas temperaturas e variações na umidade relativa do ar, influenciando diretamente os índices de conforto térmico.

Figura 1 – Variação da temperatura média do ar e da umidade relativa no município de Apodi, 2008 e 2009

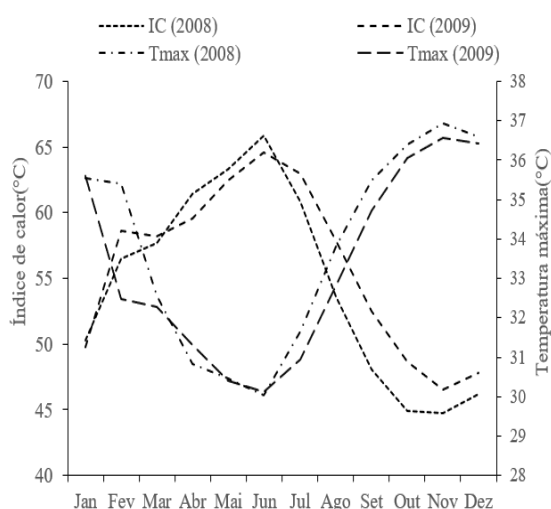


A TMM apresentou leve redução de 0,38 °C de 2008 para 2009, mantendo média geral elevada de 33,56 °C. Paralelamente, a UR registrou aumento de 5,33% em 2009, alcançando média de 68,42%. Essa combinação é particularmente crítica do ponto de vista fisiológico, pois a dissipação do calor corporal depende, em grande parte, da evaporação do suor.

Com maior umidade no ar, esse processo torna-se menos eficiente, favorecendo o acúmulo de calor no organismo. Mesmo com pequena diminuição da temperatura, o aumento da UR contribuiu para agravar a sensação térmica.

Isso demonstra que a avaliação isolada da temperatura do ar não é suficiente para caracterizar as condições de conforto térmico, sendo indispensável considerar a interação entre as variáveis climáticas.

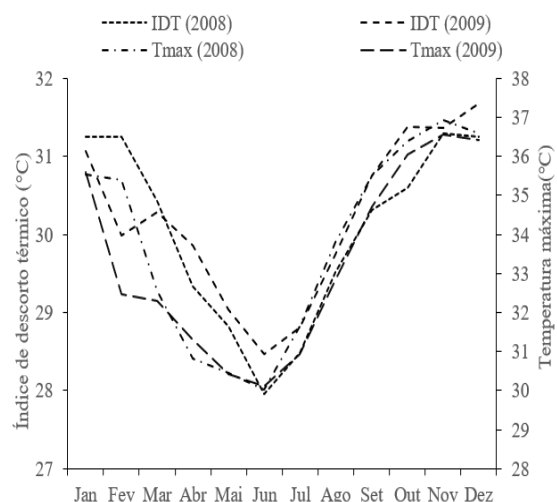
Figura 2 – Comportamento do Índice de Calor (IC) e da temperatura média no município de Apodi, 2008 e 2009.



O IC variou de 44,78 °C a 65,83 °C em 2008 e de 46,56 °C a 64,59 °C em 2009, com média geral de 55,13 °C. Esses valores enquadram-se em categorias de risco à saúde humana. O IC expressa de forma mais realista a sensação térmica percebida pelo corpo, pois incorpora os efeitos combinados da temperatura e da umidade.

Nessas condições, aumentam significativamente as probabilidades de esgotamento térmico, desidratação, insolação e complicações cardiovasculares. A permanência prolongada em ambientes com esses níveis de IC exige cuidados como hidratação constante, redução da exposição solar e ambientes ventilados.

Figura 3 – Variação do Índice de Desconforto Térmico (IDT) no município de Apodi, 2008 e 2009.



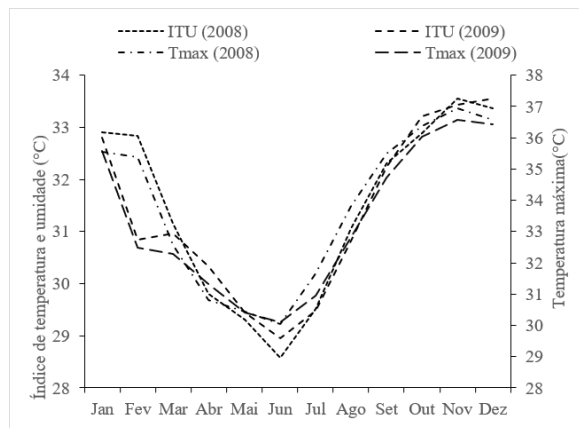
A partir do Gráfico 3, observa-se que a temperatura média do período foi de 33,56 °C. Em 2008, o maior valor do IDT ocorreu em novembro (31,29 °C), classificado como desconfortável quando comparado ao Quadro 2. Já em 2009, o menor valor foi registrado em junho (28,46 °C).

Embora esses valores sejam próximos, todos permanecem acima da faixa considerada confortável para o corpo humano.

Isso demonstra que, ao longo de todo o período analisado, a população do município de Apodi esteve submetida a desconforto térmico contínuo, independentemente da estação do ano.

Dessa forma, o comportamento do IDT evidencia que o desconforto não se restringiu a meses isolados, mas caracterizou-se como uma condição persistente ao longo do tempo.

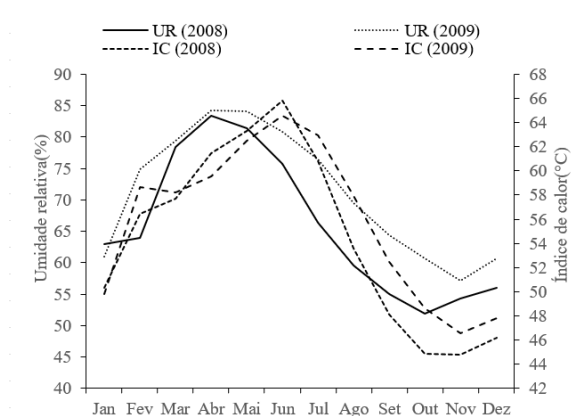
Figura 4 – Comportamento do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) no município de Apodi, 2008 e 2009.



O menor valor do ITU foi registrado em junho de 2008 (28,58 °C), enquanto o maior ocorreu em dezembro de 2009 (33,55 °C). A comparação com o Quadro 3 evidencia a progressão do desconforto térmico ao longo do período.

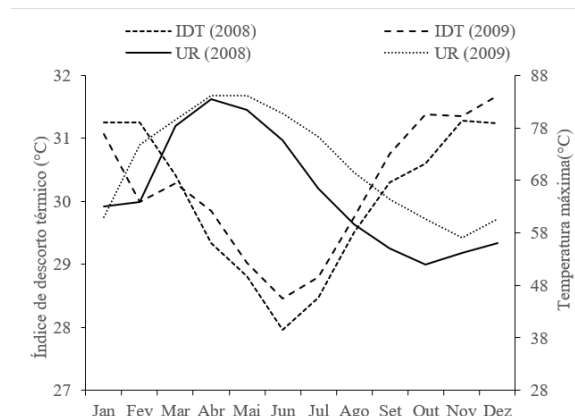
Observa-se, ainda, que o ITU apresentou distribuição muito semelhante à da temperatura média mensal (TMM), demonstrando a forte dependência desse índice em relação às variações térmicas.

Figura 5 – Relação entre o Índice de Calor (IC) e a umidade relativa do ar, 2008 e 2009.



Os valores da sensação térmica, representados pelo IC, indicam condições recorrentes de perigo e, em determinados momentos, de extremo perigo à saúde humana em Apodi. A umidade relativa não apresentou comportamento linear, registrando aumento médio de 5,33% no período, o que contribuiu para intensificar a sensação térmica em situações de maior calor.

Figura 6 – Relação entre o Índice de Desconforto Térmico (IDT) e a temperatura média mensal, 2008 e 2009.



O IDT apresentou média de 30,12 °C, variando entre 27,96 °C e 31,67 °C. A diferença entre os menores valores de 2008 (27,96 °C) e 2009 (28,46 °C) foi de 0,50 °C. A temperatura média do período foi de 33,31 °C, com picos superiores a 36 °C nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2009, atingindo 36,56 °C em novembro, o que confirma a persistência de condições de desconforto térmico ao longo do período analisado.

CONCLUSÃO

Em Apodi, a temperatura média foi de 33,56 °C e a umidade relativa atingiu 68,42%, com aumento de 5,33% em 2009. Essa combinação contribuiu para maior sensação de calor.

O Índice de Calor apresentou média de 55,13 °C, enquanto o IDT teve média de 30,12 °C e o ITU variou até 33,55 °C. Esses valores indicam desconforto térmico contínuo e possíveis riscos à saúde, destacando a importância de medidas preventivas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Federal do Semi-Árido (UFERSA) e apoio à pesquisa o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela ajuda pela disponibilidade dos dados para o desenvolvimento desta pesquisa e autores.



REFERÊNCIAS

Almeida Jr., N. L. (2005). **Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica**. 94p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso.

NICE, K. A.; NAZARIAN, N.; LIPSON, M; J.; HART, M. A.; SENEVIRATNE, S.; THOMPSON, J.; NASERIKIA, M.; GODIC, B.; STEVENSON, M. Isolating the impacts of urban form and fabric from geography on urban heat and human thermal comfort, **Building and Environment**, v. 224, 2022.

NICE, K. A.; NAZARIAN, N.; LIPSON, M; J.; HART, M. A.; SENEVIRATNE, S.; THOMPSON, J.; NASERIKIA, M.; GODIC, B.; STEVENSON, M. Isolating the impacts of urban form and fabric from geography on urban heat and human thermal comfort, **Building and Environment**, v. 224, 2022.

NÓBREGA, R.S.; LEMOS, T.V.S. O microclima e o (des) conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. *Rev. Geogr.*, v.28, n.1, p.93, 2011.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Relatório Nacional de Mudanças Climáticas**. 2021.

SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; Brito, R.S.; CAMPOS, J.H.B.C. (2009). **Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil**. *Environ Monit Assess*. DOI 10.1007/s10661-008-0726-3. ambientes abertos na cidade do recife. *Revista de Geografia (UFPE)*, v.28, n.1, p93-109, 2011.

THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, n.2, p.57- 61,1959.