XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Comparação dos balanços de energia à superfície entre duas cidades brasileiras em clima tropical

Comparación de balances de energía superficial entre dos ciudades brasileñas en clima tropical

Comparison of surface energy balances between two Brazilian cities in tropical climate

Clima e Planejamento Urbano / *Clima y Planificación Urbana / Climate and Urban Planning*

Assis, Eleonora Sad
Doutora, UFMG/Escola de Arquitetura, Belo Horizonte, Brasil, elsad@ufmg.br

Resumo

O balanço de energia à superfície (BES) é importante para avaliar as condições de qualidade do ar, fluxos de energia e armazenamento de calor no ambiente urbano. Objetivou-se comparar o BES de duas metrópoles brasileiras (Manaus e Cuiabá) no maior domínio climático do país (tropical). Os dados dos termos para a comparação entre os balanços foram organizados em médias sazonais do período de radiação solar incidente e do período de 24 horas. Os resultados em ambas as cidades apontam que a convecção (fluxo de calor sensível) predomina sobre a condução (armazenamento de calor no ambiente urbano); há grande influência da água disponível para evaporação sobre este armazenamento e que, no termo de calor antropogênico, predomina o calor dissipado pelo tráfego veicular. Tais resultados são úteis para subsidiar medidas de planejamento urbano para adaptação às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Clima urbano. Balanço de energia - análise. Metrópoles tropicais.

Resumen

El balance de energía superficial (BES) es importante para evaluar las condiciones de calidad del aire, los flujos de energía y el almacenamiento de calor en el entorno urbano. El objetivo fue comparar el BES de dos metrópolis brasileñas (Manaos y Cuiabá) en el dominio climático más grande del país (tropical). Los datos de términos para la comparación entre los balances se organizaron en promedios estacionales del período de radiación solar incidente y el período de 24 horas. Los resultados en ambas ciudades indican que predomina la convección (flujo de calor sensible) sobre la conducción (almacenamiento de calor en el ambiente urbano); sobre este almacenamiento existe una gran influencia del agua disponible para evaporación y, en términos de calor antropogénico, predomina el calor disipado por el tráfico vehicular. Estos resultados son útiles para apoyar medidas de planificación urbana para adaptarse al cambio climático.

Palabras clave: Clima urbano. Balance energético - análisis. Metrópolis tropicales.

Abstract

The surface energy balance (SEB) is important for evaluating air quality conditions, energy flows and heat storage in the urban environment. The objective was to compare the SEB of two Brazilian metropolises (Manaus and Cuiabá) in the country's largest climatic domain (tropical). The fluxes data for comparison between the balances were organized into seasonal averages of the incident solar radiation period and the 24-hour period. The results in both cities indicate that convection (sensible heat flow) predominates over conduction (heat storage in the urban environment); there is a great influence of the water available for evaporation on this storage and, in terms of anthropogenic heat, the heat dissipated by vehicular traffic predominates. Such results are useful to support urban planning measures to adapt to climate change.

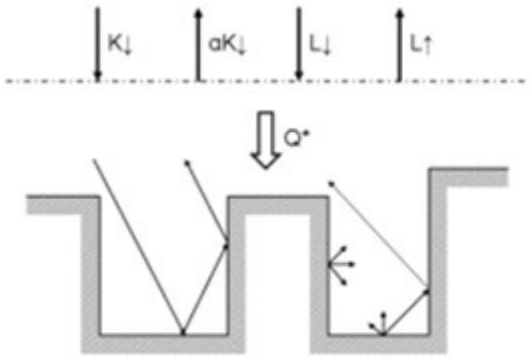
Keywords: Urban climate. Energy balance - analysis. Tropical metropolises.

Introdução

O balanço de energia urbano à superfície (BES) é baseado no princípio de conservação da energia, sendo constituído pelo computo dos fluxos e transformações de energia dentro de uma área urbana morfologicamente homogênea, tratada como um volume de controle. A aplicação do balanço de energia (Figura 1) em áreas urbanas teve início com os trabalhos do geógrafo canadense Timothy Oke (Nuñez e Oke, 1977). O BES é necessário para a análise da qualidade do ar e da formação de ilhas de calor em ambientes urbanos, sendo indispensável para o desenvolvimento de modelos numéricos confiáveis de poluição do ar e do calor gerado e estocado por diferentes tipologias de áreas urbanas. Tais modelos possibilitam investigar cenários futuros e de planejamento urbano para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa e para a adaptação das cidades às mudanças do clima (Piringer *et al*., 2002; Colombert *et al*., 2009).

Figura 1: Representação esquemática dos balanços de radiação e de energia em uma área urbana.

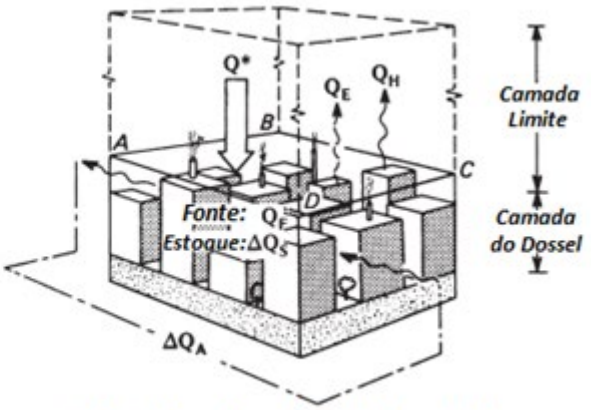
(a) Balanço de radiação



$$Q^* = L\downarrow - L\uparrow + (1 - \alpha)\, K\downarrow$$

$K\downarrow$: radiação solar de onda curta incidente;
$L\downarrow$: radiação atmosférica de onda longa incidente;
$L\uparrow$: radiação de onda longa emitida pelo dossel;
$\alpha K\downarrow$: radiação solar de onda curta refletida (α é o albedo superficial)

(b) Balanço de energia



$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

Q^*: saldo de radiação no topo do dossel;
Q_F: fluxo de calor antropogênico;
Q_H: fluxo turbulento de calor sensível;
Q_E: fluxo turbulento de calor latente;
ΔQ_S: estoque de calor nos elementos urbanos;
ΔQ_A: saldo da advecção horizontal de calor (laterais opostas do volume de controle)

Fontes: Modificado de Colombert *et al*. (2009, p. 35) e (b) com base em Oke (1987, p. 275).

Além de haver uma diferença marcante na partição dos fluxos de energia entre áreas urbanas e áreas rurais ou naturais adjacentes, verifica-se também diferenças importantes no BES entre cidades, devido às diferenças do clima onde cada uma está situada, do tipo de uso e ocupação do solo e do metabolismo urbano de cada cidade (Piringer *et al*., 2002; Nazerikia *et al*., 2022). As áreas urbanas têm, também, uma fonte extra de calor em relação às áreas naturais, que constitui o fluxo de calor antropogênico (Q_F). Este fluxo não é medido diretamente, sendo trabalhosos os levantamentos e processamento de dados para a estimativa dele. O método do inventário é o mais utilizado para a estimativa do fluxo de calor antropogênico (Sailor e Lu, 2004).

Em regiões tropicais e subtropicais, os estudos experimentais do BES são bastante escassos. Em sua revisão, Roth (2007) observou que a maioria dos trabalhos foram em áreas residenciais com moradias unifamiliares de até dois pavimentos e alguma vegetação, abordando somente as condições de tempo seco e céu claro, e desconsiderando a contribuição do calor antropogênico. Nestes climas há, aparentemente, uma forte influência da vegetação e/ou da disponibilidade de água (seja como conteúdo de água líquida presente nos materiais e tipos de superfícies, seja como vapor d´água presente no ar) na partição dos fluxos de energia. De acordo com esta hipótese, a disponibilidade de água em climas tropicais e subtropicais, principalmente no entorno rural e/ou natural adjacente às áreas urbanas, modula o fluxo de calor latente (Q_E), que ocorre às expensas do armazenamento de calor nas superfícies urbanas (ΔQ_S). Já o percentual do fluxo de calor sensível (Q_H) no saldo de radiação (Q*) durante o dia mostrou-se similar aos valores encontrados nas áreas urbanas em climas temperados (cerca de 40%). Em todos os casos revisados, Roth (2007) encontrou também um padrão de histerese entre o Q* e o Q_H, com os valores máximos do Q_H ocorrendo no início da tarde, entre as 13h e 14h (hora local).

No Brasil, apenas cinco capitais têm estudos sobre seu balanço de energia: Manaus (AM), Recife (PE), Cuiabá (MT), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP). Exceto Recife, as demais têm estudos observacionais com torres de instrumentação montadas para este fim. Tais torres são diferentes das estações meteorológicas padrão, por sua altura (as medições devem ocorrer acima da camada de rugosidade), tipo de instrumentação e de processamento de dados.

Tendo em vista a importância do BES para a compreensão das características locais da ilha de calor e sua relação com o uso e ocupação do solo, este trabalho teve como objetivo comparar os resultados entre duas cidades brasileiras situadas no mesmo domínio climático – o tropical (tipo

A, de acordo com a classificação de Köppen), no interior do país, ou seja, sem a influência de brisas oceânicas. Espera-se, assim, contribuir para ampliar a compreensão de como os ambientes urbanos se comportam num domínio climático que abrange mais de 80% do território brasileiro (Alvares *et al*., 2013).

Materiais e Métodos

Para a comparação de resultados do BES entre as cidades, foi tomada como referência a organização e comparação de dados do estudo feito na Cidade do México (Oke *et al*., 1999). Nele, os dados foram estimados e organizados em: período diurno (Q*> 0) e período total (24h). Foi preparada uma tabela síntese com os termos do balanço e estes foram normalizados pelo Q*, permitindo comparar diretamente as tendências entre as cidades, sem a influência da magnitude absoluta dos fluxos ou de zonas climáticas diferentes.

Os critérios para seleção dos casos de estudo foram: (a) cidades brasileiras com estudos experimentais do balanço de energia urbano à superfície, em áreas urbanas relativamente semelhantes; (b) cidades num mesmo domínio climático, sem influência das brisas oceânicas; (c) cidades que já contam com a estimativa do termo de fluxo de calor antropogênico. Dentre as cinco citadas capitais, foram selecionadas Manaus, AM, e Cuiabá, MT, ambas situadas no interior do Brasil e com tipo climático do grupo A – tropical, atendendo a todos os citados critérios.

Casos de estudo

Em Manaus, as medições para a caracterização sazonal do BES foram feitas durante 2022, considerando dados da estação chuvosa (fevereiro a abril) e do período mais seco (agosto a outubro). De acordo com Hall (2024), neste ano, o período seco foi considerado atípico, com temperaturas acima da média e precipitação inferior à média normal. Em Cuiabá, o período chuvoso vai de outubro a abril e o seco, de maio a setembro. O período das medições, de setembro de 2010 a agosto de 2011, também foi mais seco do que o normal, segundo Callejas (2012).

Manaus, AM

A cidade de Manaus está localizada à latitude de 3,07º Sul, longitude de 60,01º Oeste, a uma altitude média de 92m, na confluência dos rios Negro e Solimões. A classificação climática da

região é Af, ou seja, clima tropical úmido ou equatorial, sem estação seca, pois apresenta precipitação média mensal de pelo menos 60mm. A área do município é de 11.401 km^2, com uma população de 2.063.689 habitantes. 99,03% dela está concentrada na área urbana do município, que é de 229,5 km^2, com 738.012 domicílios. Apesar de circundada pela floresta Amazônica, a área urbana do município tem pouca vegetação (apenas 23,9% das vias são arborizadas, segundo informe do IBGE, 2022). Dentre as 21 maiores regiões metropolitanas do Brasil, Manaus foi a que apresentou a maior intensidade diurna da ilha de calor de superfície (SUHI), com cerca de 4,3^{o}C, de acordo com Monteiro *et al*. (2021).

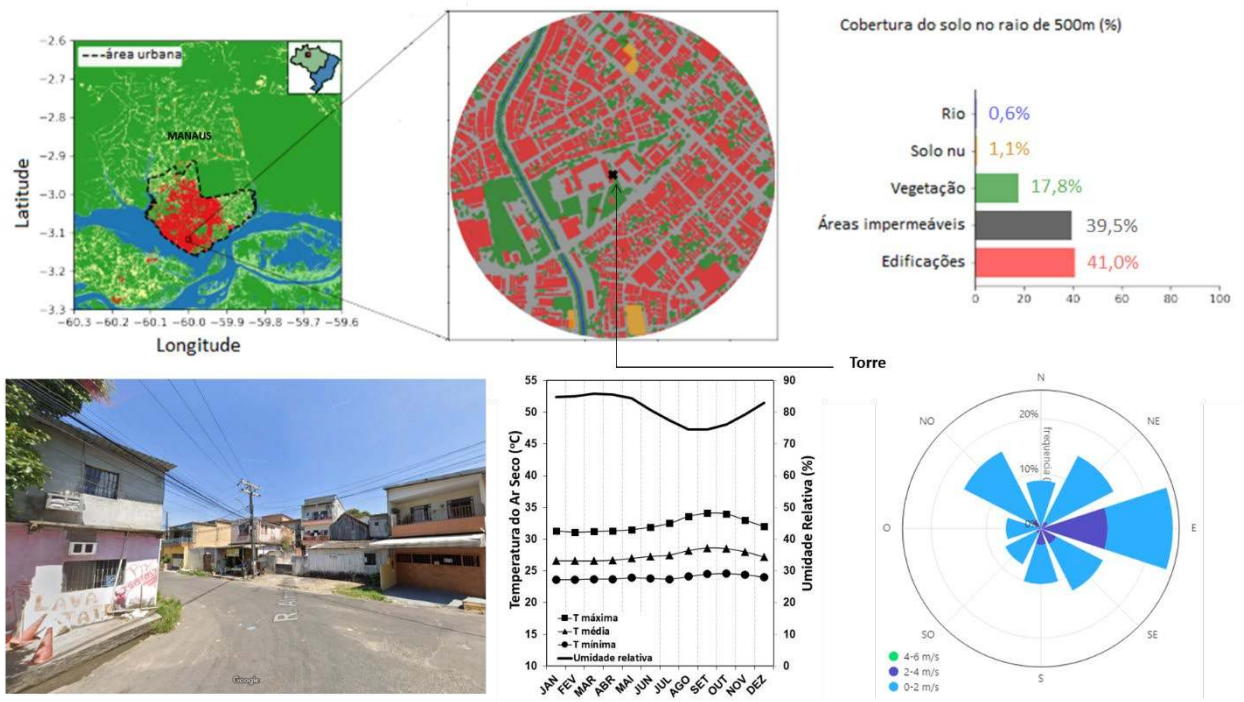
O clima de Manaus é controlado, fundamentalmente, pelo ciclo anual da chuva. Apesar deste ciclo ser perturbado por fenômenos de larga escala, como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), observou-se uma tendência não constante de aquecimento num período de 80 anos (1921-2000), atribuída muito mais aos efeitos da mudança de uso do solo do que aos fenômenos naturais (Oliveira *et al*., 2008).

Para o estudo experimental do BES, Hall (2024) instalou uma torre urbana de 30m de altura numa área residencial densa do bairro Petrópolis, na região centro-sul da cidade. A Figura 2 mostra a localização e os tipos de cobertura do solo do entorno da torre. Em geral, são casas térreas, com muitos telhados metálicos e pouca vegetação, mais frequente nos fundos dos lotes. No topo da torre ficam o analisador de gás de caminho fechado (medição de CO_2 e vapor d´água), o anemômetro sônico 3D e o saldo-radiômetro; outros 4 conjuntos de anemômetros horizontais e termo-higrômetros foram instalados a 9m, 14m, 20m e 30m. Este equipamento permite a medição dos perfis verticais da velocidade do vento, da temperatura e da umidade do ar, para a estimativa dos fluxos turbulentos de calor sensível e latente. A frequência de amostragem foi alta, para permitir a filtragem dos dados e o processamento pelo método específico.

Os dados medidos foram processados usando o método de covariância de vórtices turbulentos (*eddy covariance*) por meio do pacote EddyPro LICor. Este realiza uma série padrão de análises de qualidade, filtrando os dados válidos para os cálculos dos fluxos turbulentos (Q_H e Q_E). A estimativa do armazenamento de calor no "dossel" urbano (ΔQ_S) foi feita pelo método da massa térmica (TMS, Roberts *et al*. 2006), onde se consideram os fluxos condutivos de calor de cada tipo de superfície urbana (em geral, os telhados e paredes dos edifícios, e a pavimentação urbana). O fluxo de calor antropogênico (Q_F) não foi considerado por Hall (2024) no balanço, por ser

geralmente pequeno nas cidades brasileiras já estudadas, mas foi estimado por Farias *et al*. (2023), aplicando o método do inventário proposto por Sailor e Lu (2004).

Figura 2: Localização da área de estudo: bairro Petrópolis, Manaus.



Fontes: Modificado de Hall (2024); imagem de rua típica do bairro: Google Street View capturada em Julho de 2024. Dados de Temperaturas e Umidade Relativa das Normais Climatológicas 1991-2020 (INMET); rosa dos ventos do *site* Projetee.

Cuiabá, MT

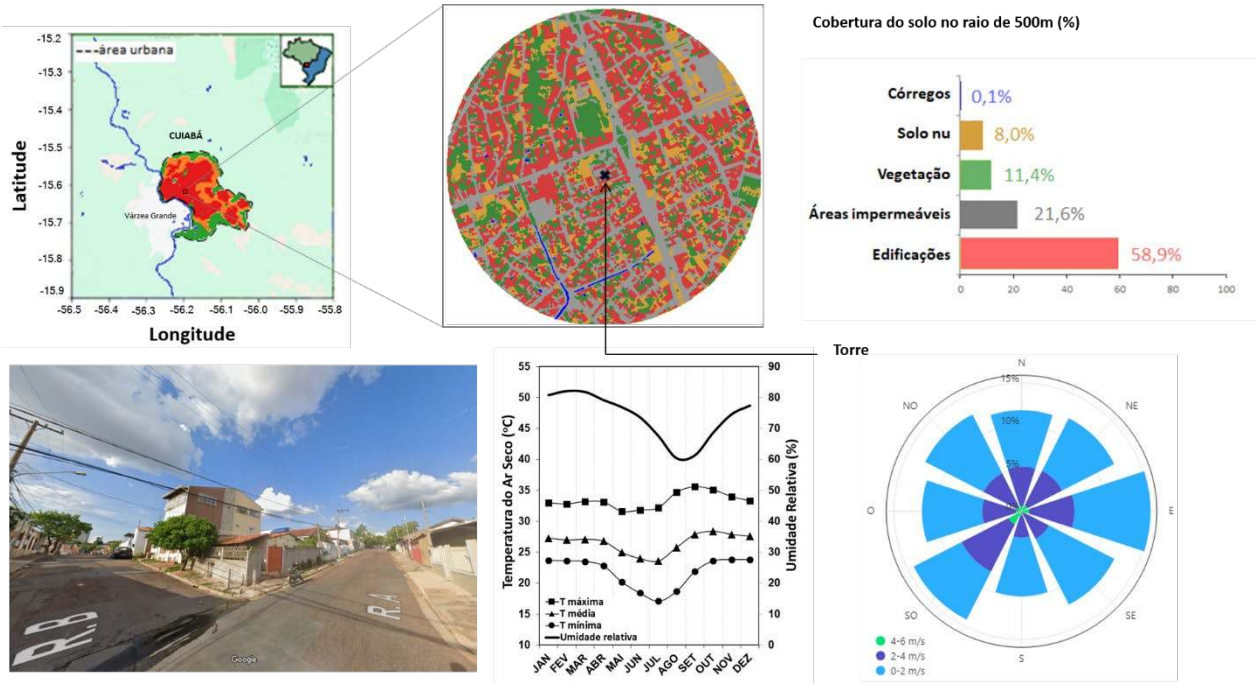
A cidade de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, está localizada à latitude de 15,60º Sul, longitude 56,10º Oeste, a uma altitude média de 165m. A classificação climática da região é Aw, ou seja, clima tropical com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A área do município é de 4.327 km^2, com uma população de 650.877 habitantes (IBGE, 2022), sendo que 98,29% dela concentrada na área urbana do município, que é de 254,6 km^2, com 279.657 domicílios.

Cuiabá está situada numa região de transição climática, com baixa intensidade de vento, pois se localiza em uma área de depressão (a chamada Depressão ou Baixada Cuiabana, drenada pelo rio

Cuiabá e seus afluentes). No inverno, é frequente a invasão de frentes frias, que se formam em geral na costa sudeste da Argentina e atingem Cuiabá após 3 dias, provocando a queda acentuada da temperatura, porém sem chuvas, mas com grande alteração na direção dos ventos (Carmo *et al*., 2023). Maitelli *et al*. (2014) encontraram, num período de 92 anos (1920-2012), tendência de aquecimento, principalmente na temperatura mínima – noturna, e aumento anual da precipitação acumulada, a que atribuíram às alterações do uso e ocupação do solo urbano.

Para o estudo do BES, Callejas (2012) instalou três torres em áreas distintas. Neste artigo, será considerada apenas a área situada no bairro Areão (sítio 1), na região leste da cidade, por sua maior semelhança com a área urbana estudada de Manaus (Figura 3). Os principais usos desta área são o residencial e o comercial; as edificações são geralmente térreas, com telhados cerâmicos ou de fibrocimento. A vegetação existente é mais frequente nos fundos dos lotes, havendo pouca arborização viária.

Figura 3: Localização da área de estudo: bairro Areão (sítio 1), Cuiabá.



Fontes: Modificado de Callejas (2012); imagem de rua típica do bairro: Google Street View capturada em Junho de 2024. Dados de Temperaturas e Umidade Relativa das Normais Climatológicas 1991-2020 (INMET); rosa dos ventos do *site* Projetee.

Callejas instalou a instrumentação do sítio 1 num mastro metálico com 5m de altura. Um conjunto de 3 anemômetros horizontais e 3 termohigrômetros foram instalados às alturas de 2,5m, 3,75m e 5m; o saldo-radiômetro foi fixado a 3,75m e um piranômetro a 4m. Os dados coletados também tiveram alta taxa de amostragem, para permitir a filtragem e o processamento específico.

Os dados foram processados por meio do método de Bowen, que é o mais usual. Critérios de qualidade próprios do método foram aplicados para a filtragem dos dados apropriados às estimativas dos fluxos turbulentos de calor sensível e latente. A estimativa do armazenamento de calor no "dossel" urbano (ΔQ_S) foi feita pelo método objetivo de histerese (OHM, Roberts *et al.*, 2006), onde os fluxos de calor de cada tipo de superfície urbana são parametrizados como funções da radiação líquida (Q*) e da taxa e direção de mudança da forçante de radiação. Apesar de ser um método diferente do usado no caso de Manaus, parece razoável comparar os resultados das duas cidades quanto ao ΔQ_S, pois, de acordo com Roberts *et al*. (2006), os métodos existentes para estimar este termo apresentam resultados convergentes, embora um pouco diferentes. OHM tende a superestimar levemente o armazenamento de calor durante o dia, enquanto TSM tende a subestimá-lo. Todos os métodos subestimam a emissão de calor durante a noite, porém ainda não há um padrão para a estimativa de ΔQ_S, que permanece, assim, uma fonte de imprecisão no BES. Já o fluxo de calor antropogênico (Q_F) foi estimado por Callejas (2012) aplicando o mesmo método do inventário proposto por Sailor e Lu (2004).

Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra os dados dos termos dos balanços de energia à superfície das duas cidades, que foram compatibilizados e organizados para as comparações de acordo com a formatação corrente nos estudos internacionais (Oke *et al*., 1999).

Observa-se que o Q* médio nos dois locais é semelhante, apesar da diferença latitudinal. Na estação chuvosa em Manaus, Q* é menor devido à alta nebulosidade neste período; no caso de Cuiabá, o valor menor de Q* na estação seca pode ser devido às queimadas (Callejas, 2012), cuja poluição resultante do ar deve se concentrar na cidade devido ao relevo da Depressão Cuiabana.

Como ocorre em outras cidades brasileiras, o fluxo de Q_F é de baixa intensidade, se comparado às cidades americanas e europeias. Em Cuiabá, a média foi de cerca de 10 W/m^2 (Callejas, 2012),

enquanto em Manaus a média foi de 13 W/m^2, onde o consumo de energia pelas fontes estacionárias (edificações) correspondeu a 30% deste valor, provavelmente pelo uso intensivo de ar condicionado no período mais quente do ano (Farias *et al*., 2023). Em ambas as cidades, a dissipação de calor pelo tráfego veicular é o principal componente de Q_F (em Manaus 57,5% e 67% em Cuiabá), havendo diferenças quanto ao comportamento diário deste termo, resultantes do metabolismo urbano específico de cada local, como Sailor e Lu (2004) já haviam observado.

Tabela 1: Fluxos médios observados durante o dia (Q* > 0) e em 24h.

	Q*	Q_F	Q_H	Q_E	ΔQ_S	Q_H/Q^*	Q_E/Q^*	$\Delta Q_S/Q^*$	$Q_H/\Delta Q_S$	β
Dia (Q > 0)*										
Manaus – estação chuvosa	22,35	0,63	6,73	7,64	2,64	0,30	0,34	0,12	2,55	0,88
Manaus – estação seca	29,64		13,19	7,40	5,10	0,45	0,25	0,17	2,59	1,78
Cuiabá – estação chuvosa	22,70	0,71	13,85	8,10	5,17	0,61	0,36	0,23	2,68	1,71
Cuiabá – estação seca	22,81	0,76	14,49	7,34	5,88	0,64	0,32	0,26	2,47	1,97
Total diário (24h)										
Manaus – estação chuvosa	9,01	1,13[1]	3,22	4,12	0,13	0,36	0,46	0,01	24,77	0,78
Manaus – estação seca	11,66		6,36	4,30	-0,01	0,55	0,37	0,00		1,48
Cuiabá – estação chuvosa	10,64	1,05[1]	5,56	3,87	1,64	0,52	0,36	0,15	3,39	1,44
Cuiabá – estação seca	10,46		5,58	3,43	1,91	0,53	0,33	0,18	2,92	1,63

Fontes: organizado pela autora, adaptando de: Callejas (2012, dados do sítio 1); Farias *et al*. (2023) e Hall (2024).
(1) os dados de Q_F correspondem às médias anuais. Unidades em MJ m^{-2}dia^{-1}; as razões são adimensionais.

O fluxo de Q_H domina durante o período de 24h ($\beta > 1$) em ambas as cidades, exceto durante a estação chuvosa em Manaus, onde as taxas de evaporação são elevadas a ponto de representar 46% do saldo de radiação, reduzindo bastante o armazenamento de calor no "dossel" urbano. Esta especificidade deve-se mais aos efeitos de evaporação dos rios e floresta que circundam a cidade (Hall, 2024), visto que o índice de cobertura vegetal em Manaus é muito baixo. Ainda assim, a cidade tende a estocar calor na estação chuvosa. Observa-se, também, uma pequena emissão noturna de calor em Manaus na estação seca (-1%). O mesmo ocorre durante o ano todo em Cuiabá, que tende a estocar entre 15% e 18% do Q*. Nos dois casos, ao contrário do observado em outras cidades de clima tropical (Roth, 2007), não houve histerese entre Q*, Q_H e ΔQ_S, portanto estes termos estão em fase. Entretanto, não há uma relação direta entre a variação sazonal dos fluxos de calor e o ciclo anual de Q*, pois esta relação depende de múltiplos fatores, tais como a latitude, nebulosidade, características do solo e dos materiais das superfícies urbanas

(Callejas, 2012). Q_H sofreu a maior variação sazonal em Manaus, havendo pouca variação de Q_E. Em Cuiabá houve pouca variação sazonal dos fluxos, tendo Q_H predominado em ambas as estações, constituindo mais de 50% do saldo de radiação, um valor mais elevado do que o relatado na revisão de Roth (2007).

Em Manaus, ΔQ_S constitui, em média, 15% do Q* durante o dia. Hall (2024) identificou que este termo foi predominantemente influenciado pelas paredes do *canyon* urbano, nas duas estações do ano. Em Cuiabá, o calor armazenado foi, na média, quase 2 vezes maior do que em Manaus. Callejas (2012, p. 159) notou que, no período seco, ΔQ_S "cresce praticamente de forma linear com a fração de área impermeabilizada e decresce com o aumento da taxa de vegetação no entorno [...]", contudo esta relação linear não ocorre no período chuvoso.

Considerações Finais

Em ambas as cidades, a convecção (Q_H) predomina sobre a condução (ΔQ_S) de calor durante a maior parte do ano, apontando para a importância da preservação dos canais de ventilação no planejamento urbano e, portanto, do controle da volumetria das edificações (rugosidade), ainda mais considerando que, em regiões continentais, os ventos são de baixa intensidade.

O exemplo de Manaus deixa clara a grande influência que massas d´água e vegetação no entorno urbano têm sobre o armazenamento de calor. O caso de Cuiabá no período chuvoso também corroborou com a importância de Q_E na redução do ΔQ_S, como já havia concluído Roth (2007). Entretanto, em ambas as cidades, não ocorreu o efeito de histerese observado por este autor em outras cidades de clima tropical. Por outro lado, percebe-se o impacto que o modal de transporte típico das cidades brasileiras tem no BES, devendo ser outro aspecto importante a ser tratado no planejamento urbano das nossas cidades.

No Brasil, ainda há uma grande escassez de estudos sobre o balanço de energia à superfície de cidades de grande e médio portes, porém, os trabalhos brasileiros avançam em relação à revisão de Roth (2007), por investigarem o BES também no período chuvoso, além de estimarem o termo de calor antropogênico. Pelo fato de serem trabalhos isolados, não há uma homogeneidade nos procedimentos de medições e tratamento de dados, nos períodos observacionais e no processamento dos dados das superfícies urbanas. Isto dificulta bastante a comparação dos resultados

entre as cidades brasileiras. Diante das diferenças encontradas no BES entre sítios urbanos com usos do solo diversos (Callejas, 2012) ou mesmo entre cidades num mesmo domínio climático (Monteiro *et al*., 2021), é necessário aprofundar os estudos intra-urbanos para melhor compreender os efeitos de cada tipo de uso e ocupação do solo na mudança local do clima.

Referências

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. “Köppen's climate classification map for Brazil”. **Meteorologische Zeitschrift**. Schweizerbart Science Publishers, V. 22, N. 6, 2013, pp. 711 – 728.

Callejas, I. J. A. **Avaliação temporal do balanço de energia em ambientes urbanos na cidade de Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

Carmo, E. L. I.; Reboita, M. S.; Marques, R. “Evolução temporal das variáveis atmosféricas associadas a casos de frentes frias fortes em Cuiabá, MT, entre 1996 e 2015”. **Rev. Bras. Geografia Física**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, V. 16, N. 1, 2023, pp. 145-154.

Colombert, M.; Diab, Y.; Salagnac, J-L.; Morand, D. “Effects and implementation of measures aiming at impacting urban climate”. *In:* WORKSHOP AND MEETING CIB W108 - CLIMATE CHANGE AND THE BUILT ENVIRONMENT, 8., 2009, Milano, Itália. **Proceedings** [...]. Milano: Politecnico di Milano, 2009, pp. 34-41.

Farias, C. S.; Monte, M. J. M.; Hall, D. H.; Machado, J. J.; Portela, B. T. T.; Candido, L. A.; Capistrano, V. B. “Estimation of anthopogenic heat flux in a city in the central Amazon”. Maio, 2023. Disponível em SSRN 4516056, acesso em 8/01/2025.

Hall, D. H. **Balanço de radiação e energia na maior região urbana da Amazônia**: análises observacionais e simulações numéricas. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)/Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Manaus, 2024.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Panorama do Censo 2022**. Disponível em https://censo2022.ibge.gov.br/panorama, acesso em 19/01/2025.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Normais Climatológicas 1991-2020**. Edição Digital. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022. Disponível em https://portal.inmet.gov.br/normais#.

Maitelli, G. T.; Dubreuil, V.; De Musis, C. R. “Urbanização e mudanças climáticas em Cuiabá no período de 1920 a 2012”. *In* ENVIRONNEMENT ET GÉOMATIQUE: APPROCHES COMPARÉES FRANCE-BRÉSIL, 2014, Rennes, France. **Actes du Colloque** [...]. Rennes: Université Rennes/Universidade de São Paulo, 2014, pp. 206-213.

Monteiro, F. F.; Gonçalves, W. A.; Andrade, L. M. B.; Villavicencio, L. M. M.; Silva, C. M. S. “Assessment of urban heat islands in Brazil based on MODIS remote sensing data”. **Urban Climate**. Elsevier, V. 35, 2021, 100726.

Nazerikia, M.; Hart, M. A.; Nazarian, N.; Bechtel, B. “Background climate modulates the impact of land cover on urban surface temperature”. **Scientific Reports**. Spring Nature, 2022, 16p.

Nuñez, M.; Oke, T. R. “The energy balance of an urban canyon”. **Journal of Applied Meteorology**. American Meteorological Society, V. 16, 1977, pp. 11-19.

Oliveira, F. M.; Araújo, R. L.; Carvalho, J. S.; Costa, S. S. “Determinação da variação no microclima de Manaus – AM – por atividades antropogênicas e modulações climáticas naturais”. **Acta Amazonica**. Manaus: INPA, V. 38, N. 4, 2008, pp. 687-700.

Oke, T. R. Inadverted climate modification. *In:* **Boundary Layer Climates**. 2nd ed., Cambridge: Routledge, 1987, pp. 262-302.

Oke, T. R.; Spronken-Smith, R. A.; Jáuregui, E.; Grimmond, C. S. B. “The energy balance of central Mexico City during the dry season”. **Atmospheric Environment**. Elsevier, V. 33, N. 24-25, 1999, pp. 3919-3930.

Piringer, M.; Grimmond, C. S. B.; Joffre, S. M.; Mestayer, P.; Middleton, D. R.; Rotach, M. W.; Baklanov, A.; Ridder, K.; Ferreira, J.; Guilloteau, E.; Karppinen, A.; Martilli, A.; Masson, V. Tombrou, M. “Investigating the surface energy balance in urban areas – recent advances and future needs”. **Water, Air and Soil Pollution: Focus**. Kluwer Academic Publishers, V. 2, 2002, pp. 1-16.

Roberts, S. M.; Oke, T. R.; Grimmond, C. S. B.; Voogt, J. A. “Comparison of four methods to estimate urban heat storage”. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**. American Meteorological Society, V. 45, 2006, pp. 1766-1781.

Roth, M. “Review of urban climate research in (sub)tropical regions”. **International Journal of Climatology**. Wiley, V. 27, 2007, pp. 1859-1873.

Sailor, D. J.; Lu, L. “A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas”. **Atmospheric Environment**. Elsevier, V. 38, 2004, pp. 2737-2748.