Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

ESTIMATIVA DA ENERGIA CONSUMIDA PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE MACRÓFITAS EM ESCALA DE MESOCOSMOS

Fernanda Maeda Cardoso

CAMPO GRANDE – MS

2024

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

ESTIMATIVA DA ENERGIA CONSUMIDA PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE MACRÓFITAS EM ESCALA DE MESOCOSMOS

Fernanda Maeda Cardoso

Trabalho desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso como parte da avaliação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Aprovado em {DATA}

Profª Drª Paula Loureiro Paulo
Orientadora
FAENG/UFMS

Campo Grande – MS
2024

AGRADECIMENTOS

À professora Drª Paula Loureiro Paulo, por ter aceitado me orientar nesta última etapa da minha graduação.

À minha coorientadora Karen Midori Takahashi e ao colega de laboratório e amigo Gabriel Chiquito Magalhães, pois não teria conseguido realizar esse trabalho em sua totalidade sem todo apoio e ensinamentos que deles recebi.

Aos colegas de laboratório que ajudaram nas medições do experimento.

À Prof. Drª Cláudia Vianna e ao Prof. Dr. Jamil Anache, por terem aceitado compor a banca examinadora.

À minha família, por todo amor e apoio direcionados a mim durante a minha vida.

Ao time de cheerleading da UFMS, Blue Cats, do qual faço parte, por ter me proporcionado participar do Jogos Universitários Brasileiros (JUBs), além de ter me trazido momentos de descontração durante os últimos anos de graduação.

Aos meus amigos do ensino médio, Aline Lauxen, Gabriel Sales, José Câmara e Poliana Lopes, que sempre me apoiaram e me incentivaram a conquistar meus sonhos.

Ao Lohan Tostole, por sempre me ouvir, por me trazer palavras de conforto quando necessário, e por partilhar a vida comigo.

Aos meus amigos Ana Paula Leão, Erlon Galindo, Letícia Mussato, Marcio Moreno, Victória Cláudia Ribeiro, Thaynara Oliveira, e Yllary Mendes, que dividiram não somente os conhecimentos e experiências da graduação comigo, mas dividem também importantes momentos da vida.

Aos meus amigos da universidade e de antes dela, João Vinícius Gutierre, Kenoly Magalhães, Guilherme Hokama, e Gustavo Reis pela amizade durante todos esses anos.

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia – FUNDECT, por ter financiado os materiais necessários para montar o experimento.

RESUMO

Ilha de calor urbana (ICU) é um fenômeno que se intensifica com o crescimento populacional na cidade, em função da rápida urbanização e retirada de vegetação. Tal fenômeno afeta de forma negativa a saúde e o bem-estar humano, devido às altas temperaturas e ondas de calor. Isso ocorre porque infraestruturas urbanas, como construções e rodovias, têm a capacidade de absorver a radiação solar e dissipá-la em forma de calor, diferente da vegetação, que absorve a radiação solar, e parte significativa dessa energia é utilizada no processo de evapotranspiração. Nesse sentido, áreas vegetadas são uma boa alternativa para reverter a formação de ICUs, e o *wetland* construído (CW) é uma infraestrutura verde a ser considerada, por utilizar macrófitas no tratamento de efluentes. Assim, este trabalho objetivou avaliar a energia consumida para evapotranspiração em plantas utilizadas em CWs. Foram estimadas a evapotranspiração de quatro espécies de macrófitas, sendo elas a *Canna x generalis*, *Heliconia psittacorum*, *Thalia geniculata* e a *Typha domingensis*, em relação a uma condição controle. A *Canna x generalis* se destacou por apresentar uma adaptação e crescimento rápidos, e consequentemente, maiores valores de evapotranspiração quando comparado com as demais espécies e o controle, com potencial absorção de até 3,22ºC.

Palavras-chave: Ilha de calor urbana, radiação solar, calor latente, *wetlands* construídos

ABSTRACT

Urban heat island (UHI) is a phenomenon that intensifies with population growth in the city, due to rapid urbanization and vegetation removal. This phenomenon negatively affects human health and well-being due to high temperatures and heat waves. This is because urban infrastructures, such as buildings and roads, can absorb solar radiation and dissipate it in the form of heat, unlike vegetation, which absorbs solar radiation, and a significant part of this energy is used in the evapotranspiration process. In this sense, vegetated areas are a good alternative for reversing the formation of UHI, and the constructed wetland (CW) is a green infrastructure to be considered, as it uses macrophytes to treat effluents. This study aimed to evaluate the energy consumed for evapotranspiration in plants used in CWs. The evapotranspiration of four macrophyte species was estimated, namely *Canna x generalis*, *Heliconia psittacorum*, *Thalia geniculata* and *Typha domingensis*, in relation to a control condition. *Canna x generalis* stood out for its rapid adaptation and growth, and consequently higher evapotranspiration values compared to the other species and the control, with heat absorption of up to 3.22ºC.

Keywords: Urban heat island, solar radiation, latent heat, constructed wetlands.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 7
ANTECEDENTE E ESTADO DA ARTE 8
ICU 8
EVAPOTRANSPIRAÇÃO 9
***Wetlands construídos* (CWs)** 11
OBJETIVO GERAL 11
OBJETIVO ESPECÍFICO 11
METODOLOGIA 12
Seleção das macrófitas 12
Mesocosmos 14
Estimativa do calor absorvido 16
RESULTADOS E DISCUSSÕES 19
CONCLUSÃO 25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 26

INTRODUÇÃO GERAL

No ano de 2018, uma pesquisa realizada pelas Nações Unidas mostrou que a maior parcela (cerca de 55%) da população mundial ocupa áreas urbanas, com a previsão de atingir a marca de 70% até o ano de 2050 (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2019). O crescimento populacional urbano substituiu as áreas rurais e vegetadas por espaços da construção civil, como rodovias e infraestruturas urbanas. Essas mudanças têm desencadeado alterações no microclima devido ao aumento da temperatura (Oke, 1987; Konopacki and Akbari, 2002), criando fenômenos conhecidos como Ilhas de Calor Urbanas (ICUs). Isso porque a vegetação, responsável por climatizar naturalmente o ambiente, a partir da transformação parcial da energia de radiação solar em evapotranspiração, foi substituída pelas áreas concretadas, compostas por materiais da construção civil capazes de absorver essa energia solar e emiti-la em forma de calor (Lopes *et al.*, 2011 *apud* Lopes *et al.*, 2003; Marin, 2021).

Haung (2019), relaciona complicações na saúde humana, como doenças respiratórias e problemas no sistema nervoso, como resultado das ondas de calor urbanas e da alteração do microclima, podendo inclusive provocar o aumento das taxas de mortalidade (Changnon *et al.*, 1996).

Para mitigar tais efeitos e reverter as altas temperaturas nas ICUs, estudos sugerem o investimento na criação de infraestruturas verdes e de áreas vegetadas, pois a evapotranspiração das plantas e a umidificação do ambiente podem reduzir a temperatura local (Kim, 2024; Warren, 1973; Duarte, 2015; Hu *et al.* 2012). Os *wetlands* construídos (CWs), sistemas que tratam o efluente através de interações com microrganismos que ocorrem nas raízes das plantas, são exemplos de infraestrutura verde, pois proporcionam uma melhora das condições climáticas locais devido à evapotranspiração e evaporação provocadas pelas plantas do sistema (Paulo *et al.*, 2013).

ANTECEDENTE E ESTADO DA ARTE

ICU

Ilhas de calor urbanas são áreas urbanas centrais que possuem temperaturas mais elevadas do que das áreas que as circundam (Oke, 1987 *apud* Lopes *et al.*, 2013). São caracterizadas pela elevação da temperatura do ar nos centros das cidades (Oke, 1987; Konopacki and Akbari, 2002) decorrente da substituição da vegetação por infraestruturas urbanas (Konopacki and Akbari, 2002).

As ICUs são resultado das áreas densamente construídas (Haung, 2019), provocando uma diferença de absorção e refração da radiação solar nas áreas urbanas e rurais. Isso altera o balanço de energia e os fluxos de vento devido à inserção de diversos prédios e construções (Lopes *et al.*, 2011 *apud* Lopes *et al.*, 2003). Tais alterações contribuem para o aumento da temperatura no clima e microclimas urbanos (Lopes *et al.*, 2011 *apud* Lopes *et al.*, 2003) e agravam-se quando o processo de urbanização ocorre rapidamente (Haung, 2019).

Estudos apontam que a alta temperatura e ondas de calor podem ocasionar, além do desconforto térmico provocado pela ICU, doenças respiratórias, problemas no sistema urinário, circulatório e no sistema nervoso (Haung, 2019). De acordo com Changnon *et al.* (1996), os eventos de ondas de calor nas cidades podem ser ainda mais severos, podendo elevar as taxas de mortalidade. Além dos possíveis problemas causados à saúde humana, há pressões ambientais. Em um estudo realizado em Los Angeles, Rosenfeld *et al.* (1998) verificou que houve um expressivo e prejudicial aumento na concentração de ozônio quando a temperatura varia de 22ºC para 32ºC, sendo que, dentro dessa faixa de variação, a ICU contribuiu com aproximadamente 3ºC. As ICUs também podem provocar perdas econômicas. De acordo com um estudo realizado nos Estados Unidos, em cidades do país classificadas com a ocorrência da ICU, metade da energia gerada é utilizada especificamente para climatizar centros comerciais (Rosenfeld *et al.*, 1998), e esse consumo deve ser ainda maior nos dias atuais.

Para mitigar os efeitos das ICUs, é essencial desenvolver estratégias para sistemas urbanos saudáveis no futuro, como as estruturas verdes (Kim, 2024). As áreas vegetadas melhoram a qualidade do ar, diminuem o ruído e protegem as bacias hidrográficas (Warren, 1973),

além de amenizar a temperatura em microrregiões (Duarte, 2015; Hu *et al.* 2012). A pesquisa de Duarte (2015) mostra que, para a cidade de São Paulo, o plantio de 1 hectare de vegetação arbórea provoca uma redução de 10º C na temperatura equivalente percebida (TEP) e de 13,4°C no índice fisiológico da temperatura equivalente (PET).

Nesse sentido, iniciativas como a "Redução das Ilhas de Calor" (HIR, sigla do inglês), têm surgido com o intuito de melhorar a qualidade do ar e reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO_2) através das plantas e da redução do uso do ar-condicionado e climatizadores (Konopacki and Akbari, 2002). Irch *et al*. (2020) mencionam que jovens que vivem em cidades se beneficiam quando estão próximos à natureza e à natureza urbana (Robinson *et al.*, 2021), proporcionando saúde mental e bem-estar. Ademais, estudos apontam uma inerente ligação entre os espaços verdes, os espaços azuis, áreas vegetadas e áreas aquáticas com a qualidade de vida humana (Robinson *et al.*, 2021; White *et al.*, 2021; Robinson *et al.*, 2024), uma vez que há uma melhora a transpiração e evapotranspiração (Hu *et al.* 2012), provocando uma melhora da qualidade ambiental local.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração é a ocorrência simultânea dos processos da evaporação da superfície e transpiração vegetal (Allen *et al.*, 1998; Pan *et al*., 2024). Esses processos ocorrem em resposta à absorção de energia e ao resfriamento da superfície (Wang and Dickinson, 2012). A evaporação é a alteração da água de seu estado líquido para o estado gasoso (chamado de vaporização) e pode ocorrer em diversas superfícies úmidas. Já a transpiração da vegetação é um processo biológico (Trambouze *et al.*, 1998; Fuentes *et al.*, 2024) que resulta na perda de água através dos estômatos (Allen *et al.*, 1998).

Assim como o processo de evaporação, a evapotranspiração é um componente expressivo dos ecossistemas terrestres, influenciando o ciclo hidrológico (Kiraga *et. al*., 2024; Wu *et al.*, 2019) e do balanço de energia (Zhao *et. al.*, 2013; Wang and Dickinson, 2012). De acordo com Allen *et al*. (1998), a Evapotranspiração de Referência, também conhecida como Cultura de Referência de Evapotranspiração, considera uma vegetação hipotética de referência com características conhecidas com o intuito de estimar a evaporação em um local

específico, não levando em conta fatores do solo e características da cultura. A estimativa e determinação da Evapotranspiração de Referência (Zhao *et. al.*, 2013 *apud* Lu *et al.*, 2010) são amplamente requisitadas e, apesar das dificuldades em obtê-las, modelos e equações matemáticas podem ser utilizados. Para isso, é necessário levar em consideração parâmetros climáticos para cálculos de perdas hidrológicas (Kiraga *et. al.*, 2024; Wu *et al.*, 2019).

Halley (1694) foi a primeira pessoa a determinar a evaporação da água de bacias de evaporação e, em 1802, J. Dalton propôs a Lei da Evaporação (Dalton, 1802), fortalecendo a teoria da evaporação em bacia e levando em consideração parâmetros relevantes, como a influência do vento, temperatura do ar e a evapotranspiração.

Já a evaporação do solo diminui à medida em que a vegetação cresce, porque, conforme a vegetação sombreia o solo, reduz a área de exposição deste à radiação solar. Assim, em áreas com vegetação desenvolvida, a perda de água por transpiração tende a ser mais significativa do que a evaporação do solo (Allen *et al.*, 1998). Em relação à transpiração da vegetação, a composição de uma copa, que inclui o tamanho, a forma e a orientação das folhas, determina sua interação com a radiação solar, bem como o padrão térmico, taxa de carbono e a transpiração (Marin, 2021). Por ocorrerem simultaneamente, não é fácil a distinção entre a evaporação e a transpiração (Allen *et al.*, 1998).

Entretanto, existem fórmulas e modelos que propõem estimar e quantificar a evapotranspiração e a radiação solar. O balanço de radiação e de energia é importante por quantificar a energia de um determinado sistema através da contabilidade da entrada e saída. No caso da evapotranspiração, a energia disponível é usada para a mudança de fase da água nesse processo (Marin, 2021). Dessa forma, através da Equação I é possível representar a energia disponível no ambiente.

$$SR = LE + H + G + F + \Delta A \qquad \text{(Equação I)}$$

Onde:

SR, é o Saldo de Radiação [W m^{-2}];

LE, é o calor latente para evaporação da água [J Kg^{-1}];

H, é o calor sensível absorvido pelo ar [W m^{-2}];

G, é o calor absorvido pelo solo e pela vegetação [W m^{-2}];

F, enérgica utilizada no processo de fotossíntese [J] e;

ΔA, a variação do armazenamento de energia térmica no ambiente [J].

***Wetlands construídos* (CWs)**

Os CWs, também conhecidos como terras úmidas construídas, leitos com macrófitas, sistemas de zonas de raízes, entre outros, como menciona o Boletim de Wetlands Brasil (2018), são sistemas construídos que utilizam processos naturais para tratar efluentes através das raízes de macrófitas aquáticas e microrganismos. Segundo Paulo *et al.* (2013), os CWs podem servir como uma ferramenta para melhorar as condições climáticas locais, em função da evapotranspiração e evaporação provocadas pelas plantas do sistema. Os CWs são exemplos de soluções baseadas na natureza (SbNs), que, a partir de infraestruturas verdes e azuis, buscam mitigar e adaptar os efeitos da mudança climática (Robinson *et al.*, 2021; White *et al.*, 2021; Robinson *et al.*, 2024), com foco na proteção da biodiversidade e na melhora dos meios de subsistência sustentáveis (Eggermont *et al*., 2015).

Aliar o uso de SbNs na mitigação dos efeitos das ICUs com o tratamento de efluentes traz benefícios e relevância à população, visto que a aplicação prática dos CWs se enquadra em pelo menos três Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS): 6 - Água potável e saneamento; 13 - Ação contra a mudança global do clima e; 11 - Cidades e comunidades sustentáveis. Propostos pela ONU – Organização das Nações Unidas (NAÇÕES UNIDAS BRASIL).

OBJETIVO GERAL

Avaliar a energia consumida para evapotranspiração em plantas utilizadas em *wetlands* construídos.

OBJETIVO ESPECÍFICO

a) Selecionar espécies de plantas utilizadas em *wetlands*;
b) Estimar a evapotranspiração de 4 espécies de plantas em mesocosmos;
c) Avaliar o consumo de energia das espécies de plantas selecionadas.

METODOLOGIA

Seleção das macrófitas

De acordo com a pesquisa direcionada realizada no periódico "*Scopus*", foram avaliados os 15 primeiros resultados mais citados entre 246 artigos disponíveis, utilizando as palavras-chave "*Constructed", "Wetlands", "plants"* e *"review*" e considerando trabalhos publicados entre 2018 e 2024. Dentre os 15 artigos foram selecionados 7 para análise das principais plantas utilizadas nos CWs. Os estudos indicam que as principais plantas utilizadas em CWs são *Typha angustifólia* e *Phragmites australis*.

Além disso, considerando o uso de plantas ornamentais em CWs, Sandoval *et al.* (2019) mostraram que as espécies mais utilizadas são *Canna*, *Iris*, *Heliconia* e *Zantedeschia*. O grupo de pesquisa Saneamento Focado em Recursos (SanFRec) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) tem trabalhado especialmente com as espécies *Heliconia psittacorum*, *Cyperus isocladus*, *Arundina bambusifolia*, *Alpinia purpurata*, *Canna x generalis*, *Equisetum giganteum*, *Caladium Hortulanum* e *Hedychium coronarium* (Paulo *et al*., 2013; Caputo *et al.*, 2019; da Silva *et al.*, 2017). Além disso, tem-se utilizado plantas do Bioma do Pantanal como a *Ludwigia lagunae*, *Polygonum acuminatum*, *Sesbania virgata* (Takahashi *et al*., 2022), *Aspilia latíssima*, *Ipomea carnea*, *Canna glauca* e *Thalia geniculata* (Takahashi *et al.*, 2023).

A partir desse levantamento teórico e considerando a facilidade de obtenção, foram selecionadas quatro espécies de plantas: *Canna x generalis* (Figura 1), *Heliconia psittacorum* (Figura 2), *Thalia geniculata* (Figura 3) e *Typha domingensis* (Figura 4).

As mudas de *Canna x generalis* e *Heliconia psittacorum* foram coletadas em um sistema EvaTAC[1] em operação e em escala plena para uma casa que atende três pessoas na cidade de Campo Grande/MS. O sistema recebe água cinza clara, que em geral não inclui efluentes do vaso sanitário e nem efluentes gerados em pia de cozinha e lava louças (Bernardes, 2019). Após coletadas no dia 11 de maio, ambas foram separadas e mantidas em baldes com água potável. Dentre as mudas de *Canna x generalis*, foram selecionadas as cinco mais

[1] Sistema composto por um tanque de evapotranspiração e tratamento de fluxo ascendente com câmara anaeróbica embutida, seguido por um *wetland construído* de fluxo horizontal subsuperficial.

semelhantes entre elas, em relação a comprimento do caule, tamanho e quantidade de folhas, e as mudas sem broto foram priorizadas (Figura 1). Com o intuito de padronizar também a *Heliconia psittacorum*, as cinco mudas foram cortadas em média de 36,2 cm, do broto da planta em direção as folhas (Figura 2). Esta padronização foi utilizada, pois a *Typha domingensis* veio com comprimento médio de 34,30 cm.

Já *Thalia geniculata* e a *Typha domingensis* foram compradas na Aquários Plantados. As mudas dessas duas condições chegaram no dia 24 de maio, embaladas individualmente em sacos plásticos, com uma pequena quantidade de água em cada um, e um dia após a chegada elas foram acondicionadas em um recipiente aberto com água potável, até o dia 31 de maio, quando aconteceu o plantio. As mudas de *Thalia geniculata* (Figura 3) e de *Typha domingensis* (Figura 4) estavam padronizadas, sendo a escolha das mudas a serem plantas feita com base em comprimento e ausência de brotos.

Figura 1: *Canna x generalis* utilizadas no sistema.

Figura 2: *Heliconia psittacorum* utilizadas no sistema.

Figura 3: *Thalia geniculata* utilizadas no sistema.

Figura 4: *Typha domingensis* utilizadas no sistema.

Mesocosmos

Os mesocosmos eram compostos de baldes de plástico (mesocosmos) com capacidade de 16L cada e preenchidos com brita nº 0 para atuar como meio de sustentação para as raízes. Cinco mesocosmos foram mantidos sem plantas para servir como condição controle. A distribuição dos 25 mesocosmos na bancada foi feita de forma aleatória para minimizar influências externas. O plantio nos mesocosmos ocorreu no dia 31 de maio de 2024 e foram plantadas individualmente em quintuplicatas. Os mesocosmos foram montados no campus Cidade Universitária da UFMS, em frente à Casa de Vegetação, localizada na Vila Olinda, Campo Grande - MS, 79080-190.

Figura 5: Sistema de Mesocosmos com plantas alocadas em ordem aleatória.

Para medir a evapotranspiração, foi elaborado um sistema de abastecimento no qual uma garrafa PET de 2 litros cheia de água foi posicionada dentro de cada mesocosmo. Cada garrafa apresenta uma pequena abertura no fundo para manter o vaso sempre úmido e servir como referência para medir a evapotranspiração. O conteúdo da garrafa escorria para o balde até o momento em que o nível de água do balde entrasse em equilíbrio com a água da garrafa. Devido à evapotranspiração ou evaporação, o volume da garrafa diminuía.

As medições ocorreram entre os dias 05 de junho e 22 de julho de 2024. Nas primeiras duas semanas as medições ocorreram 3 vezes por semana, mas a partir da terceira semana, as medições foram realizadas duas vezes por semana ou conforme a necessidade de abastecimento. O abastecimento foi realizado exclusivamente com água potável.

Com o intuito de promover o fortalecimento das raízes e crescimento das macrófitas, no dia 10/06/2024 foi adicionado aproximadamente 5ml de enraizador da marca *Forth* (Figura 6 e 7) nos 20 baldes com plantas.

Figura 6: Enraizador utilizado.

Figura 7: Rótulo do enraizador.

Semanalmente, entre os dias 14/06/2024 e 27/06/2024 foram aplicados 5g de NPK 10-10-10 (10% de nitrogênio, 10% de fósforo e 10% de potássio) (Figura 8 e 9).

Figura 8: Nutriente utilizado.

Figura 9: Rótulo do nutriente.

Estimativa do calor absorvido

Utilizando a Equação 1, a respeito do balanço de radiação, considerando que a energia utilizada na fotossíntese (F) e variação do armazenamento de energia térmica no ambiente (ΔA) são muito inferiores, em relação ao saldo de radiação (SR), foram considerados próximos a zero. Como resultado, o SR fica:

$$SR = LE + H + G \quad \text{(Equação 2)}$$

Para os mesocosmos sem vegetação, devido à ausência de absorção da radiação através das folhas o parâmetro LE (calor latente), é possível obter o balanço de energia a partir de:

$$SR = H + G \quad \text{(Equação 3)}$$

Considerando a Equação 4 (Marin, 2021):

$$H = \rho_{ar} \times C_{ar} \times (T_{ar1} - T_{ar0}) \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

ρ_{ar} é a massa específica do ar [Kg/m$^{3]}$;

C_{ar} é o calor específico do ar [J/Kg C];

T_{ar1} é a temperatura do ar após absorver H [ºC];

T_{ar0} é a temperatura inicial do ar [ºC].

A partir da relação com a Equação 2 e Equação 3 é possível obter a Equação 5 para os mesocosmos sem vegetação e a Equação 6 para os mesocosmos com vegetação.

$$SR = \rho_{ar} \times C_{ar} \times (T_{ar1} - T_{ar0}) + G_1 \quad \text{(Equação 5)}$$

$$SR = \rho_{ar} \times C_{ar} \times (T_{ar2} - T_{ar0}) + LE + G_2 \quad \text{(Equação 6)}$$

Considerando que SR é igual para os mesocosmos, obtém-se a seguinte equação:

$$\rho_{ar} \times C_{ar} \times (T_{ar1} - T_{ar0}) + G_1 = \rho_{ar} \times C_{ar} \times (T_{ar2} - T_{ar0}) + LE + G_2$$

$$\rho_{ar} \times C_{ar} \times (T_{ar1}) + G_1 = \rho_{ar} \times C_{ar} \times (T_{ar2}) + LE + G_2$$

$$\rho_{ar} \times C_{ar} \times (T_{ar1} - T_{ar2}) = LE + (G_2 - G_2)$$

$$\Delta T = \frac{LE + (G_2 - G_2)}{\rho_{ar} \times C_{ar}} \quad \text{(Equação 7)}$$

Adotando G1 ≅ G2:

$$\Delta T = \frac{LE}{\rho_{ar} \times C_{ar}}$$ (Equação 8)

Adicionalmente, o LE será utilizado de modo a estimar os possíveis efeitos da evapotranspiração no ambiente urbano, levando em consideração os dados climáticos semanais da cidade de Campo Grande/MS, obtidos através do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), dos meses de maio, junho e julho.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante as sete semanas de acompanhamento e medições foi possível notar uma rápida adaptação e crescimento da *Canna x generalis* em relação as demais espécies, através das Figuras 10 e 11, é possível notar que houve um aumento no número de folhas e que surgiram dois brotos. No período entre 20/06/2024 e 27/06/2024, representados pelas Figuras 11 e 12, os brotos se desenvolveram e cresceram em tamanho e quantidade de folhas.

Figura 10: Vaso 5.1 *(Canna x generalis*), 05/06/24.

Figura 11: Vaso 5.1 (*Canna x generalis*), 20/06/24.

Figura 12: Vaso 5.1 (*Canna x generalis*), 27/06/24.

As mudas da *Heliconia psittacorum*, considerando quase um mês de observação, demonstrados através das Figuras 13 a 15, é notório que não houve o surgimento de folhas ou de brotos na superfície, e a pequena folha aparente se manteve seca.

Figura 13: Vaso 4.3 (*Heliconia psittacorum)*, 05/06/24.

Figura 14: Vaso 4.3 (*Heliconia psittacorum*), 20/06/24.

Figura 15: Vaso 4.3 (*Heliconia psittacorum*), 01/07/24.

A Thalia geniculata apresentou um crescimento do caule, e surgimento de pequenas folhas e broto, e durante esse processo algumas das folhas secaram (Figuras 16 a 18).

Figura 16: Vaso 3.1 (*Thalia geniculata)*, 05/06/24.

Figura 17*:* Vaso 3.1 (*Thalia geniculata)*, 20/06/24.

Figura 18: Vaso 3.1 (*Thalia geniculata)*, 01/07/24.

De modo semelhante à *Heliconia psittacorum*, a *Typha domingensis* não apresentou crescimento vertical para a maioria das mudas. No decorrer dos dias, a muda do vaso 5.3 (Figuras 19 a 21), teve o surgimento de folhas, e analisando as Figuras 20 e 21, que compreendem as datas 20/06/2024 e 01/07/224, é possível notar que estas tiveram um rápido crescimento.

Figura 19: Vaso 5.3 *(Typha domingensis)*, 05/06/24.

Figura 20: Vaso 5.3 *(Typha domingensis)*, 20/06/24.

Figura 21: Vaso 5.3 (*Typha domingensis*), 01/07/24.

Com relação à evapotranspiração, foi observado que ao longo das semanas, a *Canna x generalis* apresentou os maiores valores médios de evapotranspiração, demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Evapotranspiração e desvio padrão das espécies analisadas.

Espécies	Evapotranspirado (mm)	Desvio Padrão
Canna x generalis	6680	± 1070
Thalia geniculata	1830	± 400
Heliconia psittacorum	2450	± 500
Typha domingensis	2630	± 1260
Controle (branco)	2520	± 480

A Figura 22 mostra a média da evapotranspiração semanal. Segundo Tasumi *et al.* (2005), o crescimento ativo da vegetação representa uma das maiores estimações para evapotranspiração.

Adicionalmente, Allen et al. (1998) afirma que a evaporação do solo é inversamente proporcional à área de cobertura vegetal, de modo que, há uma menor evaporação conforme aumenta a vegetação, pois a vegetação sombreia o solo à medida que cresce, diminuindo a exposição do solo a radiação solar. Logo, nas áreas de vegetação desenvolvida, o valor de perda de água por transpiração tende a ser mais significativa do que a evaporação do solo.

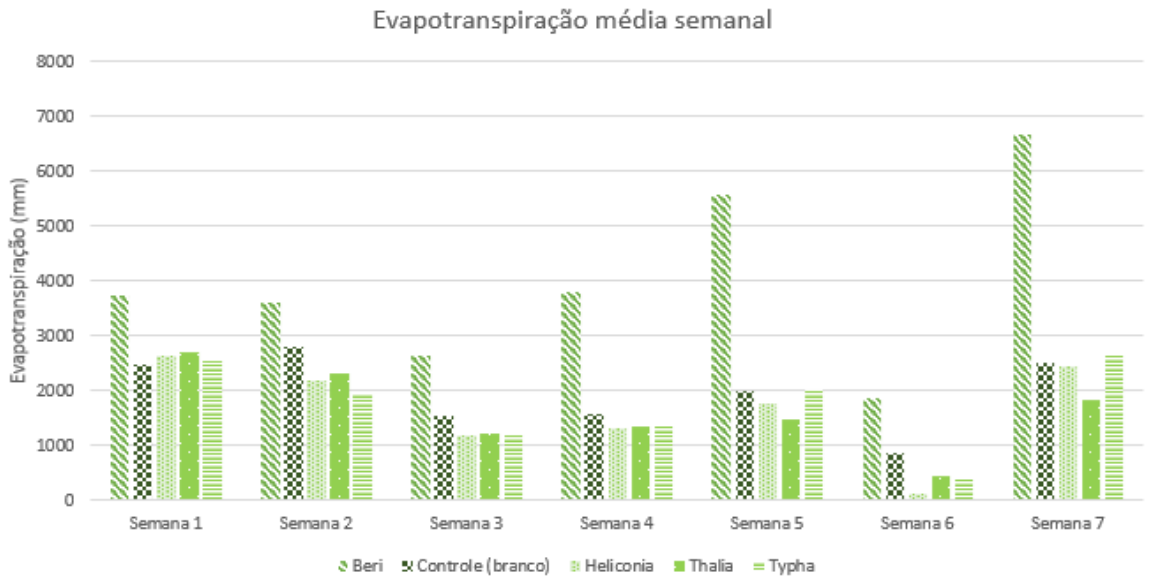

Figura 22: evapotranspiração média semanal.

A evapotranspiração da *Heliconia psittacorum* e da *Thalia geniculata* foram menores do que a evapotranspiração do controle, pois não houve desenvolvimento visível de broto e nem a presença de folhas (Figuras 13 a 15) ou no caso da *Thalia geniculata* (Figuras 16 a 18), houve o aparecimento de um pequeno broto, mas não ficou aparente o crescimento das folhas ou o surgimento de algumas outras folhas. Já a *Typha domingensis,* não havia folhas, mas após ela secar parcialmente surgiram novas folhas (Figuras 19 a 21). Pode ser que essas novas folhas, e ou então a estrutura inicial da planta terem contribuído para uma maior evapotranspiração do que a evaporação do branco.

A diferença da evapotranspiração da *Canna x generalis* em comparação com a evapotranspiração das demais espécies, possivelmente ocorreu por conta da diferença do tamanho, forma e orientações das folhas, fatores que determinam o tipo de interação com a radiação solar e o padrão térmico, consequentemente influenciando a transpiração da vegetação (Marin, 2021).

A *Canna x generalis*, apresentou o maior crescimento de número de folhas e área das folhas (Figuras 10 a 12).

A partir da relação demonstrada na Equação 8 e dos dados do INMET, foi estimado a quantidade da temperatura local absorvida pela vegetação (com as macrófitas) e sem vegetação (branco) (Figura 23).

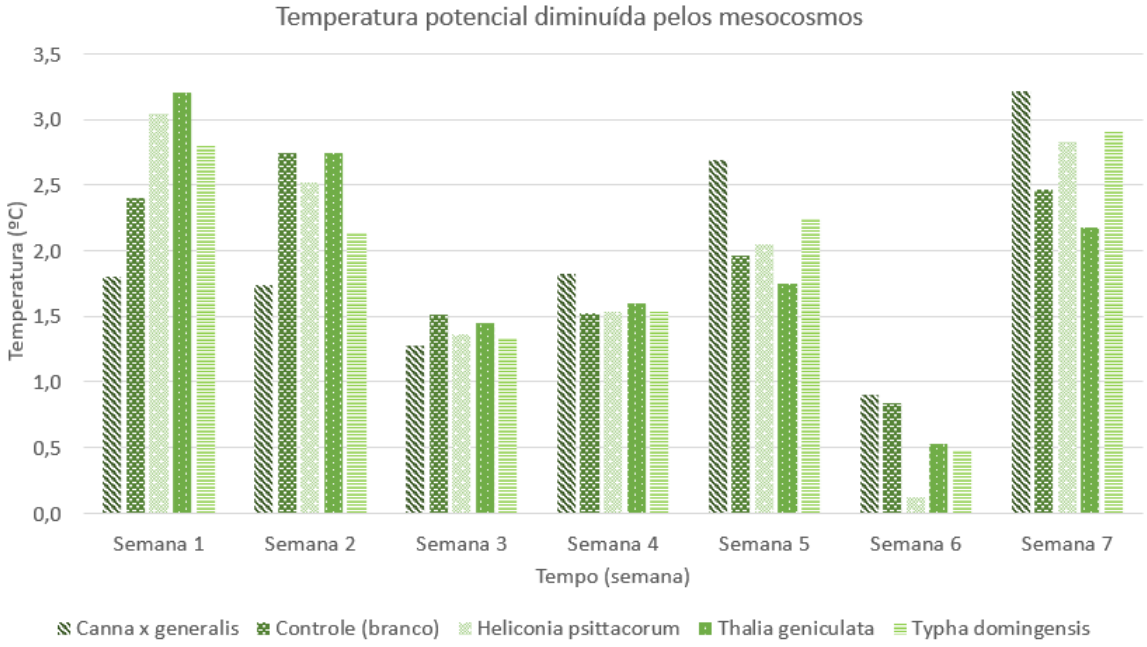

Figura 23: Graus absorvido pela vegetação.

A vegetação absorveu energia solar suficiente para diminuir em até 3,22º C (Canna x generalis na semana 7), indicando o potencial de aliviar o desconforto térmico ocasionado pelo excessivo calor, e este potencial tende a ter um alto valor principalmente quando utilizada vegetações com maior capacidade de evapotranspiração nas condições propostas. Uma vez que a Canna x generalis obteve maior evapotranspiração em comparação as demais espécies em mesmo cenário, por consequência, ela apresentou maior contribuição na absorção de temperatura calculada.

Uma pesquisa realizada na cidade de Paris, foi analisado que o fluxo de energia da superfície de uma área rural em comparação a uma área urbana a radiação diária na área urbana é maior, e um dos pontos de justificativa para este resultado, foi que na área urbana em questão apenas 10% possuía cobertura vegetal, e esse valor pequeno limita a evapotranspiração (Lemonsu and Masson, 2002).

CONCLUSÃO

Nas condições estudadas, dentre todas as macrófitas presentes neste trabalho, a Canna x generalis foi a que se adaptou melhor e mais rapidamente. Um importante indicativo de que o crescimento de folhas e brotos proporcionou uma maior absorção de energia, em forma de calor, pela Canna x generalis, resultando em maior evapotranspiração dentre as demais espécies deste experimento.

Assim, o CW representado pelos mesocosmos em escala de bancada, podem contribuir para o consumo de energia em forma de calor latente, diminuindo assim a temperatura. Contudo é de grande importância o incentivo a estudos mais profundos nas áreas abordadas neste experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome; 1998.

Bernardes FS, Herrera PG, Chiquito GM, Morales MF, Castro AP, Paulo PL. Relationship between microbial community and environmental conditions in a constructed wetland system treating greywater. Ecological Engineering. 2019;139:105581,

Birch J, Rishbeth C, Payne SR. Nature doesn't judge you–How urban nature supports young people's mental health and wellbeing in a diverse UK city. Health Place. 2020;62:102296.

Borin M, Milani M, Salvato M, Toscano A. Evaluation of Phragmites australis (Cav.) Trin. evapotranspiration in northern and southern Italy. Ecol Eng. 2011;37(5):721–8.

Caputo LZS, et al. Effects of graywater on the growth and survival of ornamental plants in nature-based systems. Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2019; 1023-1034.

Changnon SA, Kunkel KE, Reinke BC. Impacts and responses to the 1995 heat wave: a call to action. Bull Am Meteorol Soc. 1996;77:1497–505.

Dalton J. Experimental essays on the constitution of mixed gases: On the force of steam or vapor from water or other liquids in different temperatures, both in a Torricelli vacuum and in air; on evaporation; and on expansion of gases by heat. Manchester Lit Philos Soc Mem Proc. 1802;5:536–602.

Duarte DHS. O Impacto Da Vegetação No Microclima Em Cidades Adensadas e Seu Papel Na Adaptação Aos Fenômenos de Aquecimento Urbano. Contribuições a Uma Abordagem Intersdisciplinar. 2015;167.

Eggermont H, et al. Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe. GAIA - Ecol Perspect Sci Soc. 2015;24(4):243–8.

Fuentes S, Ortega-Farías S, Carrasco-Benavides M, Tongson E, Gonzalez Viejo C. Actual evapotranspiration and energy balance estimation from vineyards using micro-meteorological data and machine learning modeling.

Halley E. An account of the evaporation of water, as it was experimented in Gresham Colledge in the year 1693: With some observations thereon. Philos Trans. 1694;18:183–90.

Hu Z, Yu B, Chen Z, Li T, Liu M. Numerical Investigation on the Urban Heat Island in an Entire City with an Urban Porous Media Model. Atmospheric Environment. 2012;47:509–18.

Huang H, Yang H, Deng X, Zeng P, Li Y, Zhang L, et al. Influencing mechanisms of urban heat island on respiratory diseases. Iran J Public Health. 2019;48:1636.

Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil – INMET. Campo Grande, Mato Grosso do Sul. 2024. *Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br> e Acesso em: <23/07/2024>.*

Kiraga S, Peters RT, Molaei B, Evett SR, Marek G. Reference Evapotranspiration Estimation Using Genetic Algorithm-Optimized Machine Learning Models and Standardized Penman–Monteith Equation in a Highly Advective Environment.

Konopacki S, Akbari H. Energy savings for heat island reduction strategies in Chicago and Houston (including updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake city). Draft Final Report, LBNL-49638 University of California, Berkeley. 2002.

Lemonsu A, Masson V. Simulation of a summer urban breeze over Paris. Boundary Layer Meteorol. 2002;104:463–90.

Lopes A, Alves E, Alcoforado MJ, Machete R. Lisbon urban heat island updated: New highlights about the relationships between thermal patterns and wind regimes. Adv Meteorol. 2013;2013:487695.

Marin FR. Microclimatologia Agrícola: Introdução Biofídica da Relação Planta-Atmosfera. Piracicaba: FEALQ; 2021.

McAllister K, McBeth A, Galway N. Autism spectrum condition and the built environment. Cities & Health. 2022;6:1164–78.
Nações Unidas Brasil. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: julho de 2024.

Oke TR. Boundary Layer Climates. 2nd ed. London, UK: Routledge; 1987.

Palomeque de la Cruz MA, Galindo A, Sánchez AJ, Escalona MJ. Pérdida de humedales y vegetación por urbanización em la cuenca del río Grijalva, México. Investig Geogr. 2017;0:151–72.

Pan X, Wang Z, Liu S, Yang Z, Guluzade R, Liu Y, et al. The impact of clear-sky biases of land surface temperature on monthly evapotranspiration estimation.

Robinson JM, Brindley P, Cameron R, MacCarthy D, Jorgensen A. Nature's Role in Supporting Health during the COVID-19 Pandemic: A Geospatial and Socioecological Study.

Rosenfeld AH, Akbari H, Romm JJ, Pomerantz M. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. Energy Build. 1998;28:51–62.

Sandoval, L, Zamora-Castro, S, Vidal-Álvarez, M, Marín-Muñiz, J. Role of Wetland Plants and Use of Ornamental Flowering Plants in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. *Appl. Sci.* **2019**, *9*, 685.

Sigfredo F, Ortega-Farías S, Carrasco-Benavides M, Tongson E, Gonzalez Viejo C. Actual evapotranspiration and energy balance estimation from vineyards using micro-meteorological data and machine learning modeling.

Takahashi KM, Araújo G, Pott V, Yoshida N, Lima L, Caires A, Paulo P. Relationship of Photosynthetic Activity of *Polygonum acuminatum* and *Ludwigia lagunae* with Physicochemical Aspects of Greywater in a Zero-Liquid Discharge System. Resources. 2022, 11(10), 84.

Takahashi KM, Nakasato JA, de Jesus GS, Micheletti AC, Pott A, Yoshida NC, Paulo PL. Antimicrobial activity of Pantanal macrophytes against multidrug resistant bacteria shows potential for improving nature-based solutions. Plant Stress. 2024, 11, 100304.

Tasumi M, Allen RG, Trezza R, Wright JL. Satellite-based energy balance to assess within-population variance of crop coefficient curves. J Irrig Drain Eng. 2005;131:94–109.

Taylor L, Hochuli DF. Defining greenspace: multiple uses across multiple disciplines. Landsc Urban Plann. 2017;158:25–38.

Trambouze W, Bertuzzi P, Voltz M. Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard. Agric For Meteorol. 1998;91:193–208.

United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019. World Urbanization Prospects the 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). United Nations, New York.

Wang K, Dickinson RE. A review of global terrestrial evapotranspiration: Observation, modeling, climatology, and climatic variability. Rev Geophys. 2012;50:RG2005.

Warren JL. Green space for air pollution control. Technical report (50) School of Forest Resources North Carolina State University. 1973.

Wu L, Zhou H, Ma X, Fan J, Zhang F. Daily reference evapotranspiration prediction based on hybridized extreme learning machine model with bio-inspired optimization algorithms: Application in contrasting climates of China. J Hydrol. 2019;577:123960.

Zhao L, Xia J, Xu C-Y, Wang Z, Sobkowiak L, Long C. Evapotranspiration estimation methods in hydrological models. J Geogr Sci. 2013;23:359–69.