



Reconhecimento dos serviços ecossistêmicos de espaços verdes urbanos para a adaptação a eventos climáticos extremos. Validação Metodológica

Fabiany Sampaio Bertucci Tavares¹ Eliane Guaraldo² and Ivan Bergier Tavares de Lima³

¹Mestre em Recursos Naturais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS. Campo Grande (MS) - Brasil. fabiany.bertucci@gmail.com

²Doutora em Estruturas Ambientais Urbanas. Laboratório da Paisagem - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Campo Grande (MS) - Brasil. eliane.guaraldo@ufms.br

³Doutor em Ciências -Energia Nuclear na Agricultura. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. São Paulo (SP) - Brasil. bergiercpap@gmail.com

Notas dos autores

Os autores não têm conflitos de interesse a declarar.

A correspondência sobre este artigo deve ser dirigida a Eliane Guaraldo -

eliane.guaraldo@ufms.br

Agradecimentos: Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Laboratório da Paisagem, Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul e à Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Cite as - American Psychological Association (APA)

Tavares, F. S. B. Guaraldo, E., & Lima, I. B. T. (2024). Reconhecimento dos Serviços Ecossistêmicos de

Espaços Verdes Urbanos para a Adaptação a Eventos Climáticos Extremos. Validação

Metodológica *J. Environ. Manag. & Sust.*, 13(1), 1-34, e23959. <https://doi.org/10.5585/2024.23959>





Resumo

Objetivo: Este estudo avaliou os serviços ecossistêmicos de regulação hídrica (EvapoTranspiração, ET) e de Estoque de Carbono Florestal (ECF) na área urbana de Campo Grande com base no mapeamento e na amostragem aleatória estratificada de diâmetros à altura do peito (DAP ou simplesmente d) por unidade de área em cinco tipologias de Espaços Verdes Urbanos (EVU).

Metodologia: A avaliação de serviços ecossistêmicos de regulação hídrica ET e ECF na área urbana de Campo Grande foi feita com base no mapeamento e na amostragem aleatória estratificada de diâmetros à altura do peito por unidade de área em cinco tipologias de EVU. Integrando os dados de d, cuja distribuição segue uma Lei de Potência, aos conceitos ec hidrológicos e da Teoria Metabólica Ecológica (TME), calculou-se então as medianas e os ranges de interquartil para ET e ECF das tipologias de EVU identificadas.

Originalidade/Relevância: Apesar da importância dos serviços ecossistêmicos nas cidades, poucas pesquisas mostram metodologias para avaliá-los e quantificá-los. O presente estudo traz uma abordagem inédita para estimar ECF e ET em EVU com vegetação arbórea típica de cerrado. A metodologia é usada para se prospectar o impacto do aumento em área de EVU e de seus serviços ecossistêmicos (ECF e ET) sobre o sequestro de Carbono (C) e a regulação hídrica e térmica, isto é, sobre a segurança de cidadãos urbanos de regiões tropicais em relação a futuros cenários de eventos extremos de enchentes e de ondas (episódicas) ou ilhas (persistentes) de calor.

Resultados: O mapeamento dos EVU e dos seus respectivos serviços ecossistêmicos em Campo Grande, revelou a deficiência destes ambientes em certos setores da cidade. Atualmente, as áreas de EVU em Campo Grande totalizam 898 hectares (2,5% da área urbana em 2010), as quais estocam entre 33.368,5 e 456.801,7 toneladas de C na forma de biomassa florestal e são responsáveis pela umidificação atmosférica diária da ordem de 31.458,0 a 105.277,3 m³ de água. O estudo também revela que os serviços ecossistêmicos de regulação,





traduzidos em conceitos ec hidrológicos como Estoque de Carbono Florestal (ECF) e Evapotranspiração (ET) na área urbana, podem ser estimados integrando-se dados de DAP (d). Os resultados sugerem que o escalonamento de EVU de 2,5 para 10% da área urbana em Campo Grande pode ter reflexos importantes para a adaptação das futuras gerações urbanas e para a mitigação das mudanças climáticas.

Contribuições teóricas/metodológicas: As análises estatísticas evidenciam que os valores obtidos com o levantamento de campo podem ser modelados por distribuições de leis de potência por meio da Teoria Metabólica Ecológica (TME). Constatou-se que a TME tem grande potencial de aplicação, mas também limitações, pois permite avaliar fluxos e estoques em um sistema apenas para intervalos (interquartis) que contém a mediana da distribuição. O uso do interquartil para avaliar processos naturais com distribuição de lei de potência garante uma margem confiável de incerteza, a qual pode ser escalonada independentemente da espécie lenhosa e de seu estágio sucessional, da sazonalidade e do ambiente.

Contribuições sociais / para a gestão: Os resultados evidenciam a importância do aumento desses espaços para maximizar a realização de serviços ecossistêmicos de sequestro de C atmosférico, bem como para a adaptação de áreas urbanas para o enfrentamento de enchentes extremas, ondas de calor e para a prevenção de ilhas urbanas de calor (IUC). Além disso, estudos futuros devem ser conduzidos para a geolocalização de novos EVU que maximizar os serviços ecossistêmicos, que incorporem também os aspectos socioculturais.

Palavras-chave: ec hidrologia, floresta urbana, ilhas de calor, parques, planejamento urbano

Recognition of Urban Green Space Ecosystem Services for Adaptation to Extreme Climate Events. Methodological Validation

Abstract

Objective: This study evaluated the ecosystem services of water regulation (EvapoTranspiration, ET) and Forest Carbon Stock (ECF) in the urban area of Campo Grande





based on mapping and random sampling stratification of diameters at breast height (DBH or simply d) per unit area in five types of Urban Green Spaces (EVU).

Methodology: The evaluation of ecosystem services for water regulation ET and ECF in the urban area of Campo Grande was based on mapping and random sampling stratification of diameters at breast height (DBH or simply d) per unit area in five EVU typologies. By integrating d data - its distribution follows a Power Law - with the ecohydrological concepts and the Ecological Metabolic Theory (EMT), the medians and interquartile ranges for ET and ECF of the identified EVU typologies were then calculated.

Originality/Relevance: Despite the importance of ecosystem services in cities, few studies show methodologies to evaluate and quantify them. The present study brings an unprecedented approach to estimate ECF and ET in EVU with typical cerrado tree vegetation. The methodology is used to prospect the impact of the increase in EVU area and its ecosystem services (ECF and ET) on Carbon (C) capture and the water and thermal regulation. Therefore, the methodology aims on the security of urban citizens from tropical regions against future scenarios of extreme (episodic) flood and wave events or (persistent) heat islands.

Results: The mapping of EVU and their respective ecosystem services in Campo Grande showed the deficiency of these environments in certain parts of the city. Currently, the EVU areas in Campo Grande sum up to 898 hectares (2.5% of the urban area in 2010), which store between 33,368.5 and 456,801.7 tons of C in the form of forest biomass and they are responsible for daily atmospheric humidification on a scale of 31,458.0 to 105,277.3 m³ of water. The study also reveals that ecosystem regulation services such as ecohydrological concepts like Forest Carbon Stock (ECF) and Evapotranspiration (ET) in the urban area can be estimated by integrating DBH data (d). The results suggest that the scaling of EVU from 2.5 to 10% of the urban area in Campo Grande may have important consequences for the adaptation of future urban generations and for the mitigation of climate change.





Theoretical/methodological contributions: Statistical analyzes show that the values obtained with the field survey can be modeled by the distributions of power law through the Ecological Metabolic Theory (TME). It was found that the TME has great application potential, but also limitations, as it allows evaluating flows and stocks in a system only for intervals (interquartiles) that contain the average of the distribution. The use of the interquartile to evaluate natural processes with a power law distribution guarantees a reliable margin of uncertainty, which can be scaled independently of the woody species and its successional stage, seasonality and environment.

Social / management contributions: The results show the importance of increasing these spaces to maximize the realization of ecosystem services for atmospheric C capture, as well as for adapting urban areas to face extreme floods, heat waves and for the prevention of urban heat islands (IUC). In addition, future studies should be conducted for the geolocation of new EVU that maximize ecosystem services, which also incorporate sociocultural aspects.

Key-words: ecoidrology, urban forest, heat islands, parks, urban planning

Reconocimiento de los Servicios Ecosistémicos de los Espacios Verdes Urbanos para la Adaptación a Eventos Climáticos Extremos. Validación Metodológica

Resumén

Objetivo: Este estudio evaluó los servicios ecosistémicos de regulación hídrica (EvapoTranspiración, ET) y Stock de Carbono Forestal (ECF) en el área urbana de Campo Grande a partir de mapeo y muestreo aleatorio estratificado de diámetros a la altura del pecho (DAP o simplemente d). por unidad de superficie en cinco tipos de Espacios Verdes Urbanos (EVU).

Metodología: La evaluación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica ET y ECF en el área urbana de Campo Grande se realizó a partir de mapeo y muestreo aleatorio estratificado de diámetros a la altura del pecho por unidad de área en cinco tipologías de EVU.





Integrando los datos d , cuya distribución sigue una Ley de Potencia, con los conceptos ecohidrológicos y la Teoría Metabólica Ecológica (TME), se calcularon las medianas y rangos intercuartílicos para ET y ECF de las tipologías EVU identificadas.

Originalidad/Relevancia: A pesar de la importancia de los servicios ecosistémicos en las ciudades, pocas investigaciones muestran metodologías para evaluarlos y cuantificarlos. El presente estudio aporta un enfoque sin precedentes para estimar el ECF y la ET en EVU con vegetación arbórea típica del cerrado. La metodología se utiliza para prospectar el impacto del aumento del área de EVU y sus servicios ecosistémicos (ECF y ET) en el secuestro de carbono (C) y la regulación hídrica y térmica, es decir, en la seguridad de los ciudadanos urbanos de las regiones tropicales en relación con Escenarios futuros de inundaciones extremas y olas (episódicas) o islas de calor (persistentes).

Resultados: El mapeo de las EVU y sus respectivos servicios ecosistémicos en Campo Grande reveló la deficiencia de estos ambientes en ciertos sectores de la ciudad. Actualmente, las áreas de EVU en Campo Grande suman 898 hectáreas (2,5% del área urbana en 2010), que almacenan entre 33.368,5 y 456.801,7 toneladas de C en forma de biomasa forestal y son responsables de la humidificación atmosférica diaria del orden de 31.458,0 a 105.277,3 m³ de agua. El estudio también revela que los servicios ecosistémicos regulatorios, traducidos en conceptos ecohidrológicos como las reservas de carbono forestal (ECF) y la evapotranspiración (ET) en áreas urbanas, pueden estimarse integrando datos DAP (d). Los resultados sugieren que escalar la EVU del 2,5 al 10% del área urbana en Campo Grande puede tener consecuencias importantes para la adaptación de las futuras generaciones urbanas y para la mitigación del cambio climático.

Aportes teóricos/metodológicos: Los análisis estadísticos muestran que los valores obtenidos del estudio de campo pueden ser modelados mediante distribuciones de leyes de potencia a través de la Teoría Metabólica Ecológica (TME). Se encontró que el TME tiene un gran potencial de aplicación, pero también limitaciones, ya que permite evaluar flujos y stocks





en un sistema sólo para intervalos (intercuartiles) que contienen la mediana de la distribución. El uso del intercuartil para evaluar procesos naturales con una distribución de ley de potencia garantiza un margen de incertidumbre confiable, que puede escalarse independientemente de la especie leñosa y su etapa sucesional, estacionalidad y ambiente.

Contribuciones sociales/a la gestión: Los resultados resaltan la importancia de aumentar estos espacios para maximizar la realización de los servicios ecosistémicos de secuestro de C atmosférico, así como para la adaptación de las áreas urbanas para enfrentar inundaciones extremas, olas de calor y para la prevención del calor urbano. islas (IUC). Además, se deberían realizar futuros estudios para geolocalizar nuevas EVU que maximicen los servicios ecosistémicos, que también incorporen aspectos socioculturales.

Palabras clave: ecohidrología, bosque urbano, islas de calor, parques, planificación urbana

Introdução

Os Espaços Verdes Urbanos (EVU) como os parques, áreas de campus universitários, áreas militares, jardins, pátios e florestas urbanas, são importantes produtores de serviços ecossistêmicos nas cidades. Porém, o foco das pesquisas referentes aos EVU e serviços que eles oferecem têm sido maiores nos países desenvolvidos de zonas boreais, temperadas e de florestas subtropicais do planeta (Kabisch et al., 2015; Escobedo et al., 2010; Davies et al., 2013).

Os estudos sobre EVU e os serviços ecossistêmicos prestados ainda precisam ser mais bem difundidos, em particular nos países em desenvolvimento (Tavares et al, 2021). Para tanto torna-se necessária uma abordagem interdisciplinar que reúna conceitos e conhecimentos das ciências exatas, sociais e da natureza. Diante dos desafios sociodemográficos e ambientais enfrentados pelas cidades de todo o mundo, com o objetivo de tornar o ambiente urbano mais inclusivo, seguro, resiliente e sustentável (ONU, 2018), há a necessidade de novos métodos



científicos quali-quantitativos que permitam subsidiar a tomada de decisão por meio de políticas públicas de desenvolvimento sustentável no ambiente urbano (Niemela, 2014).

Alguns dos serviços ecossistêmicos reguladores, como o Estoque de Carbono Florestal (ECF) e a EvapoTranspiração (ET), podem ser estimados por meio de equações alométricas e da Teoria Metabólica Ecológica (TME). West, Enquist e Brown (2009a) revisitam suas teorias (West, Brown & Enquist, 1997) reiterando que as características fisiológicas e morfológicas dos vegetais obedecem a relações de escala alométricas, as quais são tipicamente expressas por leis de potência $Y = Y_0 r^\varphi$, onde Y é uma variável dependente, como taxa metabólica, área foliar ou biomassa, Y_0 é uma constante de normalização, r representa uma medida linear como o raio r ou diâmetro ($d = 2r$) do tronco ou caule e φ é o expoente alométrico. A possibilidade de generalização da teoria pode ser atribuída a dois fenômenos físico-biológicos interconectados: metabolismo e alometria. Limitados pelas leis fundamentais da Termodinâmica, esses fenômenos determinam de que maneira os recursos são extraídos do meio ambiente, translocados e transformados dentro da planta e alocados para a sua sobrevivência, crescimento e reprodução. Esses processos em árvores lenhosas individuais se propagam em escala (como processos fractais, invariantes em escala, do micro para o macro) e produzem, assim, propriedades universais emergentes em florestas, como estrutura e tamanho, as relações de espaçamento e as taxas de crescimento e mortalidade.

A TME sugere, por exemplo, que as taxas de mortalidade podem estar ligadas a taxas metabólicas e de crescimento limitadas pelo tamanho dos indivíduos (West, Enquist & Brown, 2009b). Obviamente, a observação na natureza muitas vezes não segue *ipsis litteris* dos modelos teóricos (Coomes & Allen, 2009; Coomes et al., 2011). Para escalas macroscópicas iguais ou superiores à escala de indivíduos, eventuais “desvios” da TME podem estar





relacionados a variações adaptativas, individuais e ou coletivas e às condições ambientais locais e ou regionais (Enquist et al., 2015; Bergier et al., 2016).

A análise cienciométrica sobre EVU utilizando a TME revela uma enorme lacuna e oportunidade de pesquisa (Tavares et al., 2021) para a proposição de novas metodologias de quantificação de serviços ecossistêmicos. Por exemplo, Bergier et al. (2016) apresentam uma pesquisa aplicada em florestas de cordilheira (típicas de cerrado) da Nhecolândia, no Pantanal, que fornece sustentação empírica e teórica para a aplicação da TME para estimar a biomassa integral B (desde a raiz às folhas) de indivíduos de vegetação lenhosa a partir do diâmetro do caule d por meio da equação teórica $d \sim B^{3/8}$ (West et al., 1997).

O uso da TME para estimar a biomassa total B de indivíduos em florestas no Cerrado, a partir do raio ou diâmetro do tronco é factível uma vez que a vegetação arbórea da região estudada do Pantanal é de cerrado, portanto, apresenta composição taxonômica similar. Além disso, como as equações empíricas geradas por Bergier et al. (2016) são táxon-independentes, torna-se possível quantificar de uma forma genérica, e dentro de uma faixa limitada de incerteza, alguns dos serviços ecossistêmicos em espaços naturais, como fazendas do Pantanal, do Cerrado ou mesmo EVU, desde que a paisagem florestal seja a priori caracterizada como cerrado. É possível que essa metodologia seja também aplicável aos demais biomas brasileiros, uma vez que todas as plantas lenhosas devem possuir estratégias similares para lidar com as restrições termodinâmicas e estruturais (Niklas, 1994).

Apesar das equações demonstrarem que as plantas lenhosas nas matas de cordilheira da Nhecolândia não obedecem a razão teórica 1:1 entre as biomassas abaixo e acima do solo, devido às adaptações das raízes e galhos ao elevado lençol freático (Salis et al., 2014; Bergier et al., 2016), a massa total da planta, do indivíduo, segue a equação alométrica teórica $d \sim m^{3/8}$ (West, Brown & Enquist, 1997). Isso sugere que a massa total do indivíduo segue uma lei de escala fractal, mas cada indivíduo tem plasticidade fenotípica para alocar mais biomassa acima ou abaixo do solo dependendo das condições limitantes do ambiente em que se desenvolve



(Bergier et al., 2016). Em contraposição ao cerrado da Nhecolândia no Pantanal, a mesma vegetação no bioma Cerrado aloca mais biomassa abaixo do solo (em busca de água subterrânea) através do sistema radicular, conferindo maior biomassa e estoque de carbono abaixo do que acima do solo (Bustamante et al., 2012).

Para se estimar o ECF por unidade de área é preciso integrar as massas das plantas individuais presentes em um espaço delimitado. A TME indica que a distribuição de frequência de d , ou simplesmente a probabilidade $P(d)$, segue uma lei de potência em função de d como $P(d) \sim d^{-2}$ (Enquist & Bentley, 2012). Para se verificar essa função de distribuição de probabilidade e estimar ECF são, portanto, necessárias técnicas de amostragem de diâmetros por unidade de área (Higa et al., 2014). O mesmo é válido para se estimar, por exemplo, processos de regulação hídrica por ET baseados em relações de escala entre d e transporte de água através do xilema (Enquist et al., 1998; Enquist & Bentley, 2012) que matematicamente se traduz em $ET \sim d\phi$.

Em síntese, o presente estudo traz uma abordagem inédita para estimar ECF e ET em EVU (ou em quaisquer outros espaços florestais com vegetação arbórea típica de cerrado) dentro de uma faixa de incerteza definida pelo interquartil (faixa de valores que compreende 50% dos dados da distribuição amostral) dada a não normalidade da distribuição dos valores de d (Enquist & Bentley, 2012). No presente estudo, a metodologia é usada para se prospectar o impacto do aumento em área de EVU e de seus serviços ecossistêmicos (ECF e ET) sobre o sequestro de C e a regulação hídrica e térmica, isto é, sobre a segurança de cidadãos urbanos de regiões tropicais em relação a futuros cenários de eventos extremos de enchentes e de ondas (episódicas) ou ilhas (persistentes) de calor. O foco do presente trabalho é, portanto, a validação metodológica da aplicação das equações alométricas TME de Bergier et al. (2016) para a quantificação de serviços ecossistêmicos de matas de cerrado, no caso dos EVU de Campo Grande em Mato Grosso do Sul.





Materiais e Métodos

Mapeamento dos Espaços Verdes Urbanos (EVU)

A pesquisa é fundamentada no cadastro de Unidades Estaduais e Federais de Conservação da Natureza situadas no perímetro urbano, disponibilizado pelo Perfil Socioeconômico de Campo Grande (PLANURB, 2017), e abordou apenas EVU públicos com vegetação relevante destinados à conservação da natureza - assim como outras funções próprias de cada EVU. De acordo com o cadastro citado, os EVU são divididos em: Unidades de Conservação; Parques e outras Unidades de Conservação; e Parques Lineares.

O mapeamento dos EVU é de suma importância para a sua identificação e caracterização, possibilitando também a compreensão de como se dá a sua distribuição na malha urbana. Foi utilizado o software QGIS (QGIS, 2018) com imagem de satélite Bing obtida do Open Layers plugin (Kalberer & Walker, 1994) para mapear os EVU discriminados em três tipologias:

Unidades de Conservação (UC): espaços territoriais destinados à conservação do patrimônio natural existente, prevendo o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, garantido aos cidadãos pela Constituição Federal de 1988. Segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), as UC são "espaços territoriais e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção" art. 1º, I (BRASIL, 2011).

Parques e Áreas Protegidas (P): espaços livres públicos localizados em lugares estratégicos da cidade onde podem cumprir seu papel ecológico de proteção dos recursos e processos naturais, e que, dentre outras funções próprias de cada um, oferecem à comunidade contemplação da natureza aliada a recreação, lazer e cultura.



Parques Lineares (PL): espaços livres públicos que têm por objetivo proteger os cursos d'água da cidade, mantendo as margens de córregos e nascentes com matas ciliares, reduzindo o efeito negativo de enchentes e servindo como corredores ecológicos. A implantação dos parques lineares em Campo Grande se deu a partir do ano 2000, os quais têm se apresentado como um importante elemento estruturador da paisagem da cidade; além de suas funções ambientais, proporcionam áreas de lazer e contemplação para a população.

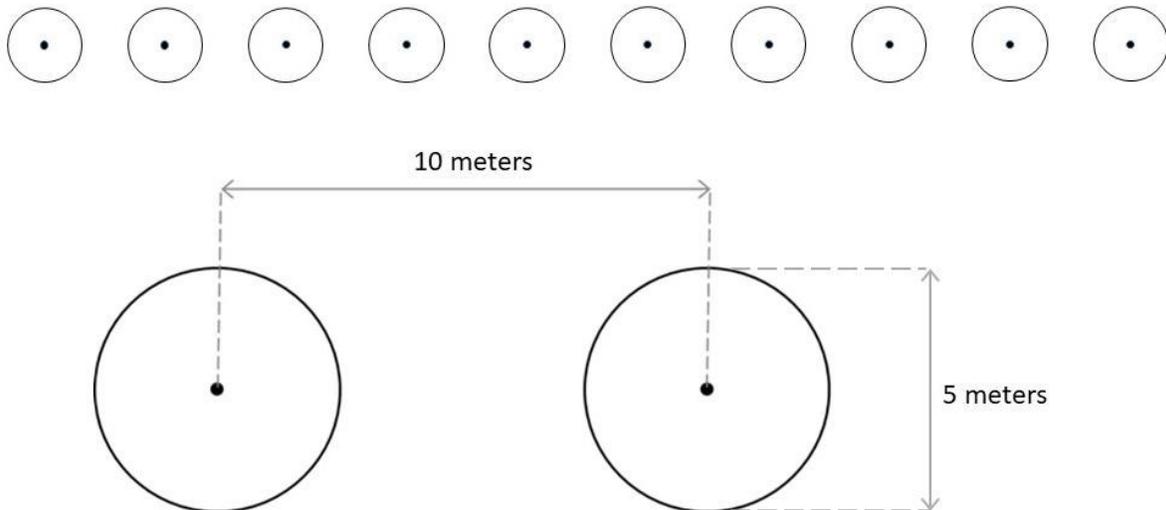
Levantamento de Campo

Com base na metodologia de amostragem florestal (Higa et al., 2014) adaptada para *stratified random sampling* (Sampath, 2005), o mapa de tipologias de EVU foi empregado na seleção de 5 EVU para a obtenção de dados de diâmetros à altura do peito (d) por unidade de área, sendo dois Parques Lineares, dois Parques e Área Protegidas e uma Unidade de Conservação. A coleta de dados foi realizada por meio de fita métrica, da circunferência à altura de 130 cm do solo (CAP) e depois convertida para DAP (diâmetro à altura do peito)

Para as medidas de DAP, estipulou-se um conglomerado em linha reta para cada EVU amostrado, sendo que cada conglomerado contém dez parcelas circulares de cinco metros de diâmetro, distantes dez metros a partir de seus centros (Figura 2).

Figura 1

Amostra das medidas e distâncias entre parcelas nos conglomerados de amostragem



Fonte: Autores

Cada parcela compõe uma unidade amostral, onde foram medidos os valores de d para cada árvore e arvoreta presente dentro de seu perímetro. A medição se deu com fita métrica a uma altura do peito considerada de 1,30m (Higa et al., 2014). Cada árvore/parcela foi georreferenciada e registrada por fotografia (geotagging via smartphone).

Abordagem de análise dos dados de campo

1 Avaliação estatística de DAP (d)

Com o aplicativo Past (Hammer et al., 2001) foram aplicados testes estatísticos de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e Jarque-Bera para aferir se a distribuição $P(d)$ segue ou não uma distribuição para cada tipologia de EVU. Uma vez que $P(d)$ *a priori* não segue uma distribuição normal (Enquist & Bentley 2012), aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (KW) para comparar as medianas (dentro de interquartis) de d das tipologias de EVU. No teste KW, análogo à Anova (Analysis of Variance) usada em amostras normalmente distribuídas, se o resultado do teste for significativo (nível de significância de 5%, portanto para



$p < 0,05$), então, ao menos uma tipologia de EVU se difere das demais. O teste não paramétrico post-hoc de Dunn é análogo ao teste de Tukey (na estatística paramétrica), e permite verificar diferenças significativas ou não par-a-par.

2 Estimativa da biomassa total e do Estoque de Carbono Florestal

A biomassa total (B em kg) de cada indivíduo lenhoso foi calculada a partir de d_s (diâmetro ao nível do solo), sendo $d_s = 2 * ((\sqrt{(3.1515 * \pi * r^2)})^{0.894 / \pi})$ derivado da relação log-log entre d ($=2r$) e d_s ($=2r_s$) (Bergier, comunicação pessoal), e das quatro equações alométricas de Bergier et al., (2016) (ver Figura 2 na pág. 139), cuja integração no intervalo $0,3 > d > 100$ cm com $\Delta d = 3$ cm permite obter a equação $B = 0,2d^{2.35}$. Note que o expoente de escala empírico obtido se aproxima do valor teórico $8/3$ ($\sim 2,67$) (West, Enquist & Brown, 2009a; Enquist & Bentley, 2012).

O ECF de cada indivíduo lenhoso foi então obtido pela multiplicação do valor de B por 0,5 (Nowak, 1994; Nowak & Crane, 2002). Estimativa da Evapotranspiração de cada indivíduo lenhoso ($ET_{i,j}$, em mm/d) foi estimada a partir da relação geral empírica de escala entre d (cm) e o transporte de água pelo xilema (L/d) dado por $ET_i = 0,257d^{1,778}$ para várias espécies (Enquist et al., 1998). A integração dos valores de ET_i em uma dada parcela amostral (A_j em metros quadrados) permitiu estimar $ET_{i,j}$ por unidade de área (L/m²/d ou simplesmente mm/d) por meio da equação $ET_{i,j} = \sum ET_i / A_j$, sendo $i = 1, 2, \dots, n$ e $j = 1, 2, \dots, k$.

3 Estimativa de cobertura arbórea

A cobertura arbórea de cada EVU foi obtida através de fotointerpretação de imagens de satélite do Bing Maps obtida do Open Layers plugin (Kalberer & Walker, 1994) utilizando o software QGIS (QGIS, 2018).

Caracterização da área de estudo

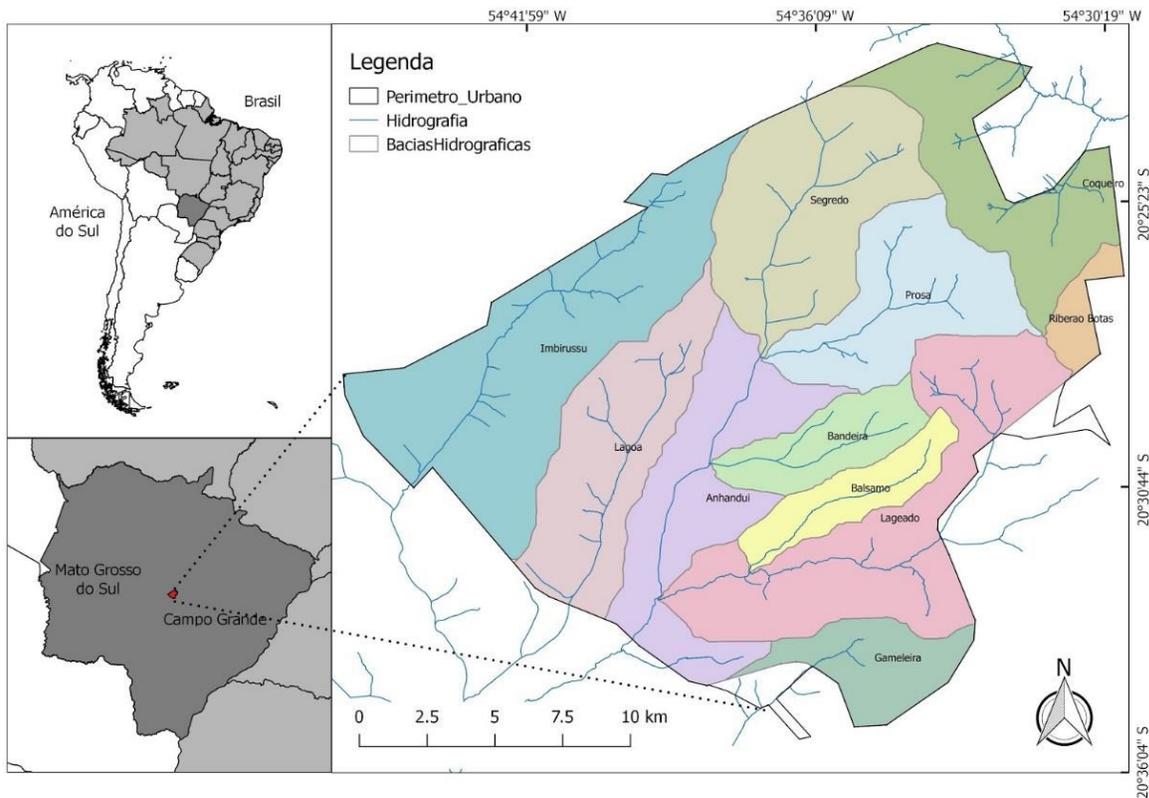
A obtenção de dados de campo foi realizada durante o outono e o inverno de 2018 em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, município que possui 35.903,53 ha de área urbana e uma população urbana (98,66%) de 776.242 mil habitantes (IBGE, 2010), o que reflete em uma

densidade de 97,22 hab/km² em 2010. Quanto ao clima, Campo Grande situa-se na faixa de transição entre o subtipo (Cfa) mesotérmico úmido sem estiagem ou pequena estiagem e o sub-tipo (Aw) tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

A área urbana é situada sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, e compreende 11 micro bacias (Figura 2). Todo o município localiza-se na zona neotropical pertencente aos domínios da região fitogeográfica do Cerrado, suas principais fisionomias são: campo limpo, campo sujo, cerrado, cerradão, floresta aluvial (mata ciliar) e áreas de tensão ecológica, representadas pelo contato cerrado/floresta estacional semidecidual (PLANURB, 2017).

Figura 2

Localização de Campo Grande/MS e sua divisão por microbacias hidrográficas no perímetro urbano



Fonte: Autores



Resultados e Discussões

Mapeamento dos Espaços Verdes Urbanos (EVU)

O mapeamento de EVU apresentado na Figura 3a permitiu observar a distribuição das tipologias na área urbana de Campo Grande. Todas elas estão vinculadas ao sistema de canais hidrológicos da cidade, sendo a tipologia de Parques Lineares (PL) distribuída ao longo das margens desses córregos, e as tipologias de Parque e Áreas protegidas (P) e de Unidades de Conservação (UC) estão distribuídas em nascentes ou próximos a confluências de córregos.

Apesar da grande quantidade de Parques Lineares ao longo da cidade, que possibilitam a conectividade entre os fragmentos naturais urbanos, servindo como corredores ecológicos, observa-se que os córregos da região central da cidade encontram-se desprotegidos de vegetação, sem a presença de Parques Lineares, sendo mais suscetível às enchentes e ilhas de calor. Os Parques e Áreas Protegidas não estão homoganeamente distribuídos pela área urbana.

Algumas microbacias hidrográficas como a Bacia do Imbirussu e a Bacia do Lagoa não possuem EVU dessa tipologia, o que também prejudica a drenagem, intensifica efeitos de ilhas urbanas de calor (IUC), além de perdas culturais para as regiões com a falta de espaço de lazer em contato com a natureza.

O mapeamento é de suma importância pois, a partir dele, pode-se perceber especialmente a deficiência de EVU em certas regiões da cidade, restringindo a população ao acesso à natureza, uma forma de injustiça ambiental. Portanto, essas regiões representam oportunidades de ampliação do sistema de EVU em Campo Grande, não apenas pela importância para o ecossistema urbano, mas também pela necessidade de mais EVU para a população. A Figura 3b apresenta a relação de todos os EVU voltados para a conservação da natureza em Campo Grande (PLANURB, 2017).

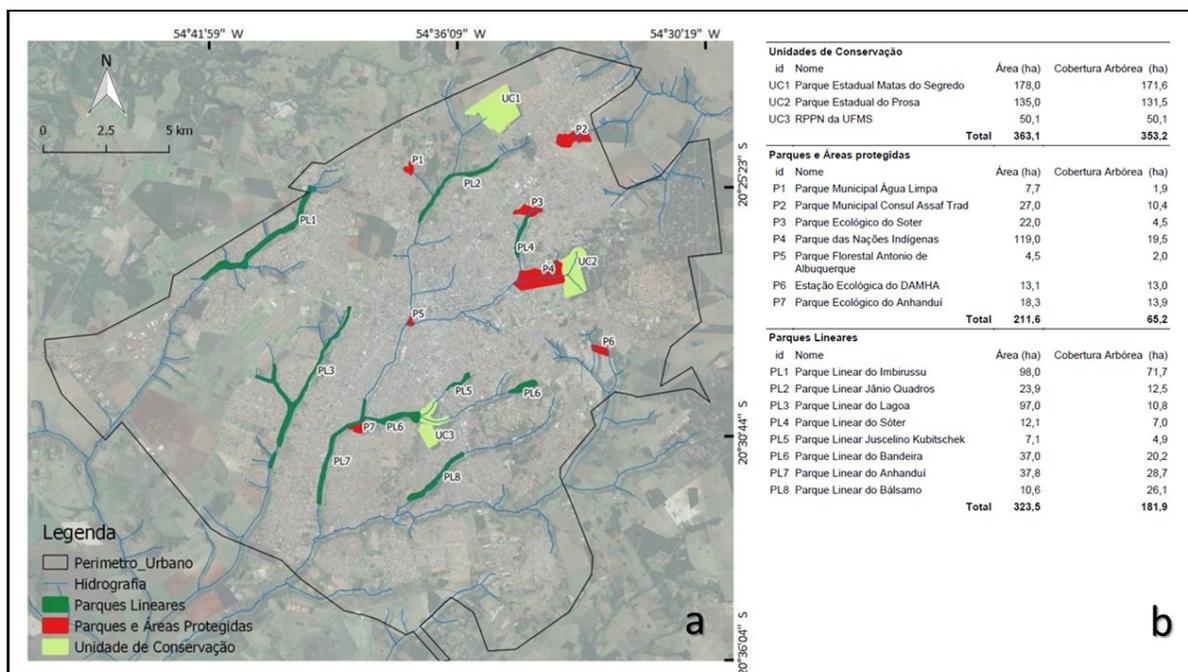


Figura 3

a. Espaços Verdes Urbanos voltados para a proteção da natureza em Campo Grande/MS

Parques Lineares: PL1 - Parque Linear do Imbirussu; PL2 - Parque Linear Jânio Quadros; PL3 - Parque Linear do Lagoa; PL4 - Parque Linear do Sóter; PL5 - Parque Linear Juscelino Kubitschek; PL6 - Parque Linear do Bandeira; PL7 - Parque Linear do Anhanduí; PL8 - Parque Linear do Bálamo. Parques e Área Protegidas: P1 - Parque Municipal Água Limpa; P2 - Parque Municipal Cônsul Assaf Trad; P3 - Parque Ecológico Sóter; P4 - Parque das Nações Indígenas; P5 - Parque Florestal Antônio Albuquerque; P6 - Estação Ecológica Damha; P7 - Parque Ecológico Anhanduí. Unidades de Conservação: UC1 - Parque Estadual Matas do Segredo; UC2 - Parque Estadual do Prosa; UC3 - RPPN da UFMS. Fonte: Autores a partir de PLANURB (2017);

b. Descrição das áreas absolutas dos EVU atualmente presentes em Campo Grande, MS



Fonte: PLANURB

Levantamento de Campo

Pela metodologia *stratified random sampling* foram selecionados cinco EVU para levantamento de campo.

Figura 4

a. Parque Linear do Soter. No alto, a localização e a linha de amostragem (20°26'34" S/ 54°34'54" O); embaixo esquerda, vista externa da área de amostragem; embaixo à direita, vegetação tipo das parcelas amostradas (vista interna do parque); **b.** Parque Linear do Imbirussu. No alto, a linha de amostragem (20°26'22" S/ 54°40'34" O); embaixo à esquerda, vista externa da área de amostragem; embaixo à direita, vegetação tipo das parcelas amostradas (vista interna do parque)



Fonte: Autores

O Parque Linear do Soter (Figura 4a), corresponde a legenda PL4 da Figura 3, foi criado em 2003 com as finalidades de acomodar o leito do curso d'água do córrego Sóter; permitir o escoamento e a infiltração das águas pluviais; e conservar a vegetação ciliar mantendo a biodiversidade local. Além de acompanhar o curso d'água, este parque serve como um corredor ecológico entre dois outros EVU, o Parque Ecológico do Sóter e o Parque das

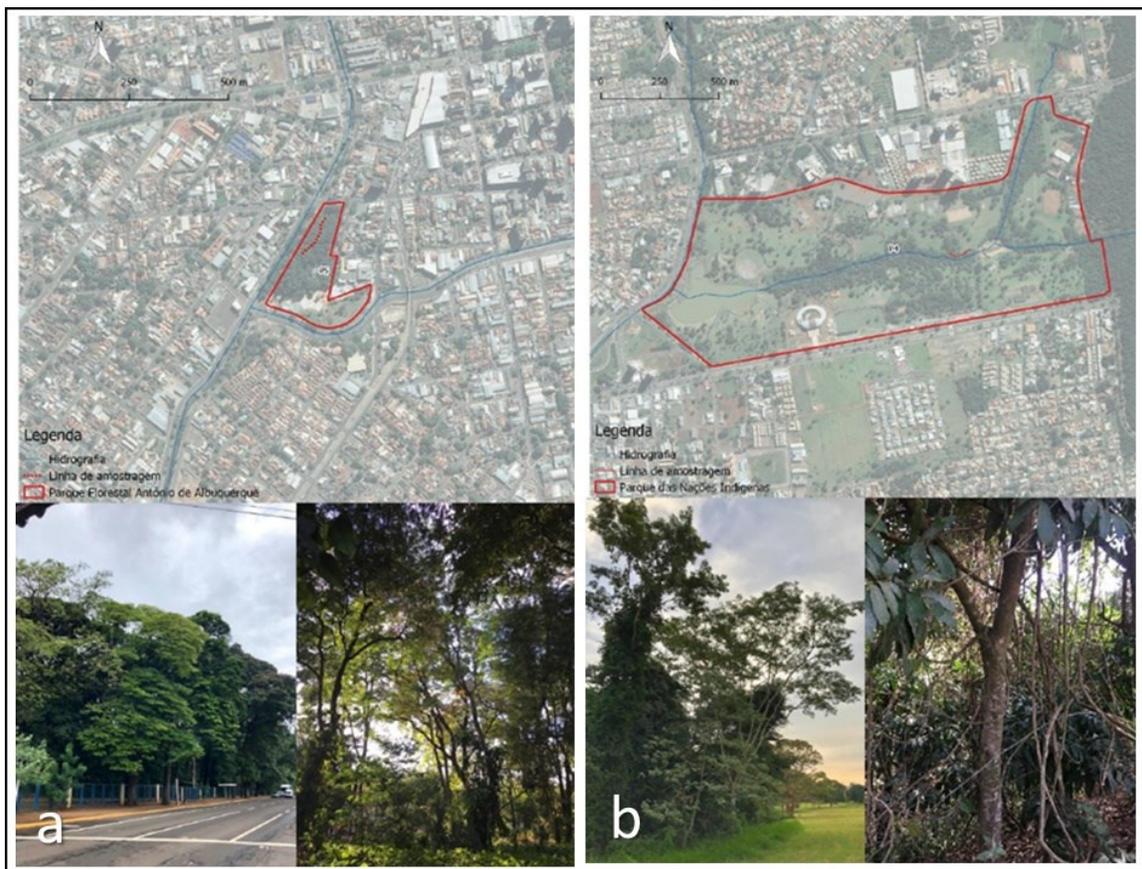


Nações Indígenas. Sua área é completamente desobstruída, permitindo o livre acesso ao córrego, e a única estrutura existente é uma pista de caminhada ao longo de todo o parque.

Criado em 2011, o Parque Linear do Imbirussu, (Figura 4.b) identificado como PL1 na Figura 3, é o EVU de implantação mais recente dentre os analisados. O Parque destina-se à recuperação do ecossistema e manutenção do equilíbrio ecológico da microbacia do córrego Imbirussu, além de suprir a carência de espaços naturais e lazer dessa região da cidade. O Parque conta com um Horto Florestal e um Centro de Educação Ambiental (CEA), onde se encontra um dos viveiros de produção de mudas para a arborização urbana.

Figura 5

a. Parque Florestal Antônio Albuquerque. No alto, a localização e a linha de amostragem ($20^{\circ}28'06''$ S/ $54^{\circ}37'21''$ O); embaixo esquerda, vista externa da área de amostragem; embaixo à direita, vegetação tipo das parcelas amostradas (vista interna do parque); **b.** Parque das Nações Indígenas. No alto, localização e linha de amostragem ($20^{\circ}27'12''$ S/ $54^{\circ}34'12''$ O); embaixo à esquerda, vista externa da área de amostragem; embaixo à direita, vegetação tipo das parcelas amostradas (vista interna do parque).



Fonte: Autores.

A Figura 5a mostra o Parque Florestal Antônio Albuquerque, também conhecido como Horto Florestal, identificado na Figura 3 como P5. O parque teve seu início em 1912 quando a área foi reservada para a Intendência, com características próprias de vegetação e onde dois braços de córregos juntam-se para formar o rio Anhanduizinho. Em 1923 foi nomeado como um



Parque, onde eram produzidas espécies que serviam para arborização da cidade de Campo Grande e vizinhança. A área conta com dependências que promovem o lazer, esporte e cultura, além de se encontrar na Zona especial de Interesse Cultural (ZEIC) de Campo Grande (PLANURB, 2017).

O Parque das Nações Indígenas, (Figura 5b), identificado como P4 na Figura 3, foi criado em 1993, a partir de desapropriação pelo Governo do Estado de várias chácaras e terrenos às margens dos córregos situados na área. É o maior parque urbano de lazer de Campo Grande, promove atividades recreativas, esportivas, educativas e culturais, contando também com museus e áreas para eventos. Parte da vegetação original de mata ciliar ao longo do córrego se encontra conservada e a maior parte da vegetação do parque consiste em gramados e árvores ornamentais e frutíferas, oriundas do projeto paisagístico.

Figura 6

Reserva Particular do Patrimônio Natural da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. No alto, localização da RPPN e a linha de amostragem (20°30'36" S/ 54°36'55" O); embaixo, à esquerda, vista externa da área de amostragem; embaixo, à direita, vegetação tipo das parcelas amostradas (vista interna do parque)



Fonte: Autores.

A Figura 6 mostra a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), sob domínio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, em Campo Grande. Foi reconhecida como Unidade de conservação (UC) em 2003, com o objetivo de preservar as condições naturais primitivas, semiprimitivas, recuperadas ou em condições de desenvolvimento, formada por Cerrado em diferentes estágios e mata ciliar. As maiores medianas de d se deram nos Parques e Áreas Protegidas como era esperado, enquanto a maior contagem se deu na



Unidade de Conservação RPPN da UFMS. As maiores medianas de d nos parques (Tabela 1a) pode ser explicado pelo fato de os EVU são, em sua maioria, mais antigos, possuindo árvores adultas. O Parque Florestal Antônio Albuquerque, com maior mediana e interquartil (intervalo entre Q2 e Q3) de d é o EVU mais antigo, criado em 1912 (PLANURB, 2017).

Análises dos dados de campo

Conforme esperado pela TME (Enquist & Bentley, 2012), a Tabela 1b demonstra que as distribuições $P(d)$ dos EVU analisados não seguem um modelo gaussiano para um nível de significância de 5%. A partir desse resultado, as análises foram embasadas em testes não-paramétricos (medianas e intervalos de interquartil).

A Figura 7 apresenta as distribuições de $P(d)$ em função de d para cada EVU analisado, evidenciando que de fato não seguem um modelo gaussiano, mas podem ser ajustadas por leis de potência, cujos parâmetros são apresentados na Tabela 3. A distribuição pode ser generalizada pela TME como $P(d) = \beta d^\alpha$ para $\alpha = -2$ (Enquist & Bentley, 2012). Os dados empíricos obtidos nos EVU avaliados apresentaram α variando de -1,228 a -2,434, portanto ao redor do valor esperado pela TME, e R^2 variando de 0,869 a 0,986 (Tabela 3). O modelo geral obtido, com base no ajuste de lei de potência para todos os EVU analisados é $P(d) = 1363,9d^{-1,616}$ (Tabela 3).

Tabela 1

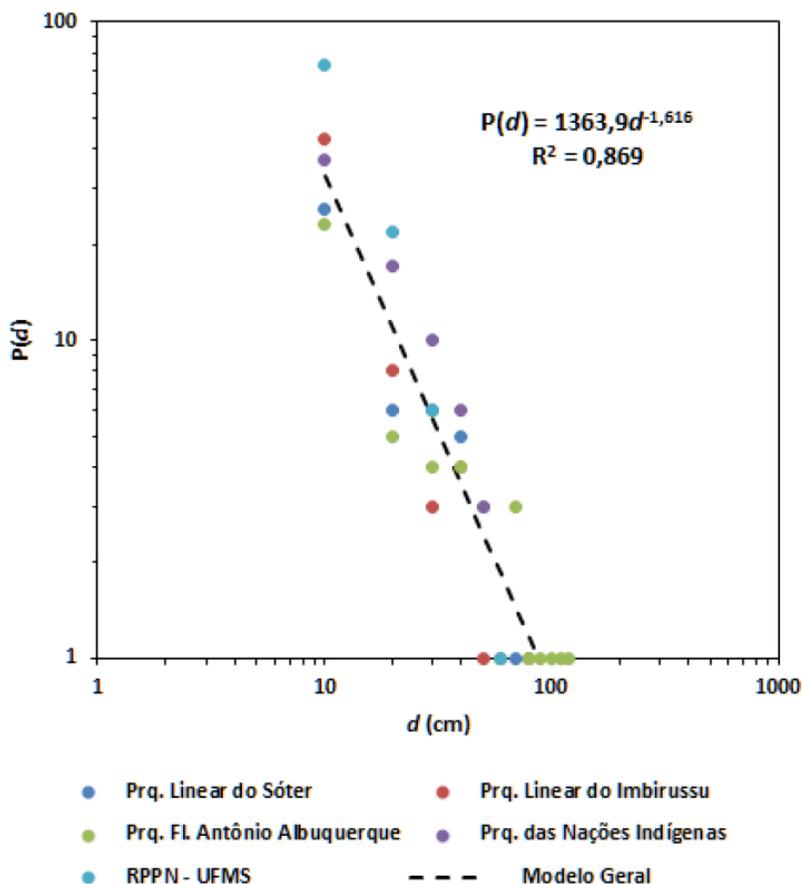
- a. Valores de medianas e quartis Q2 (25%) e Q3 (75%) para os valores de d medidos nos EVU.;
- b. Testes de normalidade da distribuição $P(d)$ das tipologias de EVU, onde Prq= parque e Fl= florestal

a	Prq. Linear do Sóter	Prq. Linear do Imbirussu	Prq. Fl. Antônio Albuquerque	Prq. das Nações Indígenas	RPPN - UFMS
n	44	61	48	73	102
Mediana	5,09	4,77	11,8	9,87	5,41
Q2	1,926	2,39	3,26	4,305	3,10
Q3	23,47	12,7	40,11	20,5	10,82

b	Prq. Linear do Sóter	Prq. Linear do Imbirussu	Prq. Fl. Antônio Albuquerque	Prq. das Nações Indígenas	RPPN - UFMS
n	44	61	48	73	102
Shapiro-Wilk W	0,7756	0,6815	0,7933	0,876	0,7363
p(normal)	<u>8,94E-07</u>	<u>3,20E-10</u>	<u>9,18E-07</u>	<u>3,33E-06</u>	<u>3,03E-12</u>
Anderson-Darling A	3,297	6,946	3,557	2,937	5,933
p(normal)	<u>2,14E-08</u>	<u>3,29E-17</u>	<u>5,04E-09</u>	<u>1,87E-07</u>	<u>1,07E-14</u>
p(Monte Carlo)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Jarque-Bera JB	37,63	128,7	19,02	14,29	951,5
p(normal)	<u>6,76E-09</u>	<u>1,16E-28</u>	<u>7,43E-05</u>	<u>0,0007868</u>	<u>2,38E-207</u>
p(Monte Carlo)	0,0011	0,0001	0,004	0,0072	0,0001

Figura 7

Frequência $P(d)$ em função de d (DAP) dos EVU analisados e ajuste da tendência (Modelo Geral) independente do EVU. (Prq= parque) e Fl= florestal.



Quanto maior o valor de d , isto é, quanto maior for o diâmetro do indivíduo, muito menor será a sua frequência em determinada área florestal. Na Figura 7 pode-se perceber que a RPPN - UFMS apresenta uma frequência maior de indivíduos com menores valores de d em relação aos demais EVU, assim como o Parque Florestal Antônio de Albuquerque apresenta uma menor frequência relativa de indivíduos menores. De certa forma isso é retratado nos expoentes estimados (Tabela 2), dado que EVU com menores valores de α (mais negativos) tendem a apresentar maior frequência de indivíduos menores ao passo que EVU com maiores valores de α (menos negativos) indicam maior frequência relativa de indivíduos maiores.



O resultado do teste KW (chi-quadrado: 18,12, p = 0,00115) sugere que ao menos uma tipologia de EVU se difere das demais em termos de d (Tabela 2). O teste post-hoc de Dunn (Tabela 2) mostra que entre os EVU de mesma tipologia, as medianas de d não se distinguem (e.g. Parque Linear do Sóter em relação ao Parque Linear do Imbirussu e Parque Florestal Antônio Albuquerque em relação ao Parque das Nações Indígenas). As tipologias Parques e Áreas Protegidas se distinguem das outras duas tipologias, sendo os Parques Lineares e a Unidade de Conservação RPPN - UFMS similares em termos de d.

Tabela 2

a. Parâmetros de regressão estatística da função P(d) = βdα para as tipologias de EVU amostradas, onde Prq=parque; b. Teste post-hoc de Dunn dos valores de d para as cinco EVU amostradas, onde Prq=Parque e Fl= florestal. Em negrito e sublinhado diferenças significativas ao nível de 5%.

a		β	α	R²		
	Prq. Linear do Sóter	799,63	-1,501	0,904		
	Prq. Linear do Imbirussu	2.654,2	-1,895	0,928		
	Prq. Florestal Antônio de Albuquerque	293,23	-1,228	0,876		
	Prq. das Nações Indígenas	1.292,7	-1,484	0,961		
	RPPN - UFMS	23.823,0	-2,434	0,986		
	Modelo Geral	1363,9	-1,616	0,869		
b		Prq. Linear do Sóter	Prq. Linear do Imbirussu	Prq. Fl. Antônio Albuquerque	Prq. das Nações Indígenas	RPPN - UFMS
	Prq. Linear do Sóter	-	0,8632	<u>0,01077</u>	<u>0,03837</u>	0,8226
	Prq. Linear do Imbirussu	-	-	<u>0,003332</u>	<u>0,01332</u>	0,9688
	Prq. Fl. Antônio Albuquerque	-	-	-	0,4609	<u>0,001069</u>
	Prq. das Nações Indígenas	-	-	-	-	<u>0,004485</u>
	RPPN - UFMS	-	-	-	-	-





A TME prevê que o expoente da lei de potência da distribuição de d pode ser um indicador de perturbações ambientais, como fogo, desmatamento ou o estágio sucessional por alterar os valores de α (ver Figura 14.12 em Enquist & Bentley, 2012). Como apresentado na Tabela 2, quanto menor (mais negativo) o valor de α , maior é a frequência de indivíduos menores e menor a ocorrência de indivíduos maiores.

Por outro prisma, a semelhança das distribuições na forma da função de distribuição de probabilidade $P(d) = \beta d^\alpha$ entre as tipologias sugere a possibilidade de estimar valores de serviços ecossistêmicos a partir de d para EVU em geral e para outras manchas de fitofisionomias de cerrado em espaços rurais dos biomas Pantanal, Cerrado e da Amazônia.

Ao analisar os resultados dos Parques e Áreas Protegidas, nota-se que, apesar da diferença de 70 anos entre a criação dos dois parques, as medianas de d não se distinguem, sinalizando que características como o nível de proteção podem ser responsáveis por semelhanças ou diferenças entre a distribuição de d em EVU. Em contraposição, a RPPN se mostrou semelhante aos Parques Lineares, apesar de distinta em sua estrutura e nível de proteção. Nesse caso, é razoável sugerir que tal semelhança resulte do fato de ambas serem matas jovens e em estágios iniciais de sucessão ecológica (Enquist et al., 1998; Enquist & Bentley, 2012).

Estimativa de Estoque de Carbono Florestal e Evapotranspiração

A partir dos valores de d obtidos em campo e o cálculo de B em um espaço delimitado, obteve-se $ECF = 0,5*B$ (em toneladas). Analogamente, estimou-se a ET Total para cada EVU baseado em relações de escala entre d e transporte de água através do xilema. Todos esses valores foram calculados com base nos valores de cobertura arbórea de cada EVU (Tabela 3a).

Os valores de d permitiram extrapolar os cálculos de ECF e ET para cada tipologia de EVU atualmente presente em Campo Grande (Tabela 3b). Os cálculos foram realizados através da estimativa da mediana e do interquartil pela agregação de valores medidos por tipologia: i) dois parques lineares, ii) dois parques florestais e iii) uma unidade de conservação.

Esta última foi agregada à tipologia de Parque Linear pois são estatisticamente indistinguíveis (Tabela 1). Salienta-se, porém, que no longo prazo e na ausência de intervenções ou mudanças drásticas, todas as tipologias deverão atingir a fase clímax da sucessão ecológica, o que poderá conferir menor variabilidade na função de distribuição de probabilidade de d entre as tipologias identificadas.

Tabela 3

a. Medianas (interquartis Q2 e Q3) de ECF e ET calculados para cada EVU analisado, onde Prq= parque; **b.** Medianas (interquartis 25% e 75%) de ECF e ET calculados para cada tipologia de EVU extrapolados para todo o município de Campo Grande. Prq= parque

Tipologias de EVU	Cobertura Arbórea (ha)	ECF (toneladas)	ET Total (m ³ /d)
Prq. Linear do Sóter	7,01	1.082,7 (556 ; 2.304,3)	500,7 (280,2 ; 897,7)
Prq. Linear do Imbirussu	71,69	15.004,1 (1.043,9 ; 41.383,1)	7.527,1 (999,7 ; 13.033,2)
Prq. Fl. Antônio Albuquerque	1,96	2.653,1 (563,9 ; 7.630,0)	628,0 (213,0 ; 1437,8)
Prq. das Nações Indígenas	19,52	3698,0 (2.143,5 ; 9.148,0)	2642,0 (1.209,1 ; 3442,7)
RPPN - UFMS	34,34	1527,1 (3.435,7 ; 9.489,6)	3480,1 (2.654,4 ; 5.518,1)

EVU	Área Total (ha)	Cobertura Arbórea (ha)	ECF (toneladas)	ET (m ³ /d)
Parques Lineares	323,5	181,9	17.507,9 (8.049,1 ; 119.508,3)	13.225,6 (8.472,6 ; 25.803,8)
Parques e Áreas Protegidas	211,6	65,2	18.908,0 (9.690,4 ; 105.241,0)	10.417,3 (6.534,0 ; 29.369,6)
Unidades de Conservação	363,1	353,2	33.995,5 (15.629,1 ; 232.052,4)	25.680,5 (16.451,4 ; 50.103,9)

Atualmente, as áreas de EVU em Campo Grande totalizam 898 hectares (2,5% da área urbana em 2010), as quais, conforme cálculos a partir dos dados das Tabela 3a e 3b, estocam entre 33.368,5 e 456.801,7 toneladas de C na forma de biomassa florestal, e são responsáveis



pela umidificação atmosférica diária da ordem de 31.458,0 a 105.277,3 m³ de água. Esse serviço florestal de umidificação atmosférica pela remoção (do excesso quando solo está encharcado ou saturado) de água intersticial do solo auxilia na redução da temperatura local, portanto ajuda a combater a formação de IUC, bem como a mitigar os impactos de enchentes.

Se a área de EVU fosse, por exemplo, quadruplicada nos próximos anos, isso representaria apenas 10% da área urbana em relação a 2010 e traria reflexos positivos em relação a sumidouros vivos de C (ECF variando entre 133 mil e 1,82 milhões de toneladas de carbono) e em relação a ET que aumentaria para valores entre 125.900 e 421.100 m³/d. Por outro lado, estudos futuros devem ser conduzidos para a identificação de espaços urbanos adequados para a implantação de novos EVU, e que incorporem também serviços socioculturais.

Tendo em vista que as mudanças climáticas (Hansen et al., 2012) devem acentuar a ocorrência de eventos extremos de chuva e de calor na região (Bergier et al., 2018), a abordagem aqui proposta, fundamentada em Ecohidrologia e Teoria Metabólica Ecológica, representa uma das soluções factíveis de implementação para a adaptação e a mitigação das emissões de gases estufa e dos impactos dessas mudanças sobre a população urbana que viverá em Campo Grande nas próximas décadas.

Conclusões

O estudo apresenta o mapeamento dos EVU e dos de seus respectivos serviços ecossistêmicos em Campo Grande, revelando a deficiência destes ambientes em certos setores da cidade. As análises estatísticas evidenciam que os valores obtidos com o levantamento de campo não seguem um modelo gaussiano, mas podem ser modelados por distribuições de leis de potência por meio da Teoria Metabólica Ecológica (TME). O estudo também revela que os serviços ecossistêmicos de regulação, traduzidos em conceitos ecohidrológicos como ECF e ET na área urbana, podem ser estimados integrando-se dados de DAP (d).





Constatou-se que a TME tem grande potencial de aplicação, mas também limitações, pois permite avaliar fluxos e estoques em um sistema apenas para intervalos (interquartis) que contém a mediana da distribuição. Isso se deve ao fato de que a distribuição de lei de potência não admite o emprego da média e do desvio padrão, mas apenas a mediana e o interquartil. Entretanto, essas incertezas estatísticas resultam da dinâmica intrínseca de sistemas complexos que se desenrolam na natureza e não da observação ou medição realizada. A plasticidade fenotípica, isto é, a manifestação macroscópica ligeiramente divergente da TME pode ser entendida como função do meio ambiente ou do estágio de sucessão ecológica. Todavia, o uso do interquartil para avaliar processos naturais com distribuição de lei de potência garante uma margem confiável de incerteza, a qual pode ser escalonada independentemente da espécie lenhosa e de seu estágio sucessional, da sazonalidade e do ambiente.

Os resultados aqui apresentados sugerem que o escalonamento de EVU de 2,5 para 10% da área urbana em Campo Grande pode ter reflexos importantes para a adaptação das futuras gerações urbanas e para a mitigação das mudanças climáticas. Para tanto, a geolocalização de novos EVU deve ser fruto de pesquisas no futuro próximo.

Referências

Bergier, I. et al. (2018). Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland.

Science of The Total Environment. 619–620: 1116-11251.

DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.11.163](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.163)

Bergier, I., Salis, S. M., & Mattos, P. P. (2016). Metabolic scaling applied to native woody

savanna species in the Pantanal of Nhecolândia. In I. Bergier, & M. L. Assine, (Eds.),

Dynamics of the Pantanal Wetland in South America. (The Handbook of environmental chemistry, v. 37) (pp. 133-144). Switzerland: Springer International Publishing. DOI:

[10.1007/698_2014_326](https://doi.org/10.1007/698_2014_326)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação





- da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006. Brasília: MMA, 2011.
- Bustamante, M. M. C., Nardoto, G. B., Pinto, A. S.; Resende, J. C. F., Takahashi, F. S. C., & Vieira, L. C. G. (2012). Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian Journal of Biology*, São Carlos, 72(3): 655-671. DOI:10.1590/S1519-69842012000400005.
- Coomes, D. A., & Allen, R. B. (2009). Testing the Metabolic Scaling Theory of tree growth. *Journal of Ecology*, 97: 1369-1373. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2010.01719.x
- Coomes, D.A, Lines, E.R., & Allen, R.B. (2011). Moving on from metabolic scaling theory: hierarchical models of tree growth and asymmetric competition for light. *Journal of Ecology*, 99: 748–756. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2011.01811.x
- Davies, Z. G., Dallimer, M., Edmondson, J. L., Leake, J. R., & Gaston, K. J. (2013). Identifying potential sources of variability between vegetation carbon storage estimates for urban areas. *Environmental Pollution.*, 183: 133-142. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.06.005
- Escobedo F., Varela, S., Zhao, M., Wagner, J. E., & Zipperer, W. (2010). Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environmental Science & Policy* 13(5): 362-372. DOI: 10.1016/j.envsci.2010.03.009
- Enquist, B. J., & Bentley, L. P. (2012). Land Plants: New Theoretical Directions and Empirical Prospects. *Metabolic Ecology: A Scaling Approach*. John Wiley and Sons.
<https://doi.org/10.1002/9781119968535.ch14>.
- Enquist, B. J., Brown, J. H., & West G. B. (1998). Allometric scaling of plant energetics and population density. *Nature*, 395: 163-165. DOI: 10.1038/25977.
- Enquist, B. J. et al. (2015). Scaling from Traits to Ecosystems: Developing a General Trait Driver Theory via Integrating Trait-Based and Metabolic Scaling Theories. *Advances in Ecological Research*, 52: 249-318. DOI: 10.1016/bs.aecr.2015.02.001



- Hammer, Ø., Harper D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 9.
http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- Hansen, J., Sato, M., & Ruedy R. (2012). Perception of climate change. *PNAS* |: E2415–E2423.
Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/109/37/E2415>>. DOI:
10.1073/pnas.1205276109
- Higa, R. C. V., Cardoso D. J., Andrade, G. de C., Zanatta, J. A., Rossi, L. M. B., Pulrolnik, K., Nicodemo, M. L. F., Garrastazu, M. C., Vasconcelos, S. S., & Salis, S. M. (2014). Protocolo de medição e soma de biomassa e carbono florestal. *EMBRAPA Florestas*.
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1011409/protocolo-de-medicao-e-estimativa-de-biomassa-e-carbono-florestal>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- Kabisch, N., Qureshi, S., & Haase D. (2015). Human–environment interactions in urban green spaces — A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. *Environmental Impact Assessment Review* 50: 25-34. DOI:
10.1016/j.eiar.2014.08.007.
- Kalberer P., & Walker M. (1994). Open Layers plugin for QGIS. Disponível em:
<https://github.com/sourcepole/qgis-openlayers-plugin>. Acesso: 09 de maio de 2019.
- NIKLAS, K. Plant Allometry: The Scaling of Form and Process. Niklas, Karl. Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press.
- Niemela, J. (2014). Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions. *Landscape and Urban Planning* 125: 298–303. DOI:
10.1016/j.landurbplan.2013.07.014
- Nowak, D. J. (1994). Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In E. G. McPherson, D. J. Nowak, R. A. Rowntree, (Eds.), *Chicago's Urban Forest Ecosystem*:



- Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. General Technical Report* (pp. 83–94). https://www.fs.usda.gov/psw/topics/urban_forestry/products/cufr_57_EM95_25.pdf
- Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116: 81-389. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00214-7
- ONU – Nações Unidas no Brasil. (2018). Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11. DOCUMENTOS TEMÁTICOS. p. 47. Brasília.
- PLANURB - Agência Municipal de Meio Ambiente e Planejamento Urbano (2017). Perfil Socioeconômico de Campo Grande/Instituto Municipal de Planejamento Urbano – PLANURB. 24. Ed. Rev. Campo Grande.
- QGIS Development Team (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>
- Salis, S. M., Lehn, C. R., Mattos, P. P., Bergier, I., & Crispim, S. M. A. (2014). Root behavior of savanna species in Brazil's Pantanal wetland. *Global Ecology and Conservation* 2: 378-384. DOI: 10.1016/j.gecco.2014.10.009
- Sampath, S. (2005). *Sampling Theory and Methods*. Alpha Science International. Harrow, UK. Ed. 2.
- Tavares, F. S. B., Bergier, I., & Guaraldo, E. (2021). Análise cienciométrica de espaços verdes urbanos e seus serviços ecossistêmicos. *Interações (Campo Grande)*, 22(1): 103-114. DOI: 10.20435/inter.v22i1.2596
- West, G. B., Brown, J. H., & Enquist, B. J. A (1997). General Model for the Origin of Allometric Scaling Laws in Biology. *Science*, 276: 122-126. DOI: 10.1126/science.276.5309.122
- West G. B., Enquist B. J., & Brown J. H. (2009a). A general quantitative theory of forest structure and dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 106(17): 7040-7045. DOI: 10.1073/pnas.0812294106.
- West G. B., Enquist B. J., & Brown J. H. (2009b). Extensions and evaluations of a general quantitative theory of forest structure and dynamics. *Proceedings of the National*



Academy of Sciences (PNAS) USA, 106(17): 7046–7051. DOI:

10.1073/pnas.0812303106