

Nota Técnica

Análise multitemporal da cobertura vegetal no plano diretor urbano de Palmas, Tocantins

Multitemporal analysis of vegetation cover in the urban master plan of Palmas, Tocantins

Nilton Gabriel Regis Ribeiro¹ 
Renato Torres Pinheiro¹ 

¹Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, TO, Brasil

RESUMO

A análise e caracterização da cobertura e uso da terra em áreas urbanas e suas mudanças ao longo do tempo são de grande relevância para o planejamento e gestão ambiental urbana. A partir de 1970, o processo de urbanização se intensificou no centro do país, havendo intensas mudanças sociais e ambientais devido à rápida e desordenada expansão urbana, promovendo intensas transformações do uso do solo no Cerrado Brasileiro. Desde então, o Cerrado tem se tornado um dos domínios mais ameaçados do mundo em função da expansão da agropecuária e da urbanização. A construção de Palmas, capital do Tocantins, ocorreu a partir de 1989 e apesar de ter sido planejada dentro de uma perspectiva socioambiental, as transformações foram intensas com retirada da cobertura vegetal nativa e acelerada implantação de infraestrutura urbana. Visando avaliar a dimensão dessas mudanças na composição e configuração do uso e cobertura da terra no Plano Diretor de Palmas, realizou-se uma análise multitemporal da paisagem urbana desde o início de sua construção até os dias atuais, mapeando e quantificando as alterações na cobertura vegetal e áreas urbanizadas, de maneira a compreender a relação entre a perda de cobertura vegetal e suas potenciais consequências para a conservação da biodiversidade local e o conforto térmico no meio urbano. Foram obtidos sete mapas temáticos mostrando que nos últimos 30 anos mais de 60% da área do Plano Diretor de Palmas já foi modificada pela ação humana. Atualmente, restam pouco mais de 37% de cobertura vegetal original, sendo 6% correspondente ao Cerrado Florestal e 31,7% ao Cerrado Típico, acarretando uma série de problemas socioambientais para a cidade, como perda de biodiversidade e formação de ilhas de calor.

Palavras-chave: Vegetação; Espécies arbóreas; Urbanização; Meio ambiente

ABSTRACT

The analysis and characterization of land cover and use in urban areas and their changes over time represent a great relevance for urban environmental planning and management. Since 1970, the urbanization process has been intensified in the center of the country, with intense social and environmental changes due to the rapid and disordered urban expansion, promoting intense land use transformations in the Brazilian Cerrado. Since then, the Cerrado has become one of the most threatened areas in the world due to the expansion of agriculture and urbanization. The construction of Palmas, capital of Tocantins, took place from 1989 and although it was planned from a socio-environmental perspective, the transformations were intense with the removal of native vegetation cover and accelerated implantation of urban infrastructure. In order to assess the extent of these changes in the composition and configuration of land use and coverage in Palmas' Urban Plan, we carried out a multitemporal analysis of the urban landscape from the beginning of its construction to the present day, mapping and quantifying changes in vegetation cover and urbanized areas, in order to understand the relationship between the loss of vegetation cover and its potential consequences for the conservation of local biodiversity and thermal comfort in the urban environment. Seven thematic maps were obtained showing that in the last 30 years, more than 60% of the area of Palmas' Urban Plan has already been modified by human action. Currently there are just over 37% of original vegetation cover, 6% corresponding to the Cerrado Forest and 31.7% to the Typical Cerrado, causing a series of socio-environmental problems for the city, such as loss of biodiversity and urban heat islands effect.

Keywords: Vegetation; Tree species; Urbanization; Environment

1 INTRODUÇÃO

As análises multitemporais permitem a avaliação de diferentes dinâmicas espaciais e o estabelecimento de trajetórias evolutivas no uso e cobertura da terra, servindo como subsídio para a compreensão, localização e dimensionamento de cada uma das mudanças (WECKMÜLLER; SLOVINSCKI; VICENS, 2013). As trajetórias evolutivas vêm sendo utilizadas como ferramenta de avaliação para auxiliar em políticas de gestão ambiental urbana ligadas às transformações resultantes do uso da terra (MENA, 2008). Essas análises são de grande relevância para o seu planejamento e gestão urbana devido aos numerosos efeitos nos sistemas ecológicos (GÓMEZ-BAGGETHUN *et al.*, 2010).

A urbanização de áreas previamente não desenvolvidas vem ocorrendo a taxas sem precedentes em todo o mundo. Atualmente, 55,3% da população mundial vive

em áreas urbanas (UNITED NATIONS, 2019), no Brasil esse contingente chega a 84,7% (IBGE, 2010). Ao mesmo tempo que promove inúmeras facilidades, as transformações do uso da terra associadas à urbanização podem ser negativas para o meio ambiente e a saúde humana, alterando os sistemas ecológicos e o microclima local (GRIMM *et al.*, 2008).

O processo de urbanização com a construção de diferentes infraestruturas humanas interfere no equilíbrio ecossistêmico e altera os sistemas naturais levando a sua degradação (GÓMEZ-BAGGETHUN *et al.*, 2010). A supressão e conversão da cobertura vegetal nativa exerce um impacto negativo na biota local, sendo responsável pela extinção de espécies e a homogeneização biótica (MCKINNEY, 2005). Entre os principais efeitos causados pela retirada da cobertura vegetal nos ambientes urbanos, destacam-se impermeabilização do solo, erosão, poluição, perda da qualidade da água, formação de ilhas de calor e comprometimento dos serviços ecossistêmicos (GÓMEZ-BAGGETHUN *et al.*, 2010).

A partir da década de 1970, ocorreram severas modificações nos padrões de ocupação do solo das cidades brasileiras, havendo intensas mudanças sociais e ambientais devido à rápida e desordenada expansão urbana. Os dados do Censo de 1970 registraram pela primeira vez que a população rural tinha sido superada pela urbana, como consequência da industrialização e a modernização da agricultura, que impulsionou o êxodo rural (BRITO; PINHO, 2012). Outra característica desse processo foi a ocupação do interior do país promovendo intensas transformações do uso do solo no Cerrado Brasileiro.

O Cerrado tornou-se um dos domínios mais ameaçados do mundo e um dos cinco *hotspots* de biodiversidade da América do Sul, tendo sua cobertura vegetal reduzida em mais de 50% nas últimas quatro décadas e a taxa de urbanização com aumento em mais de 100% (AZEVEDO *et al.*, 2011). Além disso, fatores como a construção de Brasília, o desmembramento do estado de Mato Grosso e, por fim, a

criação do estado do Tocantins, a partir da divisão de Goiás, foram fundamentais para o processo de urbanização do Cerrado, que resultaram na conformação de um espaço urbano dinâmico nessa região, embora tenham ocorrido em momentos diferentes (FERNANDES *et al.*, 2016).

Com a criação do Estado do Tocantins, foram implantadas diversas infraestruturas incluindo a construção de uma nova capital. A pedra fundamental de Palmas foi lançada no dia 20 de maio de 1989 e, em primeiro de janeiro de 1990, o município passa a ser a capital do Estado. Desde a escolha do sítio onde seria implantada a cidade houve a preocupação de integração da natureza ao espaço urbano, buscando um aproveitamento das paisagens naturais e o cuidado ambiental com a preservação de algumas áreas verdes e das matas de galeria denominadas Zonas Verdes, que deveriam ser convertidas em parques lineares; as quadras residenciais seriam dotadas de áreas verdes e praças com o objetivo de assegurar o conforto térmico e lazer necessários à população (GRUPOQUATRO, 1989; TEIXEIRA, 2009). A nova capital atraiu um grande número de pessoas dos estados vizinhos e diversas outras regiões do país, um movimento migratório que promoveu a expansão do território de forma desordenada, fugindo ao padrão previsto em seu plano diretor urbanístico (TEIXEIRA, 2009).

Ainda que tenha sido planejada dentro de uma perspectiva socioambiental (TEIXEIRA, 2009), na prática, sua implantação ocorreu com a supressão e fragmentação de áreas de vegetação nativa e a implantação de espécies arbóreas exóticas ao Cerrado (ADORNO; FIGHERA, 2005), afetando negativamente a diversidade biológica (REIS; LÓPEZ-IBORRA; PINHEIRO, 2012) e o microclima local (PAZ, 2009). A legislação ambiental municipal foi promulgada apenas em 2001, o que pode explicar em parte a omissão do poder público com relação à supressão de remanescentes de vegetação nativa em áreas verdes não edificantes.

A cidade de Palmas, por sua pouca idade e acelerado processo de urbanização,

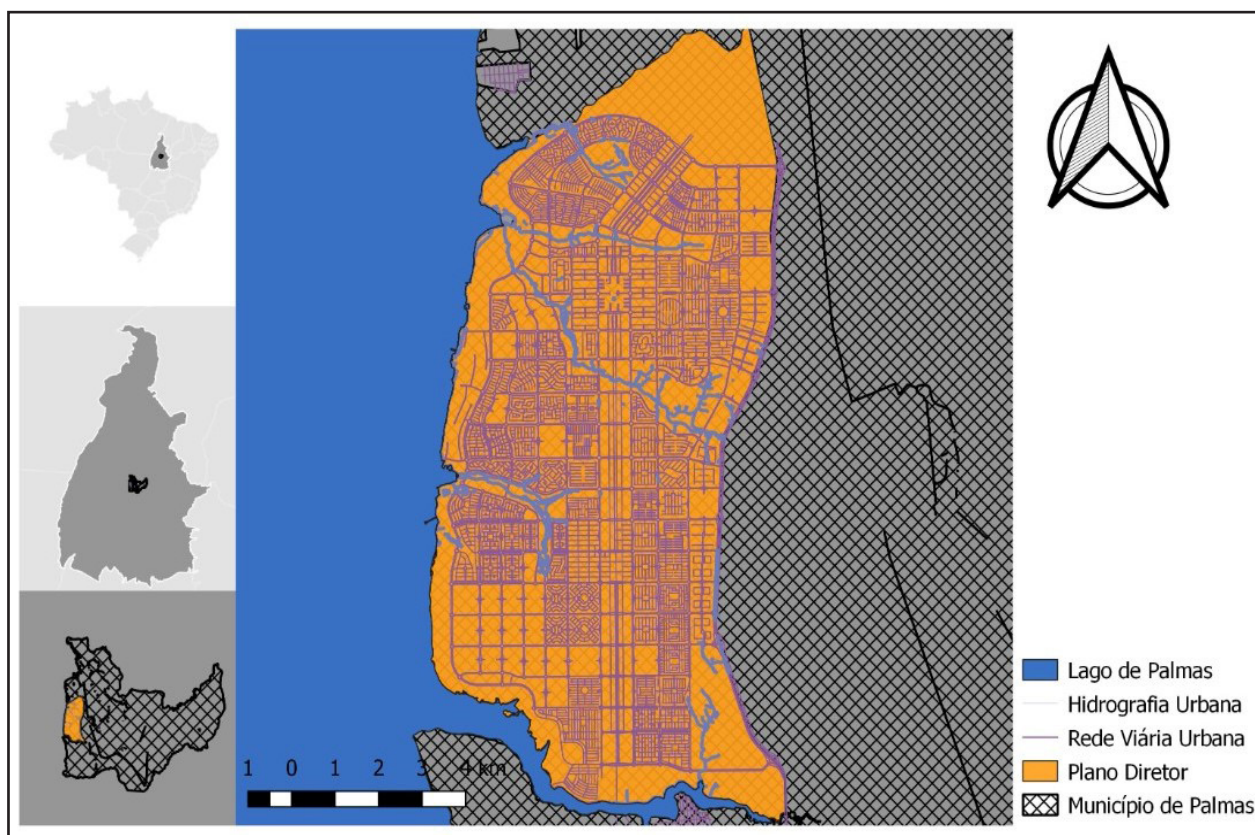
caracteriza-se como importante modelo para a compreensão das dinâmicas nas transformações da paisagem urbana. Visando avaliar a dimensão dessas mudanças na composição e configuração do uso e cobertura da terra no Plano Diretor de Palmas, realizou-se uma análise multitemporal da paisagem urbana nos últimos 30 anos, desde sua criação até os dias atuais, mapeando e quantificando as alterações na cobertura vegetal e áreas urbanizadas, de maneira a compreender a relação entre a perda de cobertura vegetal e suas potenciais consequências para a conservação da biodiversidade local e o conforto térmico no meio urbano.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Caracterização da área de estudo

A cidade de Palmas (Figura 1) está situada na região central do Estado do Tocantins e localizada no paralelo 10°11'04" Sul e do meridiano 48°20'01" Oeste. Fundada em maio de 1989, possui atualmente uma população estimada de 272.726 habitantes (IBGE, 2010). O clima na região é quente, sendo caracterizado por duas estações bem definidas: uma chuvosa, entre os meses de outubro a abril, e outra seca, entre os meses de maio a setembro. O índice pluviométrico varia de 1.500 a 1.900 mm/ano. A temperatura média anual é de 26°C, sendo setembro o mês mais quente, com média máxima de 36°C e julho o mais frio, com média mínima de 15,5°C. O Plano Diretor de Palmas tem limites bem definidos, situado entre a rodovia TO-050 e o reservatório da UHE Lajeado no Rio Tocantins, alinhados paralelamente no sentido leste-oeste, e entre os ribeirões Água Fria e Taquaruçu Grande no sentido norte-sul. Tem como vegetação predominante as formações savânicas (cerrado sentido restrito, campo cerrado) com transição para as matas de galeria do ribeirões Água Fria, Sussuapara, Brejo Comprido, Prata e Taquaruçu Grande (PALMAS, 2016).

Figura 1 – Localização do Plano Diretor de Palmas, Tocantins



Fonte: GeoPalmas (2019), adaptado por Nilton Ribeiro (2020)

2.2 Coleta e análise dos dados

Para realização do mapeamento do uso do solo do Plano Diretor de Palmas, foram utilizadas imagens de satélite da série Landsat, do acervo do Land Viewer, sendo analisadas sete imagens entre 1989 e 2018. As imagens dos anos 1989, 1994, 1999, 2004 e 2009 são do satélite Landsat 5. As demais imagens que correspondem ao ano de 2014 e 2018 são do Landsat 8. A utilização de imagens de dois satélites se deu em função do encerramento das atividades do satélite Landsat 5 em 2012.

Utilizou-se a combinação das bandas B3, B2 e B1 nas imagens Landsat 5 que corresponde às bandas do vermelho, verde, azul e também como composição RGB ou cor verdadeira. Nas imagens obtidas através do Landsat 8, as bandas B3, B4 e B5, cuja combinação de bandas corresponde ao infravermelho próximo, vermelho e verde. Essa combinação facilita o estudo de vegetação, aumentando o seu realce em relação às áreas construídas e solos expostos.

Para o processamento das imagens, utilizou-se o programa QGIS versão Desktop 2.18.24, da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) *software* gratuito e de código aberto. Na análise de uso e ocupação do solo, optou-se pela classificação supervisionada, definida como o processo no qual amostras de identidade conhecida são utilizadas para classificar *pixels* de identidade desconhecida (MORAES, 1999). Essa técnica de classificação de imagens é feita concedendo a cada *pixel*, ou conjunto de *pixels* da imagem, uma determinada classe de uso e cobertura do solo, sendo escolhido o método da distância mínima, que calcula a distância espectral entre o vetor de medida para o *pixel* candidato e a média para cada assinatura de classe, utilizando-se a medida de distância Euclidiana (Equação 1), a vantagem deste método é que nele todos os *pixels* encontrarão uma média à qual estarão espectralmente mais próximos, e assim não existirão *pixels* não classificados (MORAES, 1999).

A Equação (1) representa esse algoritmo:

$$D(x, n) = \sqrt{(x_{i[n]} - m_{i[n]})^2} \quad (1)$$

Em que: x = *pixel* candidato; m = média das classes; n = número de bandas.

Para a classificação supervisionada e o pós-processamento que inclui a vetorização e análise de precisão, foi utilizado o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), aplicação que confere funcionalidade adicional ao programa QGIS, permitindo a classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto (MORAES, 1999).

Para a avaliação da precisão da imagem final, produzida no processo de classificação supervisionada, adotou-se o índice Kappa (Equação 2). Esse índice é um dos principais métodos utilizados para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático. A grande vantagem do uso da estatística Kappa é que, no cálculo do coeficiente Kappa, incluem-se todos os elementos da matriz de erro. A estatística Kappa varia de 0 a 1, em que um valor de Kappa igual a zero sugere que

a classificação não é melhor do que uma classificação aleatória dos *pixels* e um valor igual a um sugere um processo de classificação altamente eficiente (MORAES, 1999).

$$Kappa = N * \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i*} * x_{*i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i*} * x_{*i})} \quad (2)$$

Em que: K= índice de exatidão Kappa; r = número de linhas da matriz; x_{ii} = número de observações no i-ésimo elemento diagonal principal; x_{i*} e x_{*i} = totais marginais da linha i e coluna i, respectivamente; N = número total de observações.

Na análise da dinâmica temporal de uso e ocupação do solo do Plano Diretor de Palmas, as áreas foram divididas em quatro classes, duas relativas à vegetação: classe 1 - cerrado florestal, classe 2 - cerrado típico e duas referentes às áreas antropizadas: classe 3 - áreas urbanizadas e classe 4 - solo exposto.

Classe 1 – Cerrado florestal: no presente estudo está representado pelas matas de galeria, formações florestais adjacentes aos pequenos rios e córregos, formando corredores fechados sobre os cursos d'água. As matas de galeria compõem um amplo corredor florestal no sentido noroeste-sudeste que atravessa o Cerrado e conecta-se a duas maiores florestas neotropicais: Amazônia e Mata Atlântica. Funcionam como uma barreira natural contra a contaminação dos recursos hídricos por sedimentos, resíduos e efluentes e desempenham importante papel, como refúgio para a fauna durante a estação seca e corredor para sua dispersão (FERNANDES *et al.*, 2016). No Plano Diretor de Palmas, as matas de galeria estão situadas ao longo dos córregos Água Fria, Sussuapara, Brejo Comprido, Prata e Taquaruçu Grande, que cortam a área urbana no sentido leste-oeste.

Classe 2 – Cerrado típico: no presente estudo representado pelas formações savânicas do Cerrado, que ocupam mais de 60% de sua paisagem, sendo considerada a fisionomia mais comum e marcante do domínio. É caracterizado pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas. Apresenta variações fisionômicas que

variam com relação ao tipo de solo, densidade e espaçamento do componente lenhoso, sendo diferenciado em cerrado ralo, cerrado típico e cerrado denso. Ocorre sobre solos profundos, distróficos, bem drenados e em relevo plano a suavemente ondulado, predominantemente Latossolos (FERNANDES *et al.*, 2016). No Plano Diretor de Palmas, as áreas de cerrado típico formam a matriz da paisagem, preenchendo os espaços naturais entre os fundos de vale.

Classe 3 – Área urbanizada: espaço preenchido por construções, vias e espaços verdes, ao qual corresponde uma densidade populacional relativamente elevada. Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, predominando as superfícies artificiais não agrícolas (FERNANDES; TRIGAL; SPOSITO, 2016). No Plano Diretor de Palmas, compreendem as vias e áreas edificadas.

Classe 4 – Solo exposto: são áreas desprovidas de cobertura vegetal, não naturais e que não estão incluídas como de uso agrícola (IBGE, 2006). No Plano Diretor de Palmas, compreendem as áreas nas quais a cobertura vegetal nativa foi suprimida, não havendo edificações ou qualquer infraestrutura.

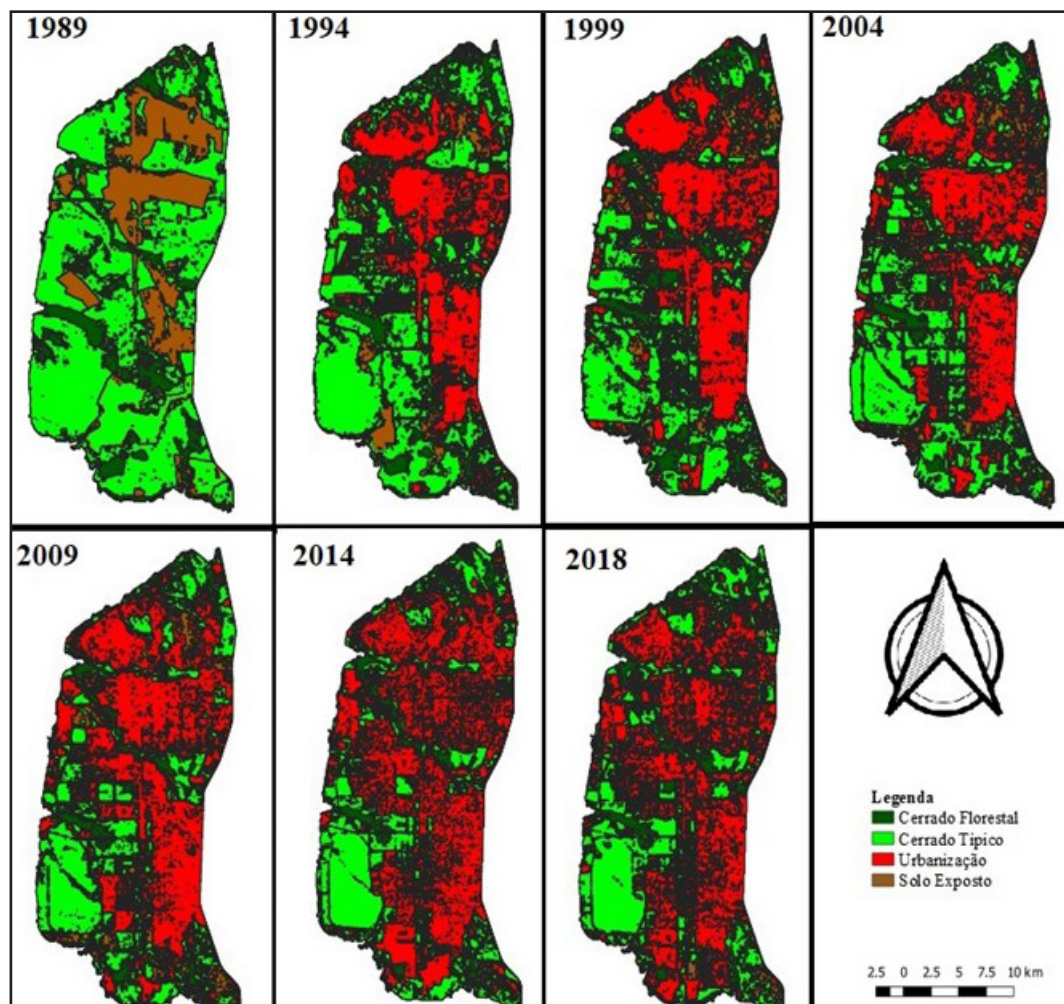
Para medir a variação no uso da terra entre os anos, realizou-se uma análise de variância (ANOVA), seguida de teste *a posteriori* de Tukey, a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS

3.1 Análise Multitemporal de uso do solo

Foram obtidos sete mapas temáticos, com a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum planimétrico WGS 1984 da cobertura e uso da terra do Plano Diretor de Palmas, ao longo de 30 anos, correspondendo aos anos de 1989, 1994, 1999, 2004, 2009, 2014 e 2018 (Figura 2). Para efeito de validação do mapeamento, foram coletados aleatoriamente em campo 50 pontos amostrais utilizados para o cálculo do coeficiente de Kappa, cujo valor igual a 0,83 considera a amostragem excelente, de acordo com a escala elaborada por Landis e Kock (1977).

Figura 2 – Síntese da evolução das transformações na cobertura e uso da terra no Plano Diretor Urbano de Palmas entre 1989 e 2018



Fonte: Autores (2020)

Desde a implantação do Plano Diretor de Palmas, percebe-se uma considerável alteração na paisagem, na qual as áreas de cobertura vegetal nativa são substituídas por áreas urbanizadas. Da área total mapeada (10.328,72 ha), atualmente restam pouco mais de 37% de cobertura vegetal original, sendo 6% correspondente ao Cerrado Florestal e 31,7% ao Cerrado Típico, ou seja, passados 30 anos desde o início do processo de urbanização, mais de 60% da área do Plano Diretor de Palmas foi modificada pela ação humana (Tabela 1). O processo de perda da cobertura vegetal e modificação da paisagem do Plano Diretor variou consideravelmente ao longo dos últimos 30 anos, havendo uma redução altamente significativa de sua cobertura ($p < 0,001$) e incremento da área urbanizada ($p < 0,001$).

Tabela 1 – Classes de uso da terra, área (ha) e porcentagem de ocupação de cada classe no Plano Diretor de Palmas entre 1989 e 2018

Ano	1989		1994		1999		2004		2009		2014		2018	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
CF	1380,04	13,36	766,06	7,41	761,86	7,37	711,22	6,89	634,94	6,15	630,00	6,09	625,46	6,05
CT	6089,35	58,95	4212,42	40,78	4010,74	38,83	3912,51	37,88	3344,81	32,39	3302,36	31,98	3278,21	31,73
UR	0,00	0,00	3465,88	33,56	3822,69	37,02	4015,28	38,88	4712,97	45,63	4787,39	46,36	4817,11	46,66
SE	2859,32	27,69	1884,35	18,25	1733,42	16,78	1689,72	16,35	1635,98	15,83	1608,96	15,57	1607,93	15,56

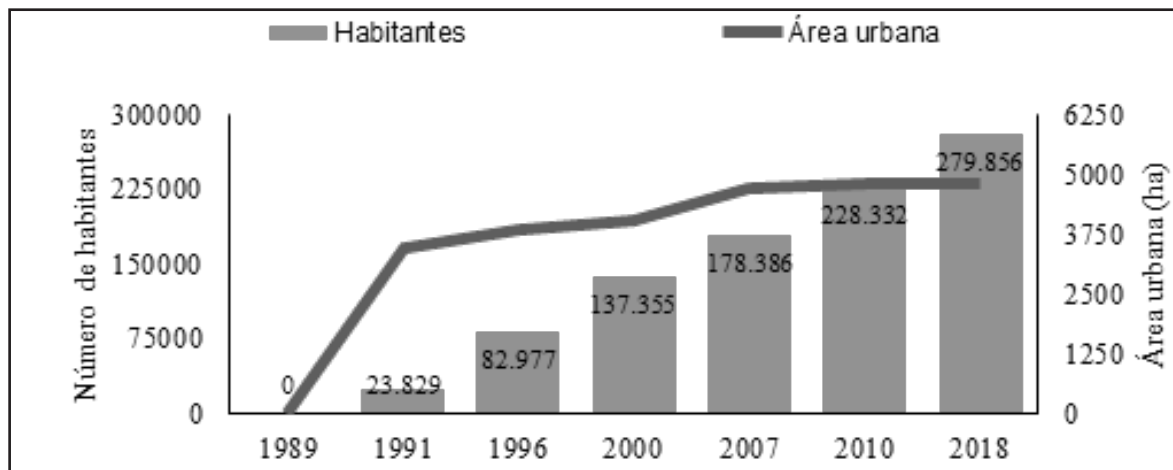
Fonte: Autores (2020)

Em que: CF = cerrado florestal, CT = cerrado típico, UR = urbanização e SE = solo exposto.

Em 1989, período anterior ao início das obras de construção da nova capital, a classe “área urbanizada” não existia. O local era ocupado por propriedades rurais cujos espaços modificados pela agropecuária, aqui caracterizados como áreas de solo exposto, ocupavam 27,7% da área do futuro Plano Diretor de Palmas. No entanto, percebe-se um aumento considerável da urbanização já nos primeiros anos após o início da construção da cidade. Entre 1989 e 1994, a área urbanizada e de solo exposto juntas ocupavam um pouco mais de 50% da área do Plano Diretor, período que corresponde ao de maior incremento populacional, quando o número de habitantes triplicou (Figura 3). Esse também foi o período de maior supressão da cobertura vegetal nativa, passando de 7.469,4 ha para 4.978,5 ha, uma redução de mais de 33% nos primeiros cinco anos de implantação da cidade.

Entre 1994 e 2004, o crescimento da urbanização foi consideravelmente menor, correspondendo a 5,3% e a perda de cobertura vegetal, em torno de 7,0%. Porém, entre 2004 e 2009, a área urbana experimentou um novo crescimento, que resultou na supressão de 644 hectares de cobertura vegetal nativa. Ainda que inferior ao apresentado nos primeiros anos, foi o mais representativo desde então (Tabela 1).

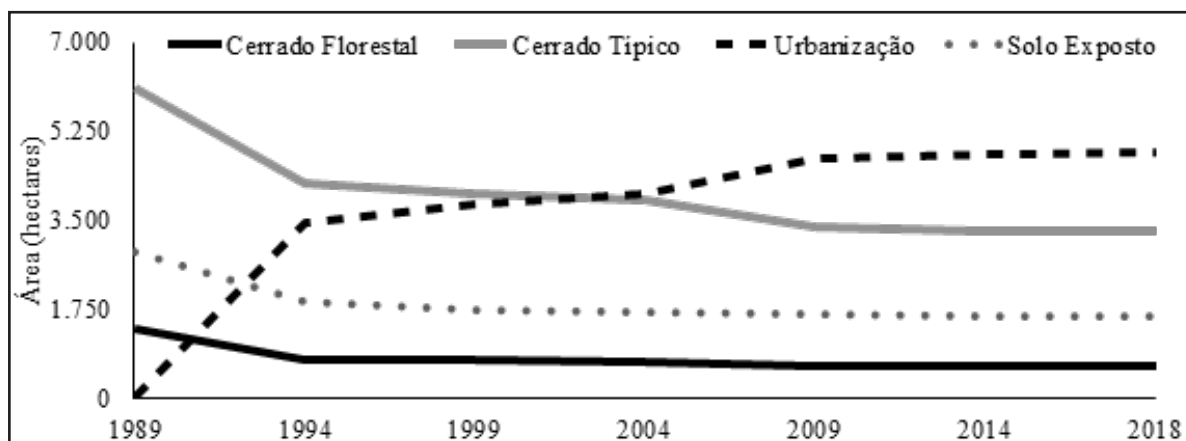
Figura 3 – Variação no número de habitantes e da área urbanizada do Plano Diretor de Palmas, entre 1989 e 2018



Fonte: Autores (2020)

A partir de 2014 até 2018, o incremento da área urbana e a supressão da cobertura vegetal foram sendo reduzidos, não ocorrendo nenhuma grande transformação nessas classes, tendo em vista que a oferta de áreas disponíveis para expansão urbana tende a diminuir à medida que os espaços vão sendo ocupados e/ou transformados (Figura 4).

Figura 4 – Modificação do uso e ocupação do solo no Plano Diretor de Palmas no período entre 1989 e 2018



Fonte: Autores (2020)

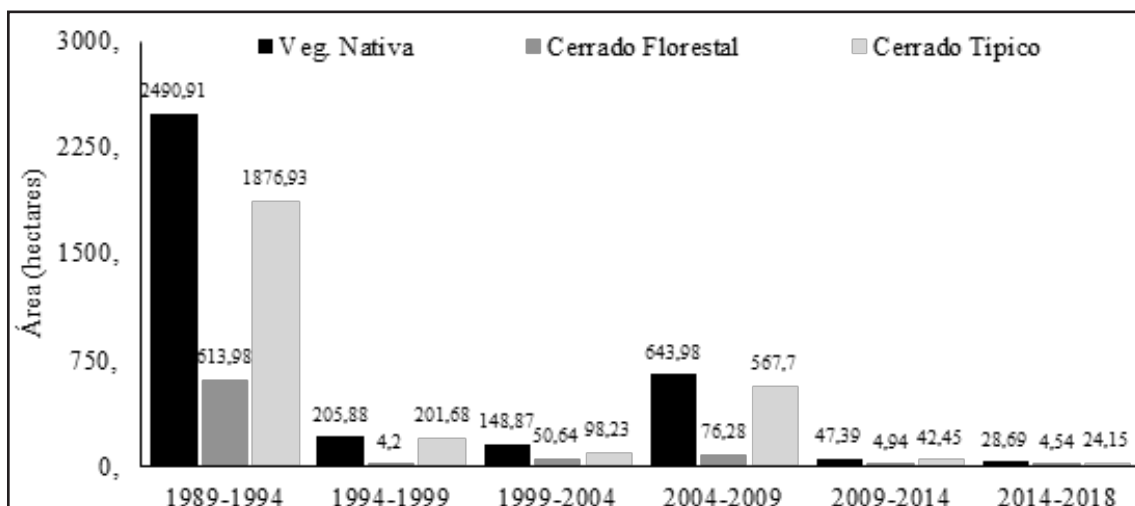
3.2 Cerrado Florestal

Os fundos de vale e as margens dos córregos ocupadas por cerrado florestal (mata de galeria) correspondiam a 13,4% da área do Plano Diretor em 1989 (Tabela 1). O maior percentual de perda ocorreu nos primeiros anos entre 1989-1994, sendo suprimida quase metade da cobertura desta fitofisionomia (613,9 ha). Entre 1994 e 1999, a retirada de áreas florestadas manteve-se relativamente baixa até apresentar um novo pico entre 2004-2009, quando mais de 10% de sua área remanescente foi retirada. A partir desse período, a proporção de perda foi diminuindo, restando 45,3% de sua cobertura original em 2018 (Figura 5).

3.3 Cerrado Típico

As áreas de cerrado típico dominavam a paisagem, ocupando mais da metade (58,9%) da cobertura do solo no Plano Diretor de Palmas em 1989. A maior taxa de perda desta fisionomia ocorreu nos primeiros anos, entre 1989-1994, com uma redução de 30,8% ou 1.877 ha. A área suprimida foi diminuindo entre 1994-2004, porém voltou a crescer entre 2004-2009, alcançando 14,5% (567,7 ha). A partir desse período, seguiu uma tendência de redução, restando, em 2018, 31,7% de sua área original no Plano Diretor (Figura 5).

Figura 5 – Redução da cobertura vegetal nativa, cerrado florestal e cerrado típico no Plano Diretor Urbano de Palmas em intervalos de cinco anos no período entre 1989 e 2018



Fonte: Autores (2020)

3.4 Áreas Antropizadas

A área urbanizada atualmente ocupa 46,6% (4.817,11 ha) do total da área do Plano Diretor de Palmas. Inversamente ao que ocorreu com a cobertura vegetal, a urbanização expandiu durante todos os anos, entretanto evidenciam-se dois picos de crescimento. O primeiro ocorreu nos cinco primeiros anos, entre 1989-1994, durante os estágios iniciais de implantação da capital tocantinense, quando passou a ocupar aproximadamente 30% da área do Plano Diretor e entre os anos de 2004-2009 quando houve um incremento de 697,7 ha, atingindo 45,6% da área do Plano Diretor (Tabela 1).

Por outro lado, as áreas de solo exposto foram sendo gradativamente ocupadas pela urbanização, seguindo o mesmo padrão da vegetação, com uma redução considerável nos primeiros anos, 1989-2004, para a construção e implementação das infraestruturas da cidade. Atualmente, o percentual de solo exposto ainda é alto e corresponde às áreas abertas para expansão urbana, ocupando 15,6% da área do Plano Diretor de Palmas (Tabela 1).

4 DISCUSSÃO

O distanciamento entre o que foi planejado e implantado em Palmas - TO já ficou marcado nos primeiros anos. No período entre 1989 e 1994, a área urbanizada e de solo exposto ocupavam juntas um pouco mais de 50% da área do Plano Diretor, enquanto a cobertura vegetal autóctone apresentou uma redução de mais de 33%. Segundo Adorno e Fighera (2005), com o início da construção de Palmas - TO, houve a supressão indiscriminada de extensas áreas de cobertura vegetal nativa pelas obras do governo, provocando erosão do solo e desconforto térmico/ambiental. Nesse período, os desmatamentos ilegais também já atingiam as nascentes dos córregos que cortam a cidade (LIRA, 2005).

O processo de implantação e urbanização da cidade de Palmas negligenciou a importância da cobertura vegetal, sendo esta removida indistintamente desde os

primeiros anos. Dentre os fatores que potencialmente influenciaram na perda inicial da cobertura vegetal nativa, destaca-se a ausência ou não cumprimento da legislação ambiental. A primeira versão do Plano Diretor de Palmas definiu como parte de sua estrutura urbana um sistema de parques lineares urbanos (GRUPOQUATRO, 1989), porém, até hoje, esta não foi implementada. A denominação e a delimitação das áreas verdes públicas ocorreram apenas em 1993 com a definição das áreas de preservação permanentes urbanas (APPs), que incluiu a vegetação situada ao longo dos ribeirões que cortam a cidade e a margem do reservatório da UHE Lajeado.

As áreas verdes urbanas são elementos estratégicos para a regulação dos sistemas naturais auxiliando no controle de erosões, drenagem, umidade, sombreamento, redução da poluição, temperatura e valorização da paisagem estética, contribuindo com a melhoria do conforto térmico humano e bem-estar da população (ABREU; LABAKI, 2010). O tamanho das áreas verdes e as características das espécies vegetais remanescentes influenciam o microclima urbano e a fauna local, interferindo na riqueza de espécies polinizadoras, como as abelhas e dispersoras de sementes, como as aves (BRUN; LINK; BRUN, 2007). Além disso, existe uma relação direta entre a extensão e a magnitude das áreas verdes e a melhoria do clima urbano; nesse contexto, as formações florestais possuem maior capacidade de interceptar a radiação solar e aumentar a evapotranspiração, diminuindo a temperatura do ar (ABREU; LABAKI, 2010). Por outro lado, nas áreas mais urbanizadas, a incidência de radiação solar ao longo do dia sobre superfícies com alta capacidade térmica elevam a temperatura do ar, influenciando na formação de ilhas de calor (BARROS; LOMBARDO, 2012).

Em Palmas – TO, a supressão da cobertura vegetal na área do Plano Diretor criou um mosaico de ambientes compostos por áreas verdes lineares contínuas, formado pelas matas de galeria e fragmentos de cerrado típico, isolados e intercalados com uma matriz urbanizada constituída por áreas edificadas e de solo exposto. Em um estudo comparando o ritmo climático e o conforto térmico em Palmas - TO, Silva e Souza (2019) mostraram haver fenômenos característicos de ilhas de calor, com

maior temperatura, maior número de episódios de calor excessivo, período seco mais extenso e menor precipitação e ventilação, no ano de 2013, quando comparado a 1997. Esses autores concluíram que essas mudanças estariam potencialmente vinculadas ao aumento da urbanização da cidade no período analisado.

Em Palmas, percebe-se, na legislação municipal, que apenas as formações vegetais ripárias foram protegidas, contrariando o pressuposto no planejamento inicial, que previu o estabelecimento de áreas verdes não edificantes nas quadras, compostas por cerrado típico. De acordo com o zoneamento de usos do Plano Diretor (GRUPOQUATRO, 1989), as áreas verdes da capital ocupariam 2.640 ha ou 24% da superfície do Plano Diretor. Na atualidade, restam 37,8%, sendo 6,1% de cerrado florestal (matas de galeria) e 31,7% de cerrado típico (cerrado sentido restrito). Em apenas 30 anos de ocupação, a cobertura vegetal remanescente já se aproxima do percentual definitivo planejado e talvez já houvesse alcançado esse limite caso um conjunto de quadras localizadas na região sudoeste do Plano Diretor tivesse sido implantado. Essa área de cerrado típico, com aproximadamente 750 hectares, todavia, não foi urbanizada devido a questões fundiárias legais ou especulação imobiliária. Com a supressão dessa vegetação, que seguramente ocorrerá em um futuro próximo, as áreas verdes do Plano Diretor ficarão aquém daquela originalmente planejada.

4.1 Cerrado Florestal

Apesar da percepção dos planejadores da cidade e poder público sobre a importância de manutenção das matas de galeria presentes nas áreas de preservação permanente urbanas, entre 1989-2004 quase metade da cobertura desta fisionomia foi suprimida. De acordo com Adorno e Figuera (2005), em 2002 restavam apenas 44,8% das matas de galeria no entorno dos ribeirões Sussuapara, Prata, Brejo Comprido e Taquaruçu. Esses valores são preocupantes considerando-se todos os atributos positivos relacionados às formações florestais e a importância dada a ela no planejamento da cidade.

As matas de galeria funcionam como corredores naturais promovendo a conectividade e o fluxo gênico entre populações, sendo considerados os ambientes de maior diversidade do Cerrado e desempenham um papel fundamental, como refúgio para a fauna, principalmente durante a estação seca, além de reduzir a contaminação dos cursos hídricos, o assoreamento, os processos erosivos e atuar como barreira física, regulando os sistemas de trocas entre o meio terrestre e aquático (FERNANDES *et al.*, 2016).

Atualmente, mesmo protegidas pela legislação Federal e Municipal, restam pouco mais de 40% da cobertura original das matas de galeria do Plano Diretor de Palmas, o que coloca em risco a conservação da biodiversidade urbana e dos serviços ambientais. Pinheiro *et al.* (2008) demonstraram que as matas de galeria da área urbana de Palmas - TO são ambientes de elevada diversidade biológica, os córregos Prata e Brejo Comprido possuem respectivamente 210 e 150 espécies de aves, porém alertam que sua cobertura vegetal vem sendo sistematicamente reduzida pelo desmatamento e queimadas regulares.

As matas de galeria também exercem um importante papel no controle do microclima urbano, fornecendo sombra, resfriando o ar, aumentando a umidade e proporcionando conforto térmico. Em estudo na cidade de Jataí - GO, Melo e Dias (2019) mostraram que a Mata do Açude proporcionou um microclima mais confortável que as demais áreas verdes analisadas devido a sua forma, presença de curso d'água e arquitetura da copa. Paz (2009) avaliou o microclima da região central de Palmas - TO demonstrando que a área de menor temperatura média mínima estava situada na margem do ribeirão Brejo Comprido. As áreas de vegetação florestal densa e estratificada presentes nas áreas protegidas do Plano Diretor são importantes não apenas para conservação da fauna e flora urbanas, como também para melhoria das condições térmicas no meio urbano.

Em Palmas, apesar da criação de diversas leis ambientais, percebe-se um novo incremento na supressão dessas áreas entre 2004-2009, quando mais de 10% de sua

cobertura remanescente foi retirada para implantação de obras de infraestrutura públicas e privadas, como a abertura de avenidas e construção de um *shopping center* na margem do córrego Brejo Comprido.

É notório que o desmatamento deve-se em parte à omissão e inoperância do poder público e pela passividade e desconhecimento dos problemas ambientais pela comunidade. Em Palmas - TO, as áreas protegidas inominadas criadas e não implantadas pelo poder público municipal não cumprem o seu papel, havendo diversas ações antrópicas nessas áreas “protegidas” do Plano Diretor, como o desmatamento, queimadas recorrentes, deposição de resíduos sólidos, caça e pesca furtivas, erosão e captação irregular de água que comprometem sua sustentabilidade (CORIOLANO; PINHEIRO, 2011).

4.2 Cerrado típico

O cerrado típico ou senso restrito é a fisionomia predominante e característica do domínio do Cerrado, porém vem sofrendo perda e degradação acelerada pela agropecuária e urbanização. No Plano Diretor de Palmas, esta fisionomia cobria originalmente em torno de 60% da sua superfície, porém o processo de terras arrasadas que caracterizou os primeiros estágios de “desenvolvimento” da cidade suprimiu entre 1989-1994 cerca de 30% de sua cobertura original, o que também impactou negativamente as comunidades naturais e o microclima local, reduzindo a biodiversidade, aumentando a quantidade de partículas em suspensão no ar e o desconforto térmico. O calor extremo e a poeira eram as principais queixas da população palmense nos primeiros anos de implantação da nova capital.

Segundo Adorno e Fighera (2005), nos primeiros 12 anos de implantação de Palmas - TO, o cerrado típico apresentou uma redução drástica sendo transformado em áreas antropizadas em função de estar sobreposta à malha urbana. Os mesmos autores salientam ainda a ausência de áreas verdadeiramente arborizadas nas quadras, destacando a inexistência de complexos vegetacionais densos que promovam

o aumento da umidade relativa do ar, gerando um microclima mais ameno e melhor conforto térmico para a população, contrariando o previsto no Plano Urbanístico Básico.

Na atualidade, a cobertura remanescente de cerrado típico do Plano Diretor de Palmas é disjunta, restando pouco mais de 30% de sua área original. Estudos têm demonstrado o importante papel da cobertura vegetal urbana na redução dos níveis de poluição, ilhas de calor e gases de efeito estufa (BARÓ *et al.*, 2014). Segundo Paz (2009), os principais fatores responsáveis pela formação de ilhas de calor em Palmas – TO se deve à insuficiência de áreas com vegetação abundante, grandes áreas de solo impermeabilizado e modificação da direção dos ventos, sendo a temperatura do ar mais elevada nas regiões mais densamente ocupadas. Além disso, o diagnóstico da arborização urbana de Palmas mostrou que a cobertura vegetal nas regiões da cidade em que se formam as ilhas de calor, estão em geral, abaixo da média recomendada pela literatura (PALMAS, 2016).

Não é apenas a perda de cobertura vegetal que compromete a eficácia e reduz a qualidade do ambiente. A redução da diversidade arbórea exerce influência direta na eficiência e qualidade dos serviços ambientais, repercutindo na qualidade do ar ou na promoção da saúde (GÓMEZ-BAGGETHUN *et al.*, 2010). Reis, López-Iborra e Pinheiro (2012) identificaram que 66% da cobertura vegetal nativa encontravam-se nas quadras não urbanizadas e apenas 10% nas quadras urbanizadas, evidenciando a enorme redução da cobertura vegetal nativa na cidade e suas consequências para biota urbana. De acordo com o Plano de Arborização Urbana de Palmas (PALMAS, 2016), existe um *deficit* de aproximadamente 100 mil árvores nas áreas verdes não edificantes do Plano Diretor.

A arborização urbana apresenta-se como um elemento diferenciado na paisagem em função dos inúmeros bens e serviços que repercutem positivamente do ponto de vista social, ambiental, econômico e cultural para a população (GÓMEZ-BAGGETHUN *et al.*, 2010). A supressão das espécies arbóreas nativas nas áreas de cerrado típico e o incremento das áreas edificadas também promoveram uma redução significativa na riqueza de aves nas áreas urbanizadas de Palmas. Segundo Reis, López-Iborra

e Pinheiro (2012), apenas 45% das 150 espécies de aves com ocorrência estimada para as quadras do Plano Diretor estão presentes nas quadras urbanizadas, esse percentual sobe para 91,6% nas quadras não urbanizadas formadas por fragmentos remanescentes de cerrado típico. Diversos estudos têm demonstrado que as áreas urbanizadas afetam negativamente a riqueza de aves devido à maior densidade de pessoas, veículos, ruído e ausência de vegetação (ORTEGA-ÁLVAREZ; MACGREGOR-FORS, 2009).

Os remanescentes de cerrado nativo das áreas verdes não edificantes das quadras de Palmas também possuem elevada importância do ponto de vista socioeconômico. Pinheiro, Marcelino e Moura (2018) encontraram uma grande diversidade de espécies arbóreas nessas áreas verdes e analisaram seu caráter multifuncional, mostrando que 54,5% das 182 espécies arbóreas inventariadas são nativas do cerrado, 82,8% possuem propriedades medicinais, 44,5% são utilizadas na alimentação humana e 77,8% consideradas úteis para a fauna.

5 CONCLUSÃO

Em Palmas - TO, a supressão de mais de 60% da cobertura vegetal do Plano Diretor em apenas 30 anos pode estar relacionada a diversos problemas socioambientais identificados na cidade. Grande parte dos remanescentes de vegetação do Plano Diretor, em especial de cerrado típico, estão comprometidos. Em um futuro bem próximo, restarão apenas as áreas de mata ciliar protegidas que hoje correspondem a 6,1% e os fragmentos isolados de cerrado típico das áreas verdes não edificantes das quadras residenciais, muitos já suprimidos ou degradados, não alcançando os 24% previstos em seu planejamento original.

Visando mitigar os efeitos negativos da supressão vegetal, torna-se urgente a implantação das estruturas ecológicas previstas pelo Plano de Arborização Urbana de Palmas e do Sistema Municipal de Infraestrutura Verde criado pelo Plano Diretor Participativo do Município de Palmas. Somente ações coordenadas e comprometidas poderão minimizar no médio e longo prazo os impactos negativos da ausência de

cobertura vegetal no Plano Diretor de Palmas e mitigar os efeitos das altas temperaturas, melhorando o conforto térmico e tornando Palmas - TO uma cidade diferenciada no contexto nacional, como planejado.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de Mestrado concedida a NGRR e a Dianas Gomes Marcelino pela revisão do manuscrito.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L.; LABAKI, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, 2010.
- ADORNO, L. F. M.; FIGHERA, D. R. A. Trajetória da política ambiental de Palmas enquanto capital ecológica. In: ALMEIDA, M. D. de (org.). **Tantos cerrados**. Goiânia: Vieira, 2005. v. 1. p. 205-223.
- AZEVEDO, M. C. X. A. *et al.* Avaliação da taxa de urbanização do Bioma Cerrado através dos produtos DMSP-OLS: uma análise preliminar para os anos de 1992 a 2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011. **Anais [...]**. Curitiba: INPE, 2011. p. 6757-6762.
- BARÓ, F. *et al.* Contribution to ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forests in Barcelona, Spain. **AMBIO**, Suécia, v. 43, n. 4, p. 466-479, 2014.
- BARROS, H. R.; LOMBARDO, A. M. A Relação entre ilhas de calor urbana, ocupação do solo e morfologia urbana na cidade do Recife. **Revista Geonorte**, [s. l.], v. 3, n. 9, p. 65-76, 2012.
- BRITO, F. A.; PINHO, B. A. T. D. Dinâmica do processo de urbanização no Brasil, 1940-2010. **Texto para Discussão**, Belo Horizonte, v. 1, n. 464, p. 1-19, dez. 2012.
- BRUN, F. G. K.; LINK, D.; BRUN, E. J. O emprego da arborização na manutenção da biodiversidade de fauna em áreas urbanas. **REVSBAU**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 117-127, 2007.
- CORIOLOANO, C. P.; PINHEIRO, R. T. Unidades de conservação em área urbana: o (des)caso de Palmas-TO. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, v. 16, n. 3002, set. 2011.
- FERNANDES, J. A. R.; TRIGAL, L. L.; SPOSITO, E. S. **Dicionário de geografia aplicada: terminologia da análise, do planejamento e da gestão do território**. [S. l.]: Porto Editora, 2016. 568 p.
- FERNANDES, G. W. *et al.* **Cerrado: em busca de soluções sustentáveis**. Rio de Janeiro: Vertente Produções Artísticas, 2016. p. 212.

GEOPALMAS. **[Sistema de Informações Geográficas de Palmas]**. Palmas, [2019]. Disponível em: <https://geopalmasweb.wixsite.com/geopalmas>. Acesso em: 10 ago. 2019.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E. *et al.* The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 69, n. 6, p. 1209-1218, 2010.

GRIMM, N. B. *et al.* Global change and the ecology of cities. **Science**, [s. l.], v. 319, p. 756-60, 2008.

GRUPOQUATRO. **Memorial do projeto da capital do estado do Tocantins: Palmas/Plano Básico**. Goiânia: [s. n.], 1989. Disponível em: <http://www.fernandoteixeira.com.br/site/>. Acesso em: 01 ago. 2019.

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro, [2010]. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 07 ago. 2019.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LIRA, E. R. A Produção do Espaço de Palmas: “comprometer para desenvolver”. **Produção Acadêmica**, Porto Nacional, v. 2, n. 2, p. 157-171, jan. 2005.

MCKINNEY, M. L. New Pangea: homogenizing the future biosphere. **Proceedings of the California Academy of Sciences**, [s. l.], v. 56, n. 11, p. 119-129, 2005.

MELO, B. M.; DIAS, D. P. Microclima e conforto térmico de remanescentes florestais urbanos no município de Jataí-GO. **REVSBAU**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 01-15, 2019.

MENA, C. F. Trajectories of Land-use and Landcover in the Northern Ecuadorian Amazon: temporal composition, spatial configuration, and probability of change. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 74, p. 737-751, 2008.

MORAES, R. M. de. **Sensoriamento remoto e classificação de imagens**. João Pessoa: UFPB, 1999. Disponível em: <http://www.de.ufpb.br/~ronei/procimagem/procimagem.htm>. Acesso em: 27 out. 2017.

ORTEGA-ÁLVAREZ, R.; MACGREGOR-FORS, I. Living in the big city: Effects of urban land-use on bird community structure, diversity and composition. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 90, p. 189-195, 2009.

PALMAS (TO). **Plano da Arborização Urbana de Palmas**. Palmas: Prefeitura Municipal, 2016. 115 p.

PAZ, L. H. F. **A influência da vegetação sobre o clima urbano de Palmas-TO**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

PINHEIRO, R. T. *et al.* Birds of urban area of Palmas, TO: composition and conservation. **Revista Brasileira de Ornitologia**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 339-347, 2008.

PINHEIRO, R. T.; MARCELINO, D. G.; MOURA, D. R. Espécies arbóreas de uso múltiplo e sua importância na conservação da biodiversidade nas áreas verdes urbanas de Palmas, Tocantins. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 49, p. 264-282, dez. 2018.

REIS, E.; LÓPEZ-IBORRA, G. M.; PINHEIRO, R. T. Changes in bird species richness through different levels of urbanization: Implications for biodiversity conservation and garden design in Central Brazil. **Landscape Urban Planning**, [s. l.], v. 107, p. 31-42, 2012.

SILVA, L. F. G.; SOUZA, L. C. Ritmo climático e conforto térmico na cidade de Palmas (TO) em anos-padrão selecionados. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 34, e40953, 2019.

TEIXEIRA, L. F. C. A formação de Palmas. **Revista UFG**, Goiânia, v. 11, n. 6, p. 91-99, jun. 2009.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. **World Population Prospects 2019**: Volume II: Demographic Profiles. [S. l.], 2019.

WECKMÜLLER, R.; SLOVINSKI, N. C.; VICENS, R. S. Análise multitemporal como subsídio à identificação da trajetória evolutiva do uso e cobertura da terra no Corredor Ecológico do Muriqui/RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 65, n. 3, p. 467-477, 2013.

Contribuição de Autoria

1 – Nilton Gabriel Regis Ribeiro

Engenheiro Agrônomo. Me.

<https://orcid.org/0000-0003-3974-6902> • niltonrr04@gmail.com

Contribuição: Análise Formal, Investigação, Metodologia, Supervisão, Validação, Escrita – revisão e edição

2 – Renato Torres Pinheiro

Biólogo, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-5799-0872> • renatopin@uft.edu.br

Contribuição: Conceituação, Análise Formal, Obtenção de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Supervisão, Escrita – primeira redação

Como citar este artigo

Ribeiro, N. G. R.; Pinheiro, R. T. Análise multitemporal da cobertura vegetal no plano diretor urbano de Palmas, Tocantins. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 1024-1046, 2022. DOI 10.5902/1980509843524. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509843524>.