



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Análise da Qualidade Ambiental em Área de Expansão Urbana na Cidade de Cuiabá-MT

Pauline da Mata Marques¹, Flávia Maria de Moura Santos², Yasmine Ibrahim Ali Martins³, Roberta Daniela de Souza Colombo⁴, Jonathan Willian Zangeski Novais⁵, Rafaely Schwaab Sampaio⁶, Henrique Nicolau Grillaud Maranholi⁷, Luis Felipe da Silva Leite⁸, Valery Kessis da Silva Pires⁹

¹Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP 78060-900 - Cuiabá - MT. (65) 3313 7306. paulinemarques@fisica.ufmt.br (autor correspondente). ²Prof. Dra. no Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP 78060-900 - Cuiabá - MT. (65) 3313 7306. flavia_mms@hotmail.com. ³Mestranda no Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP 78060-900 - Cuiabá - MT. (65) 3313 7306. yasmineibrahimali@gmail.com. ⁴Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP 78060-900 - Cuiabá - MT. (65) 3313 7306. roberta.souza@fisicaambiental.ufmt.br. ⁵Prof. Dr. no Programa de Ciências Ambientais da Universidade de Cuiabá - MT. Universidade UNIC - Beira Rio I - Avenida Manoel José de Arruda - Jardim Europa, Cuiabá - MT. jonathanzangeski@gmail.com. ⁶Mestranda no Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP 78060-900 - Cuiabá - MT. (65) 3313 7306. E-mail afarss2601@gmail.com. ⁷Doutorando no Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP 78060-900 - Cuiabá - MT. (65) 3313 7306. rick_maranholi@hotmail.com. ⁸Graduando em Agronomia na Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP 78060-900 - Cuiabá - MT. (65) 3313 7306. luis.leite2@sou.ufmt.br. ⁹Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP 78060-900 - Cuiabá - MT. (65) 3313 7306. valery.pires@ifmt.edu.br.

Artigo recebido em 05/11/2024 e aceito em 25/02/2025

RESUMO

A Qualidade Ambiental Urbana está intimamente ligada à qualidade de vida, sua avaliação surge como antídoto às consequências da urbanização, organizando o planejamento urbano, o uso do solo e a cobertura da terra, visando preservar os aspectos naturais. Este estudo consiste na análise e comparação da qualidade ambiental de uma região de expansão urbana da cidade de Cuiabá-MT entre os anos de 2005 e 2021. Esta região sofreu um intenso processo de urbanização nos últimos anos, desprovido de planejamento e de análises no campo do uso do solo, cobertura da terra e qualidade ambiental urbana. Cada lote da área foi mapeado e classificado, com a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), para elaborar as cartas temáticas de uso do solo e cobertura da terra, sendo cruzadas, e tendo como resultado final a carta de qualidade ambiental urbana dos anos de 2005 e 2021, comparando aos resultados obtidos. Esta comparação entre os anos de 2005 e 2021 visa identificar os problemas e pontos a serem melhorados, e o que resultou na piora dos índices de qualidade ambiental, podendo assim subsidiar o estudo e desenvolvimento de políticas públicas e orientações de ações municipais para um planejamento urbano eficiente, visando a melhoria da qualidade ambiental urbana e da qualidade de vida da população. Como resultado, observou-se que a qualidade ambiental da região, apesar de ainda apresentar predominantemente bons índices no decorrer dos anos de estudo, foi demasiadamente prejudicada em um curto período, possuindo também áreas com índices de qualidade ruins e usos incompatíveis.

Palavras-chave: Vegetação, Mapas Temáticos, Uso do Solo.

Analysis of the Environmental Quality in a Region of Urban Expansion in the City of Cuiabá-MT

ABSTRACT

Urban Environmental Quality is closely linked to quality of life, its assessment appears as an antidote to the consequences of urbanization, organizing urban planning, land use and land cover, aiming to preserve natural aspects. This study consists of analyzing and comparing the environmental quality of a region of urban expansion in the city of Cuiabá-MT between the years 2005 and 2021. This region has undergone an intense urbanization process in recent years, devoid of planning and analysis in the field of land use, land cover and urban environmental quality. Each lot in the area was mapped and classified, using Geographic Information Systems (GIS), to prepare thematic maps of land use and land cover, which were cross-referenced, resulting in the urban environmental quality map of the years 2005 and 2021, comparing to the results obtained. This comparison between the years 2005 and 2021 aims to identify the problems and points to be improved, and what resulted in the worsening of environmental quality indices, thus being able to support the study and

development of public policies and guidance of municipal actions for urban planning efficient, aiming to improve urban environmental quality and the population's quality of life. As a result, it was observed that the environmental quality of the region, despite still presenting predominantly good indexes over the years of study, was greatly harmed in a short period, also having areas with poor quality indexes and incompatible uses.

Keywords: Vegetation, Thematic Maps, Land use.

Introdução

O fenômeno da urbanização tem sido considerado como uma megatendência global, impulsionado pela industrialização e seus efeitos na produção. No contexto brasileiro, observa-se um expressivo êxodo da população em direção aos centros urbanos, motivado pela busca por melhores oportunidades de emprego e uma melhoria na qualidade de vida. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas – ONU (2018), projeta-se que até o ano de 2050, cerca de 92,4% da população brasileira residirá em áreas urbanas, com apenas 7,6% dos habitantes vivendo em zonas rurais.

O crescimento acelerado das cidades e do número de habitantes instiga a demanda por moradias e infraestrutura extrapolando os limites político-territoriais, atingindo as dimensões físico-ambientais, as quais não recebem um tratamento apropriado devido a sua difícil delimitação, o que resulta em transformações extensivas no uso e cobertura do solo ao longo das últimas décadas, além de uma série de problemas e efeitos negativos na qualidade ambiental destas áreas, no clima e consequentemente na saúde pública (Minaki; Amirim, 2007; Golvea; Nucci; Liberti, 2021; Aslan & Rana, 2022; Zhu et al., 2022; Zhao et al., 2023).

De maneira análoga, Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, ao longo dos anos passou por um constante processo de reconfiguração urbana, com a substituição da vegetação por áreas construídas, gerando impactos significativos no clima local e na saúde de seus habitantes devido ao aumento da temperatura do ar e do desconforto térmico, haja vista que a cidade possui um dos climas mais quentes do Brasil, não sendo raro o alcance dos 40°C (Souza et al., 2023).

Nesse sentido, muito se discute acerca da relevância dos espaços verdes urbanos e suas contribuições na melhoria da adaptação climática humana, devido a atenuação das temperaturas do ar em áreas residenciais, gerando assim um maior conforto térmico para os moradores (Zangeski et al., 2021; Pataki et al., 2021; Silva et al., 2021; Graça et al., 2022). Os pesquisadores elucidam ainda sobre a notoriedade dos impactos positivos mesmo quando o plantio é reduzido pelos espaços relativamente limitados em cidades densas.

Souza et al. (2020) analisaram os efeitos da arborização urbana em dois transectos, com e sem a presença de árvores, nos períodos seco e chuvoso de 2017, onde a diferença de temperatura da superfície da calçada entre os transectos nas duas estações foi $\cong 10^{\circ}\text{C}$ maior em ambas as estações no transecto sem arborização. Os pesquisadores explicam que tal fato se deve a múltiplos fatores como a ausência de interceptação da radiação incidente, excesso de impermeabilização e aglomeração de edificações.

Ademais, espaços urbanos vegetados desempenham um papel significativo na promoção do conforto térmico e na mitigação das ilhas de calor urbanas (ICU), fenômenos que emergem como consequência direta da urbanização, assim, à medida que a artificialização de áreas urbanas avança, observa-se um acentuado impacto nas condições climáticas locais das cidades (Novais et al., 2021; Zhu et al., 2023).

O fenômeno da ICU e seus efeitos é mais estudado no clima urbano e pode ser descrito como a tendência da temperatura do ar superficial ser mais elevada nas cidades do que nas áreas rurais circundantes, e, a variação da magnitude como resultado da estrutura da superfície e das características de cobertura do solo e da camada de dossel urbano, que nem sempre flutua continuamente no espaço horizontal (Zhang et al. 2021; Souza et al., 2021). As temperaturas elevadas das ilhas de calor podem ter uma variedade de efeitos no ambiente e no padrão de qualidade de vida de uma comunidade (Aghamolaei et al., 2023).

O estudo realizado por Maranholi e Gonzalez (2018) investigou a evolução urbana de Cuiabá na formação e expansão de ilhas de calor urbanas, em que foram analisadas imagens de satélites obtidas por sensores termais nos anos de 1986, 1995, 2005 e 2015. Como resultado, os pesquisadores observaram que a formação e/ou intensificação da ICU, está intrinsecamente relacionada com os tipos de cobertura do solo, condições meteorológicas, fontes de calor antropogênicas, adensamento populacional, geometria das ruas e das edificações.

Em 2021, um estudo adicional investigou a temperatura do ar e a subsequente formação da ICU em Cuiabá, utilizando Rede Neural Artificial, os resultados indicaram uma tendência de aumento na

intensidade das ilhas de calor noturnas durante todas as estações do ano na cidade, podendo corroborar para o aumento de casos de enfermidades devido ao aumento da temperatura do ar, além de aumentar a demanda de energia nas edificações (De Paula et al., 2021).

Em relação ao conceito de qualidade ambiental, pesquisadores não o consideram de simples definição, pois baseia-se na combinação espacial dos componentes naturais, artificiais, sociais, econômicos, tecnológicos e políticos que tornam o ambiente confortável, habitável, funcional e sustentável, buscando estabelecer um equilíbrio entre o meio ambiente e as atividades relativas à vida humana, visando a melhoria da qualidade de vida (Machado, 1997; Gomes; Soares, 2004; Farion, 2020).

Dentro desse contexto, Buccheri Filho e Tonetti (2011) avançaram na compreensão do conceito de "qualidade ambiental" ao ampliá-lo para "qualidade ambiental urbana", e enfatizaram a interdependência entre o ambiente urbano, a qualidade ambiental urbana e a qualidade de vida. Para os autores, a qualidade ambiental urbana é a amplitude de condições favoráveis do ambiente urbano, que atendem às necessidades fisiológicas e psicológicas do ser humano.

Assim, na busca de maior compreensão dos efeitos da urbanização, resultantes dos padrões de ocupação e consumo da sociedade contemporânea, surgiram abordagens com enfoque na identificação de indicadores e parâmetros para avaliação da qualidade ambiental urbana como uma importante ferramenta para o entendimento da dinâmica do sistema urbano, uma vez que, os

problemas ambientais atingem diretamente a qualidade de vida da população (Minaki; Amorim, 2007; Nahas, 2009; Banzhaf et al., 2014; Santos; Nucci, 2019).

Dentre as diversas abordagens de qualidade ambiental urbana, destaca-se a proposta de Nucci (1998) fundamentada no Planejamento da Paisagem Urbana, considerando os atributos ambientais urbanos como uso do solo, poluição, espaços livres, verticalidade das edificações, enchente, densidade populacional e cobertura vegetal, espacializados e integrados em escalas que variam entre 1.2000 e 1.10.000.

Com base nessas informações, surge a hipótese de que as contínuas transformações da paisagem natural ao longo do processo evolutivo de uma cidade têm impacto na qualidade ambiental urbana e, por conseguinte, na qualidade de vida de seus habitantes.

Isto posto, o estudo tem por objetivo mapear o uso do solo e a cobertura da terra para os anos de 2005 e 2021, resultando em duas cartas temáticas distintas, sendo cruzadas a fim de se obter, por fim, uma carta de qualidade ambiental urbana para a região estudada, visando analisar a distribuição espacial das estruturas que compõem a paisagem de uma área de expansão urbana na cidade de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, que outrora era destinada a atividades rurais, e ao longo dos anos passou por um constante processo de reconfiguração urbana, com a substituição da vegetação por áreas construídas, gerando impactos significativos no clima local e na saúde de seus habitantes devido ao aumento da temperatura do ar e do desconforto térmico.

Material e métodos

Caracterização Da Área De Estudo

O estudo foi realizado na área de expansão urbana leste do município de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, localizada na região centro-sul do estado, sob as coordenadas 15° 35' 46" S, e 56° 5' 48" O, com área aproximada de 3.538,17 Km², sendo dessa área, 254,57 Km² a macrozona urbana e 3.283,60 Km² a área rural (Santos et al., 2013).

Segundo a classificação de Koppen, o perfil climático de Cuiabá é do tipo Aw, Tropical Continental semiúmido, sem influência marítima, com regime de precipitação em dois períodos distintos: um seco (outono-inverno) de abril a outubro, e outro chuvoso (primavera-verão) de novembro a março, e índice pluviométrico anual de 1250 a 1500 mm (Oliveira, 2012; Alvares et al., 2013).

A temperatura média anual varia entre 25° e 26°C, apresentando frequentemente máximas acima dos 35°C (Maitelli, 2005; Rocha, 2018). Isto se deve às características geomorfológicas da região, denominada "Depressão Cuiabana", com variações de relevo entre plano e suavemente ondulado (declive inferior a 5%), e altitude entre 146 e 250 m acima do nível do mar, o que contribui para a baixa frequência e velocidade dos ventos (ultrapassando pouco os 5,0 m s⁻¹), que no período chuvoso são predominantemente oriundos da direção N (Norte) e NO (Nordeste), e no período seco da direção S (Sul) (Cuiabá, 2012; Ribeiro et al., 2022).

A cobertura vegetal é caracterizada por fitofisionomias de cerrado, cerradão, matas ciliares e por vegetação introduzida nos quintais e praças da cidade, de espécies diversas como frutíferas, ornamentais e gramíneas (Guarim Neto, 1991; Pasa et al., 2020).

Considerada como um dos principais polos de desenvolvimento da região Centro-Oeste do Brasil, apresenta áreas que outrora possuíam características rurais e atualmente foram destinadas para ampliação e ocupação, denominadas como Áreas de Expansão Urbana, estando localizadas nas regiões Norte, Sul, Leste e Oeste de Cuiabá.

Das regiões mencionadas, a Área de Expansão Leste se sobressaiu dentre as demais, devido ao intenso processo de urbanização das últimas décadas, justificando a escolha do recorte espacial a ser estudado (Figura 1).

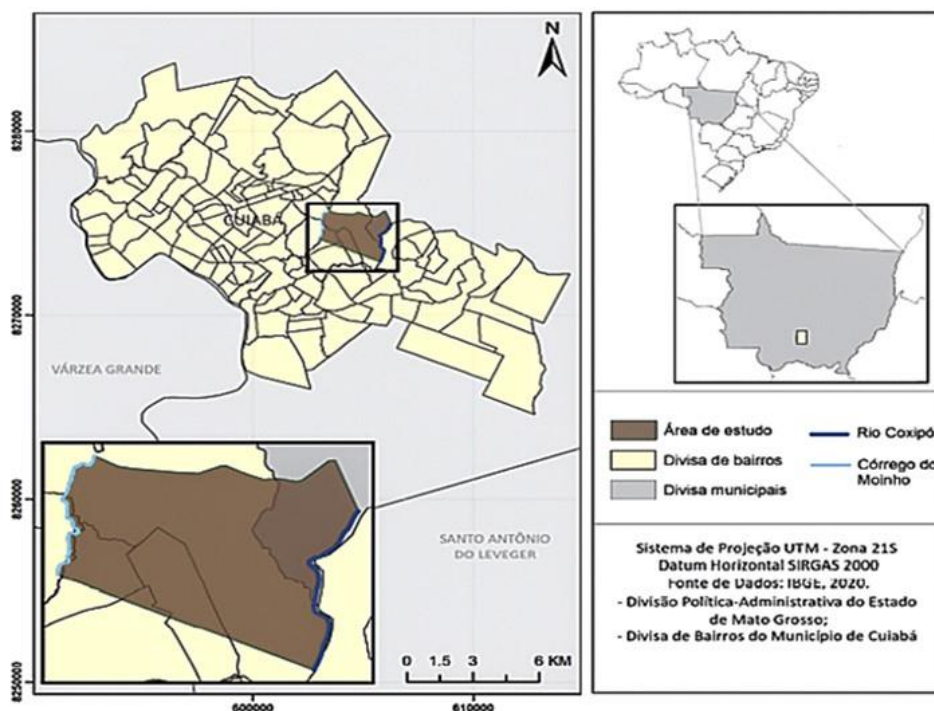


Figura 1. Localização Geográfica do município de Cuiabá, MT, Brasil; com destaque para a área de estudo no bairro Jardim Imperial no município de Cuiabá.

Fonte: Adaptado de IBGE, 2020.

O bairro Jardim Imperial foi ocupado paulatinamente com a construção de novos empreendimentos, como os loteamentos, condomínios horizontais, conjuntos habitacionais, comércios, indústria, além de ocupações irregulares, restando algumas áreas de vegetação com potencial construtivo (Cuiabá, 2013).

A Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana

Para a realização deste estudo, utilizou-se a metodologia desenvolvida e adaptada por Nucci; Ferreira; Valaski (2014) e Liberti e Nucci (2018), que consiste em mapear o uso do solo, que resulta em uma carta temática deste, e a cobertura da terra,

com sua carta temática, sendo posteriormente realizado o cruzamento das duas cartas, para resultar na carta de qualidade ambiental urbana.

Primeiramente, procedeu-se na hierarquização do uso do solo com base no método proposto por Nucci et al. (2019), que consiste em uma proposta de legenda para o mapeamento em escalas de detalhes, verificando o tipo de uso de cada lote urbano e suas potencialidades em gerar poluição ao ambiente, sendo atribuídos pesos às classes, observando a potencialidade de aumento ou diminuição da qualidade ambiental (QA), conforme disposto na Figura 2.

	Índice	Usos	Exemplo
CLASSE 1	QA +1	Conservação da natureza e recreação em contato com a natureza	Unidades de Conservação, parques e bosques urbanos
	QA 0	Recreação e salvaguarda de bens de valor histórico, artístico, arquitetônico, arqueológico e paisagístico	Espaços livres de edificação: praças, jardins, playground, terreno baldio
	QA -1	Recreação e salvaguarda de bens de valor histórico, artístico, arquitetônico, arqueológico e paisagístico	Espaços edificados como clubes esportivos sociais, de campo e náuticos
	QA -2	Atividades econômicas compatíveis com a manutenção e recuperação dos serviços ambientais	Pesquisa, manejo e educação ambiental, captação e água mineral
CLASSE 2	QA -3	Residencial unifamiliar	Edificações de até 4 pavimentos
	QA -4	Conjunto residencial	Edificações acima de 4 pavimentos
	QA -5	Serviço de pequeno porte com lotação de até 100 pessoas	Educação e cuidados infantis, clínicas (dentária, médica e veterinária), cartório, funerária, local de reunião, cabeleiros, lavanderias, escritórios em geral, agência bancária, manutenção residencial, ensino pré-escolar, casa de repouso, flats
	QA -6	Serviço e comércio de pequeno porte. Máximos: 1.500m² de área construída, 100 lugares, 40 vagas de estacionamento	Açougue, mercearia, padaria, bar, lanchonete, sorveteria, restaurante, local de culto
CLASSE 3	QA -7	Serviço e comércio de médio porte. Máximos: 7.500m², 500 lugares.	Asilo, estabelecimento de ensino, delegacia de polícia, local de reunião, academia, clube, comércio de alimentos, serviços de saúde, autoescola
	QA -8	Serviço e comércio de grande porte. Acima de: 7.500m² e de 500 lugares.	Universidades, serviços de saúde, local de reunião, local de culto, supermercado
	QA -9	Serviço e comércio de grande porte. (acima de 7.500m², mais de 500 lugares, 200 vagas de estacionamento) e oficinas.	Garagem de ônibus, caminhões e de máquinas, aluguel de veículos, centro de inspeção, penitenciária, quartéis, quadra de escola de samba, terminal rodoviário, estações de metrô e de trem. Mecânica em geral e ferro velho.
CLASSE 4	QA -10	Atividade industrial nível 1	Fabricação de artigos de vestuário, de artefatos de papel, de máquinas para escritório, equipamentos de informática. Lavanderia hospitalar, marcenaria, serralheria, gráfica, posto de combustíveis, funilaria, aeroportos e heliportos.
	QA -11	Atividade industrial nível 2	Fabricação de produtos alimentícios e bebidas; de produtos têxteis (sem operações de fiação, tecelagem, beneficiamento e tingimento), de artefatos de couro, de produtos de plástico, madeira, palha, cortiça e bambu
	QA -12	Atividade industrial nível 3	Fabricação de conservas, produtos de cereais, refino de óleos. Automobilística. Extração de carvão, petróleo. Gestão de resíduos sólidos, ETA e ETE. Depósito de inflamáveis. Comércio de fogos de artifício. Cemitérios
	QA -13	Atividade industrial nível 4	Fabricação de óleos, rações, celulose. Curtimento. Fabricação de coque, refino de petróleo, intermediários para fertilizantes, resinas e fibras. Fabricação de explosivos, solventes, cimento, cal, telhas, produção de gusa, ferro e aço

Figura 2. Legenda para a correlação entre uso do solo e qualidade ambiental.

Fonte: NUCCI et al., 2019.

Para o mapeamento da cobertura da terra, utilizou-se a metodologia de Valaski (2013) adaptada por Nucci, Ferreira e Valaski (2014), que se baseia nas características físicas da paisagem, considerando nos lotes a presença de espaços edificados ou não, bem como o tamanho das

edificações, o número de pavimentos, a presença ou ausência de vegetação e seu porte, além das características sobre a permeabilidade do solo, como mostra a proposta de legenda para a classificação na Figura 3.

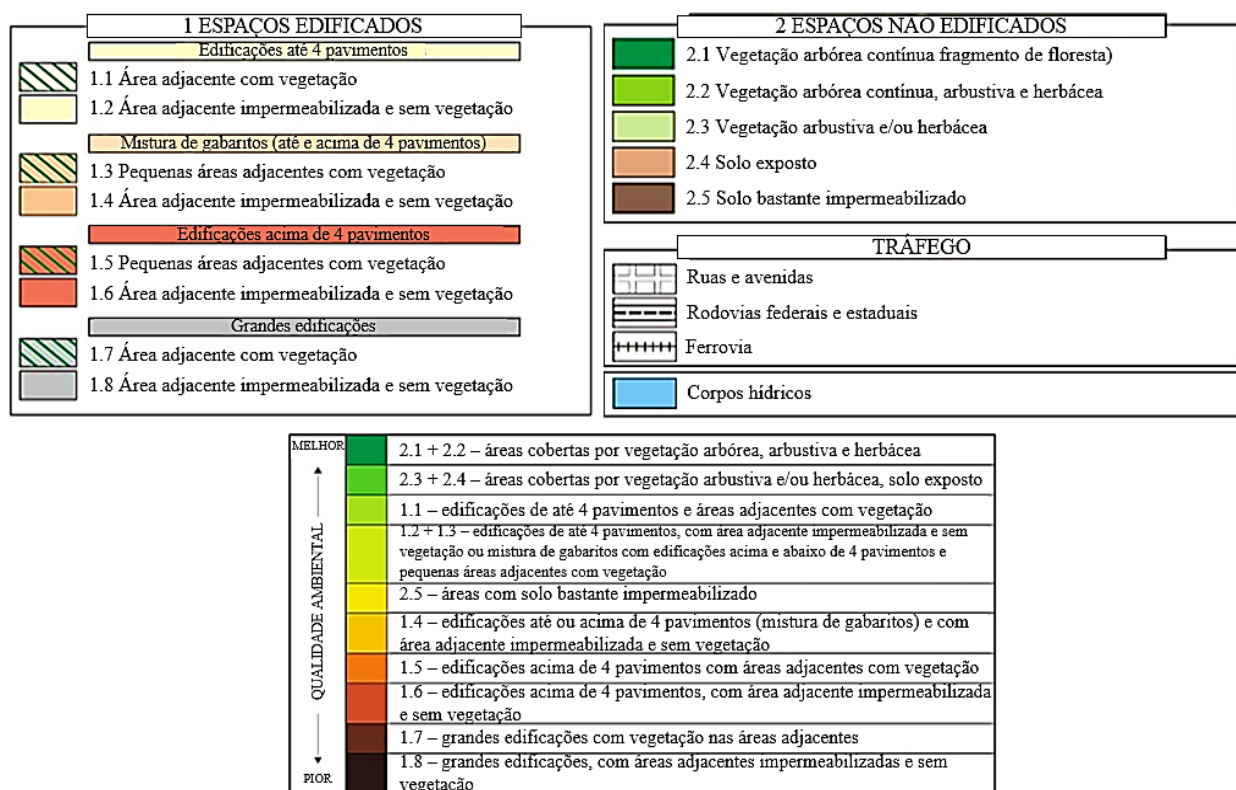


Figura 3. Qualidade Ambiental com base nas classes de cobertura da terra e representação em gradiente. Fonte: Valaski, 2013 e Nucci; Ferreira e Valaski, 2014.

Seguindo a metodologia supramencionada, foram atribuídos pesos às classes de uso do solo, e de cobertura da terra (Figuras 2 e 3), que foram posteriormente cruzados e somados, a fim de se obter o mapa de qualidade ambiental urbana da área em análise.

É válido mencionar que a realização da vetorização de todas as edificações da área, definindo e desenhando cada lote conforme seu uso foi baseado nos registros no navegador público SIG

Resultados e discussão

Na análise dos mapeamentos correspondentes à comparação do uso do solo nos anos de 2005 e 2021 (Figura 4), pode-se observar a predominância de boas classes de usos, como QA+1 (áreas de preservação e conservação da natureza) e QA0 (usos por espaços livres de edificação), especialmente em 2005.

Nota-se que no mesmo período predito, surgiram os usos QA-2 (atividades econômicas compatíveis com a manutenção e recuperação dos serviços ambientais), QA-9 (serviços e comércio de grande porte), QA-12 (atividade industrial nível 3) e QA-13 (atividade industrial nível 4). O

Cuiabá, selecionando “Foto Aérea” do ano de 2005, e posteriormente de 2021, e abaixo “Temático & Lotes”. Além disso, para o cruzamento das cartas temáticas e a elaboração da carta de qualidade ambiental urbana, utilizou-se o software de geoprocessamento livre (gratuito) QGIS Desktop 3.22.6, no Sistema de Projeção UTM – Zona 21 S, SIRGAS 2000, e utilizado como base para o desenho do shapefile da região de estudo.

surgimento de QA-2 é benéfico, visto que é um uso que corresponde a serviços ambientais.

Já o aparecimento de QA-9 na região, se relaciona com a diminuição de QA-5 (serviços de pequeno porte com lotação de até 100 pessoas), mostrando que os pequenos comércios e algumas casas, tem dado lugar a grandes comércios. Os índices industriais, QA-12 e QA-13, representam piora na qualidade ambiental da região, além de comprovar a falta de planejamento e cumprimento da lei de uso e ocupação do solo, pois é recomendado que usos industriais fiquem afastados de áreas com tantas residências.

Em 2021, principalmente com o surgimento de novos condomínios horizontais na área, houve o aumento da classe de uso do solo QA-

3 (residenciais unifamiliares de até 4 pavimentos), e diminuição das classes correspondentes às áreas verdes espaços livres de edificação, além do

surgimento da indústria, que prejudica a qualidade ambiental.

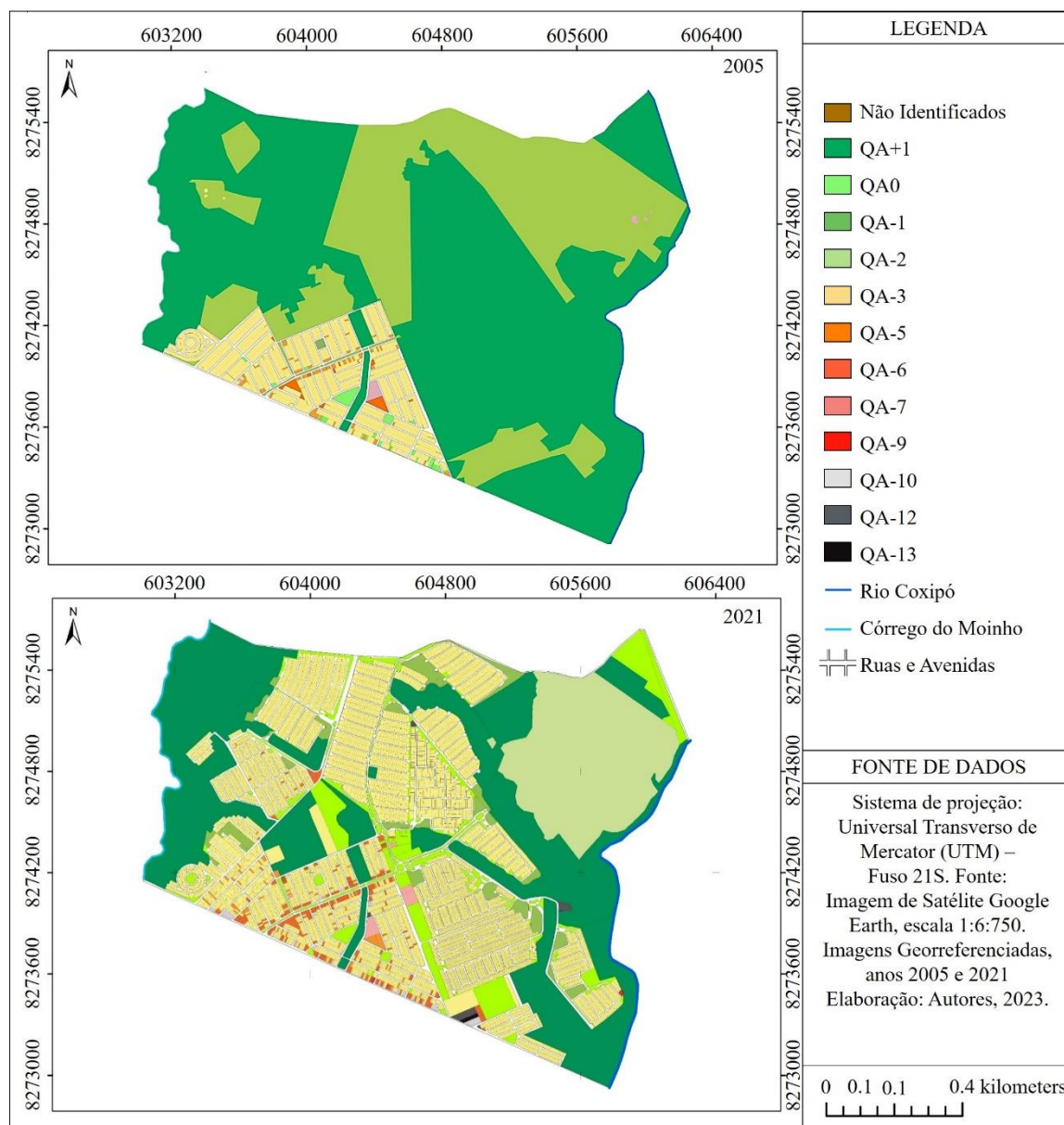


Figura 4. Comparação das cartas temáticas de uso do solo dos anos de 2005 e 2021.

Diante disso, foi possível constatar a diminuição das classes que melhoram os índices de qualidade ambiental, e o aumento e surgimento de classes que pioram este índice. Porém, mesmo com a diminuição destas boas classes de uso, e o aumento de classes consideradas ruins, ainda

predominam usos de solo classificados como “bons” e “intermediários” na área de estudo.

Após o mapeamento do uso do solo, foi realizado o mapeamento da cobertura da terra, para originar a segunda carta temática (Figura 5).

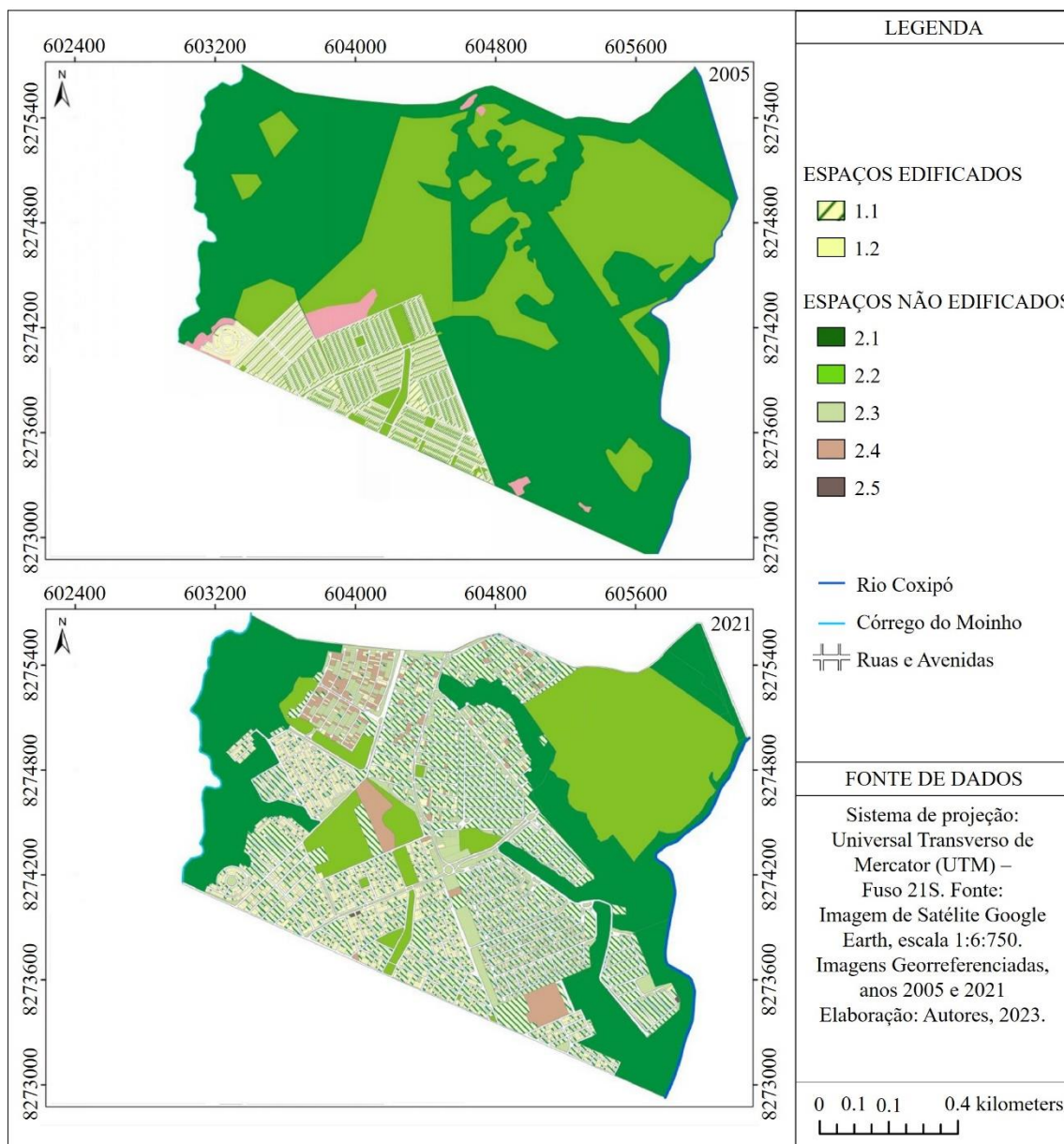


Figura 5. Cartas temáticas de cobertura da terra dos anos de 2005 e 2021.

Na Figura 5, observa-se que a classe de cobertura 1.2, que representa edificações de até 4 pavimentos e área adjacente sem vegetação, que piora a qualidade ambiental e aumenta toda a problemática decorrente da impermeabilização do solo, aumentou em 2021.

Outrossim, diversos lotes, especialmente residenciais, passaram de 1.1 em 2005 para 1.2 em 2021, mostrando que as áreas verdes presentes nas casas estão sendo retiradas, não estando de acordo com a legislação vigente, visto que o Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá estabelece o percentual mínimo de áreas verdes o determinado pela Organização Mundial de Saúde, de 12m² (doze metros quadrados) por habitante (Cuiabá, 2007).

Além disso, a classe 2.2 (espaços não edificados com vegetação arbórea, arbustiva e herbácea) diminuiu em 2021, mostrando piora na qualidade ambiental ao decorrer dos anos. Esta diminuição pode ser associada ao aumento das áreas impermeabilizadas e construídas. Em contrapartida, houve aumento da classe 2.4 (espaços não edificados com solo exposto), atribuída aos lotes que foram limpos, porém ainda não foram construídos. A classe 2.5 (espaços não edificados com solo bastante impermeabilizado) surgiu no mapeamento em 2021, também reforçando uma piora nos índices de qualidade ambiental.

Observa-se que a cobertura da terra, que antes havia predominância de espaços não

edificados, foi dando lugar a espaços edificados, um processo natural levando em conta principalmente o crescimento dos condomínios horizontais, mas que prejudica a qualidade ambiental com a impermeabilização do solo e o surgimento de espaços edificados sem vegetação.

Comparando a análise da cobertura da terra entre os anos de 2005 e 2021, comprova-se que o aumento de espaços edificados, áreas impermeabilizadas e vias na área, provocaram a diminuição das classes que contribuem na melhoria da qualidade ambiental, trazendo diversas consequências à região, como o escoamento superficial, o menor abastecimento do lençol

freático, o surgimento de ilhas de calor, entre outros.

Após a obtenção das cartas temáticas de uso do solo e cobertura da terra, iniciou-se a elaboração do mapeamento da qualidade ambiental. Primeiramente, foram atribuídos pesos a cada classe, os quais foram somados, dando origem à classificação da carta de qualidade ambiental da região de estudo. As combinações de resultados variam entre os números 1 e 19, em que os menores valores representam as melhores classes de uso e de cobertura, e os maiores valores representam as piores (Tabela 1).

Tabela 1. Pesos atribuídos para as classes de uso e cobertura e o resultado da somatória.

Classes	Uso da terra	Usos não identificados	QA +1	QA 0	QA -1	QA -2	QA -3	QA -5	QA -6	QA -7	QA -9	QA -10	QA -12	QA -13
Cobertura da terra	Pesos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			Resultado da somatória dos pesos											
2.1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.2	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2.3	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2.4	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2.5	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.1	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.2	7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

A atribuição do valor zero para a classe de “usos não identificados” representa um valor neutro dentro da somatória. O sistema viário e a hidrografia também não são considerados na análise acerca da qualidade ambiental.

O cruzamento das cartas temáticas de uso e cobertura foi realizado no QGIS, com a utilização da ferramenta intersect, que intersecciona duas layers, tendo como saída uma layer que apresenta apenas o que se sobrepõe em todas as layers de entrada, combinando com as tabelas de atributos.

Posteriormente, a tabela de atributos foi exportada do QGIS para o Excel, no qual foi aplicada a função de condição (SE, SE NÃO).

Por fim, a tabela de atributos foi associada ao shapefile por meio da ferramenta join field, gerando o resultado da carta de qualidade ambiental da área estudada. No total, foram extraídas 84 combinações. Ao serem inseridas no QGIS, foi possível constatar a classe de qualidade de cada um dos lotes, bem como quais combinações estão presentes na região (Figura 6).

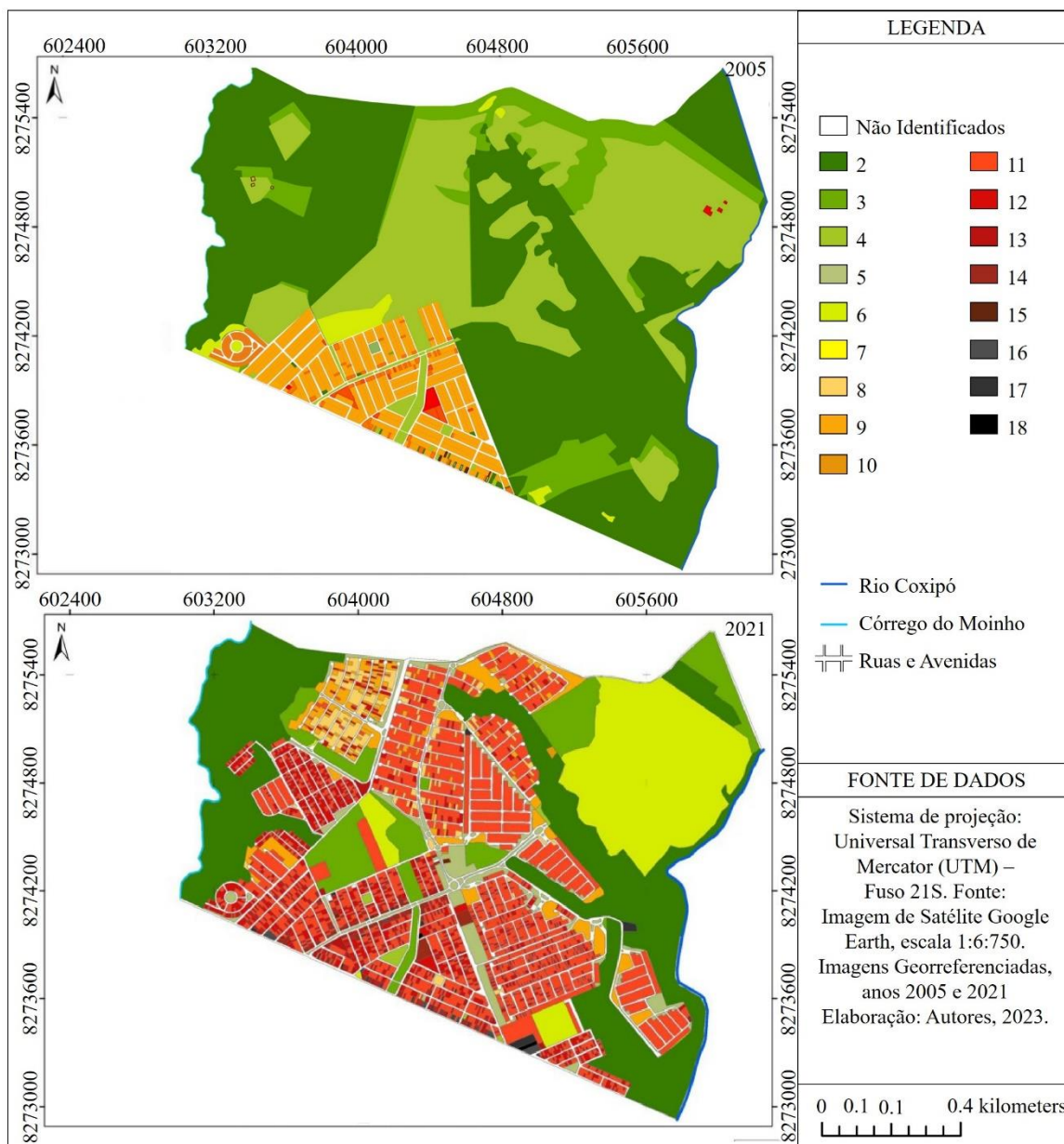


Figura 6. Comparação das Cartas de Qualidade ambiental dos anos de 2005 e 2021.

A Figura 6 mostra a comparação das cartas de qualidade ambiental dos anos em estudo. Observa-se que no mapeamento de 2021, foram obtidas dezessete classes de qualidade ambiental,

sendo sete classes a mais que em 2005. Os índices mostram a variação de 2 a 18, visto que não foram obtidas as combinações dos pesos com os resultados 1 e 19 (Tabela 2).

Tabela 2. Comparação dos índices de qualidade ambiental da região de estudo entre 2005 e 2021.

Classe	Área 2005 (m ²)	Área 2021 (m ²)	2005 (%)	2021 (%)	Diferença (%)
2	3.230.844	1.455.457,60	55,95%	25,21%	-30,74%
3	768.350,11	441.583,76	13,31%	7,65%	-5,66%
4	1.120.207,37	16.482,72	19,40%	0,29%	-19,11%
5	22.413,74	215.675,94	0,39%	3,74%	3,35%
6	80.926,85	819.632,53	1,40%	14,20%	12,80%
7	0,00	528,02	0,00%	0,01%	0,01%
8	0,00	127.560,95	0,00%	2,21%	2,21%
9	463.483,10	239.021,36	8,03%	4,14%	-3,89%
10	23.832,32	2.678,17	0,42%	0,05%	-0,37%
11	13.265,27	1.264.172,04	0,23%	21,89%	21,66%
12	7.649,68	408.881,73	0,13%	7,08%	6,95%
13	0,00	41.289,03	0,00%	0,72%	0,72%
14	0,00	46.386,86	0,00%	0,80%	0,80%
15	2.016,56	2.428,03	0,04%	0,04%	0,00%
16	0,00	10.091,00	0,00%	0,17%	0,17%
17	0,00	15.973,64	0,00%	0,28%	0,28%
18	0,00	2.963,48	0,00%	0,05%	0,05%
Não identificado	0,00	1.759,10	0,00%	0,03%	0,03%
Vias, Rio e Córrego	42.961,75	661.367,89	0,70%	11,45%	10,75%
TOTAL	5.773.934,78	5.773.934,78	100%	100%	

Assim como nas cartas temáticas de uso do solo e de cobertura da terra, o mapa de qualidade ambiental urbana também mostra a diminuição de bons índices no decorrer dos anos, e o surgimento de índices ruins. O mapeamento da qualidade ambiental representa um resumo geral das constatações das cartas temáticas.

De 2005 a 2021, por exemplo, a melhor classe de qualidade, a classe 2, que é o cruzamento do uso do solo QA+1 (áreas para conservação e recreação em contato com a natureza), e cobertura da terra 2.1 (espaços não edificadas com vegetação arbórea contínua, contendo fragmento de floresta), diminuiu 30,74%, em decorrência das novas construções e da impermeabilização. Observa-se também a diminuição de outras boas classes.

Além disso, destaca-se o aumento de 21,66% na classe 11, que representa lotes de uso QA-3 (uso residencial unifamiliar), e cobertura 1.1 (espaços edificadas de até 4 pavimentos com área adjacente com vegetação), proveniente dos grandes condomínios horizontais que foram e estão sendo construídos na área ao longo dos anos.

Deve-se ressaltar que a determinação da qualidade ambiental urbana por meio do cruzamento das cartas temáticas com atribuição de pesos, conforme apresentado por Liberti e Nucci

(2018), apresenta limitações quanto à interpretação das notas de qualidade. Apesar da carta de qualidade ambiental ser o resultado final e apresentar as áreas com melhores e piores índices, muitos dados relevantes levantados nas cartas de uso e de cobertura da terra são perdidos, e merecem ser considerados.

Portanto, o ideal é que a análise da carta de qualidade ambiental seja feita juntamente com as cartas temáticas de uso do solo e de cobertura da terra, identificando os aspectos individuais de cada carta, o motivo por certo tipo de uso ou cobertura resultarem naquele índice de qualidade, para melhor norteamento no planejamento urbano.

Análise estatística descritiva unidimensional

A análise estatística descritiva unidimensional foi realizada visando verificar se a média de cobertura da terra e de uso de solo são significativamente diferentes em relação a cada lote/subárea da área de expansão de Cuiabá. Foi realizada a recategorização das variáveis, para transformar as variáveis qualitativas ordinais em quantitativas. Para isso, cada categoria das variáveis foi substituída por notas que representassem a qualidade ambiental de determinado lote.

Tabela 3. Reclassificação das variáveis uso do solo e cobertura da terra.

Uso do solo	Cobertura da terra	Peso
QA+1	2.1	1
QA0	2.2	2
QA-1	2.3	3
QA-2	2.4	4
QA-3	1.1	5
QA-4	1.2	6
QA-5	1.3	7
QA-6	2.5	8
QA-7	1.4	9
QA-8	1.5	10
QA-9	1.6	11
QA-10	1.7	12
QA-11	1.8	13
QA-12	-	14
QA-13	-	15

Em seguida, realizou-se a padronização das variáveis, com o objetivo de deixá-las entre o intervalo $[0,1]$, para não serem perdidas informações e tornar a comparação entre as médias mais justa. Foi utilizado o teste não-paramétrico de postos sinalizados (teste de Wilcoxon) para comparar as médias entre as diferentes variáveis em seu estudo.

O teste de Wilcoxon (Wilcoxon Matched-Pairs; Wilcoxon signed-ranks test) é um método não-paramétrico para comparação de duas amostras pareadas. Os p-valores menores que 0,05 são considerados estatisticamente significativos (bicaudais), sendo o R versão 4.2.0 o software utilizado em seu estudo para a análise estatística.

Foram extraídos os dados de uso e de cobertura do mapeamento no QGIS, exportando-os para o Excel, e os organizando por meio de tabelas. Esses dados foram passados para o software Matlab, onde foram atribuídos números para cada classe de uso do solo. Os números foram organizados em uma tabela, com dados de números para o eixo x, e para o eixo y, e os respectivos valores de uso do solo. Foi realizada a distribuição de frequências de usos do solo em 2005 e 2021.

Em 2005, observa-se que 1.639 (93,60%) dos lotes da área estão em QA-3, demonstrando maior uso residencial unifamiliar, seguido por QA-5 e QA0. Com relação ao uso do solo em 2021, 6.973 (93,64%) foram classificados como QA3, também o maior percentual encontrado no ano, mas com um número maior de lotes em comparação com 2005. Nota-se que maior concentração dos lotes na classe de uso do solo QA-3, portanto, o maior uso permaneceu residencial ao longo dos anos na região.

Na análise estatística, comprova-se o que foi observado no mapeamento. Visto que os lotes aumentaram de maneira expressiva, principalmente com a chegada dos condomínios horizontais, viu-se também que a incompatibilidade de usos aumentou. Observa-se que a maior parte dos usos da região é composta pelo uso residencial unifamiliar de até 4 pavimentos, e pode-se notar o crescimento de grandes comércio e indústria ao longo dos anos, que além de piorar a qualidade ambiental na região, piora a qualidade de vida dos habitantes da região. O planejamento urbano alinhado a este estudo e à comprovação por meio de análises estatísticas é essencial para a priorização da qualidade de vida e da qualidade ambiental, que estão ligadas.

Tabela 4. Frequência relativa das categorias de uso do solo em 2005.

Uso do solo	Valor absoluto 2005	Valor absoluto 2021	Frequência relativa 2005 (%)	Frequência relativa 2021 (%)
QA+1	não identificado	não identificado	0.628	0.23
QA0	26	157	1.4849	2.11
QA-1	1	28	0.057	0.38
QA-2	0	11	0	0.15
QA-3	1639	6973	93.6	93.64
QA-5	56	67	3.19	90
QA-6	10	151	0.57	2.03
QA-7	2	8	0.114	0.11
QA-9	0	3	0	0.04
QA-10	6	26	0.3427	0.35
QA-12	0	5	0	0.07
QA-13	0	1	0	0.01

Considerações Finais

Ao comparar os mapeamentos de uso do solo do ano de 2005 com o ano de 2021, observa-se a diminuição das melhores classes QA+1, QA0 e QA-1, e a substituição destas principalmente por usos residenciais, comerciais, e até pelo uso industrial que surgiu na região. Na carta temática de cobertura da terra, predomina a classe 2.1 em ambos os anos, definida como espaços não edificadas com vegetação arbórea contínua (fragmento de floresta), porém com a diminuição de 31,29% desta em 2021, dando lugar principalmente às classes 1.1 e 1.2, de edificações de até 4 pavimentos e área adjacente com vegetação, e sem vegetação, respectivamente.

A classe 1.2 piora a qualidade ambiental, aumentando problemas decorrentes da impermeabilização do solo. O aumento desta classe mostra que as áreas verdes presentes nas casas estão sendo retiradas, não estando de acordo com a legislação vigente.

Na carta de qualidade ambiental urbana de 2005, a classe 2 era predominante, sendo o cruzamento do uso do solo QA+1, e cobertura da terra 2.1, portanto, a melhor classe de qualidade

ambiental. O percentual era de 55,95% em 2005, e caiu para 25,21% em 2021, demonstrando a piora nos índices de qualidade ambiental na região, por conta do aumento das áreas impermeabilizadas, e classes consideradas ruins, em decorrência da intensa urbanização.

Os bons índices foram encontrados principalmente ao redor do rio Coxipó e do córrego do Moinho, com suas devidas Áreas de Preservação Permanentes sendo respeitadas até então. Em contrapartida, em regiões já consolidadas e próximas às principais vias, como a Avenida das Torres, se situam os piores índices, predominando atividades comerciais e a indústria, com solo impermeabilizado.

Considerando a tendência da intensificação do processo de urbanização na região, em decorrência dos lotes ainda vazios nos condomínios horizontais e em outras áreas, haverá piora da qualidade ambiental se não houver um planejamento urbano eficaz, alinhado a fiscalizações, participação popular, com acesso à informação qualificada, e sustentabilidade como um dos norteadores principais.

Agradecimentos

O presente trabalho é realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior – Brasil CAPES e CNPq.

Referências

- Aghamolaei, R., Azizi, M. M., Aminzadeh, B., & O'Donnell, J., 2023. A comprehensive review of outdoor thermal comfort in urban areas: Effective parameters and approaches. *Energy & Environment*, 34(6), 2204-2227.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., & de Moraes Gonçalves, J. L., 2013. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theoretical and applied climatology*, 113, 407-427.
- Aslam, A., & Rana, I. A., 2022. The use of local climate zones in the urban environment: A systematic review of data sources, methods, and themes. *Urban Climate*, 42, 101120.
- Banzhaf, E., de la Barrera, F., Kindler, A., Reyes-Paecke, S., Schlink, U., Welz, J., & Kabisch, S., 2014. A conceptual framework for integrated analysis of environmental quality and quality of life. *Ecological Indicators*, 45, 664-668.
- Buccheri Filho, A. T., & Tonetti, E. L., 2011. Qualidade ambiental nas paisagens urbanizadas. *Revista Geografar*, 6(1).
- Cuiabá. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano (IPDU). Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá. Lei complementar nº 150 de 29 de janeiro de 2007, 2008 Cuiabá, Entrelinhas. Disponível em: <https://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/plano_diretor_de_desenvolvimento_estrategico_cuiaba.pdf>. Acesso: 07 de novembro, 2023.
- Cuiabá. Prefeitura Municipal de Cuiabá / Composição dos Bairros de Cuiabá – Data base 2011. 3. Edição revista e atualizada. SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Cuiabá: 2013. 68 p.
- Cuiabá. Prefeitura Municipal de Cuiabá. Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. Perfil socioeconômico de Cuiabá. Vol.V - Cuiabá: IPDU/AS&M/Central de Texto, 2012. 564 p.
- Farinon, S. J., Miron, L. I. G., & de Oliveira, W. M., (2020). Contribuição para a elucidação dos conceitos de qualidade de vida urbana e qualidade ambiental sob a ótica dos indicadores ambientais. *PIXO-Revista de Arquitetura, Cidade e Contemporaneidade*, 4(14), 204-217.
- Gomes, M. A. S., & Soares, B. R., 2004. Reflexões sobre qualidade ambiental urbana. *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, 2(2), 21-30.
- Gouvea, G. M., Nucci, J. C., & Liberti, E., 2021. Cobertura da terra e qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Vila Pinheiros, Curitiba, Paraná (Brasil). *Caminhos de Geografia*, 22(80), 153-168.
- Graça, M., Cruz, S., Monteiro, A., & Neset, T. S., 2022. Designing urban green spaces for climate adaptation: A critical review of research outputs. *Urban Climate*, 42, 101126.
- Guarim, G., (1984). Plantas do Brasil-angiospermas do estado de Mato Grosso-I. *Rodriguésia*, 36(59), 105-121.
- Liberti, E., & Nucci, J. C., 2018. Carta da Qualidade Ambiental Urbana: questões técnicas no cruzamento digital das cartas de uso e de cobertura da terra na parte superior da bacia do rio Belém (Curitiba-PR). *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 6(41).
- Machado, L. M. C. P., 1997. Qualidade Ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos. In *Indicadores ambientais* (pp. 15-21). ID: lil-196941.
- Maitelli, G. T. Interações Atmosfera-Superfície. In: SOUZA-HIGA, T. C. C., & MORENO, G., 2005. *Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente*. Cuiabá: Entrelinhas, 1, 285.
- Maranholi, H. N. G., & Gonzalez, A. Z. D., 2018. Análise da evolução da ilha de calor na cidade de Cuiabá e alterações durante o evento el niño. *Revista Equador*, 7(1), 1-19.
- Minaki, C., & Amorim, M. C. D. C. T., 2007. Espaços urbanos e qualidade ambiental—um enfoque da paisagem. *Formação* (Online), 1(14).
- Nahas, M. I. P., 2009. Indicadores intra-urbanos como instrumentos de gestão da qualidade de vida urbana em grandes cidades: discussão teórico-metodológica. *Qualidade de vida, planejamento e gestão urbana: discussões teórico-metodológicas*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 123-153.
- Novais, J. W. Z., da Silva Batista, D., Ferreira, R. L., de Souza, R. D., Fernandes, T., & De Musis, C. R., 2021. Influence of Leaf Area Index on the Heat Index of a Tropic Urban Park. *Global Journal of Human-Social Science*, 21(B3), 51-62.
- Nucci, J. C., 1998. Metodologia para determinação da qualidade ambiental urbana. *Revista do departamento de geografia*, 12, 209-224.
- Nucci, J. C., Ferreira, M. B. P., & Valaski, S., 2014. Cobertura do solo e qualidade ambiental urbana como subsídios ao Planejamento da Paisagem. In *Congresso Ibero-Americano de Estudos Territoriais e Ambientais* (Vol. 6, No. 2014, pp. 2886-2902).
- Nucci, J. C., Valaski, S., Estêvez, L. F., & Tonetti, E. L., 2019. Uso da terra e qualidade ambiental urbana: uma proposta de legenda para mapeamento. *GEOgraphia*, 21(46), 73-90.

- Oliveira, A. S., Nogueira, M. C. J. A., Sanches, L., & Musis, C. R., 2012. Microclima Urbano: Praças Públicas em Cuiabá/MT/Brasil. *Caminhos de Geografia*, 13(43), 311-325.
- Organização das Nações Unidas – ONU., 2018. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York, NY: United Nations.
- Pasa, M. C., Lenci, L. H. V., Pereira, N. D. V., & de Oliveira Miranda, R. A., 2020. Vegetation and microclimate in open urban areas. Cuiabá, Mato Grosso-Brazil. *Advances in Forestry Science*, 7(3), 1089-1099.
- Pataki, D. E., Alberti, M., Cadenasso, M. L., Felson, A. J., McDonnell, M. J., Pincetl, S., ... & Whitlow, T. H., 2021. The benefits and limits of urban tree planting for environmental and human health. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 603757.
- Paula, D. C. J. de, Guarienti, C. E., Gomes, R. D. S. R., & de Moura Santos, F. M., 2021. Estimativa da Temperatura do Ar Microclimática em Cuiabá/MT Utilizando Redes Neurais. *Revista Brasileira de Climatologia*, 28, 184-200.
- Ribeiro, K. F. A., Justi, A. C. A., Novais, J. W. Z., de Moura Santos, F. M., Nogueira, M. C. D. J. A., Miranda, S. A., & Marques, J. B., 2022. Calibration of the Physiological Equivalent Temperature (PET) index range for outside spaces in a tropical climate city. *Urban Climate*, 44, 101196.
- Rocha, Â. F. D., 2018. Espectro cruzado e coerência wavelet: um estudo de variáveis micrometeorológicas em frações urbanas na cidade de Cuiabá, MT.
- Santos, G., & Nucci, J., 2019. Índice de Cobertura Vegetal e Índice Visual de Verde: indicadores de qualidade ambiental urbana. *GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, (17), 229.
- Silva Lima da, L. O., Ascurra, R. E., de Oliveira Valin Jr, M. M., & de Moura Santos, F. M., 2021. Análise por meio de transecto móvel das ilhas de calor e de frescor na região do Coxipó em Cuiabá–MT (Brasil). *E&S Engineering and Science*, 10(3), 46-60.
- Souza, N. S. de, Nogueira, M. C. D. J. A., de Moura Santos, F. M., & Sanches, L., 2021. Urban Heat and Urban Cool Islands of Different Land Use Types in Cuiabá, Brazil.
- Souza, R. D. de, Novais, J. W. Z., de Souza, M. D., Hoki, V. D. S. P., & da Silva Pires, V. K., 2023. Transporte Público em Cuiabá: Uma avaliação da salubridade e do Conforto Humano em ambiente veicular não climatizado. *Revista Thêma et Scientia*, 13(1), 51-69.
- Souza, R. D. de, Novais, J. W. Z., Pierangeli, M. A. P., Lansanova, M. D., Fernandes, T., Hoki, V. S. P., & Souza, P. J., 2020. Urban Microclimate and Comfort Indices in vegetated and non-vegetated áreas in wet and dry periods/Microclima Urbano e Índices de Conforto em área vegetada e não vegetada no período úmido e seco. *Ra'e Ga*, 47(1), 136-150.
- Valaski, S., 2013. Estrutura e dinâmica da paisagem: subsídios para a participação popular no desenvolvimento urbano do município de Curitiba/Pr.
- Zhang, X., Li, Y., Cheng, Y., Wang, Y., Wang, Y., & Yao, X., 2021. Assessment of regional health vulnerability to extreme heat—China, 2019. *China CDC Weekly*, 3(23), 490.
- Zhao, J., Chen, G., Yu, L., Ren, C., Xie, J., Chung, L., ... & Gong, P., 2023. Mapping urban morphology changes in the last two decades based on local climate zone scheme: A case study of three major urban agglomerations in China. *Urban Climate*, 47, 101391.
- Zhu, S., Causone, F., Gao, N., Ye, Y., Jin, X., Zhou, X., & Shi, X., 2023. Numerical simulation to assess the impact of urban green infrastructure on building energy use: A review. *Building and Environment*, 228, 109832.
- Zhu, X. X., Qiu, C., Hu, J., Shi, Y., Wang, Y., Schmitt, M., & Taubenböck, H., 2022. The urban morphology on our planet—Global perspectives from space. *Remote Sensing of Environment*, 269, 112794.