

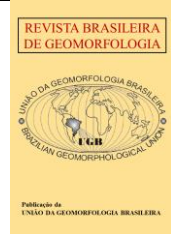


<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 23, n° 3 (2022)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i3.1994>



Artigo de Pesquisa

Mapeamento Geoambiental detalhado com uso de SIG e dados livres como estratégia de baixo custo para planejamento territorial periurbano

Detailed geoenvironmental mapping with open source spatial data and GIS: a low-cost strategy for peri-urban territorial planning.

Auberto José Barros Siqueira¹, Fernanda Vieira Xavier², Rosamaria Rosan Dias Figueredo³, Daniela Maimoni Figueiredo⁴, Gerson Natalício Barbosa⁵

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Departamento de Eng. Sanitária e Ambiental. 78077-052, Cuiabá-MT, Brasil. ajbsiqueira@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9364-4520>

²Instituto de Pesquisas do Pantanal – INPP/ Museu Paraense Emílio Goeldi. Bolsista PCI/MCTIC/CNPq. 78048-298, Cuiabá-MT, Brasil. ferx.unesp@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7979-9841>

³Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. 78048-298, Cuiabá-MT, Brasil. rosamaria.rosan84@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9608-5018>

⁴Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. 78077-052 Cuiabá-MT, Brasil. dani_figueiredo@uol.com.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2229-0905>

⁵17ª Promotoria de Justiça de Defesa da Ordem Urbanística e do Patrimônio Cultural de Cuiabá, Mato Grosso. 78049-928. gerson.barbosa@mp.mt.gov.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6617-7915>

Recebido: 28/07/2020; Aceito: 28/03/2022; Publicado: 01/07/2022

Resumo: Cidades tropicais em países subdesenvolvidos expandem-se em ritmo acelerado e desordenado. Tal situação tem causado degradação ambiental sem precedentes. Visando propor uma alternativa útil ao ordenamento territorial dessas cidades, aplicamos uma metodologia de emprego rápido e de baixo custo para mapear unidades geoambientais em escala 1/25.000, aplicada numa área piloto de 2.000 ha na zona de expansão urbana de Cuiabá, Mato Grosso. O procedimento consistiu em refinar o Modelo Digital de Elevação TOPODATA por meio dos métodos de escavação digital de canais de drenagem e filtro da diferença da elevação média, a fim de realçar as geoformas da área de estudo para que pudessem ser identificadas em escala de 1/25.000. O método serviu como base para extração de rede de drenagem através do entalhamento de canais, e possibilitou a compartimentação em cinco unidades geoambientais: Morrotes Assimétricos Alinhados; Superfícies Tabulares; Rampas; Vales e Áreas úmidas ou Várzeas. O mapeamento permitiu ainda, derivar recomendações de uso, conforme o funcionamento dos compartimentos paisagísticos. Assim, a abordagem constitui uma alternativa auxiliar, rápida e de baixo custo, ao ordenamento de áreas periurbanas em rápido processo de expansão.

Palavras-chave: compartimentos morfológicos, modelo digital do terreno, planejamento urbano, áreas periurbanas, mapeamento geomorfológico

Abstract: Tropical cities in underdeveloped countries expand at an accelerated and disordered pace. Such a situation has caused unprecedented global environmental degradation. To propose a useful alternative to the territorial ordering of these cities, we developed a methodology of quick and low-cost employment to map geoenvironmental units on a 1/25.000 scale, applied in a pilot area of two thousand hectares in the urban expansion zone of Cuiabá, Mato Grosso. The procedures consisted of refining

the TOPODATA Digital Elevation Model (DEM) using the burning stream channel into DEM, followed by difference from mean elevation filter. These procedures highlighted the geomorphs of the study area, allowing mapping yet unknown geoenvironmental unities at 1/25.000 scale. The method also made it possible to derive recommendations for sustainable use of these landscape compartments, based on the knowledge of their morphodynamics functioning. Thus, the approach constitutes an auxiliary, fast, and low-cost alternative to the ordering of peri-urban areas in tropical cities in rapid expansion.

Keywords: morphopedological compartments, digital terrain model, urban planning, peri-urban areas, geomorphological mapping.

1. Introdução

Nas últimas décadas o mundo tem passado por uma urbanização acelerada. Em 1950 a população urbana no planeta que era de 30% do total, em 2018 já passava de 55%, podendo chegar a 68% em 2050 (UNITED NATIONS, 2018). No Brasil, a partir de 1970, a explosão do crescimento urbano culmina na altíssima taxa de 84,4% em 2010 (IBGE, 2010), podendo atingir 92% em 2050 (UNITED NATIONS, 2018).

Nesse quadro, as cidades tropicais crescem duas vezes mais rápido que as demais. Em 2018, Harding et al. (2020), estimaram que 1,5 bilhão de pessoas viviam em áreas urbanas tropicais. No entanto, essa população tende a aglomerar-se em regiões com alta densidade populacional, sem infraestrutura adequada de saneamento e saúde. O resultado são os baixos índices de desenvolvimento humano e de sustentabilidade ambiental que impedem que tais populações usufruam dos benefícios da urbanização (GRET-REGAMEY, GALLEGUILLOS-TORRES e DISSEGNA, 2020). Assim, com a contínua e desordenada expansão das áreas urbanas, o ordenamento territorial das suas zonas periféricas, ou, zonas de expansão periurbanas, se apresenta como uma das mais relevantes questões ambientais atuais, pois são nelas em que os recursos naturais vêm sendo demandados e consumidos em larga escala (UNITED NATIONS, 2018).

Desse modo, muitos esforços têm ocorrido na busca por métodos alternativos para efetivar o ordenamento territorial das áreas periurbanas, sobretudo de cidades médias dos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento das zonas tropicais do globo, pois neles não apenas se concentra a maior parte da aceleração da urbanização, como também são os mais vulneráveis aos problemas socioambientais decorrentes da expansão desordenada (DICKINSON et al., 2012; REVI et al., 2014; UNITED NATIONS, 2019). O desafio reside na elaboração de um planejamento que seja capaz de suportar esse aumento. Portanto, cabe a pergunta: “Como o mundo está se preparando para o inevitável?”; e, “Como as cidades médias brasileiras têm se preparado?” (MARTINE et al., 2008; ANAZAWA, 2015).

Para além da preocupação em reverter um quadro já instalado de ocupação irregular nas áreas urbanas, os gestores dos países de clima tropical em desenvolvimento devem se dedicar a um planejamento adequado voltado para os eixos de expansão urbana, pensando nas escalas apropriadas que sejam efetivas para o controle da minimização e mitigação dos impactos socioambientais (MONTGOMERY et al., 2003).

Diante da constante demanda por novas áreas de expansão territorial, a compartimentação da paisagem é uma das ferramentas para assegurar a sustentabilidade ambiental das cidades. Estas unidades, em síntese, apresentam uma visão integrada de atributos paisagísticos que revelam potencialidades, limitações, riscos e fragilidades as quais são essenciais como marcos regulatórios de uso e ocupação adequadas dentro de um contexto geossistêmico (TRICART e KILIAN, 1979).

Sob esta ótica, o recorte paisagístico é objeto primordial ao planejamento territorial, pois da análise paisagística derivam as normas de ordenamento territorial, entendido como “...uma estratégia de utilização da paisagem natural pela sociedade, de forma que se logrem otimização no aproveitamento dos recursos, manutenção dos serviços ambientais e adaptação entre condições naturais e sociais existentes” (VICENS, 2012). Para ser efetivo, no entanto, os produtos cartográficos produzidos pela análise paisagística necessitam estar em escala adequada para poderem fundamentar o detalhamento da normatização de uso e conservação instituídos por instrumentos municipais, como planos diretores e códigos de postura (CRUZ e MENEZES, 2009).

No entanto, no Brasil a inexistência de cartografia em escala adequada é fator limitante para o avanço do planejamento territorial detalhado (CRUZ e MENEZES, 2009). Trata-se de uma situação ainda mais agravada diante da rapidez com que se dá a ocupação das periferias urbanas no país (CHILLETTO, 2013). Dentre os principais requisitos cartográficos para o planejamento, estão as bases planialtimétricas e mapeamentos temáticos prévios em

escala maior que 1/100.000, cujos custos de obtenção muitos dos municípios não podem arcar. Deste modo, se torna urgente a proposição de métodos alternativos visando suprir essa demanda cartográfica.

Como estudo de caso foi adotada a cidade de Cuiabá, cujo crescimento rápido e desordenado desde a década de 1970 (FIGUEREDO et al., 2019) é parte de um fenômeno típico das cidades médias brasileiras, sendo também comum na América Latina e mesmo em escala mundial (MARTINE et al., 2008; INTERAMERICAN DEVELOPMENT BANK, 2015; PINHEIRO, GUEDES e BARBIERI, 2016).

Todavia, o caso cuiabano não é isolado, mas parte do vertiginoso processo de urbanização no Brasil que vem ocorrendo desde 1940, como herança das mudanças socioeconômicas estruturais do país em décadas anteriores. Foi uma tendência mundial, especialmente em países de economia desenvolvida como Japão e Inglaterra, da qual o caso brasileiro notabilizou-se pela velocidade da urbanização (BRITO e SOUZA, 2005; SANTOS, 2009). Desse modo, a pressão sobre os recursos naturais tanto dentro das cidades quanto no seu entorno, se tornou um ponto central da política ambiental brasileira, ainda mais considerando a perspectiva das mitigações e adaptações necessárias frente às mudanças climáticas (MARTINS FERREIRA, 2011; ESPÍNDOLA e RIBEIRO, 2020).

Para o enfrentamento dessa questão, vislumbramos a estratégia de utilizar dados espaciais georreferenciados de acesso livre, bem como análise integrada de mapeamentos temáticos anteriores com auxílio de SIG abertos.

Deste modo, este trabalho teve como objetivo desenvolver e aplicar um método de cartografia geoambiental de baixo custo, em escala /25.000 em zonas de expansão urbana, por meio da utilização de Modelos Digitais de Elevação, imagens de sensoriamento remoto e softwares de acesso livre, apoiados por levantamentos rápidos em campo. A perspectiva é assegurar por meio do planejamento uma transição mais harmoniosa entre os espaços rurais e urbanos, frente às urgentes demandas novas áreas de expansão.

Para tanto, selecionamos uma área piloto de 2.000 ha sob a influência do eixo do futuro anel viário, na zona de expansão nordeste do perímetro urbano de Cuiabá. Nela se encontram as nascentes das principais bacias hidrográficas que drenam para a área urbana, e já se notam aí os efeitos da expansão irregular: poluição de mananciais por disposição de resíduos sólidos, atividades de mineração aurífera, extração de materiais primários para construção civil, e supressão de vegetação nativa. Tais efeitos podem gerar riscos eminentes de escassez da água em Cuiabá, e desencadear séria crise hídrica.

2. Materiais e Métodos

2.1. Aspectos populacionais e fisiográficos de Cuiabá

O município de Cuiabá, situado na região Centro-Oeste do Brasil, possui extensão territorial de 3.291,816 Km², com 98% dos seus aproximados 612.000 habitantes vivendo na sua área urbana e no distrito contíguo do Copicó da Ponte (IPDU, 2012; IBGE, 2019). O crescimento populacional e a expansão progressiva do perímetro urbano estiveram correlacionados no tempo e no espaço. Entre 1940 e 2010 houve incremento populacional de 550.000 habitantes, sendo que em 58 anos, no período entre 1960 e 2018, houve um aumento de 1.200% da população.

Ao mesmo tempo, entre 1948 e 2004, foram realizadas oito ampliações do perímetro urbano que passou de 254 ha para 25.631ha (FIGUEREDO et al., 2019). Com a ampliação de 2004, a última realizada, Cuiabá ainda apresentava uma baixíssima densidade populacional urbana de 20,88 habitantes/ha, quando o ideal para melhor aproveitamento da infraestrutura urbana seria de 250 habitantes/ha (IPDU, 2012).

Na bacia do rio Cuiabá, a vegetação nativa é típica dos domínios morfoclimáticos do Cerrado e Complexo do Pantanal. A área urbana insere-se na sub bacia do rio Cuiabá, Região Hidrográfica do Paraguai/Rio da Prata, conhecida localmente como Bacia do Alto Paraguai (BAP) (SEPLAN/ZEE, 2005). Como consequência da prolongada estação seca (4 a 5 meses) do clima tropical úmido regional (SOUZA et al., 2013) combinada com o longo processo erosivo de dissecação de relevos esculpidos em rochas metamórficas de baixo grau do Grupo Cuiabá, predominam nessa bacia como um todo, flúvios intermitentes e canais de primeira ordem efêmeros (CPRM 2006; IPEM 2008).

As áreas urbanas e periurbanas de Cuiabá ocorrem na interface entre os domínios geoambientais da Depressão Cuiabana e do Pantanal Mato-grossense. O primeiro localiza-se na porção norte-nordeste-leste área urbana na forma dos relevos dissecados, com cotas médias de 200-250 m. O segundo, ocorre no eixo oeste-sudoeste em cotas inferiores a 200 m, com predominância de relevos aplainados da Formação Pantanal.

A distinção entre tais unidades, apresenta relevantes implicações que não podem ser ignoradas no planejamento das áreas urbanas e periurbanas. A unidade SUP-DISS (superfícies aplainadas e dissecadas)

responde por 72% da cidade, e sobre ela assenta-se a maior parte da infraestrutura urbana. Devido às heterogeneidades litoestruturais do substrato rochoso formado pelas rochas metassedimentares do Grupo Cuiabá, o domínio apresenta complexidades em termos de funcionamento das dinâmicas superficiais-subsuperficiais. As limitações incluem maiores suscetibilidades a inundações e impermeabilização de superfícies, assoreamento de canais por disposição de resíduos, canalização e lançamento de esgotos e entupimento do sistema de drenagem urbana por material siltsoso produzido pela erosão dos metadiamicitos, (conhecidas como “piçarras”), que ocorrem tipicamente saprolitizados, formando os vales dos flúvios urbanos (CPRM, 2006).

O substrato das colinas e morrotes das áreas urbanas e periurbanas é considerado relativamente mais permeável do que as “piçarras”, devido ao fraturamento, às venulações e à porosidade primária, motivos pelos quais são importantes formadores do aquífero e áreas preferenciais para a formação de nascentes (CPRM, 2006; IPEM, 2008).

Importante ressaltar a vulnerabilidade do sistema aquífero da SUP-DISS, do tipo livre, heterogêneo, anisotrópico com variações laterais e em profundidade, pois o meio subsuperficial apresenta fissuras e fraturas que facilitam a penetração de águas meteóricas e percolação de líquidos contaminantes, como resíduos sólidos e efluentes urbanos (MIGLIORINI, 1999). Estudos realizados por Shiraiwa et al. (2002) e Santos (2005) no aterro sanitário de Cuiabá, indicam que contaminações por metais pesados têm ocorrido pela disposição inadequada de resíduos em local não apropriado do ponto de vista do meio físico.

As Planícies Aluviais (28% da área urbana) compreendem terrenos justapostos às margens dos rios Cuiabá, com largura de 1.200 a 1.400 m, Coxipó e Aricá-Açu, sendo susceptíveis ao transbordamento pelas suas cheias periódicas. São depósitos aluvionares inconsolidados principalmente de areias e secundariamente de cascalhos. Várzeas marginais (áreas úmidas) com depósitos de argila, vêm sendo intensamente exploradas na indústria de cerâmica vermelha, e, mais recentemente, produção de hortaliças. Devido à alta permeabilidade dos solos, do relevo plano e moradias irregulares, os aquíferos apresentam elevada vulnerabilidade a contaminação tanto por resíduos e efluentes domésticos quanto industriais, tornando-se no mais importante problema ambiental dessa unidade (CPRM, 2006; IPEM, 2008; NICOCELLI et al., 2009; MENEZES FILHO e AMARAL, 2014; SILVA e ROMERO, 2015; FIGUEREDO et al., 2019).

2.2. Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital do Terreno (MDT)

Com o advento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), o MDE e o MDT tornaram-se essenciais em vários campos das geociências, urbanismo e hidrologia. Várias agências governamentais possibilitam livre acesso, em diferentes resoluções espaciais e com alcance global (HASSAN, 2018). Atualmente, há vários métodos disponíveis para obter o MDE: fotogrametria, interferometria de radar, escaneamento a laser, aerolevantamentos não tripulados e levantamentos no terreno (WILSON e GALLANT, 2000; CHAPLOT et al., 2006). Todavia, a terminologia nessa área é reconhecidamente confusa (PODOBNIKAR, 2016). Neste trabalho, consideramos os MDEs como representações computacionais tridimensionais (3D) da superfície terrestre em relação a um *datum* de referência, porém sem subtrair a altura dos objetos que a recobrem. Por meio da subtração dessa altura, realizamos a conversão MDE → MDT para que os dados de altitude correspondessem, então, à superfície do terreno (“superfície nua do solo”).

Optamos pelo TOPODATA, um produto derivado por reamostragem do SRTM-90. Obtido por interferometria de radar, o SRTM-90 é disponibilizado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dos Estados Unidos com resolução espacial horizontal de 90 m x 90 m para todo o globo (RABUS et al., 2003; FARR et al., 2007). Com o projeto TOPODATA, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil (INPE) melhorou essa resolução horizontal para 1”, ou 30 m x 30 m, por meio de interpolação por Krigagem, sem perda de acurácia (VALERIANO, 2005; VALERIANO, ROSSETTI e ALBUQUERQUE, 2009). Optamos pelo modelo por constituir-se em uma base nacional de dados de elevação e morfometria do território nacional, facilmente acessível pelo portal <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Os dados corresponderam à quadrícula 15S_57, georreferenciado ao WGS84. Devido à necessidade de avaliação de parâmetros quantitativos, procedemos à projeção dos dados para o sistema UTM21 SIRGAS 2000.

2.3. Desenvolvimento dos trabalhos

2.3.1. Área de estudo

Adotamos uma área-teste representativa das características paisagísticas da zona de expansão de Cuiabá. Delimitamos um polígono de 2.000 ha (Figura 1), situado na projeção de um dos eixos de expansão, escolhido pelas seguintes razões: 1- representatividade fisiográfica das paisagens da zona periurbana; 2 - ocorrência de conflitos ambientais relevantes, produzidos pela existência do aterro sanitário da cidade, áreas de mineração abandonadas e de elevado potencial de ocupação; 3- localização das nascentes das principais bacias hidrográficas que drenam a cidade; 4- área de influência do projeto do rodovial, um vetor de especulação imobiliária.

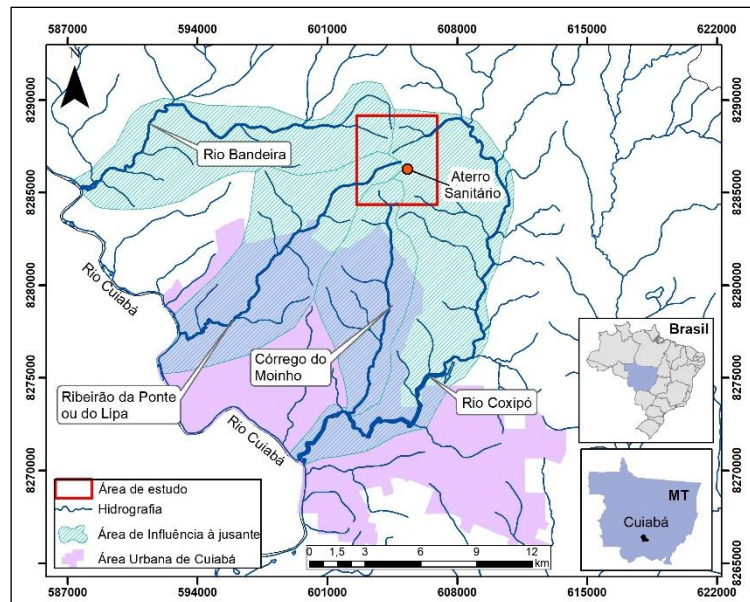


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo com a delimitação das bacias que drenam a área urbana de Cuiabá a jusante. Elaboração: autores.

2.3.2. Identificação dos eixos de expansão urbana e padrões espaço-temporais da ocupação

Antes da análise da área periurbana mapeamos os processos de degradação ambiental, que ocorrem na área urbana (FIGUEREDO et al., 2019), supondo que, na ausência de ações efetivas de planejamento territorial, os mesmos padrões de degradação encontrados na área urbana se repetiriam no entorno da cidade. Portanto, a etapa teve tanto um caráter preditivo (quais, onde e quando os processos ocorrerão) quanto preventivo (como evitá-los). Além da definição do arco de expansão, a análise permitiu localizar os três principais eixos.

2.3.3. Definição das unidades de mapeamento

Os diversos métodos de mapeamento de unidades geoambientais são calcados nos fundamentos de unidades de paisagens geossistêmicas, e geram produtos a partir da integração de diferentes conjuntos de componentes, processos e sistemas, nos quais combinações de fatores geológicos, climáticos, geomorfológicos, hidrológicos e pedológicos são associados a certos tipos de exploração biológica, e podem ter sua estrutura influenciada por fatores sociais e econômicos na análise do espaço (BERTRAND, 1972; SOTCHAVA, 1977; ROSS, 1995).

Conforme descrito por Silva e Dantas (2010), o termo geoambiental dialoga com as diversas áreas das geociências, o que define os diversos caminhos de abordagens que buscam integrar os diferentes sistemas da paisagem.

Com fundamento nestes preceitos, utilizamos a compartimentação morfopedológica como abordagem metodológica, que integra variáveis do meio físico, biótico e antrópico. Essa compartimentação foi utilizada no aglomerado Cuiabá-Várzea Grande, em escala 1/100.000 (CPRM, 2006), considerada inadequada para o nível de detalhamento dos mapeamentos urbanos e periurbanos.

Em razão dos problemas ambientais decorrentes da rápida e desordenada expansão urbana e populacional, a aplicação da cartografia ao planejamento e gestão territorial em Cuiabá começa já nos anos 1980 (VECCHIATO, 1987). Mas os trabalhos realizados ainda não empregavam a tecnologia dos Sistemas de Informações Geográficas - SIGs, como passou a ocorrer na década seguinte. Assim, adotamos abordagem semelhante aos mapeamentos geomorfológico-geotécnicos sistemáticos mais recentes como Feuerharmmel, dos Santos e Rodrigues (1995); CPRM (2006); IPEM (2008); e morfopedológicos como o de Salomão, Madruga e Migliorini (2012), procurando dar-lhes sequência na zona periurbana, porém em escala mais detalhada (1/25.000).

Ao empregar MDE como base para identificação de unidades geoambientais, é fundamental utilizar uma taxonomia do relevo consistente com a cartografia geomorfológica em diferentes escalas. Assim, a proposta metodológica encontra-se amparada no conceito do sistema taxonômico de relevo do mapeamento do projeto RADAMBRASIL, conforme descrito por Ponçano, Bistrichi e Carneiro (1979); Vargas et al. (1983) e Ross (1985), aprimorada por Ross (1992) para o mapeamento sistemático do Brasil.

A metodologia para a definição das unidades de relevo envolve, dentre outras, a análise de dados do meio físico, imagens de satélite e modelos digitais e numéricos do terreno, visando uma compartimentação preliminar em laboratório, seguida de trabalhos de campo com a finalidade de delinear com maior precisão a compartimentação inicial, bem como descrever as unidades geomorfológicas identificadas (CPRM, 2006).

Essa proposta classifica conjuntos de formas em ordem crescente de detalhes conforme se diminui a escala do mapeamento. No nível mais genérico (1/1.000.000), ela é parte da Baixada ou Depressão Cuiabana (ROSS e SANTOS, 1982; BARBOSA, 1983), na qual ocupa o Domínio Denudacional, em escala de 1/250.000 (SEPLAN/ZEE, 2005). Posteriormente, o Projeto SIG Cuiabá (CPRM, 2006), subdividiu o Domínio Denudacional em duas unidades: Colinas, Morrotes e Morros Alinhados (CMC) e Superfícies Aplainadas Dissecadas em Colinas e Morrotes (SUP-DISS), na escala 1/100.000. Conforme essa taxonomia, propusemos mapear na área de estudo conjuntos de formas residuais e erosivas previstas na escala 1/25.000 conforme a taxonomia de Ross (1985).

Seguindo o método taxonômico supracitado, mostramos esquematicamente (Figura 3), como as geoformas presentes na área estudada foram sucessivamente cartografadas na sequência de mapeamentos sistemáticos anteriores, em ordem crescente de detalhamento, conforme se aumentava a escala de trabalho. Observamos que na escala 1/25.000, podemos cartografar formas correspondentes ao 5º Táxon de Ross (1992) no qual identificam-se topos de elevações e tipos de vertentes. Chegamos a esse grau de detalhamento após os realces do MDE, conforme descrito no item 2.4 deste trabalho.

2.4. Processamento do MDE TOPODATA para o realce das geoformas

As etapas de pré-processamento, processamento e realce de geoformas no MDE ocorreram utilizando-se o SIG WHITEBOX GAT 3.4 (LINDSAY, 2016), sistema de código aberto, em linguagem Java.

2.4.1. Pré-processamento MDE

O principal objetivo do pré-processamento é corrigir erros para geração de um MDE hidrológicamente consistente. Os procedimentos obedeceram a seguinte ordem: Preenchimento de depressões → Codificação da direção de Fluxo → Acumulação de Fluxo.

Após o pré-processamento, o MDE TOPODATA foi corrigido para MDT através da técnica de entalhamento de canais de drenagem por meio do algoritmo *Burn Stream Into DEM* implementado por Lindsay (2016) no software WHITEBOX 3.4.

2.4.2. Processamento do Modelo Digital de Terreno

Processamos o MDT para extração e delimitação das bacias; extração, codificação e hierarquização da rede drenagem segundo a ordem de Strahler e derivação de parâmetros morfométricos importantes para a definição de unidades geoambientais como declividade, curvas de nível e densidade de drenagem.

O processo de extração automatizada de canais de drenagem a partir de MDT pode trazer muitos erros, sendo especialmente desafiador, quando em terrenos aplainados se objetiva obter uma rede em escala de detalhe (MARTZ e GARBRECHT, 1998; RAHMAN, ARYA, e GOEL, 2010; AL-MUQDADI e MERKEL, 2011; LIU et al., 2017).

O entalhamento digital de canais proposto por Lindsay (2016), segue a abordagem tradicional, impondo um valor fixo de rebaixamento das altitudes do MDT ao longo dos vetores da drenagem. Após várias tentativas (5, 10, 15 e 20 m) adotamos o valor de 10 m. Valor coincidente com a altura média das árvores do cerrado local, indicando que o MDT fora corrigido ao subtrair-se efeito aditivo da altura da vegetação.

Entretanto, para melhor resultado, a densidade da rede de drenagem precisa ser consistente com a escala do mapeamento a ser executado. Assim, quanto mais detalhada tal escala, maior deve ser a densidade da rede. No caso em tela, a densidade de drenagem vetorizada disponibilizada pelo mapeamento anterior em escala 1/100.000 (CPRM, 2006), era muito baixa para a escala de 1/25.000 deste trabalho. Para contornar esse problema, pode-se adensar os canais, vetorizando-os a partir da interpretação visual de imagens de satélites, desde que estas satisfaçam requisitos de correções radiométrica, geométrica, e resolução espacial adequadas à escala do mapeamento e de fácil acessibilidade.

Assim, utilizamos imagens RapidEye, ortorretificadas, com resolução espacial de 5 x 5 m e alta resolução temporal (PLANET, 2016).

Por essas razões, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) tem um programa de aquisição e disponibilização regular dessas imagens mediante cadastro, através das agências públicas e de pesquisa, por meio do portal GEOCATALOGO (<http://geocatalogo.mma.gov.br/>). Pelo catálogo, é possível obter imagens diárias em uma grade regular de 25 x 25 m para todo o território nacional (SILVA e SANO, 2016). Neste trabalho, utilizamos a cena 2131919, de 06 de agosto de 2014.

2.4.3. Realce de geoformas

O processo de entalhamento dos canais realça geoformas, permitindo a ampliação do contraste da altimetria do relevo. Devido ao aplainamento da área estudada trata-se de um requisito importante para o detalhamento das categorias de geoformas na escala do mapeamento, incluindo: comprimentos e formas de vertentes, topos de morros, vales e superfícies tabulares. Adicionalmente aplicamos um filtro da diferença da elevação média que calcula a diferença entre a altitude de cada célula do MDT e a altitude média das oito células que lhes são contíguas. Portanto, trata-se de um índice que mede a posição topográfica de cada célula como uma fração do relevo local, realçando as rugosidades mais expressivas da superfície (LINDSAY, 2006).

2.5. Validação em Campo

Na etapa de validação em campo, foi possível visualizar a modelagem geral da paisagem, seus compartimentos e subcompartimentos com o auxílio das imagens de alta resolução espacial disponibilizadas online pelo Google Earth Pro (POTERE, 2008) e RapidEye (PLANET, 2016). Esses dados foram sintetizados em um perfil genérico com a classificação dos sistemas de relevos, os quais, serviram de base para a identificação das unidades geoambientais. Para tanto, foi elaborada uma ficha sistematizada baseada na seguinte chave de classificação: Crista (R1), Superfície Tabular (R2), Rampa (E1), Vale (E2) e áreas úmidas (D1).

2.6. Potencialidades, limitações e recomendações de uso das unidades geoambientais no espaço periurbano

Sendo essencialmente uma atividade de planejamento, recomendações de uso de unidades ambientais variam em função dos tipos de atividades a que estão sujeitas. Portanto, é fundamental definir à priori os tipos de usos a serem considerados, analisando-os coerentemente aos objetivos finais desse planejamento.

No caso em tela, a questão fundamental que norteou o estudo foi a avaliação do potencial de urbanização da paisagem no entorno da área urbana de Cuiabá. Se esta ocorrer nos moldes do que já vem ocorrendo nas últimas décadas, seja por projetos regulares ou irregularmente por meio de invasões espontâneas ou organizadas, há elevado risco de repetirem-se aí os mesmos padrões de degradação que já ocorrem no espaço consolidado da cidade (CPRM, 2006; IPEM, 2008; CHILLETTO, 2013; FIGUEREDO, 2019; FRAPORTI e GUSHIKEN, 2019; FIGUEREDO et al., 2019; FRAPORTI e ROMANCINI, 2020; TASCA, XAVIER e SIQUEIRA et al., 2021).

Esses processos resultaram em passivos ambientais graves, por vezes irreversíveis, que, em geral pioraram a qualidade de vida dos habitantes, incluindo poluição generalizada de corpos hídricos, canalização e entubamento de córregos, degradação de nascentes e destruição de Áreas de Preservação Permanentes.

A situação é agravada pelas condições climáticas (susceptibilidade a ondas de calor intenso, tempestades tropicais, extenso período de seca) de uma cidade cuja quase a totalidade da rede hidrográfica é intermitente ou

efêmera (FIGUEREDO et al., 2019; TASCA, XAVIER e SIQUEIRA et al., 2021). É uma questão importante, porquanto nessas condições encontram-se grande número de cidades brasileiras.

Após identificar e cartografar as unidades geoambientais, passamos para a avaliação de suas potencialidades e/ou limitações no que diz respeito à urbanização.

O primeiro passo foi identificar o conjunto de variáveis locais do meio físico que mais afetam os projetos de urbanização. Consideramos mais especificamente aquelas presentes nos domínios de relevos dissecados, onde se situa a nossa área de estudo (Quadro 1).

Quadro 1. Principais fatores de influência em projetos de urbanização exercidas pelo meio físico dos domínios de relevos dissecados de Cuiabá.

Atividade influenciadora	
1	Delimitação de APP de corpos hídricos, declividade > 45° e topos de morros
2	Obras de contenção e controle de erosão laminar/subsuperficial incluindo projetos galerias pluviais e estruturas de controle de colapso de blocos/desplacamento (muros de arrimo, gabiões, revestimento de taludes etc.)
3	Implantação de redes de infraestrutura (eletrificação, esgotamento doméstico, água tratada, transporte coletivo) e arruamento
4	Operações de escavação em geral (fundações, alicerces, abertura de valas)
5	Operações de corte e aterro
6	Parcelamento do solo (loteamento)
7	Obras de arte civis (pontes, elevados, viadutos)
8	Viabilização de materiais de construção civil em volume e qualidade adequados
9	Viabilização de água superficial e/ou subterrânea
10	Asfaltamento em solos e substrato de rochas expansíveis/colapsáveis
11	Mitigação/controle da vulnerabilidade potencial de contaminação do lençol freático/aquífero

Fonte: Vecchiato (1987); Feuerharmmel, dos Santos e Rodrigues (1995); CPRM (2006); IPEM (2008); Salomão, Madruga e Migliorini (2012), e observação dos autores.

Identificamos como principais atributos físicos das unidades, declividade, hidrografia, geofomas, cobertura superficial, solos, substrato rochoso, e hidrogeologia, com base em nossas próprias observações ao longo da pesquisa, referenciadas a vários trabalhos anteriores sobre a influência do meio físico cuiabano nos problemas da ocupação urbana (VECCHIATO, 1987; FEUERHARMMELE, DOS SANTOS e RODRIGUES, 1995; CPRM, 2006; IPEM, 2008; SALOMÃO, MADRUGA, e MIGLIORINI, 2012).

Correlacionamos as atividades do Quadro 1, com as propriedades do meio físico, procurando identificar como elas influenciam favoravelmente ou desfavoravelmente ao processo de urbanização que se instala na zona periurbana (Quadro 2).

Quadro 2. Favorabilidade e desfavorabilidade das propriedades físicas das unidades geoambientais a urbanização

Propriedade	Influência para urbanização	Favorável	Desfavorável
Declividade	Definição de APP (>45°); necessidade de cortes e aterros; erosão laminar; redes de drenagem pluvial e esgoto; arruamento;	Declividades baixas/moderadas favorecem ocupação regular e irregular evitando custos de corte e aterro e facilitando instalação de redes de infraestrutura e saneamento	Declividade média a alta favorece processos erosivos; Declividades >45° não podem ser ocupadas (APP). Declividade baixa pode favorecer encharcamentos
Hidrografia	Definição de APP em margem de corpos hídricos e nascentes; Obras-de-arte civis; Riscos ambientais vários (inundação, encharcamento, desmoronamento, etc.)	APP preservadas melhoram a qualidade do clima, biodiversidade urbana, embelezamento da paisagem; Baixa densidade de drenagem aumentam a disponibilidade de áreas para parcelamento do solo.	Alta densidade de drenagem desfavorecem a ocupação urbana; Elevam custo de implantação dos projetos; APP de corpos hídricos são inviáveis para habitações; Alto risco de degradação em ocupação irregulares e de aterramento de canais em projetos regulares e/ou ocupação irregular
Geofomas	Forma, profundidade de entalhamento e largura de vales influenciam custo de obras-de-arte civis; Comprimento, largura e declividade de rampas influenciam padrão de arruamento, redes de infraestrutura, parcelamento do solo e obras de contenção de erosão; tipologia, largura, comprimento e amplitude e topos de morros influenciam na definição de APP <45°.	Rampas e vertentes amplas, aplainadas e longas favorecem ocupação urbana; ampliam possibilidade de parcelamento do uso do solo; Topos de elevações amplas e planas são favoráveis, com restrições se existirem bordas escarpadas.	Alta frequência de elevações com topos de morros estreitos e de alta amplitude desfavorecem a ocupação; topos de elevações amplas e planas são favoráveis, com restrições se existirem bordas escarpadas. Vales profundos e estreitos são inviáveis e/ou de alto risco a ocupação.
Cobertura Superficial	Espessura, textura, granulação, mineralogia e grau de consolidação da cobertura influenciam operações de	Materiais derivados do desmantelamento natural de	Saibros e solos com aluviais são materiais instáveis e são removidos/aterrados,

	abertura de ruas, instalação de redes e fundação de prédios e residências; disponibilidade de material de construção civil.	crostas lateríticas e coberturas de fragmentos de quartzo leitoso podem ser aproveitados como material construção.	causando problemas em alicerces e fundações rasas.
Solos	Tipos e propriedades geotécnicas e presença/ausência de couraças lateríticas, influenciam operações de abertura de ruas, instalação de redes e fundação de prédios e residências; disponibilidade de material de construção civil.	Solos litólicos, Plintossolos, Latossolos, com alta capacidade de carga, resistência a erosão e compactidade favorecem a urbanização;	Solos moles, hidromórficos, encharcáveis, espessos, com argilas expansíveis dificultam, depósitos de tálus/ massas coluvionares incoesas, dificultam a urbanização.
Substrato	Metapelitos (filitos/metadiamicritos/filitos carbonosos) saprolitizados, alta consistência e resistência ao colapsamento e baixa resistência a escavação, abertura de fundações, valas, e infraestrutura geral; rochas metaclásticas (metarenitos/ metarcósios /grauvacas) saprolitizadas, apresentam resistência baixa a moderada a escavações, moderada a baixa resistência ao colapsamento.	Substrato de metapelitos favorecem a urbanização pela facilidade para abertura de fundações, alicerces e outras obras de infraestrutura (arruamento, galerias, postes para eletrificação, etc.)	Substrato de metaclásticas apresentam moderada a alta desfavorabilidade a urbanização (baixa resistência/tendência ao colapsamento).
Hidrogeologia	Metapelitos (filitos/metadiamicritos/filitos carbonosos) saprolitizados, baixas porosidade e permeabilidade, baixa disponibilidade de água subterrânea; tende a formar lençol freático raso, com áreas susceptíveis a encharcamentos; rochas metaclásticas (metarenitos/ metarcósios /grauvacas) porosidade e permeabilidade média a alta, lençol freático profundo, presença de água subsuperficial na base de fundações, média a alta vulnerabilidade a contaminação de águas subterrâneas.	Metapelitos, dificultam a urbanização em relevos aplainados em margem de vales amplos formam áreas encharcáveis, campos úmidos/campos de murundus, zonas de nascentes difusas, frequentemente aterrados; rochas metaclásticas podem estar associadas a formação de aquíferos produtivos.	Metapelitos em relevos de rampa, favorecem a urbanização. Rochas metaclásticas podem ser aquíferos Rochas metaclásticas, apresentam dificuldades para urbanização, frequentemente necessitando de operações de corte/aterro, drenagem de água subterrâneas. São frequentemente associadas a nascentes intermitente.

3. Resultados

3.1. Hidrografia

Após o entalhamento dos canais, a extração automatizada aumentou o comprimento total dos canais de drenagem em 67%, passando de 12 km no mapeamento anterior (1/100.000), (CPRM, 2006) para 35 km na escala 1/25.000. Em campo, predomina a efemeridade em canais de primeira ordem em incisões erosivas lineares instaladas nos compartimentos mais elevados (superfícies tabulares-morrotes) que passam à intermitência a jusante. A transição efemeridade-intermitência é transicional, não sendo ainda possível determinar os limites entre elas.

3.2. Realce das geoformas

Antes dos processamentos, a amplitude altitudinal do TOPODATA na área de estudo era de 83 m (cota mínima = 190 m e cota máxima = 273 m). Mas ainda não realçavam suficientemente as geoformas para visualização e delimitação de unidades geoambientais na escala da investigação (Figura 2A). Com o método de entalhamento, os vales foram digitalmente “escavados” em 10 m (corresponde a altura média da cobertura vegetal) ao longo dos principais canais de drenagem, os quais foram manualmente digitalizados a partir da imagem ortorretificada RapidEye. O processamento aumentou amplitude das cotas em 100 m (variação de 17%), possibilitando melhor definição dos vales e das elevações (morrotes) (Figura 2B). Entretanto, a transição entre essas formas ainda não permitia a diferenciação clara das vertentes e relevos tabulares, importantes componentes da paisagem local. O filtro de desvio da elevação média, aplicado em uma vizinhança de 8 pixels, permitiu separar valores positivos (> média) e negativos (< média), resultando em um mínimo de -33 m e um máximo de +42 m (75 m de diferença) (Figura 2C). Isso aumentou o contraste do relevo, possibilitando a melhor definição das geoformas previstas à 1/25.000 (Figura 2), exceto das áreas úmidas. A curva da elevação média coincide aproximadamente com limite entre rampas e início do entalhamento dos vales.

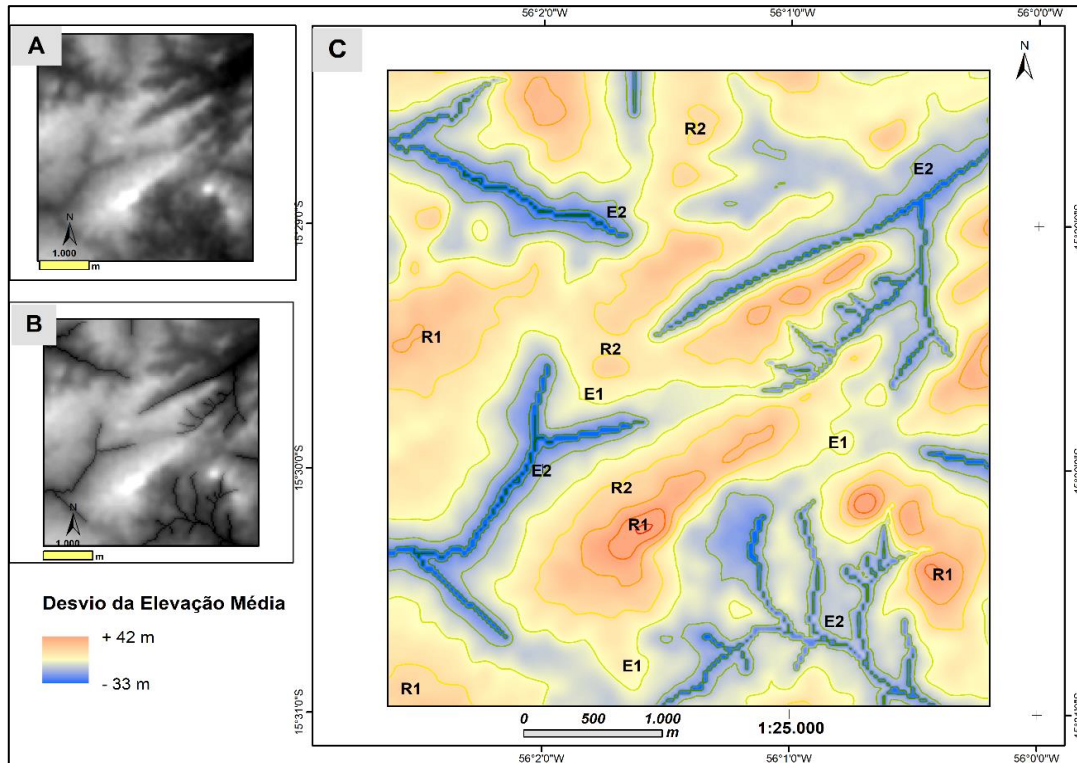


Figura 2. Realce das geformas da área de estudo: 2A- TOPODATA original com ampliação linear de contraste; 2B- Após o entalhamento dos canais de drenagem; 2C- Após o desvio da elevação média; R1- Forma Residual 1 (Morrotes); R2- Forma Residual 2 (Superfícies Tabulares); E1- Forma Erosional 1 (Rampas) E2- Forma Erosional 2 (Vales). Fonte: TOPODATA/SRTM/INPE. Elaboração: autores.

3.3. Unidades Geoambientais

Após os levantamentos em campo, tendo como referência a imagem realçada (Figura 2C) e sistematizando os dados por meio da aplicação da ficha de campo, observamos que essas geformas eram, no geral, consistentes com os conceitos de compartimentação morfopedológica que utilizamos como referência de unidade de paisagem.

Conduzido na escala 1/25.000, nosso trabalho mapeou cinco novas unidades geoambientais (Figura 3) subdivididas em três grupos de acordo com os regimes morfodinâmicos predominantes: **Residual** (Morrotes Assimétricos Alinhados - R1 e Superfícies Tabulares - R2); **Erosivo** (Rampas - E1 e Vales - E2); e **Deposicional** (áreas úmidas ou várzeas - D1).

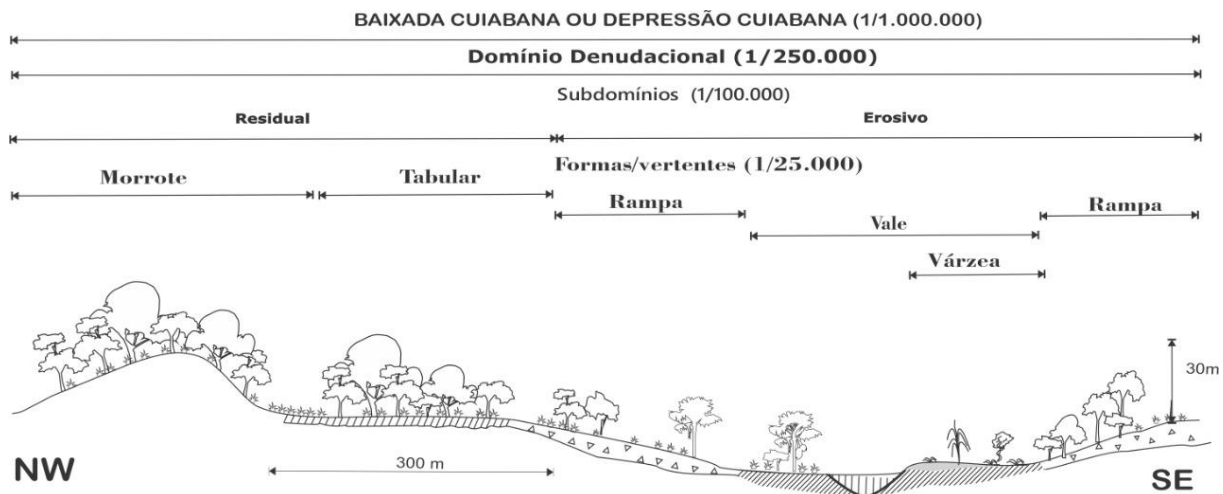


Figura 3. Perfil esquemático das unidades geoambientais em diferentes escalas de mapeamento. Elaboração: autores.

Assim, com pequenos ajustes dos contatos entre rampas/tabuleiros, mapeamos as unidades geoambientais (Figura 4).

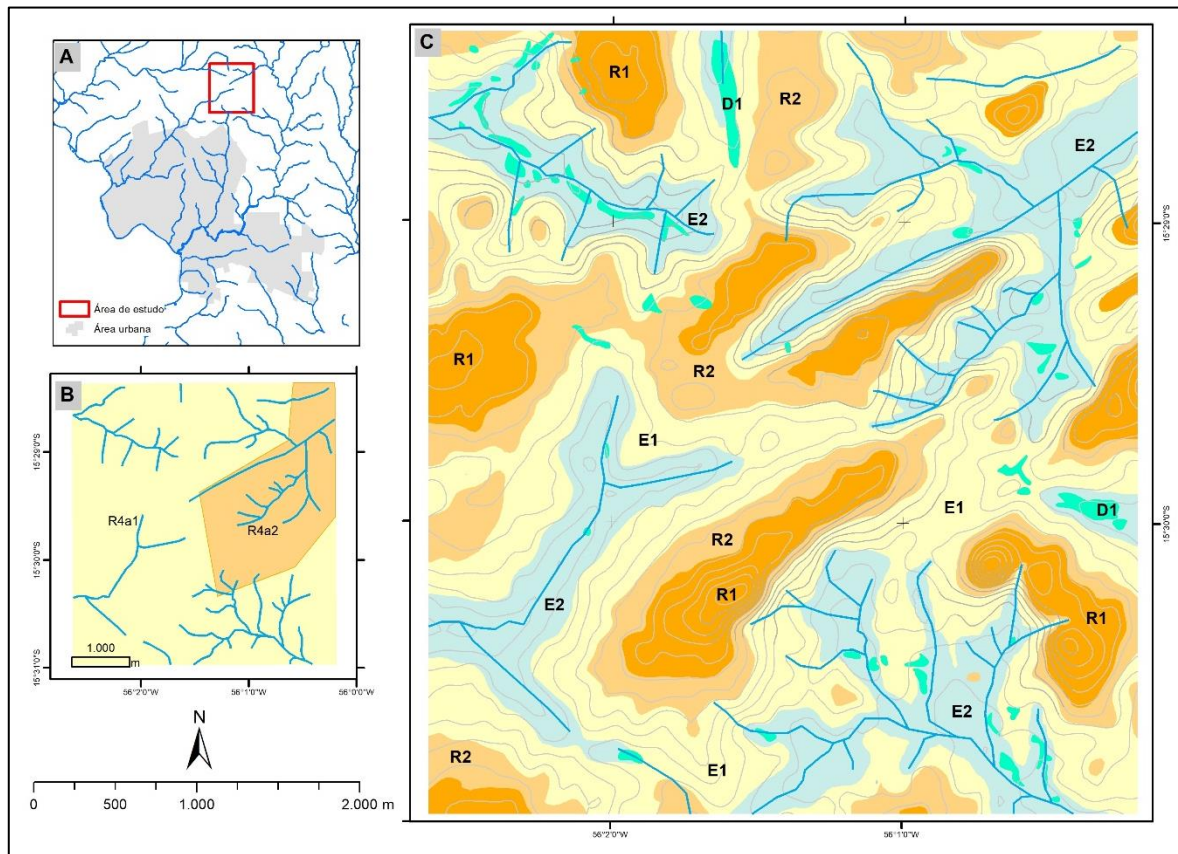


Figura 4. Unidades geoambientais: 3A- Localização da zona periurbana em relação à área urbana de Cuiabá; 3B- Unidades geoambientais a 1/100.000 (Superfícies aplainadas dissecadas em colinas e morrotes: R4a1- Domínio de colinas amplas e suaves; R4a2- Domínio de colinas dissecadas e morros baixos); 3C- Unidades Geoambientais a 1/25.000 (R1- Morrotes Assimétricos Alinhados; R2-Superfícies Tabulares; E1- Rampas; E2- Vales; D1- áreas úmidas). Elaboração: autores.

3.4. Morrotes Assimétricos Alinhados (R1)

A. Descrição

São formas aguçadas com amplitudes topográficas entre 20 e 50 m que se destacam na topografia aplainada da região. As vertentes são retilíneas e assimétricas, sendo as voltadas para NW mais longas que as opostas, para SE. Ocupam 13 % da área de estudo encontrando-se entre as cotas 208 e 273 m. As declividades estão enquadradas como suaves a onduladas. Apresentam topos estreitos, retilíneos e orientados para NE/SW. O substrato é sustentado por camadas dobradas de metarenitos e secundariamente por metarcóseos, cortados por veios de quartzo tabulares, discordantes e concordantes das estruturas tectônicas regionais (acamamentos e xistosidades). Os morrotes são morfoestruturas esculpidas em megadobras de sinclinais invertidas com camadas alternantes de metadiamicritos e metarenitos. São solos rasos (Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos) e cobertura superficial elúvio-coluvionar com predomínio de fragmentos de quartzos angulosos, centimétricos, mal selecionados (CPRM, 2006). A cobertura vegetal é de cerrado com formação de aglomerados arbóreos (capões)/cerrado denso que ocorrem em zonas das vertentes com colúvios espessos (CPRM, 2006). (Figuras 5 e 6).

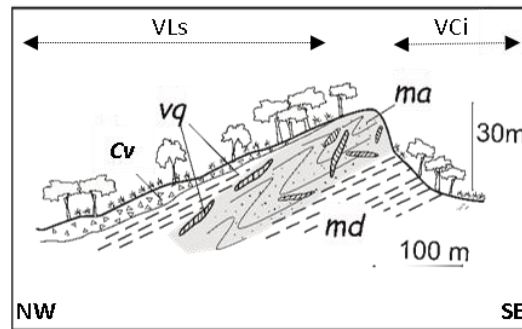


Figura 5. Perfil esquemático da unidade geoambiental identificada a 1/25.000: Morrotes Assimétricos Alinhados (R1). Legenda: Cv - massas de colúvios; Vq - Veios de quartzo; Ma - Metarenito; Md - Metadiamicrito; VLs - Vertente Longa suave; VCi - Vertente Curta íngreme. Elaboração: autores.



Figura 6 A e B. Vista aproximadamente perpendicular ao alinhamento dos morrotes (NE/SW) com realce do perfil das vertentes retilíneas assimétricas (VLS – Vertente Longa Suave; VCI – Vertente Curta Íngreme) acentuadas com vertente retilínea direcionadas para NW. Vegetação cerrado aberto; C: Rede de fraturamento preenchidos por veios de quartzo leitoso, encaixados em massa de metarenitos/metarcóseos de granulação grosseira. Essas propriedades aumentam a porosidade do maciço; D: Maciço do aterro sanitário de Cuiabá, construído em um morrote assimétrico, em uma zona de alta porosidade do substrato; E: Cava de garimpo de ouro abandonado onde foi construído o aterro sanitário da capital. Observar deposição de argila em antiga bacia de decantação de rejeitos da garimpagem. Fonte: arquivo pessoal dos autores.

B. Limitações

Baixa capacidade de uso agropecuário e alta suscetibilidade à erosão laminar e linear (sulcos). Por ser constituída de massas de metarenitos com abundante venulações de quartzo, é considerada como um aquífero fissural de capacidade baixa a moderada. A disponibilidade hídrica superficial muito baixa e baixíssima capacidade de retenção de água pelo solo. Formação de pavimentos detríticos decorrentes de erosão diferencial e desmonte de rochas com veios de quartzo.

C. Potencialidades

A despeito dessas limitações, várias formas de uso ocorrem na unidade, incluindo: 1- instalação do aterro sanitário de Cuiabá; 2 - material para empréstimo para recobrimento dos resíduos sólidos do aterro; 3 - lavra de veios de quartzo aurífero; 4 - retirada de cascalho de quartzo/brita para vários usos na construção civil. Além disso, devido à permeabilidade do substrato em função da intensidade do fraturamento rochoso, presença de possantes veios de quartzo e lentes de metarenitos, a unidade tem o potencial de recarga de aquíferos, comprovada pela existência de várias nascentes. Sua altitude e localização permitem excelente visão panorâmica das escarpas da Chapada dos Guimarães pelo que pode ter uso associado a turismo, como potencialidade.

D. Recomendações

Sugerimos que sejam preservados a biodiversidade local e os mananciais, com instalação de reservatórios de água e vedada a implantação de aterro sanitário na região; conservação de fragmentos de campos-cerrados e cerrado nativos para propiciar a expansão das manchas de cerrado. Recomendamos também o controle da erosão e recomposição ambiental nos processos de extração de cristais de rocha. Ademais, projetos turísticos com plano e rígido controle ambiental representariam uma forma adequada e segura de uso.

3.5. Superfícies Tabulares (R2)

A. Descrição

É composta por relevos planos sustentados por crostas lateríticas de espessura métrica, ocupando 18% da área estudada. Ocorrem entre as cotas de 196 e 250 m, com declividades predominantes (83%) de relevo plano/praticamente plano a suave ondulado. A faixa de altitude relativa fica entre 5 e 14 m em relação a elevação média. A densidade de drenagem é nula ou muito baixa. Podem apresentar suaves depressões menores do que ou iguais à 1 m, nas quais ocorrem encharcamentos que podem ou não se conectar aos sistemas de drenagem a jusante. Nessas áreas, o cerrado aberto dá lugar a campos com gramíneas. As crostas são descontínuas, encontrando-se parcialmente desmanteladas. Nessas situações, massas de psólitos desagregados podem ser formadas, preenchendo o espaço entre segmentos de crostas. São locais de aumento da porosidade e permeabilidade que ensejam condições edáficas para formação de vegetação de porte arbóreo (“capões”) (CPRM, 2006). Paleocolúvios de fragmentos de quartzo leitoso sustentados por matriz laterítica formam a cobertura superficial. Os solos são basicamente Plintossolos Pétricos, sendo o substrato constituído por metadiamiclito saprolitizado, com mosqueado típico de perfil laterítico (CPRM, 2006). (Figuras 7 e 8).

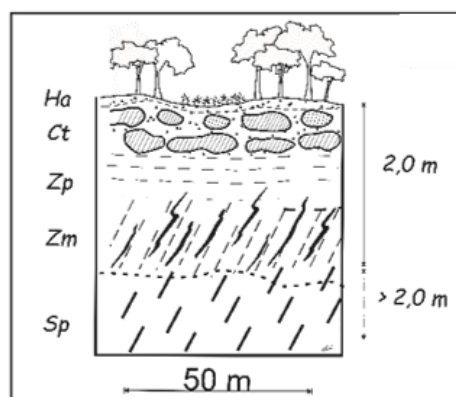


Figura 7. Perfil esquemático da unidade geoambiental mapeada à 1/25.000: Superfícies Tabulares (R2). Legenda: Ha - horizonte A; Ct - Crosta laterítica; Zp - Zona pálida; Zm - Zona mosqueada; Sp - Saprolito. Elaboração: autores.

B. Limitações

Devido às baixas declividades e presença de crostas lateríticas, a unidade tem potencial erosivo baixo/nulo. Entretanto, por essas mesmas razões, são suscetíveis a encharcamentos temporários. O substrato também indica dificuldade elevada à escavação. Os solos rasos, duros e com nível freático próximo à superfície limitam fortemente

a unidade para fins agrícolas, instalação de aterros sanitários e projetos residenciais, devido às dificuldades para o esgotamento doméstico. Porém, em alguns locais, o relevo favorece a implantação de projetos urbanizados planejados e controlados.

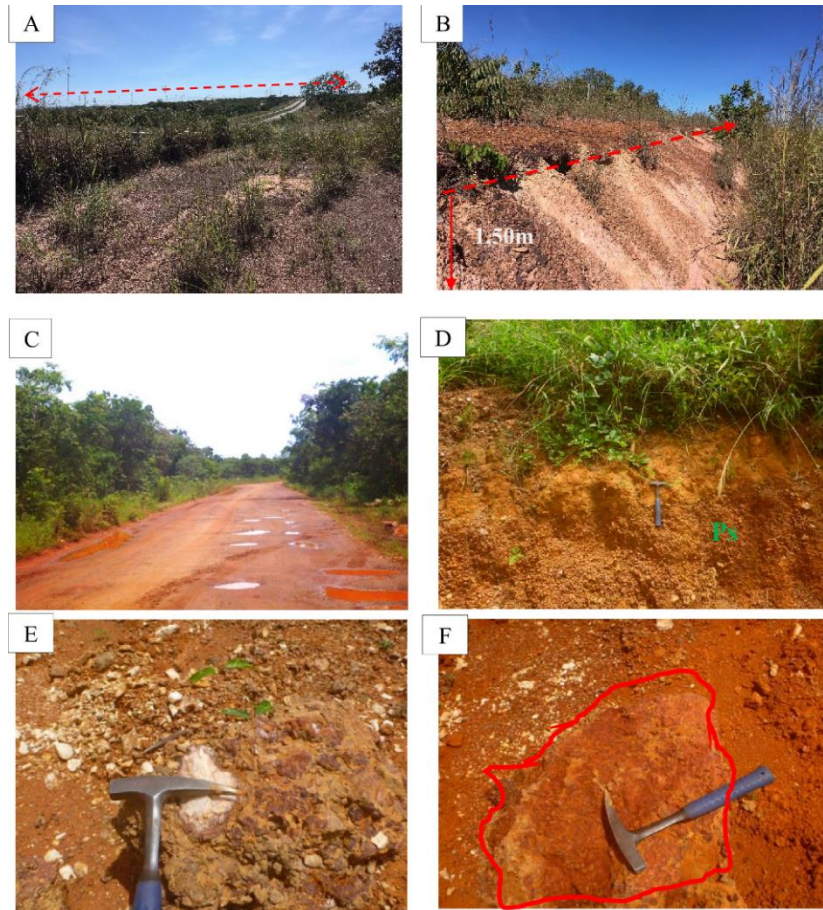


Figura 8 A. Relevo aplainado evidenciando forma tabular sustentada por crostas lateríticas “in situ”; B: Capa laterítica dando sustentação ao relevo residual aplainado. Encontra-se em processo de dismantelamento e remoção. Assenta-se sobre substrato de metadiamiclito saprolitizado. Afloramento em corte de estrada na rodovia MT -251; C: Vegetação de cerrado arbustivo denso (savana densa / “cerradão”) que ocorrem em zonas com lateritas espessas desagregadas; D: Perfil laterizado em grau avançado de dismantelamento na forma de horizontes com psólitos de lateritas desagregadas (Ps) recobertas por horizonte superficial. A massa de psólitos está diretamente relacionada a formação dos aglomerados arbóreos. Ocorre na transição entre a superfície residual tabular para superfície erosional do tipo rampa (E1); E e F: Fotografia ortogonal (“planta”) mostrando detalhe da crosta laterítica conservada. Observa-se que a matriz ferruginosa endurecida envolve fragmentos de quartzo leitosos e angulosos, (paleocolúvios). Fonte: arquivo dos autores.

C. Potencialidades

Por tais limitações, consideramos a unidade vocacionada a usos com baixo nível de densidade ocupacional, com preservação da vegetação natural, como por exemplo, chácaras de lazer, o que já vem ocorrendo em vários locais.

D. Recomendações

Recomendamos a preservação e recuperação da vegetação natural, que é predominantemente constituída por espécies do cerrado de porte arbustivo.

3.6. Rampas (E1)

A. Descrição

Unidade de maior representação da área estudada (43%), as Rampas se enquadram no regime erosivo como feições retilíneas inclinadas em direção aos vales (E2), com comprimento médio entre 250 e 500 m e declividade baixa a muito baixa ($\leq 8\%$). É, portanto, relevo plano a suave ondulado, com 90% entre 5 e 14 m acima da elevação média altimetria entre 196 e 250 m. Sua característica mais conspícua é a cobertura de espessura métrica de massas de fragmentos de quartzos leitosos, predominantemente centimétricos, mal selecionados, não estratificados e sem gradações granulométricas no perfil vertical. São conhecidas popularmente como “cascalheiras” e estão associadas a movimentos gravitacionais lentos em clima pretérito, encontrando-se parcialmente laterizados. Em cortes de estradas é possível observar que esses fragmentos estão sobrepostos a veios de quartzo, em diferentes graus de dismantelamento, tratando-se, portanto, de elúvios e/ou colúvios. Observamos aumento de materiais finos ao longo da rampa, em direção aos vales que ficam a jusante (Figuras 9 e 10).

Junto ao contato, transicional, com as superfícies tabulares podem ocorrer massas de psólitos não consolidados. Em alguns setores a cobertura encontra-se totalmente removida, expondo rochas saprolitizadas do maciço diamictítico.

Os solos são basicamente Plintossolos Pétricos e Neossolos Litólicos (CPRM, 2006). A vegetação nativa, caracteristicamente é formada por cerrado senso estrito com a formação de raros capões isolados (CPRM, 2006). Rasos, mal drenados e com extensas exposições de saprolitos, os solos tem limitadas condições de fertilidade natural. Entretanto, unidade é mais intensamente usada, com a substituição do cerrado por pastagens em pequenas propriedades rurais. Quando a vegetação é removida e a massa de fragmentos resulta exposta às chuvas torrenciais, há formação de sulcos e ravinamentos.

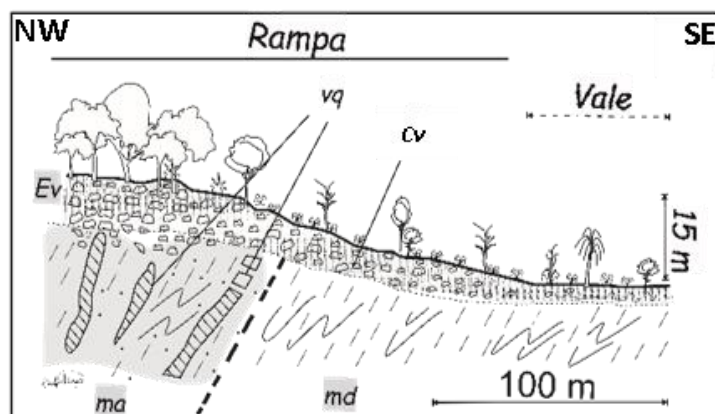


Figura 9. Perfil esquemático da unidade geoambiental mapeada à 1/25.000: Rampas erosivas (E1). Legenda: Cv - massas de colúvios; Ev - Massa de elúvio; Vq - Veios de quartzo; Ma - Metarenito; Md - Metadiamicrito. Elaboração: autores.



Figura 10. A: Vista para SW do perfil longitudinal relevo de rampa erosiva. Vertente retilínea longa, com baixa declividade, conectando a Unidade Residual tabular (R2), com a unidade erosional tipo vale (E2) vista ao fundo; B: Massa Elúvio (Ev) / Coluvionar (Cv) ocorrendo na parte superior da rampa, em função da desagregação in situ de veio de quartzo leitoso (Vq); C: Porte de vegetação arbórea crescendo sobre a cobertura superficial descrita em B; D: Cobertura superficial apresentando características de movimento gravitacional lento de massas de fragmentos de quartzo leitosos ao longo da vertente como: angulosidade, mal selecionamento, ausência de estratificações, gradações e não consolidação; E: Detalhe da cobertura superficial da rampa erosiva, mostrando fragmentos de quartzo com pouco transporte ao longo da vertente. Na parte superficial do perfil (0,30m); F: Aspecto de área degradada pela retirada da cobertura superficial e parte do substrato saprolítico (metadiamicrito), para recobrimento dos resíduos do aterro sanitário de Cuiabá. Fonte: arquivo dos autores.

B. Limitações

Possui severas restrições para agricultura e pastagem plantada, bem como para obras enterradas e disposição de resíduos sólidos pelas características pedológicas. As cascalheiras (e parte dos saprolitos subjacentes) vêm sendo intensamente usadas como material de construção (britagem/cascalhos) e mesmo para recobrimento do aterro sanitário de Cuiabá. No passado essas cascalheiras foram também processadas para extração de ouro (VECCHIATO, 1987).

C. Potencialidades

Entre as potencialidades destacamos a bela vista panorâmica das escarpas do Parque Nacional de Chapada dos Guimarães. Devido à baixa declividade, à capacidade de carga e relativa escavabilidade do substrato, a unidade se torna apta ao desenvolvimento de projetos urbanísticos, de baixa densidade habitacional, com rigoroso controle ambiental.

D. Recomendações

A mais urgente recomendação é a recuperação ambiental das áreas abandonadas e degradadas pela mineração e por obras civis, bem como programas de educação e controle ambiental das chácaras da região. Outro relevante papel ambiental dessa unidade é a conservação dos recursos hídricos, pois nela existe grande potencial de ocorrência de nascentes, as quais ainda não foram prospectadas em detalhe. Estas, podemos encontrá-las junto aos canais de primeira ordem que se formam próximo à transição Rampas-Vales.

3.7. Vale (E2)

A. Descrição

Os vales são a segunda unidade mais representativa da área estudada (26%). São formas em “V” muito abertos, portanto, com incisão muito fraca (<10 m). Estão entre 190 e 237 m de altitude, com diferença predominante de -20 m em relação à cota média.

Quanto à declividade, são formas planas (34%) a suave ondulada (66%), cujas larguras médias variam entre 100 e 200 m junto às cabeceiras e entre 250 e 350 m nas partes amplas. O contato com as Rampas (R2) a montante é gradacional, caracterizado por sutil mudança de declividade, quase imperceptível na escala deste mapeamento. Observamos em campo que os fundos são planos, associados a predomínio de sedimentos inconsolidados, finos, de espessura no máximo de 1,5 m, que recobrem o substrato rochoso, basicamente de metadiamicritos. Os solos apresentam Horizonte A composto por areias finas, siltes, argilas e matéria orgânica que se encontram sobre um saprolito, muito alterado. Tipicamente hidromórficos tais solos apresentam cor acinzentada e concreções de plintitas, podendo ser classificados como Neossolos Flúvicos/ Gleissolos. Essas são características de áreas sujeitas a regime de secas e encharcamentos periódicos. Devido à má drenagem, aí se desenvolve vegetação aberta, com predomínio de gramínea, árvores baixas e raros capões. Feições indicativas de transbordamentos ou inundações podem ocorrer na forma de depósitos localmente restritos de areias fluviais. Os canais de drenagem propriamente dito, são pouco escavados (<1m), ocorrendo em zonas de intenso fraturamento do corpo rochoso. O regime hídrico predominante nas cercanias das cabeceiras é a efemeridade, que transiciona gradualmente para a intermitência a jusante. O leito é basicamente rochoso, com pouca carga de sedimentos em transporte (Figuras 11 e 12).

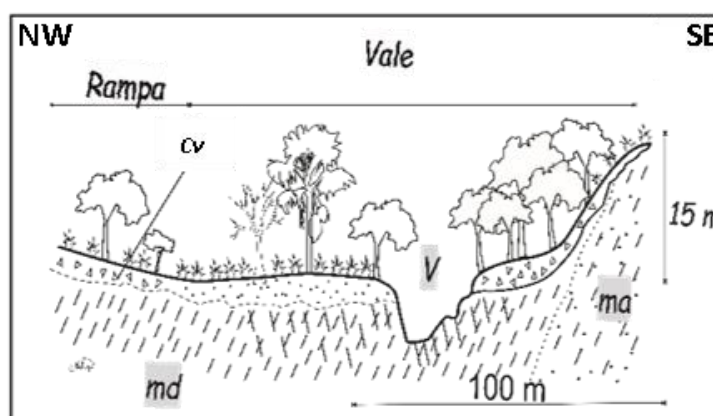


Figura 11. Perfil esquemático da unidade geoambiental mapeada à 1/25.000: Vales (E2). Legenda: Cv - massas de colúvios; Ma - Metarenito; Md - Metadiamicrito. Elaboração: autores.



Figura 12 A. Aspectos morfológicos de fundo de vale de córrego intermitente (agosto/2017). Observar forma de fundo côncava, pouco entalhamento do talvegue, assimetria das vertentes (declividade maior na margem esquerda) em substrato de metadiamicctitos (MD); B: Controle estrutural dos vales encaixados em metadiamicctito (MD) fortemente fraturado (agosto/2017); C: Rio Coxipó do Ouro, junto à vila homônima, próximo às suas nascentes no Planalto dos Guimarães. Trata-se de um flúvio perene, que serve de manancial para abastecimento de água da parte sul de Cuiabá; D: Canal efêmero com deposição de fragmentos placoidais de metadiamicctitos e quartzo leitosos transportados de montante. Fonte: arquivo dos autores.

B. Limitações

Os vales têm, evidentemente, alta relevância ambiental pois parte deles está inserida em Áreas de Preservação Permanente (APP), pela faixa marginal mínima de 30 m em torno dos canais. Em função da cobertura arenosiltosa inconsolidada, a unidade apresenta limitações no que diz respeito à vulnerabilidade do aquífero, sobretudo à infiltração de poluentes que podem ser transmitidos facilmente aos canais de drenagem, contaminando a bacia a jusante.

C. Potencialidades

Embora possua esta limitação, a unidade tem potencial para a construção de reservatórios por meio da escavação da cobertura e dos saprólitos destinados à criação de peixes e dessedentação bovina. Possui também potencial hidrogeológico moderado para poços rasos nos aquíferos porosos. Porém, devido à contaminação de rios à jusante, situação comumente observada em outras regiões densamente ocupadas da área urbana de Cuiabá (FIGUEREDO et al., 2019).

D. Recomendações

Recomendamos estudos específicos sobre os impactos e funcionamento hídrico dos reservatórios existentes nesses vales e a manutenção da densidade ocupacional muito baixa na unidade com o máximo possível de preservação da vegetação natural, assim como a delimitação das APPs em escala mais detalhada. Outra providência é a proteção dos vales localizados à jusante do aterro para evitar contaminação bacteriológica e físico-química, proveniente da infiltração de chorume através dos planos de fraturas, e para não atingir o aquífero. Para isso, faz-se necessária a recuperação e manutenção das matas ciliares, que possuem importante papel na conservação dos recursos superficiais que abastecem a área urbana de Cuiabá.

3.8. Áreas úmidas (D1)

A. Descrição

São sítios deposicionais muito restritos associados aos vales. Ocupam menos de 1% da área de estudo e, diferentemente das demais unidades, as áreas úmidas não foram identificadas por meio da análise do TOPODATA e da imagem RapidEye, mas por observações de campo, auxiliadas por imagens disponíveis no Google Earth. Suas características físicas são semelhantes aos vales (nos quais se inserem), mas em relação a cobertura vegetal, diferenciam-se pelo típico tapete de gramínea que recobrem áreas planas justapostas aos canais de drenagem, embora áreas semelhantes possam ocorrer mais raramente em locais susceptíveis a encharcamentos nas Superfícies Tabulares. A despeito da pouca representatividade, optamos por identificá-las pelo relevante papel que exercem no equilíbrio hídrico e ecológico, pois funcionam como reservatórios naturais de água acumulada em subsuperfície durante o período chuvoso, mantendo a intermitência dos rios no início do longo período de seca (5-6 meses) da região. Em áreas a jusante, quando os vales adquirem maiores larguras, essas feições podem atingir dimensões que possibilitem sua cartografia à 1/25.000 (Figura 13).

Nessas situações, observamos a formação dos chamados “campos de murundus”. De gênese controversa entre ações de formigas e erosão diferencial (SILVA et al., 2010; CRAMER et al., 2012) são microrrelevos típicos do Cerrado brasileiro em forma de pequenas elevações ou montículos convexos, com base circular ou elíptica entre 2 e 6 m de diâmetro de largura e entre 0,5 e 2 m de altura comumente associados a térmites. Predominam os solos hidromórficos, de coloração acinzentada saturados por água no período chuvoso, comportando-se como aquíferos suspensos aflorantes/subaflorantes, podendo, portanto, funcionar como recarga de aquífero livre ou lençol freático. Tanto que é frequente encontrarmos nascentes zonais nessas áreas. Os campos de murundus constituem área de reserva de biodiversidade, tanto da flora como da fauna, razões pelas quais tem ocorrido tentativas de considerá-los APP (IBRAM, 2020).

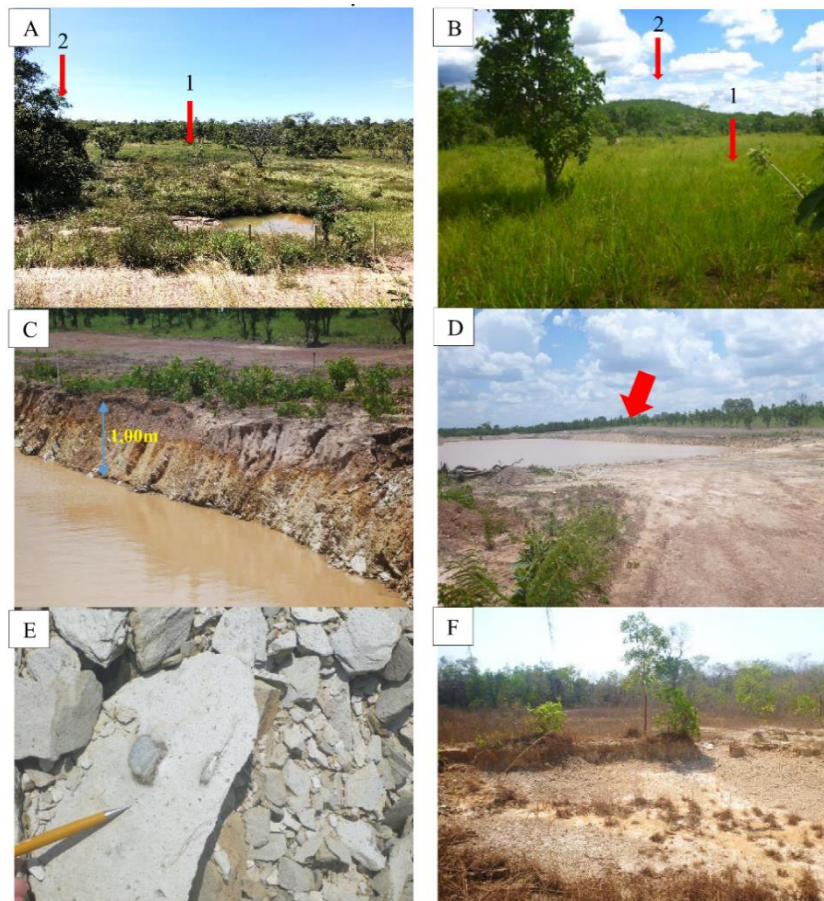


Figura 13. Unidade deposicional do tipo Áreas Úmidas (D1). **A e B:** Área úmida com tapete gramíneo (1). Deposição de finos transportados por fluxos superficiais em lençol e depositados em áreas planas em fundos de vales amplos, com entalhamento muito fraco (< 5,0 m). São áreas de nascentes/cabeceiras de drenagens. Observar que a várzea fica do lado

oposto de uma vertente assimétrica (2) (Fotografia em A tirada em maio de 2020; Fotografia em B tirada em novembro de 2017); C: Escavação de Área Úmida para construção de tanque para piscicultura. Perfil de solo com hidromorfismo devido ao encharcamento periódico. Horizonte superficial A recobrindo substrato de metadiamicitito (novembro de 2020). Notar a turbidez devido ao transporte de finos provenientes de áreas com solos expostos; D: Vista do tanque de piscicultura (1) com água acumulada de chuvas (seta). (novembro de 2020); E: Detalhe do substrato formado por metadiamicitito intemperizado, cor cinza claro, observando-se fragmentos de vários tamanhos e tipos de rochas em matriz de argilominerais; F: Área úmida degradada por pisoteio de gado (agosto de 2017). Fonte: arquivo dos autores.

Estas áreas se localizam em relevo com baixa declividade com cobertura superficial constituída por sedimentos finos (argila, silte e areia) e saibros, em solos hidromórficos pouco espessos e nível da água subaflorantes. A vegetação é do tipo gramíneo lenhosa, parcialmente substituída por pastagem plantada.

B. Limitações

As áreas úmidas são ambientes naturalmente muito frágeis, de limitada capacidade de uso agropecuário e restrito para urbanização, podendo ser consideradas como parte das APP de margens dos córregos da região.

C. Potencialidades

A unidade presta relevantes serviços ambientais na manutenção dos recursos hídricos superficiais, alto potencial para estocagem de carbono, ecologicamente importantes para o bioma Cerrado, ocorrendo em muitos locais conhecidos campos de veredas. Observamos, entretanto, elas vêm sendo escavadas para construção de reservatórios ou desmatadas para plantação de pastagens.

D. Recomendações

Recomendamos o detalhamento cartográfico em escala adequada ($<1/10.000$) e que as áreas úmidas sejam conservadas como Área de Preservação Permanente.

Ela deve fornecer uma descrição concisa e precisa dos resultados experimentais, sua interpretação, assim como as conclusões experimentais que podem ser apresentadas.

4. Discussões

O propósito principal da cartografia de unidades geoambientais foi subsidiar o ordenamento periurbano de Cuiabá, dentro da perspectiva de uma integração harmoniosa entre os espaços rural e urbano. Ao empregar tecnologias SIG e dados de acesso livre, integrados aos conceitos do mapeamento morfopedológico, a abordagem pode contribuir para essa demanda urgente de planejamento, de modo relativamente simples e, sobretudo, de baixo custo. Assim, tem potencial de igualmente atender às crescentes necessidades de ordenamento de outras cidades com problemas semelhantes no ambiente tropical.

Efetivamente, há uma tendência global na contínua expansão das cidades tropicais nas próximas décadas devido à combinação entre a crescente taxa demográfica e forte crescimento de suas economias, em torno de 20% mais rápido do que o resto do mundo (ZIEMBICKI e LOCKIE, 2016). Agravada pelas mudanças climáticas, as áreas periurbanas tropicais se tornaram o foco de preocupações em escala mundial, com muitos estudos visando produzir a integração rural-urbana de forma harmoniosa e sustentável, como a construção das chamadas franjas de integração, designers urbanísticos compactos, aumento controlado da densificação urbana, construção de cinturões agroflorestais e implementação de matrizes energéticas limpas (DECKER et al., 2000; LWASA et al., 2014; GRET-REGAMEY, GALLEGUILLOS-TORRES e DISSEGNA, 2020; LOURDES et al., 2021).

Na ausência de medidas tais como essas, os custos das cidades tropicais vêm se multiplicando, e, dessa forma, reduzindo ou mesmo eliminando benefícios trazidos pela urbanização aos seus habitantes (CHAIÉCHI e TAVARES, 2019). Todavia, no mundo tropical começam a surgir exemplos de cidades que estão conseguindo reverter esse quadro, vinculando sua prosperidade à integração sustentável entre a cidade e seu entorno (DUPRÉ, COULON e TAVARES, 2019).

Com 618 mil habitantes estimados em 2020, Cuiabá ocupa a 35ª colocação populacional entre os 5.565 municípios brasileiros (IBGE, 2010). Embora para os padrões brasileiros, possa ser considerada uma cidade média,

em nível global encontra-se em uma categoria abaixo das cidades médias que compreende aquelas com população entre 1 e 5 milhões de habitantes (UNITED NATIONS, 2018). O que não a impede de já apresentar uma série de problemas ambientais e de gestão, típicos das grandes cidades brasileiras, incluindo: degradação e contaminação generalizada de nascentes, rios e córregos urbanos com esgoto doméstico e disposição de resíduos, aumento da frequência de inundações, formação de ilhas de calor, sobrecarga no sistema de redes e serviços públicos de transporte, saúde, educação, comunicação, abastecimento de água, além da especulação imobiliária (IPEM, 2008; NICOCHÉLI et al., 2009; VILANOVA e MAITELLI 2009; GARCIA, 2010; MENEZES FILHO e AMARAL, 2014; SILVA e ROMERO, 2015; FIGUEREDO et al., 2019; BARCELLA e MELAZZO, 2020; FRAPORTI e ROMANCINI, 2020).

Esses problemas estão diretamente relacionados com a acelerada expansão territorial de Cuiabá ocorrida entre os anos de 1974 e 2004, quando 97% (cerca de 25,2 mil ha) de áreas periféricas foram incorporadas ao perímetro urbano, sem qualquer planejamento, resultando na baixíssima densidade urbana de 20,1 habitantes/ha, 12,5 vezes menor que a ideal para melhor aproveitamento da infraestrutura (IPDU, 2012; FIGUEREDO et al., 2019).

Embora o ímpeto de crescimento populacional de Cuiabá dos anos 1970 já tenha cessado - uma tendência das capitais brasileiras, seja pela redução da fecundidade ou das migrações (BRITO e SOUZA, 2005), os avanços sobre a zona periurbana continuaram, ou para acomodar o excesso populacional como no passado, ou para satisfazer interesses imobiliários imediatistas (CHILLETTO, 2013; FRAPORTI e GUSHIKEN, 2019; FRAPORTI e ROMANCINI, 2020).

Seja como for, já se configura uma nova ampliação, com a aprovação do projeto construção do rodoanel da cidade (FRAPORTI e GUSHIKEN, 2019), que trará como consequência a redução ainda maior da densidade urbana e uma grande pressão sobre os recursos naturais da zona periurbana. Importante observar que os planos diretores não detalham medidas de planejamento e gestão das áreas periurbanas, configurando-as laconicamente apenas como "zonas de expansão urbana". Assim, na prática, elas têm funcionado apenas como referência para a ação imobiliária especulativa e/ou de invasores (CHILLETTO, 2013; FRAPORTI e ROMANCINI, 2020). Ainda que não faltassem instrumentos de planejamento à disposição do município pelo menos desde o final dos anos 1980 (VECCHIATO, 1987) e, mais recentemente, nos anos 2000 (CPRM, 2006; IPEM, 2008), o fato, é que o ordenamento periurbano jamais fora implementado.

Em linhas gerais, nosso estudo concorda com as recomendações de uso sustentável sugerido em trabalhos anteriores, elaborados em menor escala (SEPLAN/ZEE, 2005), na escala de 1/250.000 e, especialmente, o projeto SIG Cuiabá (CPRM, 2006), em 1/100.000. Exemplos de tais recomendações podem ser citados como proteção de mananciais, recuperação de áreas degradadas, utilização do espaço para pastagem plantada, recomposição de ecossistemas, recuperação de cabeceiras de drenagem, conservação de fragmentos do cerrado, lavouras de ciclo curto, turismo, dentre outras.

Por outro lado, estudos dos padrões espaço-temporais de crescimento urbano permitiram apontar os eixos de expansão urbana e seus problemas (FIGUEREDO et al., 2019). Enfatizamos também a importância da realização dos trabalhos de campo, para a descrição das propriedades e funcionamento morfopedológico das unidades, suas limitações e potencialidades em nível de detalhamento compatível com a escala 1/25.000. Foi importante também dispor do mapeamento a 1/100.000 prévio (CPRM, 2006), a partir do qual foi possível avançar na classificação dos sistemas de relevo, substrato geológico, solos, formas de usos e ocupação, bem como identificação das limitações e potencialidades da área mapeada.

Entretanto, a delimitação adequada das APP de margens de corpos hídricos, uma das mais importantes zonas de conservação no ordenamento territorial, exige imageamento de melhor resolução espacial. Tal limitação pode ser contornada por meio de aerolevantamentos com VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado, ou aeronave remotamente pilotada), conforme relatado em Figueredo et al. (2019). O aerolevantamento pode gerar um Modelo Digital do Terreno (MDT) de alta resolução a ser utilizado na prospecção de nascentes, como já vem ocorrendo com sucesso na área urbana de Cuiabá (MPMT, 2020; TASCÁ, XAVIER e SIQUEIRA et al., 2021).

Em relação às áreas de várzeas/áreas úmidas, estudos adicionais são necessários para a compreensão mais profunda do papel dessas na área periurbana de Cuiabá. Vários estudos (FIGUEREDO et al., 2019; MPMT, 2020; TASCÁ, XAVIER e SIQUEIRA et al., 2021;) demonstram que relevantes serviços ecológicos são associados a essas feições, como filtragem de poluentes, estoque de água subsuperficial, processamento e retenção de nutrientes, e alta biodiversidade dessas áreas remanescentes em Cuiabá. Nossas observações mostram associação entre a capacidade de retenção da água subsuperficial dessas áreas úmidas com surgimento da intermitência dos canais,

indicando que a supressão delas pode aumentar o déficit hídrico com a consequente efemeridade das bacias hidrográficas.

Embora os realces de contraste altimétrico no TOPODATA viabilizassem o mapeamento das unidades geoambientais previstas na escala 1/25.000, o procedimento pode estar circunscrito aos limites mínimos de amplitudes topográficas da área estudada. Apesar do relevo aplainado, as amplitudes dos desníveis topográficos foram suficientes para realçá-las por meio do processamento digital. Quando se trata de terrenos aplainados, há, reconhecidamente, grandes limitações no desempenho de MDE de baixa e média resolução espacial, caso do TOPODATA, para o realce eficiente de geoformas para mapeamento geomorfológico em escala de detalhe (RAHMAN, ARYA e GOEL, 2010; AL-MUQDADI e MERKEL, 2011).

Todavia, nos domínios agradacionais como nas planícies fluviais do rio Cuiabá, com amplitudes do relevo bem menores (cordões, terraços, diques marginais etc.), a obtenção de um MDT com resolução vertical mais acurada, é recomendável. Como exemplo dessa limitação, citamos que o reconhecimento das áreas úmidas só foi possível pelos levantamentos de campo, pois, por se tratar de áreas muito planas, houve dificuldade de realce deste compartimento não sendo possível localizá-lo pela análise do TOPODATA.

No que se refere às geoformas, os realces no TOPODATA foram eficientes possibilitando o mapeamento das categorias previstas na escala 1/25.000 conforme a taxonomia de referência que adotamos, Ross (1992). Estas formas de relevo serviram de base para a análise das unidades geoambientais, com suas limitações e potencialidades ao uso urbano (Quadro 2).

Com a perspectiva de construção do Rodoanel de Cuiabá, crescem pressões para nova ampliação do perímetro urbano, que tende a ocorrer nos mesmos moldes das ampliações anteriores, isto é, sem preocupações urbanísticas e ambientais. Considerando-se o trecho de 45 km que contorna os principais eixos de expansão da cidade, todos situados no seu setor oriental, pelo menos mais 6 mil ha poderão ser incorporados de imediato à capital. Se considerarmos uma distância de 2km para além do eixo projetado da rodovia, cerca de 15 mil ha estarão sob a influência direta de uma nova zona de expansão urbana.

Trata-se, evidentemente, de uma situação ambiental e urbanisticamente insustentável. As redes de infraestrutura e serviços públicos (saúde, educação, transporte, água, eletrificação, comunicações, coleta de lixo etc.) já muito estressadas devido à sua baixíssima densidade urbana, teriam sua qualidade ainda mais reduzida. Agravando esse quadro, na ausência do planejamento ambiental, repetir-se-iam a série de graves problemas ambientais das expansões anteriores que atingem os cuiabanos. Além disso, nesse expansionismo contínuo, a cidade acaba se aproximando de áreas protegidas no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães, sobrepondo-se também à Área de Proteção Ambiental Municipal do Coxipó-Açu. Valiosos ativos ambientais estão preservados/conservados nessas duas grandes unidades, entre os quais destacam-se aquíferos, mananciais, nascentes e rios que drenam para a cidade.

Diante destas constatações, recomendamos, de um modo geral, um modelo alternativo de ocupação de baixa densidade urbana, no estilo de chácaras e atrativos de visitação turística de baixo impacto para todo o conjunto das áreas favoráveis à urbanização, mantendo preservadas as APP e os campos úmidos.

5. Conclusões

Os realces no TOPODATA nos permitiram mapear todas as unidades de relevo previstas na escala 1/25.000 nos domínios de relevos dissecados na zona periurbana de Cuiabá. Com exceção das áreas úmidas identificadas diretamente em campo, porquanto o seu tamanho relativamente reduzido impossibilitou a identificação confiável a partir do MDE e da imagem RapidEye.

Observamos em campo que as unidades de relevo formavam compartimentos paisagísticos diferenciados. Estes, foram caracterizados como unidades geoambientais de planejamento, com base na integração de conceitos da compartimentação morfopedológica, com características fitofisionômicas e tipologias de uso e ocupação. Pautando-se na integração harmoniosa entre os espaços urbanos e rural, foi possível derivar recomendações de ordenamento territorial, em função da relação entre potencialidades e limitações de uso observadas na área de estudo.

As observações e descrições sistemáticas dessas unidades, apoiadas em fichas de campo, demonstraram a eficiência e rapidez da técnica para sistematizar e integrar os dados em ambiente SIG. Com a utilização dos dados de acesso livre (TOPODATA, imagem RapidEye disponibilizada pelo Governo Brasileiro e do SIG WHITEBOX

GAT), conseguimos realizar o processamento e a integração de dados sem custos adicionais. Desse modo, a metodologia pode ser aplicada em toda extensão territorial da área periurbana de Cuiabá.

Concluimos que existem irregularidades de ocupação na zona periurbana de Cuiabá, conforme verificado em campo e em trabalhos anteriores, e que a implantação do anel rodoviário potencializará os vetores de ocupação nos sentidos das franjas urbano-rural.

Concluimos que é imprescindível que toda a zona periurbana seja objeto de uma ação preventiva, devidamente instrumentalizada nos futuros planos diretores, onde sejam definidos critérios de ocupação que visem uma transição harmônica com o meio rural.

Portanto, recomendamos que se mantenha baixa a densidade de ocupação nesta região, principalmente onde estão localizadas as nascentes que drenam para os principais rios que abastecem Cuiabá, e que o iminente risco de ocupação/invasão seja levado em consideração para a realização de um planejamento territorial periurbano adequado.

Concluimos por fim, ser potencialmente viável a aplicação da abordagem aqui apresentada por equipes multidisciplinares em cidades tropicais semelhantes, que necessitem de rápida resposta aos processos atuais de expansão urbana desordenada.

Contribuições dos Autores: Concepção: Siqueira, A.J.B., Xavier, F.V., e Figueredo, R.R.D. Metodologia: Siqueira, A.J.B., Xavier, F.V., Figueredo, R.R.D.; Software: Siqueira, A.J.B.; Xavier, F. V.; Validação: Siqueira, A.J.B.; Figueredo, R.R.D.; Análise formal: Siqueira, A.J.B. Xavier, F.V., Figueredo, R.R.D., Figueiredo, D.M., Babosa, G. N.; Pesquisa: Siqueira, A.J.B. Xavier, F.V., Figueredo, R.R.D., Figueiredo, D.M., Babosa, G. N.; Preparação dos dados: Siqueira, A.J.B. Xavier, F.V., Figueredo, R.R.D.; Escrita do artigo: Siqueira, A.J.B. Xavier, F.V., Figueredo, R.R.D., Figueiredo, D.M., Babosa, G. N.; Revisão: Siqueira, A.J.B. Xavier, F.V., Figueredo, R.R.D., Figueiredo, D.M., Babosa, G. N. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada no manuscrito.

Financiamento: Está pesquisa não recebeu nenhum financiamento externo.

Agradecimentos: Este trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) no quadro do programa Bolsas de Capacitação Institucional – PCI do Instituto Nacional de Pesquisas do Pantanal, vinculado ao Museu Paraense Emílio Goeldi que opera junto ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI, e com o apoio do Projeto “Água para o Futuro” de iniciativa do Ministério Público do Estado de Mato Grosso. Agradecemos também aos revisores pelas contribuições que ajudaram a melhorar substancialmente este artigo.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. AL-MUQDADI, S. W.; MERKEL, B. J. Automated Watershed Evaluation of Flat Terrain. *Journal of Water Resource and Protection*, 3(December), 892–903. 2011. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2011.312099>
2. ANAZAWA, T. M. Entre mitos e falácias: rediscutindo a urbanização na nova fronteira global. *Idéias – Rev. Inst. Filos. Ciênc. Hum. UNICAMP*, v.6, n.1, p. 281-287, jan./jun. 2015.
3. BARCELLA, B. L. S.; MELAZZO, E. S. Expansão urbana e dinâmica imobiliária: comparando as estratégias fundiárias dos agentes imobiliários em cidades médias, *Sociedade e Natureza*, v. 32, p. 108–125, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-42908>.
4. BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. São Paulo, *Cadernos de Ciências da Terra*, 13. Instituto de Geografia USP. 27 p. 1972.
5. BRITO, F.; SOUZA, J. de. Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 4, p. 48–63, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-88392005000400003>
6. CASTRO, S. S. de; SALOMÃO, F. X. de T. Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas. *Revista GEOUSP*, São Paulo, n. 7, p 27-37, 2000.
7. CHAIECHI, T.; TAVARES, S. G. Urban growth, heat islands, humidity, climate change: The costs multiply in tropical cities. *The Conversation*, p. 1–8, 2019. Disponível em: <https://theconversation.com/urban-growth-heat-islands-humidity-climate-change-the-costs-multiply-in-tropical-cities-120825>.
8. CHAPLOT, V.; DARBOUX, F.; BOURENNANE, H.; LEGUÉDOIS, S.; SILVERA, N.; PHACHOMPHON, K. Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology*, 77(1-2), 126-141. 2006.

9. CHILLETTO, R. de C. O. (coord). **Governança Metropolitana no Brasil - Relatório de pesquisa. Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá.** n. Componente 2, p. 78, 2013. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/relatorio%201.2_rmvr.pdf
10. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Sistema de Informação Geoambiental De Cuiabá, Várzea Grande e Entorno.** Goiânia: CPRM, 309 p. 2006.
11. CRAMER, M. D.; INNES, S. N.; E MIDGLEY, J. J. Hard evidence that heuweltjie earth mounds are relictual features produced by differential erosion. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **350**, 189-197.2012.
12. CRUZ, C. B. M.; MENEZES, P. M. L. de. A cartografia no ordenamento territorial do espaço geográfico brasileiro. In: ALMEIDA, F. G. de; SOARES, L. A. A. (Orgs.). **Ordenamento Territorial: coletânea de textos com diferentes abordagens no contexto brasileiro.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 195-226, 2009.
13. CUIABÁ. Prefeitura. **Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá.** Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano-IPDU (org. por Adriana Bussiki Santos). Cuiabá: Entrelinhas, 2008.
14. DECKER, E. H.; ELLIOTT, S.; SMITH, F. A.; BLAKE, D. R.; ROWLAND, F.S. Energy and material flow through the urban ecosystem. **Annu. Rev. Energy Environ.** 2000., n. 25, p. 685-740, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.685>
15. DICKINSON, J.; SHIRK, J.; BONTER, D.; BONNER, R.; CRAIN, R. L.; MARTIN, J.; PHILLIPS, T.; PURCELL, K. The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. The Ecological Society of America. **Front Ecol Environ.** 10(6): 291-297. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1890/110236>
16. DUPRÉ, K.; COULON, J.; TAVARES, S. G. Healthy, happy and tropical – world’s fastest-growing cities demand our attention. **The Conversation**, p. 1-6, 2019. Disponível em: <https://theconversation.com/healthy-happy-and-tropical-worlds-fastest-growing-cities-demand-our-attention-112069>
17. ESPÍNDOLA, I. B.; RIBEIRO, W. C. Cities and climate change: challenges to Brazilian municipal Master Plans. **Cad. Metrop.**, São Paulo, v. 22, n. 48, p. 365-394, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4802>
18. FARR, T. G. et al. The Shuttle Radar Topography Mission. **Review of Geophysics**, v. 45, p. RG2004, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
19. FEUERHARMME, A. R.; DOS SANTOS, J. A. L.; e RODRIGUES, P. Aplicação da carta geotécnica de Cuiabá. **Revista do Instituto Geológico**, **16** (esp), 121-123. 1995.
20. FIGUEREDO, R. R. D.; SUBTIL, L. P.; TASCIA, B. F.; NEVES, R. A. CAMPOS; P. A. S. XAVIER, F. V.; SIQUEIRA, A. J. B. Expansão urbana e degradação de nascentes: identificando padrões espaço-temporais de um processo crônico em Cuiabá, MT. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 4, p. 396-406, jul./ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i4.7051>
21. FRAPORTI, F. G. A.; GUSHIKEN, S. H. O espaço periurbano de Cuiabá (MT): seus limites, tendências e leitura jurídico-urbanística para o planejamento da ocupação territorial. **Acta Geográfica**, v. 13, n. 33, p. 157-170, 2019. Disponível em: <https://revista.ufr.br/actageo/article/view/5098>
22. FRAPORTI, F. G. A.; ROMANCINI, S. R. Delimitação de distritos e áreas urbanas no planejamento da expansão urbana em Cuiabá (MT), **Terra Livre**, v. 1, n. 54, p. 280-320, 2020. Disponível em: <https://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/view/1838>
23. GARCIA, S. M. N. P. **Os planos diretores e o planejamento urbano no aglomerado Cuiabá / Várzea Grande - MT.** 2010. 269 f. Universidade de São Paulo - USP, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16139/tde-12072010-170123/en.php>.
24. GRET-REGAMEY, A.; GALLEGUILLOS-TORRES, M.; DISSEGNA, A. How urban densification influences ecosystem services - a comparison between a temperate and a tropical city. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 7, 2020. DOI: [10.1088/1748-9326/ab7acf](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7acf)
25. HARDING, S.; PENNY, A.; ANN, R. **State of the Tropics Report.** Townsville, Australia, [s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.jcu.edu.au/state-of-the-tropics>
26. HASSAN, A. A. A. Accuracy Assessment of Open Source Digital Elevation Models. **Journal of University of Babylon**, v. 26, n. 3, p. 23-33, 2018.
27. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. **Atlas do Censo Demográfico – Urbanização**, 2010.
28. IBRAM. Instrução nº 39 de 21/02/2014: **Dispõe sobre a preservação dos campos de murundus, também conhecidos como covais e dá outras providências.** BRASÍLIA, DF. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=265958>
29. INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK – IDB. **Annual Report 2014: the year in review.** IDB, 2015. Disponível em: <https://publications.iadb.org/en/publication/17509/inter-american-development-bank-annual-report-2014-year-review>
30. IPDU – INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO URBANO. **Perfil Socioeconômico de Cuiabá.** Prefeitura Municipal de Cuiabá. V. 5. 2012.

31. IPEM - INSTITUTO DE PESQUISA MATOGROSSENSE. UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso. Prefeitura Municipal de Cuiabá. **Caracterização e Delimitação Cartográfica das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de Zonas de Interesse Ambiental (Zias) na Área Urbana de Cuiabá.** (Relatório Técnico). Cuiabá, 2008.
32. LINDSAY J. B. Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis. **Computers e Geosciences**, 95: 75-84. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.07.003>
33. LIU, X.; WANG, N.; SHAO, J.; CHU, X. An automated processing algorithm for flat areas resulting from DEM filling and interpolation. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, 6(11). 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi6110376>
34. LOURDES, K. T.; GIBBINS, C. N.; HAMEL, P.; SANUSI, R.; AZHAR, B.; LECHNER, A. M. A review of urban ecosystem services research in Southeast Asia. **Land**, v. 10, n. 1, p. 1–21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10010040>.
35. LWASA, S.; MUGAGGA, F.; WAHAB, B.; SIMON, D.; CONNORS, J.; GRIFFITH, C. Urban and peri-urban agriculture and forestry: Transcending poverty alleviation to climate change mitigation and adaptation. **Urban Climate**, v. 7, p. 92–106, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2013.10.007>.
36. MARTINE, G.; MCGRANAHAN, G.; MONTGOMERY, M.; FERNÁNDEZ-CASTILLA, R. (Eds.). **The new global frontier: urbanization, poverty and environment in the 21st century.** London: Earthscan, 386p. 2008.
37. MARTINS, R. D.; FERREIRA, L. da C. Uma revisão crítica sobre cidades e mudança climática: vinho velho em garrafa nova ou um novo paradigma de ação para a governança local. **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 3, p. 611–641, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-76122011000300004>
38. MARTZ, L. W.; GARBRECHT, J. The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models. **Hydrological Processes**, 12(6), 843–855. 1998. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199805\)12:6<843::AID-HYP658>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199805)12:6<843::AID-HYP658>3.0.CO;2-R)
39. MENEZES FILHO, F. C. M.; AMARAL, D. B. Histórico da expansão urbana e ocorrência de inundações na cidade de Cuiabá-MT, Sociedade e Natureza, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 159-170, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-451320140111>
40. MIGLIORINI, R. B. **Hidrogeologia em meio urbano. Região de Cuiabá e Várzea Grande-MT.** São Paulo-SP. 146 p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
41. MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MATO GROSSO. **Roteiro básico para implantação do Projeto Água para o Futuro nos municípios de Mato Grosso.** Centro de Apoio à Execução Ambiental – CAEX Ambiental. Coord. VACHIANO, M. C.; BARBOSA, G. N.; PEREIRA, J. A. B.; SCALOPPE, L. A. E. 1ª edição. Cuiabá, MT. 2020.
42. MONTGOMERY, M. R. Panel on Urban Dynamics, National Research Council (ed.). **Cities Transformed: Demographic Change and Its Implications in the Developing World**, p. 82. Washington, D.C.: National Academies Press. 2003.
43. NICOHELLI, L. M.; SIQUEIRA, A. J. B.; MIGLIORINI, RB.; ALBRECHT, K. J.; DELGUINGARO, A. R. **Análise de vulnerabilidade à contaminação de aquífero no Distrito Industrial de Cuiabá – MT, através do método GOD** (INPE, Ed.). Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., Natal. RN. Anais... Natal: Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009.
44. OLIVEIRA, C. M. de; SOARES, B. R. Cidade média: uma proposta metodológica a partir de indicadores ambientais, culturais e sociais. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**. Ituiutaba, v. 5, n. 1, p. 220-230, jan./jun. 2014.
45. PINHEIRO, T. C.; GUEDES, G. R.; BARBIERI, A. F. Cidades Médias e vulnerabilidade às mudanças climáticas no Brasil: elementos para integração do debate a partir de estudos de caso. **Clima Com Cultura Científica - pesquisa, jornalismo e arte.** Ano 3 - N. 5 / ISSN 2359-4705. 2016.
46. PLANET. **Rapideye™ Imagery Product Specifications** (Issue January). Disponível em:
47. <https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/160625-RapidEye%20Image-Product-Specifications.pdf> Acesso em: 05/05/2021.
48. PODOBNIKAR, T. Relevant Quality of Digital Elevation Models in Earth and Environmental Studies? **International Journal of Earth & Environmental Sciences**, v. 1, n. 1, p. 1–3, 2016.
49. PONÇANO W. L.; BISTRICHI, C. A.; CARNEIRO, C. dal R. **O Conceito de Sistemas de Relevo Aplicado ao Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. – IPT. 1979. 10 p
50. POTERE, D. Horizontal positional accuracy of Google Earth’s high-resolution imagery archive. **Sensors**, vol. 8, no. 12, p. 7973–7981, 2008. DOI: <https://www.mdpi.com/1424-8220/8/12/7973>.
51. RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, R.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topography Mission – a new class of digital elevations model acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetric and Remote Sensing**. V. 57, p. 241 -262. 2003.
52. RAHMAN, M. M.; ARYA, D. S.; GOEL, N. K. Limitation of 90 m SRTM DEM in drainage network delineation using D8 method-a case study in flat terrain of Bangladesh. **Applied Geomatics**, 2(2), 49–58. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12518-010-0020-2>

53. REVI, A.; SATTERTHWAITE, D. E.; ARAGÓN-DURAND, F.; CORFEE-MORLOT, J.; KIUNSI, R. B. R.; PELLING, M.; ROBERTS, D. C.; SOLECKI, E. Urban areas. In: **Climate Change 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 535-612. 2014.
54. ROSS, J. L. S. Relevô brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, USP. n. 4: 25-39. 1985. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1985.0004.0004>
55. ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD. 21 – Cuiabá: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegeta o e Uso potencial da terra. Rio de Janeiro. p. 193 - 256. 1982.
56. ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geom rficos e a Questão da Taxonomia do Relevô. **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo, volume único, n  6, p. 17-29, 1992.
57. ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Regional. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 9, FFLCH-USP, São Paulo, p. 65-75. 1995.
58. SALOMÃO, F. X. T.; MADRUGA, E., e MIGLIORINI, R. B. Carta geotécnica do perímetro urbano da Chapada dos Guimarães: subsídios ao plano diretor. **Geologia USP. Série Científica**, 12(1), 5-15. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2012000100002>
59. SANTOS, C. D. A forma o e produ o do espaço urbano: Discussões preliminares acerca da importância das cidades médias para o crescimento da rede urbana brasileira. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 5, n. 1, p. 177-190, 2009.
60. SANTOS, F. M. **Aplica o de métodos geofísicos no estudo da contamina o da água subterrânea no lixão da Cuiabá-MT**. Disserta o (Mestrado em Física e Meio Ambiente). Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 88p. 2005.
61. SEPLAN – **Secretaria do Estado de Planejamento e Coordena o Geral**. Zoneamento Sócio-Econ mico Ecológico – ZEE/MT. Governo do Estado de Mato Grosso. Base cartográfica domínio público, 2005. Disponível em: www.geoportal.seplan.mt.gov acessado em maio de 2020.
62. SHIRAIWA S.; LISOVSKY S.; ELIS V. R.; PORSANI J. L.; BORGES W. R. Estudos geofísicos integrados no lixão de Cuiabá, MT, Brasil – Resultados Preliminares. **Revista Brasileira de Geofísica – SBGf**, 20(3): 181-186. 2002.
63. SILVA, C. R; DANTAS, M. E. Mapas geoambientais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 7., 8 - 11 ago. 2010, Maringá, PR. Anais... Maringá, PR: SBCGG, ago. 2010. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17873>
64. SILVA, N. A.; RONDON LIMA, E. B. N. R.; SILVINO, A. N. O.; SANTOS, A. A.; SILVA, J. B.; LIMA, J. B. Caracteriza o espacial das pisciculturas na bacia do rio Cuiabá/ MT. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 3, p. 47-62, 2008.
65. SILVA, G.; ROMERO, M. Sustentabilidade urbana aplicada: Análise dos processos de dispersão, densidade e uso e ocupa o do solo para a cidade de Cuiabá, Estado de Mato Grosso, Brasil. **Eure**, Santiago, Chile, v. 41, n. 122, p. 209-237, 2015.
66. SILVA, L. C.; VALE, G. D.; HAIDAR, R. F.; STERNBERG, L. Da S. L. Deciphering earth mound origins in central Brazil. **Plant and Soil**, 336(1-2), 3-14. 2010.
67. SILVA, L. da R. da; SANO, E. E. Análise das imagens do satélite Rapideye para discrimina o da cobertura vegetal do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Cartografia**, 68(7), 1269-1283, 2016.
68. SOTCHAVA, V. B. O estudo de Geossistemas in: **Métodos em Questão**, vol.16, USP, São Paulo, pp. 1-50. 1977.
69. SOUZA, A. P. De; LIMA, L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T. De; PAULINO, J. Classifica o Climática E Balanço Hídrico Climatológico No Estado De Mato Grosso in Mato Grosso. **Nativa**, vol. 1, no. 1, p. 34-43, 2013. DOI 10.14583/2318-7670.v01n01a07. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1334>
70. TASCA, B. F. da C.; XAVIER, F. V.; SIQUEIRA, A. J. B. Localiza o de nascentes ameaçadas em áreas urbanas: Uma estratégia preventiva de conserva o ambiental com auxílio de Modelo Digital do Terreno (MDT). **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 14. n. 04. 2186-2203. 2021. DOI : [10.26848/rbgf.v14.4.p2186-2203](https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2186-2203)
71. TRICART, J.; KILLIAN, J. **L' cogeographie et l'aménagement du milieu naturel**. Paris, François Maspero. 326p. 1979.
72. UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. The Speed of urbanization around the world. **Population Facts**, Online Edition. N.2018/1 December, 2018. Available from: <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications>.
73. UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Urbanization Prospects 2018: Highlights**. Working Paper N.ST/ESA/SER.A/421. New York, 2019. Available at <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications>

74. VALERIANO, M. M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia, p. 1-8, 2005.
75. VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **TOPODATA: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN. *Anais ...* São José dos Campos, SP: INPE, 2009.
76. VARGAS B. G.; DA SILVA, T. C.; NATALI FILHO, T.; DEL'ARCO, D. M.; DA COSTA, R. C. R. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do projeto RADAMBRASIL. *Geociências (São Paulo)*, V. 2, 7-20. 1983.
77. VECCHIATO, A. B. de. **Fotointerpretação geológico-geotécnica aplicada ao planejamento urbano de Cuiabá e Várzea Grande - MT**. (Dissertação de Mestrado) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.
78. VICENS, R. Geografia da Paisagem e Ordenamento Ambiental. In: BARBOSA, J.; LIMONAD, E. (Orgs). **Ordenamento Territorial e Ambiental**. Niterói: Editora da UFF, pp.193-214. 2012.
79. VILANOVA, S. R. F.; MAITELLI, G. T. A importância da conservação de áreas verdes remanescentes no centro político administrativo de Cuiabá-MT, *Uniciências*, v. 13, p. 55-71, 2009.
80. WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Digital Terrain Analysis. **Terrain Analysis: principles and applications**, n. 1988, p. 1-21, 2000.
81. ZIEMBICKI, M.; LOCKIE, S. **Implications of an expanding and intensifying tropical zone for the sustainable development agenda**. New York, [s.n.], 2016. DOI: [10.13140/RG.2.1.2623.2723](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2623.2723)



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.