



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM ESTUDOS FRONTEIRIÇOS



MARÍLIA ALMEIDA TEIXEIRA DE CARVALHO

**ESTIMATIVA DA RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE POPULACIONAL
E ÁREA IMPERMEÁVEL NAS CIDADES DE CORUMBÁ/BR,
LADÁRIO/BR E PUERTO QUIJARRO/BO**

CORUMBÁ - MS

2022

MARÍLIA ALMEIDA TEIXEIRA DE CARVALHO

**ESTIMATIVA DA RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE POPULACIONAL E ÁREA
IMPERMEÁVEL NAS CIDADES DE CORUMBÁ/BR, LADÁRIO/BR E PUERTO
QUIJARRO/BO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Estudos Fronteiriços – Mestrado, da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus do Pantanal, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Estudos Fronteiriços.

Linha de Pesquisa: Desenvolvimento, Ordenamento Territorial e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Detlef Hans Gert Walde.

CORUMBÁ - MS

2022

MARÍLIA ALMEIDA TEIXEIRA DE CARVALHO

**ESTIMATIVA DA RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE POPULACIONAL E ÁREA
IMPERMEÁVEL NAS CIDADES DE CORUMBÁ/BR, LADÁRIO/BR E PUERTO
QUIJARRO/BO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Estudos Fronteiriços – Mestrado, da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus do Pantanal, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Estudos Fronteiriços.

Aprovada em 25 de maio de 2022, com Conceito A.

Marília Almeida Teixeira de Carvalho

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Detlef Hans Gert Walde.
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

1ª avaliadora: Prof. Dr.^a Beatriz Lima de Paula Silva
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

2ª avaliadora: Prof. Dr.^a Luci Helena Zanata
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional e por me proporcionarem a oportunidade e o acesso aos estudos.

À minha irmã pelas palavras de carinho e incentivo nos momentos de desânimo.

Aos familiares, amigos e namorada pela torcida e compreensão de minha ausência em diversas situações durante este período.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus do Pantanal, em especial, a todos os docentes do Programa de Pós-Graduação - Mestrado em Estudos Fronteiriços, por compartilharem os seus conhecimentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Detlef Hans Gert Walde, pelos seus ensinamentos e pela paciência ao longo das supervisões para realização deste trabalho.

A banca examinadora, Prof.^a Dr.^a Beatriz Lima de Paula Silva e Prof.^a Dr.^a Luci Helena Zanata, pelas imprescindíveis contribuições e pela disponibilidade em sanar todas as dúvidas pertinentes.

E aos colegas do MEF pelo companheirismo, pois sozinho não se chega a lugar nenhum.

A natureza não faz milagres; faz revelações.

Carlos Drummond de Andrade

CARVALHO, Marília Almeida Teixeira de. **Estimativa da relação entre densidade populacional e área impermeável nas cidades de Corumbá/BR, Ladário/BR E Puerto Quijarro/BO**. 2022. 87 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Fronteiriços) - Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Corumbá, 2022.

RESUMO

O acentuado processo de urbanização nas últimas décadas fez com que ocorressem modificações rápidas e intensas no meio ambiente, tornando urgente a necessidade de conciliar o processo de urbanização com a utilização dos recursos naturais. No estudo da hidrologia urbana é de fundamental importância que se conheça detalhadamente as características da ocupação do solo, uma vez que esse fator influencia diretamente no aumento do pico de escoamento superficial e na ocorrência de enchentes e alagamentos, além de outros impactos, como acréscimo na produção de sedimentos devido à falta de proteção das superfícies, degradação dos mananciais em decorrência do transporte de materiais e ligações clandestinas de esgoto e obstrução de córregos, condutos e canais por resíduos sólidos. Para tanto, é de fundamental importância o entendimento da lógica da ocupação urbana, visando a compreensão das circunstâncias espaciais, territoriais e ambientais que ali ocorrem. Isso pode ser realizado por meio do mapeamento de áreas impermeáveis utilizando de forma integrada o Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e imagens de sensoriamento remoto, cuja principal vantagem é a apresentação de informações atualizadas. Este trabalho tem como objetivo quantificar o percentual de áreas impermeáveis dos Municípios de Corumbá – BR, Ladário – BR e Puerto Quijarro – BO e estabelecer sua relação com a densidade populacional. A quantificação foi executada através do método de classificação supervisionada pixel a pixel em imagens de satélite de alta resolução espacial. Para a realização da classificação foram coletadas amostras das classes de interesse de diferentes fisionomias, mediante a extração de polígonos. As classes de vegetação e solo exposto foram consideradas como áreas permeáveis, enquanto as amostras de áreas construídas (telhados, calçadas, estacionamentos e construções em geral) e ruas pavimentadas foram consideradas como áreas impermeáveis. A partir da classificação das imagens foi possível verificar o aumento da quantidade de áreas impermeáveis em todos os cenários analisados, tornando evidente que a área impermeável é uma variável que depende da densidade populacional da região.

Palavras-chave: Área impermeável. Geoprocessamento. Densidade populacional.

ABSTRACT

The accentuated process of urbanization in recent decades has caused rapid and intense changes in the environment, making it urgent to reconcile the urbanization process with the use of natural resources. In the study of the urban hydrology, it is fundamental the importance to know in detail the characteristics of land use, since this factor directly influences the increase in the peak of surface runoff and the frequency of floods, in addition to other impacts, such as an increase in the production of water. Sediments due to lack of surface protection, degradation of surface and underground water quality, due to the transport of solid material and clandestine sewage connections and silting and obstruction of rivers, canals and conduits by garbage and sediments. Therefore, it is of fundamental importance to understand the logic of urban occupation, aiming at understanding the spatial, territorial and environmental circumstances that occur there. This can be done through the mapping of impermeable areas using the Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing images in an integrated way, whose main advantage is the presentation of updated information. This research aims to quantify the percentage of impermeable areas in the Municipalities of Corumbá - BR, Ladario - BR and Puerto Quijarro - B0 and establish its relationship with population density. Quantification was performed using the supervised pixel-by-pixel classification method, using the Maximum Likelihood algorithm and special high-resolution satellite images. For the different physiognomies, through the classification, samples were collected from the classes of interest, extraction of polygons. The classes of vegetation and exposed soil were considered as permeable areas, while the samples of built-up areas (roofs, sidewalks, parking lots and buildings in general) and paved streets were considered as impermeable areas. From the classification of the images, it was possible to verify the increase in the amount of impermeable areas in all the analyzed scenarios, making it evident that the impermeable area is a variable that depends on the population density of the region.

Keywords: Impervious area. Geoprocessing. Population density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Bacia do Alto Paraguai e da área de estudo.....	19
Figura 2 – Localização dos municípios de Corumbá, Ladário e área de estudo	25
Figura 3 – Localização do município de Puerto Quijarro e área de estudo.....	27
Figura 4 – Resolução espacial de diferentes imagens de satélite na área urbana de Corumbá	42
Figura 5 – Metodologia de processamento e interpretação das imagens de satélite	45
Figura 6 – Mapa de áreas impermeáveis da cidade de Corumbá	52
Figura 7 – Ocupações nas encostas do Morro Pico do Corumbá no trecho urbano do Anel Viário.....	53
Figura 8 - Ocupações nas encostas do Morro Pico do Corumbá no trecho urbano do Anel Viário.....	54
Figura 9 – Mapa de áreas impermeáveis da cidade de Ladário.....	55
Figura 10 – Mapa de áreas impermeáveis da cidade de Puerto Quijarro	57
Figura 11 – Mapas de áreas impermeáveis das cidades obtidos por meio das imagens do CBERS 4A.....	58
Figura 12 - Análise visual da classificação da imagem do GE de Corumbá em 2020.....	60
Figura 13 – Análise visual da classificação da imagem do GE de Ladário em 2020.....	61
Figura 14 – Análise visual da classificação da imagem do GE de Puerto Quijarro em 2020.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição da população por bairros em Corumbá	24
Tabela 2 – Distribuição da população por bairros em Ladário.....	26
Tabela 3 – Distribuição da população por bairros em Puerto Quijarro	28
Tabela 4 - Qualidade da classificação associada ao índice Kappa	48
Tabela 5 – Número de habitantes e densidade populacional da área de estudo	50
Tabela 6 – Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis de Corumbá	51
Tabela 7 – Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis de Ladário.....	54
Tabela 8 – Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis de Puerto Quijarro	56
Tabela 9 – Resultados dos testes de Acurácia Global e índice Kappa	59
Tabela 10 – Níveis de densidade populacional (habitantes por hectare).....	65
Tabela 11 – Cenários de níveis de impermeabilização nas cidades de Corumbá, Ladário e Puerto Quijarro	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Níveis de tratamento das informações relativas à elaboração e aplicação do ZEE	34
Quadro 2 – Instrumentos de planejamento urbano de Corumbá e Ladário.....	35
Quadro 3 – Indicadores de densidade	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Relação entre densidade populacional e porcentagem de áreas impermeáveis.... 63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAP	Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai
CODEMA	Consejos Departamentales del Medio Ambiente
FONAMA	Fondo Nacional para el Medio Ambiente
GEP	Google Earth Pro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INE	Instituto Nacional de Estadística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
OSGEO	Open Source Geospatial Foundation
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PDM	Plano Diretor Municipal
PGT	Programa de Gestão Territorial
PMAP	Planos de Manejo de Águas Pluviais
PTDI	Plano Territorial de Desenvolvimento Integral
RGB	Red - Green - Blue
SCP	Plugin de Classificação Semi Automática
SENMA	Secretaría Nacional del Medio Ambiente
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SPIE	Sistema Integrado de Planejamento do Estado
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Métodos e etapas de pesquisa.....	16
2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO TRANSFRONTEIRIÇA BRASIL-BOLÍVIA...	18
2.2 Área de Estudo	22
2.3 Instrumentos de ordenamento territorial e legislações ambientais aplicáveis aos municípios de Corumbá, Ladário e Puerto Quijarro	29
3 GEOTECNOLOGIA COMO FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO URBANO....	39
4 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE ÁREAS IMPERMEÁVEIS E SUA RELAÇÃO COM A DENSIDADE POPULACIONAL	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICE A – RESULTADOS DOS TESTES DE ACURÁCIA.....	83

1 INTRODUÇÃO

Todas as ações realizadas pelo ser humano provocam impactos no meio em que ele vive. Como consequência, o acentuado processo de urbanização nas últimas décadas fez com que ocorressem modificações rápidas e intensas nas paisagens, tornando urgente a necessidade de conciliação entre a utilização dos recursos naturais e o crescimento urbano.

Diante disso, os órgãos públicos responsáveis pelo planejamento e pela infraestrutura das cidades precisam se adequar às situações buscando soluções eficientes para a distribuição espacial da população, das áreas livres e de uso público e das atividades econômicas do município, visando corrigir os efeitos negativos da expansão urbana sobre o meio ambiente, promovendo a implantação de uma legislação mais adequada à realidade cotidiana da população.

Em regiões de fronteira as considerações acerca do planejamento urbano se tornam muito mais pertinentes, devido as peculiaridades dessas regiões, que possuem uma estrutura espacial diferenciada, delimitada por barreiras legais e diplomáticas que se impõe de forma horizontal para um lado e vertical para o outro, com o intuito de controlar e regulamentar atividades da área sob a sua influência. Além disso, os limites políticos nem sempre coincidem com os limites naturais, havendo a necessidade de elaboração de planos e estratégias de forma conjunta e integrada entre municípios, estados e até mesmo países, visando a gestão eficiente dos recursos naturais (OLIVEIRA, 2005).

Na ausência desses instrumentos, os prejuízos ocasionados pela ocupação territorial desordenada se intensificam, uma vez que o crescimento populacional acelerado provoca um crescimento na demanda dos serviços de infraestrutura básica como energia elétrica, redes de esgoto e água potável e aumento acentuado no escoamento de águas pluviais, fato que contribui para o aumento da frequência de alagamentos, erosão e assoreamento dos rios, além de alterações na qualidade das águas.

Frente ao processo de expansão urbana faz-se necessário a implantação de políticas articuladas voltadas à gestão e ao planejamento territorial, visando a promoção de um ambiente mais justo e equilibrado, segundo os critérios particulares de cada município.

Instituído através do Art. 182 da Constituição Federal e regulamentado pelo Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), o Plano Diretor Municipal (PDM) tem como principal finalidade “traçar a política de desenvolvimento urbano, estabelecendo as diretrizes de uso e ocupação do solo urbano” de modo a melhor direcionar a organização espacial e o crescimento dos municípios, estabelecendo os critérios para o zoneamento urbano com a

consequente delimitação das áreas residenciais, comerciais e industriais (SIRVINSKAS, 2018).

Junto ao PDM, como um dos principais mecanismos da gestão municipal e ambiental, destaca-se o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), normatizado pelo Decreto Federal nº 4.297/2002. Sua elaboração deve ser realizada a partir do diagnóstico da situação socioeconômica e ambiental do município, visando a identificação das potencialidades específicas, vulnerabilidades locais e limitações ecológicas, a fim de promover o uso consciente dos recursos naturais e a proteção do meio ambiente (MATO GROSSO DO SUL, 2015).

Para que seja possível a elaboração de instrumentos de planejamento urbano e de ordenamento territorial eficazes é necessário que haja o entendimento da lógica da ocupação, visando a compreensão das circunstâncias espaciais, territoriais e ambientais que ali ocorrem. Isso pode ser realizado por meio do mapeamento de áreas impermeáveis utilizando de forma integrada os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e imagens de sensoriamento remoto, cuja principal vantagem é a apresentação de informações atualizadas, praticamente em tempo real.

A importância da estimativa das superfícies impermeáveis justifica-se pela possibilidade de verificação de áreas de crescimento populacional, além disso, esses dados podem ser utilizados para a formulação de cenários, diagnóstico e prognóstico de questões relacionadas ao planejamento de infraestrutura da cidade, além dos indicadores da qualidade das águas urbanas e regulação no sistema de gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que o processo de impermeabilização do solo causa alterações nos sistemas hidrológicos.

No decorrer dos anos vários métodos de classificação de imagens foram apresentados, tendo em vista a necessidade de imagens de alta resolução espacial para a análise de espaços urbanos, que possuem uma característica bastante heterogênea na paisagem. A dificuldade deve-se, sobretudo, aos elevados custos de aquisição que demandam grandes investimentos para a realização de pesquisas nesse campo.

Posto isto, diversos autores buscam alternativas para a realização do mapeamento de áreas urbanas, utilizando imagens de alta resolução espacial em projetos que demandem o emprego de séries temporais, tendo em vista que as imagens disponíveis possuem, em sua maioria, baixa resolução espacial (30m x 30m), com feições maiores do que os objetos avaliados, comprometendo, desse modo, o detalhamento desejado da superfície terrestre (JENSEN, 2009).

Simon e Trentin (2009) avaliaram as potencialidades das imagens adquiridas no Google Earth Pro (GEP), software de licença gratuita que possibilita a exportação e a impressão de imagens em alta resolução, como ferramenta para a elaboração de mapas temáticos de uso da terra, e concluíram que os resultados obtidos se mostraram satisfatórios como fonte para a representação do uso da terra, bem como a elaboração de cenários recentes, possibilitando a elaboração de uma análise temporal que identificasse as transformações ocorridas naquele período.

Moreira et al. (2011) empregaram as imagens de alta resolução espacial, disponibilizadas no Google Earth, para mapear as lavouras de café dos municípios de Alfenas, Machado e Eloi Mendes, na mesorregião do sul/sudoeste do estado de Minas Gerais, utilizando como justificativa para a metodologia escolhida a dificuldade de delimitação das inúmeras lavouras de pequeno porte (com área menor que 5 ha) existentes na região. Os resultados mostraram-se bem mais precisos quando comparado aos polígonos delimitados nas imagens do TM/Landsat-5.

Ayach et al. (2012) realizaram o mapeamento da cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Indaiá no estado de Mato Grosso do Sul, a partir de imagens capturadas do Google Earth, e concluíram que esta metodologia apresenta resultados bastante satisfatórios, evidenciando a potencialidade de sua aplicação para tais finalidades.

Pereira et al. (2018) analisaram o uso e cobertura da área da bacia hidrográfica do córrego Dornelas, no estado de Minas Gerais, a partir da integração dos softwares QGIS e GEP, demonstrando relação direta entre a ocupação do solo e as interferências antrópicas diversas ocorridas na paisagem natural. As ferramentas mostraram-se eficientes na detecção de impactos negativos, ocasionados pelas ocupações de forma generalizada, utilizadas principalmente para pastagens de bovinocultura, moradias e agricultura familiar e minifundiária.

No tocante à elaboração da relação entre densidade populacional e áreas impermeáveis, destacam-se Campana e Tucci (1994), que realizaram o levantamento do uso do solo das cidades de Porto Alegre, São Paulo e Curitiba e, posteriormente, desenvolveram uma equação que relaciona a densidade demográfica com os dados obtidos por meio do mapeamento.

Gonçalves (2007) realizou o levantamento da porcentagem de áreas impermeáveis na cidade de Porto Alegre, com o auxílio das imagens do satélite de alta resolução espacial Quickbird, e constatou que a relação entre densidade demográfica e áreas impermeáveis apresenta resultados semelhantes encontrados em outras pesquisas.

O fato da intensidade da expansão urbana, sua dinâmica e tendências, bem como o entendimento da sua relação com o crescimento populacional serem considerados importantes parâmetros na elaboração de instrumentos de planejamento urbano, motivou a realização dessa pesquisa, despertando o interesse acerca de como se apresenta essa relação em Corumbá – BR, Ladário – BR e Puerto Quijarro – BO.

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho foi desenvolver a curva da relação entre densidade populacional e áreas impermeáveis para as cidades de Corumbá/BR, Ladário/BR e Puerto Quijarro/BO, realizado por meio da quantificação do percentual de áreas impermeáveis das cidades nos anos de 2003, 2010, 2012 e 2020; da análise da evolução das áreas impermeáveis entre os períodos descritos; e da elaboração da correlação entre a quantidade de áreas impermeáveis e a densidade populacional.

1.1 Métodos e etapas de pesquisa

A metodologia utilizada caracteriza-se como uma pesquisa aplicada de natureza quantitativa, com finalidade descritiva, adotando-se como procedimento técnico a investigação documental. Todos os dados foram manipulados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) através do software QGIS e do método de classificação supervisionada empregados em imagens de satélite de alta resolução espacial.

A partir da interpretação dos mosaicos foram elaborados gráficos e planilhas para manipulação dos dados gerados pelo Plugin de Classificação Semi Automática (SCP), com o auxílio do software Excel, para a melhor compreensão dos mesmos, permitindo, assim, a realização da análise temporal da evolução das áreas impermeáveis entre os períodos estabelecidos. As informações a respeito da população de Corumbá/BR foram obtidas mediante consulta no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enquanto os dados demográficos de Puerto Quijarro/BO, por intermédio de pesquisa no Instituto Nacional de Estadística (INE). O fator relevante para a escolha das datas das imagens foi a disponibilidade dos dados censitários, visando elaborar a relação entre as duas variáveis.

O trabalho foi estruturado em três seções. Na primeira foram descritas as principais características relativas aos temas abordados nesta pesquisa sobre os Municípios de Corumbá/BR, Ladário/BR e Puerto Quijarro/BO, inseridos na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP), como a localização geográfica da área de estudo, os dados populacionais e socioeconômicos; e os instrumentos de ordenamento territorial e legislações ambientais a eles aplicáveis.

Na segunda, abordaram-se os conceitos necessários para o entendimento das geotecnologias, as principais metodologias utilizadas para o levantamento de áreas impermeáveis e a metodologia escolhida para a realização deste estudo.

Por fim, apresentou-se os resultados obtidos por meio da classificação das imagens de satélite, as curvas elaboradas a partir desses resultados, as similaridades encontradas em outros estudos, os cenários projetados com base na equação de áreas impermeáveis e as possíveis alternativas para a elaboração dos instrumentos de planejamento urbano.

2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO TRANSFRONTEIRIÇA BRASIL-BOLÍVIA

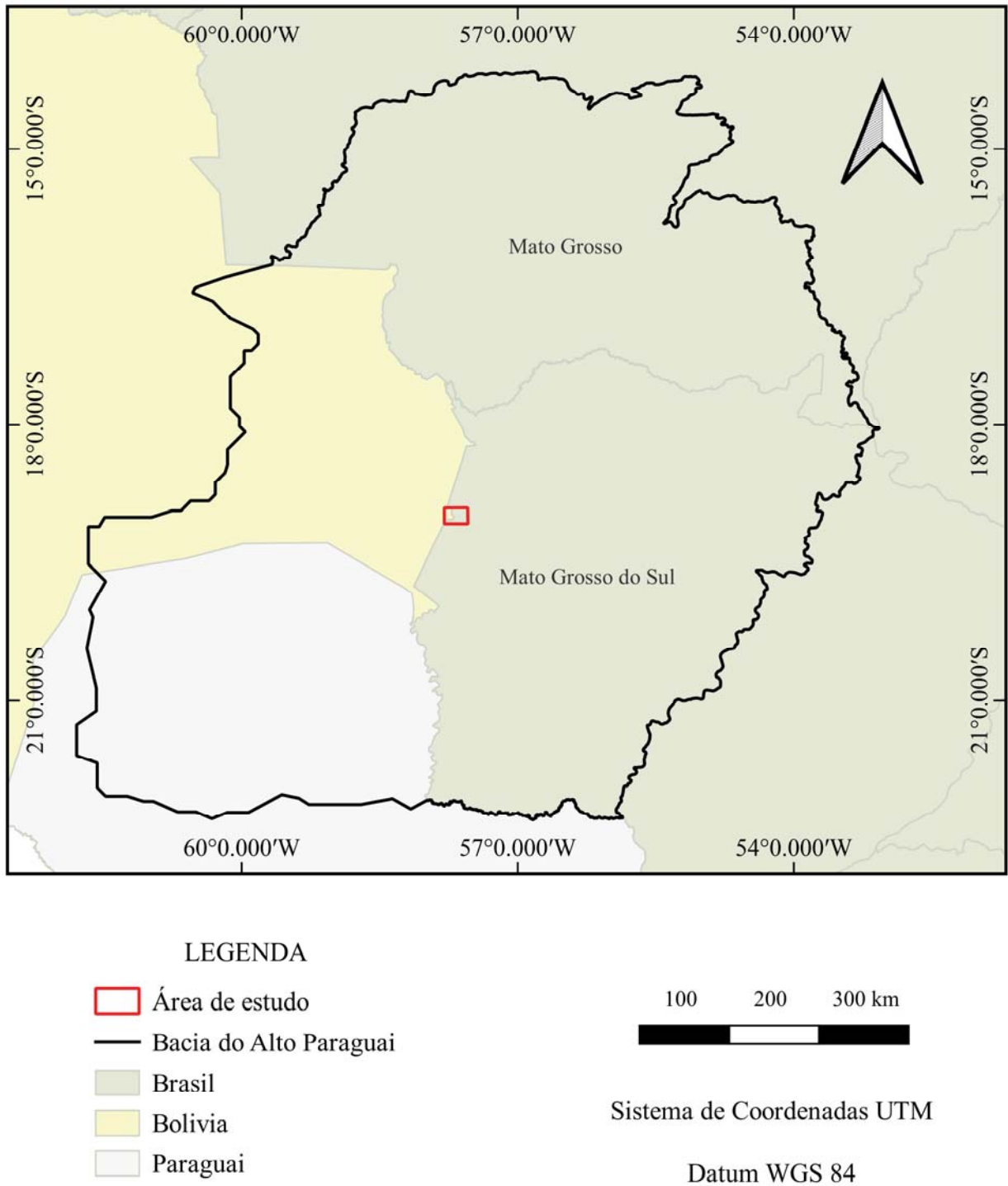
A área de estudo desta pesquisa contempla a região transfronteiriça formada pelas cidades de Ladário e Corumbá, no lado brasileiro e Puerto Quijarro, na Bolívia, que está inserida na Bacia do Alto Paraguai (BAP), região hidrográfica que possui 60% de sua área em território brasileiro, 20%, em território boliviano e 20%, em território paraguaio. Seu principal curso d'água, o rio Paraguai, nasce na Serra dos Parecis, no estado de Mato Grosso, com percurso de 2.582 Km até a foz, na Argentina, banhando margens exclusivamente brasileiras numa extensão de, aproximadamente, 1.300 Km, e compartilhando suas margens entre Brasil e Bolívia em 48 km de comprimento (WWF-BRASIL, 2015).

Os cursos d'água que compõe a Bacia do Alto Paraguai caracterizam-se por rios de planície caudalosos, fato que possibilita a navegação na maior parte de sua extensão, incluindo embarcações de grande porte. Tais particularidades contribuíram para o processo de ocupação da região e, conseqüentemente, na formação de sua geografia política atual (PEREIRA, 2015).

A BAP (Figura 1) abriga o Complexo do Pantanal, menor bioma brasileiro e a maior planície tropical alagável do mundo, caracterizado como uma imensa planície sedimentar contínua, com declividades quase nulas, o que favorece a ocorrência de inundações em todas as direções, no decorrer do Rio Paraguai, seu único escoadouro (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

O Pantanal situa-se no sul do MT e no noroeste do Mato Grosso do Sul (MS), além de se estender pelo norte do Paraguai e leste da Bolívia. Assim, interliga a Bacia Amazônica e a Bacia Platina, formando um corredor biogeográfico que dispersa variada flora e fauna alimentada por um fluxo constante de nutrientes provenientes das inundações (TERRA et al., 2013, p.138).

Figura 1 – Localização da Bacia do Alto Paraguai e da área de estudo



Fonte: elaborado pela autora a partir da base de dados do IBGE – malha municipal (2021).

A Lei Federal nº 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, conceitua bacia hidrográfica como “a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica é a unidade básica de planejamento e exploração dos recursos naturais, pois seus limites são físicos e imutáveis, fato que possibilita o acompanhamento das alterações naturais em sua área ao longo do tempo (ATTANASIO, 2004).

De acordo com Braga (2003) a bacia hidrográfica funciona como um sistema aberto, onde todos os seus elementos apresentam uma função própria e interligadas entre si, as quais possuem características ecológicas, geomorfológicas e sociais. Partindo deste conceito, as bacias não podem ser consideradas de forma isolada, pois existe uma escala micro que se preocupa com os corpos d'água, mas que vai gradativamente aumentando sua atenção, procurando observar além deste elemento, a conservação do solo, as plantações, a proteção das encostas e áreas adjacentes e ainda a proteção das cabeceiras, dos riachos e das matas ciliares de sua região.

Por ser a água um recurso essencial para o funcionamento do ecossistema, o conhecimento do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas possibilita a gestão de recursos hídricos do ponto de vista social, econômico e ambiental, propiciando mais segurança na execução de projetos para evitar acidentes naturais como inundações e alagamentos, além de potencializar a sua utilização para o abastecimento de municípios, atividades industriais e construção de usinas hidrelétricas, por exemplo (BESKOW et al., 2013).

A bacia hidrográfica também deve ser utilizada como unidade de planejamento dos municípios quando se pretende analisar as consequências da urbanização no meio ambiente, principalmente sob os aspectos relacionados à impermeabilização do solo, que resulta no aumento do escoamento superficial da água da chuva, um dos fenômenos do ciclo hidrológico mais facilmente percebido no meio urbano, devido à ocorrência de alagamentos (SILVEIRA, 1993).

Segundo Germano (1998), existem vários fatores que modificam o comportamento das águas nas regiões urbanas, dentre eles as áreas impermeáveis, que apresentam um papel muito importante nas enchentes, exatamente pelo fato de que as situações de ocupação do solo pós-cobertura de suas superfícies tornam-se menos permeáveis, o que acarreta em um aumento no escoamento superficial das águas das chuvas.

É inegável que a urbanização contribui para as mudanças no escoamento superficial das águas. Se antes elas abriam caminho através da cobertura vegetal, agora elas passam a escoar por canais e condutos, telhados, calçadas, ruas asfaltadas e lajes. Desse modo, o ciclo hidrológico natural sofre uma significativa alteração acarretando no aumentando do volume de escoamento superficial e reduzindo o processo de infiltração (TUCCI et al., 1995).

De acordo com Poletto (2014), atualmente todas as grandes cidades apresentam pontos de alagamentos e cidades de médio porte possuem, ao menos, um ponto de inundação durante os períodos de cheia.

Isso ocorre principalmente porque a urbanização tende a remover as vegetações existentes nas bacias hidrográficas, sendo as mesmas substituídas por áreas impermeáveis (calçadas, ruas pavimentadas, telhados, estacionamentos, etc.). Essas mudanças acabam ocasionando alterações no hidrograma local, fazendo com que os tempos de concentração sejam reduzidos e os picos de vazão sejam ampliados (POLETO, 2014, p. 35).

Embora a Bacia Hidrográfica seja considerada a unidade territorial de planejamento urbano no Brasil atualmente, nem sempre os seus limites naturais coincidem com os limites político-administrativos municipais, estaduais e até mesmo a nível federal.

Diante da necessidade de demarcação territorial com a finalidade de estabelecer o seu espaço de autonomia, é possível afirmar que o limite político territorial permite o exercício das funções legal, de controle e fiscal no espaço a ele subordinado. Tal demarcação é representada por um sistema sêmico, visível ou não, assinalado no próprio território ou numa representação do território: plano cadastral ou carta topográfica, não podendo ser visto fora do mapa, mas com efeitos práticos e legais comprovados (RAFFESTIN, 1993, p. 165).

Segundo Martin (1997, p. 47), “o limite é reconhecido como linha, e não pode, portanto, ser habitada, ao contrário da fronteira, que [...] constitui uma zona, muitas vezes bastante povoada onde os habitantes de estados vizinhos podem desenvolver intenso intercâmbio, em particular sob a forma de contrabando”.

Ainda que o entendimento acerca da fronteira seja associado ao do limite político-territorial, como consequência das mudanças nos cenários políticos, culturais e sociais no decorrer do tempo, os termos não apresentam o mesmo sentido. Enquanto o limite define o campo de atuação do estado, criado com o intuito de controlar e regulamentar atividades das áreas sob a sua influência, a fronteira designa uma faixa de contato entre os povos que estimula a sua integração sociocultural. O limite representa uma linha abstrata, que não pode ser vista fora do mapa. Já a fronteira é uma zona geográfica concreta, um símbolo visível, capaz de criar relações que podem ultrapassar o limite ali estabelecido (FERRARI, 2014).

Como interface, a fronteira pode ser entendida, segundo o dicionário francês de geografia, como plano ou linha de contato entre dois sistemas ou conjuntos distintos, onde, em geral, ocorrem fenômenos originais, trocas entre as duas partes, modificação de uma pela outra, exploração das diferenças pelos atores sociais. De fato, a fronteira internacional quando associada à zona geográfica significa área ou lugar de contato e de integração espontânea pelas ações e iniciativas cotidianas da população fronteiriça, sobretudo em pontos constituídos por cidades gêmeas. (FERRARI, 2014, p. 21).

Perante o exposto, é possível perceber que a definição de zona de fronteira internacional está relacionada a uma área de interação cultural, “uma paisagem específica, com espaço social transitivo, composto por diferenças oriundas da presença do limite internacional, e por fluxos e interações transfronteiriças, cuja territorialização mais evoluída é a das cidades-gêmeas” (BRASIL, 2005, p. 21).

2.2 Área de Estudo

Apesar de possuir uma fronteira seca, as áreas urbanas entre o Brasil e a Bolívia não são conurbadas, havendo uma estrada de 5 km entre as cidades de Corumbá e Puerto Quijarro, com a existência de controle de fronteira (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

No Brasil, a Lei nº 6.634/79 caracteriza como Faixa de Fronteira a faixa interna de 150 (cento e cinquenta) km de largura, paralela à linha divisória terrestre do território nacional, onde incidem legislações específicas sobre a posse de terras e de recursos naturais, construção, estabelecimento ou exploração de indústrias e instalação de empresas, entre outras atividades. Na Bolívia, a zona de seguridad fronteriza, constituída pela faixa de 50 km a partir do limite internacional, é determinada pela Ley de desarrollo y seguridad fronteriza de 2011 e estabelece que as estações de serviço que se encontrarem nessa área estão sujeitos ao regime de desapropriação municipal (BOLÍVIA, 2011).

No setor econômico da região destacam-se os serviços voltados ao transporte de mercadorias na Estação Aduaneira de Corumbá, através de rodovia ou hidrovía, consolidando-se como o setor que mais possibilita relações de troca e fluxos entre as cidades (CONTE, 2017).

Corumbá mantém relações econômicas, sociais e culturais com as cidades de Ladário, a 6 km; Puerto Quijarro (Bolívia), a 5 km, e Puerto Suárez (Bolívia), a 11 km. O setor de serviços potencializa a cidade de Corumbá que presta serviços aos bolivianos. Os profissionais da área de saúde (médicos e dentistas), carpinteiros, eletricitas, pintores, pedreiros e outros, são beneficiados pela condição de fronteira, pois há um consumo de serviços dos bolivianos em Corumbá (BRITO, 2011, p. 92).

Diante do exposto, é possível observar a existência de uma grande dinâmica entre as três cidades, voltada principalmente ao comércio e à prestação de serviços, fato que consolidou Corumbá como suporte no que se refere “aos serviços de infraestrutura urbana, registrando-se assim uma sobrecarga para Corumbá, a se considerar que a sua população é ampliada com a presença da população fronteiriça” (HANY, 2005, p. 61).

Por fim, o setor de turismo também apresenta um importante papel na economia local, oferecendo atrações relativas a pesca esportiva, ecoturismo e turismo de compras, devido às riquezas naturais da região e por se tratar de região de fronteira (MARTINS, 2019).

No que tange a organização político-administrativa, a Bolívia apresenta quatro níveis hierárquicos, com uma categoria a mais que o Brasil, que possui apenas três. Entretanto, o nível de província apresenta-se apenas como uma divisão territorial, não possuindo qualquer tipo de poder executivo. Desse modo, o nível de departamento na Bolívia equivale ao nível de estado no Brasil, cujo poder executivo é representado pelo cargo de governador em ambos os países (SOTTILI, 2013).

Na área da saúde existem iniciativas conjuntas entre os dois países, destacando-se as campanhas de vacinação contra diversas doenças e de combate à raiva, leishmaniose e dengue (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

Relativo aos serviços educacionais, escolas das redes pública e privada, no lado brasileiro, possuem alunos bolivianos matriculados, cabendo destacar que o fluxo para o estudo no ensino fundamental e médio só ocorre no sentido Bolívia - Brasil (SILVA; ALMEIDA, 2019). Em contrapartida, a vasta quantidade de instituições privadas de ensino superior na Bolívia tem atraído brasileiros, sobretudo para os cursos de medicina e odontologia, que buscam conquistar um diploma de graduação (CASTRO, 2011).

O município de Corumbá está situado à margem direita do rio Paraguai, com as seguintes coordenadas geográficas: 18° 59' 24" de latitude sul e 57° 39' 00" de longitude oeste. Localiza-se a 420 km da capital do estado de Mato Grosso do Sul, limitando-se ao norte com o estado de Mato Grosso, ao sul com o município de Porto Murtinho e com o Paraguai, à oeste com a Bolívia e à leste com os municípios de Sonora, Coxim, Rio Verde de Mato Grosso, Aquidauana, Miranda e Bodoquena (IBGE, 1958).

Possui 21,57 km² de área urbana e 64.438,363 km² de área total, colocando-se em 1º lugar em extensão territorial estadual, ocupando, assim, 18,04% de todo o território do estado de Mato Grosso do Sul (IBGE, 2020).

Corumbá está dividida em 7 (sete) distritos (Albuquerque, Amolar, Coimbra, Corumbá, Nhecolândia, Paiaguás e Porto Esperança), dos quais somente 4 (quatro) possuem áreas consideradas urbanas pelo IBGE, sendo eles Albuquerque, Coimbra, Corumbá e Porto Esperança.

De acordo com o último censo do IBGE (2010) a população da cidade contabilizava 103.703 habitantes. Por possuir uma grande área total, o município apresenta densidade demográfica relativamente baixa, de 1,6 hab/km².

Atualmente, a cidade possui 23 bairros, sendo o mais populoso o Bairro Centro, que possui 17,77% da população e apresenta uma ocupação mista (comercial/residencial), seguido do bairro Cristo Redentor, com 9,79% da população. Os bairros mais recentes são o Pe. Ernesto Sassida, criado no ano de 2013, e o Bairro Cravo Vermelho, criado em 2018. A Tabela 1 apresenta a população contabilizada por bairro, de acordo com o Censo 2010 (IBGE, 2010).

Tabela 1 – Distribuição da população por bairros em Corumbá

Localização	Nomenclatura	População
Norte	Arthur Marinho	1.549
	Beira-rio	398
	Borrowsky	1.598
	Centro	18.433
	Cervejaria	2.513
	Dom Bosco	4.245
	Generoso	2.292
	Universitário	4.155
Oeste	Aeroporto	5.533
	Jardim dos Estados	4.727
	Nossa Senhora de Fátima	2.969
	Popular Nova	3.418
Leste	Cristo Redentor	10.154
	Centro-américa	4.438
	Industrial	237
	Maria Leite	4.009
	Popular Velha	6.976
Sul	Previsul	1.029
	Guarani	2.247
	Guatós	3.085
	Nova Corumbá	7.977
	Demais setores	11.721

Fonte: IBGE (2010).

Como riqueza extrativa mineral destacam-se as imensas jazidas de ferro e manganês, responsáveis pela maior atividade industrial do município, seguido pelo setor agropecuário. No setor industrial é significativa a produção de cimento e calcário, assim como metalúrgicas, frigoríficos de bovinos e entrepostos de pesca. O setor de comércio destaca-se como principal atividade econômica e os serviços completam a economia local, servindo como referência para os municípios vizinhos (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

O município de Ladário está situado na região oeste do estado de Mato Grosso do Sul, com as seguintes coordenadas geográficas: 19°00'18" de latitude sul e 57°36'07" de longitude oeste. Localiza-se a 421 km de Campo Grande, sendo um dos quatro municípios brasileiros em situação de enclave geográfico, cujo território encontra-se inteiramente dentro dos limites do município de Corumbá (Figura 2), (IBGE, 1958).

Figura 2 – Localização dos municípios de Corumbá, Ladário e da área de estudo

Figura 2 a – Mapa do Brasil

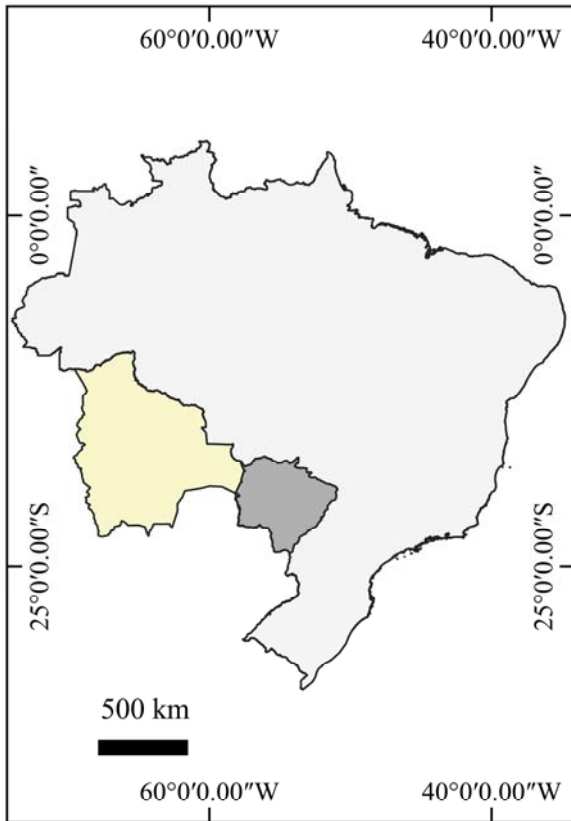


Figura 2 b – Estado de Mato Grosso do Sul

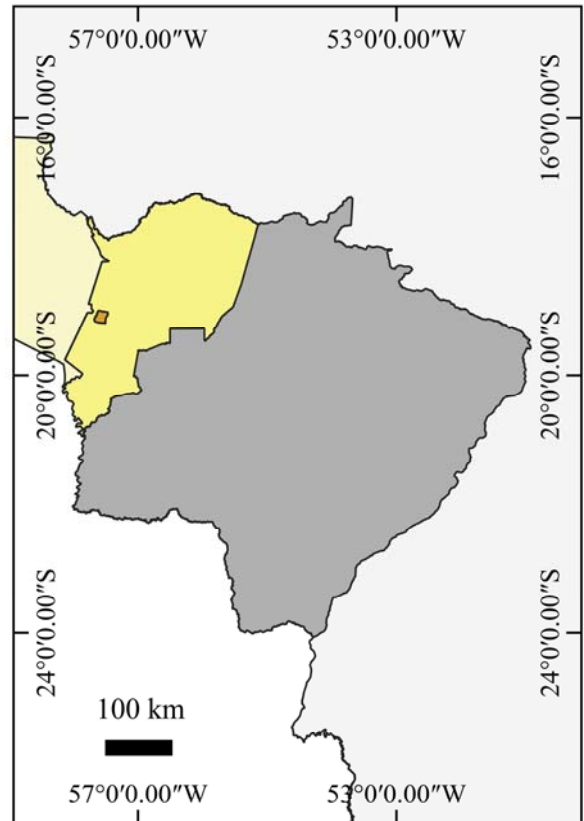
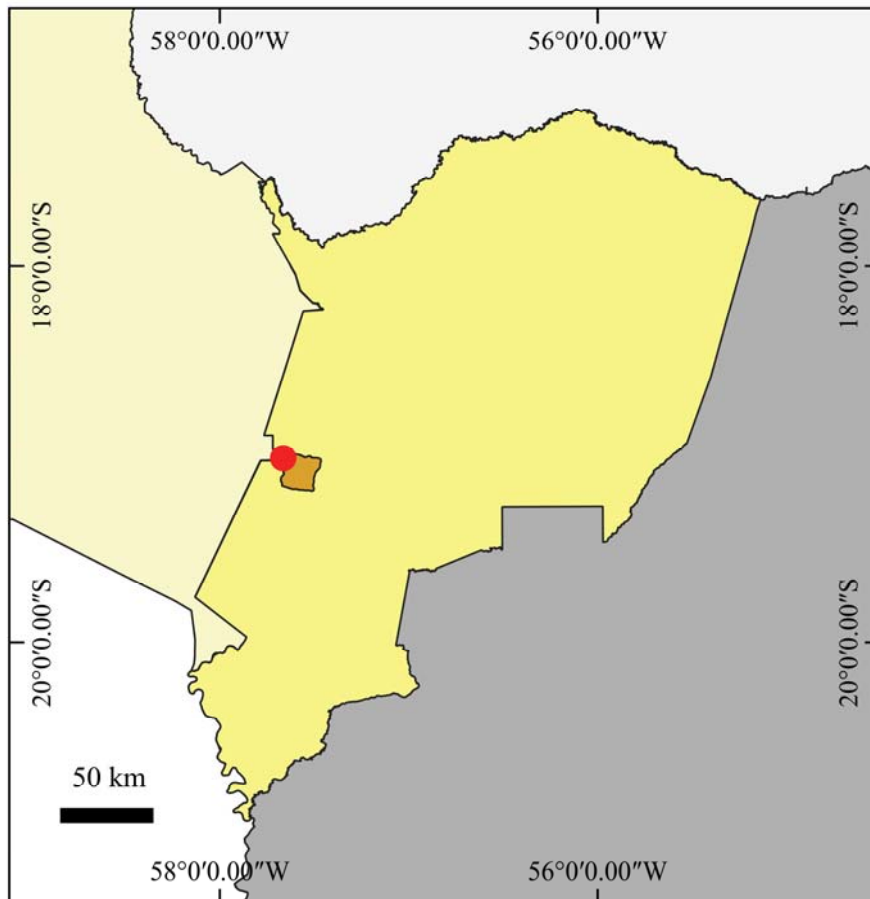


Figura 2 c – Municípios de Corumbá e Ladário



LEGENDA

- Área de estudo
- Ladário
- Corumbá
- Mato Grosso do Sul
- Brasil
- Bolívia

Sistema de Coordenadas UTM

Datum WGS 84

Fonte: elaborado pela autora a partir da base de dados do IBGE – malha municipal (2021).

Possui 6,00 km² de área urbana e 354,255 km² de área total, colocando-se em 76º lugar em extensão territorial estadual, ocupando, assim, 0,10% de todo o território do estado de Mato Grosso do Sul (IBGE, 2020).

A cidade possui apenas o Distrito de Ladário e está dividida, atualmente, em 10 (dez) bairros (Centro, Santo Antônio, Almirante Tamandaré, Boa esperança, Ceac, Mutirão, Nova Aliança, Potiguar, Alta Floresta I e Alta Floresta II), consolidando-se o Centro como o mais populoso, que possui 21,01% dos munícipes.

O último censo do IBGE (2010) contabilizou o número de 19.617 habitantes e densidade demográfica de 57,56 hab/km². A Tabela 2 apresenta a população contabilizada por bairro (IBGE, 2010).

Tabela 2 – Distribuição da população por bairros em Ladário

Localização	Nomenclatura	População
Norte	Centro	4.121
Oeste	Almirante Tamandaré	2.001
	Santo Antônio	2.997
Leste	Boa Esperança	1.618
Sul	Nova Aliança	2.454
	Potiguar	745
	Demais setores	5.681

Fonte: IBGE (2010).

A empregabilidade e as fontes de renda do município concentram-se nas indústrias, no turismo, no setor de funcionalismo público (Municipal, Estadual e Federal, incluindo a Marinha) e no comércio e serviços, dentre os quais os últimos destacam-se como o setor de maior participação na economia local (SEBRAE, 2015).

O município de Puerto Quijarro está localizado às margens do Canal Tamengo, e encontra-se entre as coordenadas 17° 57' 59" de latitude sul e 56° 28' 32" de longitude oeste. Dista a 660 km de Santa Cruz de La Sierra, por estrada de ferro e a 15 km de Puerto Suárez, limitando-se ao norte com a província Ángel Sandoval; ao sul e oeste com o município de Puerto Suárez; e a leste com o Brasil (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

Puerto Quijarro localiza-se na província de Germán Bush, pertencente ao Departamento de Santa Cruz (Figura 3), que tem como capital a cidade de Santa Cruz de La Sierra e é formado por 2 distritos: Puerto Quijarro e Arroyo Concepción (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

Figura 3 – Localização do município de Puerto Quijarro e da área de estudo

Figura 3 a – Mapa da Bolívia e Dpto. Santa Cruz

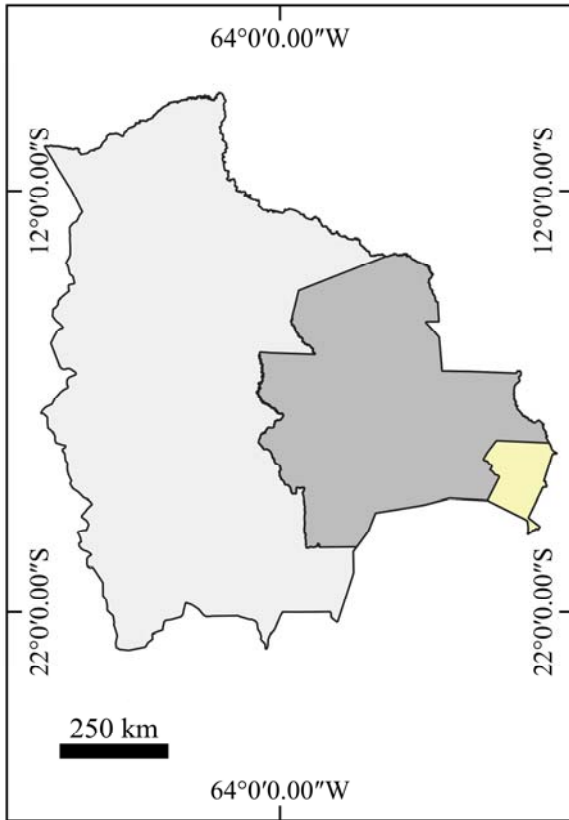


Figura 3 b – Província de Germán Busch

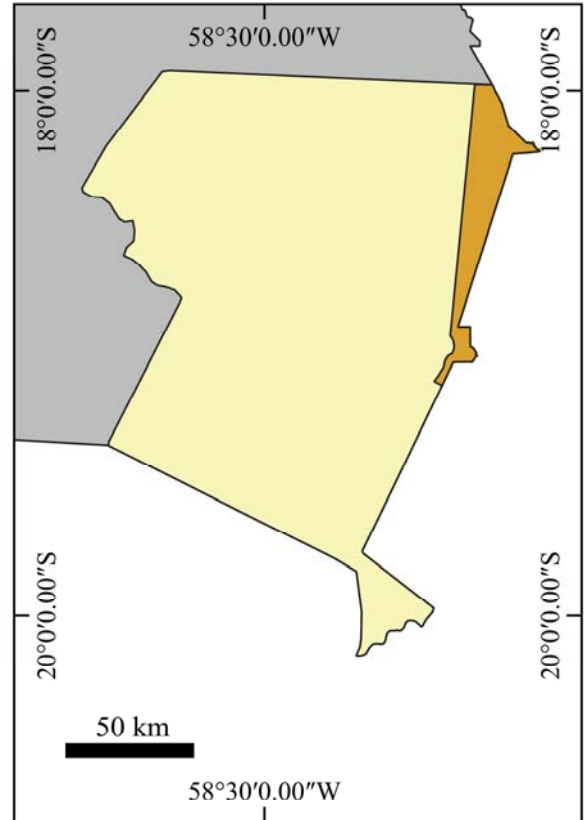
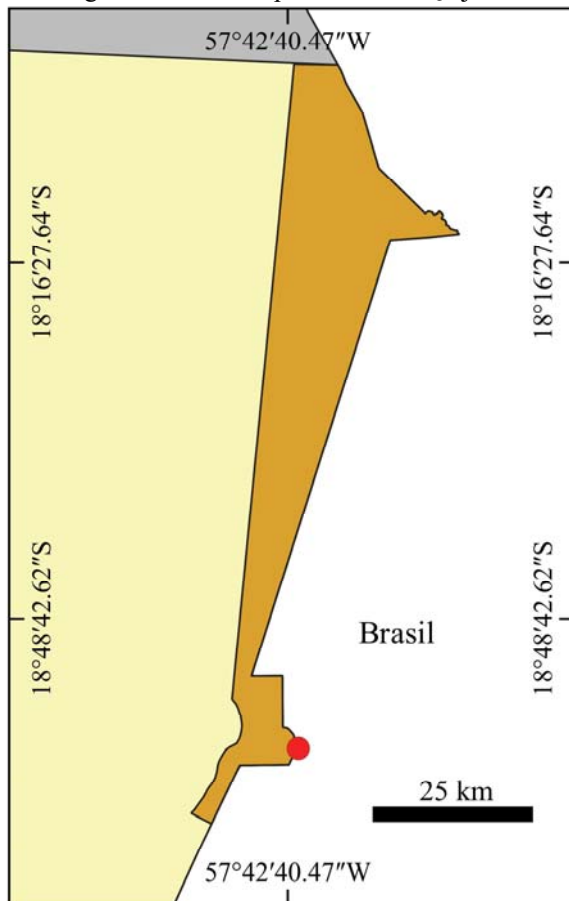


Figura 3 c – Município de Puerto Quijarro



LEGENDA

- Área de estudo
- Puerto Quijarro
- Província de Germán Busch
- Departamento de Santa Cruz
- Bolívia

Sistema de Coordenadas UTM

Datum WGS 84

Fonte: elaborado pela autora a partir da base de dados do GEOBOLÍVIA (2021).

Possui aproximadamente 14,00 km² de área urbana e 2.033,00 km² de superfície total, ocupando, desse modo, 8,21% do território da Província de Germán Busch (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

De acordo com o censo realizado em 2001 pelo INE, a população total do município é de 16.455 habitantes e a densidade demográfica de 8,1 hab/km². Atualmente, o município possui 14 bairros e 3 comunidades indígenas no Distrito de Puerto Quijarro e 7 bairros e 2 comunidades indígenas no Distrito de Arroyo Concepcion. A distribuição da população pode ser observada na Tabela 3.

As principais atividades econômicas do município são a exportação de cereais e derivados e o intercâmbio comercial com os municípios de Corumbá e Ladário (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

Tabela 3 – Distribuição da população por bairros em Puerto Quijarro

Distrito	Divisão	Nomenclatura	População
Puerto Quijarro	Bairros	27 de Mayo	812
		Cristo Rey	633
		Las Piedritas	180
		San Antonio	325
		San Francisco	611
		San Jorge	322
		San José Obrero	500
		San Juan	636
		San Silvestre	1295
		Santa Ana	186
		Santa Bárbara	558
		Virgen de Copacabana	930
		Virgen de Cotoca	1200
		Virgen de Fátima	555
		Virgen del Carmen	1610
		Comunidades Indígenas	Guayé Rincón
Guayé Corechi	75		
Guayé Manantial	54		
Arroyo Concepcion	Bairros	6 de enero	390
		Equipetrol	492
		San Silvestre	366
		San Juan	648
		Virgen de las Mercedes	1944
		Virgen del Carmen	1350
		Virgen de Fátima	426
		Comunidades Indígenas	San Pedrito
Carmen de la Frontera	186		

Fonte: Puerto Quijarro (2005).

Por se tratar de uma região de fronteira, as questões voltadas ao planejamento urbano devem possuir uma análise que leve em conta as peculiaridades que ali existem. Visando a adoção de uma política integrada pautada no desenvolvimento regional, o governo federal reestruturou o programa de desenvolvimento da faixa de fronteira, que até então era vista apenas como uma região de apoio a “defesa nacional e da imposição de barreiras às ameaças externas, implicando, de fato, a imposição de limites nas relações com os países vizinhos” (BRASIL, 2005, p. 6).

2.3 Instrumentos de ordenamento territorial e legislações ambientais aplicáveis aos municípios de Corumbá, Ladário e Puerto Quijarro

Considerando a vasta extensão territorial do país somada a grande heterogeneidade social existente nesse espaço, cabe aos gestores municipais a elaboração de planos regionais específicos relativos à ordenação do território e do desenvolvimento econômico e social, a partir da cooperação entre o Governo Federal e Estadual, levando-se em conta os interesses e potencialidades locais.

Sem instituições para instrumentá-la, as cooperações entre países vizinhos em regiões de fronteira têm sido feitas informalmente e através de acordos tácitos entre as autoridades locais dos países fronteiriços (MACHADO, 2005, p. 11).

Desse modo, o planejamento urbano em áreas de fronteira deve ser analisado e elaborado de forma conjunta entre gestores municipais, tendo em vista que a influência das ações relativas ao uso do espaço é mútua. Além disso, a análise individual de uma localidade provoca uma visão distorcida da realidade, principalmente em situações em que os municípios se localizam na mesma bacia hidrográfica e compartilham dos mesmos recursos hídricos.

Na ausência de instrumentos de ordenamento urbano, os prejuízos ocasionados pela ocupação territorial desordenada se intensificam, uma vez que o crescimento populacional acelerado provoca um crescimento na demanda dos serviços de infraestrutura básica como redes de água, esgoto e energia elétrica; aumento acentuado no escoamento de águas pluviais, fato que contribui para o aumento da frequência de alagamentos, erosão e assoreamento dos rios; e alterações na qualidade das águas.

Os instrumentos urbanísticos apresentam rigorosos conceitos de ordenamento territorial, visando o cumprimento eficiente das cidades (SANTOS, 1987, p. 26).

Não apenas a regulamentação do uso e da ocupação do solo urbano deve contribuir para a melhoria das condições de vida da população, mas, também, a promoção do ordenamento do território deve buscar com que todos sejam asseguradas a equidade no acesso aos equipamentos e serviços públicos, bem como aos recursos ambientais,

a eficiência na prestação dos serviços e a qualidade de vida e ambiental (MENDONÇA, 2016, p. 37).

O segundo Capítulo da Constituição Federal de 1988, que trata da Política Urbana, atribui ao poder público municipal a responsabilidade relativa ao desenvolvimento urbano, visando “ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes” (BRASIL, 1988).

Previsto não só na Constituição Federal, como também no Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001) o Plano Diretor Municipal (PDM), principal instrumento da política urbana, é obrigatório para as cidades com mais de vinte mil habitantes, integrantes de regiões metropolitanas, de áreas de especial interesse turístico ou inseridas em área de influência de atividades com significativo impacto ambiental. Tudo com os objetivos de se orientar as ações do poder público, promover a ordenação dos espaços dos municípios, a urbanização e a sustentabilidade (BRASIL, 2001).

A propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no plano diretor, assegurando o atendimento das necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida, à justiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas [...] (BRASIL, 2001).

Com a finalidade de regular ocupações, proporcionar sustentabilidade e garantir melhores condições de vida para a população o PDM vem se firmando como principal instrumento jurídico da gestão do espaço urbano dos municípios brasileiros. Neste papel de conduzir as ações administrativas, o PDM deve propor diretrizes que indiquem as ações de gestores públicos e também dos privados em relação ao que deve e ao que não deve ser feito no município. Através do PDM é possível identificar e delimitar áreas urbanas e rurais, assim como traçar estratégias para atuação no desenvolvimento da região, não só buscando como também aprimorando os direitos fundamentais dos munícipes (VAZ, 2006).

O Parcelamento do solo urbano, regido pela Lei nº 6.766/1979, divide a área urbana (gleba) em unidades menores (lotes), visando a edificação, por meio de processo de loteamento ou desmembramento, cabendo ao município a determinação dos requisitos para a aprovação, desde que não sejam inferiores aos requisitos mínimos exigidos na lei federal, a fim de atender as particularidades de cada localidade (BRASIL, 1979).

Loteamento é meio de urbanização e só se efetiva por procedimento voluntário e formal do proprietário da gleba, que planeja a sua divisão e a submete à aprovação da Prefeitura, para subsequente inscrição no registro imobiliário, transferência gratuita das áreas das vias públicas e espaços livres ao Município e a limitação dos lotes (MEIRELLES, 1976, p. 62).

O zoneamento é um instrumento que regulamenta as condições quanto ao uso e ocupação do solo, mediante a divisão das áreas urbanas em zonas territoriais, cujo principal

fator considerado é a função predominante pretendida para determinada região (comercial, industrial, residencial, mista, etc.). Assim como o parcelamento do solo urbano, o zoneamento pode ser apresentado como parte integrante do PDM ou como legislação municipal específica.

Representado geralmente em forma de mapas, cujo as zonas são demarcadas por cores e siglas específicas, este instrumento é de fundamental importância para a vida urbana, uma vez que regulamenta as construções e define as diretrizes básicas de todas as regiões do perímetro urbano, como as normas técnicas de edificações, o adensamento populacional, a expansão territorial e a proteção de áreas inadequadas à ocupação urbana (VAZ, 2006).

O zoneamento é o ordenamento das possíveis formas de uso das áreas de um município, atribuindo a cada zona suas determinadas categorias de uso, como a fração do terreno que pode ser edificada, o número de andares das edificações, os recuos, altura máxima, etc. Essa determinação ocorre, muitas vezes, em função das construções já existentes nos municípios, de forma que a legislação sirva apenas como forma de reconhecimento do espaço construído (VAZ, 2006).

A Lei nº 11.445/2007 institui as diretrizes para o saneamento básico no país, que pode ser entendido como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:

- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;
- b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana; e
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (BRASIL, 2007).

Dentre os componentes de saneamento básico supracitados, a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas devem receber uma atenção especial, dada a sua relação direta com os demais serviços, tendo em vista que as águas pluviais funcionam como vetores de proliferação de doenças e de poluição de corpos hídricos, através da ocorrência de enchentes, inundações e alagamentos (ONEDA, 2018).

Diante disso, surge a necessidade de elaboração dos Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDU) ou Planos de Manejo de Águas Pluviais (PMAP), atrelados ao PDM, com o objetivo de minimizar os impactos negativos ocasionados pela alteração do escoamento natural das águas pluviais devido ao intenso processo de urbanização (PARKINSON et al., 2003).

Para Tucci (1997), como a ocupação do solo configura-se como o maior agente prejudicial ao ciclo hidrológico e, conseqüentemente, aos sistemas de drenagem, o PDDU deve apresentar-se como um componente do PDM, cujos principais objetivos estão pautados em:

- a) planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infraestrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais;
- b) controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições nas áreas de alto risco e;
- c) convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco (TUCCI, 1997, p.5).

Relativo aos instrumentos urbanos de caráter ambiental, a Lei Federal nº 6.938/1981 cumpre a função de regulamentadora para os estados e municípios, estabelecendo as diretrizes que visam a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental (BRASIL, 1981).

O Zoneamento Ambiental ou Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente, destacado no Estatuto da Cidade e revisitado por meio do Decreto Federal nº 4.297/2002, possui caráter preventivo e deve ser elaborado partir do diagnóstico da situação socioeconômica e ambiental do município, visando a promoção do uso sustentável dos recursos naturais e a proteção da qualidade do meio ambiente, garantindo a estabilidade do ecossistema nele inserido (BEZERRA, 1996).

O ZEE elabora as diretrizes das políticas “voltadas à proteção ambiental, à melhoria das condições de vida da população e à redução dos riscos de perda do patrimônio natural, garantindo o desenvolvimento sustentável” (BATISTELA, 2007, p. 84), segundo as peculiaridades de cada zona, cujo principal objetivo está expresso no art. 3º do Decreto nº 4.297/2002:

Art. 3º O ZEE tem por objetivo geral organizar, de forma vinculada, as decisões dos agentes públicos e privados quanto a planos, programas, projetos e atividades que, direta ou indiretamente, utilizem recursos naturais, assegurando a plena manutenção do capital e dos serviços ambientais dos ecossistemas.

Parágrafo único. O ZEE, na distribuição espacial das atividades econômicas, levará em conta a importância ecológica, as limitações e as fragilidades dos ecossistemas, estabelecendo vedações, restrições e alternativas de exploração do território e determinando, quando for o caso, inclusive a realocação de atividades incompatíveis com suas diretrizes gerais (BRASIL, 2002).

Atualmente, o ZEE apresenta-se como um dos mais importantes mecanismos no âmbito da gestão ambiental relativos ao planejamento urbano e ordenamento territorial, com o princípio básico de identificação das potencialidades específicas, vulnerabilidades locais e limitações ecológicas, a fim de oferecer os subsídios necessários para a elaboração dos demais instrumentos urbanísticos de um município (MATO GROSSO DO SUL, 2015).

A elaboração e a execução do ZEE nacional e regional são de competência do governo federal, sobretudo em regiões que abrangem biomas considerados patrimônio nacional ou territórios especiais determinados pela União; enquanto a participação das demais unidades federativas acontece em forma de celebração de termos de articulação e cooperação, desde que cumpram os requisitos previstos na legislação (BRASIL, 2002).

Diante da necessidade de participação da esfera estadual na elaboração e no cumprimento do ZEE, o Governo Estadual instituiu o Programa de Gestão Territorial do estado de Mato Grosso do Sul - PGT/MS, por meio da Lei nº 3839/2009.

Art. 4º O PGT/MS tem por objetivos:

- I - Integrar o desenvolvimento social e econômico com o ordenamento do processo de ocupação espacial visando à sustentabilidade ambiental;
- II - Promover a efetiva inserção da dimensão territorial na política e nos planos de desenvolvimento estratégico de Mato Grosso do Sul;
- III - Orientar a exploração e aproveitamento sustentável dos recursos naturais e do meio ambiente;
- IV - Subsidiar as decisões governamentais quanto à definição e ao desenvolvimento de programas e projetos prioritários para Mato Grosso do Sul;
- V - Subsidiar o estabelecimento de critérios e diretrizes para os procedimentos relativos ao licenciamento ambiental, à implantação de unidades de conservação e espaços territoriais protegidos, à regularização fundiária e à concessão de incentivos e subsídios;
- VI - Fornecer subsídios para a expansão e melhoria da infraestrutura, logística e da prestação de serviços públicos;
- VII - promover a integração das ações decorrentes das políticas urbanas do Estado e dos municípios com as diretrizes do Programa (MATO GROSSO DO SUL, 2009).

No estado de Mato Grosso do Sul a elaboração do ZEE apresenta-se como um estudo bastante complexo devido à heterogeneidade da região e, por isso, foi dividido em três etapas de produção. A primeira, denominada Primeira Aproximação objetivou-se exclusivamente em:

Estudar divisões territoriais com fins de identificar zonas com naturezas específicas, possibilitando propostas diretrizes e recomendações para uso. A identificação dos fatores ecológicos e da intensidade da ocupação do solo convergirá em um processo de zoneamento visando à organização do território, indicando as formas do seu uso, com medidas de preservação e diretrizes para exploração econômica das zonas definidas e, como efeito, possibilitando a realização de maior eficiência produtiva em obediência a princípios e parâmetros de utilização sustentável dos recursos naturais (MATO GROSSO DO SUL, 2009, p.13).

A Segunda Aproximação, realizada em 2015, apresentou o aprofundamento nos dados geoambientais e socioeconômicos das suas respectivas zonas e, através da Carta de Gestão,

estabeleceu os parâmetros relativos às áreas produtivas, áreas críticas e áreas institucionais, assim como o redimensionamento dos Arcos de Expansão, os Polos Geográficos de Ligação; os Eixos de Integração para o Desenvolvimento Regional e uma proposta de Corredores de Biodiversidade (MATO GROSSO DO SUL, 2015).

Por fim, a Terceira Aproximação revela-se como a fase de aplicabilidade local, regional e municipal, cujo principal objetivo está pautado na viabilização das condições técnicas para a realização do ZEE-MS e deve ser elaborada pelos gestores municipais (SOUZA FILHO, 2013).

O Quadro 1 descreve os níveis de detalhamento apresentado por cada esfera governamental relativos à elaboração e aplicação do ZEE:

Quadro 1 – Níveis de tratamento das informações relativas à elaboração e aplicação do ZEE

Nível administrativo	Enfoque	Variável principal	Principais produtos	Escalas
Governo Federal	Planejamento estratégico: relações internacionais.	Grandes tendências territoriais/ fronteiras internacionais/ política.	Reconhecimento das: 1) políticas de fronteiras; 2) inserção na economia Internacional	1:10.000.000/ 1:5.000.000
Governo Federal	Planejamento estratégico / aspectos políticos e econômicos, nacionais e transfronteiros.	Grandes potenciais e problemas socioambientais e tecnológicos.	1) Cenários 2) Políticas públicas e territoriais 3) Planos, projetos e programas	1:2.500.000/ 1:1.000.000
Governo Federal e Estadual	Planejamento: estratégia regional; políticas regionais; assuntos interiores.	Eixos de integração e Desenvolvimento de regiões geoeconômicas.	1) Diagnóstico do meio físico-biótico, da sócio-economia e do quadro jurídico-institucional; 2) Cenários; 3) Proposição de zonas; 4) Propostas de planos, projetos e programas.	1:1.000.000/ 1:250.000
Governo Estadual	Políticas estaduais e avaliação de impactos ambientais.	Sistemas territoriais produtivos / limitações e potencialidades ambiental e dinâmica socioeconômica.	1) Diagnóstico meio físico-biótico meio socioeconômico meio jurídico-institucional; 2) Cenários; 3) Proposição de zonas implementação; 4) Propostas de planos e projetos de gestão	1:250.000/ 1:100.000
Governo Estadual e Municipal	Modelagem de impactos ambientais e sociais; planos diretores municipais e/ou microbacias.	Sustentabilidade ambiental e econômica dos microsistemas; qualidade ambiental, proteção de ecossistemas específicos.	1) Diagnóstico meio físico-biótico; 2) Meio socioeconômico; 3) Meio jurídico-institucional; 4) Situação atual - prognóstico; 5) Cenários 6) Proposição de zonas	1:50.000 e maiores

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006).

O ZEE-MS segmentou o estado de Mato Grosso do Sul em 10 zonas, estando os municípios de Corumbá e Ladário localizados na Zona de Proteção da Planície Pantaneira, que possui 8,5 milhões de hectares, destacando-se como a maior zona em extensão territorial.

Esta região apresenta um nível de instabilidade relativamente alto, com grande fragilidade do ecossistema que ainda se mantém íntegro, em sua grande parte, devido aos picos de inundação, à presença de cobertura vegetal e à grande variabilidade de ecossistemas, com lagoas salinas, baías, lagoas salitradas, cordilheiras, vazantes, corixos, ambientes característicos e únicos do Pantanal sul-mato-grossense ambientes que necessitam ser estudados, pois cada um é constituído de variabilidade geoquímica. Por outro lado, a paisagem é de beleza cênica e é um “Patrimônio Natural da Humanidade” título dado pela UNESCO, em 2000. Nesse sentido, o Pantanal é Área de Uso Restrito conforme o artigo 10 do Código Florestal, por isso sua exploração deve ser ecologicamente sustentável. [...]

Nesta Zona a recomendação principal é o rigoroso controle de qualquer atividade que possa impactar negativamente o pulso de inundação, principal agente de manutenção das características pantaneiras. Também é recomendável estudos de longa duração para quantificação do impacto da bovinocultura em larga escala espacial sobre as comunidades bióticas de subseqües e a elas associadas (MATO GROSSO DO SUL, 2015, p. 57).

O Quadro 2 foi elaborado com o objetivo de sintetizar os instrumentos e diretrizes fixados em leis municipais de Corumbá e Ladário, relativos a política de desenvolvimento urbano, planejamento e ordenamento territorial.

Quadro 2 – Instrumentos de planejamento urbano de Corumbá e Ladário

Instrumento legal	Definição	Município de Corumbá	Município de Ladário
Plano Diretor Municipal	Instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana (BRASIL, 2001).	Lei complementar nº 098 /2006	Lei complementar nº 052/2011
Lei de parcelamento do solo	Ordena o espaço urbano destinado a habitação, através de loteamento, desmembramento e fracionamento do solo (BRASIL, 1979).	Parte integrante do PDM	Parte integrante do PDM
Lei de uso e ocupação do solo urbano (zoneamento)	Estabelece as formas de uso e ocupação do solo urbano por meio de zoneamento (SÃO PAULO, 2021).	Lei Ordinária nº 648/1972	Parte integrante do PDM
Código de obras	Normatiza a aprovação de projetos, o licenciamento, execução, manutenção e conservação de obras no município (CORUMBÁ, 2020).	Lei complementar nº 267/2020	Lei ordinária nº 318/1979
Código de posturas	Regulamenta o uso do espaço urbano com a criação de regras de condutas dos munícipes (LADÁRIO, 2007).	Lei complementar nº 004/1991	Lei complementar nº 029/2007
Plano diretor de drenagem urbana	Dispõe sobre normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais (SÃO PAULO, 2007).	Não possui	Não possui
Plano de mobilidade urbana	Proporciona o acesso amplo e democrático à rede viária municipal (CORUMBÁ, 2016).	Lei Complementar nº 199/2016	Parte integrante do PDM
Zoneamento ambiental/ ZEE	Viabiliza o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a proteção ambiental (OEKO, 2013).	Não possui	Não possui

Fonte: elaborado pela autora (2021).

Como pode ser observado no quadro anterior, os municípios de Corumbá e Ladário não possuem PDDU, tampouco ZEE no rol de instrumentos urbanos. O Município de Corumbá possui legislação específica para o uso e ocupação do solo, enquanto no município de Ladário este instrumento encontra-se como parte integrante do PDM, assim como o Plano de mobilidade urbana. Em ambos os municípios a Lei de Parcelamento do solo está anexa ao PDM, entretanto, em Corumbá as questões relativas a esse instrumento também são evidenciadas na Lei nº 648/1992 e na Lei Complementar nº 210/2017.

O PDM de Corumbá prevê a implementação do ZEE, visando “o desenvolvimento sustentável, o uso racional de recursos e a especial atenção às peculiaridades ambientais e sociais da região”, com prazo de elaboração em até dois anos a partir da publicação da Lei complementar nº 098/2006, além de estabelecer as diretrizes mínimas constantes no instrumento, como a delimitação das áreas de preservação permanente, a criação de zonas industriais para as atividades de grande impacto e de áreas de desenvolvimento prioritário, mediante a redistribuição de setores comerciais e industriais. Todavia, tal determinação não foi cumprida até então (CORUMBÁ, 2006).

A Lei nº 10.257/2001 estabelece em seu Art. 39. § 3º a periodicidade decenal para revisão da lei que instituir o PDM (BRASIL, 2001). Desse modo, o PDM de Ladário encontrava-se vigente até o ano de 2021, enquanto o de Corumbá deveria ter sido revisado no ano 2016, e até o momento não foi apresentada nenhuma atualização para ambos os municípios.

O Planejamento urbano também está garantido na Bolívia por intermédio de legislações pertinentes. A Lei nº 3.313/2005 dispõe a respeito dos assentamentos urbanos harmoniosos e estrategicamente planejados, cujo objetivo é estabelecer uma política pública que oriente a ocupação do território por meio da geração, conservação e consolidação de assentamentos urbanos, visando a melhoria da qualidade de vida da população (BOLÍVIA, 2005).

A Constituição Política do estado atribui exclusivamente aos governos municipais a elaboração de planos de ordenamento territorial e uso do solo, o planejamento do desenvolvimento municipal, a demarcação das áreas de proteção ambiental e gestão dos procedimentos de limpeza urbana e tratamento de resíduos sólidos, desde que atendam as diretrizes impostas pelos respectivos departamentos (BOLÍVIA, 2009).

A Lei nº 777/2016 instituiu o Sistema Integrado de Planejamento do Estado (SPIE), orientando para a implementação de novos instrumentos voltados ao processo de planejamento, através do Plano Territorial de Desenvolvimento Integral (PTDI), documento

pautado em refletir a territorialização das ações propostas nas jurisdições dos distritos municipais e distritos indígenas (BOLIVIA, 2016).

Muito semelhante ao PDM no Brasil, o Plan de Desarrollo Municipal é o instrumento responsável por estabelecer o conjunto de normas, procedimentos e definições técnico-administrativas para o processo de planejamento do desenvolvimento municipal (PUERTO QUIJARRO, 2005).

O último estudo, desenvolvido com base no acordo de cooperação entre o governo municipal e empresas privadas, apresentou de forma bastante completa uma série de informações relativas aos setores de administração pública, economia, saúde, educação e infraestrutura urbana e, por fim, um relatório contendo as potencialidades e limitações do município para a execução do plano de desenvolvimento (PUERTO QUIJARRO, 2005).

A Lei Autônoma Municipal nº 046/2017 institui o Código de Urbanismo de Puerto Quijarro, documento que regula os procedimentos técnicos e as normas referentes aos projetos de desenvolvimento urbano, arquitetônico e de construção e as obras públicas e privadas no município de Puerto Quijarro (PUERTO QUIJARRO, 2017).

No tocante aos assuntos relacionados ao meio ambiente, a necessidade de elaboração de uma legislação ambiental foi despertada na conferência Rio-92, mediante reconhecimento pelo estado boliviano dos documentos regulamentados, como a convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudanças climáticas e a Convenção sobre Diversidade Biológica (STEIGLEDER; LOUBET, 2009).

A Lei nº 1.333/1992, conhecida como Lei de proteção e conservação do meio ambiente e dos recursos naturais, dispõe a respeito das ações do homem em relação à natureza, pautada na promoção do desenvolvimento sustentável, visando a melhoria na qualidade de vida da população boliviana (BOLÍVIA, 1992).

A Lei supracitada concede aos departamentos a competência pela fiscalização da proteção dos recursos naturais, com a criação dos seguintes órgãos e as suas respectivas atribuições:

Artículo 6º.- Créase la Secretaría Nacional del Medio Ambiente (SENMA) dependiente de la Presidencia de la República como organismo encargado de la gestión ambiental. El Secretario Nacional del Medio Ambiente tendrá el Rango de Ministro de Estado, será designado por el Presidente de la República y concurrirá al Consejo de Ministros. [...]

Artículo 8º.- Créanse los Consejos Departamentales del Medio Ambiente (CODEMA) en cada uno de los Departamentos del país como organismos de máxima decisión y consulta a nivel departamental, en el marco de la política nacional del medio ambiente. [...]

Artículo 9º.- Créanse las Secretarías Departamentales del Medio Ambiente como entidades descentralizadas de la Secretaría Nacional del Medio Ambiente, cuyas atribuciones principales, serán las de ejecutar las políticas departamentales

emanadas de los Consejos Departamentales del Medio Ambiente, velando porque las mismas se encuentren enmarcadas en la política nacional del medio ambiente. Asimismo, tendrán las funciones encargadas a la Secretaría Nacional que correspondan al ámbito departamental, de acuerdo a reglamentación. [...]

Artículo 87°.- Créase el Fondo Nacional para el Medio Ambiente (FONAMA) dependiente de la Presidencia de la República, como organismo de Administración descentralizada, con personería jurídica propia y autonomía de gestión, cuyo objetivo principal será la captación interna o externa de recursos dirigidos al financiamiento de planes, programas, proyectos, investigación científica y actividades de conservación del medio ambiente y de los recursos naturales (BOLÍVIA, 1992).

A Constituição Política do Estado de 2009 determina a Proteção de bacias hidrográficas, realizada de forma compartilhada entre a esfera federal e as entidades territoriais autônomas, além de garantir a proteção das águas fronteiriças e transfronteiriças, visando a conservação das riquezas hídricas (BOLÍVIA, 2009).

No que se refere ao Bioma Chaco (Pantanal Boliviano), a única referência a sua proteção está contida no item 3 do artigo 66 da Lei 1.333/1992, relativo às atividades exercidas por campesinos:

Artículo 66°.- La producción agropecuaria debe ser desarrollada de tal manera que se pueda lograr sistemas de producción y uso sostenible, considerando los siguientes aspectos:

[...]

3. Las pasturas naturales situadas en las alturas y zonas inundadizas, utilizadas con fines de pastoreo deberán ser aprovechadas conforme a su capacidad de producción de biomasa y carga animal (BOLÍVIA, 1992).

Sob o ponto de vista ambiental, a Lei nº 1.333/1992 foi a mais abrangente até então elaborada. Entretanto, ao se analisar as particularidades de cada região ela acaba se tornando genérica, pois não existe uma lei específica para determinados locais. Além disso, o papel exclusivo do estado como regulamentador legal dificulta o cumprimento e a fiscalização das normas aplicáveis por parte dos governos locais.

Por fim, é interessante destacar a inexistência de tratados e acordos de cooperação entre os dois países, relativos à preservação dos recursos hídricos transfronteiriços e do bioma Pantanal, que visem a gestão consciente e sustentável.

3 GEOTECNOLOGIA COMO FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO URBANO

Tendo em vista que grande parte das decisões tomadas por gestores municipais está relacionada à ocupação do espaço geográfico, o conhecimento acerca das tendências de expansão de áreas urbanas é de extrema importância, pois permite o acompanhamento dos processos de transformações físicas e sociais que ocorrem nas cidades.

Diante desse cenário, a utilização de geotecnologias apresenta-se com uma solução bastante pertinente aos propósitos do planejamento urbano, por meio da integração de diversos dados e procedimentos, que permitem o monitoramento das modificações verificadas no mundo real (BURROUGH, 1986).

Além disso, o emprego dessas tecnologias possibilita a detecção de áreas de degradação ambiental, o controle e a distribuição espacial da população, das áreas livres e de uso público e das atividades econômicas, a análise da aplicação da lei de zoneamento e do sistema viário urbano, bem como a tomada de decisões para problemas espaciais de maior complexidade (FARINA, 2006).

Segundo Rosa (2003), geotecnologia pode ser definida como um conjunto de técnicas cujo objetivo é coletar, processar, analisar e divulgar dados e informações espaciais. Os instrumentos mais utilizados atualmente são os sistemas de informação geográfica, o sensoriamento remoto, a topografia e a cartografia digital.

A coleta de dados sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas até bem pouco tempo era feita através de cartas e mapas impressos, o que de certa forma era um empecilho na análise e na combinação das informações contidas em diferentes documentos. A tecnologia de informática veio mudar essa condição ao permitir armazenar e representar tais informações em ambiente computacional (CÂMARA et al., 2001).

As ferramentas computacionais permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos. Pode-se dizer, de forma genérica, se onde é importante para seu negócio, então geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho. [...] Sempre que o onde aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG. Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente quando baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (CÂMARA et al., 2001, p.2).

Câmara e Medeiros (1998) classificam os Sistemas de Informações Geográficas - SIG como instrumentos computacionais capazes de realizar análises complexas, editar e sintetizar informações, bem como elaborar de forma automatizada a produção de documentos cartográficos que resultem em referências para um trabalho de infraestrutura eficaz.

Atualmente, os SIG podem ser definidos como um conjunto de software, hardware e linguagens computacionais utilizado para a armazenagem, o tratamento, o (geo)processamento e a visualização de dados espaciais. Por meio desses tratamentos e (geo)processamentos, tem-se a possibilidade de gerar informações espaciais/geográficas que, geralmente, servirão como instrumentos de suporte às decisões e como respostas a questionamentos (IBAM, 2015, p. 32).

De acordo com Pereira e Silva (2001), é possível enumerar as funções de um SIG sob três focos de observância, o de integração de dados, o de cruzamento desses dados e finalmente o de consulta, recuperação, visualização e permissão de saídas gráficas. Esses sistemas vêm se mantendo como ferramenta ideal para modelar fenômenos ambientais e sociais na medida em que armazenam, gerenciam, modelam e expõe as informações que dão sustentabilidade a projetos de infraestrutura.

Todas as informações em um SIG estão ligadas a uma referência espacial. Pereira e Silva (2001) concluem que esses sistemas de informação propiciam aos profissionais que desenvolvem trabalhos relacionados ao planejamento urbano uma visão mais próxima da realidade facilitando, desse modo, a escolha de opções que possam contribuir significativamente para a gestão municipal, uma vez que integram diversas informações multisetoriais relativas ao espaço geográfico.

De acordo com Fitz (2008), sensoriamento remoto é uma tecnologia de obtenção de registros da superfície terrestre, realizada à distância pela captação da energia por ela absorvida/refletida, sem que haja contato físico com a mesma. O satélite é o instrumento mais utilizado neste procedimento, devido a sua melhor relação de custo-benefício, tendo em vista a possibilidade de operação órbita da terra durante anos.

Moraes (2002) define os sensores remotos da seguinte forma:

Os sensores remotos são dispositivos capazes de detectar a energia eletromagnética (em determinadas faixas do espectro eletromagnético) proveniente de um objeto, transformá-las em um sinal elétrico registrá-las, de tal forma que este possa ser armazenado ou transmitido em tempo real para posteriormente ser convertido em informações que descrevem as feições dos objetos que compõem a superfície terrestre. (MORAES, 2002, p. 19)

Segundo Novo (1992) o sensoriamento remoto tem sido cada vez mais utilizado para se adquirir informações sobre o solo e sobre os fenômenos naturais. A energia eletromagnética ao se movimentar na velocidade da luz, tem a capacidade de apresentar simultaneamente precipitação e a receptividade do solo.

Imagens diversas obtidas pelo sensoriamento remoto estão sendo usadas em análises ambientais com vistas em diagnósticos e monitoramentos urbanos, exatamente por possibilitarem a reprodução de informações históricas e atuais relativas ao uso do solo (RAFTER; HAACK, 2006).

Os sensores remotos podem ser classificados levando-se em conta diferentes requisitos, cujos principais são: em função do seu posicionamento em relação à superfície do planeta; em função da fonte da energia utilizada; e em função do comprimento de onda da radiação eletromagnética sobre a qual eles realizam suas medições (IBAM, 2015).

De acordo com Jensen (2009), existem imagens de diferentes resoluções espaciais utilizadas para discriminar áreas urbanas. A resolução espacial está diretamente associada ao tamanho dos pixels da imagem e representa o nível de detalhamento do sensor que a gerou. Imagens de satélite de alta resolução espacial são utilizadas em áreas urbanas com grande detalhamento de informações ou em pequenas áreas rurais, com interesse em fenômenos pontuais. As de média resolução espacial operam entre 20 e 30 metros e permitem o recobrimento de áreas de médio e grande porte, garantindo a cobertura de grandes municípios ou estado, por exemplo. Por fim, as imagens de baixa resolução espacial são utilizadas na identificação de acidentes naturais, alterações antrópicas e em programas de monitoramento para grandes áreas, onde não há tanta variação de classes nas paisagens.

Embora a utilização de geotecnologias se apresente como uma ferramenta viável de análise e planejamento, o seu emprego ainda é bastante reduzido em comparação ao seu potencial. Isso deve-se, sobretudo, aos elevados custos das imagens de alta resolução espacial, indicadas para mapeamentos e monitoramentos de centros urbanos e de áreas com grande quantidade de detalhes, como elementos de relevo, de construções e contorno de rios, por exemplo (JENSEN, 2009).

O lançamento do satélite CBERS 4A, realizado em 20 de dezembro de 2019 por meio da parceria entre o Brasil e a China, veio para mudar esse cenário. Dentre as inúmeras formas de emprego das imagens disponibilizadas pelo satélite, destacam-se aquelas relacionadas à identificação de alterações florestais e sinais de queimadas recentes, ao monitoramento do desenvolvimento e da expansão agrícola, à identificação de anomalias antrópicas ao longo de cursos d'água e ao mapeamento de uso do solo e de expansões urbanas (INPE, 2019).

Tais procedimentos tornam-se viáveis em função de suas características de resolução espacial, que fornece imagens com resolução espacial de 2 metros na banda pancromática e 8 metros nas bandas multiespectrais; e resolução temporal de 31 dias, que possibilita a análise de eventos com periodicidade compatível com este intervalo de tempo (INPE, 2019).

Tendo em vista que a operacionalidade do satélite CBERS 4A ocorreu em dezembro de 2019, diversos autores de estudos relacionados ao tema partem em busca de outros métodos para a realização do mapeamento de áreas urbanas com o uso imagens de alta resolução espacial em projetos que demandem a análise de séries temporais, considerando que as imagens gratuitas disponíveis possuem, em sua maioria, baixa resolução espacial (30m x 30m), com feições maiores do que os objetos avaliados, comprometendo, desse modo, o detalhamento desejado do mapeamento, como no caso das imagens dos satélites LANDSAT (Figura 4):

Figura 4 – Resolução espacial de diferentes imagens de satélite na área urbana de Corumbá

Figura 04 a – Imagem do Landsat 5

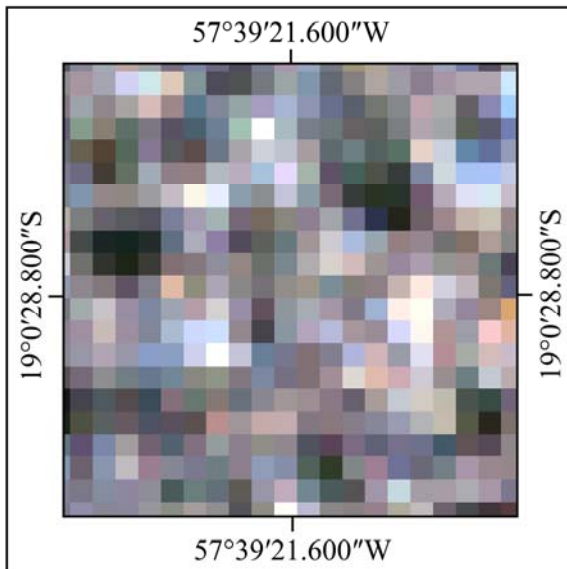


Figura 04 b – Imagem do GEP

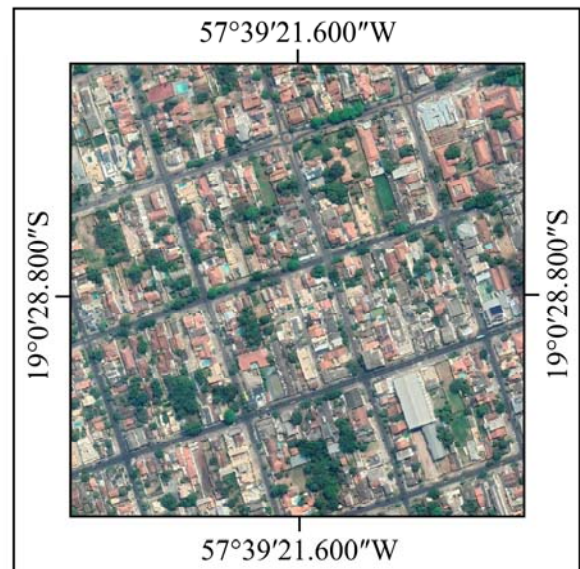
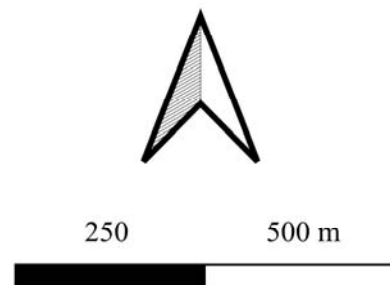
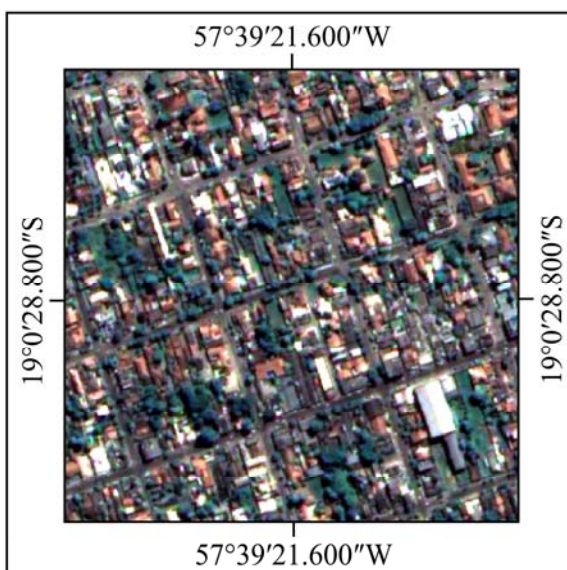


Figura 04 c – Imagem do CBERS 4A



Sistema de Coordenadas UTM

Datum WGS 84

O GEP é um software de licença gratuita que possibilita a “exportação e impressão de imagens em alta resolução, visualização multitemporal, medições de feições em 2D e 3D, gravação de vídeos, elaboração de layout para cartografia temática, entre outras funções” (BATISTA et al., 2019, p. 6).

Atualmente o software tem ganhado popularidade nos trabalhos da área de geotecnologias, pois disponibiliza o acesso às imagens de satélite de forma gratuita e simplificada, além de possibilitar a integração dos dados com outros SIGs.

Simon e Trentin (2009) avaliaram as potencialidades das imagens adquiridas no GEP como ferramenta para a elaboração de mapas temáticos de uso da terra. A periodicidade de atualização das imagens, em média uma vez por ano, permitiu a realização de análise das alterações temporais no espaço geográfico.

Embora a utilização de imagens disponibilizadas pelo GEP apresente algumas desvantagens, como a impossibilidade de mapeamentos com finalidades específicas ou que demandem maiores precisões cartográficas e a ausência de características espectrais, que não permitem a obtenção da composição espectral, os autores concluíram que os resultados obtidos se mostraram satisfatórios como fonte para a representação do uso da terra, bem como a elaboração de cenários recentes, possibilitando a elaboração de uma série temporal que identificasse as dinâmicas socioeconômicas ocorridas nas áreas analisadas (SIMON; TRENTIN, 2009).

Moreira et al. (2011) empregaram as imagens de alta resolução espacial, disponibilizadas no Google Earth, para mapear as lavouras de café dos municípios de Alfenas, Machado e Eloi Mendes, na mesorregião do sul/sudoeste do estado de Minas Gerais. A justificativa para a utilização desta metodologia pautou-se na dificuldade de delimitação das inúmeras lavouras de pequeno porte (com área menor que 5 ha) existentes na região e de distinção entre lavouras cafeeiras e áreas de cerrado, por meio de imagens do Landsat com resolução espacial de 30 metros. Através desse estudo os autores perceberam que os limites dos polígonos de café das imagens do GEP mostraram-se bem mais precisos quando comparado aos polígonos delimitados nas imagens do TM/Landsat-5. Além disso, foi possível delimitar com muita precisão os limites de lavouras de café adjacentes a áreas de cerrado.

Com a finalidade de descrever a ocupação e uso da terra na bacia hidrográfica do Rebordo do Planalto no Rio Grande do Sul, Rosa et al. (2011) utilizaram imagens do GEP, evidenciando a facilidade de utilização para áreas com difícil e oneroso acesso e concluíram que os resultados obtidos permitiram a discriminação adequada das classes de utilizadas na pesquisa.

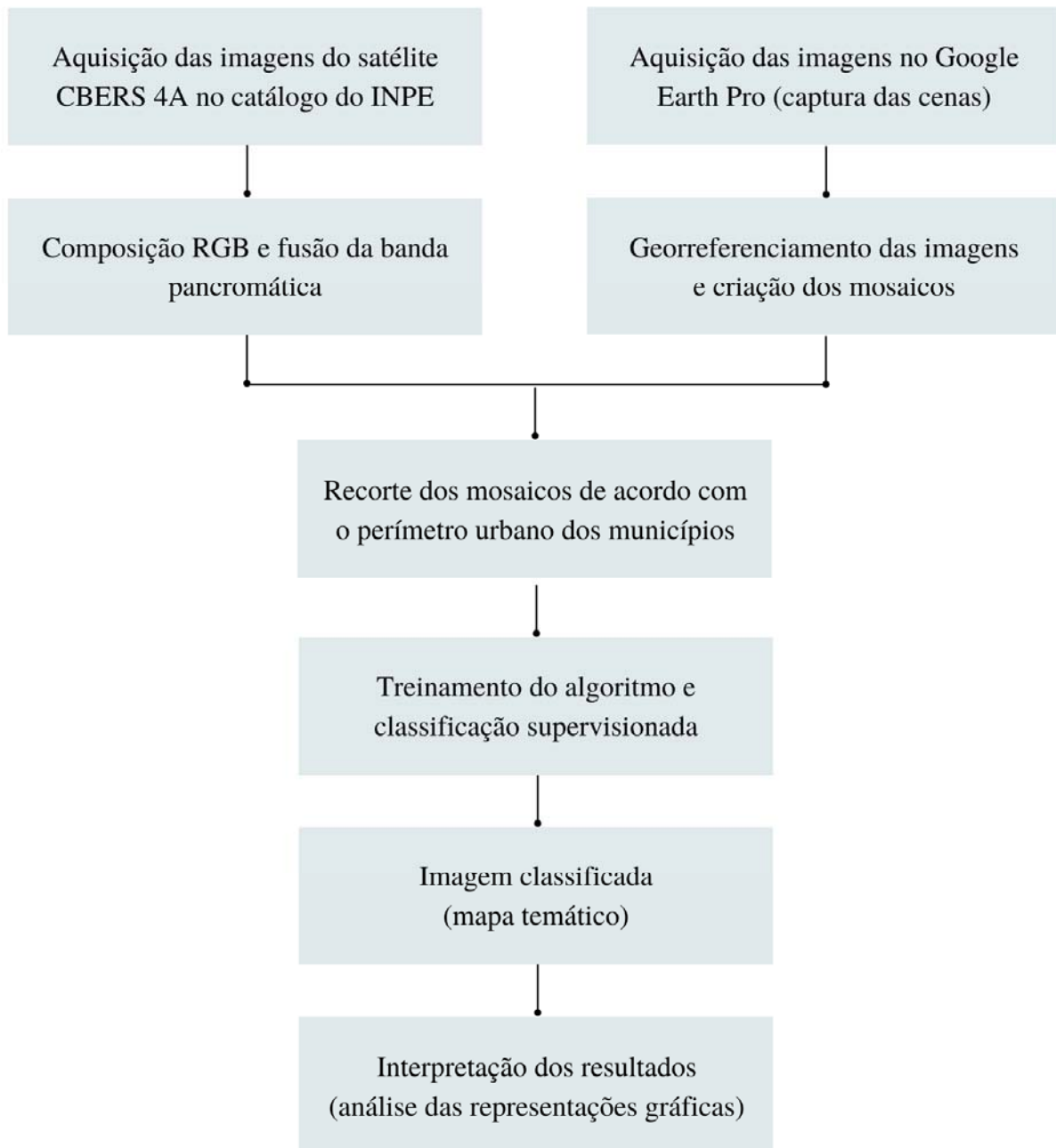
Ayach et al. (2012) apresentaram o mapeamento do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Indaiá no estado de Mato Grosso do Sul a partir de imagens capturadas no Google Earth Pro, onde foi possível concluir que esta metodologia apresenta resultados bastante satisfatórios, evidenciando a potencialidade de sua aplicação para tais finalidades.

A partir da integração dos softwares QGIS e GEP, Pereira et al. (2018) analisaram o uso e cobertura da área da bacia hidrográfica do córrego Dornelas, no estado de Minas Gerais e discutiram as relações entre a ocupação do solo e as interferências antrópicas diversas. As séries temporais de imagens permitiram a identificação da variabilidade anual, de modo que a ferramenta mostrou-se como uma opção viável em projetos que exijam a análise espacial e a avaliação do uso/cobertura da terra.

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada de natureza quantitativa, com finalidade descritiva, adotando-se como procedimento técnico a investigação documental. Todos os dados foram manipulados em um Sistema de informação Geográfica (SIG) por meio do software QGIS, utilizando o método de classificação supervisionada pixel a pixel e o algoritmo Maximum Likelihood (Máxima Verossimilhança) em imagens de satélite.

O procedimento metodológico adotado baseia-se na técnica de mapeamento desenvolvida por Moreira et al. (2011), que utiliza imagens de alta resolução espacial, capturadas no software Google Earth e provenientes do satélite CBERS 04 A, adquiridas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); e a técnica de interpretação visual (Figura 5) apresentada por Novo (2008).

Figura 5 – Metodologia de processamento e interpretação das imagens de satélite



Fonte: elaborado pela autora (2021).

A aquisição das imagens ocorreu em duas maneiras distintas. A primeira delas consistiu na obtenção das imagens no software GEP, que possibilita a visualização de múltiplas camadas de informação espacial.

Por meio da ferramenta “imagens históricas” do GEP foi possível capturar as imagens de satélite de alta resolução espacial disponibilizadas pela empresa DigitalGlobe, entre os períodos de outubro de 2003 a dezembro de 2020, totalizando, ao final do processo, nove arquivos matriciais.

As imagens disponíveis são provenientes dos satélites QuickBird 2 (lançado em 2001), e WorldView 1 (lançado em 2007). O software não fornece determinadas informações relativas ao nome do satélite e o modo de aquisição das imagens como, por exemplo, as resoluções espaciais e espectrais do sensor (BATISTA et al., 2019).

Para recobrir o limite do município de Corumbá, foi necessário um conjunto de 30 cenas, para Ladário, um conjunto de 15 cenas e para Puerto Quijarro, um conjunto de 20 cenas, todas com altitude de 2 km, salvas no formato JPEG, com representação em cores verdadeiras.

Em seguida, as imagens foram manipuladas no software QGIS, versão 3.16.2, projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGEO), de licença gratuita. Com a utilização da ferramenta *Quick Map Services* as cenas foram georreferenciadas e convertidas em mosaicos do sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 21 S e Datum WGS84, permitindo exportá-las em formato GeoTIFF.

A segunda forma de aquisição foi realizada no catálogo de imagens do INPE de forma gratuita, referente ao satélite CBERS 04 A, capturadas pelo sensor na data de 15 de maio de 2020. Para formação da composição colorida da imagem foi necessário realizar a combinação das bandas 1, 2 e 3 por meio do procedimento de empilhamento das imagens referentes a cada uma das bandas individuais, sendo utilizados os canais RGB (banda 3-R, banda 2-G e banda 1-B). Por fim, a fusão das bandas multiespectrais com a banda pancromática permitiu uma melhoria da resolução espacial, que originalmente possuía 8m, e após o fusionamento passou a apresentar a resolução espacial de 2m. Essa técnica melhorou a distinção dos objetos de interesse na imagem (vegetação, solo exposta, ruas pavimentadas e os mais diversos tipos de cobertura) facilitando a coleta das amostras.

A etapa seguinte consistiu na realização da delimitação do perímetro urbano dos municípios utilizando como ferramenta o software QGIS, com o intuito de recortar as áreas de interesse dos arquivos em formato raster. Tal procedimento teve como principal objetivo a determinação de uma área padrão e constante para os diferentes períodos analisados, tornando possível o cálculo das respectivas porcentagens de áreas permeáveis e impermeáveis.

A quarta etapa do processo caracterizou-se pela definição das categorias de interesse e coleta das amostras para a classificação das imagens. Foram criadas duas macroclasses, correspondentes às áreas permeáveis e impermeáveis. A primeira classe abrange as categorias de vegetação e solo exposto. Já a segunda, compreende as áreas construídas e ruas pavimentadas. Para cada classe foram selecionadas, no mínimo, 120 amostras.

Em mapeamentos para fins de planejamento urbano é importante levar em consideração as características das imagens relativas ao satélite, a qualidade e a data da aquisição das imagens. Diante disso, as amostras foram coletadas visando contemplar as inúmeras variedades de elementos que caracterizam cada classe, considerando os tipos de tonalidade, cor, textura, tamanho, forma e localização (FLORENZANO, 2008).

A classificação das imagens foi executada com auxílio do SCP, uma extensão do QGIS, pelo método de classificação supervisionada pixel a pixel, utilizando o algoritmo Maximum Likelihood (Máxima Verossimilhança).

A partir da classificação, geraram-se os mapas temáticos dos municípios de Corumbá e Ladário para os anos de 2003, 2010 e 2020; e de Puerto Quijarro para os anos de 2003, 2012 e 2020 das imagens provenientes do GEP e dos três municípios para as imagens do satélite CBERS 4 A referente ao ano de 2020. Na posse dos mapas temáticos, foi possível identificar os percentuais de áreas permeáveis e impermeáveis de cada imagem, emitidos pelo software QGIS por meio da ferramenta *classification report*.

A metodologia utilizada para a validação dos resultados foi a aplicação do teste de acurácia e cálculo do índice Kappa das amostras coletadas. A matriz de confusão ou matriz de erros é um instrumento que compara o grau de similaridade entre dados de referência e dados de classificação (CONGALTON, 1991).

A acurácia total ou acurácia global, apresentada por Story e Congalton (1986), avalia o grau de concordância geral entre os dados de classificação e os de referência através da soma da diagonal principal da matriz de confusão dividida pelo total de amostras. Entretanto, apresentar somente o cálculo da exatidão global não é considerado o suficiente para a análise, havendo a necessidade de índices que levem em conta a matriz por completo, como o coeficiente de concordância Kappa, por exemplo, que avalia as classes de forma individual (COHEN, 1960).

Desenvolvido por Cohen (1960), o índice Kappa é uma técnica que mede o quão bem os dados de classificação concordam com os dados de referência. Seu resultado é classificado de acordo com os valores contidos na Tabela 4, proposta por Landis e Koch (1977), com a finalidade de indicar a qualidade do mapa temático.

Tabela 4 - Qualidade da classificação associada ao índice Kappa

Índice Kappa	Desempenho
< 0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

A obtenção dos percentuais de áreas permeáveis e impermeáveis possibilitou a elaboração de planilhas com o auxílio do software Microsoft Excel, permitindo, desse modo, uma melhor compreensão e visualização dos resultados relativos à análise temporal da evolução das áreas impermeáveis entre os períodos analisados.

As informações a respeito da população dos municípios de Corumbá/BR e Ladário/BR foram obtidas através de consulta no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, enquanto os dados demográficos de Puerto Quijarro/BO foram obtidos por intermédio de pesquisa no Instituto Nacional de Estadística – INE.

O censo demográfico é uma operação estatística de fundamental importância que retrata a situação populacional do país e tem como principais objetivos a identificação dos locais onde há necessidade de investimento em saúde, educação, habitação, programas de incentivo ao crescimento econômico, melhor distribuição dos fundos de participação dos estados e dos municípios e análise pontual voltada aos problemas relacionados ao aumento na demanda da rede de água e esgoto e demais serviços essenciais (IBGE, 2020).

A partir dos resultados apresentados pelo censo demográfico é possível a elaboração das projeções populacionais, um parâmetro de fundamental importância para o planejamento urbano, que passou a ser levantado anualmente pelos municípios em cumprimento ao dispositivo regulamentado pela Lei Complementar nº 59, de 22 de dezembro de 1988 (IBGE, 2020).

O IBGE foi criado em 1936, mas o primeiro levantamento só foi realizado pelo instituto no ano de 1940, ficando convencionada uma periodicidade decenal entre as pesquisas, que abrangem questões de interesse econômico e social, como emprego e mão-de-obra, fecundidade, migrações, entre outros temas (IBGE, s.d.).

O instituto responsável pela elaboração do censo demográfico na Bolívia é o INE – Instituto Nacional de Estadística, criado em 1970, que realizou os censos nos anos de 1976,

1992, 2001, 2012, divulgando as informações estatísticas econômicas, sociais, demográficas e ambientais do país e suas respectivas subdivisões administrativas (INE, 2017).

A demografia dedica-se ao estudo estatístico das populações, analisando as suas características relativas ao crescimento, estrutura, distribuição e mobilidade espacial. Este dado é de grande relevância, uma vez que se constitui como subsídio fundamental para o planejamento e o gerenciamento socioeconômico de uma região (DANTAS, 2011).

Existem diferentes conceitos relacionados à distribuição espacial da população, aplicados conforme as necessidades dos planejadores e projetistas, que variam de acordo com a unidade espacial utilizada no cálculo. Visando a sistematização das variáveis mais relevantes no cálculo do índice que descreve a relação existente entre uma determinada população e a sua distribuição em um território, Acioly e Davidson (1998) classificaram os indicadores de densidades (Quadro 3):

Quadro 3 – Indicadores de densidade

Conceito	Definição
Densidade Demográfica ou Populacional	Número total de pessoas residindo numa determinada área urbana. Também denominada densidade populacional. Em áreas urbanas, é geralmente uma medida expressa em habitantes por hectare (habitantes/ha), enquanto em áreas mais amplas se utiliza a medida em habitantes por quilômetro quadrado (habitantes/km ²).
Densidade Edificada ou Construída	Expressa o total de metros quadrados de edificação em 1 hectare; o total de construção existente dentro da poligonal do assentamento ou bairro, medida em metro quadrado por hectare (m ² /há). Engloba toda a área do assentamento, ou área bruta.
Densidade Habitacional ou Residencial	Também denominada densidade residencial. Expressa o número total de unidades habitacionais construídas numa determinada zona urbana dividida pela área em hectare. Medida expressa em unidades habitacionais por hectare (unidades habitacionais/ha ou habitações/ha).

Fonte: Acioly e Davidson (1998).

O índice utilizado neste trabalho foi a Densidade Populacional, uma vez que os dados empregados se referem a população residente nos municípios e à área urbana, calculado através da seguinte equação (Tabela 5):

$$D_p = N_h/A$$

D_p = Densidade populacional;

N_h = Número de Habitantes;

A = Área urbana em hectares.

Tabela 5 – Número de habitantes e densidade populacional da área de estudo

Município	Ano	Número de Habitantes	Área Urbana (ha)	Densidade Populacional (hab/ha)
Corumbá	2000	95.701	2.100	45,57
	2010	103.703		49,38
	2020	112.058		53,36
Ladário	2000	15.313	600	25,52
	2010	19.617		32,69
	2020	23.689		39,48
Puerto Quijarro	2001	12.903	1.400	9,21
	2012	16.659		11,89
	2020	20.415*		14,58

Fonte: IBGE (2000, 2010 e 2020) e INE (2001 e 2012).

*Projeção Populacional

Após o levantamento, análise e interpretação das informações necessárias, foi possível realizar a elaboração do gráfico Densidade Populacional x Porcentagem de Áreas Impermeáveis, que revelou o aumento direto da impermeabilidade em função do aumento da densidade populacional, numa relação estabelecida por meio da curva de tendência.

O software Microsoft Excel possibilitou a construção do diagrama de dispersão, a obtenção do coeficiente de correlação de Pearson e a determinação da equação de porcentagem de áreas impermeáveis.

Para este trabalho optou-se por utilizar a linha de tendência logarítmica, que possui melhor ajuste quando a taxa de alteração nos dados aumenta ou diminui rapidamente e, em seguida, mantém-se constante, como é o caso da porcentagem de impermeabilização que não cresce de maneira diretamente proporcional ao aumento da densidade urbana, mas tende a se estabilizar em determinado ponto da curva, quando se torna horizontal e invariável (CAMPANA & TUCCI, 1994).

A correlação entre as duas variáveis do gráfico foi verificada através do Coeficiente de Pearson, índice que expressa o grau de associação entre duas variáveis quantitativas. O coeficiente de correlação é um número adimensional, variando entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior o grau de relação entre as duas variáveis. Se a correlação é igual a 0, significa que não há associação entre elas (FERREIRA, 2015).

4 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE ÁREAS IMPERMEÁVEIS E SUA RELAÇÃO COM A DENSIDADE POPULACIONAL

A partir da classificação das imagens foi possível verificar o aumento da quantidade de áreas impermeáveis em todos os cenários analisados. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para o Município de Corumbá, calculados a partir dos mapas de classificação de uso do solo.

Tabela 6 – Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis de Corumbá

Ano	Fonte	Área Permeável (km ²)	Área Permeável (%)	Área Impermeável (km ²)	Área Impermeável (%)
2003	Google Earth Pro	15,54	74,01	5,46	25,99
2010	Google Earth Pro	14,43	68,71	6,57	31,29
2020	Google Earth Pro	12,12	57,74	8,87	42,26
2020	CBERS 4 A	12,01	57,18	8,99	42,82

Fonte: elaborado pela autora (2021).

O município de Corumbá possuía 5,46 km² de áreas impermeáveis no ano de 2003, que correspondem a 25,99% de sua área urbana. Esse percentual apresentou um acréscimo de 5,30%, no ano de 2010, totalizando uma área de 6,57 km². A imagem referente ao ano de 2020 demonstra que o município dispõe de um montante de 8,88 km² de áreas impermeáveis, correspondentes a 42,26%.

A classificação da imagem do satélite CBERS 4 A apresentou a porcentagem de 42,82% de áreas impermeáveis, correspondente à área de 8,99 km², com uma diferença de apenas 0,56% do percentual obtido na imagem do Google Earth.

A classe que corresponde às áreas impermeáveis aparece representada pela cor cinza, enquanto a classe de áreas permeáveis é representada pela cor verde (Figura 6).

Figura 6 – Mapa de áreas impermeáveis da cidade de Corumbá

Figura 6 a – Mapa do ano 2003






Figura 6 b – Mapa do ano 2010




Figura 6 c – Mapa do ano 2020



LEGENDA

-  Perímetro urbano
-  Área permeável
-  Área impermeável

1 2 km



Sistema de Coordenadas UTM

Datum WGS 84

Fonte: elaborado pela autora (2021).

Com a análise visual do crescimento territorial é possível perceber que Corumbá se desenvolve através da ocupação dos vazios urbanos na área central e se expande, principalmente, no sentido sul. Este fenômeno explica-se, em especial, pela implantação de conjuntos habitacionais populares promovidos pelo governo municipal em parcerias com o governo estadual e federal, visando solucionar o problema da moradia sob uma perspectiva social, atrelada ao desenvolvimento em termos de qualidade urbanística.

Além disso, a existência de limites geográficos ao norte, com o rio Paraguai, à leste com o município de Ladário e à oeste com a Bolívia impossibilitam o crescimento urbano para essas direções.

A ocupação urbana dista, aproximadamente, 4,0 km da fronteira. Isto pode ser explicado pela adequação do perímetro urbano que impede o crescimento territorial nesse sentido, evitando, desse modo, a ocorrência do processo de conurbação com o município de Puerto Quijarro.

O município de Corumbá é o único que possui legislação de caráter restritivo quanto à ocupação. Com base no Mapa das Áreas de Especiais Interesses da Lei Complementar nº 098 /2006, que dispõe sobre a instituição do PDM do Município de Corumbá, é visível que a evolução da mancha urbana obtida se desenvolve muito próxima de áreas de ocupação restrita, sobretudo em áreas de interesse ambiental, além da existência de ocupações irregulares nas encostas de morros (Figura 7 e Figura 8).

Figura 7 – Ocupações nas encostas do Morro Pico do Corumbá no trecho urbano do Anel Viário



Fonte: autora (2021).

Figura 8 - Ocupações nas encostas do Morro Pico do Corumbá no trecho urbano do Anel Viário

Fonte: autora (2021).

Por meio da classificação das imagens referentes ao Município de Ladário, foi possível obter os resultados (Tabela 7) que indicam o crescimento da urbanização durante o período analisado.

Tabela 7 – Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis de Ladário

Ano	Fonte	Área Permeável (km ²)	Área Permeável (%)	Área Impermeável (km ²)	Área Impermeável (%)
2003	Google Earth Pro	5,05	84,09	0,95	15,91
2010	Google Earth Pro	4,34	72,27	1,66	27,73
2020	Google Earth Pro	3,78	62,99	2,22	37,01
2020	CBERS 4 A	3,69	61,53	2,31	38,47

Fonte: elaborado pela autora (2021).

Em 2003, Ladário dispunha de 0,95 km² de áreas impermeáveis, equivalentes a 15,91% de seu perímetro urbano. Com base no mapeamento, foi possível verificar um aumento de 11,82%, somando 1,66 km², no ano de 2010. Atualmente, de acordo com a imagem do ano de 2020, o município apresenta área permeável de 2,22 km², equivalentes a 37,01% de sua superfície.

Na imagem do satélite CBERS 4 A verificou-se o percentual de 38,47% de áreas impermeáveis, correspondente à área de 2,31 km², observando-se uma diferença de 1,46% da porcentagem apresentada pela imagem do Google Earth. As áreas impermeáveis estão representadas pela cor cinza, enquanto a classe de áreas permeáveis encontra-se na cor verde (Figura 9).

Figura 9 – Mapa de áreas impermeáveis da cidade de Ladário

Figura 9 a – Mapa do ano 2003

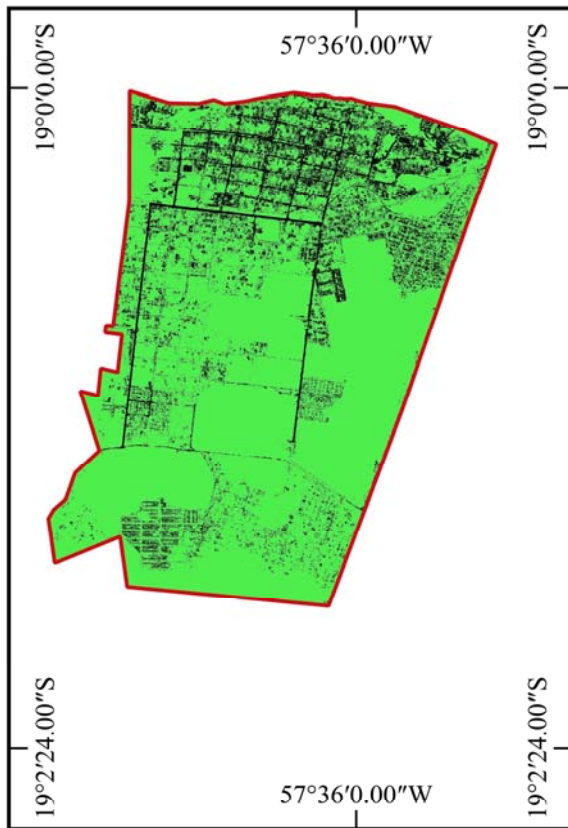


Figura 9 b – Mapa do ano 2010

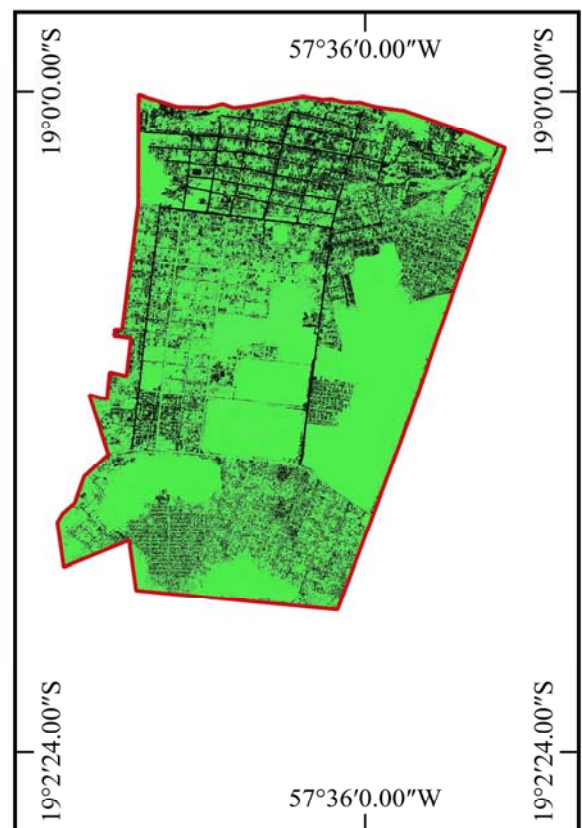
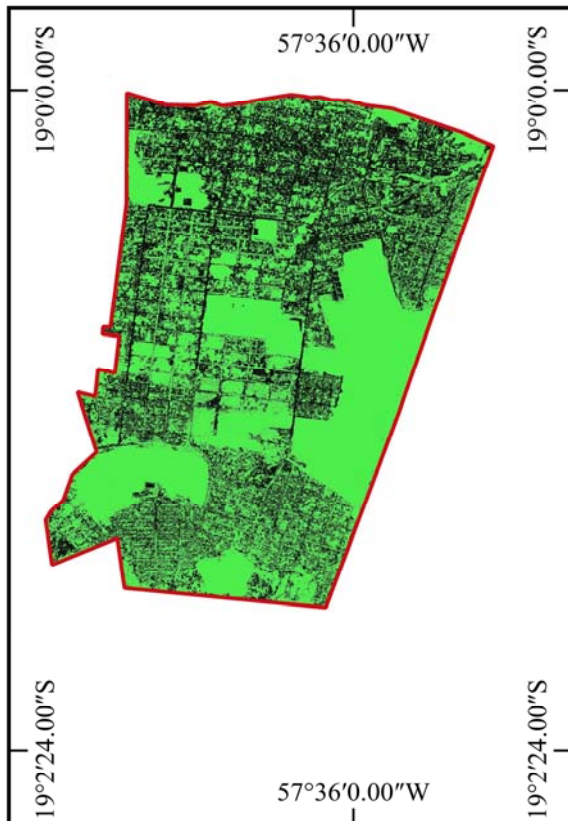


Figura 9 c – Mapa do ano 2020



LEGENDA

- Perímetro urbano
- Área permeável
- Área impermeável



Sistema de Coordenadas UTM

Datum WGS 84

Fonte: elaborado pela autora (2021).

As imagens expressam a evolução da mancha urbana de Ladário, onde é possível observar o crescimento significativo na direção Sul, decorrente de programas de subsídio à habitação que fomentaram a sua ocupação, além da densificação dos vazios na região central da cidade. Esta conformação ocorre devido à limitação geográfica em que a cidade se encontra, ao norte pelo rio Paraguai, à leste pelo perímetro urbano e à oeste pelo município de Corumbá.

O PDM não apresenta nenhuma referência no tocante as áreas especiais de proteção ambiental ou zonas com restrições de ocupação na área urbana, desse modo, pode-se considerar que a urbanização está dentro das diretrizes municipais.

O mapeamento das áreas impermeáveis permitiu a realização da análise temporal da ocupação do espaço no Município de Puerto Quijarro nos anos de 2003, 2012 e 2020. A porcentagem de áreas impermeáveis pode ser observada na Tabela 8:

Tabela 8 – Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis de Puerto Quijarro

Ano	Fonte	Área Permeável (km ²)	Área Permeável (%)	Área Impermeável (km ²)	Área Impermeável (%)
2003	Google Earth Pro	12,81	91,48	1,19	8,52
2012	Google Earth Pro	12,04	85,99	1,96	14,01
2020	Google Earth Pro	11,20	81,47	2,80	18,53
2020	CBERS 4 A	11,27	80,53	2,73	19,47

Fonte: elaborado pela autora (2021).

Em Puerto Quijarro constatou-se que a evolução da macroclasse de áreas impermeáveis corresponde aos valores de 8,52%, equivalentes a área de 1,19 km² e de 14,01%, equivalentes a área de 1,96 km², para os anos de 2003 e 2012, respectivamente. Em 2020 o município apresentou o percentual de 18,53%, correspondente a 2,80 km² para a imagem do Google Earth e 19,47%, correspondente a 2,73 km², para a imagem do CBERS 4 A, resultando numa diferença de 0,94% entre elas (Figura 10).

A Figura 11 apresenta os resultados das classificações obtidas por meio das imagens do satélite CBERS 4 A para os três municípios no ano de 2020.

Figura 10 – Mapa de áreas impermeáveis da cidade de Puerto Quijarro

Figura 10 a – Mapa do ano 2003

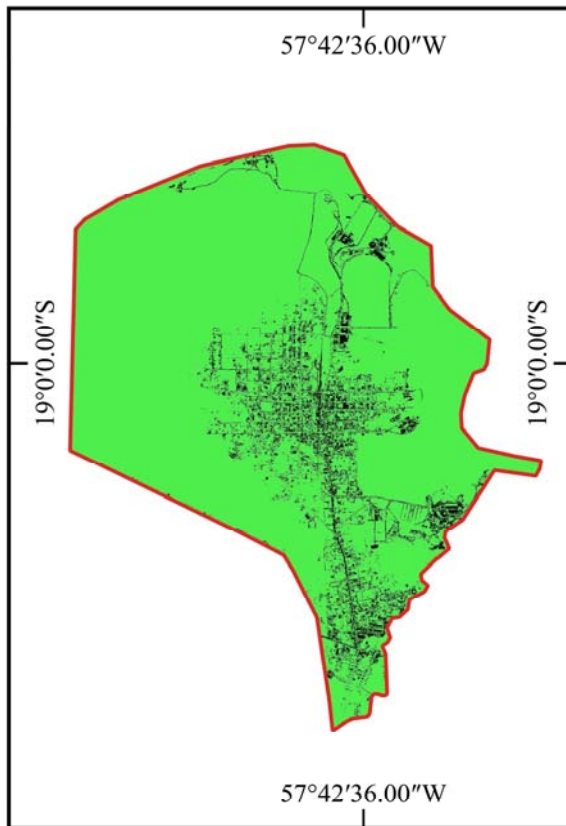


Figura 10 b – Mapa do ano 2012

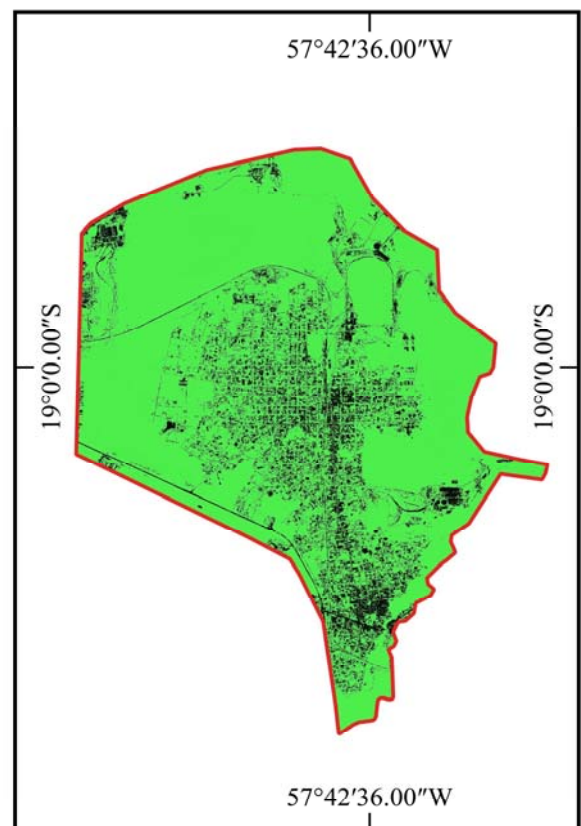
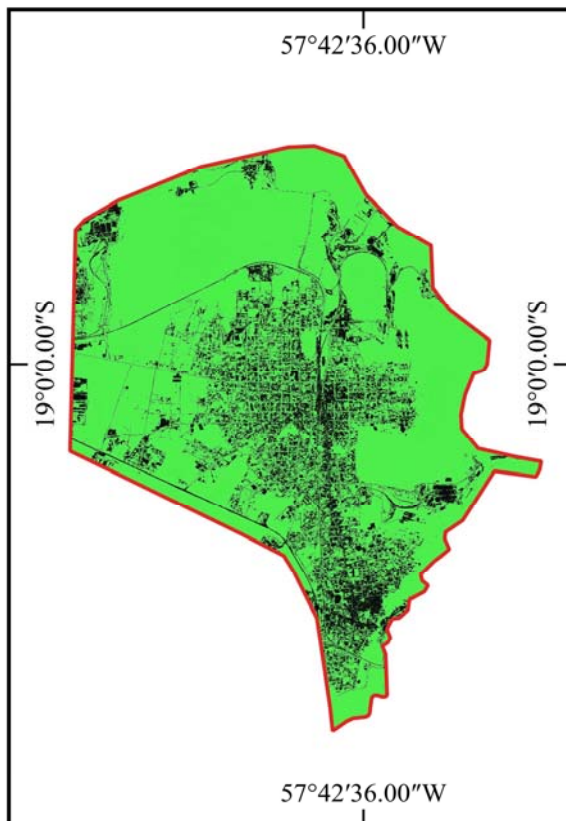





Figura 10 c – Mapa do ano 2020



LEGENDA

-  Perímetro urbano
-  Área permeável
-  Área impermeável

1 2 km



Sistema de Coordenadas UTM

Datum WGS 84

Figura 11 – Mapas de áreas impermeáveis das cidades obtidos por meio das imagens do CBERS 4A

Figura 11 a – Mapa de Corumbá

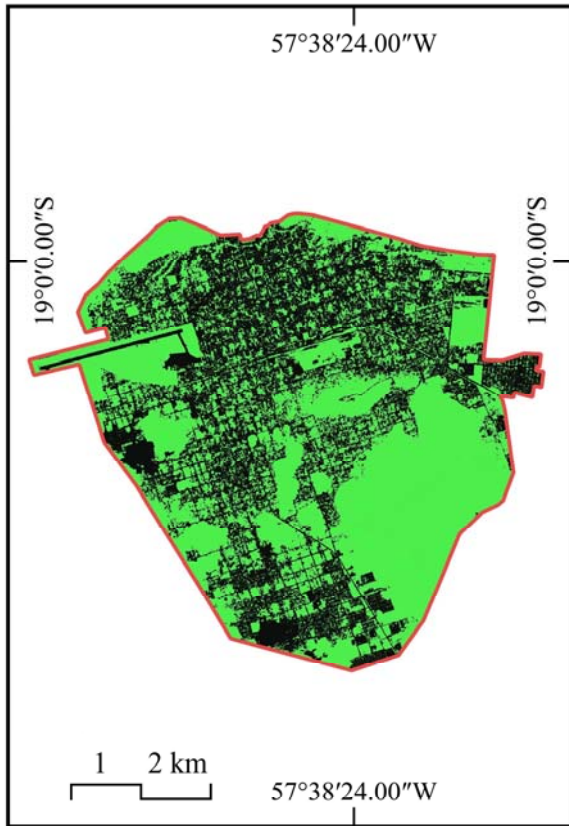


Figura 11 b – Mapa de Ladário

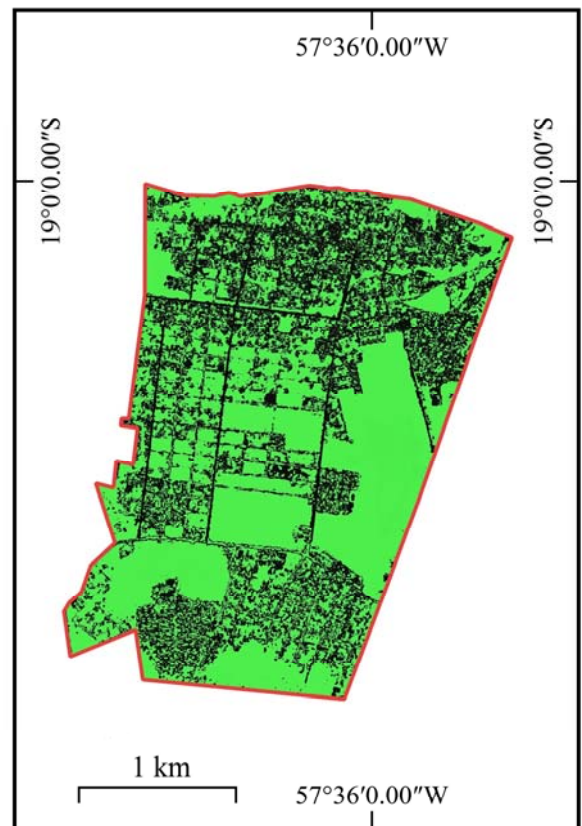
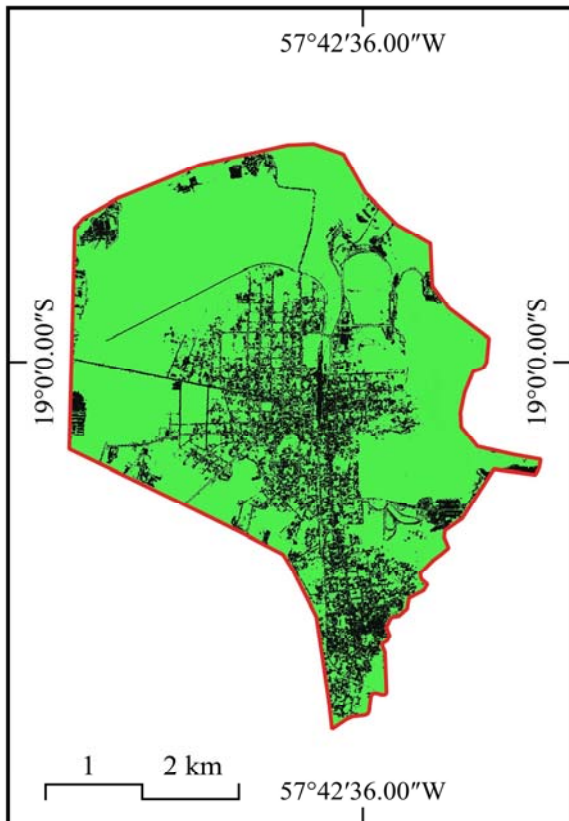


Figura 11 c – Mapa de Puerto Quijarro



LEGENDA

- Perímetro urbano
- Área permeável
- Área impermeável

Sistema de Coordenadas UTM

Datum WGS 84

Fonte: elaborado pela autora (2021).

O processo de classificação das imagens de satélite possibilitou análise da evolução da mancha urbana de Puerto Quijarro exclusivamente na direção oeste. Isso ocorre devido às limitações ao norte com o canal do Tamengo, e ao sul e à leste com o Brasil. Visualmente, pode-se perceber o adensamento nas áreas já urbanizadas e o crescimento ao longo das vias de tráfego, que demonstram a relevância do sistema viário como norteador da malha urbana.

A qualidade da classificação das imagens foi realizada por meio do teste de acurácia e cálculo do índice Kappa, através do qual foi possível obter um nível de desempenho entre muito bom e excelente, de acordo com a classificação de Landis e Koch (1977), como pode ser observado na Tabela 9 (Apêndice A), o que significa que os resultados apresentam-se de forma bastante confiável.

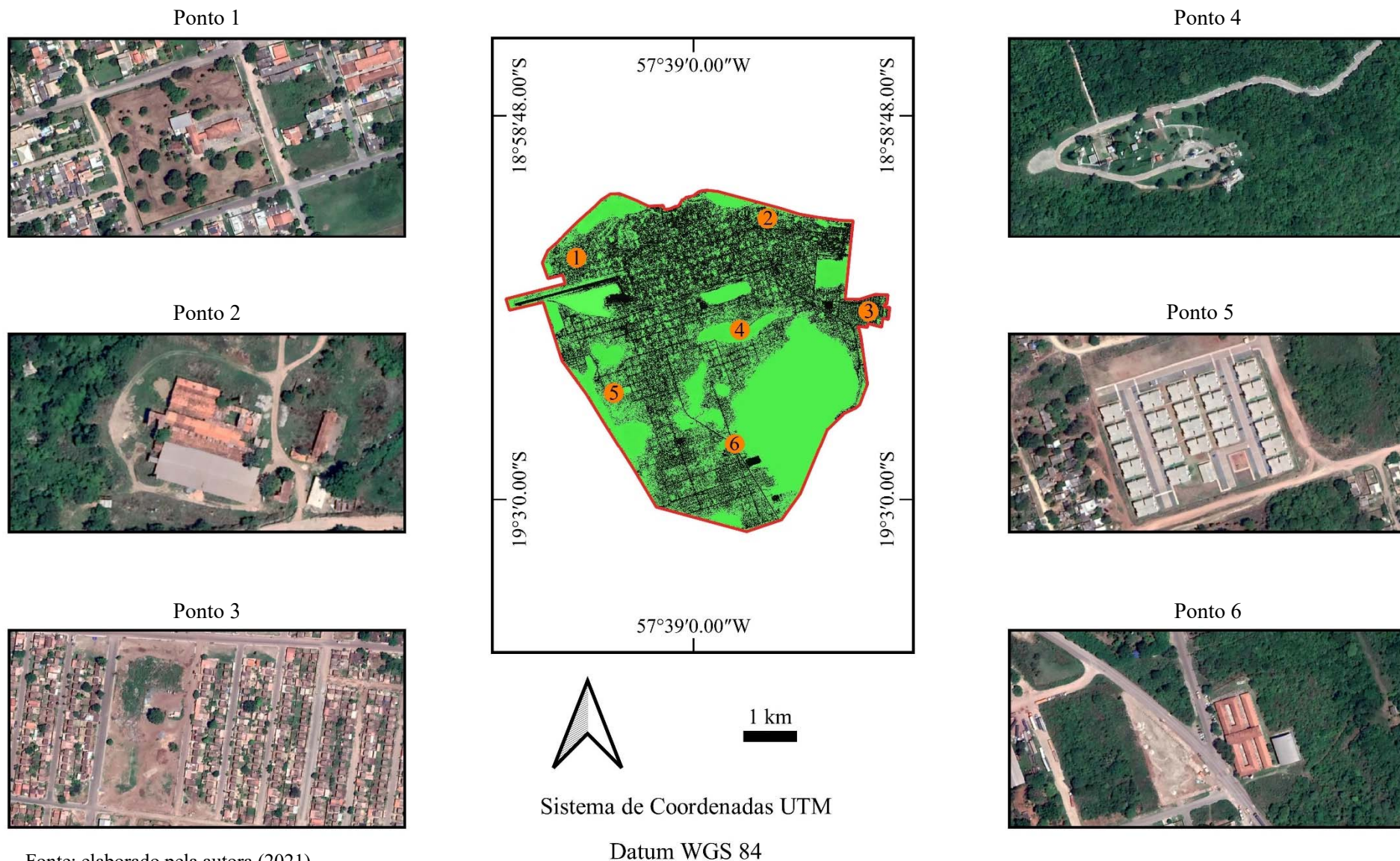
Tabela 9 – Resultados dos testes de Acurácia Global e índice Kappa

Fonte	Município	Ano	Acurácia global	Índice Kappa
Google Earth Pro	Corumbá	2003	89,45 %	0.7981
Google Earth Pro	Corumbá	2010	91,14 %	0.8166
Google Earth Pro	Corumbá	2020	87,09 %	0.7964
Google Earth Pro	Ladário	2003	87,03 %	0.8042
Google Earth Pro	Ladário	2010	89,14 %	0.8140
Google Earth Pro	Ladário	2020	86,82 %	0.8076
Google Earth Pro	Puerto Quijarro	2003	96,66 %	0.8994
Google Earth Pro	Puerto Quijarro	2012	95,81 %	0.8932
Google Earth Pro	Puerto Quijarro	2020	95,58 %	0.8896
CBERS 4 A	Corumbá	2020	99,41 %	0.8823
CBERS 4 A	Ladário	2020	98,72 %	0.8857
CBERS 4 A	Puerto Quijarro	2020	99,56 %	0.8969

Fonte: elaborado pela autora (2021).

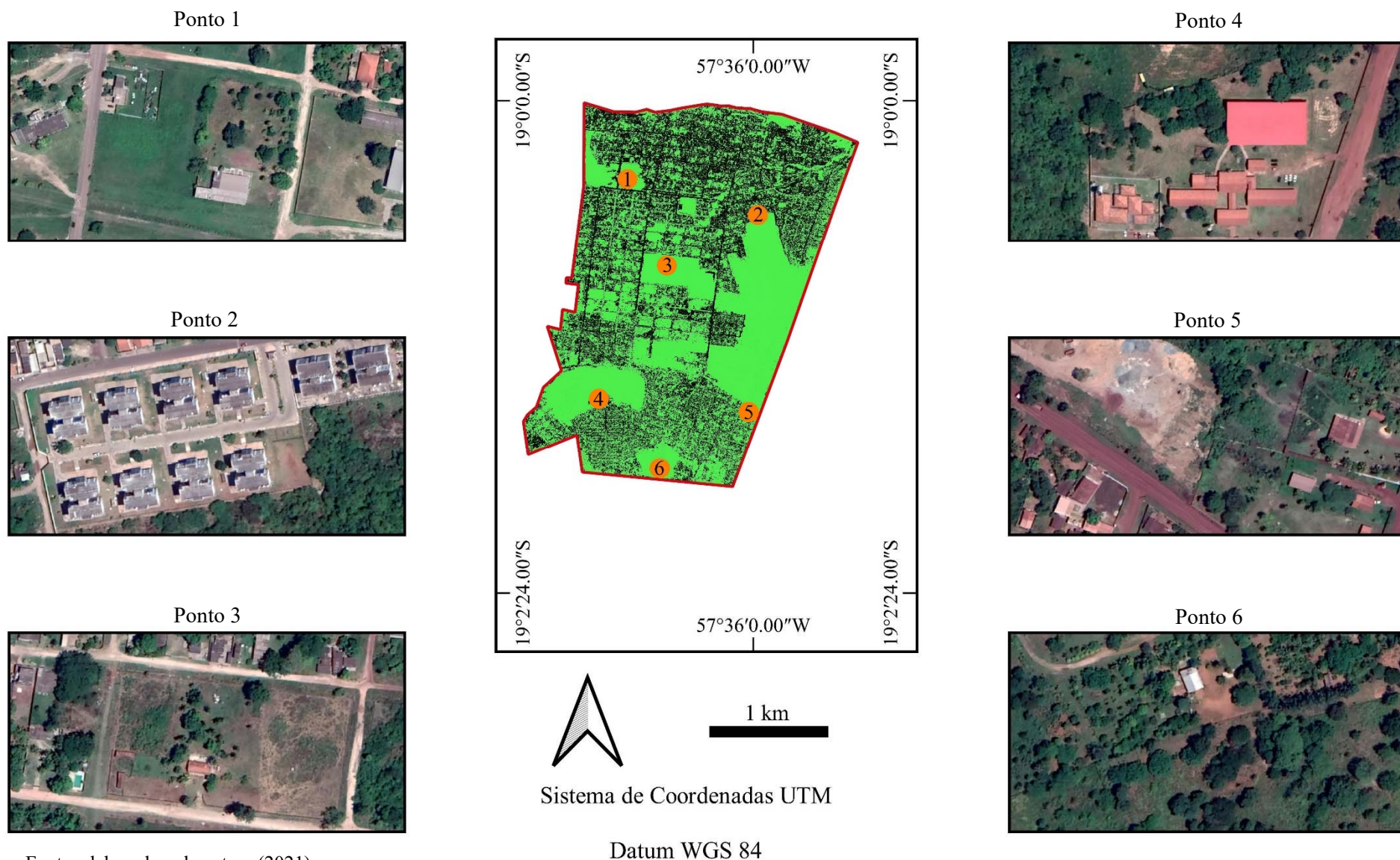
Também foram realizadas análises visuais em diversos pontos das imagens, como informações auxiliares de identificação dos alvos, com a finalidade de verificar se o algoritmo classificou de forma correta as classes estabelecidas (Figuras 12, 13 e 14).

Figura 12 – Análise visual da classificação da imagem do GE de Corumbá em 2020



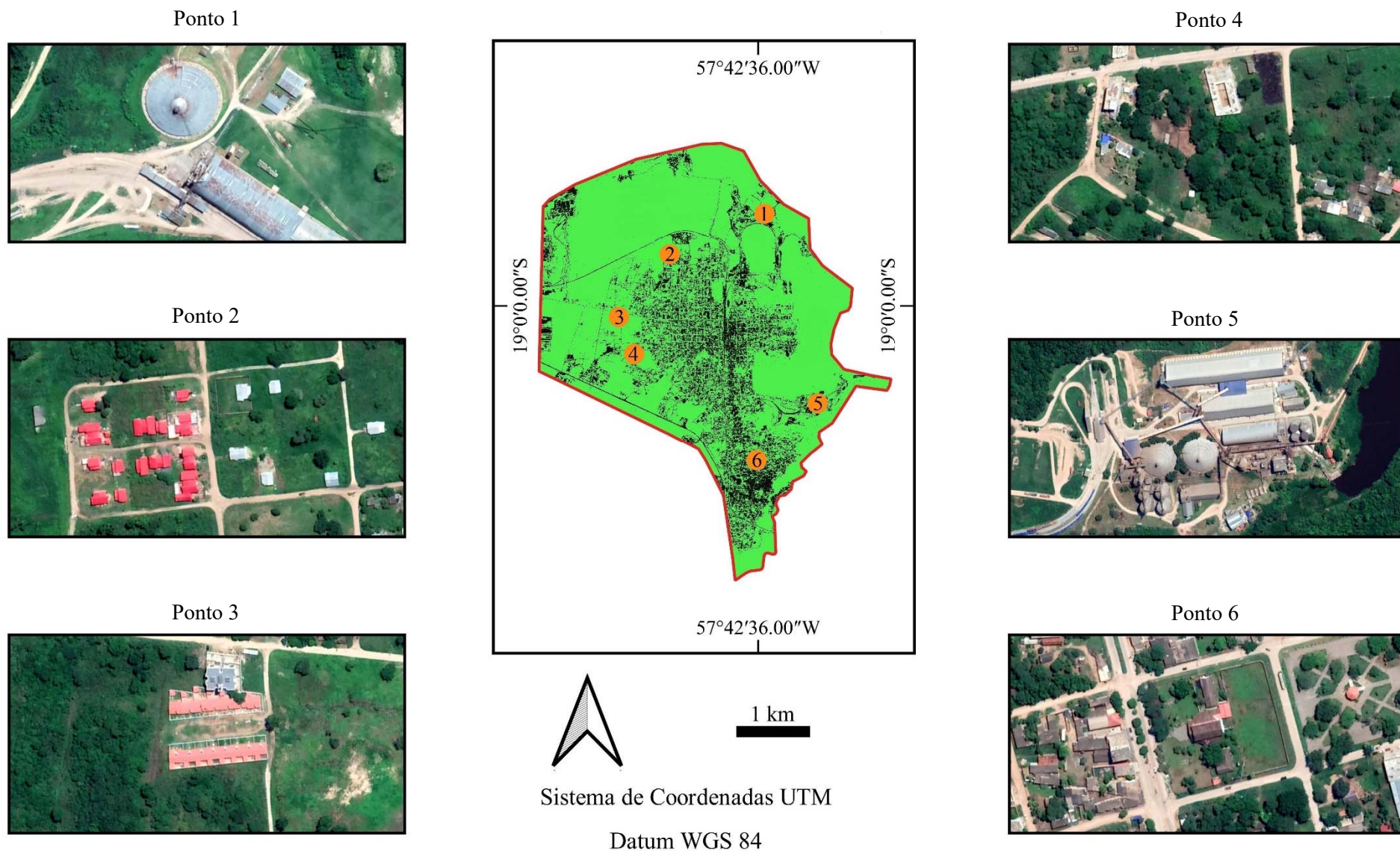
Fonte: elaborado pela autora (2021).

Figura 13 – Análise visual da classificação da imagem do GE de Ladário em 2020



Fonte: elaborado pela autora (2021).

Figura 14 – Análise visual da classificação da imagem do GE de Puerto Quijarro em 2020

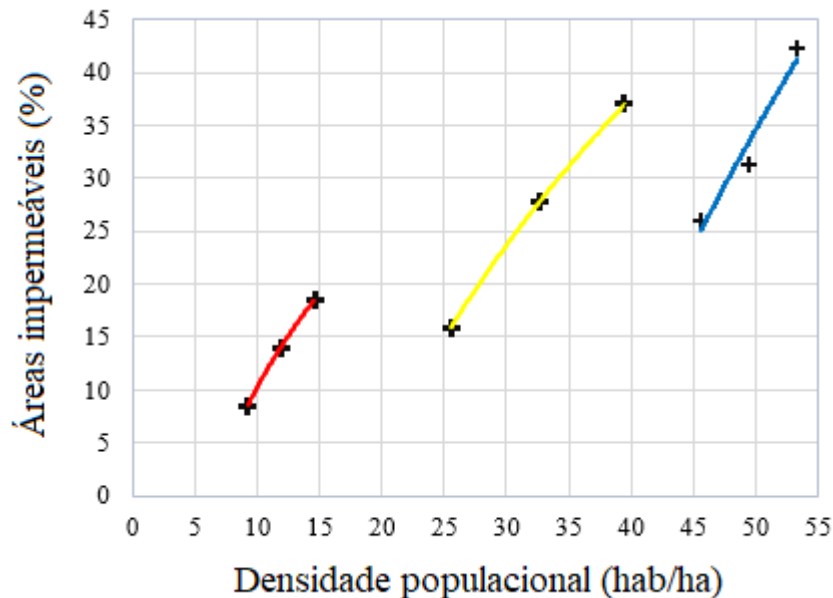


Fonte: elaborado pela autora (2021).

A curva de tendência entre a densidade populacional e o percentual de área impermeável dos municípios estão representadas no Gráfico 1. O resultado do Coeficiente de Pearson com valor maior que 0,5 indica que há correlação entre as variáveis e que, portanto, a densidade populacional interfere na quantidade de área impermeabilizada.

A porcentagem de impermeabilização do solo está representada no eixo Y e a densidade populacional no eixo X. O fator relevante para a escolha das datas das imagens foi a disponibilidade dos dados censitários, visando elaborar a relação entre as duas variáveis. Para o ano de 2020 optou-se por utilizar os dados obtidos na classificação das imagens do GEP, pois estes apresentaram melhores resultados relativos ao Coeficiente de Pearson na fase de construção dos diagramas de dispersão em comparação às imagens do satélite CBER 4 A.

Gráfico 1 – Relação entre densidade populacional e porcentagem de áreas impermeáveis na área de estudo



Fonte: elaborado pela autora (2021).

Legenda:

- Corumbá: $y = 102,88\ln(x) - 367,89$; $R^2 = 0,9571$
- Ladário: $y = 48,324\ln(x) - 140,68$; $R^2 = 0,9999$
- Puerto Quijarro: $y = 21,777\ln(x) - 39,857$; $R^2 = 0,9999$

Na análise dos gráficos fica evidente que os três municípios apresentam formas semelhantes de crescimento, restando evidenciado que a área impermeável é uma variável que depende da densidade populacional da região.

Nos três casos as curvas se apresentam de forma relativamente vertical, o que indica que a ocupação dessas áreas ainda não se encontra consolidada, uma vez que a tendência da função logarítmica é o crescimento acentuado e, por fim, a estabilidade dos dados, quando a linha se torna horizontal. Tal fato também pode ser observado através da variação do percentual de áreas impermeáveis de um período para outro, o que evidencia que os municípios ainda possuem áreas passíveis de urbanização.

Os resultados obtidos com a classificação das imagens assemelham-se aos de outros estudos na área. Alvarado (2017) realizou a avaliação da evolução da impermeabilização da microbacia do Rio Vila Guaira para os anos de 2000 a 2010 com o uso de ortofoto e imagem de satélite e concluiu que: ocorre a existência de uma área construída consolidada, com maior densidade populacional, enquanto a expansão urbana acontece nas áreas periféricas; as áreas com maior grau de impermeabilização estão concentradas nos setores com menor densidade populacional e vice-versa; na medida em que áreas da cidade se valorizam, é natural observar o fenômeno de verticalização e melhor aproveitamento dos espaços existentes.

Tais fenômenos também foram constatados para este estudo. Com base nas imagens obtidas o processo de ocupação pode ser observado de duas formas: enquanto um extremo se cria, o outro se consolida e se densifica. A mancha urbana vai crescendo e se conformando, apontando a direção da expansão, ao passo que pequenas manchas crescem no entorno dos núcleos principais, que vão se intensificando com o passar do tempo. Diante do exposto, é possível afirmar que existe a predominância de um espaço central primário e a criação de novos eixos e espaços periféricos. Por fim, convém considerar também a existência de uma expansão urbana predominantemente horizontal nas três cidades. Este tipo de crescimento acontece em locais cuja ocupação ocorre de forma desordenada, resultando na necessidade de maiores investimentos em infraestrutura urbana (GOMIDE, 2006).

Menezes Filho e Tucci (2012) concluíram que a tendência atual é a diminuição da densidade populacional e o crescimento da impermeabilização do solo, aumentando, desse modo, a quantidade em metros quadrados de área impermeável produzida por habitante na cidade de Porto Alegre//RS.

De acordo com os números obtidos na classificação das imagens, cada habitante do município de Corumbá produz, em média, 66,55 m² de área construída, em Ladário a quantidade sobe para 80,12 m² e em Puerto Quijarro, para 106,67 m². Ou seja, quanto menor a densidade populacional, maior é a área a ser utilizada para ocupação nas cidades da área de estudo.

Este fenômeno pode ser explicado pelo cenário de densidade ideal, que considera como modelo de urbanismo eficiente cidades que adotam altas densidades demográficas, maiores que 250 habitantes/ha, em sua configuração, planejadas de modo a aproveitar da melhor forma o contexto territorial e a malha urbana, concentrando em menores áreas o maior número possível de pessoas (LEITE, 2012).

Moreira et al. (2019) definiram 5 parâmetros de densidade populacional (Tabela 10).

Tabela 10 – Níveis de densidade populacional (habitantes por hectare)

Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
até 15	entre 16 e 50	entre 51 e 150	entre 151 e 350	acima de 350

Fonte: Moreira et al. (2019).

De acordo com a tabela anterior, atualmente, a cidade de Corumbá está classificada como média densidade (53,36 hab/ha), Ladário como baixa densidade (39,48 hab/ha) e Puerto Quijarro como densidade muito baixa (14,58 hab/ha), números muito distantes da densidade de 250 habitantes/ha, considerada ideal por Leite (2012), o que atesta a ocorrência da urbanização de forma horizontal e espraiada, que consome maiores áreas de ocupação.

A relação densidade populacional x área impermeável é utilizada para cálculo de parâmetros hidrológicos e tem como finalidade auxiliar na formulação de cenários para a avaliação do comportamento do sistema de macrodrenagem urbana.

A elaboração de cenários tem se tornado um instrumento de grande importância no tocante às questões ambientais, utilizado para examinar diferentes tipos de problemas, como por exemplo a cobertura do solo em uma bacia hidrográfica ou uma região para determinado período estabelecido.

Em estudos relativos à evolução da ocupação urbana são considerados três cenários no dimensionamento da capacidade do sistema de drenagem:

- a) Situação atual: elemento-chave de qualquer cenário ambiental, é uma representação da situação inicial em que o cenário começou, incluindo e entendendo como as tendências do passado moldaram o estado atual. O estado inicial é comumente atribuído a um ano base, o qual é, geralmente, o ano mais recente em que são encontrados dados para descrever o ponto inicial dos cenários.
- b) Cenários de referência: são cenários que descrevem um estado futuro da sociedade e do ambiente na falta de políticas focadas, novas ou adicionais. Estes cenários fornecem um ponto de referência para estimar os benefícios das políticas ambientais ou o custo de não utilizá-las, e devem ser desenvolvidos e analisados quando a meta é calcular as consequências das políticas atuais ou de nenhuma intervenção política nova, gerando, assim, um novo patamar para novas intervenções políticas.
- c) Cenários de políticas: são cenários que levam em consideração novas políticas ou medidas adicionais para aquelas que já foram adotadas ou acordadas anteriormente, e são chamados também de cenários de “controle de poluição”, “mitigação” ou “intervenção”. Eles devem ser desenvolvidos e analisados quando a meta é avaliar políticas para alcançar determinadas metas ambientais (TÔSTO; COELHO, 2012, p.11).

A relação densidade populacional x área impermeável deve ser utilizada para a previsão de impermeabilização do solo. Como a projeção populacional de um município pode ser determinada facilmente por meio de diferentes métodos matemáticos que demandam apenas o conhecimento acerca dos dados censitários, de fácil obtenção, a área impermeável pode ser estimada para um determinado cenário com base nesta relação.

A construção de cenários ambientais auxilia no planejamento e na preparação para incertezas de futuros empreendimentos, colaborando com a implementação de medidas de controle estruturais e não estruturais, apresentadas através do PDDU (MENEZES FILHO; TUCCI, 2012).

As equações obtidas nas curvas de relação entre densidade populacional e porcentagem de áreas impermeáveis permitiram a elaboração dos seguintes cenários de níveis de impermeabilização do solo (Tabela 11):

Tabela 11 – Cenários de níveis de impermeabilização nas cidades de Corumbá, Ladário e Puerto Quijarro

Município	50% de impermeabilização			100% de impermeabilização		
	População	Densidade Populacional	Ano	População	Densidade Populacional	Ano
Corumbá	121.985	58,09	2033	198.315	94,44	2126
Ladário	31.035	51,73	2038	87.332	145,55	2172
Quijarro	86.741	61,96	2181	861.725	615,52	4037

Fonte: elaborado pela autora (2021).

A Tabela 11 mostra que Corumbá e Ladário encontram-se muito próximas de atingir 50% de sua superfície impermeabilizada. Mesmo dispondo de percentuais de impermeabilização relativamente baixos, as cidades já apresentam a ocorrência de alagamentos em diversos pontos durante os períodos de maiores precipitações pluviométricas, que podem ser justificadas pela impermeabilização do solo. De acordo com Poletto (2014), atualmente todas as grandes cidades apresentam pontos de alagamentos e cidades de médio porte possuem, ao menos, um ponto de acúmulo de água em decorrência de chuvas intensas.

Isso ocorre principalmente porque a urbanização tende a remover as vegetações existentes, sendo substituídas por áreas impermeáveis (calçadas, ruas pavimentadas, telhados, estacionamentos, etc.). Essas mudanças acabam ocasionando alterações no hidrograma local, fazendo com que os tempos de concentração sejam reduzidos e os picos de vazão sejam ampliados (POLETO, 2014, p. 35).

Tucci (2000) afirma que a cada 10% do aumento de área impermeável de uma bacia, o volume de escoamento superficial cresce em torno de 100%. Este acréscimo de escoamento

superficial provocado pelo efeito de impermeabilização do solo pode produzir impactos como:

Aumento da frequência das inundações e sua magnitude no tempo e no espaço na cidade; Aumento da produção de erosão e sedimentação na cidade devido ao aumento da velocidade do escoamento e ao desmatamento das superfícies urbanas para as construções. Este processo gera as áreas degradadas; Aumento de resíduos sólidos e contaminação dos rios urbanos por falta de qualidade dos serviços de limpeza, coleta e educação da população; Contaminação da qualidade da água pela lavagem das superfícies urbanas contaminadas da cidade; Escorregamento das encostas com impacto sobre população que ocupa estas áreas de risco (CAMPO GRANDE, 2009, p. 9).

Além disso, a consequência da expansão urbana é a degradação das nascentes de rios e córregos e a redução da disponibilidade de água potável, tendo em vista que a impermeabilização do solo diminui as taxas de infiltração e, conseqüentemente, a recarga dos lençóis freáticos é prejudicada (TUCCI, 2005).

Diante de consequências tão significativas ocasionadas pela expansão urbana, a reorganização de espaços já consolidados e planejamento de futuras ocupações deve ocorrer atrelada à melhor utilização de recursos naturais, através da implantação de medidas corretivas e preventivas que garantam a conservação dos recursos hídricos e dos elementos responsáveis pelo ciclo hidrológico.

Enquanto o principal dado referente à gestão e ao planejamento de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas refere-se às áreas impermeabilizadas, para a definição de parâmetros relativos ao planejamento urbano faz-se necessário o conhecimento acerca da densidade populacional, que indica os níveis de distribuição da população em um determinado espaço (BARROS, 2014).

Os valores relativos à densidade populacional são influenciados por fatores diretos, como imigração, emigração, taxa de natalidade e de mortalidade e por fatores indiretos, como alterações no arranjo familiar (redução no tamanho das famílias) e melhorias econômicas (MENEZES FILHO; TUCCI, 2012). Em relação à configuração das ocupações urbanas, Acioly e Davidson (1998) afirmam que ela está vinculada às características sociais, culturais e ambientais de uma determinada população.

A fração de solo destinada ao uso público e privado é um dos principais fatores determinantes das características morfológicas da forma de ocupação do espaço, cabendo ao poder público a destinação das porcentagens de áreas verdes e de lazer, vias de tráfego, equipamentos urbanos e a áreas de construções para fins residenciais, comerciais e industriais (ACIOLY; DAVIDSON, 1998).

Sob o ponto de vista da gestão urbana, as consequências causadas pelo crescimento urbano, que muitas vezes ocorre de forma mais rápida do que a capacidade de controle e intervenção das administrações governamentais, estão atreladas à incapacidade de fornecimento de infraestrutura básica, porque a criação de novos parcelamentos exige a necessidade de investimentos em serviços públicos e a construção e manutenção de novos equipamentos, como sistemas de escoamento das águas pluviais, iluminação pública, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar, vias de circulação e linhas de transporte público (BRASIL, 1979).

A ideia de cidade compacta surge como uma forma de alternativa ao urbanismo sustentável e eficiente. Este modelo de espaço adota ocupações com altas densidades demográficas, em torno de 250 habitantes/ha, em sua configuração, visando a máxima otimização dos recursos disponíveis, infraestrutura urbana e serviços públicos, bem como menores áreas de ocupação do solo (ACIOLY; DAVIDSON, 1998).

Para Leite (2012) este protótipo de ocupação deve ser devidamente planejado para o contexto territorial, levando-se em conta as peculiaridades urbanas, baseado em um sistema de mobilidade eficiente, compatível com a infraestrutura e os equipamentos disponíveis, para que a cidade cumpra a sua função social, garantindo acesso e bem-estar a todos os seus habitantes.

Tendo em vista a forma de ocupação dos municípios objetos deste estudo; bem como os problemas que já se apresentam, apesar de possuírem uma ocupação ainda não consolidada, considera-se iminente a adoção de medidas de caráter preventivo, visando minimizar os impactos causados ao meio ambiente.

Diante desse cenário, deve-se considerar a elaboração do ZEE como o instrumento capaz de determinar as potencialidades, limitações e fragilidades da região nos âmbitos econômico, social e ambiental, que servirá como suporte para viabilizar a implementação das diretrizes dos demais instrumentos de planejamento urbano, em especial o PDM.

A partir da elaboração do ZEE, a atualização do PDM deve ser realizada de forma integrada aos demais instrumentos de planejamento urbano, baseada na formulação do planejamento a longo prazo, que priorize as funções sociais da cidade, levando-se em conta diversos aspectos, como a mobilidade urbana e o urbanismo sustentável, por exemplo (LEITE, 2012).

Uma maneira de amenizar a forma de ocupação exclusivamente horizontal, que produz maiores quantidades de impermeabilização do solo, pode ser realizada através do incentivo ao adensamento populacional de determinadas regiões. Esta proposta se concretiza mediante a

uma nova regulamentação do uso do solo, que possibilite a implantação de zonas de adensamento populacional, por meio de conjuntos habitacionais de interesse social, a partir da infraestrutura urbana já instalada, como eixos de transporte público e redes de saneamento básico. Bem como o estímulo à ocupação de imóveis não edificadas ou subutilizadas em áreas dotadas de infraestrutura, como a utilização compulsória, de modo a diminuir efetivamente a existência de vazios urbanos.

O fomento ao adensamento populacional é realizado com a alteração dos índices urbanísticos constantes no PDM, tornando-os mais flexíveis, de modo que permitam construções com maior número de pavimentos, capazes de alocar maiores populações em áreas menores ou reduzindo o tamanho do lote padrão.

Em contrapartida, a delimitação de áreas restritas à ocupação urbana deve ser mais rigorosa, visando a proteção de áreas de maior fragilidade ambiental, como matas ciliares, nascentes de córregos e rios e encostas de morros.

O coeficiente de aproveitamento, definido pela Lei 10.257/2001 como “a relação entre a área edificável e a área do terreno”, é o índice urbanístico que indica a máxima área construída permitida dentro de um lote urbano. Quanto maior o coeficiente, maior a área autorizada para construção (BRASIL, 2001).

Dos três municípios, somente Corumbá apresenta este índice, determinado pelo PDM com valor único para toda a zona urbana. O coeficiente de aproveitamento igual a 1 (um) significa que as construções devem apresentar uma área edificável máxima equivalente a área do terreno.

Apresenta-se como alternativa ao estímulo da densidade o aumento do coeficiente para determinadas áreas do perímetro urbano, considerando a disponibilidade de infraestrutura existente e a população esperada para esta região, cujos limites máximos devem ser estabelecidos pelo PDM.

O Estatuto da Cidade aborda em sua Seção IX a respeito da outorga onerosa do direito de construir. Também conhecido como “solo criado”, este mecanismo representa a concessão de construção acima dos limites estabelecidos pela lei de uso e ocupação do solo, mediante contrapartida econômica desembolsada pelo beneficiário, cujos recursos devem ser destinados à projetos habitacionais de interesse social, criação de espaços públicos de lazer e implantação de equipamentos urbanos (BRASIL, 2001).

Tal possibilidade, além de fomentar a densificação, promove o investimento em infraestrutura e programas habitacionais em áreas carentes e desassistidas, através da

arrecadação proveniente da contrapartida financeira, cabendo ao governo municipal estipular as diretrizes para o cálculo dos valores e os casos passíveis de isenção (BRASIL, 2001).

É importante salientar que o processo de adensamento não acontece de forma imediata, por isso é de extrema relevância que a projeção populacional seja devidamente analisada, levando-se em conta todas as variáveis necessárias para que se torne possível alcançar os números ideais, em concordância com a capacidade de suporte das infraestruturas e dos serviços básicos relativos à população envolvida (SCHVARSBERG et al., 2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de imagens do Google Pro mostrou-se uma eficiente ferramenta de quantificação da impermeabilização do solo, tendo em vista que os resultados obtidos foram bastante semelhantes àqueles referentes as imagens do satélite CBERS 4 A, tornando possível o conhecimento acerca das mudanças ocorridas na área de estudo para os períodos analisados. Além disso, os testes de acurácia com valores superiores a 80% demonstram que os números alcançados podem ser considerados como confiáveis.

Pode-se afirmar também que o presente estudo é uma demonstração objetiva das vantagens de utilização de tecnologias de Sistemas de Informações Geográficas para análise da expansão urbana, pois apresentam informações atualizadas que possibilitam o acompanhamento das mudanças ocorridas no espaço mediante a análise de imagens históricas.

Nos três municípios foi possível verificar o aumento de áreas impermeáveis em todos os períodos avaliados, indicando que existe uma correlação entre o percentual de áreas impermeáveis e a densidade populacional de uma região. Outrossim, a curva predominantemente vertical indica que a urbanização dos municípios ainda não se encontra consolidada e que ainda existem áreas passíveis de ocupação.

Outro ponto em comum é a forma de expansão urbana predominantemente horizontal, fato que implica numa maior utilização do solo para urbanização, bem como a necessidade de maiores investimentos em infraestrutura básica, como vias de circulação, redes de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem de águas pluviais, instalação de energia elétrica e implantação de sistema transporte público.

Por fim, pode-se afirmar que a expansão da malha urbana acontece de duas maneiras: a primeira através da existência de um espaço central, com maior densidade populacional, que se consolida com o passar do tempo; enquanto na segunda a expansão urbana ocorre por meio da criação de espaços periféricos, que vão se conformando e apontando a direção dos novos eixos.

Considerando que a distribuição populacional se modifica ao longo do tempo, é de extrema importância que a relação entre densidade populacional e áreas impermeáveis seja revisada e atualizada periodicamente, para que a curva se ajuste o mais próximo possível da realidade. As mudanças que refletem na relação ocorrem por diversos fatores, como alteração na densidade populacional devido ao aumento ou diminuição nas taxas de mortalidade e natalidade, e fenômenos migratórios; avanços tecnológicos dos SIGs, melhores resoluções das

imagens e novos métodos de estimativa; e novos arranjos na forma de uso e ocupação do espaço.

As equações obtidas pela construção das curvas de tendências possibilitaram a formulação de cenários de ocupação. Os municípios de Corumbá e Ladário encontram-se bem próximos de atingir 50% de superfície urbana impermeabilizada, nos anos de 2033 e 2038, respectivamente e ambos já apresentam incidência de alagamentos em diversos pontos durante os períodos de maiores precipitações pluviométricas.

Diante destes cenários surge a necessidade de revisão e reorganização dos espaços já consolidados e o planejamento de futuras ocupações, voltados à implantação de medidas de caráter preventivo e corretivo, visando minimizar os impactos causados pela alteração do escoamento natural das águas pluviais devido ao intenso processo de urbanização.

Isso pode ser realizado por meio da atualização dos instrumentos de planejamento urbano, como planos diretores municipais, leis de parcelamento do solo, leis de uso e ocupação do solo (zoneamento) e código de obras, bem como a elaboração dos instrumentos inexistentes, como o PDDU e o ZEE, focados no incentivo ao adensamento populacional de determinadas regiões do perímetro urbano e na delimitação de áreas restritas à ocupação.

A análise do processo de urbanização é um importante instrumento para a compreensão de tendências de ocupação da cidade, uma vez que o acervo de imagens permite a observação das mudanças ocorridas ao longo do tempo. A quantificação da impermeabilização do solo é de fundamental importância para o dimensionamento de obras de drenagem, uma vez que este processo interfere diretamente sobre o escoamento das águas pluviais, trazendo como consequência a ocorrência de inundações com maior frequência, além de inúmeros problemas ambientais, como a alteração da qualidade das águas e escorregamento de encostas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLY, Cláudio; DAVIDSON, Forbes. **Densidade Urbana: um instrumento de planejamento e gestão.** Rio de Janeiro: Mauad, 1998. 104p.

ALVARADO, Daniel Humberto Saavedra. **Estudo de Impermeabilização da Microbacia do Rio Vila Guaira de Curitiba-PR a partir da análise temporal com imagens de alta resolução para o período 2000 – 2010.** 2017. 26 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

ATTANASIO, Cláudia Mira. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade.** 2004. 250 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2004.

AYACH, Lucy Ribeiro; CUNHA, Elias Rodrigues da; SILVA, Leandro Félix da; BACANI, Vitor Matheus. Utilização de imagens Google Earth para mapeamento do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Córrego Indaiá, MS. **Geonorte**, Manaus, v. 2, n. 4, p. 1801-1811, 2012.

BARROS, Nayara Sales. A Densidade e a Morfologia Urbana como parâmetros para o Planejamento de Bacias Hidrográficas. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO - APPURBANA, 3., 2014, Belém. **Anais [...]**. Belém: UFPA, 2014. p. 1-14.

BATISTA, Daiane Cardoso Lopes; VIEIRA, Antonio Fábio Sabbá Guimarães; MARINHO, Rogério Ribeiro. Uso do "Google Earth Pro" no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus (AM), Brasil. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 10, n. 20, p. 1-12, abr. 2019.

BATISTELA, Tatiana Sancevero. **O Zoneamento Ambiental e o desafio da construção da Gestão Ambiental Urbana.** 2007. 159 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BESKOW, Samuel; ANDRADE, Márcio Adalberto.; MELLO, Carlos Rogério de. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Paraíba, v. 17, n. 1, p. 69-76, 2013.

BEZERRA, Maria do Carmo. **Planejamento e gestão ambiental: uma abordagem do ponto de vista dos instrumentos econômicos.** 1996. 227 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BOLÍVIA. **Constitución Política del Estado de 2009, de 7 de febrero de 2009.** Disponível em: <<https://www.lexivox.org/norms/BO-CPE-20090207.html>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

BOLÍVIA. **Ley de Asentamientos Humanos Urbanos, Armónicos y Estratégicamente Planificados, de 16 de diciembre de 2005.** Disponível em: <<https://www.lexivox.org/norms/BO-L-3313.html>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

BOLÍVIA. **Ley de Desarrollo y Seguridad Fronteriza, de 4 de abril de 2011**. Disponível em: <<https://www.lexivox.org/norms/BO-L-N100.html>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

BOLÍVIA. **Ley del Medio ambiente, de 27 de marzo de 1992**. Disponível em: <<https://www.lexivox.org/norms/BO-L-1333.html>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

BOLÍVIA. **Ley nº 777, de 25 de enero de 2016**. Disponível em: <<https://www.lexivox.org/norms/BO-L-N777.html>>. Acesso em: 03 nov. 2021

BRAGA, Roberto. Planejamento urbano e recursos hídricos. In: BRAGA, Roberto; CARVALHO, Pompeu Figueiredo de.. (Org.). **Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional**. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal – Deplan – UNESP – IGCE, 2003. p. 113 – 127.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Decreto Federal nº 4.297**, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9o, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm>. Acesso em: 08 out. 2021.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.257**, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acesso em: 04 out. 2021.

BRASIL. **Lei Federal nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978 (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 04 out. 2021.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.634**, de 2 de maio de 1979. Dispõe sobre a Faixa de Fronteira. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6634.htm>. Acesso em: 15 dez. 2021. 05 out. 2021.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.766**, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm>. Acesso em: 05 out. 2021.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 04 out. 2021.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 04 out. 2021.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Proposta de reestruturação do Programa de Desenvolvimento da Faixa de Fronteira**. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Diretrizes Metodológicas para o Zoneamento Ecológico Econômico do Brasil**. Parte 1. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/diretrizes_2006_parte1.pdf>. Acesso em: 08 out. 2021.

BRITO, Naman de Moura. **Mineração e Desenvolvimento Regional em Corumbá-MS**. 2011. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2011.

BURROUGH, Peter Alan. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. New York: Oxford University Press, 1986.

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, José Simeão. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, Eduardo Delgado; SANO, Edson Eyji. **Sistemas de Informações Geográficas (Aplicações na Agricultura)**. 2.ed. Brasília: SPI/ EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 3 – 11.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 57 p.

CAMPANA, Nestor Aldo; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n° 2, p. 79 – 94, 1994.

CAMPO GRANDE. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Campo Grande: Sumário Executivo**. Campo Grande, 2009. 39 p.

CASTRO, Felipe Dartagan Maropo Teixeira de. Medicina em Santa Cruz de la Sierra: uma migração temporária em busca de ascensão econômica e social. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL HISTÓRIA DO TEMPO PRESENTE, 1., 2011, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UDESC, 2011. p. 650-664.

COHEN, Jacob. **A coefficient of agreement for nominal scales**. *Educational and Psychological Measurement*, 20 (1), pp. 37-46, 1960. doi: <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>

CONGALTON, Russell G. **A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data**. *Remote Sensing Environment*, 37, 35–46, 1991. doi: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)

CONTE, Cláudia Heloiza. Gênese e dinâmica das aglomerações urbanas de fronteira: Uruguaiana e Paso de Los Libres, Corumbá, Puerto Suárez e Puerto Quijarro, Foz Do Iguaçu, Ciudad del Este e Puerto Iguazú. **Geosul**, Florianópolis, v. 32, n. 65, p. 159-181, dez. 2017.

CORUMBÁ. **Lei complementar nº 004**, de 08 de junho de 1991. Institui o Código de Posturas do município de Corumbá e dá outras providências. Corumbá, 1991.

CORUMBÁ. **Lei complementar nº 098**, de 09 de outubro de 2006. Dispõe sobre a instituição do Plano Diretor do Município de Corumbá e dá outras providências. Corumbá, 2006.

CORUMBÁ. **Lei complementar nº 199**, de 25 de outubro de 2016. Aprova o Plano Municipal de Mobilidade Urbana e Rural de Corumbá-MS e Institui a Política Municipal de Mobilidade Urbana e Rural. Corumbá, 2016.

CORUMBÁ. **Lei complementar nº 210**, de 27 de setembro de 2017. Altera o art. 17 da Lei Municipal nº. 648, de 4 de outubro de 1.972, com nova redação dada pela Lei Complementar nº 161, de 23 setembro de 2013, e dá outras providências. Corumbá, 2017.

CORUMBÁ. **Lei complementar nº 267**, de 8 de outubro de 2020. Dispõe sobre as normas que regulam a aprovação de projetos, o licenciamento de obras e execução, manutenção e conservação de obras no município, e dá outras providências. Corumbá, 2020.

CORUMBÁ. **Lei Ordinária nº 648**, de 04 de outubro de 1972. Estabelece normas para o desenvolvimento urbano do município de Corumbá, no Estado de Mato Grosso e dá outras providências. Corumbá, 1972.

DANTAS, Eugenia Maria. **Geografia da população**. 2. ed. Natal: EDUFRN, 2011. 246 p.

FARINA, Flavia Cristiane. Abordagem sobre as técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento e gestão urbana. **Cadernos EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 4, p. 1-13, jan. 2006. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/cadernosebape/article/view/4996>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

FERRARI, Maristela. As noções de fronteira em geografia. **Perspectiva Geográfica**, Marechal Cândido Rondon, v. 9, n. 10, 2014. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica/article/view/10161>. Acesso em: 3 dez. 2021.

FERREIRA, Valéria. **Estatística básica**. Rio de Janeiro: SESES, 2015. 184 p.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 320 p.

GERMANO, Andrea de Oliveira; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Estimativa dos parâmetros do modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 103-120, 1998.

GEOBOLÍVIA. **Catálogo**. 2021. Disponível em: <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>. Acesso em: 30 set. 2021.

GOBIERNO AUTONOMO MUNICIPAL DE PUERTO QUIJARRO. **Ley Autonómica Municipal nº. 046**, de 24 de mayo de 2017. Código de Urbanismo Municipal de Puerto

Quijarro. Disponível em < <https://www.edictos.bo/ley-autonomica-municipal-gampq-no-046-ley-de-fecha-24-de-mayo-de-2017/>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

GOBIERNO AUTONOMO MUNICIPAL DE PUERTO QUIJARRO. **Plan de Desarrollo Municipal: Tomo I: diagnóstico del Municipio Puerto Quijarro**. Puerto Quijarro, 2005. 139 p.

GOMIDE, Alexandre de Ávila. Mobilidade Urbana, Iniquidade e Políticas Sociais. **IPEA**, São Paulo, v. 12, p. 242-250, fev. 2006.

GONÇALVES, L. S. **Estimativa da Relação Densidade Habitacional x Área Impermeável Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto Com Imagem de Alta Resolução Espacial**. Porto Alegre, 2007. Disponível em: <http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/HIDP_23/HIDP_23.html>. Acesso em: 29 ago. 2021.

HANY, Fátmato Ezzahrá Schabib. **Corumbá, Pantanal de Mato Grosso do Sul: Periferia ou Espaço Central?** 2005. 152 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais) - Escola Nacional em Ciências Estatísticas, Rio de Janeiro, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Caderno de estudo: Introdução à Geotecnologia**. Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 64-65, jan. 2015.

Disponível em:

<http://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/acervo-projetos-cartilhas-outros/IBAM-Introducao-Geotecnologia-caderno-estudo.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros**. v.36. Rio de Janeiro: IBGE, 1958. 318 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades: Corumbá**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/corumba/panorama>. Acesso em: 27 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades: Ladário**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/ladario/panorama>. Acesso em: 27 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas da População**. 2020. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2020/estimativa_dou_2020.pdf. Acesso em: 27 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha Municipal**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do->

territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto. Acesso em: 30 set. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Memória IBGE**. s.d. Disponível em: <https://memoria.ibge.gov.br/historia-do-ibge/historico-dos-censos/panorama-introdutorio.html>. Acesso em: 28 abr. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). **Censo Nacional de Población y Vivienda 2001**. 2001. Disponível em: <https://nube.ine.gob.bo/index.php/s/zqqfpuNQpNsdO6Q/download>. Acesso em: 27 abr. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). **Censo Nacional de Población y Vivienda 2012**. 2012. Disponível em: <https://nube.ine.gob.bo/index.php/s/bROAGTD7pFvBP1f/download>. Acesso em: 27 abr. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). **INE Celebra 81 Años de Cara al Censo Económico 2017**. 2017. Disponível em: <https://www.ine.gob.bo/index.php/ine-celebra-81-anos-de-cara-al-censo-economico-2017/>. Acesso em: 28 abr. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **CBERS 04A**. 2019. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cbbers04a.php>. Acesso em: 12 out. 2021.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphanyo (Coord.). São José dos Campos, SP, Parêntese, 2009. 598 p.

LADÁRIO. **Lei complementar nº 029**, de 24 de abril de 2007. Institui o Código de Posturas do Município de Ladário e dá outras providências. Ladário, 2007.

LADÁRIO. **Lei complementar nº 52**, de 13 de abril de 2011. Institui a política de desenvolvimento municipal e dá outras providências. Ladário, 2011.

LADÁRIO. **Lei ordinária nº 318**, de 20 de julho de 1979. Dispõe sobre as construções e edificações no Município de Ladário – MS e dá outras providências. Ladário, 1979.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary Grove. **The measurement of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*, 33, 1977. p. 159-174.

LEITE, Carlos. **Cidades sustentáveis cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. Porto Alegre: Bookman, 2012. 278 p.

MACHADO, Lia Osorio. **Estado, territorialidade, redes. Cidades gêmeas na zona de fronteira sulamericana**. In: SILVEIRA, María Laura. (Org.) *Continentes em chamas. Globalização e território na América Latina*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2005. p. 246-284.

MARTIN, André Roberto. **Fronteiras e Nações**. 3. ed. São Paulo: Contexto, 1997. 91 p.

MARTINS, Paulo Cesar dos Santos. Brasil e Bolívia: cooperação econômica na fronteira de Corumbá/MS. In: FÓRUM UNIVERSITÁRIO MERCOSUL, 17., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: FOMERCO, 2019.

MATO GROSSO DO SUL, Governo do Estado de. **ZEE-MS - Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado: Primeira Aproximação**. Apresentação do Projeto. 2009. 134 p.

MATO GROSSO DO SUL, Governo do Estado de. **ZEE-MS - Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado: Segunda Aproximação**. Apresentação do Projeto. 2015. 199 p.

MATO GROSSO DO SUL. **Lei ordinária nº 3839**, de 28 de dezembro de 2009. Institui o Programa de Gestão Territorial do Estado de Mato Grosso do Sul (PGT/MS); aprova a Primeira Aproximação do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Mato Grosso do Sul (ZEE/MS) e dá outras providências. Disponível em: < <https://leisestaduais.com.br/ms/lei-ordinaria-n-3839-2009-mato-grosso-do-sul-institui-o-programa-de-gestao-territorial-do-estado-de-mato-grosso-do-sul-pgt-ms-aprova-a-primeira-aproximacao-do-zoneamento-ecologico-economico-do-estado-de-mato-grosso-do-sul-zee-ms-e-da-outras-providencias> > Acesso em: 15 de out. de 2021.

MATO GROSSO DO SUL. **Mato Grosso do Sul sem fronteiras: características e interações territoriais: Brasil, Bolívia, Paraguai**. 1. ed. Campo Grande: SEBRAE, 2010. 256 p.

MEIRELLES, Hely Lopes. **Urbanismo e proteção ambiental**. RDP nº 39/40, ERT, São Paulo, 1976, p. 62.

MENDONÇA, Mário Sérgio de Andrade. **Cana-de-açúcar e eucalipto na Bacia do Rio Paraná (Mato Grosso do Sul): uma discussão sobre o zoneamento ecológico-econômico**. 2016. 119 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências Humanas, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016.

MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Alteração na relação entre densidade habitacional x área impermeável: Porto Alegre – RS. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 49-55, jun. 2012.

MORAES, Elisabete Caria de. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2002. 23 p.

MOREIRA, Livia Maria Pereira da Silva; VIEIRA, Gabriela Cavalcante Lemos; HORA, Karlla Emanuela Ribeiro; KALLAS, Luana Miranda Espera. Níveis de densidade populacional: uma proposta de classificação para Goiânia – GO, aplicação no Setor Central. In: ENANPUR, nº 18, 2019, Natal. **Anais [...]**. Natal: UFRN, 2019. p. 1-16.

MOREIRA, Mauricio Alves; ADAMI, Marco; RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor; BERNARDES, Tiago. Uso de imagens do Google Earth capturadas através do software stitch map e do TM/Landsat-5 para mapeamento de lavouras cafeeiras: nova abordagem metodológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: Inpe, 2012. p. 481-488.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008. 363 p.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda., 1992. 307 p.

OECO. **O que é o Zoneamento Ecológico-Econômico**. 2013. Disponível em: [https://oeco.org.br/dicionario-ambiental/27545-o-que-o-zoneamento-ecologico-economico/#:~:text=O%20Zoneamento%20Ecol%C3%B3gico%20Econ%C3%B4mico%20\(ZEE,socioecon%C3%B4mico%20com%20a%20conserva%C3%A7%C3%A3o%20ambiental](https://oeco.org.br/dicionario-ambiental/27545-o-que-o-zoneamento-ecologico-economico/#:~:text=O%20Zoneamento%20Ecol%C3%B3gico%20Econ%C3%B4mico%20(ZEE,socioecon%C3%B4mico%20com%20a%20conserva%C3%A7%C3%A3o%20ambiental) . Acesso em: 04 nov. 2021.

OLIVEIRA, Tito Carlos Machado de. **Território sem limites: estudos sobre fronteiras**. 1. ed. Campo Grande: UFMS, 2005. 650 p.

ONEDA, Tânia Mara Sebben. **Planos Diretores de Drenagem Urbana: uma análise comparativa entre planos de países desenvolvidos e em desenvolvimento**. 2018. 141 f. Dissertação (Programa de pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2018.

PARKINSON, Jonathan; MILOGRANA, Jussanã; CAMPOS, Luiza Cintra; CAMPOS, Raquel. **Drenagem urbana sustentável no Brasil**. Relatório do workshop em Goiânia – GO. Goiás: UFG, 2003. 24 p.

PEREIRA, Gilberto Corso; SILVA, Bárbara Christine Nentwig. Geoprocessamento e urbanismo. In GERARDI, Lúcia Helena. de O. e MENDES, Iandara Alves. (org.). **Teoria, técnica, espaço e atividades. Temas de geografia contemporânea**. Rio Claro: Unesp; AGTEO, 2001, p. 97-137.

PEREIRA, Joelson Gonçalves. **O Patrimônio ambiental urbano de Corumbá-MS: identidade e preservação**. Dourados: UFGD, 2015. 190 p.

PEREIRA, Luís Flávio; GUIMARÃES, Ricardo Morato Fiúza; OLIVEIRA, Raphael Rivadávia Mendes. Integrando geotecnologias simples e gratuitas para avaliar usos/coberturas da terra: QGIS e Google Earth Pro. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, Recife, v. 3, n. 3, p. 250-264, jun. 2018.

POLETO, Cristiano. **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 249 p.

RAFFESTIN, Claude. **Por uma Geografia do Poder**. São Paulo: Ática, 1993. 269 p.

RAFTER, Ann; HAACK, Barry N. Urban growth analysis and modeling in the Kathamandu valley. Nepal. **Habitat International**, v. 30, n. 4, p. 1056-1065, 2006.

ROSA, Alessandro Samuel; MIGUEL, Pablo; DALMOLIN, Ricardo Simão Diniz; PEDRON, Fabrício de Araújo. Uso da terra no Rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 161-173, 2011.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5. ed. Uberlândia: EDUFU, 2003. 109 p.

SANTOS, Carlos Nelson Ferreira dos. **O uso do solo e o município**. Rio de Janeiro: IBAM, 1987. 48 p.

SÃO PAULO (Cidade). **Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo**: zoneamento. 2021. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/licenciamento/desenvolvimento_urbano/legislacao/zoneamento/index.php?p=214281. Acesso em: 04 nov. 2021.

SÃO PAULO (Estado). **Lei n. 12.526, de 2 de janeiro de 2007**. Estabelece normas para contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. Publicação: Secretaria da Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo.

SCHVARSBERG, Benny; MARTINS, Giselle Chalub; KALLAS, Luana Miranda Esper; CAVALCANTI, Carolina Baima; TEIXEIRA, Letícia Miguel. (Orgs.) (2016). **Estudo de Impacto de Vizinhança: Caderno Técnico de Regulamentação e Implementação**. Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos, Programa Nacional de Capacitação das Cidades e Universidade de Brasília. Brasília: Universidade de Brasília. 98p.

SEBRAE (Mato Grosso do Sul). **Desenvolvimento Econômico Territorial**: Ladário – MS. Campo Grande: SEBRAE, 2015. 40 p. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/MS/Anexos/Mapa%20Oportunidades/Mapa%20de%20Oportunidades%20LAD%20C3%81RIO.pdf>. Acesso em: 29 out. 2021.

SILVA, Ana Maria de Vasconcelos; ALMEIDA, Luciane Pinho de. Fronteiras, mobilidades e desigualdades: reflexão sobre a escola de/na fronteira. **Psicologia em Revista**, Belo Horizonte, v. 25, n. 2, p. 707-724, ago. 2019.

SILVEIRA, André Luiz Lopes. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1993. p. 35-51.

SIMON, Adriano Luís Heck; TRENTIN, Gracieli. Elaboração de cenários recentes de uso da terra utilizando imagens do Google Earth. Ar@cne. **Revista electrónica de recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales**. [En línea. Acceso libre]. Barcelona: Universidad de Barcelona, nº 116, jan. 2009. <<http://www.ub.es/geocrit/ aracne/ aracne-116.htm>>. Acesso em: 30 out. 2021.

SOTTILI, Diane Maria. Análise da organização das unidades político-administrativas na fronteira da borda oeste do Estado de Mato Grosso do Sul. **GeoPantanal**, Corumbá, v. 8, n. 14, p. 223-233, nov. 2013.

SIRVINSKAS, Luís Paulo. **Manual do Direito Ambiental**. 16. ed. São Paulo: Saraiva, 2018. 819 p.

SOUZA FILHO, Paulo Alberto Lippel de. **Um índice de competitividade municipal no contexto do ZEE-MS**. 2013. 189 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Administração) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2013.

STEIGLEDER, Annelise Monteiro; LOUBET, Luciano Furtado. **O Direito Ambiental na América Latina e a atuação do Ministério Público**. Tomo I – América do Sul. Porto Alegre: Editografia Suliani Ltda, 2009. 424 p.

STORY, Michael; CONGALTON, Russell G. **Accuracy Assessment: A User's Perspective.** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52, 397–399. Turner, M.G (2005). *Landscape Ecology: What Is the State of the Science?* *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 36, 319– 344. 1986. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152614

TERRA, Lúgia; ARAUJO, Regina; GUIMARÃES, Raul Borges. **Conexões: estudos de geografia geral e do Brasil: espaço e sociedade.** 2. ed. São Paulo: Moderna, 2013. 264 p.

TÔSTO, Sérgio Gomes; COELHO, Guilherme Cantanti. **Stakeholders e cenários em mudanças ambientais.** 1. ed. 2012: Embrapa, 2012. 20 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.5, n.1. p. 61-68, 2000.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. **Drenagem urbana.** 1. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995, 428 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas.** Ministério das Cidades. Global Water Partnership – World Bank. Unesco, 2005. 270 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Plano Diretor de Drenagem Urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 5-12, dez. 1997.

VAZ, José Carlos. **Legislação de uso e ocupação do solo.** 2006. Disponível em: <https://fpabramo.org.br/2006/05/19/legislacao-de-uso-e-ocupacao-do-solo/>. Acesso em: 01 nov. 2021.

WWF BRASIL; SOS PANTANAL. **Monitoramento das Alterações da Cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2012-2014.** Brasília: 2015.

APÊNDICE A – RESULTADOS DOS TESTES DE ACURÁCIA

Figura A1 – Teste de acurácia da imagem do Google Earth Pro para Corumbá (2003)

> ERROR MATRIX						
> Reference						
V_Classification	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	Total
0.0	0	2	0	0	0	2
1.0	0	2027253	46748	26	2	2074029
2.0	0	53161	275065	49817	17084	395127
3.0	0	9324	57580	290855	46638	404397
4.0	0	6722	1342	43422	221948	273434
Total	0	2096462	380735	384120	285672	3146989

Overall accuracy [%] = 89.4544277085
 Class 0.0 producer accuracy [%] = nan user accuracy [%] = 0.0 Kappa hat = 0.0
 Class 1.0 producer accuracy [%] = 96.6987715494 user accuracy [%] = 97.7446795585 Kappa hat = 0.932438969956
 Class 2.0 producer accuracy [%] = 72.2457877526 user accuracy [%] = 69.614326533 Kappa hat = 0.65432176453
 Class 3.0 producer accuracy [%] = 75.7198271374 user accuracy [%] = 71.9231349392 Kappa hat = 0.680196254325
 Class 4.0 producer accuracy [%] = 77.6932986082 user accuracy [%] = 81.1705932693 Kappa hat = 0.792906777341
 Kappa hat classification = 0.798051019681

Figura A2 – Teste de acurácia da imagem do Google Earth Pro para Corumbá (2010)

> ERROR MATRIX						
> Reference						
V_Classification	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	Total
0.0	0	59	0	0	0	59
1.0	0	2075794	24934	9	35	2100772
2.0	0	35642	193472	41352	412	270878
3.0	0	6350	48614	295138	64662	414764
4.0	0	3007	357	43012	198004	244380
Total	0	2120852	267377	379511	263113	3030853

Overall accuracy [%] = 91.142922471
 Class 0.0 producer accuracy [%] = nan user accuracy [%] = 0.0 Kappa hat = 0.0
 Class 1.0 producer accuracy [%] = 97.8754764595 user accuracy [%] = 98.8110085245 Kappa hat = 0.960399401973
 Class 2.0 producer accuracy [%] = 72.3592530397 user accuracy [%] = 71.4240359128 Kappa hat = 0.686592007742
 Class 3.0 producer accuracy [%] = 77.7679698349 user accuracy [%] = 71.1580561476 Kappa hat = 0.670296430823
 Class 4.0 producer accuracy [%] = 75.2543583935 user accuracy [%] = 81.0229969719 Kappa hat = 0.792189632846
 Kappa hat classification = 0.816608692669

Figura A3 – Teste de acurácia da imagem do Google Earth Pro para Corumbá (2020)

> ERROR MATRIX						
> Reference						
V_Classification	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	Total
0.0	0	3	0	0	0	3
1.0	0	1643783	34925	177	920	1679805
2.0	0	67419	367339	82692	0	517450
3.0	0	5432	85828	358875	55760	505895
4.0	0	6786	11316	52063	352094	422259
Total	0	1723423	499408	493807	408774	3125412

Overall accuracy [%] = 87.0954293386
 Class 0.0 producer accuracy [%] = nan user accuracy [%] = 0.0 Kappa hat = 0.0
 Class 1.0 producer accuracy [%] = 95.3789638411 user accuracy [%] = 97.855584428 Kappa hat = 0.952195187253
 Class 2.0 producer accuracy [%] = 73.5548889886 user accuracy [%] = 70.990240603 Kappa hat = 0.654732246651
 Class 3.0 producer accuracy [%] = 72.6751544632 user accuracy [%] = 70.9386335109 Kappa hat = 0.65485419141
 Class 4.0 producer accuracy [%] = 86.1341474751 user accuracy [%] = 83.3834210757 Kappa hat = 0.808831153915
 Kappa hat classification = 0.796435032275

Figura A4 – Teste de acurácia da imagem do Google Earth Pro para Ladário (2003)

> ERROR MATRIX						
> Reference						
V_Classification	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	Total
0,0	0	20	0	0	0	20
1,0	0	513669	16466	32	4	530171
2,0	0	18243	186289	29322	127	233981
3,0	0	3254	26256	169350	19351	218211
4,0	0	1726	3136	22575	73848	101285
Total	0	536912	232147	221279	93330	1083668

Overall accuracy [%] = 87.0336671379
 Class 0.0 producer accuracy [%] = nan user accuracy [%] = 0.0 Kappa hat = 0.0
 Class 1.0 producer accuracy [%] = 95.6709851894 user accuracy [%] = 96.8874193421 Kappa hat = 0.938308787532
 Class 2.0 producer accuracy [%] = 80.2461371459 user accuracy [%] = 79.6171484009 Kappa hat = 0.740602474553
 Class 3.0 producer accuracy [%] = 76.5323415236 user accuracy [%] = 77.6083698805 Kappa hat = 0.718629376902
 Class 4.0 producer accuracy [%] = 79.1256830601 user accuracy [%] = 72.9110924619 Kappa hat = 0.703582188566
 Kappa hat classification = 0.804187866808

Figura A5 – Teste de acurácia da imagem do Google Earth Pro para Ladário (2010)

> ERROR MATRIX						
> Reference						
V_Classification	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	Total
0,0	0	34	0	0	0	34
1,0	0	657728	17674	84	10	675496
2,0	0	14173	139806	26752	411	181142
3,0	0	2756	28338	105465	2403	138962
4,0	0	1653	271	27511	99146	128581
Total	0	676344	186089	159812	101970	1124215

Overall accuracy [%] = 89.1417566924
 Class 0.0 producer accuracy [%] = nan user accuracy [%] = 0.0 Kappa hat = 0.0
 Class 1.0 producer accuracy [%] = 97.2475544989 user accuracy [%] = 97.3696365337 Kappa hat = 0.933974424238
 Class 2.0 producer accuracy [%] = 75.1285675134 user accuracy [%] = 77.1803336609 Kappa hat = 0.72653768051
 Class 3.0 producer accuracy [%] = 65.9931669712 user accuracy [%] = 75.8948489515 Kappa hat = 0.719003649035
 Class 4.0 producer accuracy [%] = 97.2305580073 user accuracy [%] = 77.1078153071 Kappa hat = 0.748242961183
 Kappa hat classification = 0.814038447233

Figura A6 – Teste de acurácia da imagem do Google Earth Pro para Ladário (2020)

> ERROR MATRIX						
> Reference						
V_Classification	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	Total
0,0	0	7	0	0	0	7
1,0	0	479259	23427	32	109	502827
2,0	0	6360	136217	39982	364	182923
3,0	0	3226	34111	234242	18394	289973
4,0	0	1651	156	17515	107295	126617
Total	0	490503	193911	291771	126162	1102347

Overall accuracy [%] = 86.8159481543
 Class 0.0 producer accuracy [%] = nan user accuracy [%] = 0.0 Kappa hat = 0.0
 Class 1.0 producer accuracy [%] = 97.7076592804 user accuracy [%] = 95.3129008585 Kappa hat = 0.91555347969
 Class 2.0 producer accuracy [%] = 70.2471752505 user accuracy [%] = 74.4668521728 Kappa hat = 0.690166517973
 Class 3.0 producer accuracy [%] = 80.2828245439 user accuracy [%] = 80.780624403 Kappa hat = 0.738625113114
 Class 4.0 producer accuracy [%] = 85.0454177962 user accuracy [%] = 84.7398058712 Kappa hat = 0.827675807175
 Kappa hat classification = 0.807552737274

Figura A7 – Teste de acurácia da imagem do Google Earth Pro para Puerto Quijarro (2003)

> ERROR MATRIX						
> Reference						
V_Classification	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	Total
0,0	0	28	0	0	0	28
1,0	0	1695990	4372	1	0	1700363
2,0	0	3706	146516	22695	215	173132
3,0	0	1524	25023	123457	3757	153761
4,0	0	1732	2916	4240	66894	75782
Total	0	1702980	178827	150393	70866	2103066

Overall accuracy [%] = 96.6615883667
 Class 0.0 producer accuracy [%] = nan user accuracy [%] = 0.0 Kappa hat = 0.0
 Class 1.0 producer accuracy [%] = 99.5895430363 user accuracy [%] = 99.7428196215 Kappa hat = 0.986481223787
 Class 2.0 producer accuracy [%] = 81.9316993519 user accuracy [%] = 84.6267587737 Kappa hat = 0.831980637889
 Class 3.0 producer accuracy [%] = 82.0895919358 user accuracy [%] = 80.2914913405 Kappa hat = 0.787735609226
 Class 4.0 producer accuracy [%] = 94.3950554568 user accuracy [%] = 88.2716212293 Kappa hat = 0.878626342743
 Kappa hat classification = 0.899400795097

Figura A8 – Teste de acurácia da imagem do Google Earth Pro para Puerto Quijarro (2010)

> ERROR MATRIX						
> Reference						
V_Classification	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	Total
0,0	0	43	0	0	0	43
1,0	0	1677488	5279	3	0	1682770
2,0	0	4946	135313	19972	1197	161428
3,0	0	1397	21488	172455	11671	207011
4,0	0	168	11937	13724	115755	141584
Total	0	1684042	174017	206154	128623	2192836

Overall accuracy [%] = 95.812500342
 Class 0.0 producer accuracy [%] = nan user accuracy [%] = 0.0 Kappa hat = 0.0
 Class 1.0 producer accuracy [%] = 99.6108173074 user accuracy [%] = 99.6861127783 Kappa hat = 0.98647186878
 Class 2.0 producer accuracy [%] = 77.7584948597 user accuracy [%] = 83.8225091062 Kappa hat = 0.824280510429
 Class 3.0 producer accuracy [%] = 83.6534823481 user accuracy [%] = 83.307167252 Kappa hat = 0.815749855327
 Class 4.0 producer accuracy [%] = 89.9955684442 user accuracy [%] = 81.7571194485 Kappa hat = 0.806203888761
 Kappa hat classification = 0.893218651991

Figura A9 – Teste de acurácia da imagem do Google Earth Pro para Puerto Quijarro (2020)

> ERROR MATRIX						
> Reference						
V_Classification	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	Total
0,0	0	18	0	0	0	18
1,0	0	1598745	8167	1228	1126	1609266
2,0	0	9748	122905	18568	1508	152729
3,0	0	3108	15564	220374	16868	255914
4,0	0	2212	1448	14080	83987	101727
Total	0	1613831	148084	254250	103489	2119654

Overall accuracy [%] = 95.5821563331
 Class 0.0 producer accuracy [%] = nan user accuracy [%] = 0.0 Kappa hat = 0.0
 Class 1.0 producer accuracy [%] = 99.0652057124 user accuracy [%] = 99.3462236821 Kappa hat = 0.972603468262
 Class 2.0 producer accuracy [%] = 82.9968126199 user accuracy [%] = 80.472601798 Kappa hat = 0.790059050865
 Class 3.0 producer accuracy [%] = 86.6761061947 user accuracy [%] = 86.1125221754 Kappa hat = 0.842196929347
 Class 4.0 producer accuracy [%] = 81.155485124 user accuracy [%] = 82.561168618 Kappa hat = 0.816660398855
 Kappa hat classification = 0.889582539668

Figura A10 – Teste de acurácia da imagem do CBERS 4A para Ladário (2020)

```

> ERROR MATRIX
> Reference
V_Classification 0.0      1.0      2.0      3.0      4.0      Total
0.0              0         1         0         0         0         1
1.0              0      889916   0         235        1      890152
2.0              0      1297     5945     1442       206     8890
3.0              0      253      333      8925        6     9517
4.0              0       70        0      1539       3937    5546
Total            0      891537   6278     12141      4150    914106

Overall accuracy [%] = 99.411118623
Class 0.0 producer accuracy [%] = nan      user accuracy [%] = 0.0      Kappa hat = 0.0
Class 1.0 producer accuracy [%] = 99.818179167      user accuracy [%] = 99.973487674      Kappa hat = 0.989261785521
Class 2.0 producer accuracy [%] = 94.6957629818      user accuracy [%] = 66.8728908886      Kappa hat = 0.666438034503
Class 3.0 producer accuracy [%] = 73.511242896      user accuracy [%] = 93.77955238      Kappa hat = 0.936958213543
Class 4.0 producer accuracy [%] = 94.8674698795      user accuracy [%] = 70.9880995312      Kappa hat = 0.70855786115
Kappa hat classification = 0.882258876683

```

Figura A11 – Teste de acurácia da imagem do CBERS 4A para Corumbá (2020)

```

> ERROR MATRIX
> Reference
V_Classification 0.0      1.0      2.0      3.0      4.0      Total
0.0              0         3         0         0         0         3
1.0              0      304203   0         5         0      304208
2.0              0         0      6425     1973       68     8466
3.0              0         740      93      5168       23     6024
4.0              0         390      378      453      3640     4861
Total            0      305336   6896     7599      3731    323562

Overall accuracy [%] = 98.7248193546
Class 0.0 producer accuracy [%] = nan      user accuracy [%] = 0.0      Kappa hat = 0.0
Class 1.0 producer accuracy [%] = 99.6289333718      user accuracy [%] = 99.9983563877      Kappa hat = 0.999708213282
Class 2.0 producer accuracy [%] = 93.1699535963      user accuracy [%] = 75.8918025041      Kappa hat = 0.753668009886
Class 3.0 producer accuracy [%] = 68.0089485459      user accuracy [%] = 85.7901726428      Kappa hat = 0.85448422254
Class 4.0 producer accuracy [%] = 97.5609756098      user accuracy [%] = 74.881711582      Kappa hat = 0.745886932877
Kappa hat classification = 0.885743849361

```

Figura A12 – Teste de acurácia da imagem do CBERS 4A para Puerto Quijarro (2020)

```

> ERROR MATRIX
> Reference
V_Classification 0.0      1.0      2.0      3.0      4.0      Total
0.0              0         1         0         0         0         1
1.0              0      741870   0         157        0      742027
2.0              0         52      3798     191         0     4041
3.0              0      1733     85      7808       11     9637
4.0              0         553        0      530      2648     3731
Total            0      744209   3883     8686      2659    759437

Overall accuracy [%] = 99.5637557822
Class 0.0 producer accuracy [%] = nan      user accuracy [%] = 0.0      Kappa hat = 0.0
Class 1.0 producer accuracy [%] = 99.685706569      user accuracy [%] = 99.9788417403      Kappa hat = 0.989448144666
Class 2.0 producer accuracy [%] = 97.8109708988      user accuracy [%] = 93.986636971      Kappa hat = 0.93955732643
Class 3.0 producer accuracy [%] = 89.8917798757      user accuracy [%] = 81.0210646467      Kappa hat = 0.808014831443
Class 4.0 producer accuracy [%] = 99.5863106431      user accuracy [%] = 70.9729295095      Kappa hat = 0.708709405769
Kappa hat classification = 0.89693560805

```