



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CAMPUS FLORIANÓPOLIS

CENTRO TECNOLÓGICO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Victor Barbosa do Carmo

**Monitoramento de recursos naturais estratégicos utilizando veículo aéreo não tripulado,
no município de Joinville, Santa Catarina.**

Florianópolis

2020

Victor Barbosa do Carmo

Monitoramento de recursos naturais estratégicos utilizando veículo aéreo não tripulado, no município de Joinville, Santa Catarina.

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Carlos Loch, Dr.

Florianópolis

2020

[Digite texto]

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Carmo, Victor Barbosa do
Monitoramento de recursos naturais estratégicos
utilizando veículo aéreo não tripulado, no município de
Joinville, Santa Catarina. / Victor Barbosa do Carmo ;
orientador, Carlos Loch, 2020.
120 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Gestão Territorial. 3.
Ecologia de Paisagens. 4. Sensoriamento Remoto. 5.
Fotogrametria. I. Loch, Carlos. II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura
e Urbanismo. III. Título.

[Digite texto]

Victor Barbosa do Carmo

**Monitoramento de recursos naturais estratégicos utilizando veículo aéreo não tripulado,
no município de Joinville, Santa Catarina.**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Vera Regina Tângari, Dr.(a)
Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof.(a) Adriana Marques Rossetto, Dr.(a)
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Ripper Kós, Dr.
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Carlos Loch, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2020.

[Digite texto]

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Loch, pela oportunidade de participar do Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, e pelos ensinamentos concedidos durante os quatro anos de desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço à minha esposa, Paola, pela colaboração nos pensamentos que derivaram neste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Sergio e Janette, pelo suporte para que eu pudesse me dedicar à pesquisa.

Agradeço o apoio do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósArq), aos professores que contribuíram para elaboração da tese, à secretaria do curso e aos meus colegas do LabFSG e aos que participaram de disciplinas comigo.

Agradeço à Capes, através do programa de Ciências Forenses (Pró-forense), pelo apoio financeiro com infraestrutura e equipamentos para a pesquisa e pela concessão de bolsa de estudos que viabilizaram meu doutoramento.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

Esta pesquisa pretendeu gerar um método de utilização de veículos aéreos não tripulados (VANT) e câmeras de pequeno formato no monitoramento de recursos naturais estratégicos, servindo como suporte para a aplicação das diretrizes gerais do Estatuto da Cidade. Foi selecionada uma área de 188 ha à montante do ponto de captação de água para abastecimento do município, para identificar as mudanças no uso do solo e a evolução da vegetação nativa. Imagens aéreas de voo tripulado realizado em 2010 foram confrontadas com as imagens obtidas com o VANT em 2017. Foi utilizado o quadricóptero Phantom 4 Pro da DJI com câmera de 20 megapixel, o plano de voo foi elaborado do PrecisionFly com altura de 120m. O ortofotomosaico foi gerado no PhotoScan utilizando o GPS interno do VANT para georreferenciar as imagens. A precisão posicional foi verificada de acordo com a Norma de Execução N.02 do INCRA, utilizando 20 pontos de verificação implantados em solo e as coordenadas coletadas com GNSS/RTK antes da realização do voo. As discrepâncias posicionais variaram entre 0,55m e 1,92m, com erro quadrático médio de 1,20m. Utilizando o software ArcGIS/ESRI foram identificadas três categorias de uso do solo: (1) infraestrutura; (2) áreas agrícolas (3) floresta nativa. As análises mostraram que ao longo de 2 km do rio houve acréscimo de 1,037 ha de vegetação nativa. Conclui-se que os VANT são importantes instrumentos para o gerenciamento do uso e ocupação do solo pela administração municipal, com dinamismo, baixo custo e alta confiabilidade das informações geradas, devido aos avanços em autonomia e segurança das aeronaves, assim como, a resolução dos sensores embarcados e a automação dos programas de processamento das imagens.

Palavras-chave: Gestão Territorial. Ecologia de Paisagens. Sensoriamento Remoto. Fotogrametria.

ABSTRACT

This research aimed to generate a method to use unmanned aerial vehicles (UAVs) and small format cameras in the strategic natural resources monitoring, serving as support for City Statute general guidelines application. An area of 188 ha was selected upstream of the point of water collection to supply the municipality, to identify changes in land use and the native vegetation evolution. Aerial images of manned flight carried out in 2010 were compared with the images obtained with the UAV in 2017. The DJI Phantom 4 Pro quadcopter with a 20 megapixel camera was used, the flight plan was prepared by PrecisionFly at 120 m high. The orthofotomosaic was generated in PhotoScan using the UAV's internal GPS to georeference the images. Positional accuracy was verified in accordance with Execution Standard N.02 of INCRA, using 20 verification points implanted on the ground and the coordinates collected with GNSS / RTK before the flight. Positional discrepancies ranged between 0.55m and 1.92m, with an average square error of 1.20m. Using ArcGIS / ESRI software, three land use categories were identified: (1) infrastructure; (2) agricultural areas; (3) native forest. The analyzes showed that over 2 km of the river there was an increase of 1,037 ha of native vegetation. It is concluded that UAVs are important instruments for land use and occupation management by the municipal administration, with dynamism, low cost and high reliability of generated information, due to the advances in aircraft autonomy and safety, as well as, the resolution of the embedded sensors and the automation of image processing programs.

Keywords: Territorial Management. Landscape Ecology. Remote Sensing. Photogrammetry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo: Brasil; Santa Catarina; Joinville; zona rural da Pirabeiraba; estação de tratamento de água.....	58
Figura 2 - Mapa de suporte físico e vetores de ocupação do Município de Joinville, SC.	64
Figura 3 - Mapa de vetores de ocupação e uso do solo no Município de Joinville, SC.	66
Figura 4 - Mapa da bacia hidrográfica do Alto Rio Cubatão.	71
Figura 5 - Mapa de localização do ponto de captação de água do Rio Cubatão.	73
Figura 6 - Mapa de uso e ocupação do solo ao redor do ponto de catação de água do Rio Cubatão.	75
Figura 7 - Mapa relacionando as parcelas fundiárias com o uso e ocupação do solo ao redor do ponto de captação de água no Rio Cubatão.	77
Figura 8 - Ponto de controle em solo.	79
Figura 9 - Sistema RTK/GNSS, controladora e antena.	79
Figura 10 - Plano de voo do VANT elaborado no programa Precision Flight.	80
Figura 11 - Alinhamento de 1.292 fotos no PhotoScan.	81
Figura 12 - Alinhamento de 886 fotos no PhotoScan.	81
Figura 13 - Distribuição dos pontos de verificação em solo.	82
Figura 14 - Discrepância entre um ponto de verificação em solo e a coordenada obtida com RTK/GNSS.	83
Figura 15 - Mapa do uso do solo na faixa de Área de Preservação Permanente, no ano de 2010.	90
Figura 16 - Restituição do Rio Cubatão em 2010 sobreposta na imagem de 2017. As áreas ocupadas com mata nativa foram marcadas com pontilhados, as áreas ocupadas com agricultura receberam hachuras simples e as áreas com infraestrutura receberam hachuras duplas.	92
Figura 17 - Restituição do Rio Cubatão em 2010 sobreposta na imagem de 2017. As áreas ocupadas com mata nativa foram marcadas com pontilhados e as áreas ocupadas com agricultura receberam hachuras simples.	93

[Digite texto]

Figura 18 - Restituição do Rio Cubatão em 2010 sobreposta na imagem de 2017 As áreas ocupadas com mata nativa foram marcadas com pontilhados, as áreas ocupadas com agricultura receberam hachuras simples e as áreas com infraestrutura receberam hachuras duplas.....	94
Figura 19 - Restituição do Rio da Prata em 2010 sobreposta na imagem de 2017. As áreas ocupadas com mata nativa foram marcadas com pontilhados, as áreas ocupadas com agricultura receberam hachuras simples e as áreas com infraestrutura receberam hachuras duplas.....	95
Figura 20 - Mapa de uso do solo em Área de Preservação Permanente, no ano de 2017.	96
Figura 21 - Operação de álgebra de mapas no software ArcGis para decréscimo de Agricultura em Área de Preservação Permanente, entre os anos de 2010 e 2017.....	99
Figura 22 - Variação no uso do solo para agricultura na Área de Preservação Permanente, entre os anos de 2010 e 2017.....	100
Figura 23 - Variação no uso do solo com acréscimo de mata nativa na Área de Preservação Permanente, localizada nas margens do rio, entre os anos de 2010 e 2017.	101
Figura 24 - Variação no uso do solo com mata nativa na Área de Preservação Permanente, entre os anos de 2010 e 2017, com identificação das parcelas fundiárias.	103
Figura 25 - Identificação de alteração na vegetação em Área de Preservação Permanente no ano de 2010.....	105
Figura 26 - Variação no uso do solo com mata nativa na Área de Preservação Permanente, entre os anos de 2010 e 2017, com identificação das parcelas fundiárias.	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Contribuições do Mapeamento da Paisagem para os Diferentes níveis de Planejamento.	43
Tabela 2 - Quantitativo de publicações sobre monitoramento de vegetação utilizando VANT.	51
Tabela 3 - Quantitativo de publicações que utilizaram diferentes modelos de VANT.	52
Tabela 4 - Quantitativo de publicações em relação ao tipo de vegetação estudada.	53
Tabela 5 - Quantitativo de publicações com os diferentes sensores embarcados em plataforma VANT.	54
Tabela 6 - Síntese da estrutura da tese; objetivo, método, resultado e referencial.	61
Tabela 7 - Distância entre pontos de verificação na ortofoto e	83
Tabela 8 - Memória de cálculo do teste de Shapiro-Wilk gerado no Excel.	84
Tabela 9 - Resultado do teste T-Student gerado no Excel para as 20 discrepâncias.	86
Tabela 10 - Alteração de área nas categorias de uso do solo entre os anos de 2010 e 2017.	97

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Teste de Shapiro-Wilk.....	84
Equação 2 - Erro Quadrático Médio.....	87

Sumário

1.	APRESENTAÇÃO	14
2.	INTRODUÇÃO	16
3.	ASPECTOS DA PESQUISA	19
3.1.	TEMA DA PESQUISA.....	19
3.2.	PROBLEMA	19
3.3.	PERGUNTA DA PESQUISA.....	19
3.4.	HIPÓTESE	20
3.5.	RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA	20
3.6.	INEDITISMO E INOVAÇÃO	20
4.	OBJETIVOS	22
4.1.	OBJETIVO GERAL:	22
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	22
5.	REFERENCIAL TEÓRICO	23
5.1.	A REGULAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO BRASIL	23
5.2.	GESTÃO TERRITORIAL E O CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITARIO	27
5.3.	ECOLOGIA DE PAISAGENS E AS ÁREAS AGRÍCOLAS.....	31
5.4.	CARTOGRAFIA TEMÁTICA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL	36
5.5.	SENSORIAMENTO REMOTO NO MONITORAMENTO DA PAISAGEM.....	40
5.6.	FOTOGRAMETRIA E OS PONTOS DE CONTROLE	44
5.7.	MONITORAMENTO DE VEGETAÇÃO	50
6.	MÉTODO.....	58
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62

[Digite texto]

7.1. AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DA MALHA URBANA SOBRE AS DEMAIS ÁREAS DO MUNICÍPIO	62
7.2. IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS RURAIS NO MUNICÍPIO E SEUS RECURSOS NATURAIS, DE MAIOR VULNERABILIDADE FRENTE À OCUPAÇÃO URBANA ...	68
7.3. VERIFICAÇÃO DA PRECISÃO DO GEORREFERENCIAMENTO DO ORTOMOSAICO ELABORADO A PARTIR DAS IMAGENS COLETADAS COM O VANT.....	78
7.4. ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, OCORRIDAS ENTRE O VOO FOTOGRAMÉTRICO DE 2010 E AS IMAGENS COLETADAS COM O VANT EM 2017.....	89
7.5. ESTABELECIMENTO DE PROTOCOLO PARA UTILIZAÇÃO DO VANT NO MONITORAMENTO DE ÁREAS RURAIS QUE CONTENHAM RECURSOS NATURAIS ESTRATÉGICOS	97
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
9. REFERÊNCIAS	112

1. APRESENTAÇÃO

Esta Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo se insere na Área 1 do PosArq: Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, especificamente na linha de pesquisa: Cartografia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto aplicados na avaliação dos quesitos do Estatuto das Cidades. Está relacionada com o projeto de pesquisa na área de perícia criminal ambiental, desenvolvido através da cooperação entre o Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento e Geoprocessamento da Universidade Federal de Santa Catarina, o Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Superintendência Regional da Polícia Federal do Estado do Rio Grande do Sul. Estas instituições obtiveram a aprovação da Capes para o desenvolvimento de projeto de pesquisa conjunto para apoiar a formação de recursos humanos de alto nível na área de sensoriamento remoto aplicado na mensuração de crimes ambientais. Propõe-se o desenvolvimento de novas metodologias utilizando sensores embarcados em Veículos Aéreos Não Tripulados de pequeno porte (microVANT) com o objetivo de mapeamento de áreas em que a alta resolução da imagem seja essencial para a avaliação dos elementos da paisagem e qualidade ambiental.

O Grupo de Pesquisa em Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, do Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento ao qual esta pesquisa está vinculada possui mais de 30 anos de experiências e pesquisas desenvolvidas. A gestão de recursos estratégicos é uma das linhas de pesquisa do grupo na qual já foram desenvolvidas teses e dissertações (REBOLLAR, 2014; BARÉA, 2014; PAVANELLI, 2013; RAITZ, 2012; GEISLER, 2012; JUNQUEIRA, 2010; PINHEIRO JUNIOR, 2009; AUMOND, 2007; BLEY JUNIOR, 2006; MACHADO, 2004; KARNAUKHOVA, 2003; GOYA, 1999; RECH, 1997; NASCIMENTO, 1994; LOCH, 1993). A gestão de recursos naturais no âmbito municipal demanda a estruturação prévia de informações socioeconômicas, ambientais e geográficas em um cadastro multifinalitário. Somente depois de constituído um cadastro público baseado em informações confiáveis é possível monitorar e gerenciar os recursos importantes para a municipalidade.

A tese de Rebollar (2014) partiu das informações cadastrais para a construção da fase de desenvolvimento de projetos de pagamento por serviços ecossistêmicos, [Digite texto]

especificamente aqueles serviços relacionados a regulação hídrica que podem ser mantidos e potencializados a partir da conservação e recuperação de áreas de mata ciliar. O método proposto na tese de Rebollar (2014) indicou a sequência de ações necessárias para definir os serviços ambientais prioritários para serem gerados e remunerados, concluindo que na Microbacia do Rio Cubatão o recurso hídrico e as matas ciliares eram os principais bens naturais que deveriam ser preservados. Dando continuidade a pesquisa citada, a presente tese tem o objetivo de desenvolver estratégias de utilização de VANT para o monitoramento de recursos florestais em áreas de mata ciliar a jusante do ponto de captação de água para abastecimento urbano. A acurácia deste monitoramento aliado ao cadastro fundiário municipal poderá quantificar os impactos ocorridos nas matas ciliares e identificar a autoria destas ações, seja para o pagamento de serviços ambientais gerados ou para punição por crimes ambientais cometidos. A atribuição de fiscalizar as Áreas de Preservação Permanente na zona rural é delegada ao governo estadual, através do IMA (Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina), mas os prejuízos da derrubada das matas ciliares são sentidos pelos moradores do município. Assim, esta tese apresenta um método para que o governo municipal possa monitorar esses recursos naturais estratégicos.

2. INTRODUÇÃO

A expansão dos aglomerados urbanos e da fronteira agricultura sobre as áreas com recursos naturais causam impactos ambientais que devem ser investigados e seus benefícios ponderados com os danos gerados. Assim, a substituição da vegetação nativa para implantação de lavouras, a instalação de indústrias ou a liberação de produtos tóxicos na natureza geram passivos ambientais e seus efeitos nocivos precisam ser mitigados. Segundo Metzger (2001), a expansão do ambiente construído sobre as áreas vegetadas e o uso inadequado dos recursos naturais gera degradação da qualidade ambiental com reflexos em todos os ecossistemas, tanto urbano, rural e natural. A Organização das Nações Unidas, na Avaliação Ecosistêmica do Milênio demonstrou que em todo o mundo, aproximadamente 60% dos recursos naturais estratégicos para o bem-estar humano estão degradados ou sob forte pressão (ONU, 2005). Dentre estes recursos naturais, o que mais mereceu destaque foi a água potável.

As cidades brasileiras têm históricos de ocupação informal das áreas ambientalmente frágeis, com a degradação do ambiente urbano de difícil resolução, enquanto que, as áreas de expansão urbana são espaços de grande potencial de inovação nas soluções de urbanização, justamente por não ter convertido completamente o território (PONTES et. AL, 2014). As zonas rurais ainda possuem importantes áreas para preservação ambiental: como nascentes, cursos d'água, remanescentes florestais, solos com alta fertilidade natural e outros recursos naturais. É importante qualificar a diversidade e as condições de preservação desses recursos, através do mapeamento do uso do solo e das potenciais fontes de contaminação dos cursos d'água, além do estado de regeneração das matas ciliares e da conectividade entre os remanescentes florestais. Segundo Cabral e Souza (2002), é preciso conhecer a capacidade de uso e ocupação do solo na determinação das áreas destinada à urbanização e à preservação ambiental, como: áreas de preservação permanente (APP), remanescentes florestais, parques e reservas agrícolas.

Em Santa Catarina, a água potável é abundante, mas sua gestão apresenta grandes desafios. As concessionárias de água e esgoto, estadual ou municipal, são responsáveis pelo tratamento e distribuição, mas não podem interferir no gerenciamento das áreas de preservação ambiental que impactam seus recursos. Cabe ao Plano Diretor Municipal, através do zoneamento ecológico-econômico, definir as áreas que serão urbanizadas e as

[Digite texto]

áreas destinadas à proteção de recursos naturais estratégicos. Nas zonas urbanas existe maior controle do uso e ocupação do solo através do micro-zoneamento e cobrança de IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano). Entretanto, nas zonas rurais este controle se restringe ao nível do macro-zoneamento, pois o ITR (Imposto Territorial Rural) é arrecadado pela Receita Federal. Desta maneira, os planos diretores municipais não apresentam planejamento para o uso e conservação dos recursos naturais existentes na zona rural e não tem como monitorar o uso e ocupação do solo nestas áreas. O Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA) e a Secretaria Municipal do Meio Ambiente são responsáveis por fiscalizar as áreas de preservação ambiental. Porém, a fiscalização não é eficiente e os órgãos competentes trabalham apenas através de denúncias.

A gestão dos recursos naturais existentes nas zonas rurais precisa seguir três etapas: mapeamento, planejamento e fiscalização. Segundo Loch e Erba (2007), uma das informações básicas para visualização da estrutura da paisagem na zona rural é o cadastro georreferenciado dos imóveis rurais, mapeando as características das propriedades agrícolas. A lei federal 10.267/2001 para o georreferenciamento de imóveis rurais está estabelecendo uma base para a criação de um Cadastro Técnico Multifinalitário, através do Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais, SINTER (BRASIL, 2001). Inicialmente, será estabelecido o cadastro 2D com as medidas perimetrais e seus detentores. A expectativa é que este cadastro incorpore outros aspectos das propriedades e possa ser considerado 3D. Diversas técnicas de sensoriamento remoto estão sendo utilizadas para a construção deste cadastro através do mapeamento do uso e ocupação do solo. As bases cartográficas podem ser construídas a partir de fotogrametria apoiada em pontos de controle georreferenciados no solo, enquanto que imagens orbitais fornecem informações sobre a cobertura do solo. No entanto, os sensores orbitais apresentam limitações quanto a periodicidade das imagens e sua resolução espacial.

A fotogrametria a partir de aeronaves tripuladas é a técnica mais adequada para o mapeamento das estruturas da paisagem, mas apresenta custo elevado para a maioria dos municípios brasileiros. Em Santa Catarina, poucos municípios fazem este tipo de mapeamento do solo para elaboração de seus planos diretores. O pioneiro foi o município de Joinville, realizando seu primeiro voo fotogramétrico em 1989. Desde [Digite texto]

então, vem atualizando as informações com a realização de mais três voos, sendo o último voo em 2010. O produto gerado tem resolução de 10 cm e permitiu a criação do mapa fundiário na zona rural, mas a escala temporal é muito grande para monitorar o uso do solo e coibir a degradação de recursos naturais. Para o monitoramento da vegetação nativa seriam necessários voos anuais ou em menor intervalo de tempo, mas o custo dos voos tripulados inviabiliza tal periodicidade.

Com o avanço da tecnologia digital os custos para o imageamento da paisagem têm diminuído e alternativas para o monitoramento dos recursos naturais estão sendo desenvolvidas. Atualmente, os Veículos Aéreos Não Tripulados(VANT) tem se popularizado como nova plataforma para o sensoriamento remoto. Diversos equipamentos e aplicações estão sendo testados para fins de mapeamento, monitoramento, fiscalização, vistoria, ou publicidade. Os custos dos equipamentos e programas necessários variam bastante, assim como a qualidade e precisão dos produtos gerados. Cada aplicação requer uma técnica específica ou interação de vários sensores para gerar um resultado adequado e confiável. A grande vantagem dos VANT é a facilidade e o custo de operação, a possibilidade de realizar voos com maior periodicidade do que com as aeronaves tripuladas e ter melhor resolução do que as imagens orbitais.

Esta pesquisa pretende gerar um método de utilização de veículos aéreos não tripulados (VANT) e câmeras de pequeno formato no monitoramento de recursos naturais estratégicos, servindo como suporte para a aplicação das diretrizes gerais do Estatuto da Cidade, Lei Federal 10.257 (BRASIL, 2001). Em seu artigo segundo, esta política urbana aponta diretrizes para ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, tais como, a garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito ao saneamento ambiental para a presente e futuras gerações; e a ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar a poluição e a degradação ambiental. A utilização de imagens aéreas atualizadas e de alta resolução no monitoramento da paisagem são subsídios essenciais para a aplicação destas diretrizes. O VANT será utilizado para monitorar as mudanças no uso do solo e a evolução da vegetação nativa nas áreas de preservação permanente em um setor específico de no máximo 1 quilômetro quadrado, não pretendendo realizar o mapeamento sistemático de todas as áreas rurais do município. A tecnologia das

[Digite texto]

aeronaves melhorou a autonomia e segurança dos voos, assim como, foi aprimorada a resolução dos sensores embarcados e os programas para processamento das imagens estão cada vez mais automatizados. Diante desta realidade, surgem novas possibilidades de gerenciamento do uso e ocupação do solo que podem ser utilizadas pela administração municipal, com dinamismo, baixo custo e alta confiabilidade das informações geradas. Estas três premissas vão nortear o desenvolvimento desta pesquisa de doutorado para o uso de VANT no monitoramento da ocupação do solo em áreas de preservação permanente visando à manutenção de recursos naturais estratégicos para a manutenção da qualidade do ambiente adequada para a vida humana.

3. ASPECTOS DA PESQUISA

3.1. TEMA DA PESQUISA

O tema desta pesquisa está relacionado com a utilização de imagens aéreas de alta resolução no estudo de ecologia da paisagem, servindo como suporte para a aplicação das diretrizes gerais do Estatuto da Cidade (Lei Federal 10.257/2001). Técnicas de sensoriamento remoto e de fotogrametria foram utilizadas para mapear os elementos da paisagem na zona rural, de modo a obter informações quantitativas e qualitativas sobre sua estrutura atual e evolução ao longo do tempo.

3.2. PROBLEMA

O monitoramento da ocupação antrópica na paisagem, para verificar se as diretrizes estabelecidas no Zoneamento Ecológico Econômico de um município estão sendo cumpridas, requer imagens aéreas de áreas específicas e em curtos intervalos de tempo. Porém, a complexidade e o custo de voos tripulados para obtenção destas imagens aéreas inviabilizam a obtenção de tal produto.

3.3. PERGUNTA DA PESQUISA

O planejamento e o monitoramento do uso e ocupação do solo nas áreas rurais de um município, em processo de expansão urbana podem ser viabilizados através da obtenção de imagens aéreas com micro VANT?

[Digite texto]

3.4. HIPÓTESE

O uso de micro VANT como instrumento do sensoriamento remoto na obtenção de imagens aéreas possui precisão e custos adequados para o monitoramento da paisagem em áreas rurais como suporte ao Zoneamento Ecológico Econômico de municípios.

3.5. RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

A relevância desta pesquisa reside em propor um método que permita aos municípios gerenciar seus recursos naturais estratégicos a nível local e, a partir disto, requerer os recursos arrecadados com o ITR. Devido à dimensão do país e diversidade de biomas o controle do uso e ocupação do solo das áreas rurais deveria estar integrado aos Planos Diretores Municipais e não aos órgãos federais, INCRA e Receita Federal. O monitoramento da ocupação antrópica na paisagem necessita de imagens aéreas em curta escala temporal, porém a obtenção de imagens de alta resolução a partir de voos tripulados ou sensores orbitais representa um custo elevado para a maioria dos municípios brasileiros. O uso de micro VANT poderá viabilizar o monitoramento da paisagem visando o cumprimento das determinações do Zoneamento Ecológico Econômico de municípios, devido ao baixo custo do equipamento e rapidez na obtenção das imagens. Isto representa um marco na forma de obtenção de dados multifinalitários porque permite a tomada de medidas quantitativas e qualitativas de maneira dinâmica e com baixo custo.

3.6. INEDITISMO E INOVAÇÃO

Os principais aspectos de ineditismo e inovação desta tese se referem ao emprego de novas técnicas de sensoriamento remoto com o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) no ordenamento ambiental municipal. A realização de levantamentos com o uso de sensores de pequeno porte representa uma inovação dentro do ordenamento das áreas rurais, porque permite a tomada de informações sobre o uso e ocupação do solo de maneira dinâmica, com precisão adequada e com baixo custo.

As imagens coletadas com o VANT serão confrontadas com a base cartográfica estabelecida a partir de câmeras fotogramétricas embarcadas em voos tripulados. Neste estudo será avaliada a acurácia posicional do georreferenciamento nas imagens do [Digite texto]

VANT utilizando 20 pontos de verificação em solo. Esta estratégia poderá dispensar a implantação de pontos de controle em solo durante o voo com o VANT, que representam custo elevado para o monitoramento. Esta aplicação de VANT será testada em Joinville, pois o município possui uma base cartográfica certificada e imagens históricas em alta definição.

A partir da validação dos resultados da pesquisa a metodologia poderá ser utilizada em outros municípios, de forma a construir uma linha de base e posteriormente iniciar o monitoramento. O monitoramento do Zoneamento Ecológico Econômico em escala municipal demanda o envolvimento de profissionais de diversas áreas. Para o desenvolvimento desta tese será necessária a contribuição de profissionais das áreas de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Agrônoma, Engenharia de Agrimensura Engenharia Cartográfica e Sensoriamento Remoto, indo ao encontro da inter e multidisciplinaridade enfatizada nas diretrizes para a Educação Superior e Pós-Graduação brasileira.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GERAL:

Desenvolver método para a utilização de micro VANT no monitoramento de recursos naturais estratégicos na paisagem rural, visando o cumprimento das diretrizes do Zoneamento Ecológico Econômico Municipal.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a) Avaliar a expansão da malha urbana sobre as demais áreas do município;
- b) Identificar áreas rurais no município e seus recursos naturais, de maior vulnerabilidade frente à ocupação urbana;
- c) Verificar a precisão do georreferenciamento do ortofotomosaico elaborado a partir das imagens coletadas com o VANT;
- d) Analisar as alterações no uso e ocupação do solo, ocorridas entre o voo fotogramétrico de 2010 e as imagens coletadas com o VANT em 2017;
- e) Estabelecer protocolo para utilização do VANT no monitoramento de áreas rurais que contenham recursos naturais estratégicos.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1. A REGULAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO BRASIL

No Brasil, leis relacionadas ao planejamento do uso e ocupação do solo existem desde o início da colonização portuguesa. A primeira legislação deste tema foi promulgada no ano de 1375 e tornou pública todas as terras do reino. Esta situação se estendeu às colônias e obrigou seus detentores a torná-las produtivas ou perderiam sua posse para outras pessoas que quisessem lavrá-las. Assim, as terras brasileiras a princípio pertenceram à Coroa Portuguesa, depois ao Império e à República, sempre mantendo a obrigatoriedade de ocupação para a garantia da posse (MEIRELLES, 1994).

Atualmente, o planejamento e a fiscalização do uso e ocupação das terras agrícolas no Brasil se mantêm integralmente a cargo do Governo Federal, baseando-se na Lei Federal 4.504/1964, denominada Estatuto da Terra (BRASIL, 1964). Esta Lei tem o intuito de regular os direitos e obrigações concernentes aos imóveis rurais para a promoção da Política Agrícola Nacional e execução da Reforma Agrária. Nela, o Instituto Brasileiro de Reforma Agrária fica encarregado de realizar estudos para o zoneamento do país em regiões homogêneas do ponto de vista sócio-econômico e das características da estrutura agrária. Os zoneamentos realizados pelo INCRA têm o objetivo de estabelecer as diretrizes da política agrária a ser adotada em cada região do país e programar a ação dos órgãos governamentais para desenvolvimento do setor rural.

O Estatuto da Terra (Lei Federal 4.504/1964) também estabeleceu a cobrança do Imposto Territorial Rural (ITR), calculado com base na área total do imóvel rural, no valor da terra nua e no grau de utilização da terra. Como na época da promulgação da lei não havia, e ainda não há, um cadastro das propriedades rurais de todo o país, ficou definido que o ITR seria um imposto declaratório. Conforme o § 3º, do Art. 49, da referida lei, as declarações são apresentadas sob inteira responsabilidade dos proprietários do imóvel rural, e no caso de dolo ou má-fé, os obriga ao pagamento em dobro dos tributos devidos, além das multas decorrentes e das despesas com as verificações necessárias. O § 2º do mesmo artigo, determina que o órgão responsável [Digite texto]

pelo lançamento do imposto possa efetuar a revisão das declarações apresentadas pelos proprietários procedendo-se verificações "*in loco*" se necessário.

Devido a grande dimensão do Brasil e do elevado número de propriedades rurais em todo o território talvez seja inviável que um único órgão federal esteja responsável pelo gerenciamento do uso e ocupação do solo das propriedades rurais e fiscalização do ITR declarado. Diante da dificuldade do INCRA em gerenciar o ITR, em 1996 foi promulgada a LEI Nº 9.393/96 estabelecendo no Art. 15 que: “Compete à Secretaria da Receita Federal a administração do ITR, incluídas as atividades de arrecadação, tributação e fiscalização.”

Apesar de a Receita Federal passar a gerenciar o ITR, ainda está em vigor o Decreto 62.504 de 1968 (Brasil, 1968) determinando que os desmembramentos destinados à instalação de estabelecimentos comerciais, industriais ou para instalação de serviços comunitários na zona rural dependem de prévia autorização do Instituto Brasileiro de Reforma Agrária. Diante disto, surge o questionamento: por que o município gerencia o uso e ocupação das áreas urbanas e cobra IPTU das propriedades, mas as áreas rurais são regidas pelo INCRA e o ITR é um imposto federal?

Com o objetivo de normatizar o planejamento do território nacional no nível dos municípios, já na década de 1980 foi criado o Programa Nacional de Política Fundiária através do Decreto 87.700/1982, que indicou a necessidade de desenvolver zoneamentos nos municípios para reger a ocupação do território (BRASIL, 1982). Ainda nesta década, a Constituição Federal de 1988, em seu artigo 182 que tratou da Política Urbana, apontou o “bem-estar de seus habitantes” como uma garantia constitucional. Este mesmo artigo indica o plano diretor como instrumento básico a ser utilizado pelos municípios para o planejamento de seu território e para alcançar os objetivos da referida política (BRASIL, 1988).

Somente no século seguinte foi promulgada a Lei Federal 10.257/2001, denominada de Estatuto da Cidade, trazendo as especificações de como o planejamento municipal deveria ser desenvolvido no país e obrigando os municípios a elaborar seu Plano Diretor (BRASIL, 2001). Esta legislação estabeleceu “normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental”. Para

alcançar estes objetivos, foram estabelecidas dezesseis diretrizes dentre as quais tem relevância para esta discussão:

I – garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;

IV – planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;

VI – ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar: c) o parcelamento do solo, a edificação ou o uso excessivos ou inadequados em relação à infraestrutura urbana;

VII – integração e complementaridade entre as atividades urbanas e rurais, tendo em vista o desenvolvimento socioeconômico do município e do território sob sua área de influência;

VIII – adoção de padrões de produção e consumo de bens e serviços e de expansão urbana compatíveis com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica do município e do território sob sua área de influência;

XII – proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico. A lei ainda apresenta no artigo 4º instrumentos como aqueles referentes ao planejamento municipal, em especial: a) plano diretor; b) disciplina do parcelamento, do uso e da ocupação do solo; c) zoneamento ambiental (BRASIL, 2001).

Apesar da extensão e das inovações presentes nesta legislação, verificou-se que sua implantação na última década apresentou uma clara tendência ao ordenamento das

[Digite texto]

áreas contidas no perímetro urbano, relegando ao segundo plano os demais componentes do território municipal (MESQUITA; FERREIRA, 2017; MOURA FILHO, 2010; PERES; CHIQUITO, 2012; VEIGA, 2006). Em Santa Catarina, e no Brasil, existe uma confusão corrente sobre as expressões município, cidade e área urbana. A legislação brasileira utiliza a expressão cidade como sinônimo de município, ou seja, o território situado dentro dos limites municipais incluindo áreas urbanas, rurais e áreas verdes de proteção ambiental. Essa utilização pode ser comprovada no parágrafo primeiro do artigo 182 da Constituição Federal que define a obrigatoriedade do plano diretor para “cidades com mais de vinte mil habitantes” (BRASIL, 1988). Por outro lado, em nível de senso comum, a população utiliza a expressão cidade enquanto sinônimo de área urbana. Essa confusão é agravada pelo fato dos gestores públicos e políticos, muitas vezes, possuírem uma racionalidade limitada (SIMON, 1957; SOUZA, 2006) sobre os temas de planejamento e gestão em função da falta de formação técnica nas áreas de arquitetura, urbanismo ou engenharia. Nestes casos, o entendimento dos responsáveis pelo planejamento e gestão dos municípios coincide com aquele apresentado pela população fazendo com que as ações públicas para o planejamento “das cidades” estejam voltadas unicamente para a área urbana negligenciando ações para as áreas verdes e rurais.

Ainda na década de 2000 foi promulgado o Decreto Federal 4.297/2002 que deu poderes aos municípios para ordenar todas as áreas regrido o uso e a ocupação do solo (BRASIL, 2002). Esta lei denominada Zoneamento Ecológico Econômico constitui-se de um esforço Federal para definir um “instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelecendo medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população”(BRASIL, 2002).

O Zoneamento deve ser utilizado na elaboração dos planos diretores especialmente no que se refere à distribuição espacial das atividades econômicas, “levando em conta a importância ecológica, as limitações e as fragilidades dos ecossistemas, estabelecendo vedações, restrições e alternativas de exploração do território”.Mais recentemente, a Lei Complementar 140/2011, fixou normas de [Digite texto]

cooperação entre a União, os Estados e os municípios para a proteção das paisagens (BRASIL, 2011). O Artigo 9º destacou que definir espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos é uma ação administrativa que pode ser empreendida pelos Municípios.

Portanto, os municípios dispõem de instrumentos legais (Zoneamentos Ecológico-Econômico, Plano Diretor) e poderes (aprovação de parcelamentos do solo, definição de espaços territoriais a serem protegidos) que permitem controlar o cumprimento dos parâmetros adequados para garantir o bem-estar dos cidadãos. Estes dispositivos legais permitem o planejamento das diversas áreas que compõem o território municipal, para além das áreas urbanizadas. Assim, os governos municipais podem definir níveis de proteção para as áreas rurais em prol do aproveitamento coletivo da multifuncionalidade agrícola e da paisagem.

Para que a gestão das áreas rurais fique a cargo da municipalidade é preciso que o ITR seja controlado pelo município. O INCRA e a Receita Federal têm dificuldades de verificar “in loco” em todo o país, as informações declaradas anualmente no ITR. O Ministério do Meio Ambiente também tem dificuldades em fazer cumprir o Código Florestal de 1965; o Cadastro Ambiental Rural é declaratório e a baixa resolução das imagens de satélite utilizadas pelo sistema não permite a identificação precisa dos vértices das propriedades rurais, nem os cursos d’água com menos de 10 metros de largura e o uso das áreas de preservação permanente em suas margens. Diante deste cenário, é mais coerente que o gerenciamento do uso e ocupação do solo nas propriedades rurais e a preservação da vegetação nativa das matas ciliares sejam atributos da municipalidade. Desta maneira, cada município poderia definir as áreas prioritárias para preservação de recursos naturais estratégicos e monitorar as ações antrópicas no meio rural através da confrontação das informações declaradas no ITR com as fiscalizações realizadas “in loco”.

5.2. GESTÃO TERRITORIAL E O CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITARIO

A Gestão é a ação de prever, organizar, comandar, coordenar e controlar informações e recursos físico-pessoais para alcançar algum objetivo pré-definido

[Digite texto]

(CHIAVENATO, 2000; KOONTZ; O'DONNELL, 1964). Territórios são espaços geográficos determinados que apresentam alguma coerência interna (THERY; MELLO, 2008). Portanto, a gestão de um território é definida pela forma como os recursos naturais de um espaço físico pré-determinado serão alocados entre usos econômicos ou de conservação. Para que seja possível realizar esta definição é necessário inicialmente conhecer o território e seus recursos. Assim, a Gestão Territorial depende de informações espaciais confiáveis e acessíveis aos tomadores de decisão (LOCH, 2002).

A obtenção de dados espaciais confiáveis é o ponto central para a eficiência da Gestão Territorial (LOCH, 2002). A obtenção e gerenciamento deste tipo de informações é um desafio devido a sua complexidade e inter-relacionamento. Diante disso, muitos países utilizam sistemas cadastrais para tornar acessíveis os conhecimentos necessários para o planejamento do uso do solo. Um sistema cadastral é o registro metódico de parcelas (terras, melhorias, direitos) que existem em determinado território composto por mapas temáticos (LOCH; ERBA, 2007). Inicialmente, estes sistemas eram utilizados apenas para demarcação imobiliária. A evolução dos sistemas cadastrais permitiu sua utilização para o planejamento do uso do solo no que diz respeito ao desenvolvimento econômico, ao bem-estar social e ao equilíbrio ecológico em muitos países (LOCH, 2002; JENSEN, 2002).

No Brasil, o Ministério da Fazenda está criando um cadastro nacional para gerir a posse da terra e permitir o planejamento do uso do solo. Em 2016 foi promulgado o decreto n. 8.764/2016, instituindo o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER), “ferramenta de gestão pública que integrará, em um banco de dados espaciais, o fluxo dinâmico de dados jurídicos produzidos pelos serviços de registros públicos ao fluxo de dados fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios.” (BRASIL, 2016). Neste sistema, cada imóvel terá um identificador unívoco em âmbito nacional, onde as demais informações referentes serão incorporadas. Estas informações cadastrais serão anexadas em níveis gráficos por camadas, sempre baseadas no georreferenciamento da parcela. Sendo que, os padrões de bases cartográficas, de dados georreferenciados e de metadados deverão estar em conformidade com o disposto nas normas técnicas da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR). Os órgãos e entidades da administração pública federal poderão

[Digite texto]

estabelecer critérios de planejamento e de gestão territorial na forma de cadastros temáticos no SINTER. Cabe à Secretaria da Receita Federal do Brasil instituir os comitês temáticos (integrados por especialistas das entidades públicas envolvidas) para elaboração do Manual Operacional, o qual irá descrever como as informações serão integradas ao sistema. O primeiro comitê instituído foi o Comitê Temático Registral e Notarial (BRASIL, 2017), que irá relacionar o Serviço Eletrônico de Comunicação com as Centrais de Registro de Imóveis, de Títulos e Documentos e de Notas. Mediante convênio celebrado com a Secretaria da Receita Federal do Brasil, o SINTER pode fornecer infraestrutura de hospedagem de dados para as administrações dos Estados e dos Municípios produtores e mantenedores de dados geoespaciais enquanto não dispuserem de recursos tecnológicos, financeiros ou administrativos para esta atividade.

Mesmo pequenos municípios apresentam grande volume de informações territoriais de difícil gerenciamento, devido a esta dificuldade foram desenvolvidos os Cadastros Técnicos Multifinalitários (CTM), como o SINTER. Estes sistemas cadastrais são, atualmente, elaborados em meios computacionais permitindo sistematizar e disponibilizar informações através de mapas temáticos que apresentam alta capacidade de representação, comunicação e avaliação da realidade. Estes mapas são construídos a partir de informações provenientes do sensoriamento remoto ancoradas em atividades de campo (LANG; BLASCHKE, 2009).

O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) é um registro público sistematizado dos bens imobiliários de uma jurisdição, contemplado nos seus três aspectos fundamentais: o jurídico, o geométrico e o econômico (LOCH, 2005). A utilização do CTM como fonte de informação em estudos ambientais é de extrema relevância para se identificar as informações observadas no imageamento das regiões. Os aspectos econômicos do CTM determinam o valor do imóvel, a atividade desenvolvida e o valor do imposto gerado. Os aspectos geométricos determinam a localização, a forma e as dimensões de cada parcela. E os aspectos jurídicos determinam a relação de uso e ocupação da parcela.

Segundo Loch (2005), o cadastro é o que dá suporte às alterações legais que regem a ocupação do solo, uma vez que o conhecimento da realidade local permite ao avaliador e planejador ponderar se a evolução das ações antrópicas é coerente com a sustentabilidade das condições ambientais e o uso dos recursos naturais renováveis e

[Digite texto]

não-renováveis de um território. Um CTM bem estruturado, completo e atualizado, além de constar os aspectos socioculturais que permitam delinear o perfil do proprietário ou possuidor, deve permitir o monitoramento dos outros aspectos da estrutura da paisagem relacionados com a dinâmica dos ecossistemas locais, como a identificação de redes hidrográficas, cobertura vegetal e áreas de preservação.

A elaboração de um mapeamento cadastral fornece conhecimentos detalhados sobre a estrutura física da área estudada e dos elementos contidos nela. A base cartográfica no CTM é a representação dos elementos planialtimétricos fundamentais de uma porção do território, com alta precisão métrica capaz de servir de referência a estudos cadastrais e projetos de engenharia (LOCH; ERBA, 2007). As técnicas de mapeamento cartográfico para representar os elementos da paisagem com precisão são baseadas nos princípios da aerofotogrametria. O mapeamento cadastral regional apresenta uma enorme quantidade de dados que precisam ser coletados com a precisão adequada à legislação federal, em curto espaço de tempo e com o menor custo possível. Este tipo de cadastramento precisa ser realizado a partir de todas as técnicas de sensoriamento remoto disponíveis, de modo que se produzam mapas em diferentes escalas e com alta definição espacial.

O Cadastro Técnico Multifinalitário representa um vasto campo para estudos da ecologia de paisagens, abrangendo além das informações técnicas de medições do imóvel até o mapeamento temático de cada gleba. Desta maneira é possível identificar rapidamente a parcela fundiária, uso do solo, geologia, perfil planialtimétrico, tipo de solo, rede viária, rede elétrica, a legislação que rege a ocupação territorial e, finalmente, a economia que se pode extrair da terra. Além disto, a consulta ao CTM como prova documental em laudos ambientais, aliado às técnicas de sensoriamento remoto, constitui-se em prova irrefutável para identificar a parcela geradora do dano e as atingidas, o autor do dano ambiental e os prejudicados pelo ato.

A implantação de elementos construídos é uma atividade modificadora do meio ambiente, muitas vezes gerando intervenções significativas no território em que está inserida. A competição por uso e ocupação do solo nas cidades, seja com a utilização de áreas públicas ou privadas, é altamente acirrada pela necessidade de alocação da infraestrutura urbana, bem como implantação de empreendimentos privados e locais de moradia (TÂNGARI, 2008). A regulamentação destas atividades e sua fiscalização

[Digite texto]

pelos governos municipais apresentam grandes dificuldades quanto à obtenção de informação das áreas estudadas, principalmente porque dependem da utilização de técnicas que permitam executar um diagnóstico preciso e conclusivo sobre situações que envolvem a qualidade ambiental nas cidades.

Visando organizar o uso dos recursos naturais disponíveis em um recorte espacial, Sánchez (2012) propõe o ordenamento ambiental, como nível de planejamento que considera as potencialidades e vulnerabilidades dos sistemas naturais locais. Isto significa a busca pela ordem na utilização do espaço sob planejamento, sem criar um desequilíbrio irreversível na paisagem. Enfim, é a busca pela sustentabilidade ecológica na utilização do território, de modo a garantir a integridade ambiental e a manutenção dos serviços ecossistêmicos.

5.3. ECOLOGIA DE PAISAGENS E AS ÁREAS AGRÍCOLAS

A expressão paisagem é utilizada para representar a ideia dos efeitos físicos dos diferentes usos e ocupações do solo no espaço geográfico. A caracterização de um ecossistema inicia com a análise de sua estrutura física e o arranjo funcional entre seus componentes. O estudo da estrutura, da função e das mudanças em um território heterogêneo composto por ecossistemas que se interagem é definido como ecologia de paisagem (FORMAN; GODRON, 1986). Este termo foi utilizado pela primeira vez por Troll em 1939, em seu artigo “Mosaico de Fotografias Aéreas e Pesquisa Ecológica no Campo”.

Abordando diferentes teorias sobre ecologia de paisagens, Metzger (2001) relaciona a análise espacial da geografia com o estudo funcional da ecologia. Este modelo procura entender como diferentes padrões de organização espacial das unidades de paisagem influenciam o funcionamento global dos ecossistemas. O autor propõe a aplicação da teoria de paisagem justamente na análise do mosaico antropizado de edifícios e espaços livres, de áreas agrícolas e florestas. Salienta ainda que, o arranjo espacial da heterogeneidade de habitats pode representar condições mais ou menos favoráveis para determinada espécie ou comunidade estudada.

[Digite texto]

Estas teorias de ecologia da paisagem podem ser transpostas para o planejamento municipal, levando em consideração que em um ambiente antropogênico a regulação é determinada pelo homem através de leis, normas, fiscalização e punição. Planejar significa definir a solução para um conjunto de problemas através da revisão de antecedentes, do delineamento de métodos e procedimentos eficientes para a tomada de decisão racional e embasada (EBERL, 1982). Segundo Loch (1993), o planejamento de um território deve partir da organização espacial, considerando as características físicas que apontam a forma como o espaço pode ser ocupado racionalmente. A união dos conceitos da ecologia e da compreensão desta regulação humana deu origem à abordagem geográfica em ecologia da paisagem (OPDAM; FOPPEN; VOS, 2002; METZGER, 2001; NAVEH; LIEBERMAN, 1994). Suas aplicações práticas estão no planejamento da ocupação territorial e na solução de problemas ambientais.

A compreensão da influência das modificações estruturais da paisagem pode trazer subsídios para resolver problemas relacionados com a ocupação inadequada do solo durante o processo de expansão dos centros urbanos, de forma a compatibilizar o uso dos recursos naturais com a sustentabilidade financeira, social, cultural e ecológica nas cidades. A partir da caracterização das estruturas da paisagem e função desempenhada pelos seus componentes é possível planejar e monitorar as mudanças no ambiente do território municipal. Baseando-se na configuração espacial da paisagem, o fator chave na determinação dos processos ecológicos é o tamanho da mancha e o grau de isolamento ou conectividade entre o mesmo tipo de unidade.

A importância do conceito de ecologia da paisagem como subsídio ao planejamento territorial pode ser percebida no artigo de Moraes (2009), no qual é descrita a relação entre a gestão urbana e ambiental brasileira. O autor destaca a seletividade espacial do território urbano, apresentando manchas de áreas ambientalmente adequadas às pessoas em meio a entornos altamente degradados. Salienta ainda que a proximidade destas manchas impõe problemas mútuos de falta de água e acondicionamento do lixo. Isto leva à necessidade de elaboração de planos governamentais que englobem uma área maior da paisagem do que apenas o centro urbano do município. A perspectiva de planejamento territorial apresentada por Moraes

[Digite texto]

(2009) está centrada na qualidade de vida das pessoas, qualificando o morador como alvo de ação do planejamento e não o espaço diretamente.

O foco do planejamento de um território deve estar na paisagem cultural e na inter-relação do homem com seu espaço vital (METZGER, 2001; WU, 2014). Quando se usa a qualidade de vida como paradigma no planejamento urbano é preciso avaliar os espaços de intervenção através do potencial econômico de cada unidade da paisagem e seus limitantes. O potencial econômico das unidades de paisagem não está restrito ao valor do metro quadrado do lote urbanizado, mas também ao potencial de geração de serviços ecossistêmicos de uma área com vegetação e a valorização dos lotes adjacentes. Para compreender melhor esta questão sugiro consultar o livro “O Valor da Natureza: economia e política dos recursos naturais”, do autor José Aroldo Mota. Pesquisas na área de ecologia da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986; WU; HOBBS, 2002; METZGER, 2001) apontam que uma paisagem saudável e equilibrada é composta por um mosaico de diferentes usos do solo e configurações.

Os planos de ocupação do território precisam estar norteados pelos anseios do homem, de habitar, trabalhar, se deslocar, sem esquecer as necessidades de recrear, respirar ar puro, regulação térmica e fruição da natureza. Neste sentido, Ribeiro e Teixeira (2007) analisaram o rápido processo de ocupação das áreas livres nas grandes cidades brasileiras, que desconsideram as potencialidades naturais do espaço. Usando o caso do município de Belo Horizonte, as autoras enfatizam a importância das áreas livres para minimizar a homogeneidade da mancha constituída por edifícios e vias asfaltadas. O equilíbrio entre os espaços livres e os construídos torna a paisagem mais fluída, gerando variáveis ambientais, estéticas e funcionais que podem ser representadas pela melhoria da qualidade ambiental das cidades (RIBEIRO; TEIXEIRA, 2007).

A aplicação da teoria de ecologia da paisagem no planejamento territorial e no zoneamento ecológico-econômico dos municípios precisa considerar esta análise de mosaico antropizado de edifícios e espaços livres, conciliando a expansão urbana com as áreas agrícolas e os ambientes naturais. A relevância do mosaico de paisagens para a qualidade ambiental de um território aponta para a necessidade de englobar todas as áreas existentes em um município na mesma lógica de planejamento.

[Digite texto]

As áreas verdes são consideradas estratégias de planejamento capazes de melhorar a qualidade de vida dos habitantes das áreas urbanas. Em muitas situações podem valorizar economicamente as propriedades em seu entorno. No entanto, existem diversas áreas verdes que compõem vazios urbanos, desvitalizados, sem uso ou mesmo espaços que aumentam a insegurança dos moradores. Jacobs (2011) estudou diversas áreas verdes nos Estados Unidos constatando que os benefícios não são automáticos, mas derivam de investigação e planejamento por parte dos gestores públicos na definição da localização de tais espaços. Segundo esta autora, as áreas verdes precisam ser definidas em locais usados previamente pela população e, a partir de um espaço com uso definido, devem ser melhorados e incrementados no sentido de potencializar os benefícios.

Os espaços rurais podem ser compreendidos no âmbito do planejamento municipal como áreas verdes e espaços de amortecimento dos impactos urbanos sobre o ambiente natural. O conceito de multifuncionalidade aponta o potencial das paisagens rurais para a produção de externalidades na forma de commodities (remunerados pelos mercados) e não-commodities (não remunerados) (LAURENT, 1999). As externalidades não remuneradas incluem tanto as funções ecológicas, como sequestro de carbono, biodiversidade e ciclagem de nutrientes, quanto às funções culturais, como entretenimento, preservação histórica e qualidade visual (LOVELL, 2010). As pesquisas realizadas sobre a multifuncionalidade das paisagens rurais brasileiras utilizaram este conceito para a compreensão dos processos existentes no meio rural e apontaram seus desdobramentos para formulação de políticas públicas (CARNEIRO, 2002; LOCH et.al., 2015).

Apesar da relevância ambiental, cultural e econômica dos espaços rurais, a pressão exercida pela expansão urbana normalmente avança sobre estes espaços. No planejamento, os municípios devem definir a direção de sua expansão e, portanto, decidir quais espaços rurais serão urbanizados, quais deverão ser protegidos por conta de seu potencial produtivo e quais espaços deverão ser reflorestados para a melhoria da qualidade do ambiente disponibilizada aos habitantes. Saraiva (2005) e Small (1999) indicam alguns elementos que podem ser considerados na avaliação das múltiplas funções de um agro ecossistema e apontar para a relevância de seu ordenamento pela gestão municipal:

[Digite texto]

- a) A área contém elementos considerados relevantes ao nível natural ou cultural?
- b) Contém elementos raros ou pouco frequentes na paisagem, como lagos, zonas úmidas ou serras?
- c) Contribui para a preservação de uma área mais vasta ou de um corredor ecológico?
- d) Tem valor cênico elevado?
- e) É utilizada comprovadamente para lazer pela população?
- f) É apropriada para um conjunto de atividades no exterior?
- g) Tem escala e configuração topográfica que assegure a preservação da paisagem, ou seja, que evite intrusões visuais relacionadas às urbanizações existentes ou futuras?
- h) Está situada a menos de 90 minutos por estrada da área metropolitana central?
- i) Encontra-se numa área ameaçada em curto prazo por operações de especulação imobiliária ou instalação de indústrias etc.?

O autor propõe que um agroecossistema, produtor de alimentos e fibras, que atenda aos questionamentos destacados acima, apresenta alto potencial para a melhoria da qualidade de vida e deve ser ordenado através do planejamento municipal.

Segundo Tocchetto (2010), a avaliação de um bem ecológico deve levar em consideração fatores como a insubstituíbilidade, vulnerabilidade, grau de ameaça, representatividade e criticabilidade do recurso natural. Quando se pretende avaliar todos os impactos causados aos meios e ao ambiente há grande dificuldade em mensurar seus feitos no ecossistema local e regional. Por exemplo, a avaliação dos prejuízos causados como a perda de biodiversidade ou de solo agrícola classe A depende de conhecimentos ecológicos que considerem as atividades econômicas desenvolvidas na zona rural em relação à diversidade sociocultural regional. Comumente as avaliações de impacto ambiental têm-se limitado a avaliar o dano e quantificar os custos de recuperação do ambiente afetado, enquanto que os prejuízos socioeconômicos sofridos nas propriedades rurais não são retratados (TOCCHETTO, 2010). A gestão do território requer o acompanhamento sistemático da dinâmica dos fenômenos que interferem no espaço

[Digite texto]

físico, exigindo mapas da área de interesse de maneira que os gestores visualizem o presente e entendam as mudanças temporais (LOCH; ERBA, 2007).

5.4. CARTOGRAFIA TEMÁTICA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

Toda intervenção humana sobre a superfície terrestre gera alterações nos ecossistemas locais e regionais. Essas alterações estão diretamente relacionadas às características do uso e ocupação do solo e são representadas pela implantação de obras de infraestrutura, atividades agrícolas e assentamentos urbanos e industriais. Em qualquer uma destas categorias de uso do solo haverá um impacto ao meio ambiente, alguns serão pouco significativos e outros serão de grande magnitude. A avaliação de qualquer atividade humana que se relacione com o espaço físico terrestre, requer primeiramente o conhecimento deste território, seja ele uma zona rural, urbana ou uma região. Desta maneira, é imprescindível que se tenha alguma forma de visualização da superfície física onde desejamos avaliar a intervenção humana na paisagem. Para alcançar este objetivo precisamos de um mapeamento cartográfico detalhado da região, com a identificação e dimensão de seus constituintes.

O mapeamento cartográfico é o processamento de uma coleção de dados ou informações com o objetivo de se obter uma representação gráfica da realidade em solo (LOCH, 1990). As características com que se pretende trabalhar são representadas em um mapa através da associação de símbolos, cores e outros recursos gráficos. A decisão de elaboração de um mapa temático parte sempre da necessidade de visualizar e gerenciar informações específicas sobre um espaço geográfico. Portanto, o objetivo pré-estabelecido da finalidade do mapa é que irá determinar quais informações irão constar nele e qual a escala mais adequada para visualização das especificidades.

De acordo com Loch e Erba (2007), os procedimentos para a execução de um mapa temático iniciam com o levantamento das informações existentes sobre a área em estudo. A primeira informação básica necessária é a carta topográfica do terreno, onde estão representados as dimensões geográficas planimétricas e altimétricas. A partir de então esta carta servirá como base para a alocação de outras características como, a rede hidrográfica, cobertura vegetal, geologia, estradas e edificações.

[Digite texto]

Há em cada recorte de paisagem uma série de escalas de mapeamento que podem ser analisadas, isto ocorre independentemente do tamanho do recorte selecionado. Na cartografia temática utilizada no monitoramento ambiental, podem existir diversos níveis de escala de análise dos dados, este escalonamento é conhecido como profundidade temática e de acordo com a profundidade que se deseja analisar em cada classe é definida a Resolução Temática da carta que se pretende investigar (LANG;BLASCHKE, 2009). Por exemplo, uma carta temática de uso e ocupação do solo em escala de 1:50.000 define classes de áreas urbanas, áreas agrícolas e áreas protegidas. Em um nível mais profundo de análise em 1:10.000 as áreas protegidas podem ser classificadas como vegetação rasteira e como floresta. Em uma escala de 1:1.000 a vegetação rasteira pode ser subdividida em áreas de banhado e áreas de campo, e as florestas subdivididas em áreas de estágios de regeneração inicial, médio e avançado. Cada escala de mapeamento irá representar características físicas específicas, desde a localização dos limites municipais até as parcelas fundiárias.

A detecção de mudanças em uma determinada área terrestre depende inicialmente da caracterização dos componentes do ecossistema que se pretende estudar. Segundo Lang e Blaschke (2009), a caracterização de um ecossistema na paisagem inicia-se com a análise de sua estrutura física e o arranjo funcional entre os componentes do sistema. Os componentes como rochas, solo, água, clima, fauna e flora determinam a Estrutura Horizontal da Paisagem; e o modo como o arranjo destes componentes se interagem dentro do ecossistema e como os ecossistemas interagem com os ecossistemas vizinhos determina a Estrutura Vertical da Paisagem. A partir da caracterização destas duas estruturas da paisagem é possível identificar e mensurar a influência dos componentes sobre o ambiente rural ou municipal.

Ainda segundo Lang e Blaschke (2009), a estrutura horizontal da paisagem pode ser restituída por meio de sensores imageadores e procedimentos delimitadores para a definição de manchas (Patches) como a menor unidade espacial na escala analisada. Os componentes bióticos e abióticos são fortemente alterados pela ação humana e é percebida na restituição como formas de uso e ocupação do solo. A intensidade de uso do solo gera uma gradiente entre os ecossistemas naturais, agrícolas e urbano-industriais. No entanto, o grau de homogeneidade destas manchas constitui uma grandeza relativa, pois depende da escala de observação e do nível de dimensões

[Digite texto]

requeridas dentro de cada mancha. A mudança entre os parâmetros analisados é alterada mais fortemente nas áreas de fronteiras, porém no interior das manchas podem existir gradientes intermediários entre parâmetros ou ainda mais fortes do que nas áreas de fronteira. Esta estrutura da paisagem pode ser analisada com a aplicação de índices de forma, de proximidade e de diversidade das manchas (Patches).

Na análise da estrutura de uma paisagem regional, O'neil, Johnson e King (1989) sugerem observar pelo menos três níveis em cada fenômeno a ser analisado, o nível focal que se deseja periciar, o nível abaixo (-1) e o nível acima (+1). Isto porque, o nível focal é limitado por condições de controle do nível +1 acima, determinando sua área e os vizinhos que o influenciam diretamente. No nível -1 abaixo, seus componentes irão fornecer a relação explicativa para o nível focal em análise. A definição da escala de análise deve seguir a Teoria das Dimensões Geográficas, que é baseada no conceito de HPDP (*Hierarchical Path Dynamics Paradigm*) e na Teoria dos Sistemas.

Segundo Wu (1999), a Teoria das Dimensões Geográficas desempenha papel de suporte na discussão da estrutura da paisagem, como forma de aproximar operacionalmente a heterogeneidade espacial no tratamento de grandes volumes de informações diversificadas. O conceito de HPDP admite que somente sob certas condições e numa determinada escala de observação, manchas devem ser consideradas homogêneas. Quando esta escala varia, as manchas anteriormente homogêneas adquirem conformações heterogêneas, que neste nível são formadas por unidades homogêneas. Blaschke (1995) denominou esta forma de observação como Heterogeneidade Intramancha.

O monitoramento das condições ambientais em um recorte espacial dependa da caracterização da paisagem e da construção de série histórica temporal, através do mapeamento da área e elaboração de cartografias temáticas para cada período imageado. A construção desta evolução histórica de usos e ocupação do solo, confrontada com o diagnóstico no momento atual, dará informações contundentes quanto às alterações ambientais ocorridas ao longo do período analisado (LOCH, 1990). De posse destas informações, é possível inferir a magnitude dos danos provocados aos elementos da paisagem e ao funcionamento dos ecossistemas que integram a região. A investigação de séries históricas deverá estar sempre associada aos dados contidos no CTM municipal, para garantir a idoneidade da fonte de dados [Digite texto]

(LOCH; ERBA, 2007). A utilização de escrituras públicas e matrículas dos cartórios de registro de imóveis é fundamental para documentar a propriedade das parcelas fundiárias identificadas nas imagens aéreas.

Estudo realizado por Wollmann e Bastos (2015) utilizou dados do Cadastro Imobiliário da Prefeitura Municipal para quantificar as áreas de Reserva Legal em 76 propriedades rurais, localizadas no extremo sul de Porto Alegre/RS. Buscando caracterizá-las em termos de cobertura de vegetação nativa em acordo com as disposições previstas no Código Florestal, o estudo utilizou imagem de voo fotogramétrico. No entanto, a análise realizada em 2015 utilizou imagens obtidas em 2010 por falta de dados atualizados. Isto demonstra a importância de imagens atualizadas na realização de estudos para demonstrar a evolução da vegetação nativa em propriedades rurais através da construção de mapas temáticos da vegetação.

Para o monitoramento de grandes áreas e de estrutura complexa onde a operação de restituição manual é lenta e onerosa foram desenvolvidas ferramentas analíticas computacionais. Estes pacotes computacionais identificam e quantificam diferentes componentes da paisagem a partir da classificação automática da imagem (LANG; BLASCHKE, 2009). Este método pode ser empregado em monitoramentos ambientais quando houver forte gradiente visual entre os componentes investigados na paisagem, que possam ser classificados automaticamente de acordo com um padrão espectral pré-estabelecido. Em estudos ambientais de grandes áreas que exijam alto grau de precisão e tenham elementos pouco contrastantes, o método mais indicado é a interpretação supervisionada ou semi-automática das imagens. Neste caso, a interpretação será fundamentada em regras de decisão estabelecidas com base nas áreas de referência. Durante o processo há contínua intervenção do fotointerprete de modo a corrigir as discrepâncias observadas em campo (LOCH, 2008). Assim, a interpretação visual de imagens poderá ser mais precisa e confiável do que métodos automáticos, porém depende da experiência do fotointerprete e da qualidade das fotos disponíveis (LOCH, 2008). Este método é mais indicado para pequenas áreas onde exista grande profundidade temática e baixa gradiente entre os elementos analisados que não possam ser diferenciados por programas de computador.

5.5. SENSORIAMENTO REMOTO NO MONITORAMENTO DA PAISAGEM

O monitoramento por satélite do Meio Ambiente se iniciou na década de 70 e continua a ser uma ferramenta indispensável na coleta de dados ambientais (ANDRADE, 2003). Entretanto, há situações em que o monitoramento por satélite não é adequado, devido a escala inadequada ou pouca periodicidade (MANFREDA, 2018; ARTIMO, 2003). Embora haja atualmente diversas imagens de satélite disponíveis para a pesquisa, os dados gerados pelo sensoriamento remoto por satélite não são capazes de oferecer a discriminação necessária para a avaliação de locais cuja área seja da ordem de alguns metros (LOCH, 1990). Além disso, o monitoramento por satélite pode não oferecer imagens em um intervalo de tempo necessário para a avaliação das mudanças ambientais ocorridas em situações que exijam monitoramento constante.

As imagens de satélite possuem resolução temporal, definida como o tempo necessário para que o satélite complete a sua órbita e possa produzir uma imagem da área outra vez (CAMPBELL, 1996). Estas imagens são dependentes da meteorologia local, quando o local está encoberto por nuvens a coleta de dados por sensores orbitais se torna inviável (ROBERTSON; KING, 2011; WATANABE, 1998). Mesmo quando todas as limitações descritas anteriormente estão ausentes, o custo de imagens de satélite de alta resolução adequadas para o monitoramento de pequenas áreas muitas vezes inviabiliza o projeto (RUWAIMANA, 2018). Imagens de satélites programadas de alta resolução são comercializadas por valores significativos e individuais, tipicamente são necessárias muitas imagens e de extensas áreas para a realização de um monitoramento ambiental adequado (KRAMER, 1996; KRAUS, 1993; WOLF, 1995).

Segundo Lang e Blascke (2009), a gestão ambiental requer um monitoramento com intervalos curtos de tempo, sendo de no máximo um ano. Atualmente o monitoramento ambiental é feito utilizando imagens de satélites, porém a maioria dos satélites não apresenta resolução capaz de monitorar pequenas áreas e estão passíveis de ter a área coberta de nuvens no momento de sua passagem sobre a área estudada (MANFREDA, 2018). Desta maneira, a alternativa mais adequada para o monitoramento ambiental, buscando identificar pequenos focos em uma área ampla, é o uso de plataformas não orbitais, pela possibilidade de realizar levantamentos em pequenos intervalos de tempo, com custo reduzido e alta resolução.

[Digite texto]

Os veículos aéreos não tripulados (VANT) foram desenvolvidos como uma alternativa para a obtenção de dados atualizados, complementando os levantamentos realizados por câmeras fotogramétricas e por satélite, especialmente quando se trata de áreas pequenas (SOUZA, 2017). A utilização de VANT em projetos de monitoramento da paisagem e avaliação ambiental representa uma solução de baixo impacto ambiental e econômico (RAMOS et. al., 2017). Os VANT proporcionam a obtenção de imagens de alta resolução em situações em que os satélites ou osvoos tripulados não são operacionalmente viáveis (COLOMINA; MOLINA, 2014).

Por não serem tripulados, os VANT podem voar em locais em que os riscos são grandes demais para o uso de aeronaves tripuladas, como zonas urbanas conflagradas e locais sujeitos a condições meteorológicas adversas. O tamanho e a aerodinâmica dos VANT permitem o voo a alturas extremamente baixas (alguns metros), tornando-os especialmente vantajosos em áreas tropicais onde as nuvens frequentemente impedem o mapeamento por câmeras fotogramétricas e por satélite (RUWAIMANA, 2018).

Os VANT têm sido muito utilizados na agricultura de precisão para monitoramento do desenvolvimento das lavouras. Muitas tentativas de utilização dos VANT para mapeamento também estão sendo feitas, porém a precisão para este fim é muito questionada. Há uma diversidade muito grande de equipamentos disponíveis no mercado, dependendo dos sensores embarcados e da autonomia podem variar de R\$ 5.000,00 até R\$ 300.000,00.

Existem muitas aplicações para os VANT que estão sendo testadas, desde filmagens promocionais até avaliação de déficit hídrico em plantações, porém a precisão geométrica e posicional das imagens ainda é bastante questionada para o monitoramento preciso. A estratégia consagrada na fotogrametria há muitas décadas, é utilização de pontos de controle em solo para melhorar a precisão no georreferenciamento das imagens. Esta técnica tem sido amplamente utilizada em mapeamentos com os VANT. Porém, o custo de implantação destes pontos é sempre alto e isto acaba dificultando a utilização do VANT no monitoramento da paisagem.

A importância dos VANT na área ambiental reside em sua utilização como instrumento para o monitoramento em curtos intervalos de tempo e possibilidade de alcançar locais de difícil acesso. A obtenção destas imagens aéreas pode auxiliar na identificação de crimes ambientais como: pequenos desmatamentos em áreas de
[Digite texto]

preservação permanente, exploração de recursos minerais em áreas não autorizadas, construção em solo não edificável por razões ecológicas e análise de processos de licenciamento ambiental quanto à veracidade das informações e a adequação às normas ambientais (TOCCHETTO, et. al, 2010).

Estudo realizado por Luz et al (2017) sobre a aplicabilidade de VANT para a atualização de bases cartográficas de área rural com tamanho de 4 km, concluiu que esta tecnologia pode ser utilizada em mapeamentos temáticos, sobretudo para uso e cobertura da terra. Devido à alta resolução espacial da ortofoto gerada, os elementos temáticos puderam ser bem representados pela fotointerpretação e revisados com a inspeção in loco. Desta forma, a utilização de VANT para a atualização de bases cartográficas pré-existentes sana o problema de defasagem temporal, ao mesmo tempo em que possibilita um mapeamento barato, rápido e conciso para diversas temáticas (Luz et al, 2017).

A evolução dos produtos digitais de imagem, provenientes de diversos sensores fotogramétricos, permite o mapeamento sistemático da paisagem com resolução espacial de unidades de micrométricas, o que resulta na identificação de medidas terrestres em unidades centimétricas (LOCH, 2008). Isso garante precisão e acurácia para o planejamento do desenvolvimento municipal que há poucos anos eram impossíveis. Para a elaboração de planos diretores municipais é indispensável que se tenha medidas de precisão do território. As avaliações de paisagem iniciam com um referencial geométrico e temático confiável, fornecido normalmente por fotografias provenientes de voos fotogramétricos em escalas maiores que 1/10.000 (KRAMER, 1996). No entanto os voos fotogramétricos são esparsos devido ao seu custo financeiro. Para resolver o problema da periodicidade é necessário utilizar imagens de datas intermediárias, o que comumente é feito por imagens de satélites (KRAUS, 1993; WOLF, 1995).

No caso de Santa Catarina, a base cartográfica oficial disponível para o planejamento municipal é da ordem de 1/50.000, a qual tem erro admissível de 20 metros, seja altimétrico ou planimétrico (KARNAUKHOVA, 2003). Esta característica inviabiliza qualquer referencial público para o planejamento municipal porque implica em erros posicionais de dezenas de metros. A utilização de mapas de grande escala não permite identificação das áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água

[Digite texto]

menores que 10 metros, ao redor das nascentes e em terrenos com declividade acima de 45 graus (FLORENZANO, 2002).

A escolha de sensores de pequeno e médio porte, transportados por plataformas não orbitais requer outras análises específicas sobre a área a ser imageada, como: ventos predominantes, regime de chuvas, variações de altitude do relevo, altura de voo, escala das fotografias, sobreposição longitudinal e transversal, número de faixas, número de fotos, tipo de câmara e lente (ANDRADE, 2003). Todas estas especificações são determinadas de acordo com o objetivo do produto gerado.

As características do sensor a ser utilizado para o mapeamento e avaliação regional dependem do tamanho da cobertura fotografada, dos objetivos da pesquisa, do detalhamento dos elementos, da escala requerida e demais especificações sobre o produto final que se espera obter. A tomada das imagens aéreas obedece a uma série de parâmetros para que se possa realizar um mapeamento de boa qualidade. As imagens aéreas devem ser tomadas sempre em dias claros, com poucas nuvens e sem ventos fortes, para minimizar as distorções radiométricas provocadas pela atmosfera (ANDRADE, 2003).

Para a avaliação regional é necessária a articulação de mapas em diversas escalas, variando de 1:50.000 até 1:1.000. A Tabela 1 foi extraída do livro “Análise da Paisagem com SIG” de Lang e Blaschke (2009) e sistematiza as escalas de mapeamento requeridas para o planejamento regional.

Tabela 1 - Contribuições do Mapeamento da Paisagem para os Diferentes níveis de Planejamento.

Região de Planejamento	Nível de Planejamento	Planejamento da Paisagem	Escala de Planejamento
Federal	Programa de Ordenamento Federal		1:500.000
Estadual	Plano de Desenvolvimento Estadual	Programa Quadro da Paisagem	1:200.000 -1:100.000
Regional	Plano Regional	Plano Quadro da Paisagem	1:50.000 – 1:25.000
Municipal (área total)	Plano Territorial de Uso do Solo	Plano da Paisagem	1:10.000 – 1:5.000
Municipal (área parcial)	Plano de Construções	Plano de Ordenamento	1:2.500 – 1:500

Fonte: Lang e Blaschke (2009)

[Digite texto]

De acordo com Lang e Blaschke (2009), para a visualização de características regionais devem ser utilizados mapas nas escalas entre 1:50.000 e 1:25.000. Nestes mapas são estabelecidos os principais vetores de ligação com os demais municípios, como: estradas federais e estaduais, portos e aeroportos. Para a visualização das zonas ecológicas de uma região os mesmos autores recomendam a utilização de mapas em escalas entre 1:10.000 e 1:5.000. Nestes mapas é possível a visualização da rede hidrográfica, as estradas municipais e os aglomerados urbanos, neles são definidas as macrozonas rurais, urbanas e as áreas de reserva florestal. Para a definição de medidas mais precisas sobre o território é necessário a utilização de mapas com escalas entre 1:2.500 e 1:500. Nestas escalas são realizadas as definições das microzonas residenciais, industriais e comerciais, definindo assim o uso e ocupação do solo para cada parcela. Estes tipos de mapas são classificados como mapas em escala cadastral e podem ter precisão na ordem de 5 cm, possibilitando a definição das parcelas fundiárias, a rede de drenagem para o escoamento superficial, o planejamento do tráfego de veículos e definição de áreas de preservação permanente não edificáveis (LOCH; ERBA, 2007).

5.6. FOTOGRAMETRIA E OS PONTOS DE CONTROLE

O termo “fotogrametria” vem da junção de três partículas: “*photon*” - luz, *graphos* – escrita e *metron* –medições”. Portanto, o termo refere-se à medições executadas através de gráficos fotográficos. Muitas abordagens e discussões para o tema foram desenvolvidas ao longo dos últimos 180 anos, desde a invenção da máquina fotográfica por Louis Jacques Mandé Daguerre em 1839.

De acordo com a “American Society for Photogrammetry and Remote Sensing” Fotogrametria é a arte, a ciência, e a tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos (ASP, 1980).

O ramo da fotogrametria que trata das fotografias aéreas é conhecido como Aerofotogrametria. As primeiras imagens aéreas foram obtidas a partir de balões

[Digite texto]

utilizando máquinas fotográficas simples. Depois da primeira guerra mundial, com a invenção do avião por Alberto Santos Dumont, foram construídas câmeras fotográficas especiais para tomada de vistas aéreas. Desde então a aerofotogrametria se juntou com a geodésica e a cartografia para construção de mapas com medidas acuradas.

O maior campo para utilização da aerofotogrametria está na elaboração de mapas em colaboração com a engenharia cartográfica. Nestes casos, as imagens aéreas são utilizadas para a localização de pontos na superfície terrestre e mapeamento de temas da paisagem fotografada. As aplicações desta técnica são de grande importância para o planejamento de obras de engenharia e para o monitoramento ambiental. O posicionamento dos pontos de solo em um mapa é realizado através de métodos matemáticos conhecidos como Triangulação Fotogramétrica, Aerotriangulação ou Fototriangulação.

A técnica da foto triangulação tem o objetivo principal de fornecer coordenadas precisas aos pontos necessários da orientação absoluta de modelos fotogramétricos para restituição de fotos aéreas e elaboração de ortofotos (ANDRADE, 2003). Muitos métodos e equipamentos foram desenvolvidos procurando gerar alta precisão na determinação de coordenadas geográficas aos pontos fotografados. Estes sistemas ópticos e mecânicos permitiram uma alta precisão, porém eram extremamente robustos e de alto custo.

A evolução da eletrônica permite soluções cada vez mais rápidas e com baixo custo, sem perder em precisão. Inicialmente, os registradores mecânicos de coordenadas foram substituídos por equipamentos eletrônicos. Em seguida, a estereoscopia mecânica foi substituída por métodos analíticos. Atualmente, o computador substitui toda a mecânica, com enorme redução de custos e alta versatilidade na geração de dados, produzindo assim uma revolução na fotogrametria (ANDRADE, 2003).

A foto triangulação é a tarefa mais importante no processo de mapeamento do solo. São operações que exigem inúmeras medições, controle estatístico e critérios de aceitação muito restritivos (ANDRADE, 2003). Esta tarefa deve ter início no planejamento da cobertura fotográfica, com a prévia definição dos pontos de controle à campo, a quantidade de faixas transversais de pontos de controle, a localização dos pontos para o voo apoiado e a relação entre os custos do projeto e os dados que se espera obter.

[Digite texto]

A principal finalidade do estabelecimento dos pontos de controle é a materialização de um referencial tridimensional com que se pretende trabalhar. A precisão deste referencial depende do conhecimento de sete parâmetros: que definem a posição da origem do sistema, a orientação de seus três eixos e a unidade de medida (ANDRADE, 2003). Portanto, para a determinação das coordenadas de um único ponto são necessários três pontos com coordenadas conhecidas.

Entretanto, ainda segundo Andrade (2003), apenas três pontos de controle não são suficientes para a precisão do processo de fototriangulação. Porque, se qualquer um destes três pontos estiver com coordenadas erradas o referencial materializado é impreciso e os erros irão se propagar na determinação dos demais pontos. Empiricamente, observou-se que nas extremidades das faixas devem haver pontos de controle com as três coordenadas conhecidas. Os pontos devem estar localizados na área comum entre faixas contíguas e distantes a cada 3 á 5 bases, que é a distância entre os centros da perspectiva de duas aerofotos consecutivas da mesma faixa de vôo (ANDRADE, 2003).

Os pontos de controle utilizados para fototriangulação são elementos posicionados em solo que podem ser precisamente identificados nas fotografias aéreas. Segundo Lillesand e Kiefer (1994), são pontos físicos em solo com posição horizontal e ou vertical conhecidas, comumente medidas com aparelho de GPS. Podem ser detalhes de objetos que já existam no terreno ou podem ser materializados em solo para a realização da fototriangulação. Estes últimos são denominados de pontos artificiais e devem ser estabelecidos em campo antes da realização do voo fotogramétrico (LILLESAND; KIEFER, 1994).

O trabalho desenvolvido por Costa e Silva (2012) demonstra que os pontos de controle artificiais são mais utilizados em áreas onde existem poucos elementos identificáveis nas fotos, como em áreas de pastagem extensiva ou em grandes lavouras de monocultura. Nas áreas rurais, os terrenos geralmente são mais homogêneos e apresentam poucos detalhes para serem utilizados como alvos. Neste caso são utilizados alvos artificiais previamente implantados no terreno, para que apareçam nas fotografias aéreas. Este tipo de levantamento é chamado de voo pré-sinalizado. Os alvos devem ser implantados no terreno e logo em seguida realizar o voo, para garantir que os mesmos estarão no local na hora do aerolevanteamento.

[Digite texto]

Em projetos de fotogrametria aérea de zonas urbanas, é possível utilizar estes detalhes que também estarão visíveis na imagem como ponto de controle, por exemplo, pode-se utilizar o canto de uma faixa de pedestre, o canto de uma esquina, intersecções visíveis. Nestecaso, o projeto ganha uma velocidade maior em sua execução, já que é possível iniciar a coleta dos pontos de controle com grande antecedência ao voo ou após a execução do voo, já que estes alvos naturais não serão removidos do solo.

Após a determinação da quantidade e a localização dos pontos de controle é necessário que se saiba as coordenadas precisas destes pontos no campo. Para isso são utilizados GPS geodésicos em solo na posição exata do ponto e registrado as coordenadas de latitude, longitude e altimetria. É importante que também se faça uma fotografia a curta distância do posicionamento da antena do GPS, para evitar erros grosseiros durante o processo de fototriangulação no laboratório. Estes pontos com coordenadas conhecidas que serão identificados nas imagens aéreas, são utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas do terreno com o sistema de coordenadas da imagem.

Desta maneira, ao se realizar um mapeamento aéreo quanto maior for a quantidade de pontos de controle, maior será o referencial para o processamento das imagens e melhor será a acurácia do produto final gerado. Segundo Trindade e Nunes (2018), a realização de um voo com uso de pontos de controle em campo aumenta a confiabilidade do produto final gerado, porém demanda mais tempo. Com a existência de diversos modelos de VANT, com sensores de qualidades diferentes, há a necessidade de avaliar constantemente com rigor os dados gerados (TRINDADE; NUNES, 2018). Estudo realizado com o VANT Phantom 3 a altura de 220m para medição de feições lineares sem o emprego de pontos de controle mostraram que o erro das dimensões tomadas sobre o ortomosaico variaram de 0,06% a 1,69%, sendo que quanto maior a distância medida maior foi o erro encontrado (SOPCHAKI et.al., 2018).

Com as coordenadas dos pontos de controle coletadas e transferidas para as fotografias aéreas, é possível então georreferenciar as imagens nas quais os pontos de controle são visíveis. Estas coordenadas são utilizadas como referência para a aerotriangulação. A partir de então é possível transportar as coordenadas para o restante dos pixels na imagem e obter assim uma coordenada estabelecida para cada pixel da imagem. Este processo de georreferenciamento de fotografias separadamente antes da

[Digite texto]

união do mosaico de fotos de toda a área do projeto é denominado modelo independente(ANDRADE, 2003).

Para a união de todas as fotografias e formação do mosaico são utilizados pontos de amarração entre as imagens. Estes pontos utilizados para costurar o fotomosaico devem ser de fácil identificação em duas ou mais imagens e não necessitam de coordenadas pré-definidas. Devem ser utilizados pelo menos nove pontos para cada imagem do bloco e estarem bem distribuídos dentro da foto para garantir a qualidade no processo de triangulação (ANDRADE, 2003).

Ao longo dos anos foram sendo desenvolvidos diversos métodos matemáticos e equipamentos sofisticados para que os pontos de solo identificados na fotografia possam ser transportados e posicionados corretamente em um mapa. Atualmente está sendo utilizado o Sistema Inercial, que durante a cobertura fotogramétrica é capaz de realizar observações que permitem tomar a posição da câmera a cada tomada de foto, indicando o norte verdadeiro na imagem gerada. Esta observação é feita a partir de um GPS geodésico localizado em solo e outro na aeronave que gravam dados simultâneos para determinar a posição da câmera. Este tipo de controle é denominado “voo apoiado” (ANDRADE, 2003).

Segundo Andrade (2003), voo apoiado requer equipamentos mais sofisticados e aumenta consideravelmente o custo do projeto, além de sofrer as mesmas restrições de condições atmosféricas do voo aerofotogramétrico comum. Em regiões de fácil determinação dos pontos de controle o voo apoiado pode não ser viável. Porém, em regiões de acesso difícil e perigoso ou em locais com poucos pontos identificáveis nas fotos o voo apoiado é atualmente a melhor alternativa.

Após todo o processamento para georreferenciar as imagens, montar o fotomosaico e realizar a fototriangulação dos pontos de controle é preciso verificar se as coordenadas estabelecidas são verdadeiras. Para isto são utilizados pontos de verificação no mapa gerado. Os pontos de verificações apresentam as mesmas características dos pontos de controle, porém sua utilização é feita na ordem inversa. Ao final da fototriangulação são selecionados pontos identificáveis em campo e suas coordenadas obtidas na imagem a partir do mapa gerado. Então, são coletadas as coordenadas destes pontos em campo e comparadas como as obtidas pela imagem. A precisão das medições do terreno

realizadas na imagem é dada pela diferença entre estas coordenadas, determinando o grau de confiabilidade e a acurácia do levantamento.

Os pontos de verificação do bloco fotogramétrico são utilizados apenas para verificação do produto final. Em hipótese alguma os pontos de verificação devem ser utilizados no processamento do bloco fotogramétrico como pontos de controle. Do contrário, estariam participando do processo de ajustamento das imagens e influenciando diretamente com suas coordenadas no controle estatístico de precisão e assim mascarando os resultados finais. A norma oficial brasileira utilizada para a avaliação da acurácia posicional foi estabelecida pelo Decreto-lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984, definindo critérios para classificação de produtos cartográficos (BRASIL, 1984). De acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) os mapas são enquadrados em três classes A, B e C. No entanto, o referido decreto não define a quantidade de pontos de verificação que devem ser utilizados na avaliação da acurácia posicional. Alguns estudos, como Neto et al. (2017), estão utilizando a recomendação da norma americana NSSDA (*National Standard for Spatial Data Accuracy*), que indica a utilização de no mínimo de 20 pontos de verificação no processo de avaliação da acurácia posicional (FGDC, 1998). Nesta tese será utilizada a Norma de Execução n.2 do INCRA (2018) para o georreferenciamento de imóveis rurais a partir de produtos de sensoriamento remoto, que acompanha a norma americana com a exigência de 20 pontos de verificação.

Os principais fatores que influenciam na acurácia do processo de aerotriangulação são: as inclinações da aeronave durante a tomada das imagens que prejudica as sobreposições entre as imagens; erros grosseiros na fotoidentificação dos pontos de controle; e erros na coleta das coordenadas dos pontos de controle e dos pontos de verificação em campo (ANDRADE, 2003). É importante salientar que a pré-sinalização dos pontos de controle garante melhor fotoidentificação e melhorias na acurácia posicional e altimétrica na aerotriangulação, sobretudo no caso de regiões com monoculturas e poucos detalhes definidores de pontos no solo. Porém, o emprego de alvos pré-sinalizados envolve custos adicionais significativos em termos de planejamento, implantação e medições, portanto quanto mais pontos de controle, maior o custo dos trabalhos de campo (COSTA; SILVA, 2012).

5.7. MONITORAMENTO DE VEGETAÇÃO

Este item tem o objetivo de identificar as pesquisas realizadas sobre o monitoramento da vegetação na paisagem natural utilizando os VANT. Para tal, foi realizada revisão de forma sistemática em duas bases bibliográficas: Scopus e Compendex. Nesta pesquisa foi utilizada a palavra-chave: “**((vegetation monitoring) AND (UAV))**”, restringindo a busca para Journal Articles e sem restrição temporal.

Na base Scopus foram encontrados 139 artigos e na base Compendex 95 artigos. Estes artigos foram exportados ao programa EndNote X8 para gerenciamento dos dados obtidos na revisão. Inicialmente, foram confrontados os artigos em duplicidade, resultando em 155 artigos diferentes. Em seguida, a partir da leitura dos títulos foram selecionados 67 artigos sobre monitoramento de vegetação, sendo estes o alvo da revisão. Os demais artigos foram descartados 71 sobre agricultura de precisão e 17 artigos por não se enquadrarem em nenhuma das categorias anteriores, tratavam de assuntos como deslizamentos e mineração.

De posse dos 67 artigos selecionados sobre monitoramento de vegetação com UAV (Unmanned Aerial Vehicle), as informações obtidas foram exportadas para o programa Excel. Nesta planilha cada artigo ocupou uma linha e foram criadas automaticamente colunas com os **autores**, o **ano** da publicação, o **título**, o nome do **periódico**. Outras colunas foram acrescentadas manualmente para serem preenchidas após a leitura dos artigos, especificando o **objetivo** do estudo, a **tipologia** da vegetação, o modelo de **aeronave**, e o tipo de **imagem** capturada pelo sensor transportado. No programa EndNote X8 foi realizada busca pelo artigo completo, sendo encontrados 54 artigos disponíveis para leitura. Estes foram lidos na íntegra para preenchimento da tabela no Excel, os que não estavam disponíveis foi realizada a leitura apenas do resumo.

Após o preenchimento da tabela do Excel com as especificações de cada artigo foi realizada a bibliometria dos dados de interesse. O resultado desta etapa pode ser observado na Tabela 2. Houve expressivo aumento de artigos sobre o tema pesquisado nos últimos 10 anos, chegando em 20 no ano de 2017 e 12 no primeiro semestre de 2018.

Tabela 2 - Quantitativo de publicações sobre monitoramento de vegetação utilizando VANT.

Ano	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2006
Publicações	12	20	9	5	9	5	2	1	2	1	1

Fonte: autor

Dos 67 artigos analisados, 11 deles fizeram revisões sobre a aplicação dos VANT no levantamento de dados da vegetação. Cabe ressaltar o artigo mais antigo encontrado na busca: “Using unmanned aerial vehicles for rangelands: Current applications and future potentials.” (RANGO, et al., 2006), o autor concluiu que no futuro próximo as agências governamentais de manejo dos recursos naturais e consultores privados estariam utilizando pequeno e leves VANT na obtenção de dados específicos para suas necessidades com custo razoável, segurança adequada, flexibilidade de tempo e alta resolução proporcionada pela proximidade do objeto alvo do estudo. De fato, o autor estava certo. Pois desde então, todos os artigos analisados foram unânimes em descrever na introdução estas vantagens obtidas com a utilização de VANT no monitoramento da vegetação na paisagem natural em comparação com imagens de satélite e de voos tripulados.

Os VANT permitem obtenção de dados em áreas pontuais com maior flexibilidade de tempo em relação a periodicidade requerida no levantamento e com custo reduzido, enquanto que as imagens de satélite são melhores soluções para grandes áreas (MÜLLEROVÁ, et al., 2017). Além disto, a melhora na resolução das imagens digitais e a miniaturização das câmeras para serem embarcadas nos VANT permitem a obtenção de grande quantidade de fotos com alta resolução para o monitoramento da vegetação e ocupação do solo, no entanto, ainda existe grande desafio para georreferenciar estas imagens e reduzir as distorções geométricas (SELSAM, et al., 2017)

Outro artigo de revisão que cabe ressaltar foi publicado no ano de 2018: “On the use of unmanned aerial systems for environmental monitoring.” (MANFREDA, et al., 2018). Durante as 28 páginas do artigo, o autor descreve as vantagens da utilização dos VANT, o tipo de aeronave (asa fixa ou multirrotor) mais indicada em relação ao tamanho da área estudada, os diversos sensores que podem ser embarcados nesta plataforma e a resposta de cada um deles de acordo com o objetivo do estudo. O autor enfatiza que o monitoramento ambiental é fundamental na avaliação dos impactos da [Digite texto]

agricultura, no manejo dos recursos naturais, nos processos hidrológicos, na otimização do abastecimento de água doce, na prevenção de desastres naturais e na remediação ambiental. Nestes casos, o uso dos VANT apresenta grande potencial para melhorar radicalmente o resultado dos estudos, com redução de custos e escala temporal adequada. No entanto, para que este tipo de plataforma seja utilizada em todo seu potencial, muitas questões ainda precisam ser resolvidas, como: o acesso à tecnologia, estabelecimento de protocolos, técnica de pós-processamento das imagens e definição de algoritmos para classificação automática (MANFREDA, et al., 2018).

Com relação ao tipo de aeronave utilizada, nos artigos analisados houve uma tendência para o uso dos multirotores em comparação com o VANT de asa fixa. Como pode ser observado na Tabela 3, 31 artigos utilizaram os multirotores, 20 artigos utilizaram os de asa fixa e em 16 artigos não foi especificado o modelo, pois eram de revisão ou o artigo não foi disponibilizado na íntegra e a informação não constava no resumo. Os VANT multirotores foram mais utilizados nos estudos devido à facilidade de pilotagem, principalmente pela possibilidade de decolar e pousar na vertical. Nos estudos foram utilizados quadricópteros, hexacópteros e octacópteros.

Tabela 3 - Quantitativo de publicações que utilizaram diferentes modelos de VANT.

Aeronave	Asa fixa	Multirotor	Não identificado
Publicações	20	31	16

Fonte: autor

Esta preferência para o uso dos multirotores também pode ser explicada pelo custo da aeronave e o risco de acidentes serem menores que nos VANT de asa fixa. No entanto, os multirotores são capazes de sobrevoar uma área bem inferior do que os com asa fixa, pois a velocidade de cruzeiro é menor e o gasto de energia dos diversos motores reduz o tempo de bateria para 30 minutos aproximadamente, enquanto que os de asa fixa podem voar por até 1 hora e meia. Outra grande diferença é que os de asa fixa não possuem o estabilizador da câmera (gimbal) que mantém na posição vertical independente do movimento da aeronave. Assim, as imagens capturadas por VANT de asa fixa pode apresentar grande distorção geométrica provocada pela oscilação lateral da aeronave.

[Digite texto]

É fundamental ressaltar que a utilização dos VANT é vantajosa apenas na avaliação de pequenas áreas que necessitam de respostas rápidas e com alta resolução, devendo ser uma complementação de levantamentos extensivos produzidos com imagens de satélite. Estudo realizado por Manfreda, et al. (2018), comparando o custo de imagens obtidas por VANT, aeronaves tripuladas e satélites concluiu que os VANT devem ser utilizados em áreas de até 20 ha, podendo variar consideravelmente dependendo o tipo de sensor utilizado e da escala temporal requerida. Outro estudo realizado na Espanha utilizando VANT para avaliar os efeitos do incêndio florestal em uma área de 3.000 ha, demandou 320 horas (20 dias, contando com erros do programa) para o processamento das imagens e concluiu que este tempo em relação à discriminação obtida da área não foi satisfatório e que o mesmo resultado poderia ter sido obtido com imagens obtidas pelo satélite WorldView-2 (FERNANDEZ-GUISURAGA, et al., 2018).

Dentre os artigos analisados, 56 deles relatavam os resultados obtidos em seus estudos de caso, e a tipologia da vegetação estudada nestes artigos está relacionada na Tabela 4. Foi constatado que a grande maioria deles (33 artigos) realizou estudos sobre a vegetação decidual, principalmente no continente europeu. Isto, devido a grande preocupação com a manutenção dos remanescentes florestais, recuperação das matas ciliares (riparian forest) e combate a espécies invasoras. A maior disponibilidade de recursos financeiros neste continente também pode explicar a predominância dos estudos em florestas deciduais. Também foram encontrados 4 artigos sobre floresta Boreal no continente europeu e dos 6 artigos sobre vegetação aquática, 5 ocorreram no mesmo continente.

Tabela 4 - Quantitativo de publicações em relação ao tipo de vegetação estudada.

Vegetação	Publicações
Decidual	33
Aquática	6
Tropical	5
Mangue	4
Boreal	4
Restinga	3
Parque Urbano	1
Revisão	11

Fonte: autor

[Digite texto]

Independentemente do tipo de vegetação que os artigos estão investigando, a informação mais importante aqui é como estes estudos estão sendo realizados. Para entender esta questão foi relacionado o tipo de sensor embarcados nos VANT, conforme pode ser observado no Tabela 5. Dos artigos investigados, 31 utilizaram sensores RGB (Red, Green and Blue) que captam imagens dentro do espectro visível ao olho humano. Número equivalente de estudos utilizaram os sensores multiespectral, hiperespectral e RGB + Multiespectral, que captam imagens fora do espectro visível. Estas últimas três categorias somam 29 artigos. Outros dois estudos utilizaram sensores térmicos (WEBSTER, et al., 2018; NISHAR, et al., 2016) e cinco estudos utilizaram a integração do LIDAR (Light Detection And Ranging) com outro sensor espectral (SANKEY, et al., 2018; SCHMIDT, et al., 2017; SANKEY, et al., 2017; SASTRE, et al., 2016; DUFOUR, et al., 2013).

Tabela 5 - Quantitativo de publicações com os diferentes sensores embarcados em plataforma VANT.

Sensor	Publicações
RGB	31
Multiespectral	14
Hiperespectral	6
RGB + Multiespectral	9
Térmico	2
LIDAR	5

Fonte: autor

De modo geral, nos artigos analisados sobre o monitoramento de vegetação foram testados métodos para estimar a biomassa ou identificar espécies a partir da união entre a imagem coletada e determinação da altura das árvores, através da comparação entre o modelo digital do terreno (MDT) e o modelo digital de elevação (MDE).

Os estudos que utilizaram sensores que captam imagens fora do espectro visível tiveram como objetivo principal desenvolver algoritmos para a classificação automática das imagens. O principal índice utilizado foi o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que utiliza o infravermelho próximo (near-IR) para identificar as áreas de vegetação, como nos estudos de Tóth (2018), Zhou, et al.(2017) e Selsam, et al. (2017). Os sensores Multi e Hiperespectral permitem maior detalhamento da imagem do [Digite texto]

que com sensor RGB, mas requerem procedimentos complexos de calibração antes de cada voo e tem custo de investimento bem superior, que eleva o custo final da imagem final processada (MANFREDA, 2018).

A classificação automática de imagem pode ser realizada utilizando dois métodos básicos, selecionando um pixel para cada classe ou um conjunto de pixel para cada classe. Este último método é denominado de object-oriented image analysis (OBIA). Estudo realizado por Jing, et al. (2016) comparou a acurácia destes dois métodos para classificação automática de vegetação aquática não submersa. Os resultados mostram que o índice Kappa foi de 0,4 na classificação baseada em um pixel, enquanto que o método OBIA obteve índice Kappa de 0,9. Resultado semelhante foi obtido por Pessoa, et.al. (2019) na classificação automática de nuvens de pontos em imagens obtidas por VANT. O método proposto utilizou a classificação supervisionada, baseado em informações radiométricas combinadas com informações geométricas para orientar a árvore de decisão. Os atributos definidos foram aplicados em outras duas nuvens de pontos e atingiram valores de concordância kappa superiores a 0,938.

Estudo realizado por Sankey, et al. (2018) na região semi-árida do Arizona (EUA) utilizando o método OBIA para classificação automática de imagem hiperespectral, obteve resultado de índice Kappa de 0,7 para espécie dominante. Quando a imagem foi sobreposta com dados de sensor LIDAR com 50 pontos/ m² para fazer a comparação entre o MDT e o MDE o índice Kappa foi elevado para 0,8.

Segundo Zahawi, et al (2015), a acurácia da altura da vegetação é fortemente dependente da acurácia do modelo digital do terreno, portanto, em áreas de mata fechada o resultado obtido com o LIDAR provavelmente não será o mesmo que em áreas com vegetação esparsa. O estudo realizado por Zahawi, et al. (2015) no monitoramento de uma área com floresta tropical em recuperação na Costa Rica, utilizou a integração de sensores LIDAR com RGB. Neste estudo, foi gerado o modelo tridimensional da vegetação utilizando o programa Ecosynth e os resultados obtidos tiveram erro médio quadrático de $R^2 = 0,81$ comparado com medidas de campo. A utilização de sensores LIDAR embarcado em VANT é bastante promissor, porém o custo deste tipo de imagem é extremamente caro para a maioria dos programas de monitoramento ambiental (ZAHAWI, et al., 2015).

[Digite texto]

Estudo semelhante foi realizado por Dufour, et al. (2013) que utilizou LIDAR aerotripulado e RGB em VANT com asa fixa para gerar modelo tridimensional em áreas de recuperação de mata ciliar na França. Os autores ressaltam que as fases extensivas e extremamente técnicas para o processamento das imagens do sensor LIDAR inviabilizam seu uso extensivo em programas de monitoramento, sendo de 7 dias em comparação com 1 dia para geração do mosaico e modelo 3D com as imagens RGB do VANT.

Imagens obtidas com sensor RGB embarcados em VANT podem gerar um modelo tridimensional da vegetação, resultante da proximidade do alvo. Neste tipo de aplicação, os VANT multirotores tem maior potencial do que os asa fixa, pois podem voar a baixas altitudes e menor velocidade. Estudo realizado por Rusnák, et al. (2018) para a avaliação da vegetação ciliar do Rio Belá, utilizou apenas sensor RGB embarcado em um hexacoptero. O modelo digital foi gerado no software PhotoScan e exportado para o ArcGis para a classificação semi automática estabelecendo 5 categorias de cobertura do solo (água, solo, vegetação baixa, média e alta) e a altura da vegetação foi determinada a partir da nuvem de pontos. Os resultados mostram que o MDE gerado foi adequado em todo o levantamento, mas a acurácia da altura da biomassa foi maior onde a vegetação era esparsa, demonstrando forte dependência do modelo digital do terreno para o processo da classificação automática de imagens.

Estudo realizado por Husson, et al. (2016) comparando a eficiência da classificação manual de imagens e a classificação supervisionada em termos de tempo e acurácia, demonstrou que a escolha do método depende da profundidade temática requerida e do tamanho da área a ser analisada. A classificação manual é mais acurada quando o estudo requer alta profundidade temática (níveis taxonômicos) em uma área não muito grande. Enquanto que para o estudo de grandes áreas o método automático (OBIA) é a alternativa mais eficiente, mas o índice Kappa diminui com a complexidade da vegetação e o baixo contraste entre as unidades de classificação.

Segundo Michez, et al. (2016) a alta qualidade dos modelos gerados a partir de VANT com sensor RGB permite a classificação automática das imagens com resultados semelhantes aos obtidos com imagens multi e hiper espectral, principalmente quando considerado a flexibilidade das operações e custo do sensor e do processamento. Estudo realizado por Bedell, et.al. (2017), para avaliar projeto de restauração de mata ciliar no [Digite texto]

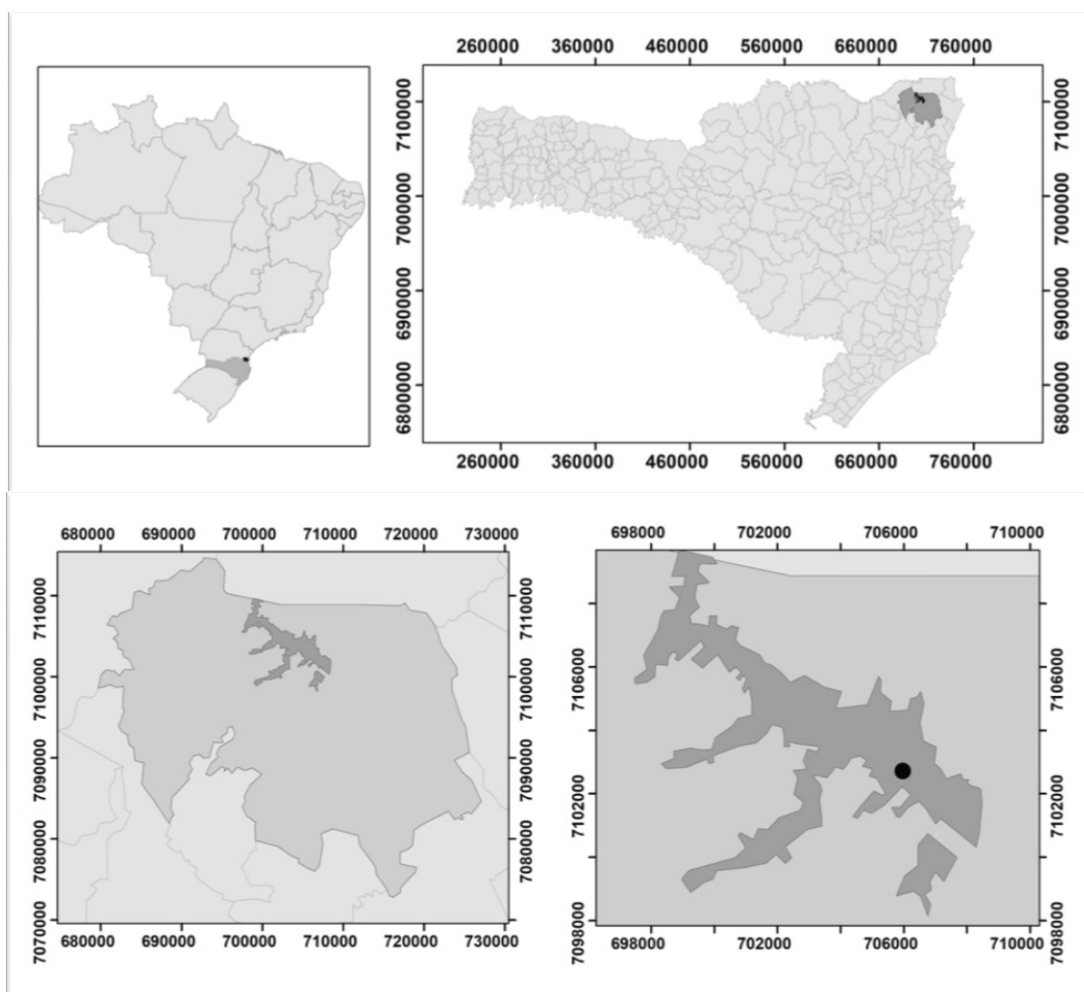
Oregon (EUA) comparou o modelo tridimensional gerado por sensor RGB com dados gerados de inventário florestal coletados com trena. O estudo utilizou um quadricóptero comercial equipado com câmera GoPro 12 megapixel, o plano de voo foi estabelecido para realizar linhas transversais em duas direções (double cross) com sobreposição de 80% e câmera posicionada em ângulo de 45 graus. O modelo 3D foi gerado no programa PhotoScan e depois exportado ao Fusion para medir a altura da vegetação em classes (0 – 0,9 m; 0,9 – 2,1m e maior que 2,1 m). O resultado obtido com o modelo 3D do VANT diferenciou menos de 1 % do inventario florestal realizado com trena, sendo este calculado com índice de confiabilidade de 95%. Os autores afirmam que a partir do modelo 3D gerado pelo VANT é possível realizar medições de altura da vegetação e produzir mapas de biomassa com resultados semelhantes aos métodos tradicionais e LIDAR.

O desafio atual das pesquisas é para identificar as melhores estratégias de uso dos VANT no monitoramento da vegetação em áreas estratégicas, especialmente em projetos de recuperação de mata ciliar. Os objetivos e recursos de cada estudo devem ser considerados para definir o tipo de aeronave e o sensor a serem utilizados, assim como os procedimentos adotados para geração e interpretação dos mapas. Estas variáveis precisam estar bem claras para a definição de procedimentos específicos e devem ser ponderadas em uma tabela relacionando os objetivos do estudo, a resposta do sensor e os requerimentos do equipamento. Os conhecimentos adquiridos com os estudos realizados até o momento são de extrema importância para que os VANT possam ser amplamente utilizados no monitoramento ambiental e recuperação da vegetação nas áreas prioritárias para a manutenção de recursos naturais estratégicos.

6. MÉTODO

A área de estudo utilizada foi o município de Joinville, localizado na microrregião nordeste de Santa Catarina, entre as coordenadas geográficas latitude $26^{\circ}04'S$ e $26^{\circ}26'S$ e longitude $48^{\circ}44'W$ e $49^{\circ}11'W$ (Figura 1). Apresenta área total de 1.135km^2 , das quais $922,45\text{km}^2$ são consideradas rurais (IPPUJ, 2009). Possui a maior população do Estado, com cerca de 500.000 habitantes (IBGE, 2010). Faz divisa com Jaraguá do Sul a oeste, São Francisco do Sul a leste, Campo Alegre e Garuva ao norte e Araquari, Guaramirim e Schroeder ao sul.

Figura 1 - Localização da área de estudo: Brasil; Santa Catarina; Joinville; zona rural da Pirabeiraba; estação de tratamento de água.



Fonte: autor

[Digite texto]

O estudo elaborado nesta tese inicia-se com a análise da macroestrutura da paisagem do território municipal. Utilizando o método de análise de paisagem desenvolvido pelo PROARQ-FAU/UFRJ foi identificada a área de maior potencial de expansão da malha urbana (TÂNGARI, 2008). Este método consiste na sobreposição dos vetores de ocupação existentes na região ao suporte físico da paisagem como forma de identificar as áreas mais propícias para urbanização e as áreas que devem permanecer com vegetação ou precisam ser recuperadas. Foram utilizadas imagens aéreas de 2010, obtidas a partir de aeronaves tripuladas e disponibilizadas para o Laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto da UFSC através de parceria com a Prefeitura Municipal de Joinville. A partir de então, este recorte do município de Joinville é a área de estudo onde as análises da paisagem foram intensificadas.

A partir da análise das imagens aéreas de 2010 foram identificadas características no uso e ocupação do solo nas áreas rurais dentro do recorte selecionado. Foram consideradas três categorias de uso do solo: (1) infraestrutura; (2) agrícola; (3) floresta nativa. Utilizando o software ArcGIS/ESRI foram elaborados mapas temáticos relacionando a floresta nativa e as áreas de preservação permanente, a infraestrutura urbana implantada e as áreas agrícolas consolidadas. A sistematização destas informações permitiu a seleção das áreas da paisagem de maior vulnerabilidade ecológica frente à ocupação urbana e a necessidade da implantação de instrumentos e normas no plano diretor para garantir melhor qualidade ambiental para a população do município.

As áreas de maior vulnerabilidade ecológica foram imageadas com o uso de microVANT. As imagens aéreas obtidas a partir de aeronaves tripuladas foram confrontadas com as imagens de aeronaves não tripuladas para atualizar as informações do uso do solo e identificar as alterações ocorridas desde a última imagem de 2010. As imagens do voo tripulado de 2010 possuem uma resolução espacial e acurácia posicional pré-estabelecida. No entanto, não sabemos o valor destes parâmetros nas imagens obtidas com o VANT. Assim, o ortomosaico foi georreferenciado no software PhotoScan utilizando apenas os dados do GPS interno do VANT, que registra a posição da câmera no momento da tomada de cada foto.

[Digite texto]

Após o processamento no PhotoScan, o ortofotomosaico foi transferido para o software de mapeamento ArcGis/ESRI. Para mensurar a precisão posicional do georreferenciamento foram utilizados como referência 20 pontos de verificação implantados em solo antes da realização do voo. Nestes pontos foram coletadas as coordenadas geográficas com equipamento GNSS/RTK e os dados utilizados como pontos de verificação do ortomosaico. A precisão posicional foi mensurada de acordo com os parâmetros estabelecidos na Norma de Execução N.02 do INCRA, onde os produtos obtidos por fotogrametria somente poderão ser utilizados para o georreferenciamento de imóveis rurais se a avaliação da acurácia posicional absoluta obedecer os seguintes critérios: I) Utilização de no mínimo 20 pontos de verificação; II) Teste estatístico que comprove a normalidade das discrepâncias posicionais planimétricas ao nível de 95% de confiança, utilizando o método de Shapiro-Wilk; III) Teste de tendência ao nível de 90%, utilizando o teste T-Student, que comprove a não tendenciosidade; IV) 100% das discrepâncias posicionais serem menores ou iguais à precisão posicional de cada categoria de vértice (INCRA, 2018). Existem três categorias de vértices estabelecidos na Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA, sendo a discrepância tolerável de: 50 cm para vértices situados em limites artificiais, 3m para vértices situados em limites naturais e 7,5 m para vértices situados em limites inacessíveis (INCRA, 2013c). Neste estudo vamos considerar a categoria de vértices em limites naturais (3m), pois na próxima etapa do método serão avaliadas as áreas ao longo de um rio e suas margens são frequentemente alteradas conforme o regime de chuvas.

Na próxima etapa do método, ainda no software de mapeamento ArcGis/ESRI, foi analisada a Área de Preservação Permanente (APP) de 30 metros, em ambas margens do Rio Cubatão, e à montante do ponto de captação de água para abastecimento do município. Nesta faixa de APP ao longo do rio foi analisado o uso e ocupação do solo, selecionando três categorias: mata nativa, agricultura e infraestrutura. Esta análise foi realizada primeiramente na imagem de 2010. Os arquivos de Shapefiles da faixa de (APP) e das três categorias de uso do solo, elaborados na imagem de 2010, foram confrontados com as imagens de 2017 coletadas com o VANT. Os Shapefiles das três categorias de uso do solo restituídos na imagem de 2010 foram duplicados e atualizados manualmente através da fotointerpretação da cobertura do solo no ano de 2017. Nesta [Digite texto]

etapa foi avaliada a qualidade da resolução espacial das imagens coletadas com o VANT para a identificação dos elementos em solo contidos no ortomosaico. Posteriormente, cada categoria de uso do solo restituída na imagem de 2017 foi confrontada com a restituição realizada na imagem de 2010 para a elaboração de mapas temáticos que possam identificar as alterações ocorridas neste intervalo de tempo.

A partir das análises realizadas nas imagens e nas avaliações do georreferenciamento para atualização das informações no uso e ocupação do solo obtidas com micro VANT, foi elaborado um procedimento para a utilização desta plataforma de sensoriamento remoto no monitoramento da paisagem. Este procedimento foi detalhado para viabilizar a utilização de micro VANT pela Prefeitura Municipal na fiscalização do uso do solo nas áreas rurais, para a identificação de descumprimento das diretrizes estabelecidas no Zoneamento Ecológico Econômico e do Plano Diretor Municipal.

O quadro a seguir contém a relação entre os objetivos específicos desta tese com o método utilizado, o resultado alcançado e a referência para cada ação realizada. Na sequência do trabalho serão discutidos os resultados alcançados nos cinco objetivos específicos.

Tabela 6 - Síntese da estrutura da tese; objetivo, método, resultado e referencial.

OBJETIVO	MÉTODO	RESULTADO	REFERENCIAL
1- Avaliar a expansão da malha urbana sobre as demais áreas do município.	Identificação do suporte físico da paisagem e dos vetores de ocupação	Elaboração de mapa em escala de 1:250.000, localizando Serra do Mar, áreas de baixada, rios, estradas, mata nativa, zona rural e urbana.	TÂNGARI, 2008. Ortofoto de voo tripulado do ano de 2010, disponibilizado pela Prefeitura de Joinville.
2- Identificar áreas rurais no município e seus recursos naturais, de maior vulnerabilidade frente à ocupação urbana.	Determinação do potencial de urbanização das zonas rurais através da ponderação do suporte físico e dos vetores de ocupação.	Elaboração de três mapas: 1:150.000 - zona rural de maior tendência à urbanização; 1:50.000 - ponto de captação de água como um recurso natural vulnerável; 1:15.000 – parcelas fundiárias e uso do solo	TÂNGARI, 2008. Ortofoto de voo tripulado do ano de 2010, disponibilizado pela Prefeitura de Joinville.

[Digite texto]

3- Verificar a precisão do georreferenciamento do ortomosaico elaborado a partir das imagens coletadas com o VANT.	Realização de voo com VANT a jusante do ponto de captação de água. Coleta de coordenadas de 20 pontos de verificação em campo.	Georreferenciamento com o GPS do VANT apresentou erro quadrático médio de 1,2 metros.	Normas Técnicas do INCRA para georreferenciamento de imóveis rurais, Brasília. 2013 e 2018.
4- Analisar as mudanças no uso e ocupação do solo, ocorridas entre o voo fotogramétrico de 2010 e as imagens coletadas com o VANT.	Restituição do uso do solo nas áreas de preservação permanente na imagem de 2010 e confrontação com a imagem coletada com VANT.	As imagens coletadas com o VANT apresentaram alta resolução e possibilitou o monitoramento do uso do solo nas APP.	Rusnák, et al.(2018) Monitoramento de matas ciliares. Husson, et al.(2016) Classificação manual de imagens aéreas.
5- Estabelecer protocolo para utilização do VANT no monitoramento de áreas rurais estratégicas.	Desenvolvimento de rotina no ArcGis para elaboração de mapa temático de acréscimo e decréscimo das categorias de uso do solo.	Análise de 23,916 ha em APP. Acréscimo de 1,037 ha na área de Mata Nativa e decréscimo na área de Agricultura. Não foi observada alteração na Infraestrutura.	LEI Nº12.651/2012. Recuperação de recursos florestais em área de preservação permanente.

Fonte: autor

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

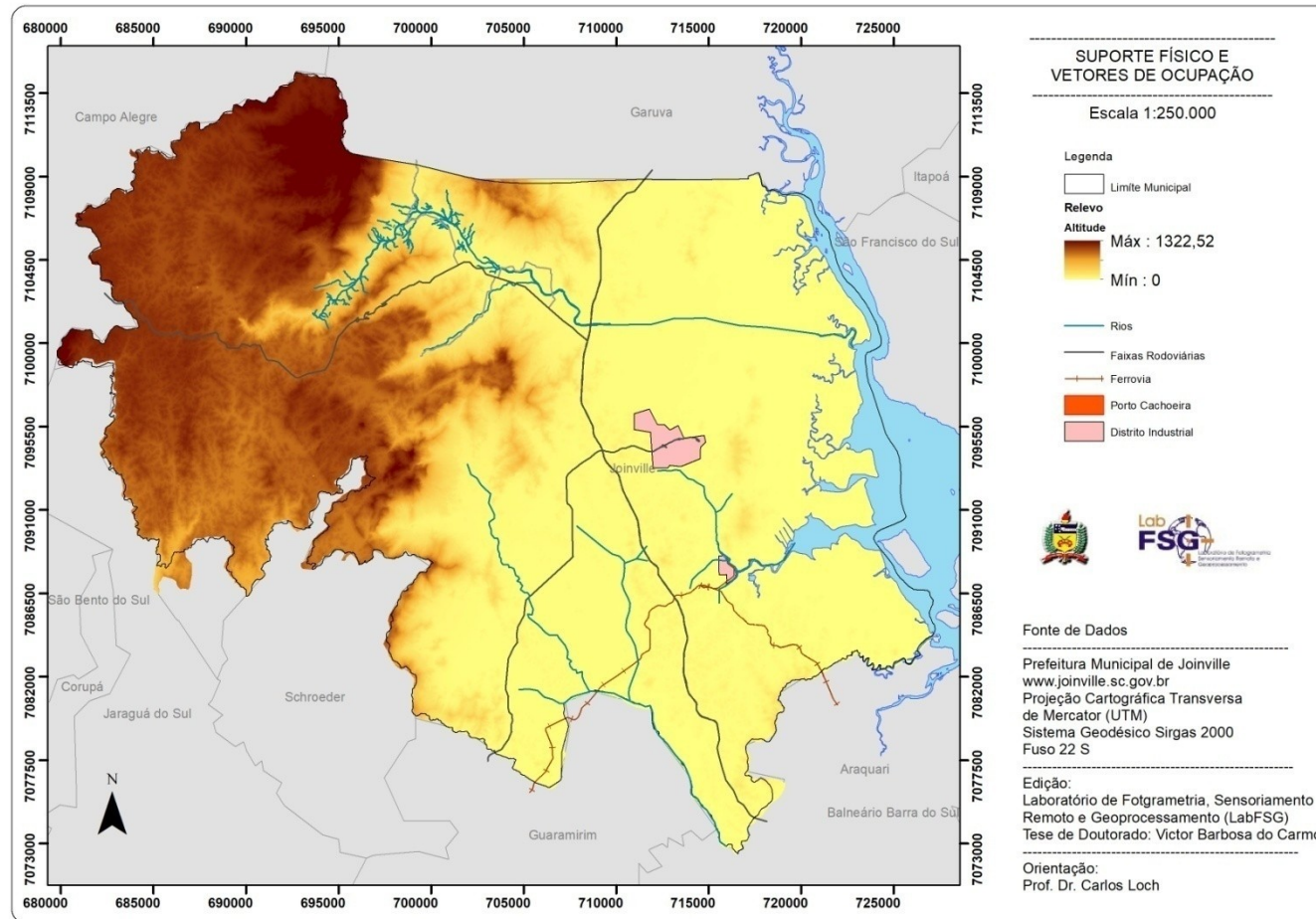
7.1. AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DA MALHA URBANA SOBRE AS DEMAIS ÁREAS DO MUNICÍPIO

Para alcançar o primeiro objetivo específico, de “Avaliar a expansão da malha urbana sobre as demais áreas do município;” foi utilizado o método de identificação do suporte físico da paisagem e dos vetores de ocupação existentes no município de Joinville, e elaborado o mapa a seguir (figura 1) em escala de 1:250.000. Conforme observado no mapa, a parte oeste do município é formada pelas encostas da Serra do Mar com declives bastante acentuados, iniciando próximo ao nível do mar e se estendendo até 1300 metros de altitude. A porção leste do município é constituída por uma grande área de baixada que se estende de norte a sul e da encosta da serra até a Baía da Babitonga. Também foram observadas três principais bacias hidrográficas no

[Digite texto]

município, do rio Cubatão ao norte, do rio Cachoeira no centro e do rio Pirai ao sul. Os principais vetores de ocupação identificados foram o Porto Cachoeira, por onde se iniciou a colonização do município; a estrada de ferro Tereza Cristina, que fortaleceu os distritos industriais; e as estradas rodoviárias que fazem a ligação com os municípios serranos e paranaenses.

Figura 2 - Mapa de suporte físico e vetores de ocupação do Município de Joinville, SC.



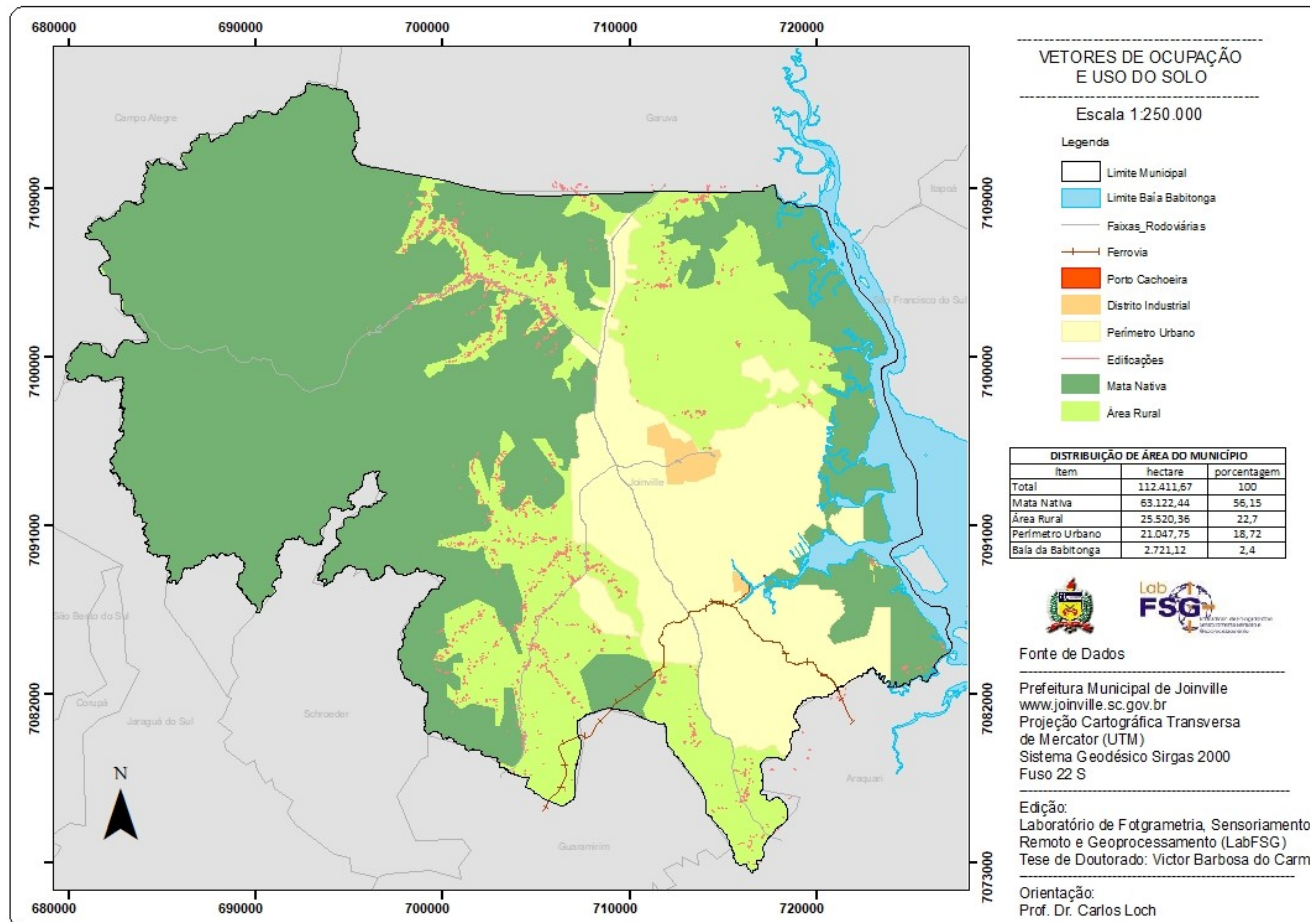
Fonte: autor

[Digite texto]

O segundo mapa elaborado foi para relacionar os vetores de ocupação com o uso do solo, na escala de 1:250.000. Conforme pode ser observado no mapa a seguir (Figura 3), 56% do território municipal é ocupado pela vegetação nativa; 23% é utilizado para áreas agrícolas; 19 % é utilizado como perímetro urbano; e 2% é constituído por parte da Baía da Babitonga. Fazendo a confrontação de ambos os mapas: verifica-se que a ocupação antrópica está restrita à área de baixada, deixando as áreas da encosta da serra e próximas ao mar com cobertura florestal, estas não foram ocupadas devido a alta declividade de suas encostas e por serem áreas de manguezal, respectivamente. O código florestal brasileiro também protege estes locais como Áreas de Preservação Permanente. Desta maneira, conclui-se que existem quatro grandes áreas de expansão urbana sobre a zona rural, ao sul, a sudoeste, a nordeste e a noroeste. A zona rural ao sul possui relevo fortemente ondulado ocupado com pastagem e vegetação secundária, e algumas áreas de baixada ocupadas com cultivo de arroz. Esta zona foi definida no plano diretor como área industrial por estar próxima da BR-101, da estrada de ferro e dos portos de São Francisco do Sul e Araquari. A zona rural à sudoeste está as margens da rodovia SC-108, conhecida como Rodovia do Arroz. O relevo varia entre áreas de baixada e áreas montanhosas. As baixadas são ocupadas por cultivo de arroz, por possuir lençol freático raso e ser susceptível a alagamentos com influência da maré alta que adentra o Rio Pirai. As áreas não sujeitas a inundações estão localizadas no início da encosta da Serra do Mar, são ocupadas por pastagem e a maioria das edificações. A zona rural a nordeste possui relevo predominantemente plano, sofre grande influência da maré alta e é muito susceptível a alagamentos, apesar da retificação realizada no Rio Cubatão. Isto pode ser observado no mapa de suporte físico (Figura 2). A área não é acessada por rodovia asfaltada e é ocupada principalmente por pastagem. A zona rural a noroeste está situada próxima a BR-101 e às margens da SC-418, importante rodovia que liga o litoral a Serra Geral. Possui relevo suavemente ondulado e está em cota mais elevada que as demais zonas rurais, sendo pouco susceptível a alagamentos. As áreas de uso agrícola são ocupadas principalmente com pastagem e bananal, seguidos por mandioca, inhame e plantas ornamentais. Devido ao acesso pela rodovia SC-418 e estabilidade do terreno, estão sendo construídas muitas edificações tanto residenciais como comerciais.

[Digite texto]

Figura 3 - Mapa de vetores de ocupação e uso do solo no Município de Joinville, SC.



Fonte: autor

[Digite texto]

O método utilizado nesta etapa foi considerado adequado para compreender a dinâmica da ocupação antrópica no território municipal. A visualização do suporte físico da paisagem, mostrando a topografia, o sistema hídrico e os vetores de ocupação (rede de estradas), permitiu demonstrar as potencialidades e limitantes para a ocupação do solo. Através da elaboração dos mapas temáticos ficou evidente a relação da geografia com a ocupação do território, mesmo para leitores que nunca visitaram a região. A segunda etapa de análise do método confrontou o suporte físico com o mapa de vegetação e edificações, permitindo identificar a ocupação antrópica atual e pressupor como poderá ser a expansão da malha urbana e o uso do solo futuramente.

A análise da macroestrutura da paisagem foi importante para entender a relação entre as áreas homogêneas, como a zona urbana está contornando as zonas industriais e onde as áreas rurais estão sendo convertidas em áreas urbanas. Este método proposto é uma maneira bastante concreta de expor uma situação real e interpretar a dinâmica do território relativizada nos estudos de ecologia de paisagem através da análise da estrutura horizontal de seus componentes. Estes conceitos foram relatados na fundamentação teórica, tendo importante papel na compreensão dos rumos tomados em todas as etapas da tese.

O agro ecossistema do Vale do Rio Cubatão Norte é afetado pela rodovia que leva ao planalto e pela proximidade com o maior centro urbano-industrial do estado. Diversas pessoas residentes nesta área trabalham em atividades industriais ou de serviços e utilizam o local como dormitório. A porção do médio vale fez parte do perímetro urbano na década de 90, o que possibilitou a implantação de uma infraestrutura urbana na área e gerou aumento no número de edificações e desmembramentos de propriedades rurais em lotes urbanos. Em 2010, esta área deixou de ser zona urbana do município e o desmembramento de propriedades rurais não pode ser inferior a dois hectares. As propriedades apresentam alto valor econômico devido à proximidade de rodovias, portos e centros consumidores.

Esta microbacia possui algumas unidades de conservação que não estão diretamente conectadas, mas que poderiam ser ligadas pela implantação de um corredor ecológico ao longo do Rio Cubatão (LOCH et al, 2013), contém a Serra Dona Francisca como um elemento raro na paisagem que promove o valor cênico local. A microbacia selecionada

[Digite texto]

apresenta potencial para compor o sistema de áreas verdes do município e contribuir com múltiplos serviços ecossistêmicos para o município, tais como prevenção de enchentes, fornecimento de água, sequestro de carbono, lazer ao ar livre, beleza cênica, reprodução sócio-cultural, bem como, serviços econômicos relacionados à produção agrícola. Desta maneira, é importante que o município determine restrições para urbanização de áreas agrícolas estratégicas para a produção de serviços ecossistêmicos que vão servir para melhorar as condições ambientais dos centros urbanos próximos. As áreas rurais devem ser preservadas com legislação específica contra o uso e ocupação desordenada, para garantir que os benefícios ambientais gerados continuem a ser usufruídos pela população do município.

7.2. IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS RURAIS NO MUNICÍPIO E SEUS RECURSOS NATURAIS, DE MAIOR VULNERABILIDADE FRENTE À OCUPAÇÃO URBANA

As informações obtidas no primeiro objetivo específico permitiram alcançar o segundo objetivo específico de “Identificar áreas rurais no município e seus recursos naturais, de maior vulnerabilidade frente à ocupação urbana”. A partir da análise da macroestrutura realizada no primeiro objetivo específico foi possível identificar as áreas rurais de maior vulnerabilidade frente à ocupação urbana no município. O potencial de urbanização das quatro zonas rurais foi ponderado considerando o suporte físico e os vetores de ocupação. Todas as quatro zonas apresentam forte tendência à urbanização, mas o potencial de cada uma varia principalmente em função do suporte físico. As zonas rurais à sul, à sudeste e à nordeste necessitam de grandes obras de terraplanagem antes de serem urbanizadas, tanto para nivelar as áreas de relevo acidentado como para elevar o nível nas áreas susceptíveis a alagamentos. Devido às características do relevo foi definido que a bacia hidrográfica do Rio Cubatão Norte, distrito da Pirabeiraba a noroeste do centro urbano, estava mais propício a urbanização, apresentando topografia e estabilidade do terreno capaz de ser urbanizada com pouca intervenção geotécnica, [Digite texto]

sem grandes volumes de aterro e obras de macrodrenagem. Portanto, as áreas rurais à nordeste foram consideradas de maior vulnerabilidade frente à expansão urbana. Desta maneira, este foi o recorte selecionado para ter os estudos aprofundados.

A área selecionada é formada pela microbacia do médio e alto Cubatão, se inicia na Br-101 à jusante e se estender à montante até as nascentes nas encostas da serra. Esta área fazia parte do perímetro urbano desde a década de 90, mas foi retirado desta categoria no ano de 2010. Com isto, toda infraestrutura urbana foi construída na área e houve um grande aumento no número de edificações. Atualmente, estão cadastradas na prefeitura mais de 1.700 edificações na Pirabeiraba, número bastante expressivo para os pouco mais de 3 mil hectares de área agrícola. O cadastro municipal apresenta a estrutura fundiária desta área com a presença de mais de 3 mil parcelas imobiliárias, algumas com menos de 2 hectares, pois foram desmembradas quando a área fazia parte do perímetro urbano. O parcelamento do solo e desmembramento das matrículas é um indicativo de que a área sofre alta pressão imobiliária. Considerando que é cortada por rodovia asfaltada e está próxima à BR-101 e ao perímetro urbano do município, a área apresenta grande potencial para se tornar parte do perímetro urbano novamente. Assim, a urbanização desta microbacia precisa considerar a manutenção das áreas rurais e sua produção de serviços ecossistêmicos. De modo a manter boa qualidade do ambiente e não gerar os problemas inerentes aos centros urbanos, como excesso de veículos em ruas estreitas, pouco espaço vazio, impermeabilização do solo, falta de áreas de lazer e de dissipação de poluentes.

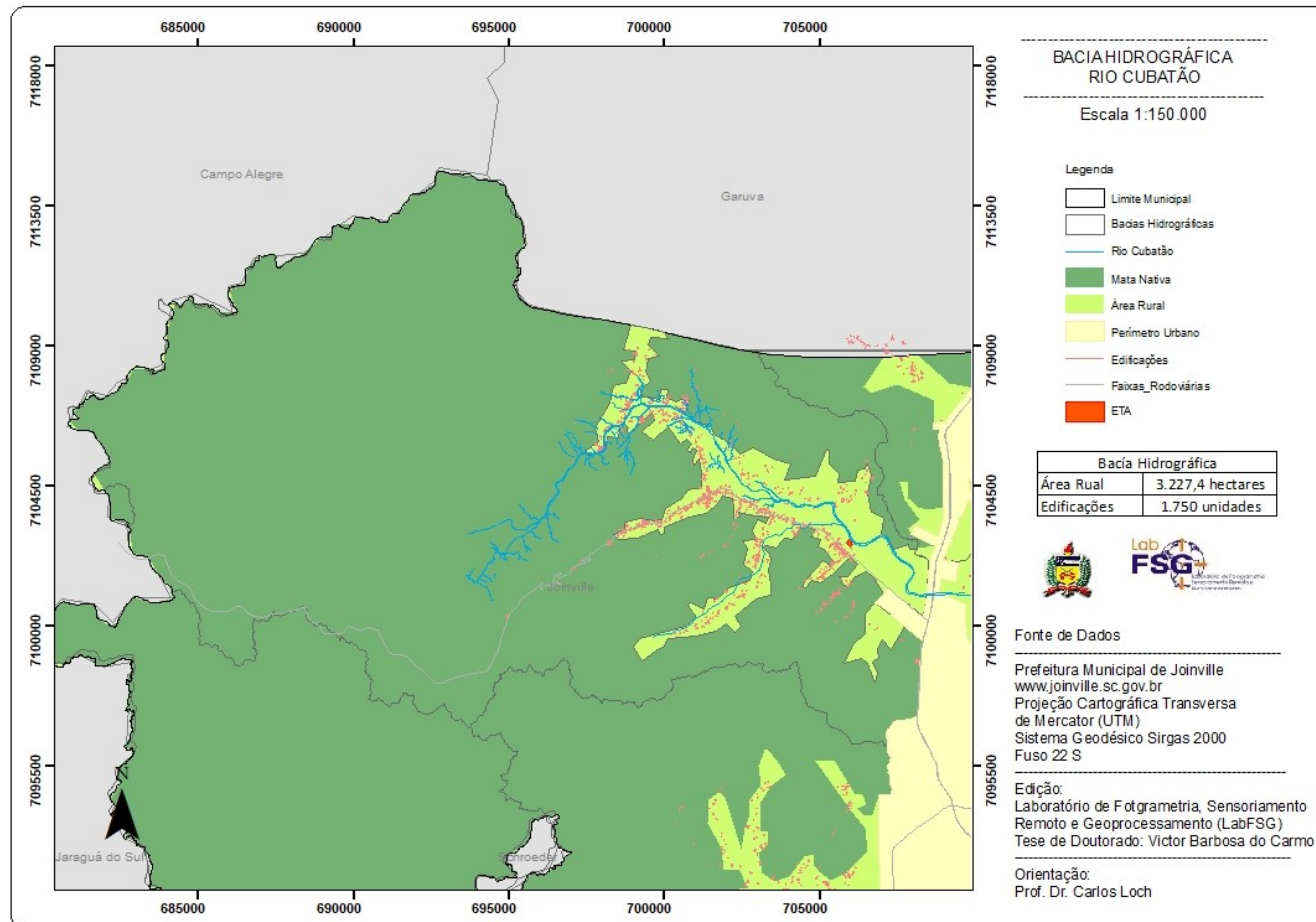
A busca pela qualidade de vida faz com que muitas pessoas prefiram morar em locais com ambiente saudável desde que tenham facilidade de acesso aos serviços urbanos. Algumas propriedades são utilizadas como dormitório para as pessoas que trabalham na zona urbana, mas mantêm suas raízes na agricultura, ou como chácaras de final de semana para recreação. A população local utiliza o rio para lazer, com banho e pesca esportiva, bem como, os restaurantes e hotéis locais, usufruindo da arquitetura, gastronomia e beleza local. Por ser um vale encaixado em um distrito não sofre influência visual da urbanização da área metropolitana de Joinville. Seu aproveitamento pela população local e sua influência na qualidade ambiental urbana é consagrada pela sua localização, estando a menos de 30 minutos da área central de Joinville.

[Digite texto]

Na zona rural de Pirabeiraba, além dos usos descritos anteriormente, está localizado o ponto de captação de água para abastecimento do centro urbano, como pode ser observado no mapa a seguir (figura 4), elaborado na escala de 1:150.000. A Estação de Tratamento de Água identificada é responsável por 70% do abastecimento urbano municipal. A importância deste ponto de captação de água torna a Pirabeiraba uma zona estratégica para proteção dos recursos naturais da microbacia e dos serviços ecossistêmicos gerados. Por ser a principal fonte de água doce do município é amplamente reconhecida como um recurso natural que precisa ser preservado. Em conversa com analistas ambientais da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Joinville ficou clara a preocupação com as atividades antrópicas a montante da captação de água. Assim como, as dificuldades em definir as ações para a preservação ambiental da área e o monitoramento das propriedades agrícolas.

A captação de água do Rio Cubatão está situada logo após o encontro com a água de seu afluente, o Rio da Prata. Este é o ponto de grande disponibilidade de água, mas a qualidade desta é fortemente afetada pelo uso do solo nas propriedades na bacia de captação. São fontes de poluição que impactam a qualidade da água os dejetos dos estabelecimentos comerciais e das residências, os sedimentos liberados pela mineração de seixo, os adubos e agrotóxicos utilizados na produção agropecuária e até mesmo resíduos de óleo e borracha das empresas de distribuição e da rodovia que sobe a serra em direção ao planalto. Todas estas atividades precisam existir, mas é preciso minimizar seus impactos ao ambiente e estabelecer zonas para dissipação dos poluentes antes que estes atinjam os cursos d'água. Isto nos leva aos demais objetivos específicos, que são os procedimentos que permitam planejar onde deve haver áreas de mata nativa e como monitorar o desenvolvimento desta vegetação.

Figura 4 - Mapa da bacia hidrográfica do Alto Rio Cubatão.

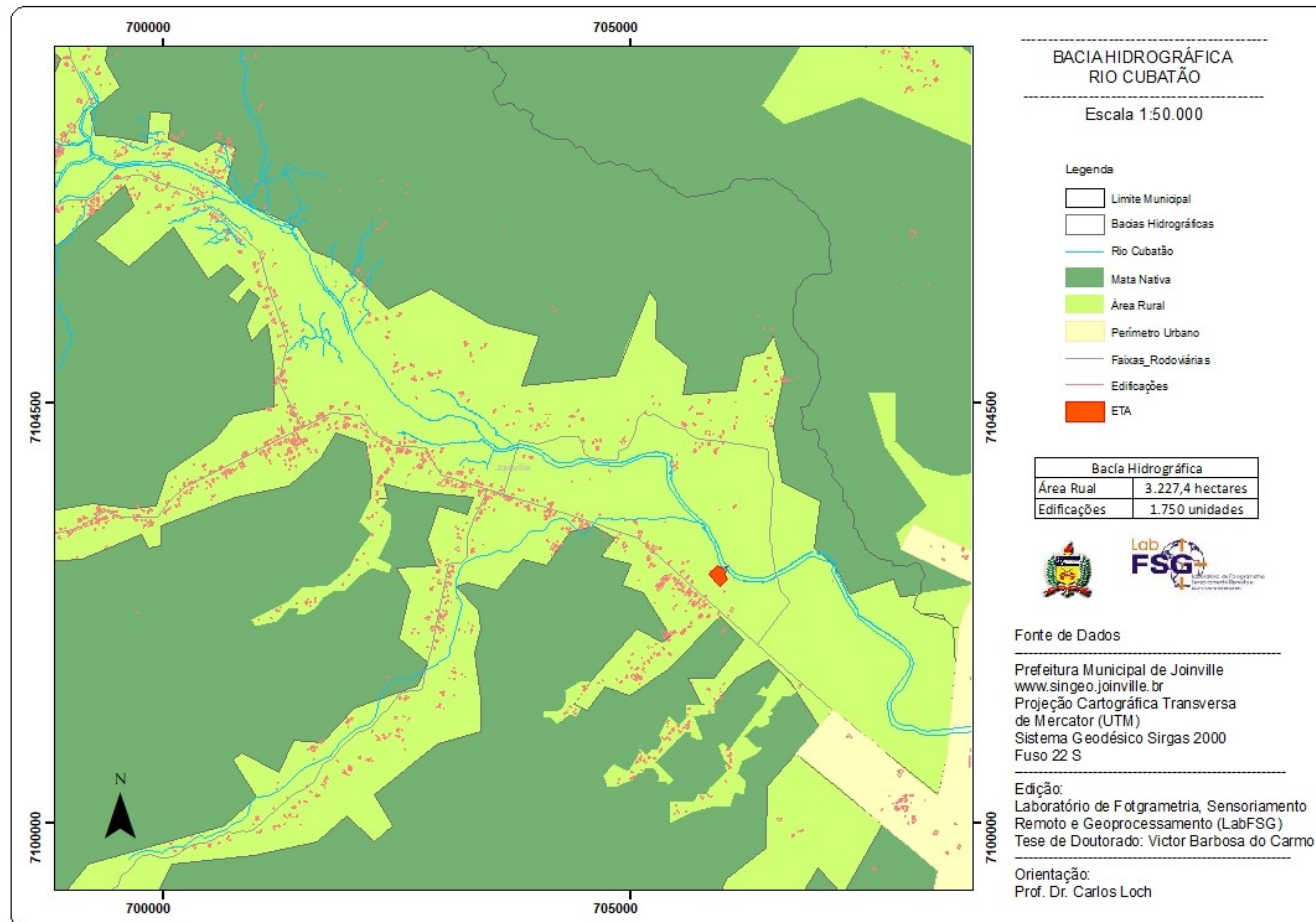


Fonte: autor

[Digite texto]

Com a identificação da Estação de Tratamento de Água (ETA) como um recurso natural estratégico para o município, as análises do uso do solo serão intensificar a montante do ponto de captação. Para melhor visualização, foi elaborado o mapa a seguir (Figura 5) em escala de 1:50.000. Neste mapa, podemos observar que o ponto de captação de água está a jusante de uma grande área antropizada, os cursos d'água passam por áreas agrícolas e sofrem influência tanto dos cultivos como das edificações e das rodovias existentes. No entanto, nesta escala de trabalho não é possível identificar se existem matas ciliares, remanescentes florestais ou os tipos de cultivo que caracterizam as áreas agrícolas. A identificação mais detalhada da ocupação do solo pode auxiliar no entendimento da influência antrópica sobre os cursos d'água. Por exemplo, nas áreas de cultivos anuais o preparo do solo por aração e gradagem aumenta o risco de erosão, durante chuvas fortes o escoamento superficial leva maior quantidade de sedimento ao rio do que nas áreas com cultivo perene.

Figura 5 - Mapa de localização do ponto de captação de água do Rio Cubatão.

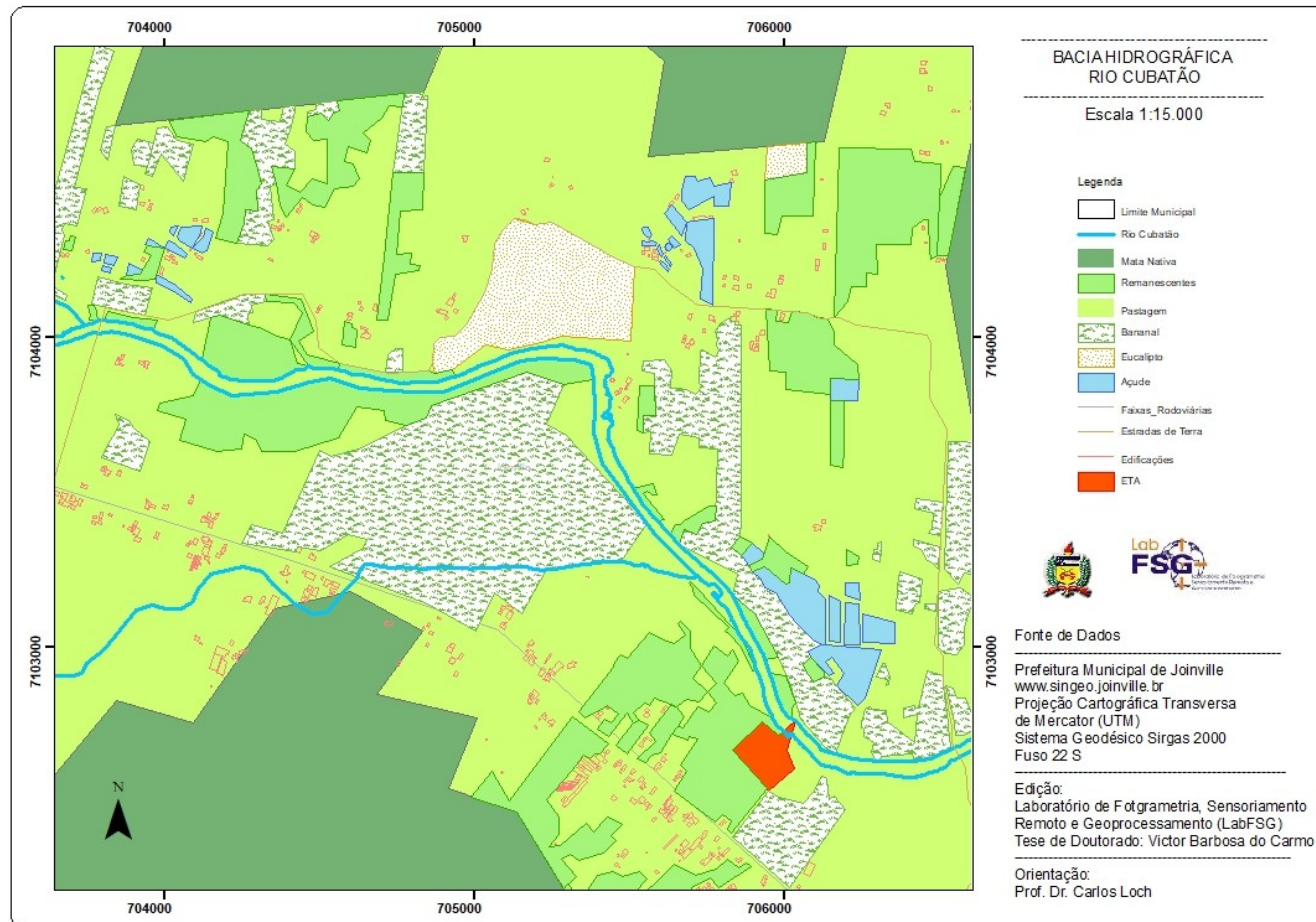


Fonte: autor

[Digite texto]

Visando ter melhor entendimento da influência antrópica sobre os cursos d'água foi elaborado outro mapa em escala de 1: 15.000, onde é possível ter uma melhor definição do uso e ocupação do solo (Figura 6). Neste mapa podemos observar que a Estação de Tratamento de Água está inserida em uma área de remanescente florestal e que também existem outras manchas de floresta em meio às áreas de cultivo. No entanto, verifica-se que poucas áreas do rio possuem matas ciliares. A maior parte da área agrícola é ocupada por cultivos perenes, principalmente pastagem, seguido por cultivo de banana e eucalipto. Nesta escala de trabalho não foi possível diferenciar as áreas com cultivo anual das áreas com cultivos perenes. Esta análise será realizada a partir das imagens obtidas a com a utilização do VANT.

Figura 6 - Mapa de uso e ocupação do solo ao redor do ponto de catação de água do Rio Cubatão.

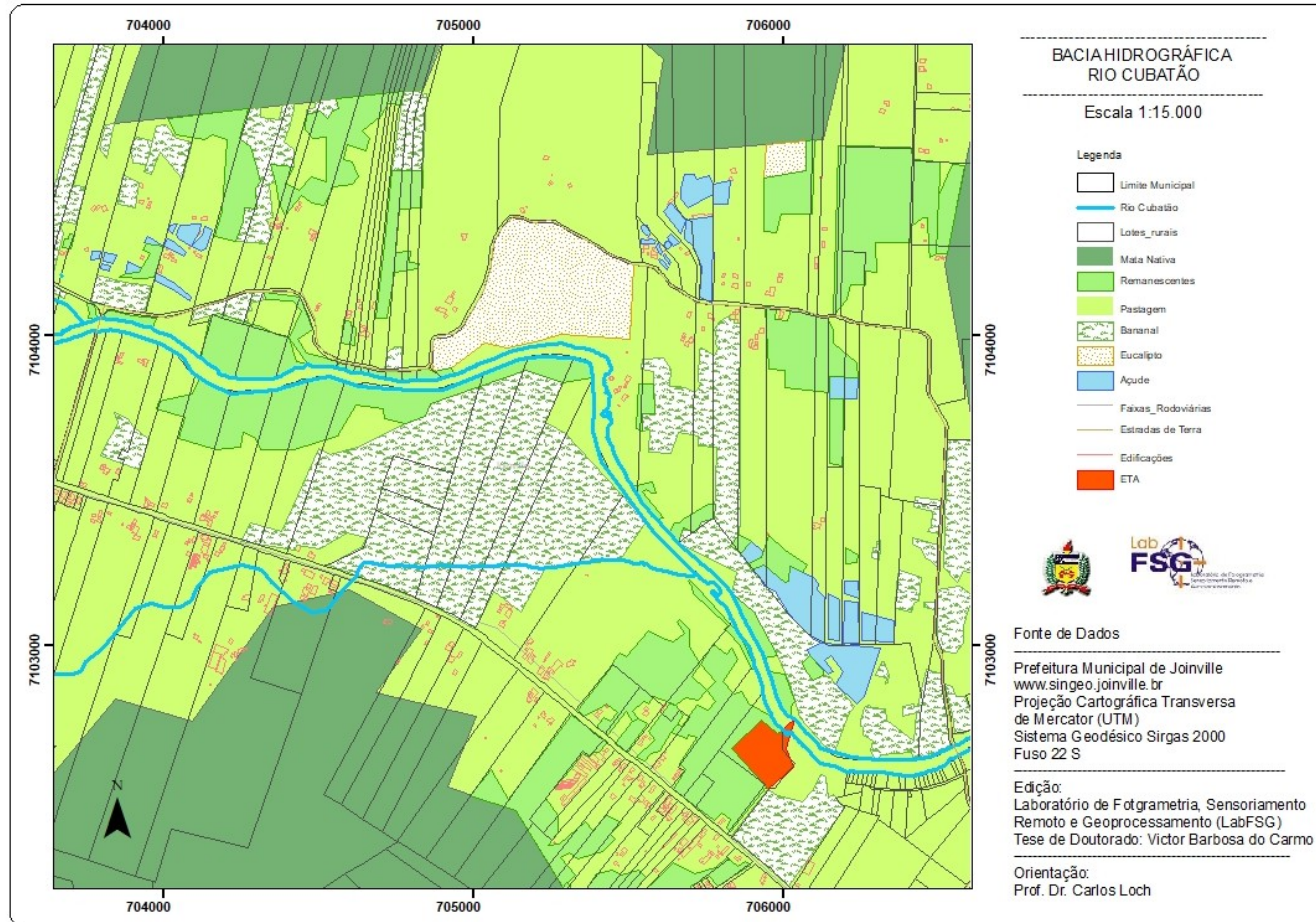


Fonte: autor

[Digite texto]

O mapa de uso e ocupação do solo na escala de 1:15.000 foi sobreposto ao mapa fundiário disponibilizado pela Prefeitura de Joinville (Figura 7). A partir desta análise é possível identificar a parcela fundiária que possui área com mata ciliar e está de acordo com a legislação ambiental (Brasil, 2012). Porém, nesta escala não é possível obter uma medida precisa e confiável da largura da faixa de mata existente ou se as áreas de cultivo estão respeitando o afastamento requerido na legislação. Sendo assim, esta área foi selecionada para ser mapeada com a utilização do VANT, de modo a obter uma imagem em maior escala e atualizada, que permita mensurar as faixas de mata ciliar e o impacto dos cultivos sobre os cursos de água.

Figura 7 - Mapa relacionando as parcelas fundiárias com o uso e ocupação do solo ao redor do ponto de captação de água no Rio Cubatão.



Fonte: autor

[Digite texto]

7.3. VERIFICAÇÃO DA PRECISÃO DO GEORREFERENCIAMENTO DO ORTOMOSAICO ELABORADO A PARTIR DAS IMAGENS COLETADAS COM O VANT

Para alcançar o terceiro objetivo específico de “Verificar a precisão do georreferenciamento do ortomosaico elaborado a partir das imagens coletadas com o VANT” foi preciso inicialmente selecionar uma área e realizar o voo. Com a definição da área para ser mapeada pelo VANT a partir do segundo objetivo específico, foram definidos os procedimentos para a realização do voo. O VANT utilizado foi o Phantom 4 Pro da DJI e com câmera de 20 megapixel. O VANT Phantom 4 Pro da DJI possui um sistema de posicionamento por satélite que registra a posição da aeronave no momento da tomada de cada foto. Segundo o fabricante, este sistema interno utiliza o sistema GPS e GLONASS para se localizar e sua precisão para o georreferenciamento é entorno de 1,5 metros horizontalmente e 0,5 metros verticalmente. Por se tratar de micro VANT, com peso de 1380gr., a aeronave é bastante sensível ao vento. Assim, a precisão do georreferenciamento é inversamente proporcional a velocidade do vento. O fabricante DJI recomenda que voos sejam realizados com ventos de no máximo 10 m/s.

No dia da realização deste estudo a velocidade do vento era de 3 m/s no período da manhã e subiu para 5 m/s no período da tarde. Havia poucas nuvens no céu e a visibilidade era ótima. Com o intuito de testar estratégias de georreferenciamento do fotomosaico, foram implantados 20 pontos de controle em solo antes da realização do voo. Os pontos de controle foram distribuídos sem toda a área de estudo, os quais foram confeccionados com dois pedaços de forro de PVC branco com 60 cm de comprimento e fixados com estacas, conforme figura 8. As coordenadas geográficas dos pontos foram coletadas com RTK/GNSS a partir da estação RBMC de Araquari, conforme figura 9.

Figura 8 - Ponto de controle em solo.



Fonte: autor

Figura 9 - Sistema RTK/GNSS, controladora e antena.



Fonte: autor

[Digite texto]

O plano de voo foi elaborado no programa Precision Flight, com altura de voo de 120 metros, velocidade de 15m/s e GSD (Ground Sample Distance) de 3,9 cm, conforme a Figura 10. A área sobrevoada foi de 188,6 hectares e foram necessários 5 voos para completar a missão. Cada voo teve duração média de 18 minutos e foram capturadas 1.292 fotos no total.

Figura 10 - Plano de voo do VANT elaborado no programa Precision Flight.



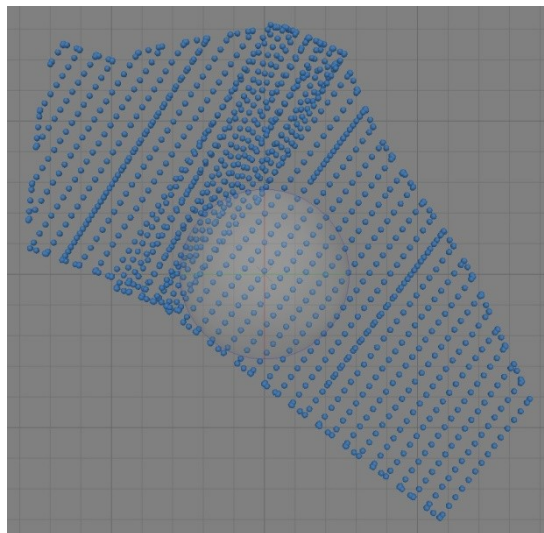
Fonte: autor.

Para a formação do ortofotomosaico foi utilizado o programa PhotoScan/AGISOFT. O primeiro passo neste programa é o alinhamento das fotos. Nesta etapa foi verificado o recobrimento da área e as fotos em sobreposição, representadas pelas bolinhas azuis (Figura 11). Esta sobreposição de imagens aumenta o tempo de processamento do fotomosaico e pode atrapalhar o programa na identificação de pontos homólogos na junção de duas fotos. Na Figura 11 podemos observar que, onde há sobreposição de fotos na mesma linha de voo significa que a bateria do VANT estava acabando e ele retornou a base (ponto de decolagem) para substituição. Ao retomar o plano de voo, o VANT refez toda a linha onde a bateria tinha acabado e, em parte da linha de voo, as fotos ficaram sobrepostas. Na terceira substituição de bateria houve um problema com o reconhecimento do plano de voo pelo VANT e um novo plano foi feito para completar a missão. Isto gerou maior sobreposição de fotos no centro do polígono, como pode ser

[Digite texto]

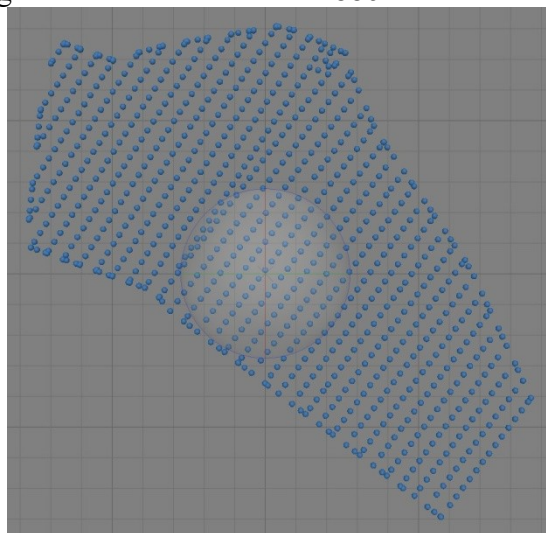
observado na Figura 11. No total foram coletadas 1.292 fotos, sendo que 406 fotos foram excluídas manualmente devido a sobreposição gerada pelos casos mencionados. As demais 886 fotos foram alinhadas novamente (Figura 12).

Figura 11 - Alinhamento de 1.292 fotos no PhotoScan.



Fonte: autor

Figura 12 - Alinhamento de 886 fotos no PhotoScan.

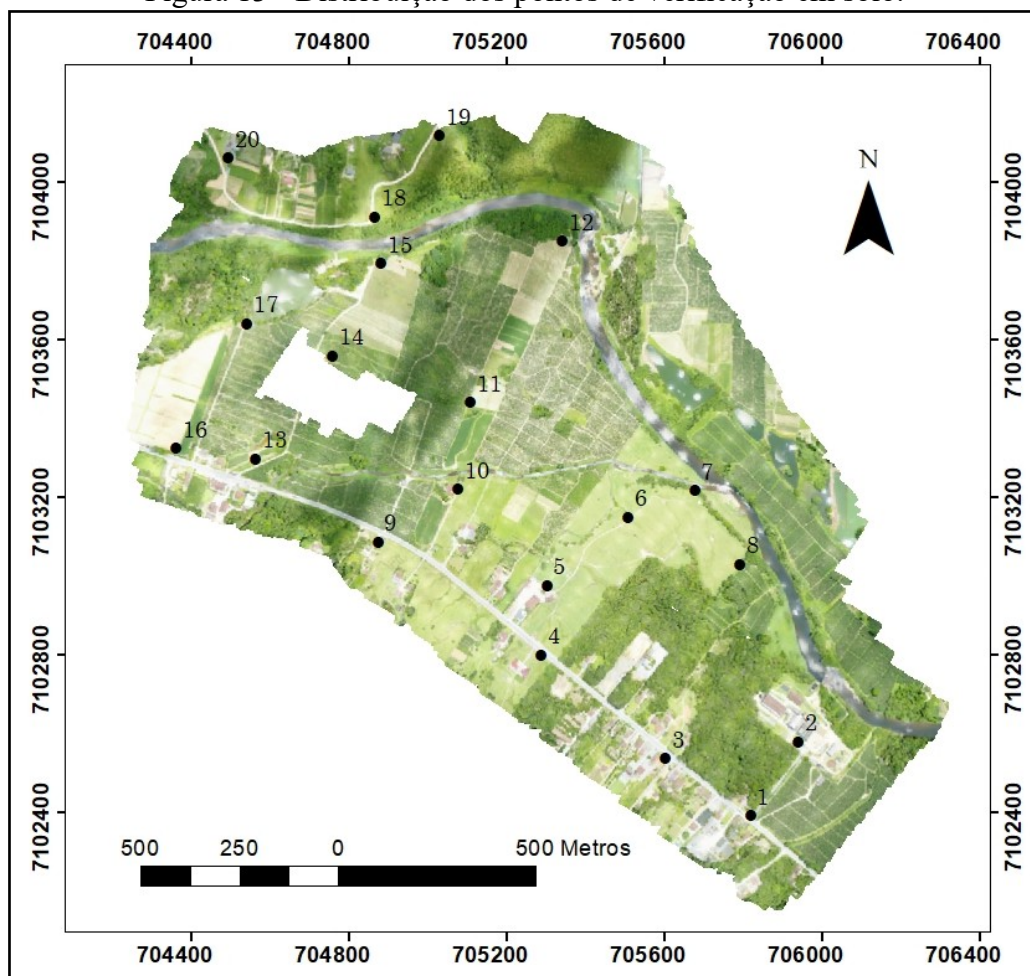


Fonte: autor

[Digite texto]

Após os realinhamentos das fotografias, o PhotoScan gerou a nuvem densa de pontos e utilizou os dados do GPS embarcado no VANT, que registra as coordenadas no momento da coleta de cada fotografia, para georreferenciar o fotomosaico. Para mensurar a precisão posicional deste georreferenciamento, a ortofoto gerada no PhotoScan foi transferida para o software ArcGis (ESRI). Neste programa foi gerado um shapefile dos pontos de verificação, utilizando as coordenadas geográficas coletadas com o RTK/GNSS nos 20 pontos implantados em solo antes da realização do voo. A distribuição destes pontos pode ser observada na Figura 13. Foi gerado outro shapefile de linha para medir a distância entre o ponto do RTK/GNSS e o ponto de verificação observado na ortofoto, como exemplificado na Figura 13. A tabela de atributos das distâncias de cada ponto foi exportada para o Excel.

Figura 13 - Distribuição dos pontos de verificação em solo.



Fonte:autor.

[Digite texto]

Figura 14 - Discrepância entre um ponto de verificação em solo e a coordenada obtida com RTK/GNSS.



Fonte:autor.

O resultado das medições da distância entre os pontos de verificação em solo e as coordenadas obtidas com RTK/GNSS pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7 - Distância entre pontos de verificação na ortofoto e

Ponto	Distância (m)	Ponto	Distância (m)
1	1,46	11	0,83
2	1,37	12	0,46
3	0,56	13	1,14
4	0,71	14	1,41
5	0,63	15	1,51
6	0,88	16	1,65
7	0,85	17	1,69
8	1,12	18	1,92
9	0,66	19	1,53
10	0,98	20	1,18

Fonte: autor

A tabela de distâncias exportada para o Excel foi submetida aos testes estatísticos exigidos pela Norma de Execução N.02 do INCRA de 2018. Inicialmente, [Digite texto]

foi empregado o teste de Shapiro-Wilk (Equação1) para testar a normalidade das discrepâncias posicionais planimétricas ao nível de confiança de 95%.A memória de cálculo está descrita na Tabela 08.

Equação 1 - Teste de Shapiro-Wilk.

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Quando, n = 20:

$$b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (y_{n-i+1} - y_i)$$

Sendo, a_{n-i+1} tabelado pelo teste W.

Tabela 8 - Memória de cálculo do teste de Shapiro-Wilk gerado no Excel.

A	B	C	D	E	F	G	H
	Erro	Erro Ord. Menor	Erro Ord. Maior	Diferença	Tabela	Tab.-Dif.	(Erro - Média Erro)^2
1	1,464892781	0,458427045	1,921527682	1,463100637	0,4734	0,69263184	0,446818383
2	1,372091009	0,555073771	1,689480019	1,134406248	0,3211	0,36425785	0,326952979
3	0,555073771	0,631287415	1,647342676	1,016055261	0,2565	0,26061817	0,245603877
4	0,705159425	0,659135982	1,527190017	0,868054034	0,2085	0,18098927	0,21877679
5	0,631287415	0,705159425	1,514420787	0,809261362	0,1686	0,13644147	0,177841323
6	0,882953469	0,828321752	1,464892781	0,636571029	0,1334	0,08491858	0,089132128
7	0,854395992	0,854395992	1,414337332	0,55994134	0,1013	0,05672206	0,074243063
8	1,116337524	0,882953469	1,372091009	0,48913754	0,0711	0,03477768	0,059496149
9	0,659135982	0,98098155	1,178999271	0,19801772	0,0422	0,00835635	0,021283963
10	0,98098155	1,116337524	1,135080394	0,01874287	0,014	0,0002624	0,000110971
11	0,828321752	1,135080394	1,116337524	-0,01874287	0	0	6,73811E-05
12	0,458427045	1,178999271	0,98098155	-0,19801772	0	0	0,002717274
13	1,135080394	1,372091009	0,882953469	-0,48913754	0	0	0,060132463
14	1,414337332	1,414337332	0,854395992	-0,55994134	0	0	0,082636435
15	1,514420787	1,464892781	0,828321752	-0,636571029	0	0	0,114258187
16	1,647342676	1,514420787	0,705159425	-0,809261362	0	0	0,150194221
17	1,689480019	1,527190017	0,659135982	-0,868054034	0	0	0,160254679
18	1,921527682	1,647342676	0,631287415	-1,016055261	0	0	0,270889939
19	1,527190017	1,689480019	0,555073771	-1,134406248	0	0	0,316528014
20	1,178999271	1,921527682	0,458427045	-1,463100637	0	0	0,631477979
MÉDIA	1,126871795		SOMA	0	SOMA	1,81997565	3,4494162

	SOMA (TAB.-DIF.)^2 / SOMA(Erro - Média Erro)^2
SHAPIRO-WILK	0,960

Fonte: autor.

Na coluna A estão os 20 pontos de verificação e na coluna B o comprimento, em metro, do vetor das discrepâncias (Erro). Na coluna C o Erro foi classificado em ordem crescente e na coluna D em ordem decrescente. Na coluna E foi calculada a diferença entre a coluna D menos a coluna C, a soma da coluna E tem que ser igual a zero. Na

[Digite texto]

coluna F foram inseridos os valores tabelados do teste de Shapiro-Wilk para 20 amostras, sendo 0 para as amostras 11 até 20 (SHAPIRO; WILK, 1965). Na coluna G foi calculada a diferença entre a coluna F menos a coluna E. Na coluna H foi calculado o Erro menos a média dos Erros (coluna B) elevando o resultado ao quadrado. Para finalizar o teste a soma da coluna G foi elevada ao quadrado e dividida pela soma da coluna H. O resultado final foi de 0,96. Significando que existe 96% de probabilidade das discrepâncias apresentarem distribuição normal, estando em acordo ao segundo item da Norma de Execução N.02 do INCRA que é de 95% de confiança.

O teste de normalidade de Shapiro-Wilké uma etapa importante para validação dos resultados, pois muitos testes estatísticos assumem que existe uma distribuição normal dos dados para o desenvolvimento de sua metodologia, mas se a distribuição das discrepâncias não seguir uma normalidade o resultados dos demais testes podem não representar a realidade (SHAPIRO; WILK, 1965). Segundo Shapiro e Wilk (1965), este teste é simples de calcular e bastante sensível para detectar normalidade mesmo em pequenas amostras ($n < 20$), quando confirmada a distribuição normal de um conjunto de dados a variância em relação a média tende a ser menor do que em uma distribuição não-normal. Isto significa que a média aritmética é realmente representativa do conjunto de dados amostrados.

Em seguida, foi aplicado o teste T-Student para avaliar a não tendenciosidade dos dados ao nível de 90% de confiança. Para realizar este teste no Excel é preciso ativar a “Análise de Dados” no menu “Suplementos do Excel”, depois criar uma coluna de discrepâncias e outra coluna com a média, escolher a opção “Teste T-Student: duas amostras em par para médias”, selecionar o intervalo das variáveis e o “alfa” 0,1 para 90% de confiança. O teste T-Student verificou que 90% das discrepâncias estão no intervalo de 0,5 para mais e 0,5 para menos em relação a média de 1,12 (Tabela 9). O resultado unicaudal é utilizado para analisar um lado da curva normal, acima ou abaixo da média. Neste experimento estamos analisando ambos os lados, portanto bi-caudal. Conforme apresentado na tabela a seguir, o resultado bi-caudal do teste foi igual a 1 e menor do que o crítico bi-caudal comprovando a não tendenciosidade dos dados. Este resultado confirma que as discrepâncias posicionais estão em acordo com o terceiro item da Norma de Execução N.02 do INCRA.

[Digite texto]

Tabela 9 - Resultado do teste T-Student gerado no Excel para as 20 discrepâncias.

Teste-t: duas amostras em par para médias		
	<i>Erro</i>	<i>Média</i>
Média	1,126871795	1,126872
Variância	0,181548221	5,19E-32
Observações	20	20
Correlação de Pearson	-1,87133E-16	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	19	
Stat t	8,15694E-16	
P(T<=t) uni-caudal	0,5	
t crítico uni-caudal	1,327728209	
P(T<=t) bi-caudal	1	
t crítico bi-caudal	1,729132792	

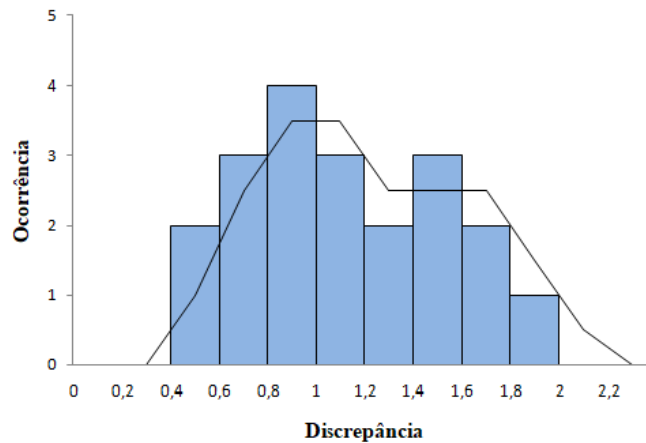
Fonte: autor

O teste de tendenciosidade é utilizado para avaliar se os valores individuais estão próximos da média ou demasiadamente afastados. O teste T-Student foi desenvolvido por William Sealy Gosset para avaliar se a média é representativa da população mesmo com número pequeno de amostras, pois, sem este teste só há certeza que a média é representativa de uma população se o número de amostras for grande o bastante em relação ao universo (Student, 1908).

Estes dois testes estatísticos são exigidos na norma do INCRA porque o número de pontos de verificação é pequeno ($n=20$) em relação ao universo de pontos, sendo assim, erros aleatórios de amostragem podem gerar discrepâncias muito longe da média e não representar todas as distorções ocorridas no mapa. O gráfico 1 expressa a curva de tendência da distribuição das discrepâncias em intervalos de 20 cm. Apesar da curva no gráfico não ter o formato de um sino perfeito, o teste de Shapiro-Wilk verificou que as discrepâncias apresentam 96% de segurança de ser uma distribuição normal. O teste T-Student verifica se a curva formada apresenta o ápice elevado e as bordas estreitas, certificando que 90 % das discrepâncias estão próximas da média. Se a curva normal apresentasse base aberta significaria que muitos dados estariam longe da média e esta poderia não representar o comportamento de todo o universo de pontos.

[Digite texto]

Gráfico 01 - Distribuição da ocorrência de discrepâncias em intervalos de 0,2m.



Fonte: autor

Posteriormente, foi verificado se 100% das discrepâncias posicionais são menores ou iguais à precisão de cada categoria de vértice, estabelecidas pela Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA (INCRA, 2013c). Neste experimento estamos analisando o uso e ocupação da APP às margens do rio, portanto será considerado os limite 3m para vértices situados em limites naturais.

Por fim, com a validação das análises estatística e o cumprimento dos quatro parâmetros estabelecidos na Norma de Execução N.02 do INCRA de 2018 foi calculado o erro quadrático médio (RMSE), através da Equação02. Este cálculo é feito elevando ao quadrado todas as discrepâncias individualmente, depois é extraída a média e aplicada a raiz quadrada. O comando no Excel para este cálculo é =RAIZ(SOMAQUAD(n1:n20)/20). Neste experimento o resultado do erro quadrático médio foi de 1,20m.

Equação 2 - Erro Quadrático Médio.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} e_i^2} \quad (2)$$

Neste experimento as discrepâncias posicionais obtidas no georreferenciamento do ortomosaico variaram entre 0,55m e 1,92m, com erro quadrático médio de 1,20m. Portanto, estão dentro do erro tolerável para o georreferenciamento de limites naturais (até

[Digite texto]

3m) e para limites em locais inacessíveis (até 7,5 m). Precisão requerida pelo Manual Técnico de Posicionamento (INCRA, 2013b). Este é um resultado muito bom se considerarmos que o georreferenciamento foi feito pelo GPS embarcado no VANT voando a 120m de altura, além de custar 1 décimo do valor de um RTK/GNSS.

Outros experimentos (Hung et. al., 2018; Sopchaki, et. al.2018) obtiveram resultados interessantes com a utilização de VANT sem pontos de controle em solo. Hung et. al. (2018) avaliou a qualidade do Modelo Digital do Terreno (MDT), em área com presença de vegetação esparsa, gerado com o VANT Phantom 3 Pro com altura de voo de 60 m e sem pontos de controle. A avaliação da acurácia do MDT utilizou 354 pontos de verificação obtidos por técnicas de levantamento topográfico convencional. As diferenças médias entre o MDT e o levantamento topográfico foram: altimétricas de 0,29 m e planimétricas de 0,49 m. Este erro planimétrico de 0,49m foi inferior ao obtido no experimento com o Phantom 4Pro (de 1,20m) provavelmente pela altura de voo ser muito inferior. Já Sopchaki, et. al.(2018) avaliou a acurácia posicional do ortomosaico de uma área de 42,64 ha, utilizando o VANT Phantom 3 Pro sem pontos de controle, porém com altura de voo de 220 m. Baseando-se em 10 pontos de verificação o estudo obteve erro quadrático médio de 4 metros. Outro experimento realizado com VANT de asa fixa, voando a altura de 216m, obteve erro planimétrico médio de 0,30m, mesmo com a utilização de 14 pontos de apoio (Marotta, et. al., 2014). Conclui-se que quanto menor for a distância da aeronave com o solo, melhor será o resultado do georreferenciamento. Entretanto, se a área apresentar grande variação de altitude será necessário aumentar a altura de voo para diminuir as distorções geradas pelo relevo na ortofoto (LILLESAND; KIEFER, 1994).

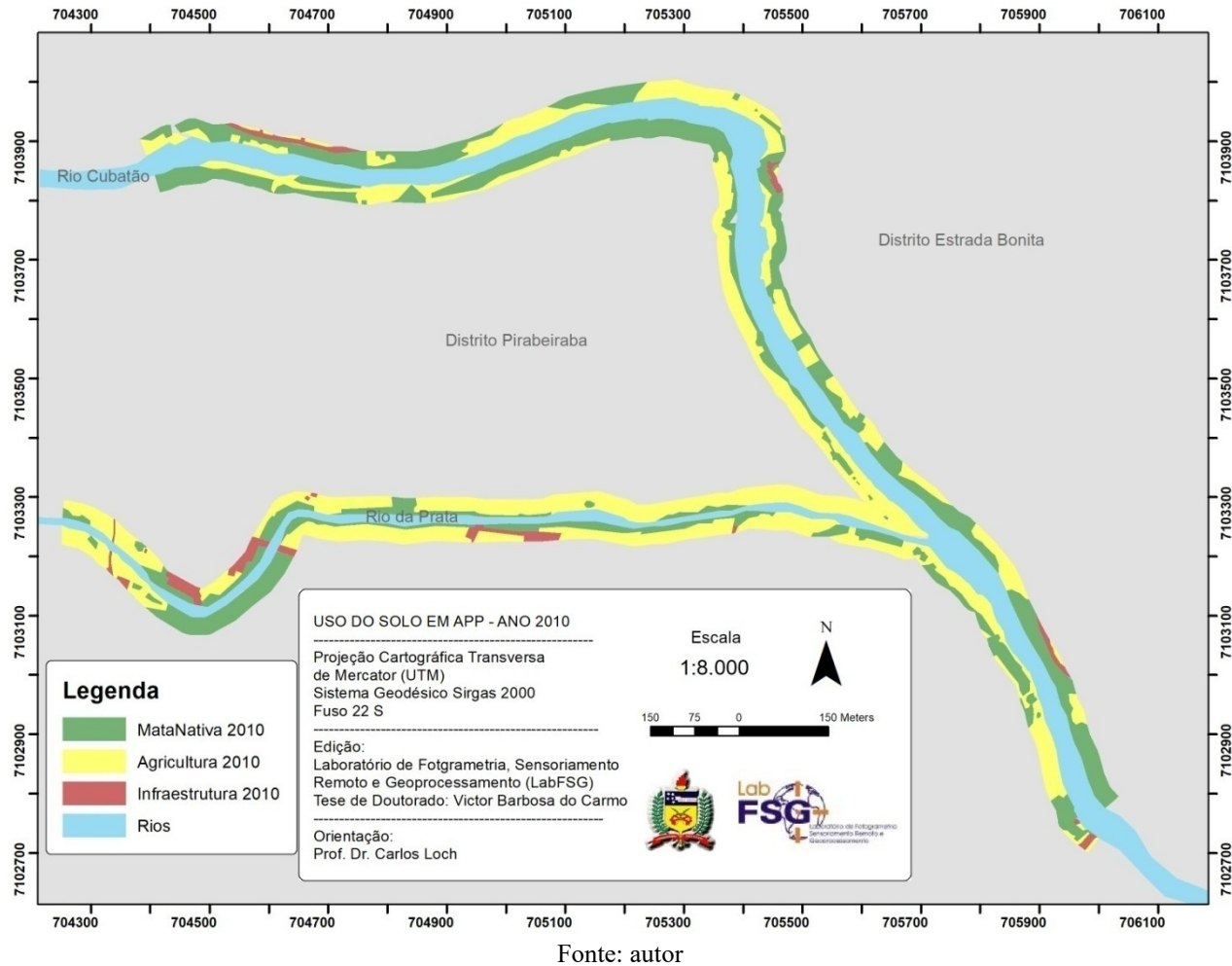
Outro fator que contribui para diminuir as distorções na ortofoto e consequentemente melhorar a acurácia do levantamento é a grande sobreposição das fotos obtidas com VANT. Cada fotografia é uma perspectiva cônica, onde somente no centro da imagem se tem uma perspectiva ortogonal com menor distorção. Nas bordas da imagem a perspectiva é oblíqua e quanto mais se afasta do centro maior será a distorção geométrica. Neste experimento a sobreposição longitudinal foi de 80% e transversal de 60%, por isso a distorção dos elementos na ortofoto gerada no PhotoScan é baixa. Assim, é possível realizar medições fotogramétricas nas imagens obtidas com alta confiabilidade. Trabalho desenvolvido por Neto et. al. (2017) analisando [Digite texto]

discrepância de feições lineares em ortofotos capturadas com VANT e utilizando o método do buffer duplo, obteve erro quadrático médio de 0,144 m.

7.4. ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, OCORRIDAS ENTRE O VOO FOTOGRAMÉTRICO DE 2010 E AS IMAGENS COLETADAS COM O VANT EM 2017

Para alcançar o quarto objetivo específico de “Analisar as alterações no uso e ocupação do solo, ocorridas entre o voo fotogramétrico de 2010 e as imagens coletadas com o VANT em 2017” foi utilizado o software ArcGis (ESRI). Neste software, a imagem 2010 foi restituída de acordo com os usos e ocupação do solo. Inicialmente, foram criados 4 shapefiles: rios, mata nativa, agricultura e infraestrutura. O ponto de captação de água no Rio Cubatão foi o primeiro elemento a ser demarcado, como infraestrutura. Em seguida, foram restituídos o Rio Cubatão e o Rio da Prata a montante do ponto de captação e até onde o voo com o VANT captou as imagens em 2017. Desta maneira, foram analisados de 1200m do Rio Cubatão e 800m do Rio da Prata. Utilizando a ferramenta Buffer, foi gerada uma faixa de 30 metros a partir das margens destes rios, representando as Áreas de Preservação Permanente (APP). Então, nesta faixa de APP foram restituídos os usos do solo de acordo com os shapefiles gerados, e na tabela de atributos foi especificada a ocupação do solo. Para Mata Nativa foram definidos os estágios de regeneração inicial, médio e avançado. Para agricultura, foram atribuídos pastagem, bananal e cultivo anual. A infraestrutura foi dividida em estradas e edificações. Esta restituição está demonstrada na Figura 15.

Figura 15 - Mapa do uso do solo na faixa de Área de Preservação Permanente, no ano de 2010.

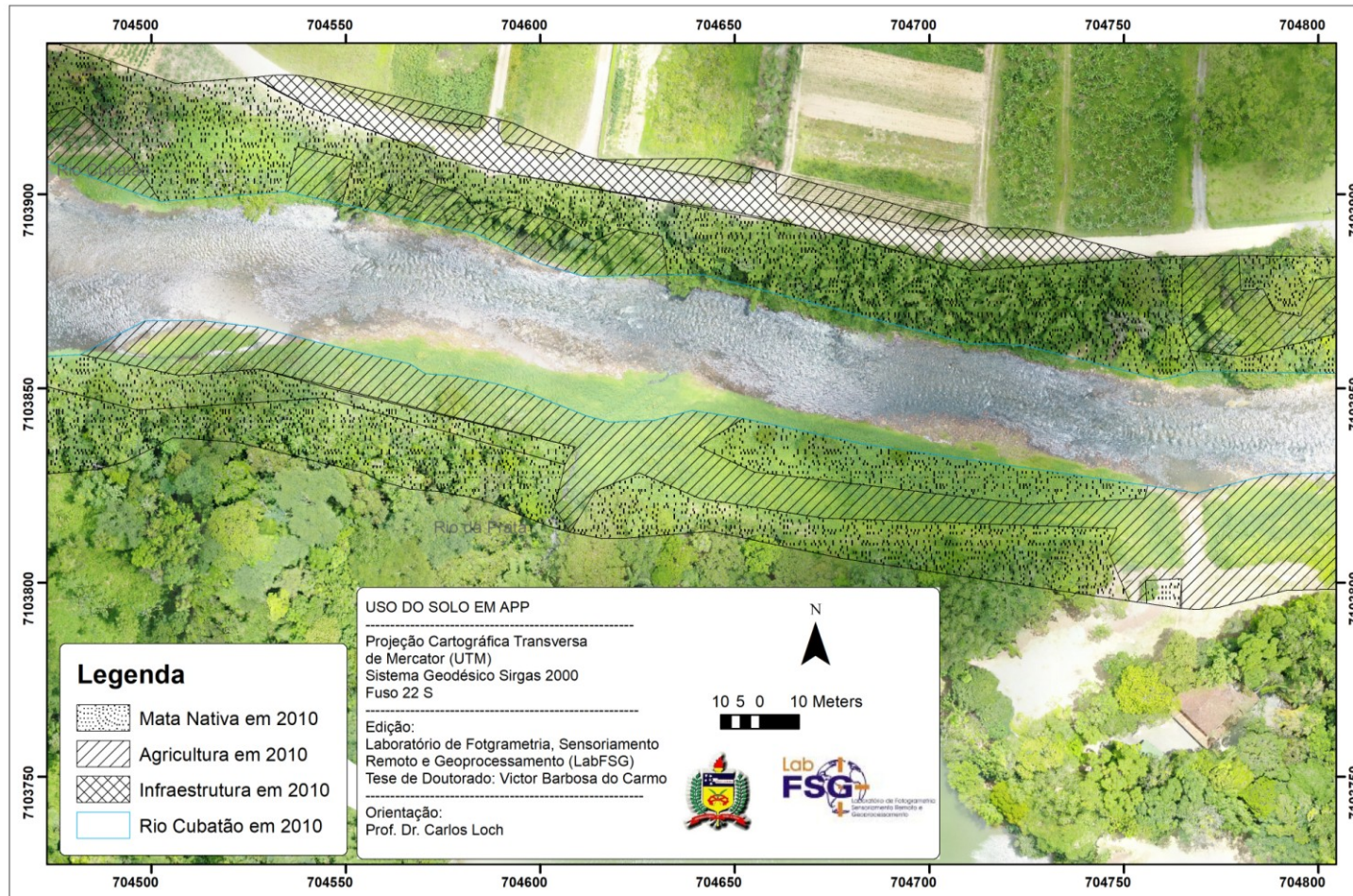


[Digite texto]

Com intuito de verificar as alterações no uso e ocupação do solo os shapefiles gerados na restituição realizada na imagem de 2010 foram transportados para a imagem de 2017. O resultado desta operação está exemplificado nas imagens a seguir (Figuras 16, 17, 18 e 19). As áreas ocupadas com mata nativa foram marcadas com pontilhados, as áreas ocupadas com agricultura receberam hachuras simples e as áreas com infraestrutura receberam hachuras duplas. As estradas e edificações, representadas pela área com hachura dupla, estão sobrepostas no elemento correspondente na imagem de 2017. Podemos observar que a geometria destes elementos fixos em solo está correta, e o deslocamento lateral devido ao erro posicional observado de 1,2 metros (demonstrado no objetivo específico três) é imperceptível na análise da vegetação nesta escala de trabalho. A geometria das margens dos rios não pode ser considerada como erro, pois pode variar muito ao longo dos anos. No Rio Cubatão, a maior parte de seu leito foi representada corretamente, em poucos trechos a restituição de 2010 não sobrepôs corretamente na imagem de 2017. Isto ocorreu devido a mudanças no traçado do rio e não por erros de geometria das imagens. No Rio da Prata, as alterações no traçado foram bem maiores. Poucos trechos do rio restituído em 2010 estão corretamente sobrepostos na imagem de 2017. Novamente, esta diferença é devida a mudanças do traçado do rio e não por erros geométricos nas imagens de 2017. Pois, como pode ser observado na figura 18, as edificações e remanescentes florestais estão corretamente sobrepostos nos elementos correspondentes na imagem de 2017.

Com a sobreposição da restituição realizada na imagem de 2010 e sobreposta na imagem de 2017 os três shapefiles (mata nativa, agricultura e infraestrutura) foram copiados e renomeados. No software ArcGis/ESRI, utilizando a ferramenta Edit Vertices, estas três categorias foram atualizadas manualmente de acordo com o uso do solo observado na imagem de 2017 obtida com o VANT. Esta operação gerou o mapa a seguir (Figura 20).

Figura 16 - Restituição do Rio Cubatão em 2010 sobreposta na imagem de 2017. As áreas ocupadas com mata nativa foram marcadas com pontilhados, as áreas ocupadas com agricultura receberam hachuras simples e as áreas com infraestrutura receberam hachuras duplas.



Fonte: autor

[Digite texto]

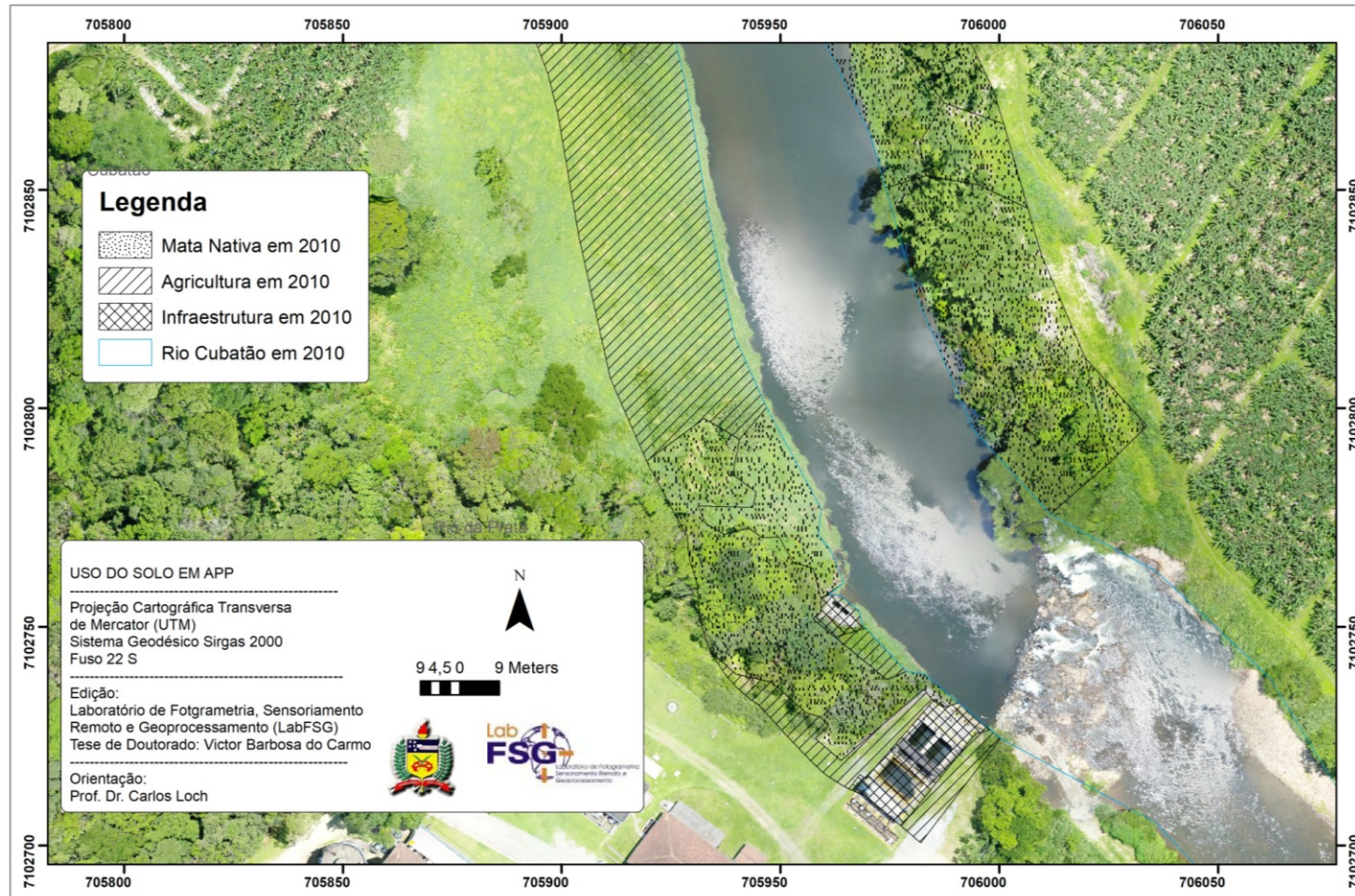
Figura 17 - Restituição do Rio Cubatão em 2010 sobreposta na imagem de 2017. As áreas ocupadas com mata nativa foram marcadas com pontilhados e as áreas ocupadas com agricultura receberam hachuras simples.



Fonte: autor

[Digite texto]

Figura 18 - Restituição do Rio Cubatão em 2010 sobreposta na imagem de 2017. As áreas ocupadas com mata nativa foram marcadas com pontilhados, as áreas ocupadas com agricultura receberam hachuras simples e as áreas com infraestrutura receberam hachuras duplas.



Fonte: auto

[Digite texto]

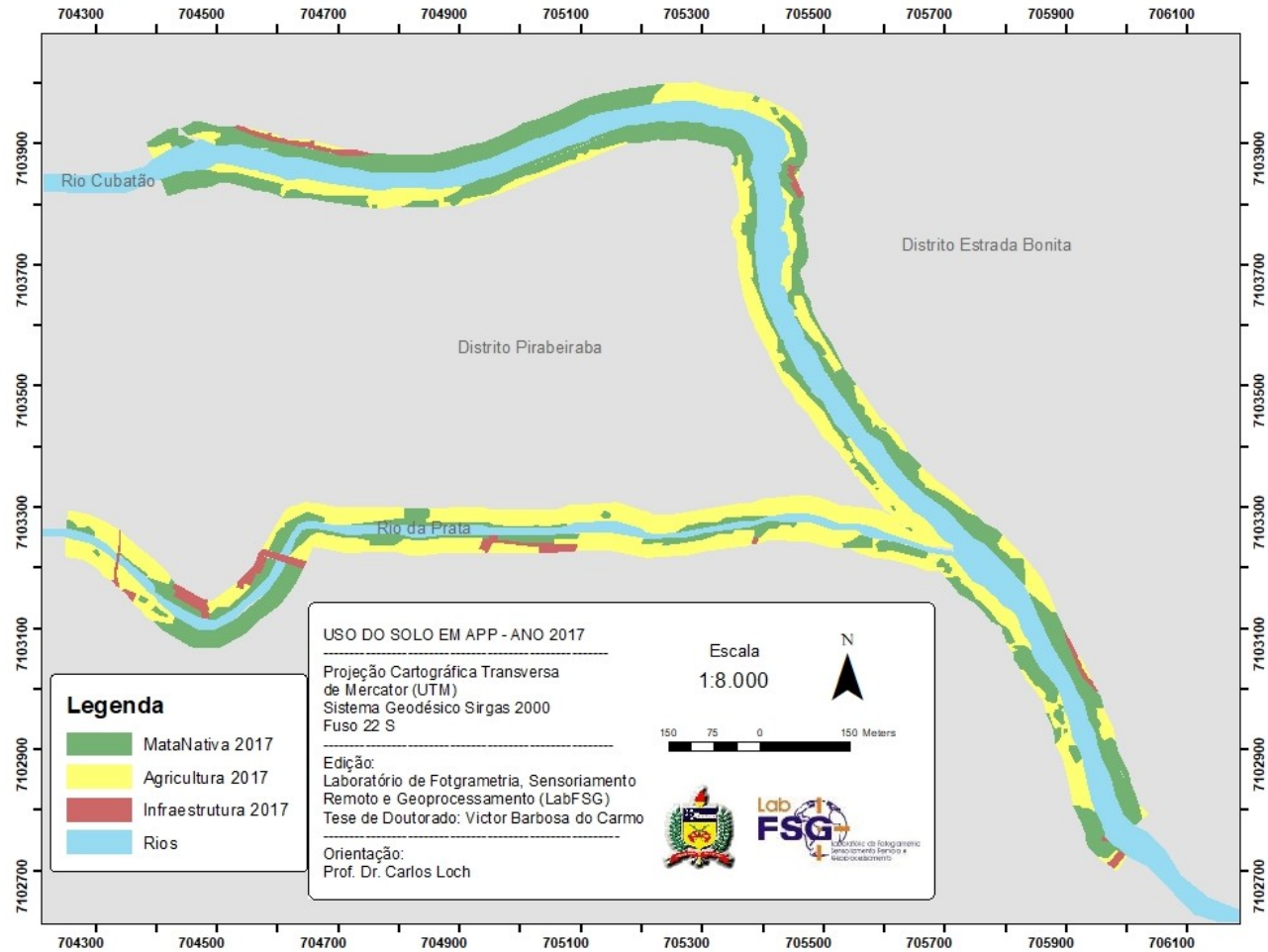
Figura 19 - Restituição do Rio da Prata em 2010 sobreposta na imagem de 2017. As áreas ocupadas com mata nativa foram marcadas com pontilhados, as áreas ocupadas com agricultura receberam hachuras simples e as áreas com infraestrutura receberam hachuras duplas.



Fonte: autor

[Digite texto]

Figura 20 - Mapa de uso do solo em Área de Preservação Permanente, no ano de 2017.



Fonte: autor.

[Digite texto]

Ainda no software ArcGis, na tabela de atributos dos três shapefiles gerados foi calculada a área de cada parcela, tanto para o ano de 2010 como para o ano de 2017. Posteriormente, estes dados foram exportados ao Excel para realização dos cálculos matemáticos. Foi analisado um total de 23,916 ha em APP. Os cálculos mostram um decréscimo nas áreas de Agricultura de 1,037 ha, e a mesma área foi acrescida na categoria de Mata Nativa(recuperação de área com recursos florestais). Não foi observada alteração na Infraestrutura. Os dados estão sistematizados na Tabela 10.

Tabela 10 - Alteração de área nas categorias de uso do solo entre os anos de 2010 e 2017.

Uso do Solo / Ano	Ano 2010	Ano 2017	Saldo
Agricultura	12,72 ha	11,683 ha	-1,037 ha
Mata Nativa	10,246 ha	11,283 ha	1,037 ha
Infraestrutura	0,95 ha	0,95 ha	0 ha
TOTAL	23,916 ha	23,916 ha	0 ha

Fonte: autor

7.5. ESTABELECIMENTO DE PROTOCOLO PARA UTILIZAÇÃO DO VANT NO MONITORAMENTO DE ÁREAS RURAIS QUE CONTENHAM RECURSOS NATURAIS ESTRATÉGICOS

Para completar o quinto objetivo específico de “Estabelecer protocolo para utilização do VANT no monitoramento de áreas rurais que contenham recursos naturais estratégicos” foram utilizados os dados gerados nos objetivos específicos anteriores. Estes validaram a precisão do georreferenciamento do ortomosaico gerado e a resolução espacial das imagens coletadas pelo VANT, na determinação da geometria dos elementos da paisagem para o monitoramento da paisagem rural.

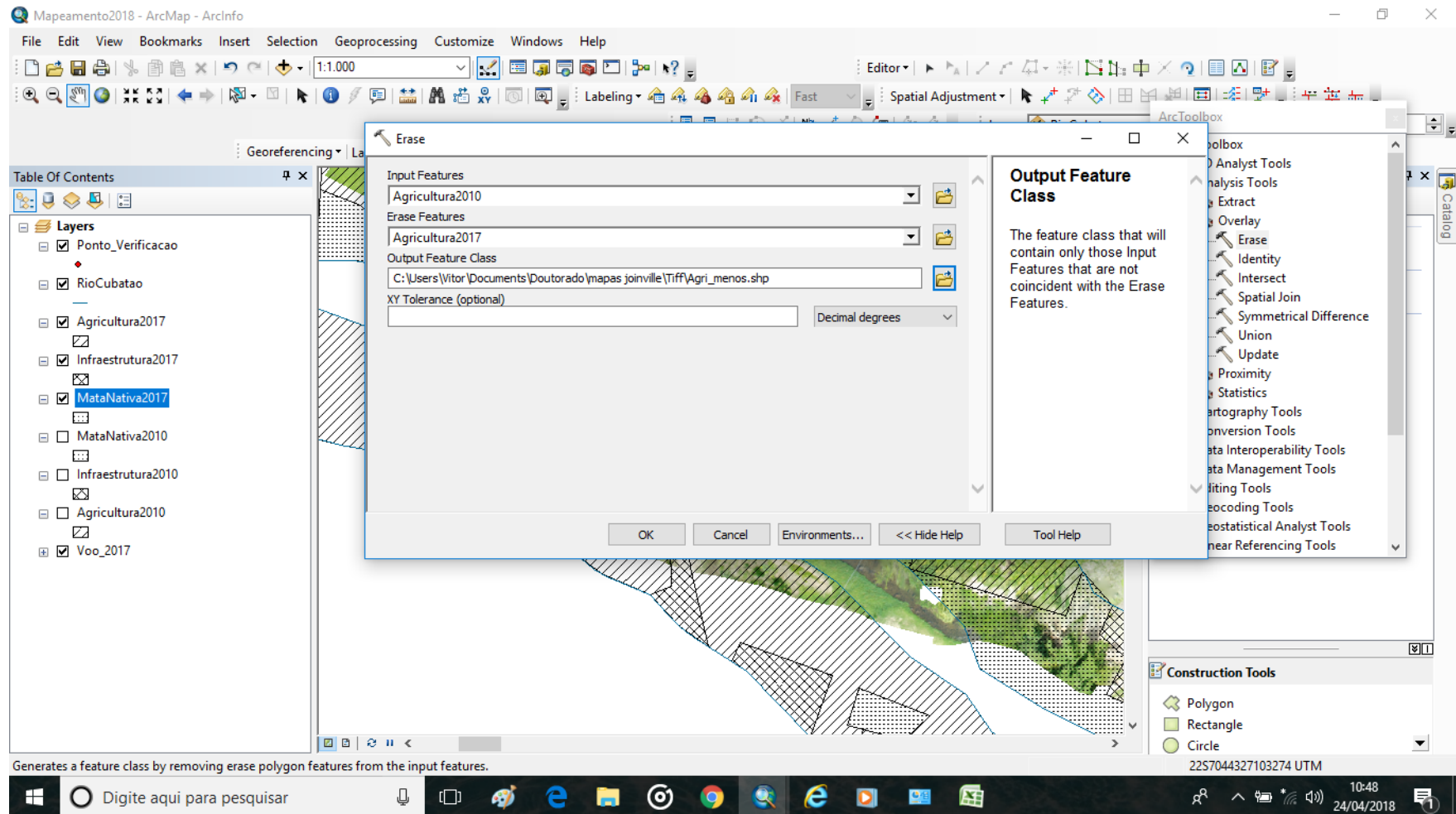
A imagem obtida com o VANT se mostrou adequada para atualização de dados gerados a partir de uma base cartográfica certificada. No entanto, as alterações no uso do solo são pouco perceptíveis quando estão em dois mapas separados. Para suprir esta necessidade foram realizadas operações de álgebra de mapas, ressaltando onde houve acréscimo e decréscimo no uso do solo estudado. Assim, foram gerados dois shapefiles

[Digite texto]

para Mata Nativa (acrécimo e decréscimo) e dois shapefiles para Agricultura (acrécimo e decréscimo). Na Infraestrutura não houve alteração. Utilizando a ferramenta no ArcGis (ESRI) ArcToolBox>>AnalysisTools>>Overlay>>Erase, foram gerados os shapefiles como demonstrado na Figura 21.

Nesta operação foi criado o shapefile de decréscimo das áreas de agricultura, inserindo a restituição de 2010 no Input Feature e a atualização de Agricultura 2017 em Erase Feature. No campo Output Feature Class deve ser selecionada a pasta onde o novo shapefile será armazenado e seu nome. Depois confirmar a operação em OK. Para criar o shapefile de acréscimo das áreas de agricultura foi utilizada a mesma ferramenta, mas desta vez, invertendo os shapefiles selecionados em Input Feature e Output Feature. As mesmas operações foram realizadas com a Mata Nativa. Os resultados das quatro operações geraram os dois mapas a seguir (Figuras 22 e 23).

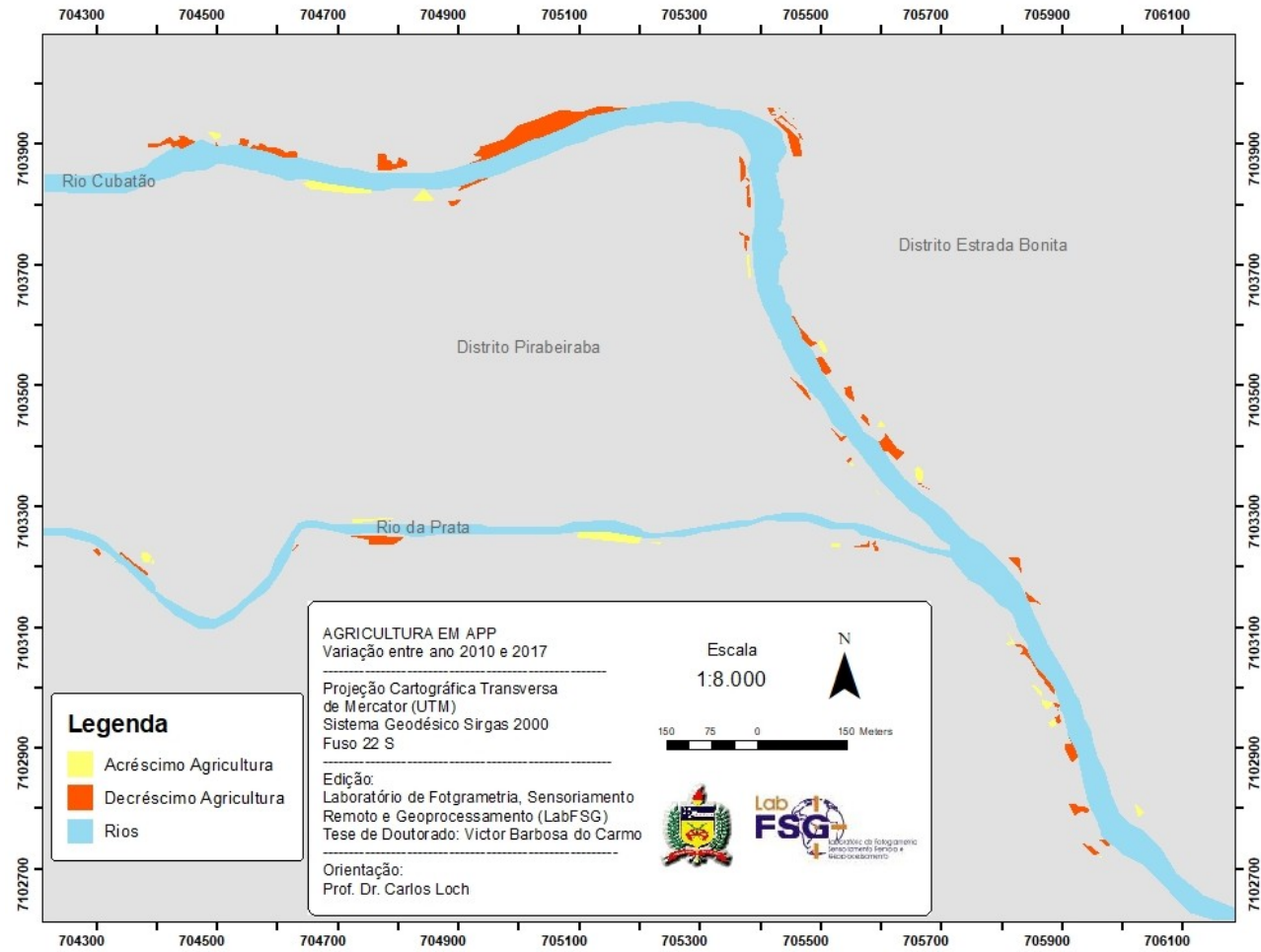
Figura 21 - Operação de álgebra de mapas no software ArcGis para decréscimo de Agricultura em Área de Preservação Permanente, entre os anos de 2010 e 2017.



Fonte: autor

[Digite texto]

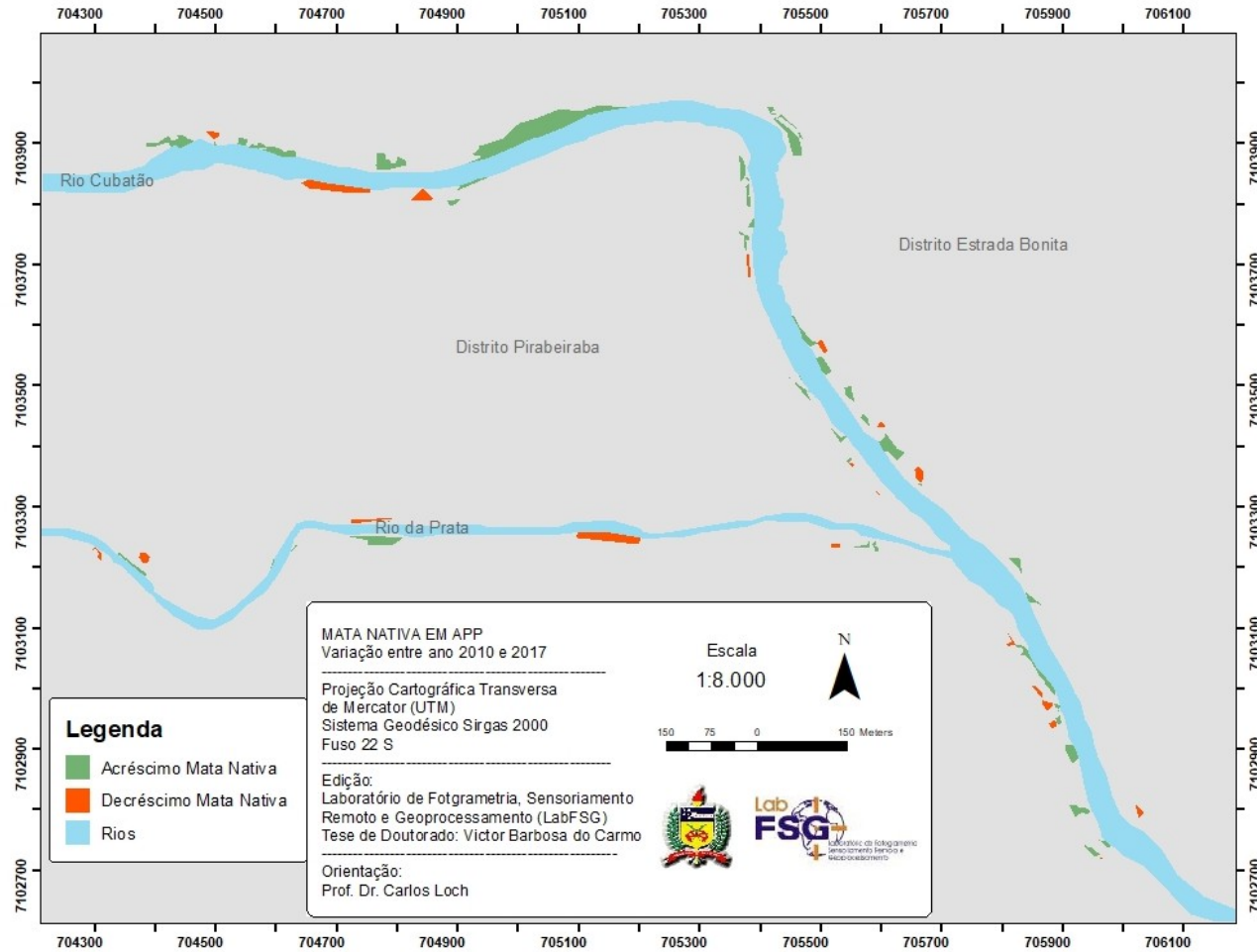
Figura 22 - Variação no uso do solo para agricultura na Área de Preservação Permanente, entre os anos de 2010 e 2017.



Fonte: autor

[Digite texto]

Figura 23 - Variação no uso do solo com acréscimo de mata nativa na Área de Preservação Permanente, localizada nas margens do rio, entre os anos de 2010 e 2017.

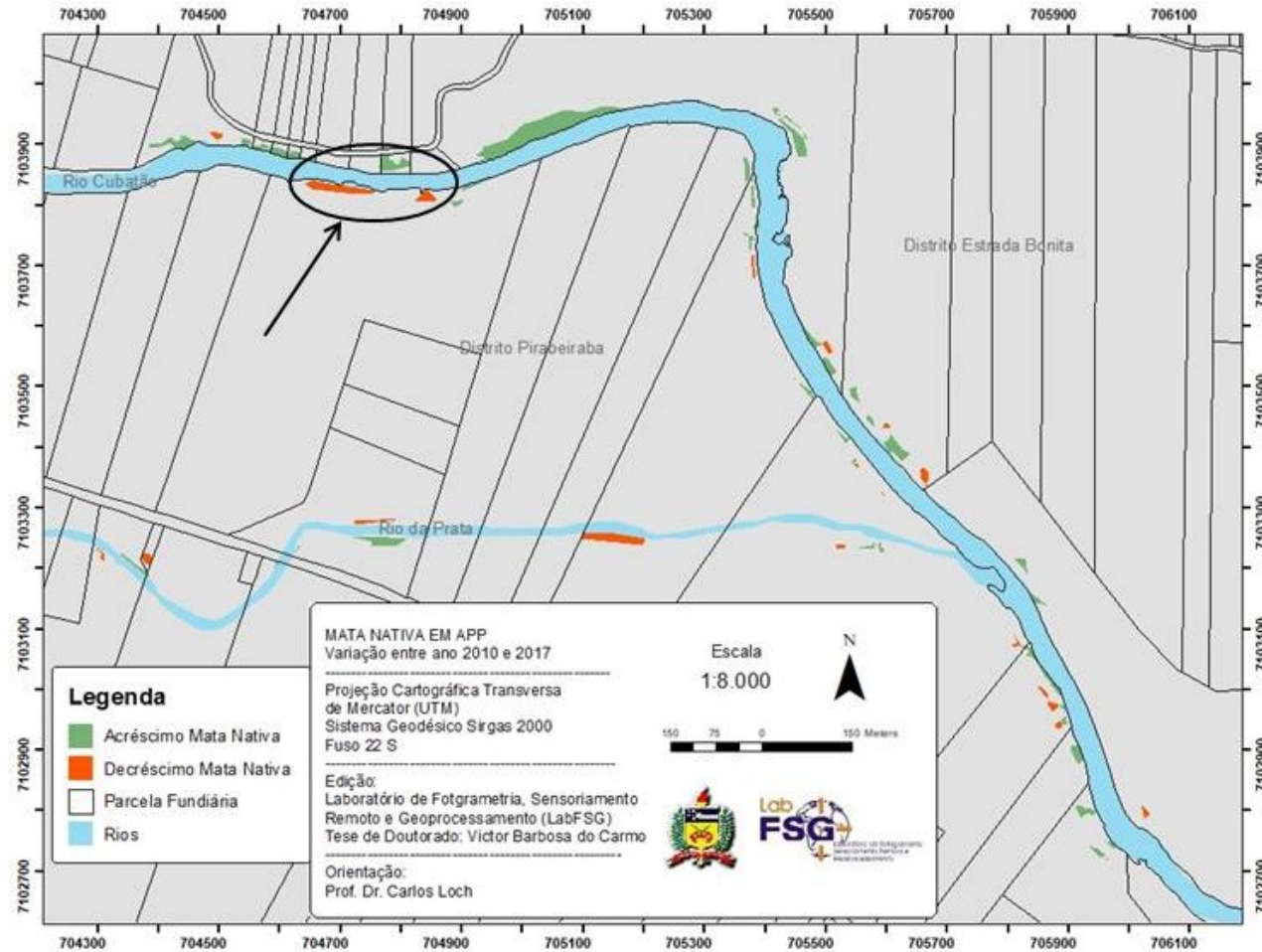


Fonte: autor

[Digite texto]

A primeira análise sobre os cálculos realizados no Excel sugere que as áreas utilizadas para Agricultura foram convertidas para Mata Nativa. No entanto, após a análise das operações de álgebra dos mapas, realizada no ArcGis, pode ser observado que isto ocorreu em algumas parcelas, mas que em outras a Mata Nativa é que foi substituída para dar lugar a Agricultura. Constatando, assim, um crime ambiental em Área de Preservação Permanente. Este resultado é muito importante para a Secretaria Municipal do Meio Ambiente na gestão das APP e em projetos de recomposição das matas ciliares. No entanto, pouco adianta este dado se não houver a identificação do autor do delito. Assim, o mapa de variação da mata nativa foi sobreposto com o shapefile das parcelas fundiárias disponibilizado pela Prefeitura de Joinville e o resultado pode ser observado na Figura 24. Selecionando a parcela que se deseja investigar e abrindo a tabela de atributos é possível identificar seu detentor, a partir do Cadastro Técnico Multifinalitário.

Figura 24 - Variação no uso do solo com mata nativa na Área de Preservação Permanente, entre os anos de 2010 e 2017, com identificação das parcelas fundiárias.



[Digite texto]

Para avaliar a vegetação na APP no nível da parcela fundiária foram elaborados os mapas a seguir (Figuras 25 e 26) em escala compatível. A parcela selecionada para este estudo está indicada na Figura 24 por uma seta preta. Na imagem de 2010 (Figura 25) podem ser observadas duas áreas de vegetação em estágio inicial de regeneração, demarcadas pelo polígono em vermelho. No lado oposto do rio pode ser observada outra área com vegetação rasteira, demarcada por um polígono verde. Os Shapefiles destas áreas foram transportados para a imagem de 2017, sendo elaborado o mapa na Figura 26. O resultado desta análise demonstra que as áreas com vegetação em estágio inicial na margem sul do rio foram derrubadas e substituídas por pastagem. A área maior possui 1.054,25m² e a menor 399,93m²; somando um total de 1.454,18 m² de área de vegetação suprimida nesta parcela fundiária. Na margem oposta, a área que em 2010 apresentava vegetação rasteira foi reflorestada, podendo ser observado na imagem de 2017 o estrato arbóreo selecionado pelo polígono verde. Neste caso, foi recuperada uma área de 772,25 m² com vegetação nativa.

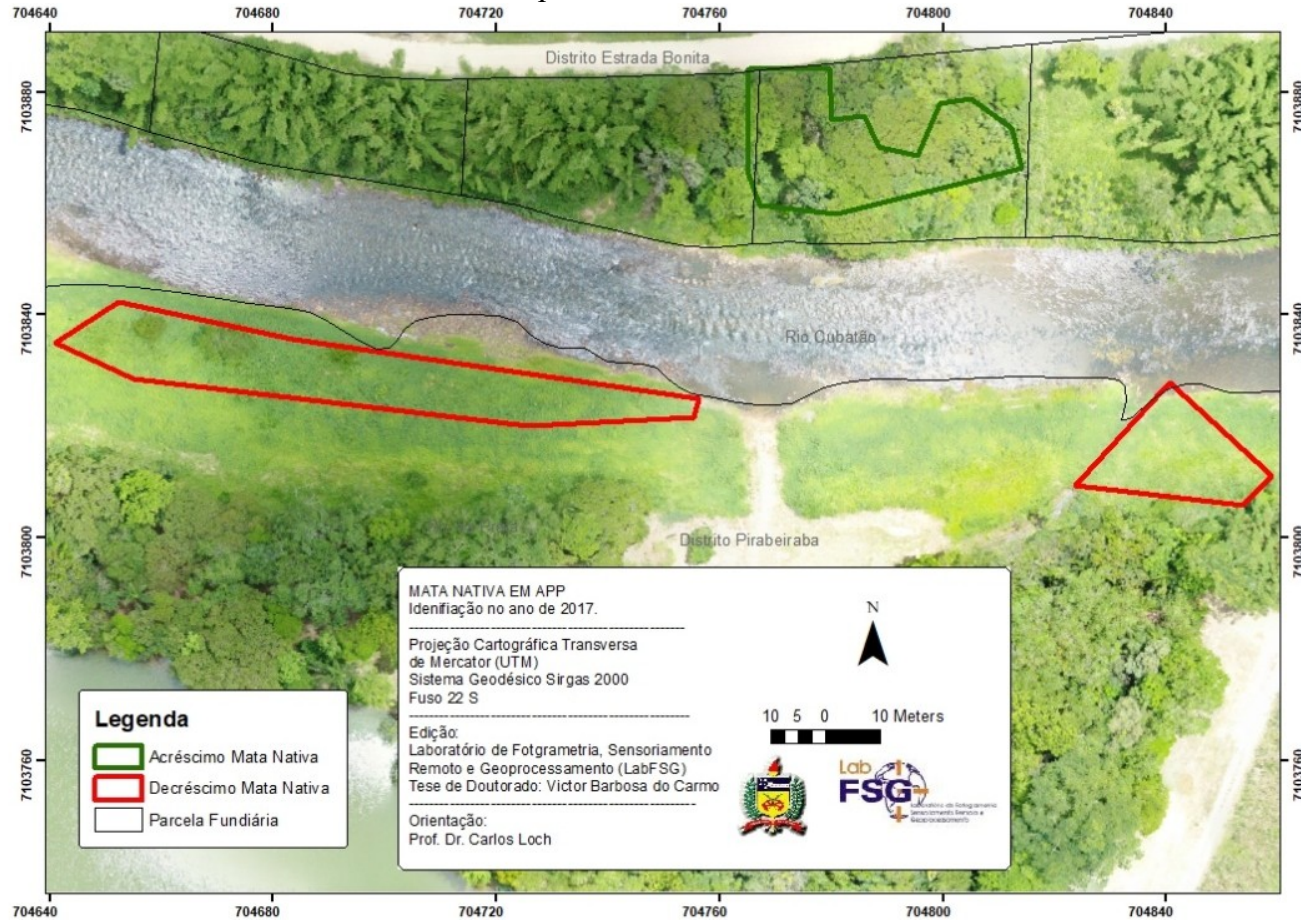
Figura 25 - Identificação de alteração na vegetação em Área de Preservação Permanente no ano de 2010.



Fonte: autor.

[Digite texto]

Figura 26 - Variação no uso do solo com mata nativa na Área de Preservação Permanente, entre os anos de 2010 e 2017, com identificação das parcelas fundiárias.



[Digite texto]

CONCLUSÕES

O planejamento territorial dos municípios deve respeitar o zoneamento ecológico econômico, visando sempre a melhoria da qualidade ambiental para seus habitantes. Os critérios para a definição do zoneamento ecológico em nível regional, estadual e municipal foram estabelecidos pelo Decreto nº 4.297 de 2002. O referido Decreto estabelece escalas de 1:100.000 e maiores para a gestão e o ordenamento territorial nos planos diretores municipais, planos de gestão ambiental e usos de Áreas de Preservação Permanente. Imagens com estas escalas podem ser obtidas com sensores orbitais, mas apresentam erros posicionais de até 40 metros e são inviáveis para medições precisas nas áreas de preservação permanente. A escala 1/100.000 não permite realizar as análises necessárias para a elaboração de um plano diretor. Para esta função é preciso usar produtos cartográficos na escala 1/5000 a 1/10.000, pois é preciso discutir os problemas ambientais e sociais com a sociedade.

Os voos tripulados com câmeras fotogramétricas são bastante precisos, muito utilizados para mapear grandes áreas. Poucos municípios catarinenses, como: Blumenau, Criciúma, Indaial e Florianópolis, já realizaram este tipo de levantamento. O município de Joinville realizou quatro voos, atualizando as informações mais ou menos a cada 15 anos. O ideal seria a cada 10 anos. Nestes municípios ficou claro que o investimento em cartografia de qualidade é altamente lucrativo à administração pública, quando estes produtos efetivamente são usados em prol de avaliações econômicas, sociais e ambientais.

Atualmente, as tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas essenciais para o mapeamento e monitoramento das áreas ecologicamente sensíveis. É importante destacar que empresas públicas que precisam avaliar grande áreas, de dezenas a centenas e até milhares de quilômetros quadrados, devem utilizar sensores montados em satélites ou aviões tripulados. Independentemente da plataforma utilizada, o sensoriamento remoto depende das condições atmosféricas para a obtenção de imagens de qualidade, assim a dificuldade principal está no monitoramento em curto espaço de tempo. O desenvolvimento de novas tecnologias na obtenção de informações atualizadas pode facilitar este monitoramento. Neste sentido, os VANT podem capturar imagens aéreas para avaliações de áreas específicas da paisagem com dinamismo e

[Digite texto]

baixo custo, mas devido à pouca altura do voo em relação ao alvo imageado, os VANT são mais adequados para avaliar pequenas áreas.

Os estudos para o planejamento territorial se iniciam com a leitura da paisagem, que é sempre feita com o mapeamento a partir de imagens aéreas obtidas em aeronaves tripuladas, em um determinado momento temporal. Durante este processo são utilizados indicadores de qualidade ambiental, como índices de forma e conectividade entre manchas. Independentemente de qual indicador seja utilizado, de modo geral, os estudos apontam para a dificuldade no monitoramento das condições ambientais. O monitoramento por imagens de satélite é indicado para grandes áreas, pois o tamanho de pixel (GSD) não permite a avaliação de pequenas parcelas. Deste modo, uma vez tendo uma cartografia sistemática de qualidade, o VANT é a ferramenta mais adequada atualmente para o monitoramento de áreas de preservação permanente em pequenas propriedades rurais, especialmente com a Topografia do estado de Santa Catarina.

Os pontos de controle são fundamentais para a confecção de cartografia de qualidade. No entanto, nesta pesquisa não se pretendeu usar o VANT para gerar uma base cartográfica, e sim, para elaborar mapas temáticos que permitam monitorar a evolução dos elementos da paisagem ao longo do tempo, uma vez que a cartografia realizada com voo tripulado foi utilizada como referência geométrica. Assim, os mapas temáticos foram gerados com imagens georreferenciadas pelo próprio VANT e confrontados a partir da base cartográfica oficial do município. Desta maneira, não houve necessidade de implantação de pontos de controle em solo cada vez que for realizado um voo com o VANT para o monitoramento da paisagem. Isto representa uma enorme economia de trabalho e facilita a utilização de VANT pelos órgãos municipais para avaliar o cumprimento do Plano Diretor e do Zoneamento Ecológico Econômico. Esta estratégia de monitoramento é que se pretendeu testar nesta pesquisa, de modo a obter mapas temáticos com precisão adequada para o que se deseja avaliar, utilizando como referência uma base cartográfica pré-estabelecida.

A sequência de trabalho especificada no método proposto mostrou-se adequada para identificação das áreas onde houve acréscimo e decréscimo da mata nativa em APP. No entanto, isto só foi possível porque o Município de Joinville possui uma base cartográfica de alta qualidade, gerada a partir de voo fotogramétrico e um Cadastro Técnico Multifinalitário que permitiu avaliar a mata nativa em uma escala temporal e

[Digite texto]

identificar as parcelas fundiárias que cometeram crime ambiental ou teriam créditos pela recomposição da mata ciliar. O mosaico de imagens georreferenciadas e ortoretificadas, produzidas em escala temporal e sobrepostas com as parcelas fundiárias são provas irrefutáveis para justificar o pagamento ou punição pelos atos praticados pelo detentor.

Caso o município não possua uma base cartográfica estabelecida será necessário implantar pontos de referência nos limites das propriedades antes da realização do primeiro voo, que irá servir como linha de base para o monitoramento em voos futuros. Os resultados obtidos nesta tese demonstram que é viável utilizar VANT para obtenção de imagens aéreas como base para a gestão das APP pelos órgãos municipais, dando subsídios para o monitoramento de áreas estratégicas e viabilizando programas de pagamentos por serviços ecossistêmicos. Enfatizando que, a utilização dos VANT se mostrou viável apenas para o imageamento de pequenas áreas estratégicas (no máximo de 100 ha). Não sendo recomendado o imageamento de todo o município com VANT.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O primeiro objetivo específico desta tese foi de avaliar a expansão da malha urbana sobre as demais áreas do município. Através da correlação entre os mapas temáticos gerados, de suporte físico, de vegetação e fundiário, ficou caracterizado que as áreas rurais estão em franco processo de urbanização e desmembramento das propriedades. O crescimento da produção industrial no município modificou a proporção entre população urbana e rural. Este desenvolvimento econômico está alterando os ecossistemas naturais que ainda existem nas áreas rurais. Os estudos de ecologia de paisagem discutidos no referencial teórico mostram a importância da heterogeneidade de elementos da paisagem para o equilíbrio e promoção da qualidade ambiental. Ao considerar a qualidade ambiental como pré-requisito no sistema de análise dos planos diretores é possível propor alternativas para a ocupação ordenada da paisagem e soluções aos problemas ambientais das cidades brasileiras.

[Digite texto]

Ao identificar as áreas rurais no município de Joinville e seus recursos naturais de maior vulnerabilidade frente à ocupação urbana, foi observado que a principal fonte de água doce de abastecimento está no centro da zona rural da Pirabeiraba. Sendo que esta zona rural foi a que apresentou maior potencial para ser incorporada pelo perímetro urbano. Diante disto, o Zoneamento Ecológico Econômico do Município deveria enquadrar estas áreas como zonas não edificantes e protegidas como reservas agrícolas. Os agroecossistemas são zonas de transição entre as áreas antropizadas e conservadas, apresentam especificidades físicas que não podem ser reproduzidas artificialmente em outro local e podem desempenhar múltiplas funções para contribuir com o equilíbrio ambiental.

O terceiro objetivo específico foi de verificar a precisão do georreferenciamento do ortomosaico elaborado a partir das imagens coletadas com o VANT. As análises estatísticas apontaram erro posicional de 1,2 metros do georreferenciamento, constatando que não é possível estabelecer uma base cartográfica com o método proposto. No entanto, as imagens obtidas com o VANT se mostraram adequadas para atualização e monitoramento do uso e ocupação do solo a partir de uma base cadastral previamente gerada por métodos mais precisos.

Para analisar as mudanças no uso e ocupação do solo, ocorridas entre o voo fotogramétrico de 2010 e as imagens coletadas com o VANT em 2017, foi investigada ocorrência de alterações da mata ciliar. A atualização do mapa temático de vegetação e da estrutura fundiárias mostrou-se adequada para caracterizar tais alterações, possibilitando quantificar a área e identificar as parcelas. Assim, ficou evidente que as imagens coletadas com o VANT precisam estar articuladas com uma linha de base e com o Cadastro Técnico Multifinalitário.

O último objetivo específico desta tese foi de estabelecer um protocolo para utilização do VANT no monitoramento de áreas rurais estratégicas. O método proposto utilizou o VANT mais popularizado na época desta pesquisa, justamente com o intuito de ser economicamente viável por qualquer ente público ou outro tipo de organização. O protocolo estabelecido de álgebra dos mapas é realizado automaticamente pelo programa e foi adequado para o objetivo proposto.

O desenvolvimento de um método para a utilização de micro VANT no monitoramento de recursos naturais estratégicos na paisagem rural, visando o [Digite texto]

cumprimento das diretrizes do Zoneamento Ecológico Econômico Municipal, é uma contribuição ao Grupo de Pesquisa em Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial. A gestão pública eficiente é do interesse de todos os cidadãos, e uma necessidade urgente no Brasil. Uma das principais funções da gestão pública é o ordenamento do território para que, tanto os recursos quanto o espaço, não sejam utilizados de forma descontrolada. No entanto, não é possível fazer o ordenamento do território sem a disponibilidade de produtos cartográficos de qualidade numa escala cadastral.

O papel da Universidade é desenvolver tecnologias, métodos e formar recursos humanos, bem como, discutir os efeitos práticos das políticas públicas. Neste contexto, a utilização dos VANT como plataforma para obtenção de imagens aéreas ortoretificadas possibilita o planejamento e monitoramento da paisagem fornecendo resposta rápida às questões fundiárias e ambientais, sendo provas irrefutáveis para coibir a ocupação irregular. Assim, esta tese apóia a utilização dos VANT pela administração pública para registrar o uso e ocupação do solo em locais estratégicos, servindo como subsídio para melhorar a qualidade ambiental nos municípios.

9. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ASPRS). *Manual of Photogrammetry*. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry, 1980.

ANDRADE, J. B. de. *Fotogrametria*. Curitiba: SBEE, 2003. 274 p.

ARTIMO, K. The bridge between cartographic and geographic informations systems. IN: MACEACHREN, A.M. e TAYLOR, D.R.F. *Visualization in Modern Cartography*. New York: Elsevier Science, 1994. p.45-62.

AUMOND, J. *J. Adoção de uma nova abordagem para a recuperação de área degradada pela mineração*. 265 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

BARÉA, G. A. *Análise físico-espacial da área impactada pela usina hidrelétrica Foz do Chapecó no município de Chapecó/SC*. 161 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

BEDELL, E. et al. Unmanned aerial vehicle-based structure from motion biomass inventory estimates. *Journal of Applied Remote Sensing*. Vol.11, n.2. 2017.

BRASIL. *Constituição Federal*, 1988. Disponível em [www.http://bd.camara.gov.br](http://bd.camara.gov.br). Acessado em 24 jul 2015.

BRASIL. Lei Federal n.10.257/2001. *Estatuto da Cidade*. Disponível em [www.http://bd.camara.gov.br](http://bd.camara.gov.br). Acessado em 24 jul 2015.

BRASIL. Lei Federal. n.12.651/2012. *Novo Código Florestal Brasileiro*. Disponível em [www.http://bd.camara.gov.br](http://bd.camara.gov.br)

BLEY JUNIOR, C. J. *Cadastro técnico multifinalitário, uma ferramenta gerencial para a integração de critérios de gestão territorial e gestão ambiental: o caso da Itaipu Binacional*. 160 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

BLASCHKE, T. Measurement of structural diversity with GIS – Not a problem of technology. In: *JEC Joint European conference on Geographical Information*, vol. 1. 1995. p. 334–340.

CABRAL, N. R. A. J.; SOUZA, M. P. *Área de Proteção Ambiental: planejamento e gestão de paisagens protegidas*. São Carlos: RiMA, 154p. 2002.

[Digite texto]

CAMPBELL, J.B. *Introduction to remote sensing*. New York, United States of America: Guilford, 1996.

CARNEIRO, M.J. Multifuncionalidade da agricultura e ruralidade: uma abordagem comparativa. In: MOREIRA, R.J.; COSTA, L.F.C. (org.). *Mundo Rural e Cultura*. Rio de Janeiro: Mauad, 2002.

CHIAVENATO, I. *Introdução a Teoria Geral da Administração*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79–97, 2014.

COSTA, G. C. e SILVA, D. C. *Pré-Sinalização de Pontos de Apoio em Aerofotogrametria com Câmeras de Pequeno formato*. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife. 2012.

DUFOUR, S. et al. Monitoring restored riparian vegetation: How can recent developments in remote sensing sciences help? *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. Vol. 10, n.410. 2013.

EBERL, H.K.D. *Sistemas Catastrales*. Mexico: Editorial Concepto, 1982.

FERNANDEZ-GUISURAGA, J. M. et al. Using unmanned aerial vehicles in postfire vegetation survey campaigns through large and heterogeneous areas: Opportunities and challenges. *Sensors*. Switzerland. Vol. 18, n. 586. 2018.

FGDC. Federal Geographic Data Committee. *Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*. 1998.

FLORENZANO, T. G. *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. *Landscape Ecology*. John Wiley, NY, 1986.

GEISSLER, H. J. *Avaliação de cenários de inundações no planejamento do uso e ocupação do solo urbano*. 160 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

GOYA, Y. *Análise da evolução da paisagem urbana utilizando técnicas de sensoriamento remoto - São José*. 88 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

- HUSSON, E. et al. Comparison of manual mapping and automated object-based image analysis of non-submerged aquatic vegetation from very-high-resolution UAS images. *Remote Sensing*. Vol. 8, n. 724. 2016.
- INCRA. *Manual Técnico de Limites e Confrontações: georreferenciamento de imóveis rurais*. 1ª ed. Brasília. 2013a.
- INCRA. *Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais*. 1ª ed. Brasília. 2013b.
- INCRA. *Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais*. 3ª ed. Brasília. 2013c.
- INCRA. *Norma de Execução n.2*. Brasília. 2018.
- JACOBS, J. *Morte e vida nas grandes cidades*. São Paulo: Editora Martins Fontes, 2011.
- JENSEN, J. R. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Pearson Prentice Hall: Minnesota. p. 592. 2002.
- JING, R. et al. Object-oriented aquatic vegetation extracting approach based on visible vegetation indices. *Chinese Journal of Applied Ecology*. Vol. 27, n. 5. 2016.
- JUNQUEIRA, J. R. *Análise da evolução das áreas verdes urbanas utilizando séries históricas de fotografias aéreas*. 124 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.
- KARNAUKHOVA, E. *Proposta de cartografia geoecológica aplicada ao planejamento territorial*. 540 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.
- KOONTZ, H.; O'DONNELL, C. *Princípios da Administração*. Sao Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1964. 421p.
- KRAMER, H. J. *Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors*. Berlin, Deutschland: Springer, 1996.
- KRAUS, K. *Fotogrammetry: fundamentals and standard processes*. Bonn, Deutschland: Dümmler, 1993.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. *Análise da Paisagem com SIG*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- LAURENT, C. *Activité agricole, multifonctionnalité et pluriactivité*. Paris: Grep, 1999.

LILLESAND, T.M. e KIEFER, R.W. *Remote Sensing and Image Interpretation*.3 Edição. USA: CRWaldman Graphic Communications, Inc., 1994.

LOCH, C. *Monitoramento global e integrado de propriedades rurais a nível municipal, utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto*. Florianópolis: Editora da UFSC, 1990. 142p.

LOCH, C. Cadastro Técnico Multifinalitário Rural como base à organização espacial do uso da terra a nível de propriedade rural. 128 p. *Tese para Professor Titular*. Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

LOCH, C. *Gestão Ambiental*. In: MBA para Executivos em Administração Global, Florianópolis, 2002.

LOCH, C. Cadastro Técnico Multifinalitário: Instrumento de Política Fiscal e Urbana. In: *Cadastro Técnico Multifinalitário: Instrumento de Política Fiscal e Urbana*. Org. Diogo Alfonso Erba. Rio de Janeiro, 144 p.2005.

LOCH, C.; ERBA, D.A. *Cadastro Técnico Multifinalitário: rural e urbano*. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 142p. 2007.

LOCH, C. *A Interpretação de Imagens Aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais*. Florianópolis: Editora da UFSC, 118 p. 2008.

LOCH, C.; REBOLLAR, P. B. M.; ROSENFELDT, Y. A. Z.; WALKOWSKI, M. Multifuncionalidade da paisagem como subsídio às políticas públicas para o desenvolvimento rural sustentável. *Ciência Rural*. V.45, p.171 - 177, 2015.

LOVELL, S.T. Integrating agroecology and landscape multifunctionality in Vermont: An evolving framework to evaluate the design of agroecosystems. *Agricultural Systems*. V.103, p.327–341. 2010.

LUZ, C. C.; ANTUNES, A. F. B.; RATTON, P. Aplicabilidade da tecnologia VANT na atualização de bases de dados cartográficos - Estudo de caso: sistema cárstico do rio João Rodrigues. *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 73. Curitiba, 2017. p. 34 - 45.

MACHADO, S. D. *Análise da ocupação das margens de rios, córregos e canais de drenagem : reflexos da aplicação do Código Florestal e resoluções do CONAMA em área urbana*. 219 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

MANFREDA, S. et al. On the use of unmanned aerial systems for environmental monitoring. *Remote Sensing*. Vol. 10, n.4. 2018.

MEIRELLES, H.L. *Direito administrativo brasileiro*. São Paulo: Malheiros Editores, 1994. 702p.

[Digite texto]

MESQUITA, A.P.; FERREIRA, W.R. O município e o planejamento do território rural no Brasil. *Revista Geográfica de América Central*. V. 58, p. 331-355. 2017.

METZGER, J. P. *O que é ecologia da paisagem?* Biota Neotropica vol. 1. 2001.

MICHEZ, A. et al. Classification of riparian forest species and health condition using multi-temporal and hyperspatial imagery from unmanned aerial system. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 188, n.3. 2016.

MORAES, A. C. R. Cidade, planejamento e qualidade ambiental. In: Tângari, V.R.; Andrade, R.; Schlee, M. B. (Org.) *Sistemas de espaços livres: o cotidiano, apropriações e ausências*. Rio de Janeiro: Proarq, 2009. p 93-97.

MOURA FILHO, J.L. A relação urbano/rural no Estatuto da Cidade. *Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFS*. V. 5, n. 3. 2010.

MÜLLEROVÁ, J. et al. Timing is important: Unmanned aircraft vs. Satellite imagery in plant invasion monitoring. *Frontiers in Plant Science*. Vol.8, n. 887. 2017.

NASCIMENTO, R. *Análise da organização espacial do uso e ocupação do solo através do cadastro técnico multifinalitário rural (um estudo de caso: Município de Porto Vitória-PR)*. 140 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1994.

NAVEH, Z.; LIEBERMAN A.S. *Landscape Ecology: Theory and Application*. New York, USA: Springer-Verlag, 1994.

NETO, F. D. F. et. al. Avaliação da Qualidade Posicional de Dados Espaciais Gerados por VANT Utilizando Feições Pontuais e Lineares para Aplicações Cadastrais. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 23, n. 0. Curitiba, 2017.

NISHAR, A. et al. Thermal infrared imaging of geothermal environments and by an unmanned aerial vehicle (UAV): A case study of the Wairakei - Tauhara geothermal field, Taupo, New Zealand. *Renewable Energy*. Vol. 86. 2016.

O'NEIL, R. V.; JOHNSON, A. R.; KING, A. W. Hierarchical Framework for the Analysis of Scale. *Landscape Ecology*. Vol. 3, p. 193-205. 1989

ONU. Organização das Nações Unidas. *Millennium Ecosystem Assessment*. 2005.

OPDAM, J.; FOPPEN, K.V.; VOS, R.H. Bridging the gap between ecology and spatial planning in landscape ecology. *Landscape Ecology*. V. 16, p. 767-779. 2002.

PAVANELLI, D. D. *Alterações espectrais em áreas de abrangência de acidentes ambientais monitoradas através de imagens orbitais*. 78 p. Dissertação (Mestrado profissional). Programa de Pós-Graduação em Perícias Criminais Ambientais. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

[Digite texto]

PERES, R. B.; CHIQUITO, E. A. Ordenamento Territorial, Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional: Novas Questões, Possíveis Articulações. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*. Vol. 14, n. 2. 2012.

PESSOA, G. G.; AMORIN, A.; GALO, M.; GALO, M. Classificação de Nuvem de Pontos Fotogramétricos com Base na Integração de Dados Geométricos e Radiométricos. *Boletim de Ciências Geodésicas*. Vol.25, edição especial. 2019.

PINHEIRO JÚNIOR, N. X. *Aplicação de produtos fotogramétricos no estudo da expansão urbana no bairro Vila Nova em Joinville/SC*. 92 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

PONTES, L. B.; CARDOSO, A. C. D.; GOMES, T. V.; BIBAS, L. B. Descompasso entre linhas: das linhas do tempo às linhas que separam cidade e natureza. In: *Anais do III Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambiental ao Parcelamento do Solo*. Belém do Pará, 2014.

RAITZ, C. S. *Análise do uso e ocupação do solo como suporte a preservação dos recursos hídricos*. 140 p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

RAMOS, R.P.S.; DEUS, R.A.S.G.; ALEXANDRE, F.S.; GOMES, D.D.M. Mapeamento de áreas com vegetação de média e alta densidade no município de Palmerina –PE utilizando técnicas de aerofotogrametria de pequeno formato obtidas por VANT. *Anais do I Congresso Nacional de Geografia Física*. Campinas, SP. 2017.

RANGO, A. et al. Using unmanned aerial vehicles for rangelands: Current applications and future potentials. *Environmental Practice*. Vol. 8, n.3. 2006.

REBOLLAR, P. B. M. *Desenvolvimento rural e conservação ambiental na gestão territorial*. 176 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

RECH, J. V. *Base cartográfica digital comum para concessionárias de serviços públicos e prefeituras municipais, utilizando-se SIG (Sistemas de Informações Geográficas)*. 147p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

RIBEIRO, F. N.; TEIXEIRA, M. C. V. A ocupação de áreas livres e a transformação da paisagem: da Serra do Curral ao Belvedere. In: Tângari, V. R.; Schlee, M. B.; Andrade, R.; Dias, M. A. (org.). *Águas urbanas: uma contribuição para a regeneração ambiental como campo interdisciplinar integrado*. Rio de Janeiro: Proarq, 2007. p 472-481.

ROBERTSON, L.D.; KING, D.R. Comparison of pixel and object based classification in land cover change mapping. *International Journal of Remote Sensing*, v.

32,n.6,p.1505-1529,2011.

RUSNÁK, M. et al. Using UAV technology for landscape classification and mapping in fluvial geomorphology. *Geograficky Casopis*. Vol. 70, n. 2. 2018.

RUWAIMANA, M. et al. The advantages of using drones over space-borne imagery in the mapping of mangrove forests. *Plos One*. Vol.13, n.7. 2018.

SÁNCHEZ, L. E. *Avaliação de impacto ambiental - conceitos e métodos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANKEY, T. T. et al. UAV hyperspectral and lidar data and their fusion for arid and semi-arid land vegetation monitoring. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. Vol. 4, n. 1. 2018.

SANKEY, T. et al. UAV lidar and hyperspectral fusion for forest monitoring in the southwestern USA. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 195. 2017.

SARAIVA, A. M. P. *Princípios de Arquitetura Paisagística e Ordenamento do Território*. Mirandela, Portugal: Editora João Azevedo, 2005. 585 p.

SASTRE, L. F. S. et al. Remote sensing technologies applied to forestry biomass studies. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*. Vol. 19. 2016.

SCHMIDT, J. et al. Adapting a Natura 2000 field guideline for a remote sensing-based assessment of heathland conservation status. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 60. 2017.

SELSAM, P. et al. Acquisition and automated rectification of high-resolution rgb and near-ir aerial photograph. *Experimental Agriculture*. Vol. 53, n. 1. 2017.

SHAPIRO, S. S.; M. B. WILK. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika Trust*, London, v. 52, p. 591–609. 3/4 (1965). Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2333709>>. (Acesso em 14/03/2018).

SIMON, H. *Comportamento Administrativo*. Rio de Janeiro: USAID. 1957.

SMALL, R.W. Open space planning in the Auckland region of New Zealand. In: *Anais do Symposium of IFPRA Asia-Pacific*, Hangzhou, China. p.1767-1769. 1999

SOPCHAKI, C. H.; PAZ, O. L. S.; GRAÇA, N. L. S. S.; SAMPAIO, T. V. M. Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. *Raega Temático de Geotecnologia*. v.43, p. 200-214. Curitiba, 2018.

[Digite texto]

SOUZA, C. Políticas Públicas: uma revisão de literatura. *Sociologias*. V. 8, n.16, p. 368-375. 2006.

SOUZA, H.L. Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações. *Revista Brasileira de Geomática*. V. 5, n. 3, p326-342. Curitiba, 2017.

STUDENT. The Probable Error of a Mean. *Biometrika*, v. 6, n. 1, p. 1-25, 1908.

TÂNGARI, V. R. *A Construção Social das Paisagens no Brasil: Um Debate Conceitual e Metodológico*, 2008.

THERY, H.; MELLO, N.A. *Atlas do Brasil: disparidades e dinâmicas do território*. São Paulo: Edusp, 2008. 150p.

TOCCHETTO, J. C; et. al. *Perícia Ambiental Criminal*. Campinas, SP: Millennium Editora, 2010. 322p.

TÓTH, V. R. Monitoring spatial variability and temporal dynamics of phragmites using unmanned aerial vehicles. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 9, n. 728. 2018.

TRINDADE, C.A.; NUNES, J.C.S. Influência do uso de pontos de controle de campo na melhoria da acurácia dos dados coletados por meio de VANT nas periciais ambientais. *Revista Brasileira de Criminalística*. v. 7, n. 1, p. 17-20. 2018.

VEIGA, J. E. Territórios para um Desenvolvimento Sustentável. *Ciência e Cultura*. Vol. 58, n.1. São Paulo. 2006.

WATANABE, T. Revision of Inconsistent Orthographic Views. *Journal for Geometry and Graphics*, v. 2, p. 45-53, 1998.

WEBSTER, C. et al. Three-dimensional thermal characterization of forest canopies using UAV photogrammetry. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 209. 2018.

WOLF, P.R. *Elements of photogrammetry*. New York, United States of America: McGraw-Hill, 1995.

WOLLMANN, L. M.; BASTOS, L. C. Novo código florestal e reserva legal em propriedades rurais do município de Porto Alegre/RS. *Ciência Rural*, v.45, n.3, p.412-417. Santa Maria. 2015.

WU, J. Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian Journal of Remote Sensing*. Vol. 25, No. 4. p. 367-380. 1999.

WU, J.; HOBBS, R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*. V.17, p. 355–365. 2002.

[Digite texto]

WU, J. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape Urban Planning*. V.2, p.79-83. 2014.

ZAHAWI, R. A. et al. Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. *Biological Conservation*. Vol. 186. 2015.

ZHOU, Z. et al. Estimating the *Spartina alterniflora* fractional vegetation cover using high spatial resolution remote sensing in a coastal wetland. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*. Vol. 37, n. 2. 2017.