

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE, POR MEIO DE IMAGENS AÉREAS DE ALTA RESOLUÇÃO
ESPACIAL**

ELIAS FERREIRA SILVA DE FRANÇA

Dissertação de Mestrado

Rondonópolis, Julho de 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE, POR MEIO DE IMAGENS AÉREAS DE ALTA RESOLUÇÃO
ESPACIAL**

ELIAS FERREIRA SILVA DE FRANÇA

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de concentração Ambiente e Sociedade, Geotecnologias Aplicadas à Gestão e Análise Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Normandes Matos da Silva

Rondonópolis, Julho de 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE, POR MEIO DE IMAGENS AÉREAS DE ALTA RESOLUÇÃO
ESPACIAL**

ELIAS FERREIRA SILVA DE FRANÇA

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de concentração Ambiente e Sociedade, Geotecnologias Aplicadas à Gestão e Análise Ambiental.

Aprovado por:

Prof. Dr. Normandes Matos da Silva, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)
Orientador

Prof. Dr. André Marcondes Andrade Toledo, Universidade Federal de Mato Grosso
Examinador Interno

Prof. Dr. Antônio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul (UFMS)
Examinador Externo

Rondonópolis-MT, ___/___/___

Dedico aos meus pais; Luciano Ferreira de França e Ana Maria Sira de França. Eu sempre sinto as suas presenças nos momentos mais difíceis, me encorajando há continuar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, porque sem ele nada seria possível realizar na minha vida.

À minha família, pela capacidade de acreditar e investir em mim. Mãe, seu carinho e dedicação foi que deram, em todos os momentos, a esperança para seguir. Pai, seu abraço significou segurança e certeza de que eu não estava sozinho nessa caminhada. Irmãos, vocês são insubstituíveis e também meus maiores incentivadores, meu profundo agradecimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela oportunidade do aperfeiçoamento profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Normandes Matos da Silva, por esses anos de orientação, pela confiança, por acreditar em meu potencial, e por ser uma inspiração nessa jornada.

Ao Prof. Dr. André Marcondes A. Toledo, pela sua amizade, paciência e instruções, muito além de uma coorientação e tão fundamentais para a conclusão desse trabalho.

A um anjo, que atende pelo nome de Jaqueline Trassi, parceira inestimável, por toda a sua ajuda e incentivo essencial nessa conquista.

A coordenação do curso de engenharia agrícola por prestar apoio à minha qualificação, e de forma especial a Prof. Dra. Edna Maria Bonfim da Silva, pela compreensão, convívio e oportunidade de longos diálogos, sempre com reflexões profundas, meus sinceros agradecimentos.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Geografia, em especial ao Prof. Dr. Jorge Luiz Gomes Monteiro e Prof. Dr. José Adolfo Iriam Sturza, pelos ensinamentos transdisciplinares e demais contribuições necessárias.

Ao grupo de trabalho do Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais da UFMS, a quem sou muito grato pelos auxílios prestados, de forma especial ao Prof. Dr. Antônio Conceição Paranhos Filho e Anny Keli Aparecida Alves Cândido, muito obrigado pela incrível disponibilidade oferecida.

A todos os colegas da primeira turma de mestrado do Programa de Pós Graduação em Geografia, pela convivência harmoniosa nesses dois anos de muito empenho e desafios compartilhados.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização desse trabalho.

MUITO OBRIGADO!

“Os nossos pais amam-nos porque somos seus filhos, é um fato inalterável. Nos momentos de sucesso, isso pode parecer irrelevante, mas nas ocasiões de fracasso, oferecem um consolo e uma segurança que não se encontram em qualquer outro lugar.” Bertrand Russel.

RESUMO

O uso de técnicas aerofotogramétricas em imagens aéreas derivadas de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) são apontadas como uma alternativa viável para tomada de decisão no planejamento de paisagens naturais remanescentes. Objetivou-se nesse trabalho avaliar o uso de imagens aéreas de alta resolução espacial e temporal derivadas de VANT, para detecção, caracterização e monitoramento de alteração ou degradação em Áreas de Preservação Permanente. O VANT utilizado foi o modelo Tiriba. O registro das imagens aéreas ocorreu em março de 2014, sendo obtidas 90 cenas com área útil aproximada de 45% e resolução espacial de 10 cm. O processamento e tratamento das imagens foram executados utilizando os *softwares*; Agisoft PhotoScan, TerraView e QuantumGis. Selecionou-se uma das imagens, onde foram realizados testes de classificação automática; pixel a pixel, por região, análise de imagem orientada a objeto (OBIA) e também classificação por fotointerpretação, sendo essa utilizada como referência em comparativo com os demais tratamentos. O georreferenciamento ocorreu em sistema de projeção UTM e datum WGS84. Foram delimitadas cinco classes (área cultivada, vegetação nativa, solo exposto, área campestre, corpo hídrico). Todos os tratamentos foram submetidos à validação estatística (Índice de Kappa e Exatidão Global). A compreensão mais detalhada auferida pelas imagens de alta resolução espacial contribuiu para adequada detecção dos principais aspectos e extensões das feições convenientes no terreno, sobretudo no processo de fotointerpretação. A classificação de OBIA apresentou maior semelhança (coef. Correlação 0.9557) com a fotointerpretação, considerada como a realidade terrestre. Os produtos que demonstraram-se de menor acurácia ao objetivo proposto foram os associados às classificações pela técnica em nível de pixel. Imagens aéreas derivadas de VANT podem subsidiar ações de perícia e monitoramento ambiental, no contexto da consolidação do Código Florestal Brasileiro.

Palavras-Chave: Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), Área de Preservação Permanente (APP), Monitoramento Ambiental.

ABSTRACT

The use of aerophotogrametric techniques in aerial imagery derived from unmanned aerial vehicle (UAV) are pointed as a viable alternative to decision-making in the planning of remaining natural landscapes. This study aimed to evaluate the use of aerial imagery of high spatial and temporal resolution derived from UAV, for detection, characterization and monitoring of modification or degradation in permanent preservation areas. The UAV used was the model Tiriba. The record of aerial imagery occurred in March 2013, being obtained 90 scenes with useful area of approximately 45% and spatial resolution of 10 cm. The processing and treatment of the imageries were performed using the software; Agisoft PhotoScan, TerraView and QuantumGIS. One of the imagery was selected where automatic classification tests were carried out; pixel by pixel, by region, object-oriented image analysis (OBIA) and also classification by photointerpretation, used as a reference in comparison with other treatments. The georeferencing occurred in UTM projection system and datum WGS84. Five classes were defined (cultivated area, native vegetation, exposed soil, grassland area, water body). All treatments were submitted to statistical validation (Kappa index and Overall Accuracy). The understanding more detailed earned by high-resolution images contributed to proper detection of the main aspects and extensions of convenient features on the land, especially in the photointerpretation process. The OBIA classification presented greater similarity (coef. Correlation 0.9557) with photointerpretation, regarded as the earthly reality. The products that have demonstrated lesser accuracy than the purpose were those related to the ratings in pixel level technique. Aerial imagery derived from UAV can subsidize expertise actions and environmental monitoring, in the context of the consolidation of the Brazilian forest code.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Permanent Preservation Areas (APP), Environmental Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Localização do Município de Rondonópolis | 30 |
| Figura 2 – Localização da área de estudo | 32 |
| Figura 3 - Veiculo Aéreo Não Tripulado (VANT), modelo Tiriba | 34 |
| Figura 4 - Câmera Canon <i>Power Shot S95</i> | 34 |
| Figura 5 - Modelo de classificação hierárquica de classes..... | 48 |
| Figura 6- Posição e nível de sobreposição das imagens | 53 |
| Figura 7- Alinhamento das fotografias aéreas | 54 |
| Figura 8 - Nuvem de pontos | 55 |
| Figura 9- Mosaico da região que abrange a área de estudo..... | 56 |
| Figura 10 – Modelo digital de elevação gerado | 58 |
| Figura 11 - Fotografia aérea img_090 sem tratamento (A) e imagem gerada a partir da fotointerpretação img_090 (B). | 62 |
| Figura 12 - Modelo de classificação hierárquica de classes | 64 |
| Figura 13 - Imagem aérea 090 sem tratamento (A) resultado do teste de classificação automática supervisionada pixel a pixel (B)..... | 65 |
| Figura 14 - Imagem gerada por fotointerpretação (A) resultado do teste de classificação automática supervisionada pixel a pixel (B)..... | 65 |
| Figura 15 – Imagem aérea 090 sem tratamento (A) resultado de classificação automática de pixel a pixel (B) | 66 |
| Figura 16 – Imagem aérea 090 sem tratamento (A) resultado de classificação automática de pixel a pixel (B) | 66 |
| Figura 17 – Imagem aérea 090 sem tratamento (A) resultado da classificação por região (B)..... | 67 |
| Figura 18 – Imagem gerada por fotointerpretação (A) resultado da classificação por região (B)..... | 68 |
| Figura 19– Imagem aérea sem tratamento (A) resultado de classificação OBIA (B) | 69 |
| Figura 20 – Imagem gerada por fotointerpretação (A) resultado de classificação OBIA (B)..... | 70 |
| Figura 21 – Comparação entre as áreas delimitadas, expressas em percentagem, das classes de uso do solo, das classificações automáticas, com a classificação com fotointerpretação..... | 71 |
| Figura 22 – Dendograma mostrada a similaridade entre diversos testes de classificação aplicados na área de estudo. | 72 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 - Imagem Google Earth anterior a 2008 (resolução espacial 50 cm) (A) Imagem VANT 2013 (resolução espacial 10 cm) (B)..... | 74 |
| Figura 24 - Imagem Google Earth anterior a 2008 (resolução espacial 50 cm) (A) Imagem VANT 2013 (resolução espacial 10 cm) (B)..... | 75 |
| Figura 25 - Imagem gerada por fotointerpretação (A), Imagem gerada por classificação automática OBIA (B)..... | 75 |
| Figura 26 - Delimitação de APP (100 m de acordo com Código Florestal revogado).... | 76 |
| Figura 27 – Limite de recomposição de 5 m (A) comparação entre os limites de recomposições atuais com o revogado (B) | 77 |
| Figura 28 – Comparação imagem VANT (A) imagem RapidEye (B)..... | 77 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Especificações Câmera Canon Power Shot S95..... | 35 |
| Tabela 2–Representação matemática de uma matriz de confusão. | 42 |
| Tabela 3 - Índice Kappa e o correspondente desempenho da classificação. | 44 |
| Tabela 4 - Chaves de Classificação | 49 |
| Tabela 5 – Recomposição de APP quando existirem áreas de uso consolidado | 52 |
| Tabela 6- Valores de Exatidão Global e do índice Kappa para classificações realizada | 60 |

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

- APP – Área de Preservação Permanente
- CAR – Cadastro Ambiental Rural
- CRA – Cota de Reserva Ambiental
- DPI – Divisão de Processamento de Imagens
- EIA – Estudo de Impacto Ambiental
- GeoDMA – Geographic Data Miming Analyst
- GPS – Global Positioning System
- INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- ICAT – Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICNT – SEC – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Sistemas Embarcados Críticos
- KML – Keyhole Markup Language
- MDE – Modelo Digital de Elevação
- MDT – Modelo Digital de Terreno
- MDS – Modelo Digital de Superfície
- OBIA – Object Based Image Analysis
- PRA – Programa de Regularização Ambiental
- PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
- PRADA – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas e Alteradas
- RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural
- RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
- SEMA – Secretaria de Meio Ambiente
- SINIMA – Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente
- SIG – Sistema de Informação Geográfica
- TAC – Termo de Ajustamento de Conduta
- TC – Termo de Compromisso
- UAV – Unmanned Aerial Vehicle ou Unmanned Airbone Vehicle
- UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso
- VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| LISTA DE FIGURAS..... | vii |
| LISTA DE TABELAS..... | ix |
| LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS..... | x |
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 3 OBJETIVOS | 12 |
| 3.1 Objetivo geral | 12 |
| 3.2 Objetivos específicos | 12 |
| 4 HIPÓTESE..... | 13 |
| 5 REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 5.1 Sistema de Informação Geográfica..... | 14 |
| 5.2 Fotos aéreas: Fundamentos | 15 |
| 5.3 Fotointerpretação | 17 |
| 5.4 Sensoriamento Remoto | 18 |
| 5.5 Processamento digital de imagens | 21 |
| 5.6 Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT | 23 |
| 5.7 O VANT Tiriba..... | 24 |
| 5.8 Recuperação de áreas degradadas..... | 25 |
| 5.9 As novas ferramentas para regularização ambiental no Brasil | 27 |
| 5.10 Aspectos turísticos da região que abrange a área de estudo | 28 |
| 6 METODOLOGIA..... | 30 |
| 6.1 Caracterização da Área de Estudo | 30 |
| 6.2 Hidrografia..... | 32 |
| 6.3 Vegetação..... | 32 |
| 6.4 Geomorfologia | 33 |
| 6.5 Solos..... | 33 |
| 6.6 Missão com Veículo Aéreo Não Tripulado | 33 |
| 6.7 Etapa de laboratório | 35 |
| 6.8 Etapa de campo | 36 |
| 6.9 Lançamento da aeronave | 38 |
| 6.10 Encerramento do voo | 38 |
| 6.11 Processamento de dados | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 6.12 Classificação por Fotointerpretação..... | 40 |
| 6.13 Validação das classificações | 41 |
| 6.14 Classificação automática das imagens aéreas | 44 |
| 6.14.1 Classificação automática pixel a pixel | 44 |
| 6.14.2 Classificação automática por região..... | 45 |
| 6.14.3 Classificação automática de análise orientada a objeto..... | 46 |
| 6.15 Elaboração da rede hierárquica..... | 47 |
| 6.16 Chave de classificação | 49 |
| 6.17 Delimitação de APP na área de estudo | 50 |
| 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 53 |
| 7.1 Aquisição de imagens e obtenção do mosaico..... | 53 |
| 7.2 Validação das classificações em imagens aéreas..... | 59 |
| 7.3 Classificação por fotointerpretação | 62 |
| 7.3 Testes de Classificação automática pixel a pixel..... | 64 |
| 7.4 Teste de Classificação automática por Região..... | 67 |
| 7.5 Teste de Classificação automática OBIA | 69 |
| 7.6 Aplicação no contexto da metodologia do PRAD..... | 73 |
| 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 79 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 80 |

1 INTRODUÇÃO

O Estado de Mato Grosso, caracterizado e conhecido pelo seu potencial agrícola e exuberante paisagem natural, tem sido destaque nos últimos anos pelo expressivo crescimento econômico, procedente, sobretudo, de um modelo de produção agropecuária predominado por latifúndios, ambientalmente pouco sustentável e definido por políticas econômicas convencionais.

Pouco discreto e orientado ao mercado financeiro, o sistema implantado representa a base da economia mato-grossense e o seu dinamismo acelerado e moderno, impõem forte pressão antrópica sobre os recursos naturais (MATO GROSSO, 2014).

Em face desse cenário, a preocupação reside nos impactos ambientais negativos revelados pelo acelerado processo de expansão da fronteira agrícola, incisivo mesmo em espaços protegidos pela legislação ambiental.

De acordo com Sturza (2005) em Rondonópolis (cidade polo do agronegócio em Mato Grosso) as paisagens naturais do Cerrado foram, ao longo dos anos, brutalmente destruídas para a implantação de paisagens agrícolas standardizadas, ao custo de perdas ecológicas inestimáveis.

Em todo o Estado, conforme dados da Secretária Estadual de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA), cerca de 1.200.000 (um milhão e duzentos mil) hectares de matas ciliares, e aproximadamente 100.000 (cem mil) hectares de reservas legais estão degradadas (MATO GROSSO, 2014).

O instrumento normalmente utilizado pelos órgãos ambientais de fiscalização para regularização e recuperação ambiental de Áreas de Preservação Permanente (APP's), tais como, as matas ciliares, tem sido o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD).

No PRAD o monitoramento contínuo é fundamental para efetivo sucesso de sua aplicação. Entretanto, este tem se constituído no principal contratempo aos gestores e analistas dos órgãos e instituições ambientais responsáveis, visto que, considerando o período temporal necessário a recuperação do ambiente degradado, esse processo, requer frequentes atualizações e pode ser estendido por décadas (SANTOS, 2013).

Nesse contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que são capazes de processar e analisar dados derivados de sensoriamento remoto, composto por

imagens orbitais e suborbitais, tais como as imagens aéreas derivadas de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), são ferramentas que têm potencializado a realização de diagnósticos e monitoramento ambiental.

Com interfaces cada vez mais amigáveis, os SIG's, oferecem mecanismos para combinar dados espaciais, de modo a gerar subsídios para estudos de predições e intervenções adequadas na paisagem (MOURA, 2003).

Já os produtos gerados pela tecnologia do VANT, conforme Cândido (2012) favorecem a identificação e caracterização de pequenas feições presentes em uma determinada área, devido à sua escala espacial e temporal de alto detalhe, podendo servir de suporte a estudos pormenorizados dos recursos naturais.

De forma integrada essas geotecnologias além de permitirem visão sistêmica do meio, podem promover maior facilidade ao gerenciamento e análise dos fenômenos espaciais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o uso de imagens aéreas de alta resolução espacial e temporal derivadas de veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), para detecção, caracterização e monitoramento de alteração ou degradação em Áreas de Preservação Permanente.

3.2 Objetivos específicos

- Contribuir para a consolidação dos VANT's como alternativa viável para estudos fotogramétricos, sobretudo na gestão e monitoramento ambiental.
- Sugerir um procedimento metodológico que considere o uso de imagens aéreas derivadas de VANT, que possa ser incluído na metodologia que compõe os planos de recuperação de áreas degradadas (PRADs).

4 HIPÓTESE

Imagens aéreas derivadas de VANT possuem atributos em termos de resolução espacial e temporal capazes de permitir a detecção de áreas de preservação permanente degradadas ou alteradas e o monitoramento da recuperação desses ambientes. Esse procedimento poderá ser obtido mediante um custo econômico aceitável e uma rotina técnica ágil e relativamente simplificada.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Sistema de Informação Geográfica

A busca por compreender e aperfeiçoar os tratamentos dos dados geográficos e assim melhor avaliar os fenômenos ocorridos no espaço incitou, por meio do advento da tecnologia informatizada, o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

O SIG é um sistema de informação, que envolve de forma conjunta e interativa, tecnologia e recursos humanos, sendo capaz de realizar com precisão análises e interpretações espaciais, além disso, armazena, visualiza e opera dados georeferenciados para a obtenção de novas informações (CÂMARA et al., 2005).

Esses sistemas correspondem às ferramentas computacionais de geoprocessamento e têm permitido a realização de análises complexas, ao interagir com maior volume de variáveis geográficas, constituídas de diversas fontes, levando em conta a real localização espacial do fenômeno em estudo (CÂMARA et al., 2005). O usuário pode sintetizar e exibir esses dados de muitas maneiras, e combinar múltiplos temas para descobrir suas correlações espaciais (CRUZ; CAMPOS, 2005).

O impacto dessa tecnologia no desenvolvimento da ciência e sua rápida difusão por diferentes áreas do conhecimento tem sido surpreendentes, Fitz (2008) relata que a cada dia os softwares e hardwares se tornam mais acessíveis, isso aliado à comodidade do seu uso, constituindo a razão de seu sucesso.

Para Fitz (2008), gradativamente os SIG's alcançam novos territórios, assumindo papel de destaque como poderoso instrumento para o levantamento, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais.

A sua aplicabilidade na execução de estudos integrados do meio ambiente é destacada, dentre outras funções, pela capacidade de combinar enorme quantidade de informações que são muitas vezes inexequíveis manualmente, além de agregar, quando comparadas às técnicas convencionais, maior agilidade às práticas de rotina de pesquisa (LEITE et al., 2010).

Com aporte funcional diversificado, essa tecnologia informatizada tem contribuído para as tomadas de decisões mais adequadas na gestão ou planejamento ambiental, seja prevendo resultados ou apontando soluções ao analisar diferentes componentes que recobrem a superfície terrestre (MIRANDA, 2010).

Sua progressão com simultâneos avanços no processamento de dados permite trabalhar com maior propriedade os principais problemas territoriais que afetam a sociedade, tais como, a expansão urbana, a degradação ambiental, a alteração de clima, e o aproveitamento racional do solo urbano e rural (SILVA et al., 2004).

Esses aspectos de aplicabilidade somados a plataformas computacionais de trabalho, cada vez mais modernos têm configurado aos SIGs rápida ascensão, diante de uma sociedade que aspira e abriga uma grande demanda a tecnologias ambientais.

Dada a quantidade de informações espaciais relevantes a ser administrada, Miranda (2010) revela que há uma grande expectativa em âmbito nacional para um avanço ainda maior dos SIG, tanto a vista de sua popularização quanto a formação de pessoal especializado.

5.2 Fotos aéreas: Fundamentos

O avanço tecnológico e a busca por melhoria e agilidade na coleta de dados espaciais promoveram o surgimento de novas técnicas de análises. Neste cenário, a descoberta da fotografia configurou o emprego da Fotogrametria como possibilidade metodológica.

“**Fotogrametria** é a arte, ciência, e 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” (ASPRS, 1980).

Morgano (1997), explica que a Fotogrametria é uma disciplina complexa, com componentes básicos que incluem a matemática, formação e processamento de imagens, e a respectiva instrumentação necessária. Por sua vez, Lillesand et al. (2000) descrevem-na como ciência e tecnologia capaz de se obter medições e outros produtos geometricamente confiáveis a partir de fotografias.

A Fotogrametria, ao longo dos anos, constituiu-se como instrumento indispensável para produção cartográfica, compreendida por sua capacidade em reunir densas informações de objetos do espaço geográfico (TOMMASELLI, 2009). Peña e Méndez (2011) destacam que mediante o uso da fotografia de um objeto tem-se a possibilidade de deduzir a forma e a dimensão do mesmo.

Nesse contexto, de acordo com Brandalize (2006) a fotogrametria pode ser métrica, quando realiza medidas precisas e computações para a determinação da forma e

tamanho dos objetos fotografados, e interpretativa, quando lida com o reconhecimento e a identificação destes mesmos objetos.

Brito e Coelho (2007) destacam algumas das vantagens concebidas pelo emprego dessa ciência, tais como: reduzir o trabalho de campo no levantamento de coordenadas de um ou vários objetos e reduzir o tempo de obtenção de tais dados. Entretanto, segundo os autores supracitados, o objetivo principal da fotogrametria pode ser enunciado como a reconstrução de um espaço tridimensional (visão estereoscópica), chamado de espaço-objeto a partir de imagens bidimensionais, chamadas de espaço-imagem.

Ao longo dos anos, as informações captadas pelas câmeras fotográficas serviram de base para representar e determinar a localização de objetos no espaço, sendo passíveis de reconhecimento e interpretação (BRANDALIZE, 2006).

Todavia, o fato de o ponto de a estação fotográfica encontrar-se junto ao solo, muitas vezes limitava e dificultava ações, assim como, a coleta de dados. Passou-se então a buscar novas possibilidades para tomada de fotografias em pontos de estação cada vez mais altos, culminando nas chamadas fotos aéreas (SILVA, 1998).

As primeiras fotos aéreas foram tiradas por aparelhos acoplados em pipas e balões e até mesmo aves (pombos), porém mais tarde, com a invenção do avião foi possível aprimorar essas habilidades para utilização de aeronaves (SANTOS, 2013).

Conforme descreve Santos (2013), a concretização da fotografia aérea como elemento essencial para o mapeamento aconteceu com a formação da ciência chamada Aerofotogrametria e a sua maior evolução ocorreu, a princípio para fins militares com seu uso constante no período das guerras.

A Aerofotogrametria é definida como a ciência da elaboração de cartas mediante fotografias aéreas obtidas mediante o uso de câmeras aerotransportadas (eixo ótico posicionado na vertical), utilizando-se aparelhos e métodos estereoscópicos (SILVA, 1998).

Com o tempo, o aprimoramento da aviação e o advento da tecnologia de informação e dos programas espaciais conduziram as pesquisas ambientais a novas metodologias de análise dos objetos geográficos, sobretudo, lançando - se a projetos de aeronaves de asas fixas não tripuladas com potencialidades aerofotométricas (LONGHITANO, 2010).

Esses sistemas têm como principal vantagem, atuando como uma plataforma aérea, sobre os aviões tradicionais e tripulados para levantamentos terrestres, a sua

enorme flexibilidade que permite a aquisição de imagens a partir de pontos de vista não convencional (IRSCHARA et al., 2010).

5.3 Fotointerpretação

A fotointerpretação pode ser entendida como o ato de examinar uma imagem com a finalidade de identificar objetos e estabelecer sobre eles, julgamentos, conforme suas propriedades (NOVO, 2010). Por essa técnica, a partir de uma inspeção visual o intérprete utiliza um raciocínio lógico, dedutivo e indutivo para compreender e explicar o comportamento de cada objeto enquadrado na cena imageada (MOREIRA, 2011).

Moreira (2011) discorre sobre as formas de abordagem da fotointerpretação: sem conhecimento de campo, na qual é feita a individualização das áreas que apresentam diferentes tonalidades ou cores dentro da área fotografada, bem como, são determinadas as diferentes feições da área e suas respectivas delimitações, com o propósito final revelado na produção de um mapa; e pelo conhecimento de campo, que é caracterizado pelo reconhecimento *in loco* do tipo de ocupação do solo em cada uma das feições mapeadas, onde são visitadas algumas áreas de cada feição representadas no mapeamento.

Em todo caso, o efetivo sucesso nesse modelo de análise, além de estar diretamente relacionada com o tipo de sistema de sensoriamento remoto, é dependente do conhecimento da foto intérprete (DI MAIO, 2009).

A fim de enriquecer a competência humana envolvida, os treinamentos e trabalho em campo, além de fornecer a capacitação e qualificação necessária ao analista para devida interpretação e reconhecimento de padrões de objetos na imagem podem assegurar a produção de trabalhos mais consistentes (NOVO, 2010).

Ribeiro et al., (2008) explica que a interpretação visual tem possibilitado a identificação dos padrões de cobertura da terra e, considerando a dimensão temporal, são capazes de identificar, até mesmo, as modificações na paisagem.

Para tanto, deve se considerar os elementos foto interpretativos básicos: padrão espectral, textura, forma e tamanho, tonalidade, cor e sombra. Assim como, os fatores que contribuem para o êxito da interpretação de imagens: época de obtenção das imagens, tipo de produto, escala de trabalho, uso do critério multitemporal, uso de dados auxiliares (MOREIRA, 2011).

Com base nestes elementos elaborase então uma chave de classificação. A chave vem ser a descrição e ilustração típica dos alvos. A sua vantagem de utilização está, sobretudo, em permitir que a fotointérprete iniciante organize as informações na fotografia ou imagem, de modo a melhorar a eficiência do mapeamento (ANTUNES, 2011).

E, conforme o mesmo autor, não há dúvida, que esses elementos servem de fatores-guia no processo de reconhecimento e identificação dos alvos na superfície terrestre através de uma fotografia aérea ou imagem de satélite.

5.4 Sensoriamento Remoto

Câmara et al. (2001) referem se ao sensoriamento remoto como um conjunto de processos e técnicas utilizados para medir propriedades eletromagnéticas de uma superfície ou objeto, sem que haja contato entre o objeto e o equipamento sensor.

Esses sistemas envolvem fundamentalmente a obtenção de informação, a partir da detecção e mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força energética que o circundam (NOVO, 2010).

Para Moreira (2011), o sensoriamento remoto está intimamente ligado à medida da radiação eletromagnética refletida ou emitida dos alvos de interesse, sendo este, a base de dados para todo o processo de identificação e caracterização de objetos.

Moraes (2005) explica que ao reconhecer e mensurar a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres torna se factível, até mesmo, quantificar a energia espectral dissipada dos alvos, de acordo com as interações que são determinadas pelas propriedades físicoquímicas e biológicas dos mesmos, e, assim, avaliar suas características.

Os sistemas sensores disponíveis atualmente são classificados segundo a sua fonte de radiação em: sensores ativos, quando emite a radiação (possui fonte de radiação própria) que irá interagir com o alvo e capta o que voltou dessa interação; e sensores passivos, sendo aqueles que captam e registram a radiação proveniente de uma fonte externa, ou seja, não possui fonte de radiação própria (MOREIRA, 2011).

Para tanto, à aquisição de dados espectrais dos objetos da superfície podem ser feitas em nível terrestre, suborbital e orbital (NOVO, 2010).

Moreira (2011) entende que a escolha de determinado nível de coleta de informações espectrais depende, de fatores relacionados com o objetivo da pesquisa; tamanho da área imageada; disponibilidade de equipamentos sensores; custo e precisão desejados dos resultados obtidos.

Em nível suborbital, entre os seus principais equipamentos sensores aerotransportados (câmeras de vídeos, imageadores, radares) o mais usual é a câmera fotográfica, que além de conferir processos bastante confiáveis, obtém dados de altíssima qualidade (MOREIRA, 2011).

Denominam - se como câmaras fotográficas todos os dispositivos que, através de um conjunto de lentes, registram a energia refletida pelos alvos da superfície da terra para um detector tradicionalmente chamado de filme fotográfico (MOREIRA, 2011).

Existem diferentes tipos de câmeras fotográficas, mas, em sensoriamento remoto utilizam-se, em geral, câmeras aéreas, que possuem dispositivos que permitem sincronizar o movimento do filme com o deslocamento da aeronave (DI MAIO, 2009).

O seu produto corresponde às chamadas fotografias aéreas que satisfatoriamente, tem sido empregada na produção de mapas temáticos nas mais diferentes áreas do conhecimento.

No sensor aerotransportado, a energia registrada não se refere a um determinado objeto mais sim a um arranjo de objetos da cena. No entanto, alguns podem ser identificados individualmente por sua configuração, facilitados pelo uso de imagens fotográficas pancromáticas (preto e branco) ou colorida (normal ou falsa cor) em diferentes escalas (DI MAIO, 2009).

A configuração da imagem favorece ao processo de interpretação. Da mesma forma que, a adequada escolha das bandas espectrais, assim como a qualidade de resolução da imagem também irá influenciar nos resultados do trabalho do intérprete (NOVO, 2010).

A resolução é entendida como a habilidade de um sistema de sensoriamento remoto para produzir uma imagem nítida e bem definida (DI MAIO, 2009). Ela influenciará no tamanho da menor entidade real a ser identificada na fotografia e na capacidade de ampliação (ZAIDAN, 2009).

De acordo com Menezes e Almeida (2012), as imagens constituídas pelos sistemas sensoriamento remoto são determinadas por quatro diferentes resoluções, a saber;

- Resolução espacial

- Resolução espectral
- Resolução radiométrica
- Resolução temporal

A resolução espacial é entendida pela capacidade do sistema sensor “enxergar” objetos na superfície terrestre (DI MAIO, 2009). E, segundo Moraes (2005), indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor.

Menezes e Almeida (2012), explicam que, um objeto somente pode ser resolvido (detectado), quando o tamanho deste é, no mínimo, igual ou maior do que o tamanho do elemento de resolução no terreno, ou seja, da resolução espacial.

Entretanto, conforme destacado por Paranhos Filho et al., (2008) objetos menores que o tamanho de cada pixel podem ser detectados na imagem, se estes, contrastarem com o fundo, exemplo como de rodovias e padrões de drenagem. Nesse raciocínio ele salienta que, objetos do mesmo tamanho que o do pixel, ou mesmo maiores, podem não ser detectados se estiverem próximo a outros de maior destaque, sejam por serem mais brilhante ou dominantes (SHARRADER; POUNCEY, 1997 apud PARANHOS FILHO et al., 2008).

Dessa forma, é importante levar em consideração os valores de refletância espectral da área de entorno, além do alvo, e seus respectivos domínios sobre os pixels, para então, definir quanto a sua detecção ou não (PARANHOS FILHO et al., 2008).

Em termos gerais, quanto menor o pixel mais detalhes podem ser extraídos da imagem, definindo uma melhor resolução espacial.

À vista disso, a maior quantidade de detalhe fornecido pela alta resolução espacial da imagem, permite a realização de estudos mais pormenorizados sobre o alvo de interesse, bem como uma aproximação da informação obtida por via remota, à informação real (FERNANDES, 2013).

A resolução espectral refere-se ao número e à largura das bandas espectrais que podem discriminar o sensor como, por exemplo, quem opera na faixa de 0,4 a 0,5 μ m tem uma resolução espectral maior que um sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,6 μ m, sendo esse capaz de registrar pequenas variações no comportamento espectral em regiões mais estreitas do espectro eletromagnético (NOVO, 2010; MOREIRA 2011). Paranhos filho (2008) destaca que existem sensores que possuem resolução espectral tão fina que são denominados de hiperespectrais, outros que conseguem ler respostas espectrais em ao menos 4 intervalos são chamados de multiespectrais. Já aqueles a que a

faixa do espectro compreende apenas uma única banda (imagem em tons de cinza), recebem o nome de banda pancromática.

A energia correspondente aos objetos na superfície apresenta diferenças de intensidade contínuas, as quais precisam ser detectadas, registradas e reproduzidas pelo sensor. A resolução radiométrica de um sensor descreve sua capacidade de detectar variações de radiância espectral. E nesse caso, quanto maior for sua capacidade do sensor de distinguir diferenças de intensidade de sinal, maior será sua resolução radiométrica (NOVO, 2010; MOREIRA 2011).

A frequência com que são obtidas imagens de um mesmo ponto sobre a superfície terrestre por uma determinada plataforma sensorial refere-se à resolução temporal (PARANHOS FILHO, 2008). A sequência temporal dos sistemas varia de acordo com os objetivos fixados para o sensor. Conforme descreve Moraes (2005) os satélites de recursos naturais oferecem uma periodicidade muito maior, pois não estão coletando informações de fenômenos tão dinâmicos como, por exemplo, os meteorológicos.

5.5 Processamento digital de imagens

O processamento digital de imagens é definido como conjunto de procedimentos relativos à manipulação e análise de imagens por meio computacional com a finalidade de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação nela contida (INPE, 2013).

O seu objetivo, conforme destacado por Gonzalez e Woods (2000), envolve combinados procedimentos que melhoram a informação pictorial para interpretação do olho humano, bem como, para o reconhecimento do dado imageado pelo computador.

A sua utilização consiste em melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano, além de fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (ANTUNES, 2011).

Menezes e Almeida (2012) relatam que, quando o usuário utiliza a imagem para obter a informação que procura, frequentemente é necessário corrigi-la ou compensá-la dos possíveis erros apresentados.

Nesse contexto, os mesmos autores, explicam que as correções dessas distorções fazem parte do conjunto de funções de processamento que se denomina de pré-processamento.

O pré-processamento refere-se a todos os procedimentos computacionais aplicados nas imagens orbitais, com intuito de melhorar sua qualidade visual e, se necessário, radiométrica ou até mesmo espacial, capaz de ainda gerar um produto como no caso do índice de vegetação (MOREIRA, 2011). Essas técnicas de pré-processamento visam melhorar a qualidade visual da cena (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Moreira (2011) cita alguns procedimentos empregados ainda no pré-processamento para se obter melhor qualidade visual e radiométrica, a saber: georreferenciamento, realce de imagem, filtragem, correção dos efeitos atmosféricos, componentes principais, recorte de imagens, restauração etc.

Em outra etapa, empregada e estabelecida numa série de procedimentos que, além de potencializar a análise visual, aperfeiçoam os mapeamentos temáticos, estão os chamados de algoritmos de classificação ou mesmo classificadores de imagem.

Ribeiro (2003) explica que a classificação de imagem tem como objetivo ordenar, discriminar e categorizar, baseando-se em características espectrais dos objetos.

Segundo Centeno (2004), simplificada e ela consiste em subdividir grupos de pixels com características espectrais similares em classes ou categorias. Assim a classificação gera uma nova imagem sucinta, na qual cada pixel está associado a uma classe.

De acordo com Antunes e Ribeiro (2014) a classificação de imagens subdivide-se em: não supervisionada, na qual o usuário só define as classes, e o algoritmo computacional executa a classificação; e a supervisionada, nesta o usuário pode, então, definir as classes e selecionar amostras puras e representativas de cada categoria, e o algoritmo calcula parâmetros estatísticos para executar a classificação.

É preciso considerar que, determinadas regras de decisão são estabelecidas para que o sistema associe determinado pixel à determinada classe ou região de similaridade, sendo manifestado comumente, tanto nas divisões não supervisionadas quanto nas supervisionadas. Dessa forma, considerando as características espectrais do pixel, ou do pixel e seus vizinhos tem-se dois modelos de classificação a conhecer: pixel a pixel e por região (MOREIRA, 2011).

Na classificação pixel a pixel, utiliza-se somente da informação espectral de cada pixel para encontrar regiões homogêneas, a partir de medidas de distâncias ou de probabilidades de um pixel pertencer a uma classe específica. Já, na classificação por regiões o processo de decisão leva em consideração as propriedades espectrais e espaciais de imagens formando agrupamento de pixels e seus vizinhos para em seguida classificar esses agrupamentos (KURY; VIEIRA, 2001).

Com as crescentes inovações de sensores de alta resolução na esfera do sensoriamento remoto, a eficiência das classificações mais convencionais passou a ser questionada (BERNARDI, 2007). Uma vez que o alto grau de detalhe destas imagens torna evidentes variações espectrais entre objetos que antes, com a resolução espacial mais grosseira, não eram notadas (ANTUNES, 2003).

Nesse contexto, metodologias como, a abordagem orientada a objetos ganham cada vez mais domínio. De acordo com Antunes (2003) o que diferencia a análise de imagem baseada em objeto (Object-Based Image Analysis – OBIA) de outras técnicas empregadas é a sua capacidade de avaliação levando em conta as informações referidas de propriedades (espectral, espacial, forma, cor, textura tamanho) e suas correlações com as características de seus vizinhos, para reconhecimento de padrões.

A fase para a classificação de imagens por meio do direcionamento ao objeto inicia-se a partir da segmentação, onde se divide uma imagem em “objetos primários” que formaram a base para classificar o resto de imagem (PINHO, 2005). No que se refere à orientação a objetos, cada objeto ou segmento estabelecido representa uma feição do mundo real (ANTUNES, 2003).

Esses classificadores procuram simular o comportamento de um fotointérprete ao reconhecer áreas homogêneas dentro de uma imagem que, guardadas as devidas proporções, resultará na produção temática de mapeamento (MOREIRA, 2011). -

5.6 Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT

Os veículos Aéreos Não Tripulados – VANT (nomenclatura em português para *Unmanned Aerial Vehicle* ou *Unmanned Airbone Vehicle* – UAV) são aeronaves que variam de pequeno e médio porte (como modelos de aviões, helicópteros ou dirigíveis), dotados de atributos tecnológicos, que o capacitam a realização de tarefas de complexidade espacial com certo grau de autonomia (ALVES NETO, 2008).

Para Pegoraro e Philips (2011) a ferramenta VANT remete a identificação de aeronaves que podem voar sem tripulação, sendo remotamente controladas (forma autônoma, semiautônoma ou manualmente) e normalmente projetadas para operar em situações perigosas e em regiões consideradas hostis ou de difícil acesso.

Ao dispor de um aporte tecnológico avançado, essas aeronaves podem ser usadas para o mapeamento, combinando fotogrametria aérea e terrestre e servindo como tecnologia alternativa para o mapeamento em escalas grandes (EISENBEISS, 2009).

Aplicado como ferramenta auxiliar nos estudos de alterações ocorridas na paisagem, o VANT, tem proporcionado contribuições significativas, especialmente no sentido de avaliar e acompanhar, em maior nível de detalhamento, como os objetos vão se modificando com o tempo, seja pela ação natural ou antropizada.

Para Alves Neto (2008) são robôs capazes de desempenhar diversas atividades confiadas previamente, que vão desde seguir trajetórias de voo pré-programadas até a execução de missões mais complexas, como o monitoramento de grandes áreas florestais e urbanas.

Nesse contexto, Candido (2012) destaca que as fotografias aéreas derivadas desses veículos podem ser usadas para subsidiar ações de planejamento e fiscalização em campo, tais como, a atualização e verificação da eficiência de ações mitigadoras em recuperação de áreas degradadas.

Um VANT pode embarcar sensores miniaturizados, incluindo câmeras de alta definição, representando oportunidades interessantes de aplicação, em projetos que abrangem áreas pequenas demais para a opção de uso de imagens derivadas de plataformas orbitais (satélites) e/ou aeronaves tripuláveis e grande demais para mapeamento em campo (TEODOLONI, 2013).

5.7 O VANT Tiriba

Desenvolvido por meio de uma parceria entre o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos (INCT-SEC, 2014), que possui como entidades participantes a empresa AGX Tecnologia e a Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo (EESC-USP), o VANT Tiriba, tem como principal destaque o fato de ser uma aeronave elétrica produzida com a tecnologia nacional.

Essa aeronave é operada por um sistema autônomo de navegação e controle (piloto automático totalmente brasileiro) podendo contar com câmeras fotográficas de alta definição, sensores, câmeras termais e de vídeo convencionais (INCT-SEC, 2014).

Com quase três metros de asa e cerca de um metro e meio de comprimento, o Tiriba ainda conta com uma estação de solo que recebe seus dados (telemetria da aeronave, velocidade e posicionamento) e imagens que podem ser transmitidas em tempo real durante a execução da missão. Seu conjunto de características tecnológicas de alto refinamento conferem-no a possibilidade de ser empregado para diversas finalidades de estudos, entre elas: defesa civil, agricultura e meio ambiente (VALDUGA, 2011).

Valduga (2011) aponta que a sua alta capacidade em realizar levantamentos aereofotogramétricos acentuada na obtenção de imagem com alta resolução espacial e temporal, garantem a melhoria na qualidade dos dados, além de permitir compor mosaicos fotográficos que poderão auxiliar em levantamentos topográficos, por exemplo.

A aeronave modelo Tiriba foi produzida em duas versões de sistemas; Asa Longa e Asa Curta. Todas elas contam com relativa simplicidade operacional e sistemas autônomo que podem ser usados por qualquer pessoa sem treinamento extensivo (INCT-SEC, 2014).

Em ambos os modelos há tecnologia suficiente capaz de guiar automaticamente a aeronave em um percurso previamente determinado, realizando imageamento conforme configurações estabelecidas no planejamento da missão (AGX, 2012).

5.8 Recuperação de áreas degradadas

Os problemas relacionados às intervenções antrópicas no meio ambiente tem sido causa de amplo debate, sobretudo buscando o aperfeiçoamento dos planos de gestão existentes e viabilizando técnicas para a conservação e recuperação de áreas degradadas (SANTOS, 2013).

A recuperação de áreas degradadas é entendida como um conjunto de ações idealizadas e executadas por especialistas multidisciplinares, visando proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio ecossistêmico e a sustentabilidade existentes anteriormente (DIAS; GRIFFITH, 1998).

De acordo com o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) o termo recuperação refere-se à retomada de áreas degradadas a uma forma de utilização tecnicamente compatível, em conformidade com os valores ambientais, culturais e sociais locais (IBAMA, 1990).

Atualmente corresponde, em âmbito regional, a SEMA-MT (Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Mato Grosso) a responsabilidade por nortear a elaboração de um dos principais instrumentos no âmbito do gerenciamento ambiental, o PRAD (Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas). Esse projeto constitui documento obrigatório exigido pelos órgãos governamentais para o licenciamento ambiental de empreendimento, seja público ou privado, devendo apresentar de maneira sucinta toda a sequência de atividades a serem executados durante o processo de recuperação (IBAMA, 1990).

Para Corrêa (2007) o objetivo geral de todo e qualquer PRAD, seja a longo ou curto prazo, consiste na estabilização da paisagem. Categoricamente tem sido utilizado de forma complementar a documentos como EIA (Estudo de Impacto Ambiental) e RIMA (Relatório de Impacto Ambiental).

Re (2007) relata que esse instrumento tem se destacado pela capacidade de sintetizar, em um mesmo documento, os recursos naturais das áreas de influência de determinado empreendimento, bem como os impactos ambientais provocados pela implantação do projeto.

Ainda assim, não se deve negligenciar, a elaboração de um programa adequado de monitoramento capaz de garantir a eficácia do programa de gestão e o nível de proteção ambiental pretendido (SÁNCHEZ, 2013).

Santos (2013) adverte que, muitas vezes, os insucessos desse tipo de projeto são motivados por um conflito de interesses na implantação e condução do PRAD, suscitado, sobretudo pela falta de socialização entre as personagens envolvidas na concepção, execução e monitoramento do projeto.

A autora supracitada entende que alguns elementos resolutivos são necessários para que os PRADs possam melhorar continuamente os resultados alcançados; maior transparência quanto as intervenções e metodologias aplicadas, melhoria na gestão de custos e cumprimento efetivo de prazos envolvidos nas ações propostas.

5.9 As novas ferramentas para regularização ambiental no Brasil

Recentemente, e, marcado por calorosas discussões, houve a promulgação do Novo Código Florestal, disposto na lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012), sendo complementada pela Lei 12.727/2012 e pelo Decreto 7.830/2012, que, no âmbito de suas disposições constituiu como mecanismo regulador, tendo objetivo de promover a adequação ambiental dos imóveis rurais em território brasileiro e o Programa de Regularização Ambiental (PRA).

O PRA é definido como um conjunto de ações e iniciativas empreendidas pelos proprietários e posseiros rurais, a fim de obterem a regularização ambiental de suas propriedades (BRASIL, 2012).

Esse programa de regularização é composto por quatro instrumentos principais: o Cadastro Ambiental Rural (CAR), o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) ou Termo de Compromisso (TC), o Projeto de Recomposição de Áreas Degradadas ou Alteradas (PRADA) e as Cotas de Reservas Ambientais (CRAs) quando couber (LAUDARES et al., 2014).

Em termos gerais, compete a esses instrumentos fornecer as condições legais para a regularização dos imóveis rurais, assegurando o desenvolvimento pleno de atividades, tanto do ponto de vista ambiental quanto creditício (LAUDARES et al., 2014).

Conforme as diretrizes da legislação ambiental o CAR é um registro obrigatório e tem a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, bem como apontar os passivos ambientais nelas existentes (BRASIL, 2012). Ademais, visa constituir uma base de dados estratégica para o controle, o monitoramento e o combate ao desmatamento das florestas e demais formas de vegetação nativa em território nacional, (LAUDARES et al., 2014). Esse documento incorpora o contexto do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (SINIMA).

O Cadastro Ambiental Rural é uma ferramenta importante para o fortalecimento da gestão dos recursos naturais (SANTOS, 2013). O mesmo pode vir contribuir a fiscalização e monitoramento ambiental, uma vez que, passa a agregar em sua metodologia novas técnicas de análise e coleta de dados espaciais (GRAZIANO, 2012).

Camargo (2013) relata certa preocupação quanto a retirada da obrigatoriedade de um técnico especializado para a realização do cadastro, considerando que o

mapeamento de uma propriedade rural e o levantamento de seus respectivos passivos ambientais, não são tarefas triviais, podendo por conta de erros e imprecisões, comprometer e inviabilizar a validação do sistema.

Para Araújo e Juras (2012) pouco adianta criar leis para controlar ocupações ilegais se essas não estiverem respaldadas por políticas públicas, capazes de promover e fomentar profissionais capacitados, além de recursos financeiros para garantir a eficácia do monitoramento e controle dessas áreas a serem protegidas.

Por ser tratar de um documento novo, esse mecanismo legal, ainda gera certa insegurança jurídica, devendo submeter-se a adaptações e mudanças efetivas no processo de estabelecimento para não se tornar uma ferramenta inócua (CAMARGO, 2013).

5.10 Aspectos turísticos da região que abrange a área de estudo

Compreendido por conceder a população rondonopolitana à oportunidade de desfrutar e visitar áreas de cenário natural, com paisagens exuberantes, fauna e flora, sem a necessidade de percorrer grandes distâncias, a região, conhecida como “Rodovia do Peixe” representa um espaço de recanto e sossego para todos aqueles que residem nas diversas propriedades rurais e assentamentos concentrados nessa localidade.

Além disso, o local abriga diversos espaços turísticos, tais como, a Cidade de Pedra, onde está reunido, um complexo de formações rochosas constituídas por milhares de anos que lembram uma verdadeira cidade com suas ruas e prédios.

Essas estruturas, geradas pela ação da erosão sobre as formações sedimentares areníticas, consolidam uma paisagem ruiforme de morros-areníticos, que se estendem por vários quilômetros (SILVA, 2005).

De um mirante, é possível avistar as estruturas de pedra, esculpidas pelo tempo, na figura de ruínas arquitetônicas, formadas de rochas de arenito, com dezenas de metros de altura, verdadeiras obras de arte esculpidas pela natureza (NARDES, 2005).

Nessa área há ambientes com relevo acidentado e um conjunto de sítios arqueológicos. São cerca de 160 sítios rupestres e nove sítios abertos. Entre as descobertas, há cerâmicas, adornos, artefatos líticos descartados, pinturas rupestres e outros vestígios, como os de fogueiras. As pesquisas e escavações no local já revelaram

que a ocupação na região é antiga, com artefatos encontrados que datam de 300 a 10 mil anos atrás (VILHENA VIALOU; FIGUTI, 2013).

Os seus limites fronteiam ao Parque Estadual Dom Osório Stóffel e o Parque Ecológico João Basso, sendo este reconhecido como Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) pelo IBAMA no ano 1997, assegurando proteção e conservação a fauna, a flora e o patrimônio arqueológico (VILHENA VIALOU; FIGUTI, 2013).

De acordo com Nardes (2005) a RPPN compreende um complexo vale encaixado entre chapada, que se destaca pela intensa dissecação caracterizada por escarpas estruturais e erosivas, com relevo ruiniforme.

É um ambiente de grande riqueza arqueológica, além de formar uma paisagem cênica de rara beleza com corredeiras, cachoeiras e afloramentos rochosos (STURZA, 1999).

Todos estes atrativos, materiais e imateriais, têm atraído olhares de investidores, conduzindo a região a uma nova representatividade em termos de ocupação e uso das terras, passando a ser explorada economicamente como oportunidades de negócios, tanto por meio da valorização imobiliária quanto por instalações de hotéis e pousadas de águas quentes.

6 METODOLOGIA

6.1 Caracterização da Área de Estudo

O Município de Rondonópolis está localizado ao sul do estado de Mato Grosso, na Mesorregião Sudeste Mato-Grossense (Figura 1) com as coordenadas geográficas, 16°28'19.54" S e 54°38'07.56" O (IBGE, 2010).

Situa-se a uma distância de 215 km da capital, Cuiabá, e representa cerca de 0,48% da área total do estado, com uma área de 4.159,122 Km², sendo 129,2 Km² de zona urbana e 4.029,922 Km² de zona rural (IBGE, 2010), está localizado no entroncamento das rodovias BR-163 e BR-364, as quais funcionam como principais vias de escoamento e de ligação do estado à região norte e sul do país.

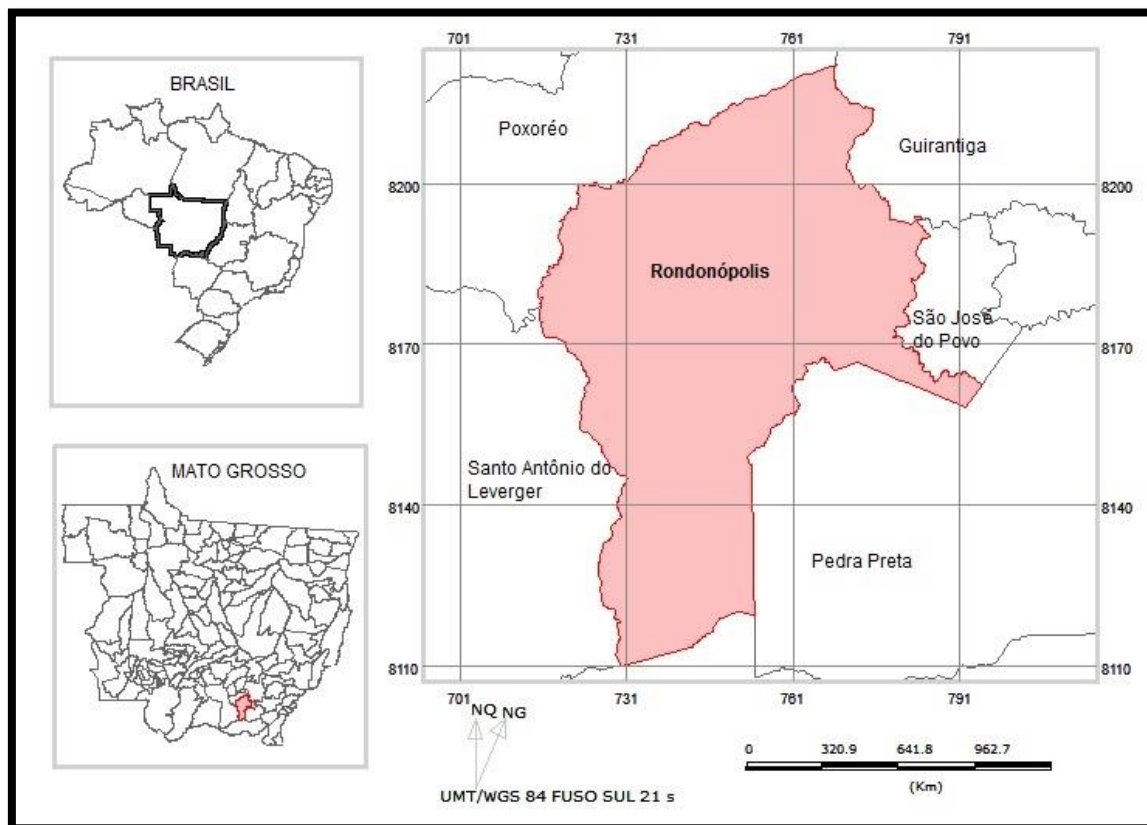


Figura 1 – Localização do Brasil, Mato Grosso, Rondonópolis
Fonte: IBGE, (2010)

Segundo Santos (2002), sua expansão urbana remete pós década de 70 impulsionado por projetos governamentais e principalmente pela introdução da cultura de soja em terras do Cerrado Mato-grossense.

Durante a década de 90, Rondonópolis é destacada como “A Capital Nacional do Agronegócio”, ao mesmo tempo em que cresce o setor agroindustrial. Elevando a condição de segunda maior economia do Estado (SALOMÃO, 2012).

Atualmente, abriga em seu território a terceira maior população de Mato Grosso, estimada para 2014, segundo IBGE (2010), uma população de 211.718 habitantes.

A região é denominada de “Portal da Amazônia” devido sua posição geográfica estratégica, às margens e na confluência dos Rios Vermelhos e Arareau no corredor e entroncamento das BRs 364, 163 e 070 passagem obrigatória para o Norte, Sul e Sudeste do País (NARDES, 2005).

Na margem direita do Rio Vermelho localiza-se a rodovia estadual Isabela Carrasqueira Smozinski (MT 471), também conhecida por ‘Rodovia do Peixe’. Essa é uma via pavimentada de característica sinuosa e estreita, frequentemente visitada pela população rondonopolitana, visto que representa principal acesso a empreendimentos de diversão e lazer, além de possibilitar ingresso a diversas propriedades e assentamentos rurais.

Mais especificamente, a área de estudo ocupa um trecho as margens dessa rodovia (MT 471), próximo ao Rio Vermelho. Preenchida por fisionomia vegetal heterogênea, com destaque para uma parcela ocupada com cultura perene, espacialmente envolvida por remanescentes vegetais típicos da paisagem do Cerrado. E ao longo desse ponto, há ainda, trecho com cobertura campestre e vegetação nativa que margeiam o Rio Vermelho (Figura 2).

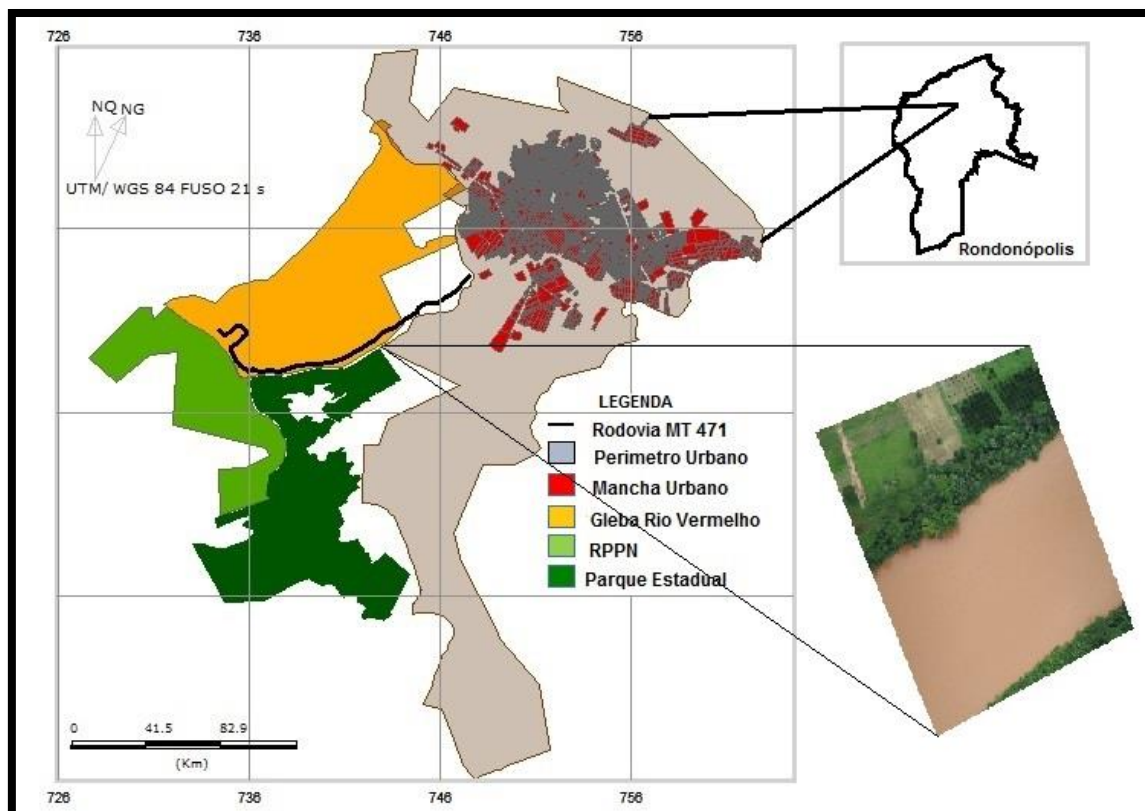


Figura 2 – Localização da área de estudo

Fonte: IBGE, (2010); Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - UFMT, (2014).

6.2 Hidrografia

A área de estudo e seu entorno estão representadas pelas sub-bacias; Córrego Pitaluga, Córrego da Onça, Córrego Gavião, Córrego Escondidinho, Córrego Pacífico, Córrego Sucuri e Córrego Igreja que constituem a bacia hidrográfica do Rio Vermelho, e a seu turno, integra a bacia do Rio São Lourenço, importante tributário do Pantanal Mato-grossense (SALOMÃO, 2012).

6.3 Vegetação

A paisagem natural do município de Rondonópolis compreende o mosaico de paisagens do Bioma Cerrado (STURZA, 2005). Há também representações divididas em regiões com formações florestais com significativas áreas de vegetação nativa inseridas principalmente à reserva indígena Tadarimana, situada a Leste da área de estudo Salomão (2012).

Ao noroeste do município, observam-se certas coberturas correspondentes a uma formação vegetal bem definida, em sua estrutura de aspecto florestal, que pode ser encaradas como área de contato floresta – cerrado. Há ainda representações de fisionomias de campos cerrados ocupando espacialmente o centro leste, noroeste e parte do norte de Rondonópolis (SANT' ANNA, 1984).

6.4 Geomorfologia

Segundo Sette (2000) o sítio urbano está localizado na região do vale e baixas colinas do Rio Vermelho, sendo caracterizado como um sítio convergente, da confluência dos rios Arareau e Vermelho, sendo ainda circundado por uma sequência de terras altas, o qual, essa configuração morfológica, favorece regionalmente a configuração do clima tropical continental quente (megatérmico), alternadamente úmido e seco, com temperatura média anual de 24°C.

O relevo constitui-se de terrenos plainados, destacados na região da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, com chapadões levemente ondulados e escarpas abruptas, próximo à sua foz. O ponto mais elevado na Serra da Jibóia atinge 718 metros e a altitude mínima é de 188,20 metros, verificados às margens do Rio Vermelho (MIRANDA, 2005).

6.5 Solos

A maioria dos solos são profundos, bem drenados e estruturados, de baixa capacidade de retenção de água, altamente intemperizados, do tipo; Latossolo vermelho-escuro, vermelho-amarelo e Neossolos quartzarênicos, suscetíveis à erosão (SETTE, 2000).

Salomão (2012) destaca maior ocorrência dos Latossolos-vermelhos escuros nas regiões de vegetação primitiva de cerrado, onde são amplamente explorados pela agropecuária empresarial.

6.6 Missão com Veículo Aéreo Não Tripulado

Na pesquisa utilizou-se do VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) modelo Tiriba (Figura 3), fabricado pela empresa AGX Tecnologia, no âmbito de um projeto em parceria com o Instituto Nacional de Sistemas Embarcados Críticos (INCT-SEC, 2014). A aeronave Tiriba, versão Asa Longa é composta de: uma célula aeronáutica, uma canopy, duas asas (aileron e flap), uma baioneta, um estabilizador horizontal (profundor), bateria dual-pack, paraquedas, carregador single-pack, notebook, um rádio controle 6 canais, uma estação base de comunicação com antenas, câmera fotográfica de 10Mpixel, cartão de memória de 4GB, cabos de carregamento da base e da câmera fotográfica e grampos de fixação de câmera.



Figura 3 - Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), modelo Tiriba.
Fonte: AGX, (2012)

Esse VANT possui dois sistemas de controle de voo: modos “Assistido” e “Autônomo”. Abriga sensores de controle de voo, incluindo GPS (Global Positioning System), para determinação da posição geográfica da aeronave, além de sensores inerciais (atitude de voo) e sensores barométricos para a determinação da altitude e da velocidade aerodinâmica.

A câmera utilizada para aquisição das fotografias foi uma Canon Power Shot S95 (Figura 4), que possui características técnicas apresentadas na Tabela 01.



Figura 4 - Câmera Canon Power Shot S95.
Fonte: Canon, (2010)

Tabela 1- Especificações Câmera Canon Power Shot S95.

ESPECIFICAÇÕES

| | |
|------------------------|---|
| DIMENSÕES | 9,98 x 5,84 x 2,95 cm |
| RESOLUÇÃO | 10 MP |
| SENSOR | CCD 1/1.7 |
| FOTOS | 3648 x 2736 a 640 x 360 (JPEG) 3648 x 2736 a 384 x 480 (RAW) |
| ALCANCE FOCAL | 28 – 105 mm (equiv. a 35 mm) |
| DISTÂNCIA FOCAL | 6.0 – 22.5 mm |
| ZOOM ÓTICO | 3.8x |
| ABERTURA | F2.0 a F8.0 (W) e F4.9 a F8.0 (T) |

Fonte: Canon, (2010).

6.7 Etapa de laboratório

Nessa etapa da pesquisa, foram empreendidas as instruções necessárias para devido planejamento e execução de missão com emprego de VANT.

Em síntese, o termo missão consiste em planejar, descrever e executar as operações previamente incumbidas a aeronave, em uma determinada região, durante um período restrito de tempo, direcionando-a um objetivo específico (SEIBEL, 2000).

De acordo com que relata Alves (2010) também constituem parte da missão e de seu planejamento os requisitos de segurança e os contextos operacionais, composto pelas condições internas da aeronave escolhida e pelas condições externas de execução, que dizem respeito ao local, o momento em que a missão será executada e principalmente os fatores meteorológicos, por ocasião da execução da missão.

Durante o planejamento de missão busca-se mapear a melhor rota para o alvo com o maior nível de segurança e probabilidade de sucesso (ALVES, 2010). Simplificadamente corresponde à elaboração do plano de voo (COSTA, 2008).

Nessa etapa, utilizou-se do laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (ICAT) do *Campus* Universitário Rondonópolis da

Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Foi realizada a inserção das coordenadas da área estudada, sendo que esse processo no VANT ocorreu por meio da importação dos dados de arquivos no formato Kml (*Keyhole Markup Language*).

Após isso, o software de planejamento de missão, *DataSender*, exibiu uma tela de edição de coordenadas permitindo a inserção, exclusão ou edição de pontos ajustados para coordenadas, Datum WGS84.

Na missão os seguintes parâmetros foram definidos para aquisição das imagens:

- Distancia Focal 6mm;
- Recobrimento Vertical 40%;
- Recobrimento Horizontal 60%;
- Tipo de Área: Grid;
- Tipo de Missão: Mosaico;
- Resolução: 10 cm;
- Altitude de Voo: 300 m;
- Velocidade: 100 Km/h;
- Tempo de aquisição: 6.5s.

6.8 Etapa de campo

Simplificadamente, esta etapa compreende a realização da decolagem, cumprimento da missão (imageamento) e pouso.

As operações que envolvem a decolagem e principalmente a de recuperação do VANT são as mais delicadas (COSTA, 2008).

Há um *check list* de pré-voo, voo e pós-voo, elaborado pelo fabricante, e que foi realizado visando assegurar as condições de exequibilidade da missão. Consiste basicamente em uma conferência minuciosa de todos os itens que compõem o VANT, incluindo verificação do funcionamento do seu sistema eletrônico.

Esse procedimento não constitui rotinas padronizadas, uma vez que, o conjunto de características a serem observadas varia de acordo com cada aeronave (SEIBEL, 2000).

Apesar disso, conforme descreve Seibel (2000) duas são as condições primordiais necessárias no contexto operacional da missão, as condições internas, condizente com as características da aeronave e seus recursos operacionais (velocidade

desempenhada, capacidade de combustível, fonte de energia elétrica), e as condições externas, que independem da aeronave utilizada e dizem respeito ao local e momento em que será realizada a missão (as condições meteorológicas, o relevo da região sobrevoada e a existência de zonas de exclusão).

Feito isso, seguiu-se o protocolo da missão (pré-voo e voo) respeitando os critérios do fabricante do VANT. Sendo a rotina assim sintetizada (AGX, 2012):

Passo **01**. Ligar o notebook (estação de controle);

Passo **02**. Conectar o cabo USB identificado como “Dados” no notebook, executar o software DataSender e verificar a porta de comunicação;

Passo **03**. Conectar a antena identificada como “Modem” à estação base;

Passo **04**. Conectar a antena identificada como “Vídeo” à estação base;

Passo **05**. Ligar a estação base;

Passo **06**. Ligar o rádio controle com a chave seletora do modo de voo no modo O (manual);

Passo **07**. Conectar a bateria da aeronave;

Passo **08**. No notebook, carregar a missão utilizando o *software* DataSender (fornecido pelo fabricante do VANT);

Passo **09**. Seguir as instruções da tela:

a. Em solo, conforme instrução da tela, testar resposta do piloto automático no modo 1 (assistido), movimentando a aeronave e verificando resposta dos ailerons.

b. Após a ativação do controlador de paraquedas, verificar se o solenoide se prendeu firmemente e então retirar a trava de segurança. Recolocar a trava de segurança novamente após o pouso da aeronave para evitar uma abertura acidental do paraquedas.

Passo **10**. Centralizar o mapa da missão apresentado na aba “Mapa” e verificar a posição da base (verde) e da aeronave (vermelho) em relação à missão;

Passo **11**. Decolar a aeronave utilizando o rádio controle;

Passo **12**. Ganhar altitude, acionar pelo rádio controle o modo de voo assistido e verificar comportamento da aeronave.

Passo **13**. Acionar pelo rádio controle o modo de voo autônomo acompanhar a execução da missão na estação de trabalho (notebook).

6.9 Lançamento da aeronave

O lançamento da aeronave respeitou critérios do protocolo do VANT, incluindo checagem dos sistemas eletrônicos, inspeção da fuselagem e aspectos do ambiente, como a direção do vento. Após o lançamento, verificou-se a estabilidade da mesma quanto a tendências indesejadas para o voo. Com a aeronave voando no modo **manual (modo 0)**, em uma altura segura, que deve ser no mínimo de 100 metros em relação ao solo, pode-se alterar no rádio controle para o modo **assistido (modo 1)**. Nesse momento o rádio controlador realiza manobras no VANT (curvas ou círculos à direita e à esquerda) para verificar a estabilidade da aeronave.

Ao longo do voo, são feitas as seguintes observações; se o VANT mantém a altura, velocidade, voo reto e nivelado sem comandar o rádio controle. Desse modo, confirmado a estabilidade da aeronave, é o momento de mudar a chave do rádio controle para o modo **autônomo (modo 2)**.

Para garantir o mínimo de segurança nas operações, os voos estão limitados ao intervalo de 50 a 1000 metros de altura em relação ao solo.

Ao término da missão a aeronave desliga automaticamente a câmera (Canon S95) e retorna ao ponto definido como base, realizando um voo estabilizado em círculo a uma altura de 100m (AGL) com um raio de 100m enquanto o piloto não assumir o comando da aeronave pelo rádio controle.

6.10 Encerramento do voo

O protocolo de encerramento do voo seguiu o recomendado pelo fabricante (AGX, 2012):

- 1- Após o término da missão, assumir o controle do avião e pousar;
- 2- Descarregar os dados da missão utilizando a aba “Mission Data”;
- 3- Sincronizar as imagens utilizando o *software* DataSync 1.0.0.7.

6. 11 Processamento de dados

As atividades de processamento de dados pós-voo começaram pela leitura dos cartões: cartão do voo e cartão da câmera fotográfica.

No cartão da câmera fotográfica constam as imagens de interesse, já no cartão de voo, as informações de atitude de voo correspondentes a estas imagens. Após uma prévia seleção e verificação de correspondências, estas foram processadas, para junto com seus metadados serem utilizadas no processamento.

As imagens aéreas registradas num total de 90 cenas foram processadas com auxílio do *software* Agisoft Photoscan 1.1 (Agisoft, 2014), o qual, permite gerar ortofotos georreferenciados de alta resolução, além de modelos digitais de elevação (MDE) detalhados e/ou modelos poligonais texturizados (Agisoft, 2014). Essa etapa envolveu as seguintes fases: orientação interna, orientação externa e triangulação aérea. O primeiro passo corresponde ao alinhamento das fotografias, a seguinte a construção da geometria do modelo e a última a sua texturização (ROBERTO, 2013). Nesta fase, além das imagens, utilizou-se arquivo de texto com os atributos (coordenadas x, y, z, dentre outros) para a sincronização das cenas. Ao fim, obteve-se o mosaico e o Modelo Digital de Elevação (MDE) da região que abrange a área de estudo.

Prontamente, selecionou-se do conjunto de imagens que formaram o mosaico a imagem de número 090, a qual foi utilizada para os testes de classificação automática incluindo a classificação por fotointerpretação. Sua escolha é justificada por compor em sua cena diferentes aspectos da paisagem correlacionados ao objetivo de estudo.

Em seguida, a imagem foi importada para o banco de dados criado no *software* QuantumGis 2.4.0 (QGis, 2014), onde foi realizado o seu registro (georreferenciamento). O registro confere atributos espaciais para cada pixel da imagem de maneira a relacionar os pixels da imagem a coordenadas de um mapa ou imagem de referência (WATTS et al., 2010).

Para tanto, foram utilizadas coordenadas de pontos de apoio definidos de locais previamente conhecidos, localizados no Google Earth (imagens orbitais, com 50 cm de resolução espacial). Além dessas, foi utilizado como referência para o georreferenciamento da imagem aérea, imagens SPOT do ano de 2009, com composição colorida sintética e 2,5 metros de resolução espacial. As referidas imagens SPOT foram cedidas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso

(SEMA-MT). A configuração definida para o sistema de projeção foi UTM e datum WGS84.

6.12 Classificação por Fotointerpretação

Inicialmente, a imagem selecionada (imagem 090) foi incorporada ao banco de dados previamente gerado no TerraView 4.2.2 (INPE, 2013).

O TerraView 4.2.2 foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais através da Divisão de Processamento de Imagens (DPI), construído sobre a biblioteca de geoprocessamento TerraLib, direcionado para profissionais gerais, pesquisadores e acadêmicos, que necessitam de uma ferramenta para a realização de pesquisas acerca do espaço geográfico (INPE, 2010). Oferece fácil manuseio e entendimento, capaz de manipular dados vetoriais (pontos, linhas e polígonos) e matriciais (grades e imagens), além de se enquadrar na categoria de *software* livre (SILVA, 2011).

Em seguida, no *plugin* incorporado a interface do TerraView utilizado para edição de dados vetoriais e descritivos de objetos, o TerraEdit, as feições de interesse (Vegetação Nativa, Corpos Hídricos, Solo Exposto, Área Cultivada, Área Campestre) foram previamente identificados na imagem aérea, e sobre esses ambientes (classes) foram gerados polígonos. O conjunto de polígonos formado foi convertido em um mapa de classes. Posteriormente, foram atribuídas cores diferentes para representar cada classe. Dessa forma, produziu-se um mapa temático de referência capaz de revelar e delimitar as condições e feições preliminares da área representada na cena, o mapa de uso da terra.

Segundo Cândido (2012) essa prática é bastante adotada, devido às limitações na realização de classificações automáticas, pelo fato das fotografias serem sintéticas e não multiespectrais. Durante o processo de interpretação visual, as seguintes atividades são realizadas quase simultaneamente: detecção, reconhecimento, análise, dedução, classificação, avaliação da precisão (NOVO, 2010).

As cinco classes estabelecidas foram individualizadas conforme proposta defendida por Bernardi (2007), segundo adaptação do IBGE (2006), o qual, assim as descreveu;

- Vegetação nativa: correspondem aos fragmentos florestais e às matas ciliares primárias ou secundárias em avançado estágio de sucessão.

- Área campestre: representada pelas áreas cobertas por campos nativos e pasto plantado;
- Área cultivada: representada por áreas cultivadas com plantações perenes e anuais;
- Área com solo exposto: representada por áreas com pastagem com alto grau de degradação, terra preparada para plantio ou já cultivada em estágio inicial de crescimento áreas de pós – colheita e áreas degradadas;
- Corpo hídrico/ Água: corresponde os espelhos d'água formados por lagoas e/ou rios artificiais ou naturais.

6.13 Validação das classificações

A fim de validar as classificações geradas, utilizou-se do TerraView 4.2.2 para geração de pontos amostrais, tipo aleatório-estratificada proporcionalmente a área da classe, com um mínimo de 30 pontos por classe.

Esta estratégia permite aleatoriedade de coleta de amostras em estratos que cobrem toda a área, além de minimizar os efeitos da correlação espacial (BRITES, 1996).

Os pontos previamente sorteados foram conferidos em campo, fotografados e georreferenciados por meio de câmera fotográfica digital que dispõe de tecnologia GPS, modelo Nikon Coolpix P520 e um receptor GPS eTrex Legend H Garmin. Preparou-se uma ficha de campo que continha dados como o número do ponto do GPS e da imagem classificada, coordenada geográfica local, altitude, número das fotografias correspondentes à área visitada e descrição da fisionomia encontrada no local.

O passo seguinte consistiu na associação das ocorrências de acertos e erros da imagem classificada, em relação à referência terrestre, a partir da elaboração da matriz de erro, também conhecida como matriz de confusão. Rovedder (2007) explica que uma matriz de erro compara informações de locais de referência com informações no mapa por um número de elementos amostrais da área.

Essa matriz permite a identificação, por categoria, dos erros de omissão e comissão, além de expor com propriedade onde ocorreram as maiores confusões entre elas (BRITES, 1996).

A matriz de confusão é formada por um arranjo quadrado de números dispostos em linhas e colunas. As colunas representam a referência fidedigna do local. E as linhas são usadas para designar o que foi gerado pela classificação automática na forma de mapas temáticos.

Tabela 2–Representação matemática de uma matriz de confusão.

| Classificação | Dados de referência | | | Total nas linhas n_{i+} |
|----------------------------|---------------------|----------|----------|---------------------------|
| | 1 | 2 | r | |
| 1 | x_{11} | x_{12} | x_{1r} | x_{1+} |
| 2 | x_{21} | x_{22} | x_{2r} | x_{2+} |
| r | x_{31} | x_{32} | x_{3r} | x_{r+} |
| Total nas colunas n_{+i} | x_{+1} | x_{+2} | x_{+r} | N |

Fonte: Adaptada de Bernardes (2006).

Após a elaboração da matriz de confusão, a estimativa de acurácia dos mapas foi determinada a partir dos cálculos da exatidão global e do coeficiente de Kappa.

De acordo com Gongalton e Green (1999), a Exatidão Global (eg) é dada pela razão entre a soma de todos os elementos amostrais classificados corretamente, pelo número total de elementos. Segundo o mesmo autor, a equação que fornece o valor de a exatidão global é dada pela fórmula (1):

$$eg = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{N},$$

Onde:

eg = Exatidão Global.

x_{ii} = são os elementos da diagonal principal.

r = o número de classes.

N = número total de amostras.

Já o coeficiente de Kappa é baseado na diferença entre concordância observada (diagonal principal da matriz de confusão com a concordância entre a classificação e os dados de referência) e a chance de concordância entre os dados de referência e uma classificação aleatória (produto entre os totais marginais da matriz), sendo computado pela expressão (CONGALTON E GREEN, 1999), fórmula (2):

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}$$

Onde:

r = Número de classe

x_{ii} = Número de elementos classificados corretamente

x_{i+} = Total de elementos para uma classe i

x_{+i} = Total de elementos de referência da classe i

N = Número total de amostras

A fim de indicar a qualidade do mapa temático o resultado do índice Kappa foi interpretado de acordo com Fonseca (2000):

Tabela 3 - Índice Kappa e o correspondente desempenho da classificação.

| ÍNDICE KAPPA | DESEMPENHO |
|-------------------------|-------------------|
| < 0 | Péssimo |
| 0 < K ≤ 0,2 | Ruim |
| 0,2 < K ≤ 0,4 | Razoável |
| 0,4 < K ≤ 0,6 | Bom |
| 0,6 < K ≤ 0,8 | Muito Bom |
| 0,8 < K ≤ 1,0 | Excelente |

Fonte: Adaptada de Fonseca (2000).

A decisão de adotar essas ferramentas de análise nesse trabalho é justificada pela sua ampla utilização em estudos científicos que lidam com classificação gerada de dados de sensoriamento remoto (CONGALTON E GREEN, 1999; ANTUNES, 2003; BERNARDES, 2006; ROVEDDER, 2007; CÂNDIDO, 2012).

Segundo Brites (1996), o índice Kappa é recomendado como uma medida apropriada para avaliar a exatidão das classificações temáticas, compreendido pelo fato de não representar apenas os valores que se situam na diagonal principal da matriz, mas ela por inteiro, revelando ser essa uma forma padronizada para reportar erros em locais específicos.

Da mesma forma, Congalton e Green (2009) destacam o seu emprego em avaliações estatísticas por ser uma técnica de análise multivariada, discreta e eficaz.

6.14 Classificação automática das imagens aéreas

Ainda no TerraView 4.2.2 foram executados testes de classificação automática utilizando-se das técnicas; pixel a pixel (supervisionada e não supervisionada), por região e análise orientada a objeto (OBIA). Os resultados alcançados por cada classificação foram posteriormente comparados com a classificação por fotointerpretação (referência) gerada de maneira prévia pelo reconhecimento de padrões baseado na capacidade cognitiva humana. Para a realização dos testes, selecionou-se um arquivo correspondente a uma imagem, presente no lote de 90 arquivos gerados na missão com o VANT Tiriba. Esse arquivo de imagem apresentava as feições da paisagem necessárias para avaliação da APP e suas formas de uso e cobertura.

6.14.1 Classificação automática pixel a pixel

O processo de classificação pixel a pixel não supervisionada efetuado no TerraView 4.2.2, ocorreu por meio do plugin denominado *processamento de imagem*, e neste da seleção do menu *processamento de imagem*, e em seguida do menu *classificação*. Na nova janela aberta, definiu-se os parâmetros método pixel a pixel e Kmeans, além de atribuído ao número de classe valor 5 (é o número de áreas distintas

identificadas) e número de iteração valor 2 (número de vezes que o processo será repetido).

No processo de classificação supervisionado, além de definir como parâmetro o método pixel a pixel, foram realizados testes com três diferentes algoritmos classificadores: Distância Euclidiana, Mahalanobis e Maxver. Antes de cada teste foram extraídas amostras (áreas de treinamento) de diferentes fisionomias e posteriormente analisadas para suprimir as confusões geradas durante a aplicação do algoritmo classificador. Ao final, realizou-se a operação de filtro majoritário que permite remover pixels isolados dispersos e indesejáveis de uma imagem classificada.

Cada processo de classificação resultou em uma imagem digital constituída por um mapa de “pixels” classificados, representados por cores correspondentes a resposta espectral dos alvos e a classe que desejou se mapear, estabelecidas, quando supervisionada, pelas amostras pré-definidas a cada classe, anteriormente.

6.14.2 Classificação automática por região

Na Classificação Automática por região, a imagem aérea foi antes submetida a um processo pré-classificatório chamado de segmentação de imagem, alcançado por meio do menu *segmentação* no plugin *processamento de imagem*. A segmentação é uma componente importante para o reconhecimento de padrões, seu objetivo é dividir uma imagem em grupos de pixels ou objetos de acordo com determinado grau de homogeneidade, afim de associá-los a uma feição do terreno (ANTUNES, 2003).

Cavassim Junior & Centeno (2003) explicam que, de forma análoga ao comportamento de um fotointérprete esse modelo classificatório, procura reconhecer áreas homogêneas de imagens baseados em suas propriedades espectrais e espaciais.

Nesse processo o algoritmo utilizado foi o Agrupamento por regiões. A cada teste realizado, novos índices foram sendo adicionados definindo valores para a Distância Euclidiana, o qual representa a medida de similaridade (diferença entre o valor do pixel e a média da região vizinha), da mesma forma ocorrendo para definição de área mínima (representa o menor valor de área em pixels, para que uma região seja separada de outra).

Diversos valores foram testados como medidas para Distância Euclidiana e área mínima, até que fosse encontrada aquela com melhor agrupamento espacial abrangendo e identificando as classes de interesse.

6.14.3 Classificação automática de análise orientada a objeto

Quanto a classificação automática supervisionada por meio de análise orientada a objeto, esta foi executada no *software* GeoDMA 0.2.2 (GeoDMA, 2011) que funciona como um plugin para o *software* TerraView (KORTING et al., 2009).

De acordo com Korting (et al., 2009) o sistema GeoDMA (Geographic Data Mining Analyst) é uma ferramenta para mineração de dados geoespaciais, capaz de realizar todas as fases de processamento necessárias para manipular dados de sensoriamento remoto, incluindo os processos de segmentação, extração, classificação e análise exploratória dos dados.

Um de seus principais recursos está na análise da imagem por meio da orientação por objeto. Esse procedimento, ao contrário dos métodos convencionais para a classificação digital de imagens, realiza análise sobre objetos ou segmentos na imagem e não apenas sobre os pixels (DEFINIENS, 2010).

A rotina metodológica além de ponderar as características espectrais, considera a informação contextual, a informação sobre a forma e as relações espaciais entre os objetos estabelecidos na imagem, elevando eficientemente a avaliação (BLASCHKE, 2003).

Com o GeoDMA 0.2.2, foi possível segmentar a imagem e extrair atributos espaciais e espectrais de cada objeto (segmentos) gerado. Entretanto, é preciso considerar que, até alcançar o particionamento adequado, em que as classes de interesse fossem isoladas, foram necessários exaustivos testes para os valores de Distância Euclidiana e área mínima. Nessa ocasião, o algoritmo definido foi o *Region Growing* (Crescimento de Regiões), o qual, segundo Antunes (2003) parte de um pixel semente e a partir das características dos pixels vizinhos (intensidade, textura, cor, etc) em uma matriz definida, agrega pixels similares até a formação de uma região onde não há mais possibilidade de agregação.

Nesse processo consideram-se regiões (constituídas por agrupamento de pixels) como representação de objetos (feições do terreno). De forma que as classes são especificadas por objetos que compartilham uma mesma estrutura descritiva.

Na etapa de treinamento selecionou-se alguns dos objetos e seus respectivos atributos, rotulando cada um desses a uma determinada classe. Com as amostras selecionadas, o próximo passo foi a classificação, cujo algoritmo escolhido para este trabalho foi a árvore de decisão C4.5 (Quinlan, 1993) que, conforme apontado por Korting (et al., 2010) possibilita, a partir de amostras representativas, identificar (classificar) adequadamente amostras semelhantes (KORTING et al., 2010).

O C4.5 utiliza uma abordagem recursiva de particionamento dos dados, ou seja, identifica o atributo e o ponto de separação deste atributo que melhor separa ou discrimina as classes (NOVACK, 2009).

Árvores de decisão com algoritmo C4.5 vêm sendo muito utilizadas no meio científico por serem capazes de realizar classificações de modo simples, gerando regras de classificação de fácil compreensão.

Sua aplicação no presente trabalho é justificada pelo seu bom desempenho em trabalhos anteriores de Sensoriamento Remoto (NOVACK, 2009; CARVALHO, 2011; VIEIRA, 2012).

6.15 Elaboração da rede hierárquica

O método para elaboração da rede hierárquica seguiu os procedimentos adotados por autores como Antunes (2003), Pinho (2005) e Hofmann et al. (2008) que a partir de ontologias sobre o tema também procuraram a estratégia de classificação obedecendo a uma hierarquia de classes, em que se começa de uma visão genérica da imagem até atingir a especificidade pretendida.

De acordo Antunes (2003) a estruturação hierárquica é realizada por uma relação subordinada ao conhecimento a priori, adquirido nos domínios da imagem e das propriedades que compõem os objetos.

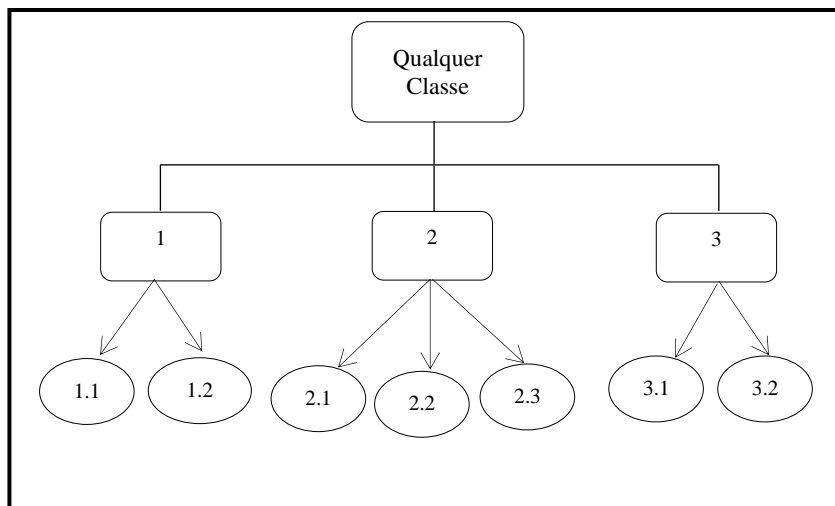


Figura 5 - Modelo de classificação hierárquica de classes.
Fonte: Adaptado de Freitas e Carvalho (2007).

A abordagem baseada em conhecimento tem como objetivo a identificação de objetos que têm uma existência concreta no mundo real e que expressam características de cor, forma, textura, padrão e contexto na imagem analisada (PINHO, 2005).

A partir dessa premissa, as classes de interesse foram agrupadas segundo suas características distintas, em três grandes superclasses (água, vegetação, não vegetação). Em seguida formaram-se subdivisões dessas, em outras classes inferiores, acomodadas em um outro nível; rasteira e não rasteira (vegetação); sombra e não-sombra (não vegetação) e corpo hídrico (água).

Na superclasse água, houve somente uma nova subdivisão alcançando a classe de interesse (corpo hídrico). Nas demais superclasses (vegetação e não-vegetação) novas divisões foram necessárias até obtenção ordenada da discriminação das categorias de interesse.

Antunes (2003) explica que uma vez estabelecida a hierarquia de grupo, essa pode vir a agregar diferentes classes a uma classe superior que possua o mesmo significado semântico, além de permitir a formulação de uma rede semântica, que por sua vez permite descrever relações entre os objetos baseados no contexto.

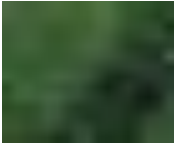

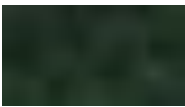
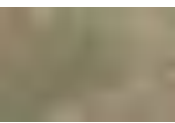
Por sua vez, Pinho (2005) relata que os sistemas baseados em conhecimento são de excelente utilização pelos diversos profissionais existentes na área ambiental, principalmente os que estudam a paisagem como unidade de análise através do Sensoriamento Remoto.



Contudo, a classificação por hierarquia de classes é uma estratégia para análise por interpretação visual que buscou diminuir um pouco da subjetividade do processo.

6.16 Chave de classificação

A seleção e caracterização das classes de interesse foram realizadas com base na interpretação visual da imagem, procurando identificar os principais tipos de cobertura e uso do solo.

A caracterização das classes foi auxiliada pela elaboração de chaves de interpretação. Também conhecida como chave de identificação, serve para organizar todo o material utilizado no reconhecimento dos objetos e na interpretação de seus significados (NOVO, 2010). Nessa chave foram analisados os elementos de interpretação: cor, tamanho, forma e textura. Na Tabela 04, são apresentadas as classes selecionadas e as suas chaves de interpretação:

| Classe | Definição | Amostra | Cor (composição sintética RGB) | Textura | Forma e Tamanho |
|------------------|---|---|--|--------------------------------|--|
| Vegetação Nativa | Correspondem aos fragmentos florestais e matas ciliares primárias ou secundárias em avançado estágio de sucessão. |  | Variações diversas de Verde (predomínio de verde escuro a verde médio-acinzentado) | Intermediária a rugosa | Formas irregulares e tamanhos variados devido à presença de árvores tanto isoladas quanto agrupadas. |
| Área Campestre | Representada pelas áreas cobertas por campos nativos e pasto plantado. |  | Verde (variando de tons próximo a tons médios e claros) | Textura lisa | Formas poligonais quase Retangulares. tamanhos de médio a grande. |
| Área Cultivada | Representada por áreas cultivadas com plantações perenes e anuais. |  | Verde escuro ao extremo próximo ao preto-acinzentado. | Textura pouco rugosa a rugosa. | Forma geométrica quase quadrada. Tamanho médio. |
| Solo Exposto | Parcela de solo preparado para plantio ou já cultivada em estágio inicial de |  | Varia de marrom claro-esverdeado, a marrom claro-médio | Textura lisa | Formas irregulares; tamanhos variando de médio a grande |

| | | | | | |
|---------------|--|---|--|--------------|---|
| | crescimento áreas de pós – colheita e solo exposto. |  | | | |
| Corpo Hídrico | Corresponde os espelho d'água formado por Rio natural. |  | Laranja escuro até próximo de marrom claro (compreendido pelo elevado grau de sedimentação e sólido em suspensão presente nesse Rio) | Textura lisa | Forma regular e curvilínea; tamanho médio a grande. |

Quadro 1 – Chaves de Classificação

Fonte: Adaptada de (IBGE, 2006; PINHO, 2005; BERNANDI, 2007).

6.17 Delimitação de APP na área de estudo

Para o cumprimento dessa etapa seguiu-se a metodologia proposta por Ribeiro et al. (2005) utilizada também por autores como Moreira (2009); Machado (2010) que delimitaram de forma automática as APP's em micro bacias hidrográficas.

Esse procedimento esteve fundamentado nos critérios determinados pela legislação ambiental vigente (Lei 12.651/2012 com modificações da Lei 12.727/2012) a qual trata o conceito de Área de Preservação Permanente (APP) como sendo;

Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Esse mesmo instrumento também dispõe, entre outros princípios, sobre a caracterização e o computo da Área de Preservação Permanente ao longo dos cursos d'água conforme a sua largura, sendo;

- I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de;
- 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
 - 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; (BRASIL, 2012).

Firmado nessas diretrizes, procedeu-se primeiramente a estimativa da largura do Rio Vermelho no trecho que compete à área de estudo. Para tanto se utilizou do *software* TerraView, onde a partir da imagem georreferenciada da área de estudo foi realizada a vetorização manual gerando um polígono acompanhando o leito do rio. Feito isso nas duas margens, foi conhecida a largura do rio nesse trecho, sendo a mesma estimada em 150 metros.

Em seguida, considerando o exigido pela legislação vigente para rios com 50 a 200 metros de largura, gerou-se de forma automática no *software* TerraView 4.2.2 um *Buffer* de 100 metros de largura a partir da linha vetorizada sobre as margens do rio compreendendo aos limites de APP. O polígono resultante foi exportado em formato *KML* e então visualizado, por meio do aplicativo Google Earth, sobreposto na área de estudo a fim de estimar seu posicionamento. O mesmo procedimento foi efetuado, em outro momento, a fim de delimitar também 5 metros de largura a partir da margem do rio.

Cabe salientar que nessa fase buscou-se validar se as condições observadas na imagem condiziam com as condições reais do local e se os critérios adotados na categorização das margens eram realmente satisfatórios. As técnicas utilizadas nos levantamentos de campo incluíram: observações diretas e anotações em caderneta de campo, uso de máquina fotográfica digital com receptor GPS para registro das condições dos locais visitados. Recolhidas ao laboratório, as imagens foram visualizadas no *software* GlobalMapper 12 (Global Mapper, 2010), sendo representadas por meio de pontos de campo com a imagem de campo associada.

É ainda importante reiterar que o Código Florestal vigente atribui novas variáveis para delimitação de APPs em imóveis rurais, incluindo, entre outras a medida de largura a partir do leito regular de curso d' água, representação em módulo fiscal do imóvel rural e área consolidada (data limite de corte, 22 de julho de 2008) passando a serem critérios condicionantes, quanto a estimava para a delimitação da APP à margem de rios. Entretanto, conforme acima descrito, esse trabalho não considerou os novos

parâmetros, enfocando apenas nos critérios da largura do curso d' água, apoiada a partir da margem do rio.

Compreende ainda ao novo Código Florestal a consignação de diferentes metragens de recuperação para APPs, de acordo com o tamanho de propriedade, conforme tabela 5.

Tabela 4 – Recomposição de APP quando existirem áreas de uso consolidado

| Tamanho da propriedade em módulos fiscais | Largura da APP consolidada em cada uma das faixas marginais ao longo do curso d'água * | | Somadas as APPs a exigência de recuperação não deve ultrapassar |
|---|--|--|---|
| | APP de rios menos de 10m | APP de rios de mais de 10m | |
| 0 a 1 | 5m | 5m | 10% |
| 1 a 2 | 8m | 8m | 10% |
| 2 a 4 | 15m | 15m | 20% |
| 4 a 10 | 20m | Metade da largura do curso d'água, observando o mínimo de 30 e o máximo de 100 metros ** | Sem limites |
| acima de 10 | Metade da largura do curso d'água, observando o mínimo de 30 e o máximo de 100 metros ** | | Sem limites |

Fonte: ZAIKA, PINTO (2013)

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse item do trabalho apresenta e discute uma sequência de dados referentes à geração de mosaico de imagens e de modelo digital de elevação, que foram obtidos por meio do conjunto de 90 arquivos de imagens aéreas, fruto da realização de missão com o VANT Tiriba. Além disso, há a análise dos testes de classificação realizados em um arquivo de imagem do lote utilizado na etapa acima descrita.

7.1 Aquisição de imagens e obtenção do mosaico

O registro das imagens aéreas foi realizado conforme a linha paralela de voo, previamente definida durante o planejamento da missão. Seu ordenamento atendeu ao padrão vertical, com recobrimento longitudinal de 60% e entre as faixas de voo de 40%. Nessa condição, as imagens foram capturadas sucessivamente. Formaram agrupamentos proporcionando visada de diferentes posições para um mesmo ponto, que viessem possibilitar a visualização tridimensional das áreas recobertas. Na figura 6 são apresentadas as posições da câmera no momento do registro fotográfico e o respectivo nível de sobreposição atingido.

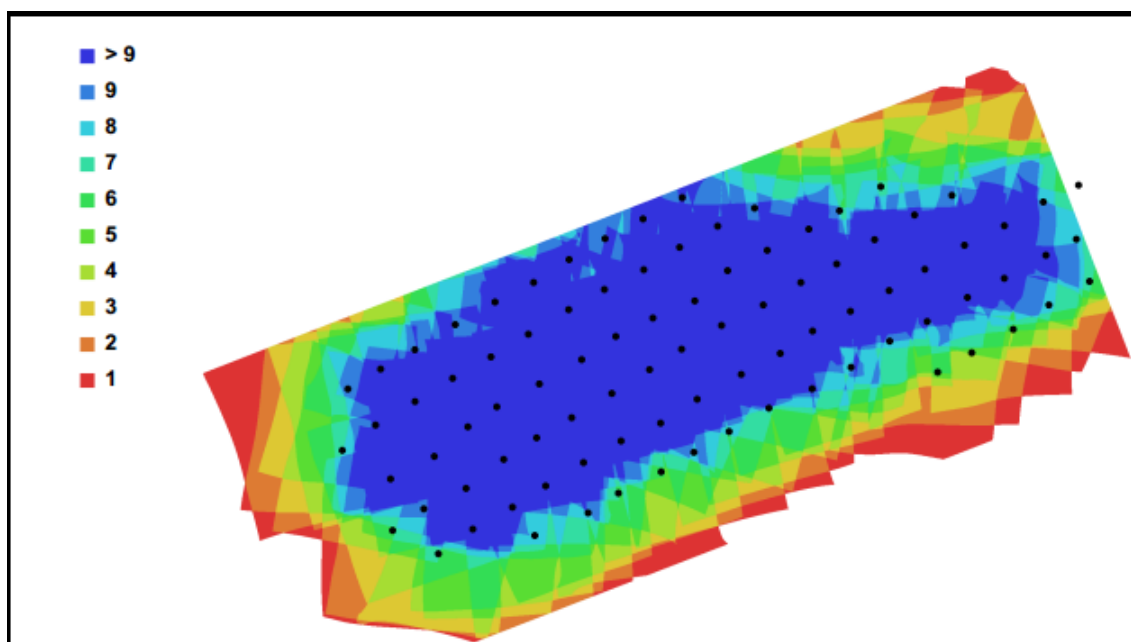


Figura 6- Posição e nível de sobreposição das imagens
Fonte: PhotoScan, (2014); Org.: pelo autor

De acordo com Serra (2014) para obtenção de bons resultados ao final do processo aerofotogramétrico é fundamental garantir alto nível de sobreposição das imagens resultando numa maior consistência na formação da nuvem de pontos (pixels) utilizada na construção do mosaico.

Conforme pode ser visto na Figura 6 o nível de sobreposição se manteve aceitável durante a missão obtendo níveis acima de seis ao longo de todo o processo. Também é possível notar que, há diminuição do nível de sobreposição, no sentido do núcleo (dentro) da área imageada para as suas bordas, efeitos comuns de se esperar, considerando a redução de ajuntamento nas extremidades.

Essa condição deve ser apreciada no momento do planejamento do voo para que toda a área de estudo esteja com um adequado nível de sobreposição e as extremidades possam ser eliminadas, quando necessárias, sem comprometer as informações da área de interesse (FERREIRA et al., 2013).

Na figura 7 é possível visualizar o alinhamento das posições de câmera e suas orientações, sendo indicadas por retângulos azuis. Sua detecção ocorreu automaticamente com aproximadamente 91785 pontos de amarração. Eles buscam veemente apresentar características em comuns capturados nas cenas.

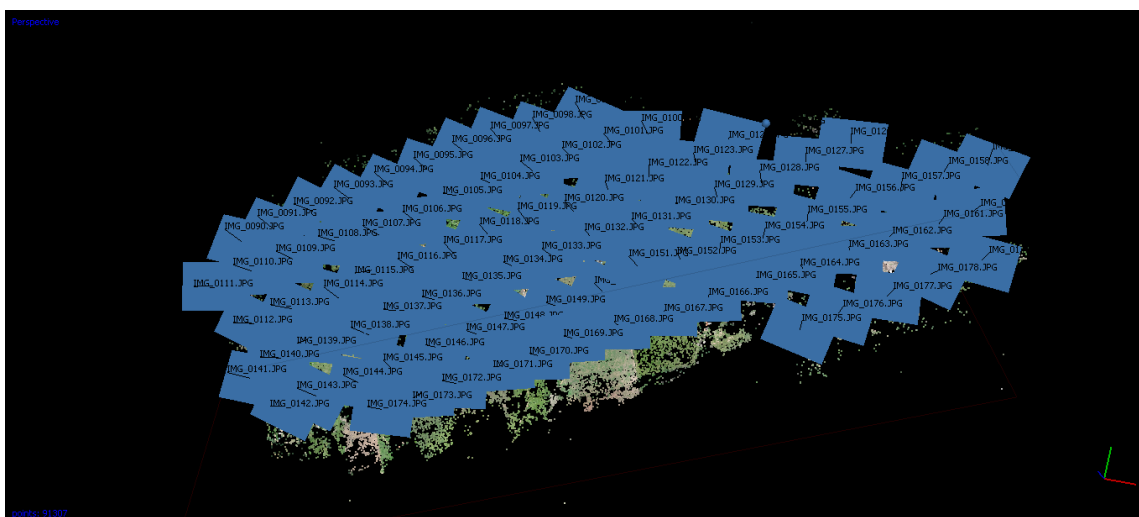


Figura 7- Alinhamento das fotografias aéreas
Fonte: PhotoScan, (2014); Org.: pelo autor

Os pontos de amarração foram estimados de acordo com a posição da câmera, levando a geração de um modelo de nuvem de pontos, correspondentes ao conjunto de imagens sobrepostas e os respectivos parâmetros de calibração das câmeras, conforme exibido (Figura 8).

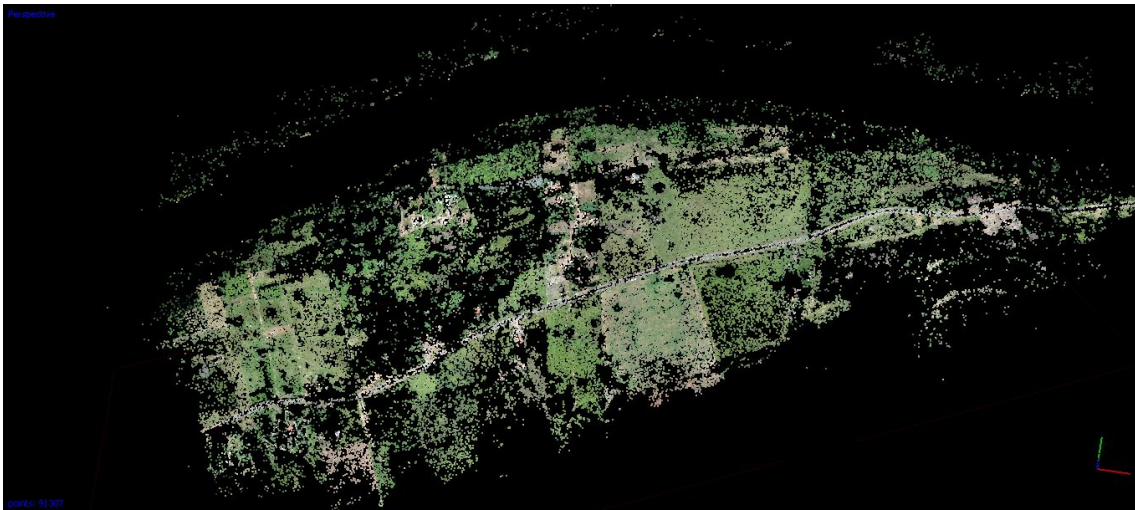


Figura 8- Nuvem de pontos
 Fonte: PhotoScan, (2014); Org.: pelo autor

Nota-se nessa etapa a produção de uma nuvem de pontos esparsa associada a informações adicionais do modelo, como por exemplo, a representação parcial da superfície e cor.

Leonardi (2012) relata que o objetivo principal nesse processo é refinar os parâmetros de orientação das imagens, ou seja, as coordenadas X, Y e Z e os ângulos de atitude *Yaw*, *Pitch*, *Roll*.

Ferreira et al., (2013) que também trabalharam com imagens de alta resolução espacial derivadas de VANT, com a finalidade de extrair mosaico georreferenciado e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial, explica que esses milhares de pontos, em conjunto, formam uma espécie de modelo tridimensional de determinado objeto geográfico contido na imagem.

A otimização desse processo facilita a análise do fotointérprete quanto as avaliações interpretativas das informações espaciais e os arranjos estruturais da superfície (MOREIRA, 2011).

Na texturização, fase concluinte ao procedimento de geração do mosaico, é possível extrair maior visibilidade dos elementos figurados, combinando nuvem de pontos suficientemente densa, com a construção da geometria do modelo, a renderização dos objetos e a sua reconstrução na superfície.

Na figura 9 é possível verificar o mosaico gerado, composto por 90 cenas, com resolução espacial de 10 cm, cobrindo aproximadamente uma área de 2 km². Apesar de fatores climáticos indesejáveis ou mesmo vibração e turbulência excessivas comumente

implicarem instabilidade durante o voo, não foram verificadas distorções que compromettesse demasiadamente a qualidade do mosaico.



Figura 9- Mosaico da região que abrange a área de estudo.
Fonte: PhotoScan, (2014); Org.: pelo autor

O mosaico tem representações objetivas do terreno numa escala bem próxima à superfície e, além de abrigar um registro permanente da real situação da paisagem naquele instante, permite identificar os parcelamentos espaciais existentes com detalhamento orientado de objetos geográficos de interesse da pesquisa.

É possível notar faixas escuras diminutas em algumas faces do agrupamento, principalmente posicionadas nas bordas do mosaico. Essas desfavorecem ainda que de forma parcial, a nitidez ou mesmo a interpretação de elementos na imagem.

Nesse caso, um dos fatores que pode ter relação com tais irregularidades tem inferência nos resultados encontrados no estudo de Ferreira et al., (2013) destacando que, quanto mais elevado for a porcentagem de sobreposição entre as imagens, maior será o número de pontos de amarração por cena, o que respectivamente favorecerá a obtenção de mosaicos com menos risco de deformações.

Houve baixo nível de sobreposição nos limites da área imageada. E ao funcionar como aporte a produção do mosaico, essa condição pode ter contribuído a má-formação, bem como a opacidade caracterizada em sua borda.

Luz (2015) trabalhou com a avaliação de ortofoto obtida por meio de veículos aéreos não tripulados, e explica que bruscas variações atmosféricas afastam a verticalidade da câmera no instante de tomada das imagens aéreas, além de provocar variações significativas nos recobrimentos entre faixas de voo. Em alguns casos,

relatado pelo autor, há necessidade de aplicar levantamentos aéreos com faixa de recobrimento lateral bem acima do usualmente adotado para a aerofotogrametria convencional, como atitude preditiva a má-formação de imagens nessas operações.

Em contrapartida, é importante salientar que o número excessivo de imagens sobrepostas faz com que, o seu processamento, demande grande espaço para armazenamento dos dados, bem como potentes ferramentas computacionais de processamento. Dessa forma, é importante avaliar a sua viabilidade, considerando a relação, de precisão e custos adicionais (LUZ, 2015).

É conhecido, que o georreferenciamento do mosaico por meio de pontos de controle implantados no terreno, com qualidade centimétrica, também possibilitariam melhores resultados do que quando o georreferenciamento é realizado somente pelas coordenadas determinadas no momento do voo (BOEING et al., 2014).

No entanto, essa rotina exige o deslocamento até a área, de pessoal qualificado para a coleta de dados de campo, receptores GNSS, acessórios e softwares específicos. Toda essa infraestrutura, obviamente, eleva as despesas para a cobertura aerofotogramétrica da área (BOEING et al., 2014).

Cabe então ressaltar que nesse estudo não foram adotados técnicas de georreferenciamento das cenas por meio da distribuição de pontos de controle em solo. Utilizou-se como base o georreferenciamento automático através das coordenadas fornecidas pelo GPS acoplado ao VANT. O que não desmerece a metodologia empregada, mas pelo contrário, a torna ainda mais valiosa, no sentido de promover atestado quanto à viabilidade desse modelo de mapeamento sem os pontos de controle de campo, o que condicionaria ainda mais versatilidade e praticidade a utilização dessa ferramenta (VANT) em diversas outras aplicações similares. Esse ponto de vista está fundamentado nas exigências do Cadastro Ambiental Rural, que estabelece que os limites das propriedades rurais podem ser obtidos por meio de receptor GPS convencional, ou mesmo de forma indireta, a partir das imagens disponibilizadas pelo Google Earth.

A figura 10 exibe o Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico alcançado. A elevação tem seu pico máximo e sua mínima respectivamente em 264.271 e 178.76 metros. O modelo possui densidade de 2.80 pontos/m² e resolução de 0.60 m/pix, aspecto significativo a ser levado em conta, principalmente em análise que exige alto nível de detalhamento.

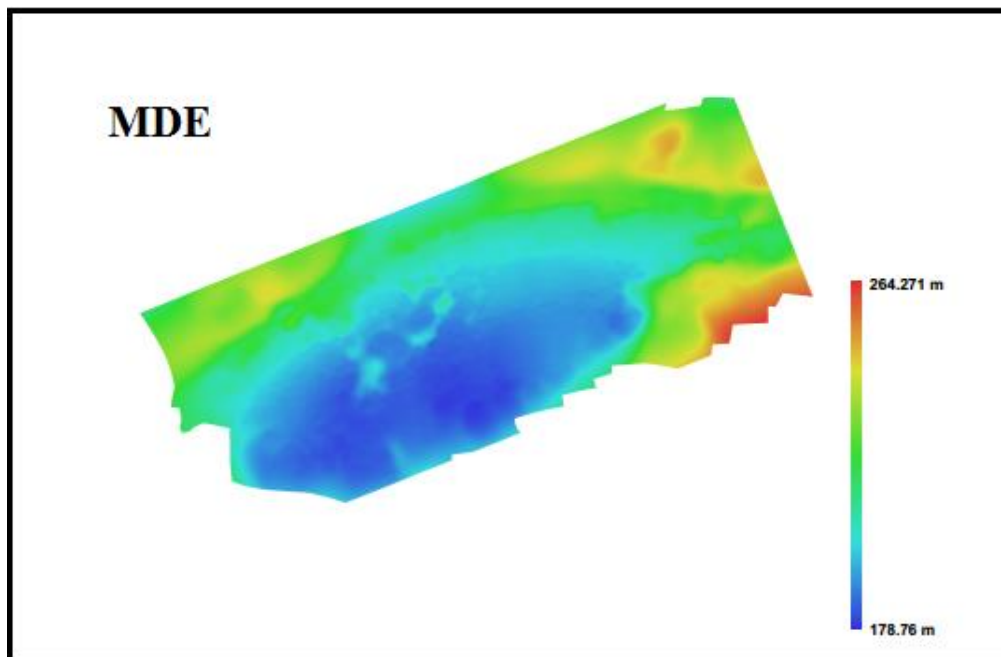


Figura 10 – Modelo digital de elevação gerado
Fonte: PhotoScan, (2014); Org.: pelo autor

Roberto (2013) também desenvolveu estudos analisando as potencialidades das imagens obtidas por veículos aéreos não tripulados, tendo como objetivo a sua utilização em projetos de SIG para as administrações municipais. Obteve como produtos ortofotos e seus respectivos MDE. E ao final dos estudos, destacou a competência do sistema VANT em trabalhos cartográficos, caracterizado pela utilização em pequenas áreas, capazes de representar como uma solução ideal para dar respostas as necessidades inerentes a produção de cartografia atualizada.

Boeing et al. (2014) destacam que o mosaico gerado a partir da tecnologia VANT permitem a extração de diversas informações e dados geospaciais, como exemplo; o MDE, o MDS (Modelo Digital de Superfície), o MDT (Modelo Digital do Terreno) e a determinação de curvas de nível.

Esses modelos são mencionados por Candido et al., (2014) como recursos valiosos, por onde, é possível evidenciar desde pequenas feições presentes na superfície como rugosidade do terreno, à cobertura vegetal que compõe a paisagem.

Assim, tendo em vista os resultados expressos, bem como os trabalhos referenciados, a técnica empregada e seus produtos resultantes revelam a condição de maior praticidade quando comparado com a topografia clássica para a geração dos mesmos produtos, onde seria necessário um nivelamento geométrico árduo, o qual demandaria tempo, elevaria despesa, além de um maior número de pessoas envolvidas.

Entre outros aspectos, sustentam atributos que facilitaram o diagnóstico preliminar da região que abrange a área de estudo, a um nível de detalhamento refinado, favorecendo a caracterização do uso e cobertura do solo no terreno, o que pode viabilizar o planejamento estratégico da recomposição e monitoramento das mesmas.

7.2 Validação das classificações em imagens aéreas

O mapa temático obtido pela fotointerpretação da imagem atingiu coeficiente de Kappa 0,92, atingindo grau de performance excelente, conforme interpretação proposta por Fonseca (2000), o que representa adequada discriminação das feições de interesse contidas na cena, retratando fidedignamente a realidade encontrada no terreno, aspecto condicionante e que favoreceu a sua utilização como imagem de referência para os demais tratamentos.

Considerando as classificações automáticas realizadas pelas técnicas: pixel a pixel (supervisionada e não supervisionada), por região e OBIA, a que apresentou melhor resultado, discernindo apropriadamente os padrões heterogêneos dos objetos da imagem e se assemelhando estatisticamente ao tratamento por fotointerpretação e vistoria em campo, foi à classificação OBIA, Kappa 0,78 e Exatidão Global 82,63%, ajustada com os valores de 30 para Distância Euclidiana e 500 para área mínima, sendo aplicado o algoritmo *region growing*.

Tabela 5 - Valores de Exatidão Global e do índice Kappa para classificações realizadas.

| CLASSIFICAÇÃO | ALGORITMO | EXATIDÃO GLOBAL | ÍNDICE DE KAPPA | INTERPRETAÇÃO ÍNDICE KAPPA (Fonseca, 2000) |
|------------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|--|
| FOTOINTERPRETAÇÃO | ————— | 93,60 % | 0,92 | Excelente |
| OBIA | <i>Region Growing</i> | 82,63 % | 0,78 | Muito Boa |
| REGIÃO | Agrupamento por Região | 81,44 % | 0,76 | Muito Boa |
| PIXEL A PIXEL (SUPERVISIONADA) | Distancia Euclidiana | 65,24 % | 0,56 | Boa |
| PIXEL A PIXEL (NÃO SUPERVISIONADA) | <i>K-Means</i> | 46,78 % | 0,33 | Razoável |

As avaliações por essas técnicas estatísticas também revelaram um satisfatório desempenho para a classificação por região. Considerando que os seus índices de Exatidão Global e Kappa respectivamente 81,44% e 0,76, estiveram muito próximo da classificação orientada a objeto (82,63% e 0,78), que por vista, foi quem melhor identificou as diferentes classes temáticas.

No tratamento por OBIA os maiores números de confusões, entre as feições de interesse, estiveram associados à inclusão de pixels à classe área campestre no interior da classe vegetação nativa. Por outro lado, no tratamento por região esses erros foram representativos entre as classes vegetação nativa e corpo hídrico. Ainda assim, ambas as classificações correspondem à avaliação de qualidade muito boa (FONSECA, 2000).

Fato apontado por trabalhos como o de Antunes (2003) que, tendo como base princípios de segmentação orientada a objeto buscou traçar uma metodologia capaz de classificar as tipologias vegetais do ambiente ciliar de uma imagem multiespectral de alta resolução. Esse autor conclui que a classificação baseada em objetos oriundos de multi-resolução, mostrou-se superior a métodos paramétricos ao nível de pixel, em termos de discriminação de tipologias vegetais do ambiente ciliar.

Por sua vez, Leonardi et al. (2009) obtiveram resultados semelhantes, quando avaliaram comparativamente o potencial da técnica de análise orientada a objeto em

relação a técnica tradicional supervisionada por regiões para a classificação de imagens orbitais de alta resolução espacial. Os resultados obtidos indicaram que OBIA produziu um mapa de cobertura do solo intra-urbano com melhor exatidão temática (0,71 índice de Kappa) para a área de estudo.

Por outro lado, de acordo com o revelado pela tabela 5 os resultados mais insatisfatórios estão associados às classificações pela técnica em nível de pixel. E nesse caso, tem que se destacar o fraco desempenho da análise não supervisionada (pixel a pixel), revelando imprecisa capacidade de discriminação de feições na paisagem (Exatidão global 46,78% e Kappa 0,33), considerando a utilização de imagens de alta resolução espacial.

Os classificadores convencionais que se utilizam apenas as informações espectrais isoladamente, têm sido apontados por diversos trabalhos na literatura como menos adequados, para a distinção de diferentes alvos sobre uma imagem de alta resolução espacial (ANTUNES, 2003; PINHO, 2005; BERNARDI et al., 2007; ROVEDDER, 2007; CÂNDIDO, 2012).

A esse fato Antunes (2003) elucida que a otimização da extração de informação em imagem de alta resolução requer análises que transcendem o nível de pixel. E, que a classificação baseada ao nível de pixel, não permite fazer o amplo uso das potencialidades espectral e espacial.

Os resultados aqui expressos pela validação temática coincidem com os estudos anteriormente realizados. Evidenciando que, em relação ao processo de discriminação de padrões nas imagens, além da informação associada às propriedades espectrais, outros parâmetros devem ser considerados na extração de informações, como: textura, cor, forma, localização e conceitos de vizinhança.

É importante salientar ainda que, por conveniência, rotinas pós-classificatórias acabam sendo comumente empregadas em análises não supervisionadas (pixel a pixel), (como por exemplo, a edição de vetores) uma vez que pode melhorar a qualidade temática de uma imagem classificada. Porém, tendo por pretensões identificar uma rotina de classificação relativamente simples, ágil e mais automatizada possível, na presente pesquisa, evitou-se essa demanda de esforço adicional pós-classificatória.

7.3 Classificação por fotointerpretação

A figura 11 (A) apresenta cena da imagem 090, e a figura 11 (B) sua respectiva imagem vetorizada produzida por interpretação visual, onde as diferentes feições da paisagem foram discriminadas em cinco classes; vegetação nativa, corpo hídrico, área com solo exposto, área cultivada, área campestre. A linha vermelha corresponde à faixa de 100 metros, criada por *buffer*, a partir da margem direita do rio, a fim de delimitar a APP na área de estudo.

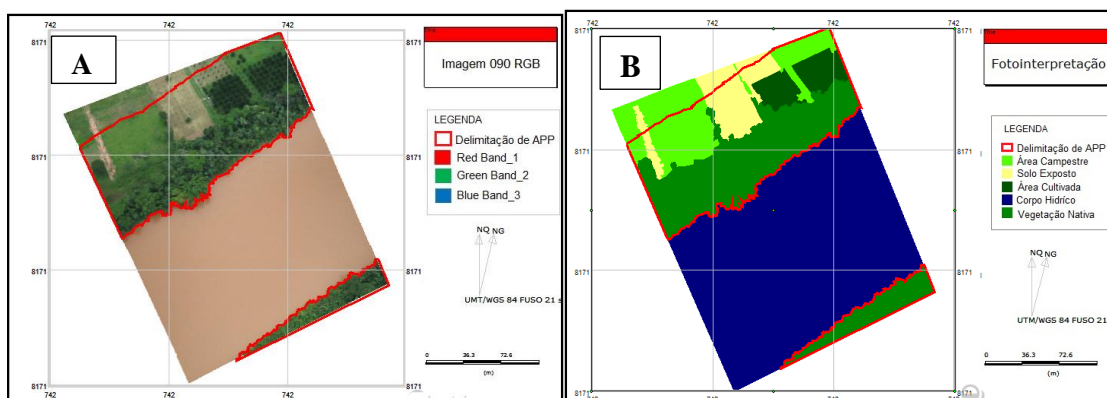


Figura 11 - Fotografia aérea img_090 sem tratamento (A) e imagem gerada a partir da fotointerpretação da img_090 (B).

Polígonos foram gerados sobre as feições da paisagem representada na cena, demarcando as suas extensões e definindo o mapeamento de toda área (Figura 11 B). Num segundo momento a imagem resultante foi confrontada com a realidade de campo, por meio de visita *in loco*. Essa técnica requer acuidade visual e tem sido amplamente utilizada nos estudos que envolvem avaliação dos recursos naturais. Apesar de a execução ser considerada relativamente lenta, tende a ser precisa e eficaz (REGO, 2008).

A qualidade resolutiva da imagem utilizada para a interpretação contribui para um apontamento mais fidedigno, claro e rápido aos aspectos da vegetação e demais elementos representados na cena, possibilitando estimar, com relativa acurácia, medidas de extensões e limites.

Longhitano (2010) realizou estudos utilizando VANT, para fins de monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas, e também fez uso da classificação obtida por meio de fotointerpretação, para então comparar com as classificações automáticas.

De forma similar, Cândido (2012) utilizou-se da imagem classificada por fotointerpretação, a fim de confrontar semelhanças, com as demais classificações automáticas. Conforme a mesma autora, esse é um procedimento padrão, em termos de uma análise mais objetiva dos resultados de cada tratamento, comumente adotado em fotografias aéreas de alta resolução espacial.

Submetida a validação estatística de classificação, o mapeamento temático gerado por interpretação visual apresentou resultados satisfatórios. Com índice de Exatidão Global e análise de Kappa respectivamente de 93,60 e 0,92. Incluindo avaliação de qualidade excelente, conforme critérios da tabela de desempenho para análise de Kappa (FONSECA, 2000). Assim, constituindo se em base adequada, a ser utilizada em comparativo com os demais tratamentos resultantes das classificações automáticas.

Entre os principais aspectos que valorizam o procedimento adotado, a partir de imagem de alta resolução, pode-se incluir a capacidade de visualizar com maior nitidez os objetos e sua proporção, e não apenas símbolos como muitas vezes vistos em mapas restituídos ou imagens com resoluções espaciais mais inferiores. Ademais, um número menor de visitas “in loco” também é conseguido, o que pode favorecer a redução de custos e demanda de pessoal envolvido.

Cabe ainda salientar a importância do reconhecimento de padrões homogêneos de objetos na imagem por meio da representação hierárquica das classes (Figura 12) e a chave de interpretação, permitindo uma análise explícita da estrutura contextual dos elementos da cena, começando pela generalização (vegetação, não vegetação e água) da categoria, até alcançar segmentos mais específicos e seguros dos cinco alvos (vegetação nativa, corpo hídrico, área com solo exposto, área cultivada, área campestre). Os alvos foram visualizados em um modelo de diferentes níveis hierárquicos, onde o relacionamento de hereditariedade entre as classes é representado por setas.

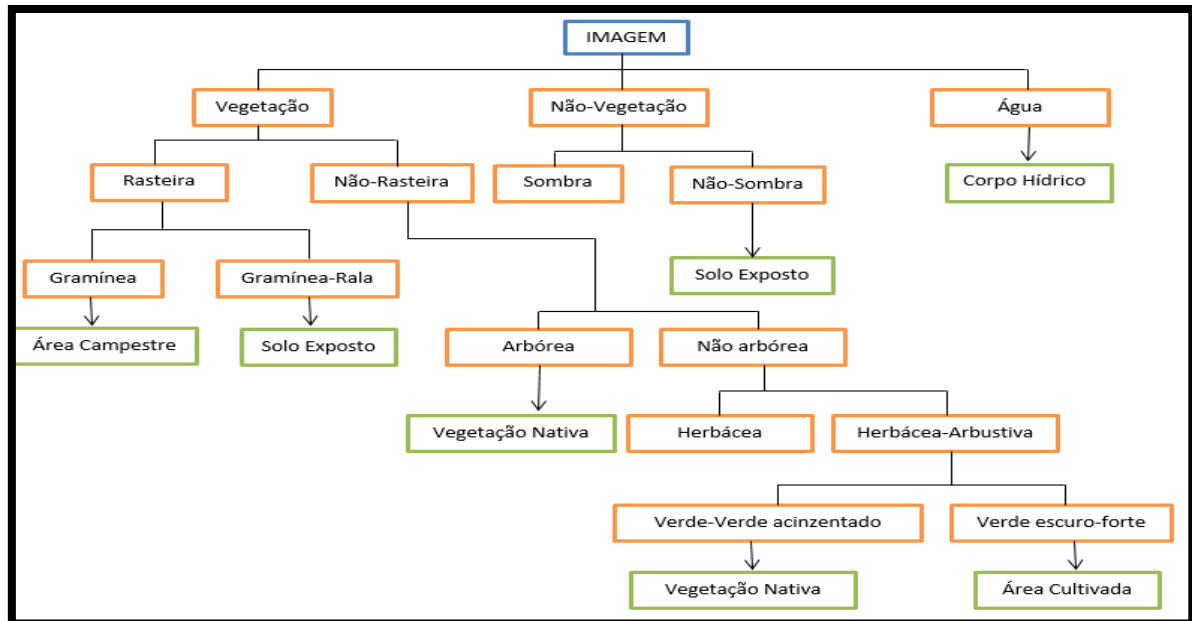


Figura12 - Estrutura hierarquia de classes

7.3 Testes de Classificação automática pixel a pixel

A figura 13 (B) retrata imagem resultante da classificação automática não supervisionada pixel a pixel, onde tentou-se discriminar as cinco classes de interesse (vegetação nativa, área campestre, área cultivada, área com solo exposto e corpo hídrico). Os temas de interesse não foram adequadamente discriminados. E conforme pode ser observado, por apresentar respostas espectrais consideravelmente similares, não houve distinção entre os padrões da classe área campestre e vegetação nativa.

Já a classe área cultivada representou, em partes, as equivalentes áreas, mas também se propagou deliberadamente por quase toda vegetação nativa. Confusões entre pixels também podem ser verificados entre a classe solo exposto e corpo hídrico. Ademais pequenos e escuros pontos espaçados nas extensões da vegetação nativa e área cultivada foram categorizados como sombra.

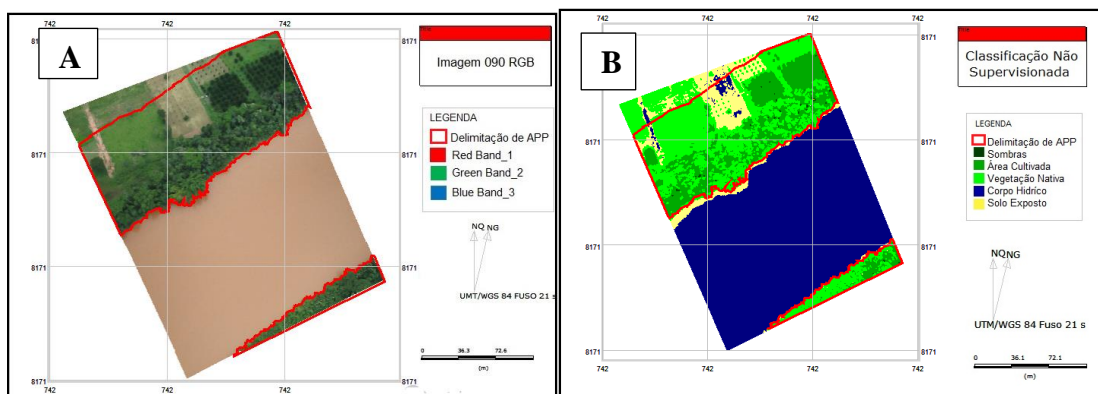


Figura 13 - Imagem aérea 090 sem tratamento (A) resultado do teste de classificação automática supervisionada pixel a pixel (B)

Confrontando as imagens da figura 14 é possível observar confusões entre os pixels ao tentar reconhecer padrões das classes de interesse considerando apenas a característica espectral para os pixels. Como produto resultante, um mapa temático pouco correspondente com a realidade de campo.

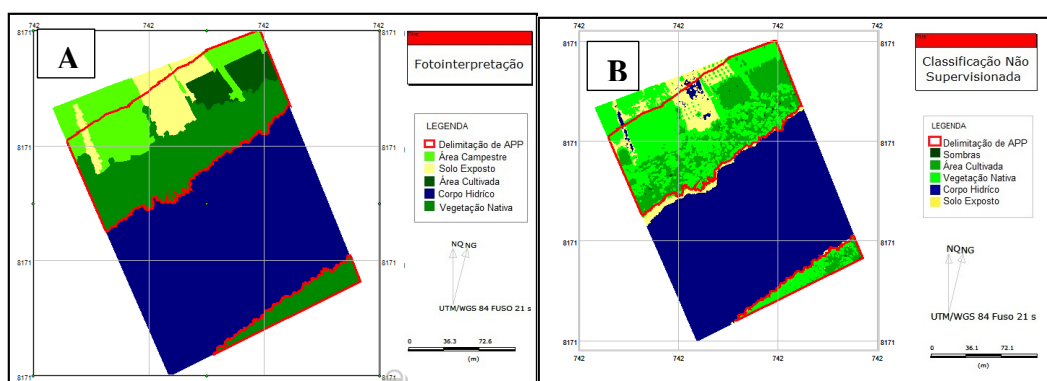


Figura 14 - Imagem gerada por fotointerpretação (A) resultado do teste de classificação automática supervisionada pixel a pixel (B)

Pinho (2005) relata que as técnicas tradicionais de classificação em nível de pixel tornam-se bastante limitadas em análises que envolvem imagens de alta resolução espacial, uma vez que, o classificador baseia-se apenas nos atributos espectrais de pixels individuais, objetos com respostas espectrais muito próximas costumam ser indesejavelmente confundidos.

A figura 15 (B) representa o resultado obtido pela classificação com treinamento supervisionado. Entre os algoritmos testados (Distancia Euclidiana, Mahalanobis e Maxver) o método de classificação por Distancia Euclidiana foi o qual apresentou os melhores resultados, atestado de qualidade considerada boa (índice kappa 0,56 e 65,24% Exatidão Global) na caracterização das áreas de interesse.

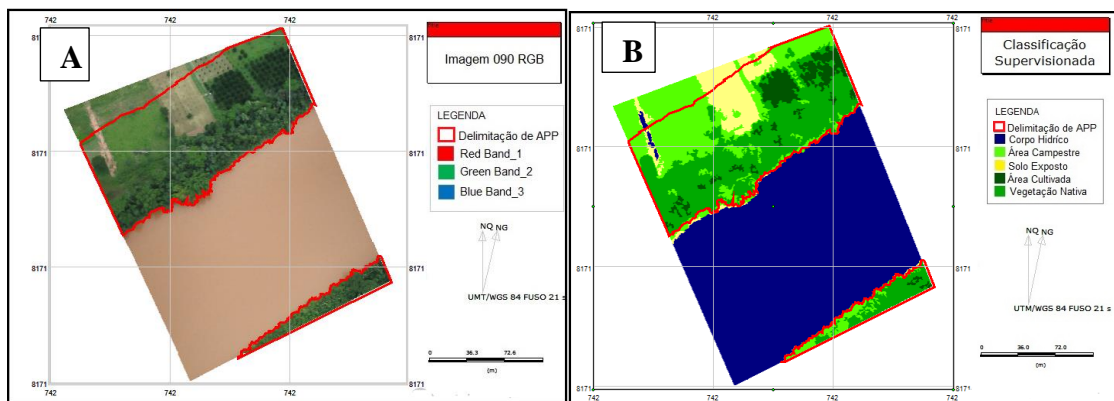


Figura 15 – Imagem aérea 090 sem tratamento (A) resultado de classificação automática de pixel a pixel (B)

No entanto, conforme pode ser observado ao se comparar com a imagem obtida por fotointerpretação (Figura 16, A), houve ainda relativa dificuldade em distinguir padrões homogêneos incluindo assinaturas espectrais similares dos alvos, como por exemplo, entre solo exposto e corpo hídrico.

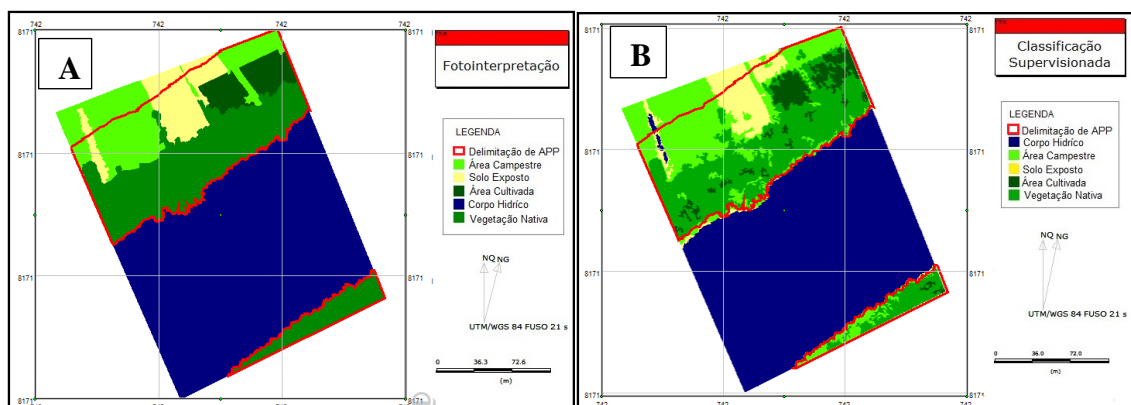


Figura 16 – Imagem gerada por fotointerpretação(A) resultado de classificação automática de pixel a pixel (B)

Essa situação também é evidenciada nos temas área campestre e área cultivada que aparecem dentro dos limites da vegetação nativa. Por outro lado, mesmo estabelecendo numerosas amostras para treinamentos, a classe corpo hídrico continuou englobando partes pertencentes ao tema solo exposto.

Bernardi (2007) utilizou-se de imagem de satélite (*Quickbird*) tomada por sensor de alta resolução espacial para realizar a caracterização física e a estratificação ambiental de matas ciliares e também obteve confusões de pixels ao discriminar classes como as áreas de mata nativa e áreas agrícolas como também nas áreas de solo exposto e pastagem, o qual, segundo o autor é explicado pelo alto grau de similaridade em

relação à reflectância dos objetos e heterogeneidade dos espaços dentro da área empregada.

Em virtude da grande variabilidade interna das classes, os tradicionais classificadores (pixel a pixel) apresentam uma eficiência reduzida em imagens de resolução espacial muito alta (ANTUNES, 2003; PINHO, 2005; BERNARDI, 2007).

Ambas as classificações automáticas pixel a pixel realizadas mostraram-se limitadas quanto à demarcação homogênea das classes geradas. No entanto, as confusões na classificação não supervisionada foram acentuadamente maiores. Condição confirmada pelo resultado alcançado no índice Kappa avaliação de desempenho Razoável (0,33) e pelo dendograma apresentado (Figura 21).

7.4 Teste de Classificação automática por Região

O resultado da classificação automática não supervisionada por Região é exibido na figura 17 (B). O algoritmo utilizado foi o agrupamento por regiões e diversos valores foram testados como medidas para distância euclidiana e área mínima até encontrar a segmentação ideal que delimitasse satisfatoriamente as feições dos objetos no terreno. O agrupamento por região que melhor definiu as classes de interesse teve como parâmetros os valores 30 (Distancia Euclidiana) e 7500 (área mínima).

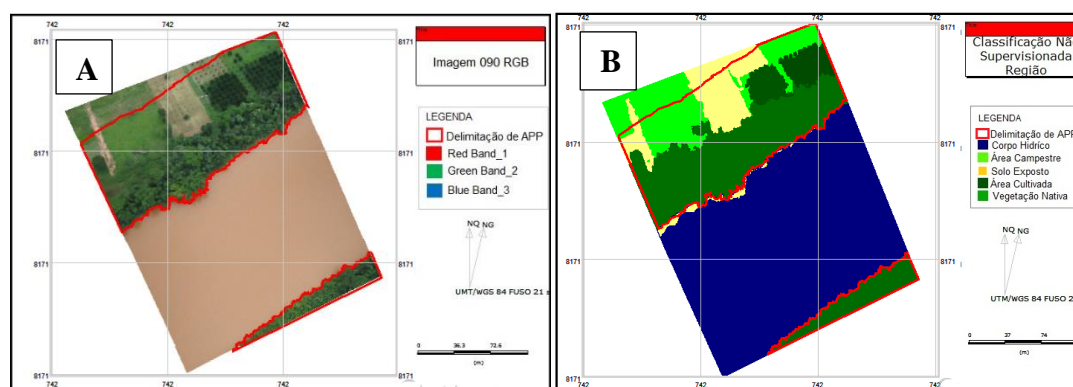


Figura 17 – Imagem aérea 090 sem tratamento (A) resultado da classificação por região (B)

As maiores disparidades desse tratamento com a realidade de campo têm relação com a classe solo exposto, que indevidamente foi incorporada na extensão temática corpo hídrico. Essas características refletem a dificuldade em se distinguir padrões homogêneos de alvos na imagem quando esses apresentam comportamento espectral parecido. Por outro lado, os demais temas aparecem bem representados com poucas

inserções em áreas adjacentes. Quando comparada com a classificação de referência, esse tratamento obteve resultados bastante relevantes, conforme pode ser verificado pelos índices alcançados na Exatidão Global e índice de Kappa (tabela 5). Com efeito, também atingiu uma avaliação de desempenho considerada como muito boa, (FONSECA, 2000).

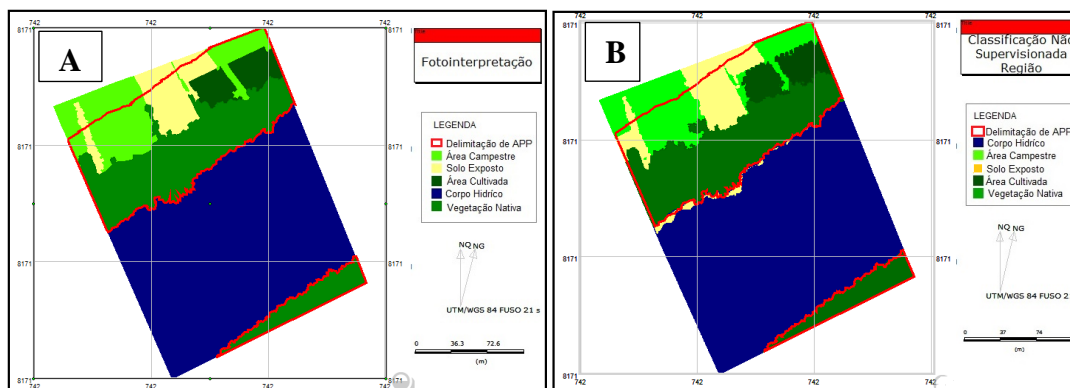


Figura 18 – Imagem gerada por fotointerpretação (A) resultado da classificação por região (B)

Candido (2012) realizou alguns testes de classificação em imagens aéreas de escala grande, a fim de obter mapeamento de uso do solo e encontrou resultados mais satisfatórios na classificação por região, do que em tratamentos pixel a pixel.

A otimização da extração de informação em imagem de alta resolução requer análises que transcendem o nível de pixel, uma vez que essa técnica não permite fazer o amplo uso das potencialidades espectrais e espaciais (ANTUNES, 2003).

A distinção de objetos diminutos uniformemente ligados foi favorecida pelo uso de classificador agrupamento por regiões que inclui, entre outros atributos, as correlações espaciais dos objetos.

Esse modelo classificador procura se aproximar das principais funções cognitivas humanas para o reconhecimento de padrões homogêneos na imagem, tornam-se mais eficiente que classificadores tradicionais (PINHO, 2005; CAVASSIM JUNIOR e CETENO, 2003).

É importante salientar que os parâmetros definidos para o que se considera, como uma boa segmentação, não são padronizados, variando de acordo com que se pretende alcançar, em termos de extração de atributos condizentes a objetos na imagem (ANTUNES, 2003; PINHO, 2005). Excessivos testes foram empreendidos visando ordenar os parâmetros (Distância Euclidiana e área mínima) satisfatoriamente. Verificou-se que os processos que envolveram índices de Distância Euclidiana e área

mínima abaixo da correlação 30 e 7500 geraram excessivos polígonos, que não circunscreviam adequadamente as classes de relevância, estando muitas vezes inseridos em áreas indesejáveis. Por outro lado, valores diferenciados acabam superestimando ou subestimando as extensões das áreas de interesse.

7.5 Teste de Classificação automática OBIA

Para classificação da imagem orientada a objeto foi utilizado o algoritmo de *Region Growing* na segmentação. Após diversas variações testadas para os parâmetros (distância euclidiana e área mínima), julgou-se como melhor resultado os valores 10 e 500 respectivamente. As cinco classes foram bem demarcadas, incluindo a produção de categorias fartamente homogêneas. Houve confusão entre área campestre, conforme pode ser observado na figura 19.

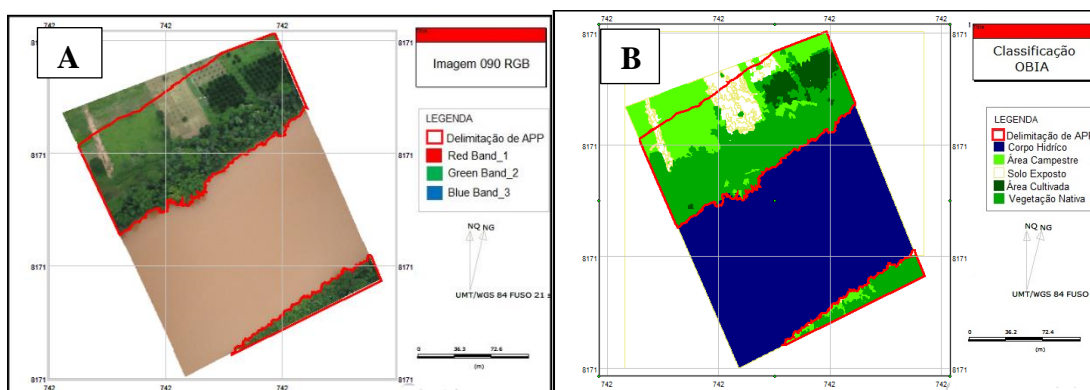


Figura 19 – Imagem aérea sem tratamento (A) resultado de classificação OBIA (B)

O produto final, em termos comparativos com a imagem produzida por fotointerpretação e a classificação orientada a objeto demonstra, por exame visual, relativa similaridade. Isso também pode ser comprovado pela avaliação do coeficiente de Kappa (0,78), em conformidade aos resultados obtidos no dendograma (Figura 21) e Exatidão Global (82, 63%).

Leonardi et al. (2009) avaliaram comparativamente uma classificação supervisionada por regiões e outra OBIA para imagens de alta resolução espacial e obtiveram, para a classificação mais convencional, índice Kappa de 0,54, enquanto que para a classificação baseada em objeto, o coeficiente de Kappa alcançou 0,71.

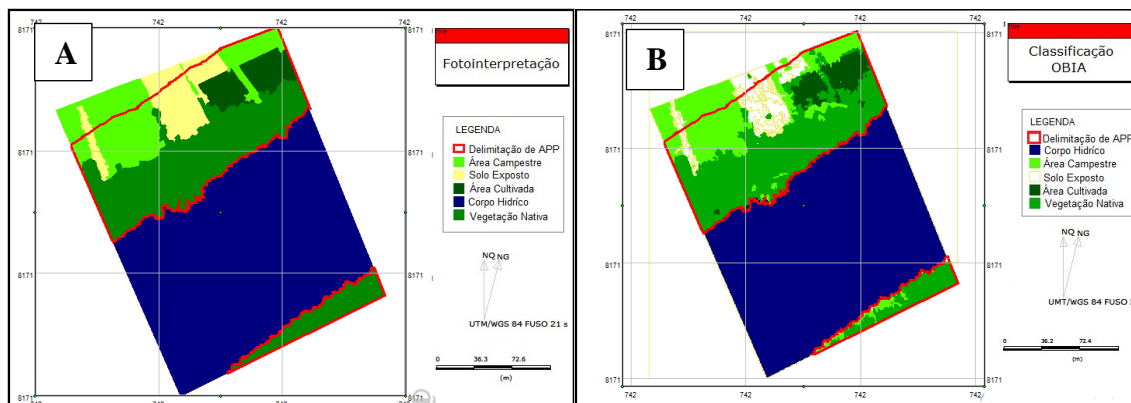


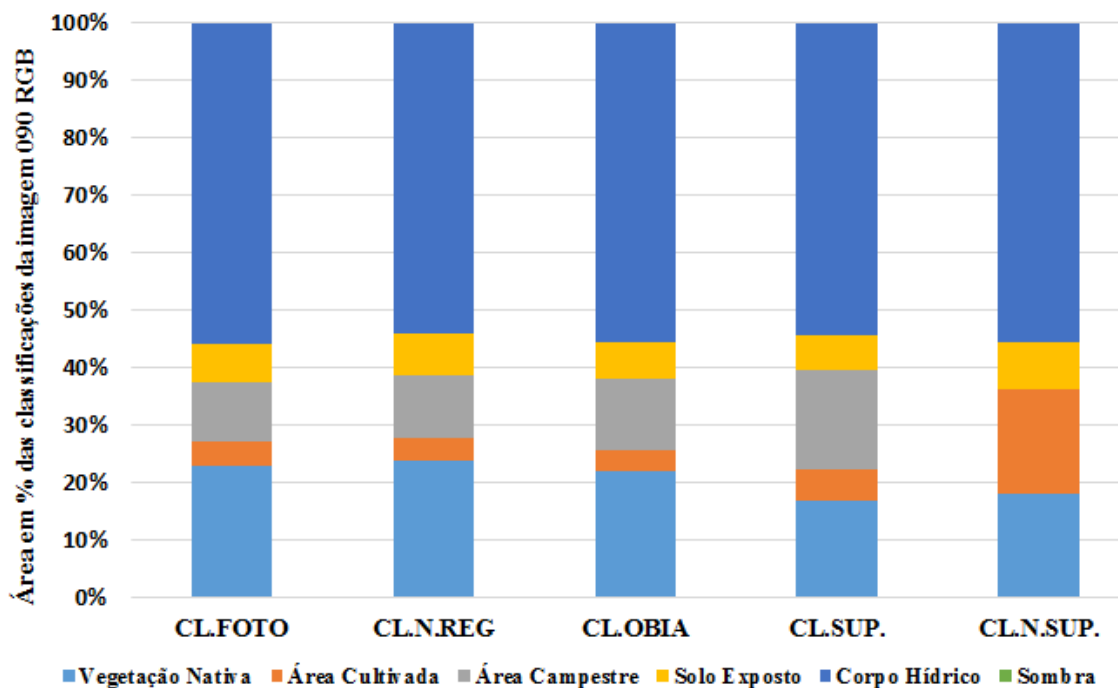
Figura 20 – Imagem gerada por fotointerpretação (A) resultado de classificação OBIA (B)

A virtude de OBIA está no fato de os objetos fornecerem uma base de dados ampla para a classificação, pois como representam a um agrupamento de pixels contíguos, é possível estimar, para cada objeto, além de parâmetros estatísticos, outros coeficientes relacionados às suas propriedades (PINHO, 2005; LEONARDI, 2009).

Esse modelo classificador permite extrair vários tipos de atributos (tamanho, forma, textura e cor) que caracterizam melhor os objetos, tornando mais eficiente o processo de análise da imagem (KORTING, 2012).

A partir das avaliações realizadas nesse trabalho, verificou-se que o tratamento com a abordagem orientada ao objeto, apesar de algumas classes terem apresentado pixels isolados, apresentou resultado mais satisfatório, bem como nos valores do índice Kappa e Exatidão Global quando comparados às abordagens convencionais (pixel a pixel e região).

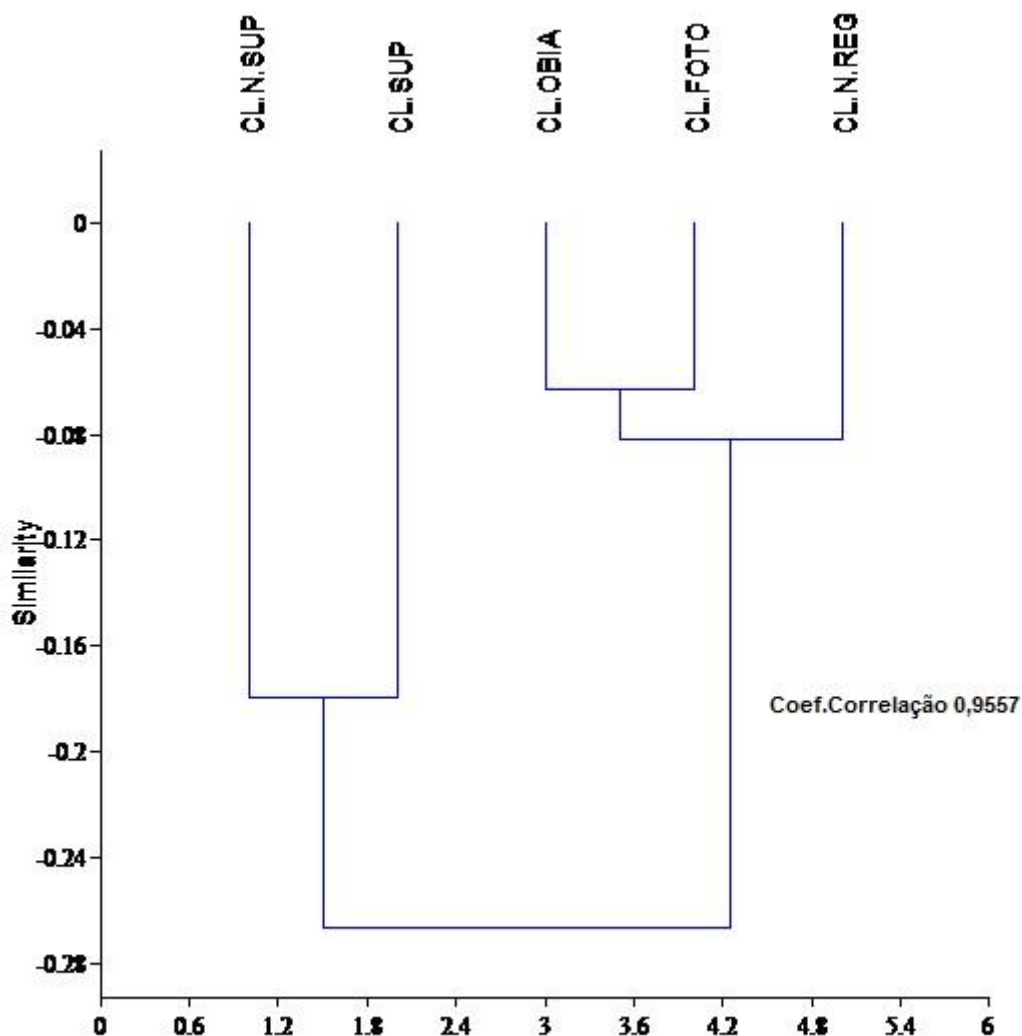
A comparação visual (Figura 21) entre o quantitativo de área mapeada de cada tema, gerado por classificação automática, com o quantitativo obtido pela classificação por fotointerpretação, permitiu verificar maior semelhança nos produtos gerados pela fotointerpretação e classificação de OBIA. Em virtude do intervalo de percentagem variar entre 10%, a categoria sombra na classificação automática não supervisionada (pixel a pixel) apesar de ter sido inserida para essa representação, por apresentar valor bastante inferior (0,01 ha) quando comparado às demais categorias, não ficou visivelmente perceptível, conforme pode ser verificado abaixo.



Legenda: CL.FOTO = Classificação por fotointerpretação, CL.N.REG = Classificação não supervisionada por região, C.L.OBIA = Classificação OBIA, CL.SUP. = Classificação supervisionada pixel a pixel, CL.N.SUP. = Classificação não supervisionada pixel a pixel.

Figura 21 - Comparação entre as áreas delimitadas, expressas em porcentagem, das classes de uso de solo, das classificações automáticas com a classificação por fotointerpretação.

Considerando que as imagens foram classificadas baseadas em diferentes técnicas de análises, também foi avaliado o grau de afinidade entre seus produtos finais. O resultado do dendograma (Figura 22) revela que a classificação automática que apresenta maior grau de concordância com a imagem gerada por fotointerpretação foi a classificação de OBIA.



Legenda: CL.FOTO = Classificação por fotointerpretação CL.N.REG = Classificação não supervisionada por região C.L.OBIA = Classificação OBIA CL.SUP. = Classificação supervisionada pixel a pixel CL.N.SUP. = Classificação não supervisionada pixel a pixel.

Figura 22 – Dendograma mostrando a similaridade entre os produtos obtidos pelos diversos testes de classificação aplicados.

Os resultados derivados por meio da classificação por região, e principalmente OBIA, fornece relativa agilidade para viabilizar soluções estratégicas em atividades que buscam a sustentabilidade de ambientes naturais, como por exemplo a detecção e caracterização de ambientes degradados ou alterados, incluindo apoio sobressaliente aos planos de recuperação de áreas degradadas ou alteradas (PRADA), que atualmente, em âmbito regional, representa recurso indispensável para a regularização de propriedades rurais.

7.6 Aplicação no contexto da metodologia do PRAD

Frequentemente, os problemas relacionados às intervenções antrópicas no meio ambiente tem sido causa de amplo debate, sobretudo buscando o aperfeiçoamento dos planos de gestão existentes ou mesmo criando novos planos que envolvam uso adequado dos recursos naturais e viabilizem técnicas para a conservação e recuperação de áreas degradadas ou alteradas.

Amparadas por inovações computacionais, as técnicas aerofotogramétricas aplicadas com o uso de VANT e integradas em ambiente SIG são apontadas como alternativa a gestores que costumam adotar estratégias na tomada de decisão, seja para avaliar o atual cenário das paisagens naturais remanescentes, ou mesmo monitorar suas modificações (CANDIDO, 2012; ROBERTO, 2012; FERREIRA et al., 2013; LUZ, 2015).

A fim de contemplar a aplicabilidade da metodologia adotada nesse trabalho, foi realizado um levantamento de algumas informações georreferenciadas necessárias ao CAR, exemplificado na forma de estudo de caso, de um imóvel rural.

Nessa etapa foram considerados os documentos de caráter normativo referente ao Código Florestal (Lei 12.651/2012), incluindo os decretos; 7.830/2012 e 8.235/2014, que tratam do programa de regularização ambiental (PRA).

A perspectiva em volta desses instrumentos é que seja formado uma base de dados estratégica para o controle e monitoramento efetivo das unidades de imóvel rural e seus pertinentes passivos ambientais (LAUDARES et al., 2014).

Serve como base para a elaboração do CAR, o georreferenciamento, realizado a partir de imagens obtidas com sensoriamento remoto, e a elaboração do programa de recuperação de áreas degradadas ou alteradas, onde inconformidades detectadas devem ser tratadas, de acordo com cada caso (BRASIL, 2012).

Recentemente, o governo federal realizou a aquisição de imagens de alta resolução espacial (5 metros), provenientes dos satélites *RapidEye*, que representam a cobertura aérea de todo território nacional, além disso definiu o seu uso, como base de informação para o CAR. A figura abaixo expõe um comparativo, em termos visuais, quanto a possibilidade de identificação de objetos espaciais retratada por diferentes bases e propriedades de imagens aéreas.

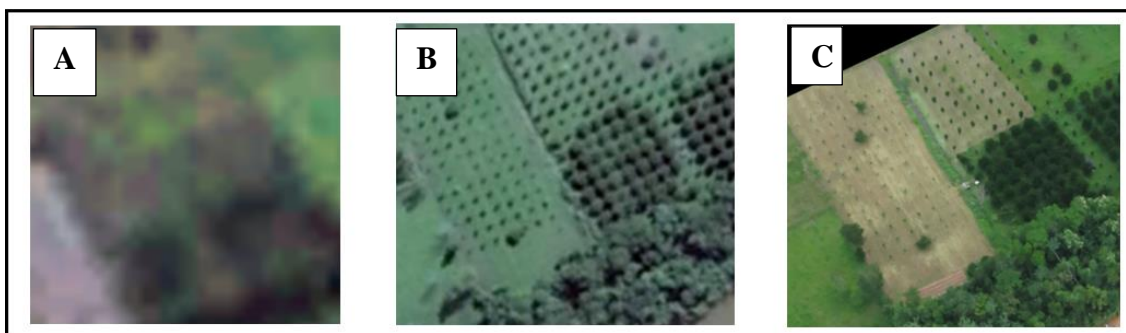


Figura 23 – Comparativo de diferentes resoluções capazes de subsidiar o levantamento de dados em imóveis rurais: *RapidEye* – 5m (A); Google Earth – 50cm (B); VANT Tiriba – 10cm (C).

A imagem derivada do VANT (Figura 23 - C) oportuniza um estudo mais detalhado das feições do terreno. Entre outros aspectos, há de se levar em conta tal contribuição, principalmente considerando a necessidade de acurácia mínima para identificar parcelamentos de solo e os recursos nele contidos.

No exemplo que segue, para fins de uso dessas imagens para regularização de passivo ambiental, que é complementar as etapas do CAR de uma propriedade, vamos considerar que o imóvel rural possui área total aproximada de 6,6 hectares (66.036 m²), sendo que o seu proprietário a utiliza em sua maioria para a prática de culturas perenes, sendo esta sua fonte de renda. Ao restante da propriedade não há uso específico a não ser para fins de pastagem de gado leiteiro, com a produção voltada para própria subsistência. Foram ordenadas etapas no contexto esclarecido pela normativa nos seguintes passos:

1º Passo Levantamento de imagens que representem a situação atual e de até 22 de Julho de 2008 da cobertura do solo do imóvel.

Como pode ser verificado pela imagem histórica (20/07/2005) obtida no conjunto de imagens do *software* Google Earth, a área cultivada já preexistia antes da data de corte deferida nos termos da legislação vigente (até 22 de julho 2008). Dessa forma, de acordo com o novo Código Florestal, essa passa a ser considerada como área consolidada, por incluir atividade denominada agrossilvipastoril. De acordo com a Instrução Normativa nº 02 de 5 de maio de 2014, essas atividades são: “*desenvolvidas em conjunto ou isoladamente, relativas à agricultura, à aquicultura, à pecuária, à silvicultura e demais formas de exploração e manejo da fauna e da flora, destinadas ao uso econômico, à preservação e à conservação dos recursos naturais renováveis*”. Cabe salientar que 2005 foi a data antecedente mais próxima a 2008 encontrada, a considerar as demais, disponíveis nesse *software*.

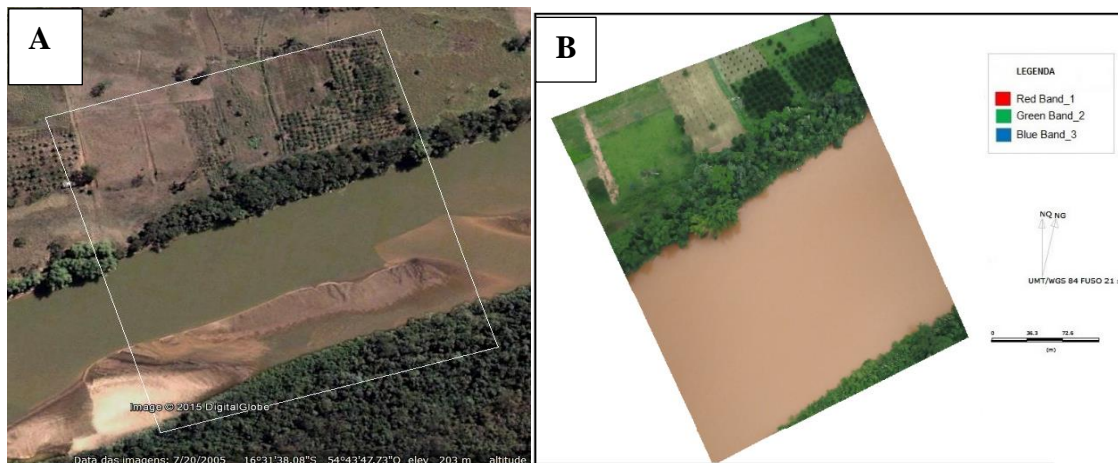


Figura 24 - Imagem Google Earth anterior a 2008 (datada em 20 de agosto de 2005) resolução espacial 50 cm (A) e Imagem VANT obtida em março de 2013 com resolução espacial 10 cm (B).

2º Passo Levantamento de cobertura e uso do solo. Tipos de vetores para as delimitações das áreas de APP. Representação na forma de croqui que indique o perímetro do imóvel e seus passivos ambientais.

Este é o momento em que são digitalizadas todas as feições da paisagem existente, e também realizado o cálculo de suas respectivas áreas, a fim de analisar a representatividade das mesmas. Comumente são gerados polígonos sobre as diferentes feições da paisagem. Nessa simulação, utilizando a imagem do VANT, cinco categorias foram bem delimitadas por meio de duas técnicas diferenciadas, a fotointerpretação (vetorização manual) e classificação automática OBIA.

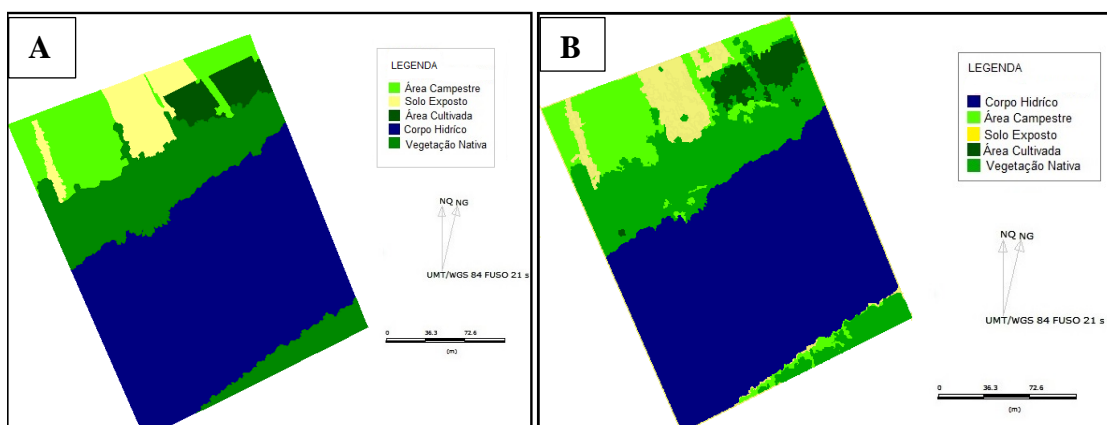


Figura 25 - Imagem gerada por fotointerpretação (A), Imagem gerada por classificação automática OBIA (B).

3º Passo Delimitações das áreas de APP.

O rio representado na cena é o Rio Vermelho, com aproximadamente 150 metros de largura. Caso fosse considerar, as diretrizes do antigo e do novo Código Florestal (Lei 4.771/1965 e Lei 12.651/2012) seria computada área de APP de 100 metros a partir da margem do rio (condições definidas quando houver curso d'água natural de 50 a 200 metros de largura). Por outro lado, de acordo com o Código Florestal vigente, depois de diagnosticada como sendo área consolidada, deve-se conduzir como referência para fins de recuperação de APP alterada ou degradada, os limites, conforme a data de supressão da vegetação nativa (mencionado anteriormente) e o tamanho da propriedade em termos de módulo fiscal do imóvel rural (nesse exemplo ajustado a menos que 01 módulo fiscal, o que corresponde a até 60 ha em Rondonópolis-MT). Nessa condição a faixa de largura de APP deve ser de 5 metros. Na figura 25 são representadas as duas medidas (100m e 5m) para delimitação.

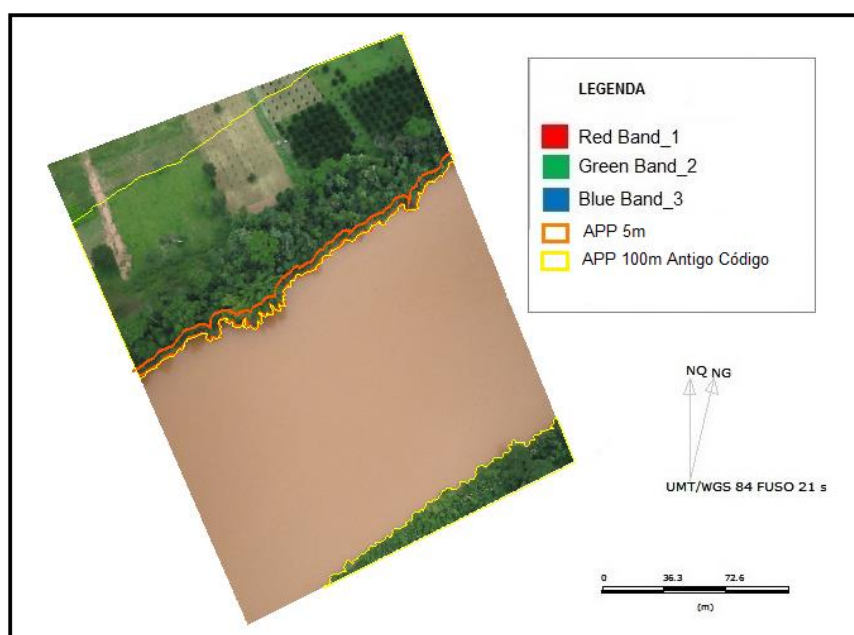


Figura 26 – Comparação entre a delimitação de APP de 100 metros (de acordo com Código Florestal revogado) e a delimitação 5 metros (Código Florestal vigente).

4º Passo Definir área de recomposição

Caso a Lei 4.771/65 ainda estivesse em vigor, haveria a necessidade de recomposição da vegetação nativa na faixa de APP correspondente aos 100 m (Figura 26). Porém, ao se utilizar os critérios estabelecidos na Lei 12.651/2012 e suas

complementações, não haveria necessidade de fazer um PRADA para essa área, considerando que a supressão da vegetação foi anterior a 22/07/2008 e o imóvel rural possui menos que 01 módulo fiscal.

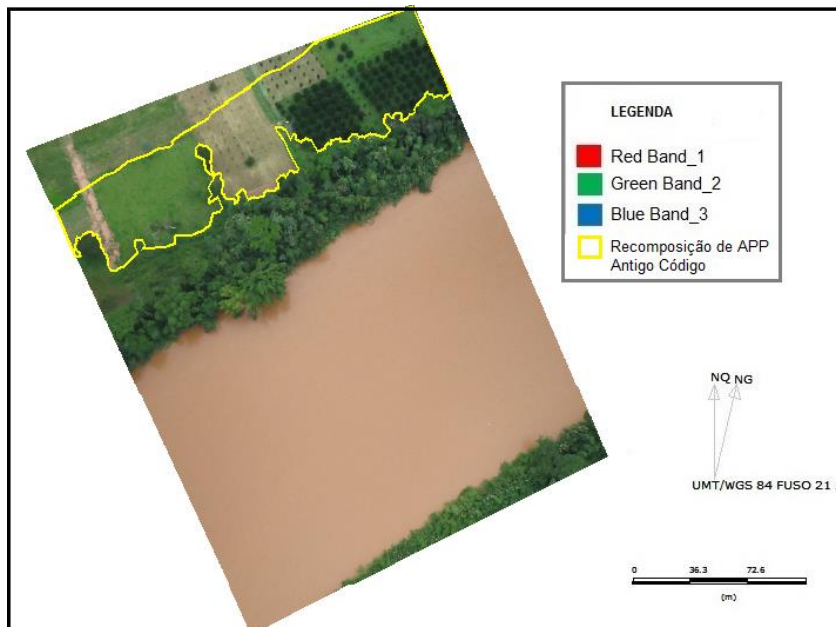


Figura 27 – Limite de recomposição de APP que deveria ocorrer, considerando o antigo Código Florestal.

A qualidade resolutiva das imagens aéreas obtidas por VANT impressiona se contrastada com aquela disponível por imageamento satelital (Figura 28).

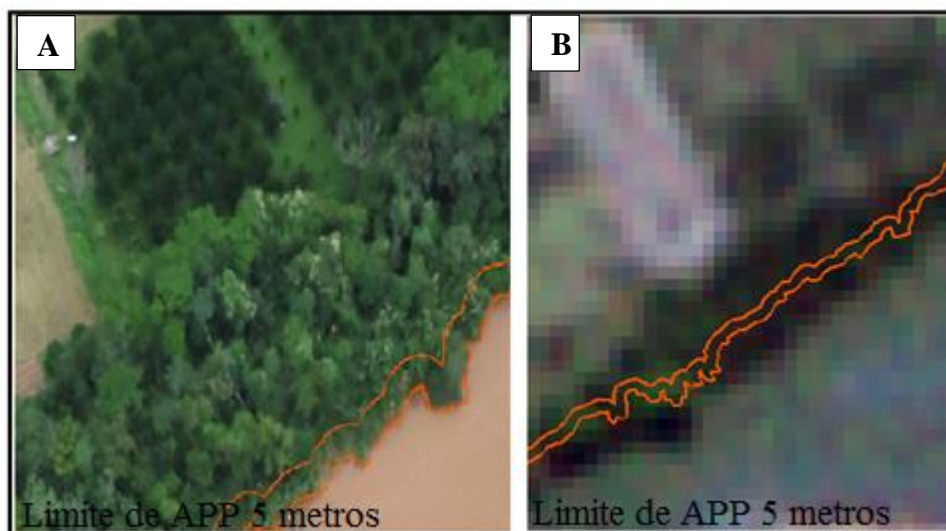


Figura 28 – Comparação entre imagem VANT Tiriba 5cm(A) e imagem RapidEye 5 m (B),

No caso estudado, as alterações no Código Florestal significaram regularização do imóvel rural, que antes da normativa encontrava-se com área de APP insuficiente. Com as novas variáveis para sua delimitação, estabeleceu-se uma nova situação, em que além da conformidade legal, retrata parcela excedente de APP.

Ao todo, foi executada a identificação de formas de uso e ocupação do solo na propriedade, demarcação de área de uso consolidado e de APP, incluindo aquela que deveriam ser recompostas considerando o Código Florestal (Lei 4.771/1965) revogado.

Nesse aspecto, é importante destacar a contribuição da imagem gerada por classificação automática OBIA, que compatível em elevado grau de similaridade com a imagem gerada por vetorização (Figura 22), possibilitou seu uso, agregando maior agilidade ao processo de discriminação das formas de cobertura e uso do solo. Aspecto relevante diante da oportunidade de economia de recursos financeiros e humanos.

Ademais, ao prover facilidade ao discernimento de padrões, a imagem de alta resolução espacial derivada de VANT contribuiu para a caracterização dos principais aspectos e extensões das classes convenientes no terreno, incluindo a detecção de imperfeições nos estádios degradados ou mesmo alterados no interior da APP, podendo vir a complementar ações de controle e monitoramento desses recursos.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dos tratamentos resultantes das classificações automáticas efetuado na imagem área de alta resolução espacial obtida por VANT, a classificação de OBIA foi a mais satisfatória em termos de coeficiente Kappa, Exatidão Global e correlação com os resultados da imagem fotointerpretada. A pesquisa, nesse sentido, pode recomendar uma rotina técnica que propicia relativa agilidade e acurácia, em termos de produção de um mapa temático de qualidade similar ao conseguido por meio da fotointerpretação, que demanda um longo tempo, além de ficar condicionada à subjetividade cognitiva de cada fotoínterprete.

Os produtos que demonstraram de menor acurácia foram os associados às classificações pela técnica em nível de pixel, havendo a necessidade de se destacar o fraco desempenho da análise não supervisionada (pixel a pixel) revelando ineficiente capacidade para discriminar feições na paisagem, levando a crer que, esse modelo de classificação não é interessante para a distinção de padrões sobre uma imagem com propriedade sintética e de alta resolução espacial.

A compreensão mais detalhada tanto do padrão de cobertura do espaço estudado como do nível da alteração deste padrão, auferida pelas imagens de alta resolução espacial contribuíram para a adequada detecção dos principais aspectos e extensões das feições convenientes no terreno, sobretudo no processo de fotointerpretação.

É importante esclarecer, que a metodologia proposta não tem pretensões de substituir as técnicas consagradas e eficazes já existentes, mas propor uma alternativa quanto a possibilidade de seu uso potencial como ferramenta, apoiada a procedimentos automáticos, capazes de lidar com um conjunto ainda mais volumoso de dados e que, não podem mais ser somente examinados por via de padrões convencionais há um prazo e despesa razoável.

Há de se considerar que, sendo Mato Grosso um território de extensas dimensões, o uso de VANT aliada às técnicas como essas empregadas nesse trabalho pode vir a suprimir uma necessidade condizente aos interesses de órgãos que lidam com a gestão ambiental, subsidiando ações e auxiliando a tomada de decisão mais seguras e ágeis. Inclusive no que diz respeito ao ato de fiscalização e monitoramento dos recursos florestais, como uma ferramenta de alto nível capaz de conciliar versatilidade, acurácia e redução de custos no reconhecimento de danos ocasionados ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGISOFT - Software Agisoft PhotoScan 1.1. Disponível em:
< <http://www.agisoft.ru/products/photoscan/professional/buy/edu-cational/> >. Acesso em: 20 de nov. de 2014.
- AGX TECNOLOGIA. **Proposta de fornecimento de aeronave AGPlane: Classe TIRIBA.** 2012. São Carlos - SP. Disponível em:< <http://www.agx.com.br>> Acesso em: 10 de jul. de 2014.
- ALVES, O. L. F. **Planejamento e controle de missões de um VANT de Asa Fixa.** 2010. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2010.
- ALVES NETO, A. **Geração de trajetórias para veículos aéreos autônomos não-tripulados.** 2008.100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação.). Pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas gerais. Belo Horizonte, 2008.
- ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto de imagens de alta resolução espacial.** 2003. 147f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- ANTUNES, D. A.; RIBEIRO, S. R. A. **Avaliação das áreas de preservação permanente do Código Florestal Brasileiro na bacia do Arroio da Ronda, Ponta Grossa, Paraná – Brasil.** In: I Jornada Lusófonas – CTIG 2014, Coimbra – Portugal, Anais, Coimbra: Universidade de Coimbra, Portugal, 2014.
- ARAÚJO, S. M. V. G.; JURAS, I. A.G. M. **Debate sobre a nova lei florestal: análise dos textos aprovados na câmara e no senado.** In: Comitê Brasil em Defesa das Florestas e do Desenvolvimento Sustentável (Org.). Código Florestal e a ciência: o que nossos legisladores ainda precisam saber. 2012. p. 105-116. Comitê Brasil. Brasília, 2012
- ASPRS - AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. **Manual of Photogrammetry**, 4ª edição, 1980.
- BERNARDES, T. **Caracterização do ambiente agrícola do Complexo Serra Negra por meio de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica.** 2006. 119 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2006.
- BERNARDI, H. V. F. **Proposta para a caracterização, estratificação ambiental e recuperação de matas ciliares de uma sub-bacia do Alto Rio Grande.** 2007. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras: UFLA, 2007.
- BOAEING, E. L. et al., Aplicação de veículo aéreo não tripulado para o mapeamento. In: Congresso Brasileiro de cartografia. XXVI, 2014, Gramados-RS. **Anais...**

Gramados: UFRGS/FAURGS, 2014. Disponível em: < http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/183/CT04-75_1404148668.pdf>. Acesso em: 23 maio de 2014.

BLASCHKE, T. **Object-based contextual image classification built on image segmentation**. IEEE. Workshop on Advances in Techniques for Analyses of Remotely Sensed Data, CD-ROM, Washington DC, 2003.

BRANDALIZE, M. C. B. **Topografia**. Apostila do curso de topografia para engenharia civil da PUC - PR.v. 7, 2006. Disponível em: < <http://www.topografia.com.br/br/informacao/download>. Asp. > Acesso em: 22 de mai. de 2014.

BRASIL. Lei Federal nº 4771, de 15 de setembro de 1965. Código florestal brasileiro. Disponível em; < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4771-15-setembro-1965-369026-publicacaooriginal-1-pl.html>> Acesso: 20 jun. 2015.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro. Publicado no Diário Oficial da União em 25/05/2012. Disponível em: < http://www.in.gov.br/mp_leis/leis_texto.asp?id=LEI%209887 >. Acesso em: 14 de ago. de 2014.

BRASIL. Lei Federal nº 12.727 de 17 de outubro de 2012. Código Florestal Brasileiro. Publicado no Diário Oficial da União em 18/10/2012. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20112014/2012/Lei/L12651.htm >. Acesso em: 19 de mar. de 2014.

BRASIL. Decreto nº7830, de 17 de outubro de 2012. Instituiu o sistema de cadastro ambiental rural, o cadastro ambiental rural, estabelece normas de caráter geral aos programas de regularização ambiental. Brasília. DOU de 20 jun. 2015.

BRASIL, Decreto nº 8.235, de 5 maio de 2014. Estabelece normas gerais complementares aos Programas de Regularização Ambiental dos Estados e do Distrito Federal – PRA, de que trata o Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012, institui o Programa Mais Ambiente Brasil, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-014/2014/Decreto/D8235.htm>. Acesso em: 19 junho de 2015.

BRITES, R. S. **Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais: efeito de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão**.1996.101 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

BRITO, J. N.; COELHO, L. **Fotogrametria Digital**. Ed. UERJ. Rio de Janeiro, 2007.

CÂNDIDO, A. K. A. A. **Tratamento de imagens orbitais e suborbitais para caracterização ambiental da cabeceira do rio São Lourenço-MT**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). 2012. 95 p. Programa de Pós-Graduação Engenharia Agrícola - PPGEA, Campus Universitário Rondonópolis, Universidade Federal de Mato Grosso, 2012.

CÂNDIDO, A. K. A. A. et al. Modelo digital de superfície gerado a partir de imagens de VANT. In: **Anais Simpósios Brasileiro de Geotecnologias no Pantanal**, Campo Grande, MS, 2014. Embrapa Informática Agropecuária/ INPE, p. 296 – 303.

CANON, POWERSHOT S95. **Camera User Guide**. 2010. 196 p. Disponível em: <http://gdIp01.c-wss.com/gds/4/0300003994/01/PSS95_CUG_EN.pdf>. Acesso em: 10 jun. de 2015.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: Ed. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. 2004. 219p.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; DAVIS, C.; VINHAS L.; QUEIROZ, D. **Banco de Dados Geográficos**. Curitiba, Editora Mundo GEO, 2005.

CAMARGO, F. **Os rumos do Cadastro Ambiental Rural (CAR) precisam mudar**. 2013. Instituto Sócio Ambiental - ISA. Disponível em: <www.socioambiental.org>. Acesso em: 20 de dez. 2014.

CARVALHO, M. V. A. **Classificação da cobertura e uso do solo com imagens Worldview-2 utilizando mineração de dados e análise baseada em objetos**. 2011. 201 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

CAVASSIM JÚNIOR, I.; CENTENO, J. Classificação de uma imagem IKONOS utilizando as técnicas “ pixel a pixel” e a análise orientada a região. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. 2003. Curitiba. Disponível em: <http://people.ufpr.br/~centeno/publications/download/2003/italo_cbcg_T107.pdf>. Acesso em: 20 de jun. 2015.

CONGALTON, R.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. 2º Edition. CRC/Taylor & Francis, Boca Raton, 2009. FL 183p. Disponível em:<<http://www.nre.unh.edu/faculty/congalton#sthash.W7ZFerKG.dpuf>> Acesso em: 10 de Jan.de 2015.

CORRÊA, R. S. 2006. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado: manual para vegetação**. Brasília: Ed. **Universa**, 178p.

COSTA, G. S. **Utilização da Verificação de Modelos para o Planejamento de Missões de Veículos Aéreos não-Tripulados**. 2008.104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

CRUZ, I.; CAMPOS, V. B. G. **Sistemas de Informações Geográficas aplicados análise espacial em transportes, meio ambiente e ocupação do solo**. Rio de Transportes III, Rio de Janeiro, 2005.

DEFINIENS.e Cognition users guide. Trimble Germany GmbH. 2010.

DIAS, L.E.; GRIFFITH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. 1198. p.1-7 Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Viçosa. 1998.

DI MAIO, A. C. **Apostila de fotointerpretação e aerofotogrametria**. Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense, RJ. 2009. Disponível em: <http://files.labtopope.webnode.com/200000427ef023f0005/APOSTILA_Fotointerpreta%C3%A7%C3%A3o_Aerofotogrametria_UFF.pdf> Acesso em 06 de set. de 2014.

EISENBEISS, H. **UAV Photogrammetry**. Doctor of Sciences. University of Technology Dresden, Zurich, Switzerland, 2009. 237p.

FERNANDES, M. R. P. **A detecção remota nas galerias ribeirinhas**. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105p.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem Complicação**, São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2008.

FREITAS, A. A.; CARAVHO, A. C. P. F. A tutorial on hierarchical classification with applications in bioinformatics. Vol. 1. p. 176-209. **Idea Group**. 200
GeoDMA 0.2.2. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2011. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/geodma> >. Acesso em: 24 de Nov. de 2014.

Global Mapper. Software Global Mapper, versão 12. Out. 2010. Disponível em: < http://www.globalmapper.com/news/press_releases.htm >. Acesso em: 02 de Jun de 2014.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. **Processamento de imagens digitais**. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo.2000.

GRAZIANO, F. Presidente do Greenpeace, Marina Silva e ex-presidente do INCRA listam 5 prós e contras do novo Código Florestal. 2012.Disponível em:< <http://www.swu.com.br> >. Acesso em: 30 de mar. 2014.

HOFMANN, P.; STROBL, J.; BLASCHKE, T.; KUK, H. Detecting informal settlements from quickbird data in rio de janeiro using na object based approach. In T. Blaschke, S. Lang & G. Hay, *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Drive Remote Sensing Applications*. P 532-553. Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2006. 118 p. 2. ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística. **CENSO DEMOGRÁFICO 2010**. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/resultados_do_universo.pdf>. Acesso em: mar. 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 2013. 125 p. 3ª ed. N.7.Manuais técnicos em geociências. Rio de Janeiro. 2013.

INCT-SEC–Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos. VANT Tiriba. Disponível em: < <http://www.inct-sec.org/br/produtos/vant-tiriba> >. Acesso em: 27 ago. 2014.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Tutorial TerraView. Disponível em: < www.dpi.inpe.br/terraview/index.php.> Acesso em ago. de 2013.

INPE, TerraView 4.2.2. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2013. Disponível em: www.dpi.inpe.br/terraview. Acesso em: 21 de set. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.

IRSCHARA, A.; KAUFMANN, V.; KLOPSCHITZ, M.; BISCHOF, H.; LEBERL, F. Towards fully automatic photogrammetric reconstruction using digital images taken from uavs. 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5-7, 2010.

KORTING, T. S.; et al. GeoDMA – Um sistema para mineração de dados de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal: INPE, 2009. p. 7813-7820.

KÖRTING, T.S., Fonseca, L.M.G., Câmara, G. **Interpreting images with GeoDMA. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA)**. Ghent, Belgium. 2010.

KURY, E. B.; VIEIRA, C. A. O. **Classificação automática de imagens de alta resolução**. In UFVGEO (2001). Acesso em: 18 de jan. de 2014.

LAUDARES, S. S. A.; SILVA, K. G.; BORGES, L. A. C. Cadastro Ambiental Rural: uma análise da nova ferramenta para regularização ambiental no Brasil. **Desenvolvimento e Meio ambiente**. V. 31, p. 111-112, UFPR. 2014.

LEITE, M. E.; LEITE, M. R.; CLEMENTE, C. M. S. O uso do solo e o conflito por água no alto rio Riachão – norte de minas gerais: uma análise Auxiliada pelas geotecnologias. **Revista Geográfica Acadêmica**. vol. 4 , n.1, p. 46 – 55, 2010.

LEONARDI, F. et al. Avaliação comparativa entre classificação supervisionada por regiões e orientada a objeto para imagens de alta resolução espacial: CBERS 2B-HRC e QuickBird. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal, RN. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 981-988.

LEONARDI, I. Realismo fantástico. Revista on line. **MundoGeo**. 2012. Disponível em < <http://mundogeo.com/blog/2012/12/15/modelagem-3d/> > Acesso em 12 junho 2015.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons Inc. New York, USA. 2000. 4° ed. 724p.

LUZ, C. C. **Avaliação da exatidão absoluta de ortofoto por meio de dados brutos oriundos de veículos aéreos não tripulados (sisvant)**. Dissertação (Mestrado em Ciência Geodésicas) Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2015. 118 p.

LONGHITANO, G. A. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

MACHADO, K. J. **Desenvolvimento de uma metodologia para delimitação automática de áreas de preservação permanente utilizando sistema de informação geográfica**. 2010. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2010.

MATO GROSSO. **Relatório de ação governamental 2009 de Mato Grosso**. Disponível em: <http://www.auditoria.mt.gov.br/arquivos/A_b1ee62a12f0758e530dfb4879d509927OS9.pdf>. Acesso em 14 de jan.de 2014.

MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MIRANDA, J. G. **Mapeamento geotécnico e estudo da susceptibilidade á erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala: 1:100.000**. 2005. 255 p. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Paulo. 2005.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2ªed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2010, 425 p.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Inpe, 2005. Disponível em: <http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf>. Acesso em 04 de set. de 2014.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4° ed. atual. e ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011.

MORGANO, A. M. **Fotogrametria digital – automatização da orientação de imagens digitais**. **Publicação do Instituto Português de Cartografia e Cadastro**. n. 6, Lisboa, Portugal, 1997. p. 03-11.

MOURA, A. C. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2 ed. Belo Horizonte, MG, 2003. 294p.

NARDES, A. M. M. **Caracterização e Zoneamento Ambiental da Reserva Particular de Patrimônio Natural Parque Ecológico João Basso (Fazenda Verde, Rondonópolis, MT)**. 2005. 72 p. Tese (Doutorado). São Carlos: UFSCar, 2005.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4°. Ed. São Paulo: Blucher, 2010.

NOVACK, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor QuickBird**. 2009. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

PARANHOS FILHO, A. C. **Sensoriamento remoto ambiental aplicado: introdução às geotecnologias**. Material didático, Ed. UFMS, Campo Grande, MS, 2008. 198 p.: il. (Algumas color); 21 cm.

PEÑA, J. S.; MÉNDEZ, T. S. **Fundamentos de fotogrametria**. Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2011.

PEGORARO, A. J.; PHILIPS, J. W. Quadrirotores/Microdrone como Portadores de Geosensores aplicados ao Cadastro Territorial. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 8461-8468. On-line. ISBN 978-85-17-00056-0. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A2QGQB>>. Acesso em: 28 jul. 2014.

PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP**. 2005. 180 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2005.

QGIS Project. **Quantum GIS Chugiak, versão 2.4.0. Plugin Qgis2threejs**, 2014.

QUINLAN, J. R. C4.5: **Programs for Machine Learning**. San Mateo. Morgan Kaufmann, 1993, 302p.

RE, T. M. **O uso de formigas como bioindicadores no monitoramento ambiental de revegetação de áreas mineradas**. 2007. 244 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

REGO, L. F. G. **Remote Sensing in Rio de Janeiro City**. Saarbrücken: VDM - Verlag Dr. Müller, Aktiengesellschaft & Co. KG, Germany, 2008.

RIBEIRO, C.A.A.S.; SOARES, V.P.; OLIVEIRA, A.M.S.; GLERIANI, J.M. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29 n. 2. P. 203-212. 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n2/a04v29n2.pdf>

RIBEIRO, S.R.A. **Integração de Imagens Landsat TM e dados auxiliares para a delimitação automática de unidade fisionômicas (paisagem) e geológicas usando redes neurais artificiais.** 2003. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

ROBERTO, A. J. **Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG Municipal.** 2012.108 p. Dissertação (Mestrado em Sistema de Informações Geográfica) – Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Universidade do Porto, Porto, 2012.

ROVEDDER, J. **Validação da classificação orientada a objetos em imagens de satélite IKONOS II e elaboração de indicadores ambientais georreferenciados no município de torres, planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. 2007. 93 p.** Dissertação (mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** 2º ed. São Paulo: **Oficina de textos**, 2013. 583 p.

SANT' ANA, E. M. **Contribuição ao estudo da geomorfologia da área de Rondonópolis com fins ao uso agrícola da terra.** IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1984. 84 p. Rio de Janeiro. 1984

SALOMÃO, S. (org.º) **Perfil Rondonópolis 2012: geografia, demografia e economia.** 5ª ed. Rondonópolis: ACIR – Prefeitura Municipal de Rondonópolis. 2012.

SANTOS, A. R. **Apostila de Elementos da Cartografia.** Universidade Federal do Espírito Santo-UFES. Espírito Santo, Brasil. 2013. < http://www.mundogeomatica.com.br/EC/ApostilaTeoricaEC/Apostila_Elementos-Cartografia.pdf > Acesso em 22 de mai. de 2014.

SANTOS, N. G. B; **Gestão do projeto de recuperação de áreas degradadas: estratégia para aperfeiçoamento.** 2013. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, Mato Grosso. 2013.

SEIBEL, C. W. **Uma metodologia formal para o planejamento e controle de missões de aeronaves não-tripuladas.** 2000.134 p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SERRA, L. A. O. **O potencial dos UAV para atualização de cartografia municipal.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica). Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. 2014. 140 p.

SETTE, D. M. **O Holóritmo e as interações trópico-extratropical na Gênese do Clima e as paisagens do Mato Grosso.**2000. 394 p. Tese (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo. 2000.

SILVA, I. F. T. (Org.) **Noções Básicas de Cartografia**. Departamento de Cartografia. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.

SILVA, V. C. F. E. **A exploração dos Recursos Litológicos na região da Cidade de Pedra, Rondonópolis - MT**. 2005. 114 p. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) Programa de Pós-Graduação em Arqueologia do Museu de Arqueologia e Etnologia. USP. São Paulo. 2005.

SILVA, C. N, da. Experiências de capacitação com Terraview. **Revista FOSSGIS Brasil** | Ano 1 - Edição nº 2. Junho 2011.

SILVA, A. N. R.; RAMOS, R. A. R.; SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J. F. G. **SIG - Uma plataforma para a Introdução de Técnicas Emergentes no Planejamento Urbano, Regional e de Transportes**. São Carlos: Ed. dos Autores, 2004.

STURZA, J. A. I. **Paisagem e organização espacial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ponte de Pedra – MT**. 1999.104 p. Dissertação (Mestrado) -FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, 1999.

STURZA, J. A.I. **Lugar e não-lugar em Rondonópolis- MT: um estudo de cognição ambiental**. 2005. 163 f. Tese (Dourado em Geografia). Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro. 2005.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica**. Apostila do curso de engenharia Cartográfica. Capítulo V. Presidente Prudente, UNESP, São Paulo, 2009. 161 p.

VALDUGA, F. **Brasil lança primeiro VANT elétrico com tecnologia 100% nacional**. Portal 360 graus. Disponível em: <http://www.cavok.com.br/blog/brasil-lanca-primeiro-vant-eletrico-com-tecnologia-100-nacional/>. Acesso em 08 março 2015.

VIEIRA, M.; FORMAGGIO, A. R.; RENNÓ, C. D.; ATZBERGER, C.; AGUIAR, D. A.; MELLO, M. P. Object based image analysis and data mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas. v.123, p. 533-562, 2012.

VILHENA VIALOU, A.; FIGUTI, L. **Cidade de Pedra: passado no presente**. 1ª ed. São Paulo: Ed. Maluhy&Co, 2013. v. 1. 160 p.

Z Aidan, R. T. **Fotointerpretação e sensoriamento remoto**. Minas Gerais, 2009, xp. Apostila do departamento geociência. Disponível em: <http://www2.sorocaba.unesp.br/professor/robertow/arquivos_2009/SR%202009_1/Apostila%20Foto.pdf>. Acesso em: 02 Set 2014.

ZAIKA, M.J.; PINTO, L.F.G. **Guia para aplicação da nova lei em propriedade rurais**. 2013. 32 p. Imaflora. Piracicaba. 2013. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/Guia_Aplicao_Nova_Lei_Florestal.pdf> acesso em: 27 de jun. de 2015.

WATTS, A. C. et al. Small Unmanned Aircraft Systems for Low-Altitude Aerial Surveys. **The Journal of Wildlife Management**, v. 74, n. 7, p. 1614-1619, 2010.