



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
ENGENHARIA FLORESTAL**

IAN BASSALO DE CASTRO

**LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFICO DE ÁREA SOB REGIME DE
RECUPERAÇÃO AMBIENTAL EM PARAGOMINAS, PARÁ**

**BELÉM
2017**

IAN BASSALO DE CASTRO

**LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFICO DE ÁREA SOB REGIME DE
RECUPERAÇÃO AMBIENTAL EM PARAGOMINAS, PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural da Amazônia como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gracialda Costa Ferreira.
Co-orientador: Prof^o. Msc. Stephan de Almeida Jesuino

BELÉM

2017

Castro, Ian Bassalo

Levantamento aerofotográfico de área sob regime de recuperação ambiental em Paragominas, Pará / Ian Bassalo de Castro. – Belém, 2017.

52 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2017.

Orientadora: Gracialda Costa Ferreira.

1. Restauração Ecológica. 2. Sensoriamento Remoto. 3. VANTs. 4. Levantamento Aerofotográfico. 5. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD. I. Ferreira, Gracialda Costa, (Orient.) II. Título.

CDD – 621.3678

IAN BASSALO DE CASTRO

**LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFICO DE ÁREA SOB REGIME DE
RECUPERAÇÃO AMBIENTAL EM PARAGOMINAS, PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural da Amazônia como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Data da Aprovação

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Gracialda Costa Ferreira
Orientadora
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

MSc. Giuliana Mara Patrício de Souza
Mineração Paragominas S.A.

MSc. Rodrigo de Souza Barbosa
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

*“A educação não
transforma o mundo. A educação
muda as pessoas. Pessoas mudam o
mundo” (Paulo Freire)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensuravelmente a dona Rosana Bassalo e seu Dennis Castro por todo amor que sempre tiveram comigo, e também aos meus irmãos Ravy e Bento, e minha irmã Nina.

À todos os meus familiares, tios, tias, primos, primas, padrinho e avós. À minha avó Mary, que sempre esteve tão presente em minha vida depositando todo amor e carinho, assim como minhas madrinhas Denise e Rosângela.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, pela oportunidade de concluir esta tarefa que representa uma total mudança de paradigma em minha vida e dos meus familiares. Quero deixar expresso, também, o orgulho que sinto por fazer parte desta instituição de ensino que me proporcionou uma das mudanças mais significativas e positivas, das quais, provavelmente, hei de ter.

Ao corpo docente da Universidade Federal Rural da Amazônia, e um agradecimento especial a minha orientadora Gracialda Costa Ferreira, pela oportunidade, pelo exemplo, apoio e incentivo que lhe coube.

Ao co-orientador Stephan Almeida pela oportunidade e sua orientação.

À Hydro Mineração Paragominas S.A. e ao seu grupo pela oportunidade de poder desenvolver este trabalho.

Ao Projeto Biodiversidade e solo, pelo aprendizado e oportunidade de uma vivência profissional de tal magnitude. Em especial aos coordenadores e membros, prof. Marcos Piedade, prof^ª. Selma Ohashi, prof^ª. Denmora Araújo, Prof^ª. Telma Batista, Denis Conrado, Sabrina Ribeiro, Joyce Sousa e Márcio Nascimento.

Agradeço aos amigos de trabalho que acabaram se tornando amigos de vida: Rodrigo Barbosa; José Marques; Raimundo Goulart; Luan Cardoso e Arthur Lau.

À todos os amigos do Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais, grupo solos e de sala de aula.

À todos os amigos que fazem parte da minha vida.

RESUMO

Avaliar e monitorar áreas em processo de restauração ecológica é etapa fundamental para se obter sucesso no processo de condução e controle das etapas de recuperação ambiental. O sensoriamento remoto é apontado com uma das principais ferramentas para auxiliar nas diferentes etapas de recuperação. Assim, este estudo teve o objetivo de gerar informações mais atualizadas e com maior resolução e, assim oferecer mais uma opção de ferramenta para a obtenção de dados que pautem decisões de manutenção do ecossistema em recuperação nas áreas da Mineração Paragominas S. A., complementando a avaliação das técnicas de recuperação (plantio de mudas, regeneração natural, e nucleação) já realizadas. Nas áreas que compõem o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) da Mineração Paragominas, implantados anualmente a partir de 2009 até 2016. Foi realizado o levantamento aerofotográfico utilizando veículos aéreos não tripulados para a obtenção das imagens que foram processadas e tratadas por meio do *software Photoscan Agisoft* gerando os modelos de elevação e ortofotos referente a área de estudo. Foram obtidos sete modelos de elevação e uma ortoimagem geral da área do PRAD. Todos os produtos gerados apresentaram alto nível de resolução, conferindo boa qualidade aos resultados. A partir da ortofoto, foi realizada a classificação do uso e cobertura do solo utilizando o *software Arcgis – Arcmap 10.1*. No processo de classificação da imagem, foram criadas 5 classes de ocupação do solo, a partir da análise do comportamento dos elementos que compuseram a imagem. As imagens geradas e as classes de ocupação definidas podem subsidiar tomadas de decisão referente a gestão das áreas do PRAD. Desta forma, o estudo deve ter continuidade, associando estes resultados às avaliações em relação a vegetação e solo já realizadas no monitoramento da área.

Palavras-chave: Restauração ecológica, Sensoriamento remoto, VANTs.

ABSTRACT

Evaluating and monitoring areas in the process of ecological restoration is a fundamental step to be successful in the process of conducting and controlling the stages of environmental recovery. Remote sensing is pointed out with one of the main tools to aid in the different stages of recovery. Thus, this study had the objective of generating more updated information and with a higher resolution and, thus, offer another tool option to obtain data that support maintenance decisions of the ecosystem in recovery in the areas of Mineração Paragominas SA, complementing the evaluation of the recovery techniques (planting of seedlings, natural regeneration, and nucleation) already carried out. In the areas that make up the Plan for Recovery of Degraded Areas (PRAD) of Paragominas Mining, implemented annually from 2009 to 2016. The aerial survey was carried out using unmanned aerial vehicles to obtain the images that were processed and treated through Photoscan Agisoft software generating the elevation and orthophotos models related to the study area. Seven elevation models and a general orthoimagery of the PRAD area were obtained. All the products generated presented a high level of resolution, conferring good quality to the results. From orthophoto, the classification of the use and cover of the ground using the software Arcgis - Arcmap 10.1. In the image classification process, five classes were created of soil occupation, from the analysis of the behavior of the elements that composed the image. The generated images and defined occupation classes can support decision making regarding the management of PRAD areas. In this way, the study must have continuity, associating these results to the evaluations in relation to vegetation and soil already realized in the monitoring of the area

Key-words: Restoration Ecology, Remote Sensing, UAVs

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Veículos aéreos não tripulados (VANTS), modelos Echar 20B (A) e Nauru 500B Agro (B).	16
Figura 2 - Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) de asa rotativa, modelos SD6 SPYDER XL skydrones (A) e modelo Dji Phantom 4 (B).	17
Figura 3 - Mapa de localização da área onde foi realizado o estudo da empresa Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	
Figura 4 - VANT modelo DJI Phantom 3pro utilizada para realização do aerolevanteamento para a da área do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	22
Figura 5 - Delimitação das áreas de voo do VANT e mapa esquemático da área do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	25
Figura 6 - Parâmetros de voo estabelecidos no <i>software Mission Planner</i> para a realização da coleta de imagens nas áreas do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	26
Figura 7 - Alinhamento das imagens para os voos 1 e 2 no <i>software Agisoft PhotoScan Professional</i> para a realização da coleta de imagens nas áreas do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	28
Figura 8 - Classificação do terreno elaborada no <i>software Photoscan</i> para a realização do MDE nas áreas do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	29
Figura 9 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área dos voos 1 a 20.	31
Figura 10 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico gerado a partir dos voos 1 a 20 para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	32
Figura 11 - Ortofoto final referente a área dos voos 1 a 20 para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	33
Figura 12 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área do voo 21 coletados para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	34
Figura 13 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área do voo 21 obtido para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	34

Figura 14 - Ortofoto final referente a área do voo 21 para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	35
Figura 15 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área do voo 22 obtido para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	35
Figura 16 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área do voo 22 obtido para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	36
Figura 17 - Ortofoto final referente a área do voo 22 obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	36
Figura 18 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área dos voos 23 e 24 obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	37
Figura 19 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área dos voos 23 e 24 obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	38
Figura 20 - Ortofoto final referente a área dos voos 23 e 24 obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	39
Figura 21 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área do voo 25.	40
Figura 22 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área do voo 25, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	40
Figura 23 - Ortofoto final referente a área do voo 25, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	41
Figura 24 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área do voo 26.	42
Figura 25 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área do voo 26, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	42
Figura 26 - Ortofoto final referente a área do voo 26, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	43
Figura 27 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área do voo 27.	43

- Figura 28 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área do voo 27, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará. 44
- Figura 29 - Ortofoto final referente a área do voo 27, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará. 44
- Figura 30 - Mapa elaborado a partir da união de todas as ortofotos geradas no processo. Área referente do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará. 45
- Figura 31 - Comparação entre imagem do mosaico gerado (A) e imagem obtida no programa computacional *Google Earth* (B). Áreas referentes do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará. 46
- Figura 32 - Ortofoto vetorização no software Arcgis – 10.1 (A) e ortofoto gerada por VANT (B). Área referente do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará. 46
- Figura 33 - Taxa de ocupação das classes no método de restauração via plantio de mudas (A), regeneração natural (B) e nucleação (C). 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de sensores para o uso de VANTs aplicados ao sensoriamento remoto.	18
Tabela 2 - Parâmetros básicos de planejamento de voo para os 27 polígonos estabelecidos para cobrir a área total do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	27
Tabela 3 - Descrição das classes de cobertura consideradas no estudo para a realização da classificação da ortoimagem nas áreas do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	30
Tabela 4 - Valores médios do Erro de posição das imagens no mosaico da área correspondente aos voos 1 a 20 gerados pelo software PhotoScan para as ortofotos do para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	33
Tabela 5 - Erro médio da posição das imagens do mosaico da área correspondente ao voo 21 gerados pelo software PhotoScan para as ortofotos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	35
Tabela 6 - Valores médios de erro da posição das imagens do mosaico da área correspondente ao voo 22 gerados pelo software PhotoScan para as ortofotos do para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	37
Tabela 7 - Erro médio da posição das imagens do mosaico da área correspondente aos voos 23 e 24 gerados pelo software PhotoScan para as ortofotos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	39
Tabela 8 - Erro médio da posição das imagens do mosaico da área correspondente ao voo 25, gerados pelo software PhotoScan para as ortofotos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	41
Tabela 9 - Erro médio da posição das imagens do mosaico da área correspondente ao voo 26, gerados pelo software PhotoScan para as ortofotos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	43
Tabela 10 - Erro médio da posição das imagens do mosaico da área correspondente ao voo 27, gerados pelo software PhotoScan para as ortofotos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.	45
Tabela 11 - Área e percentual de ocupação das classes na área total estudada.	47
Tabela 12 - Taxas de ocupação das classes no plantio de mudas em função dos anos.	49
Tabela 13 - Taxas de ocupação das classes na regeneração natural em função dos anos.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Geral	14
2.2	Específicos	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	VANT	14
3.1.1	Tipos de VANTs	15
3.1.1.1	Asa fixa	16
3.1.1.2	Asa rotativa	16
3.1.1.3	Tipos de sensores	17
3.2	Recuperação de áreas degradadas	19
3.2.1	Restauração ambiental em áreas degradadas pela mineração	19
3.2.1.1	Métodos de restauração em áreas de mineração	20
3.2.2	Sensoriamento remoto para monitoramento e avaliação de áreas degradadas	21
4	METODOLOGIA	22
4.1	Área de estudo	22
4.2	Levantamento por VANT	23
4.2.1	Características do equipamento	23
4.2.2	Planejamento e execução de voo	24
4.2.3	Processamento das Imagens	27
4.3	CLASSIFICAÇÃO DAS ORTOFOTOS	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	Produtos gerados pelo VANT	31
5.1.1	Área correspondente aos voos 1 a 20	31
5.1.2	Área correspondente ao voo 21	33
5.1.3	Área correspondente ao voo 22	35
5.1.4	Área correspondente aos voos 23 e 24	37
5.1.5	Área correspondente ao voo 25	39
5.1.6	Área correspondente ao voo 26	41
5.1.7	Área correspondente ao voo 27	43
5.1.8	Ortoimagem	45
5.2	Classificação da ortorecorte	46
6	CONCLUSÃO	50
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

A proporção da magnitude de substâncias minerais que ocorrem no território brasileiro confere ao país um grande potencial produtivo, estando em condições de equidade, no quesito de geração de produtos advindos da mineração, com outras potências mundiais, como, EUA, Rússia, Canadá, Austrália, África do Sul e China (CABRAL JUNIOR et al., 2008). Em 2014, a produção mineral brasileira atingiu o valor de US\$ 40 bilhões, representando cerca de 5% do PIB industrial no país (IBRAM, 2015). Estima-se que, através do Plano Nacional de Mineração (PNM), a produção mineral tende a aumentar em até cinco vezes numa projeção de 20 anos (BRASIL, 2011).

Dentre os mais importantes minérios explorados no Brasil, a bauxita é principal matéria-prima utilizada na produção de alumina e de alumínio metálico (SALOMÃO, 2007). O estado do Pará é o principal produtor deste material, onde, para o ano de 2011, através de um plano expansionista da mineração que foi iniciado no início da década de 2000, extraiu-se, aproximadamente, 26,35 milhões de toneladas de bauxita, representando 85% da produção total nacional (IBRAM, 2012).

Diante deste panorama expressa-se o grande desafio ao setor mineral de buscar a sustentabilidade no processo de produção visando mitigar, da forma mais eficiente possível, seus impactos. A recuperação florestal está entre as novas diretrizes para indústria minerária, com interesse e preocupação do Governo, assim como da sociedade, a proteção e conservação da qualidade do meio ambiente tornou-se indispensável para licenciamento e funcionamento das minas (SALOMÃO et al., 2007).

Um ponto importante para o sucesso do PRAD é a realização da avaliação e monitoramento da área em processo de recuperação (LAVINA et al., 2016). Ações antrópicas são imprescindíveis, pois o ecossistema já não dispõe mais dos mesmos mecanismos oriundos a ele em um estado natural (JESUS, 1997). Dentre as formas de monitoramento, o sensoriamento remoto corresponde a uma importante ferramenta para obtenção de informações que pautam decisões de manutenção do ecossistema (NOVO, 2008). Schowengerdt (2007) define o sensoriamento remoto como o processo de análise de um objeto da superfície terrestre a partir de dados adquiridos por aeronaves ou satélites.

Recentemente, vem se tornando mais comum a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) para a realização do imageamento terrestre. Está tecnologia é apontada como um processo revolucionário no desenvolvimento e no uso das geotecnologias, pois altera

o patamar da qualidade e resolução dos dados e imagens obtidos. Os VANTs podem ser equipados com sensores que possuem resposta espectral de luz visível (RGB) ou, até mesmo com sensores especiais de infravermelho próximo ou multiespectrais, capazes de medir índices de vegetação (NDVI) (PEREIRA et al., 2015).

A partir de mosaicos de imagens obtidas através de sensores acoplados aos VANTs é possível gerar informações mais atualizadas e com maior resolução, quando comparadas com imagens de satélites comuns, como o LANDSAT, por exemplo, além de, proporcionar maior automação e baixo custo em todo o processo (JUNIOR et al., 2014). Dentro de suas aplicações está o mapeamento de minas, onde pode-se fazer acompanhamento contínuo e periódico dos elementos que compõem as normas ambientais exigidas (INTERNATIONAL, 2014).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Gerar informações atualizadas e com melhor resolução e, assim oferecer mais uma opção de ferramenta para a obtenção de dados que pautem decisões de manutenção do ecossistema em recuperação nas áreas da Mineração Paragominas S. A., complementando a avaliação das técnicas de recuperação (plantio de mudas, regeneração natural e nucleação).

2.2 Específicos

Gerar mapas digitais de elevação (MDE) e ortoimagem de alta resolução para a área sob regime de recuperação ambiental.

Realizar classificação das ortoimagens avaliando o estado de ocupação do solo da área referente Plano de Recuperação de Áreas degradadas da Mineração Paragominas S. A.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 VANT

Os VANTs são compreendidos como veículos automotores pilotados remotamente, onde não se transporta nenhum tripulante, possuindo as mais diversas finalidades de aplicação, como: na agricultura; mineração; meio ambiente; construção civil; infraestrutura; e até mesmo na indústria armamentista. (UNITED STATES, 2017).

O projeto ARARA (Aeronave de reconhecimento autônoma e remotamente assistida) foi responsável pela construção do primeiro VANT com tecnologia 100% brasileira, com intuito de substituir aeronaves convencionais na obtenção de imagens de monitoramento agrícola (ALVES JÚNIOR, 2015).

Dados os fatores limitantes da utilização dos sistemas de sensores orbitais, principalmente no que diz respeito às características de resolução espectral, temporal e espacial, assim como a cobertura de nuvens, constantemente presente em determinados períodos do ano (TURNER et al., 2012), o desenvolvimento de pequenas aeronaves controladas remotamente, associadas a sensores imageadores, tem possibilitado a criação de novas plataformas de sensoriamento remoto, indo ao encontro de demandas que não são atendidas pelos mecanismos convencionais, como por exemplo: altos índices de resolução espacial juntamente de uma alta flexibilização tecnológica e operacional (PEGORARO; PHILIPS, 2011).

O funcionamento dos VANTs ocorre por controladores a distância via meios eletrônicos e computacionais, sob supervisão humana ou por meios de controladores lógicos programáveis (CLP). As aeronaves tripuladas possuem ampla capacidade de cobertura de imagem, contudo o nível de resolução por pixel é menor, tendo em vista que a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) determina a altura mínima de 300 m para voos tripulados, ocasionando uma limitação de aplicação desta ferramenta para trabalhos que demandem alto nível de detalhamento (CASSEMIRO; PINTO, 2014).

Jensen (2009) avaliou que a fiscalização e o monitoramento ambiental feito a partir de plataformas de sensoriamento remoto em geral é um importante suporte para o fornecimento, armazenamento e manipulação de dados ambientais especializados, onde permite-se compreender a dinâmica de ocupação e uso do solo em tempo mais hábil do que outras metodologias. Contudo, de modo geral, o uso dos VANTs, tem representado um significativo avanço desta tecnologia, pois proporcionam maior dinamismo na geração de dados provendo produtos com altos índices de detalhamento (LONGHITANO, 2010; CÂNDIDO et al., 2015).

3.1.1 Tipos de VANTs

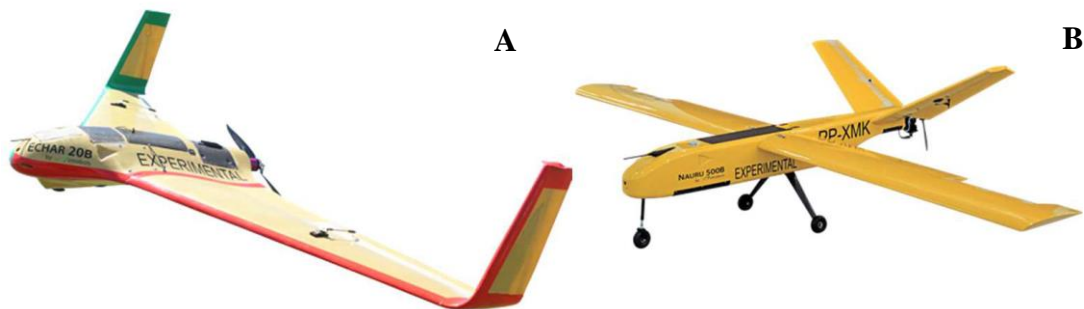
Os VANTs são divididos em duas categorias: asas fixas e asas rotativas. Atualmente diversos modelos são encontrados no mercado. A escolha do modelo está relacionada com a finalidade e aplicação do trabalho no qual será utilizado o equipamento. Diversos critérios são levados em consideração quanto a aplicabilidade, entre eles: material, peso, modelo de

fuselagem, altura e tempo de voo. Todos esses quesitos se aplicam às duas categorias (ALVES JÚNIOR, 2015).

3.1.1.1 Asa fixa

São modelos com asas que podem realizar decolagem de pistas ou através de catapultas, os pousos são realizados em pistas ou com auxílio de paraquedas. Geralmente são modelos com longa autonomia de carga e são indicados para mapear áreas extensas. Os modelos mais comuns no mercado são o Echar 20B (Figura 1A) e o Nauru 500B Agro (Figura 1B), ambos fabricados pela empresa Xmobots.

Figura 1 - Veículos aéreos não tripulados (VANTS), modelos Echar 20B (A) e Nauru 500B Agro (B).



Fonte: Santos (2016).

3.1.1.2 Asa rotativa

Entre as principais características estão a capacidade de pairar no ar e de decolagem horizontal. São modelos comumente utilizados em aplicações civis (SANTOS, 2016). Carvalhedo e Siqueira (2013) definem os VANTs multirotores (Figura 2) como uma plataforma aérea que possui força de sustentação dividida entre os múltiplos motores de mesma potência, de forma que o toque das reações se cancelem entre si, onde cada um é responsável por gerar uma força de impulsão em torno do seu centro de rotação.

Ultimamente a utilização dos multirotores vem aumentando, isto pode ser explicado pela capacidade de estabilização em voo que este equipamento possui, onde o veículo para em um determinado ponto para a realização do imageamento, proporcionando maior precisão de imagem, que dificilmente seria obtido por outras formas. Contudo, este tipo de aeronave possui fatores limitantes, como restrição de tempo de voo e baixa eficiência dos motores. Desta forma,

este equipamento é mais indicado para realizar mapeamentos de até 100 ha (CASSEMIRO; PINTO, 2014).

Figura 2 - Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) de asa rotativa, modelos SD6 SPYDER XL skydrones (A) e modelo Dji Phantom 4 (B).



Fonte: Santos (2016).

3.1.1.3 Tipos de sensores

Os tipos de sensores utilizados variam conforme a necessidade do usuário (Tabela 1). Geralmente são destinados ao sensoriamento remoto, ciências exatas e da terra, manejo territorial e costeiro, e atividade de segurança pública (LONGHITANO, 2010). Em relação ao monitoramento da vegetação, são principalmente utilizados os que registram informações nas regiões espectrais do visível, infravermelho e infravermelho termal. Sendo grande parte dos modelos comerciais de VANTS, assim como os desenvolvidos no âmbito acadêmico, utilizam câmeras digitais convencionais (COLOMINA; MOLINA, 2014).

Outra técnica de importante relevância para o sensoriamento remoto com VANTS, é o LIDAR (*Light Detection And Ranging*). Esta técnica apresenta sensores que emitem e recebem pulsos de luz (laser), onde mensura-se a distância entre o alvo e o sensor, e a altura dos alvos. Geralmente, este modelo é aplicado em modelagens tridimensionais, calculando volume dos elementos da imagem, assim como topografia de terreno. Uma das aplicações do LIDAR é para a realização de inventários florestais, bem como o levantamento de informações de subdossel (WALLACE et al., 2012).

Tabela 1 - Tipos de sensores para o uso de VANTs aplicados ao sensoriamento remoto.

TIPO DO SENSOR	INFORMAÇÃO REGISTRADA	EXEMPLO DE CÂMERAS
Visível	Obtém informações nas regiões espectrais do azul, do verde e do vermelho	<p>Canon IXUS 220 HS</p> <p>Fonte: http://www.canon.pt/for_home/product_finder/câmeras/digital_camera/ixus/ixus_220_hs/</p> 
Visível mais infravermelho	Obtém informações em duas regiões espectrais: visível (Azul, verde ou vermelho) e infravermelho próximo.	<p>Tetracam ADC Lite</p> <p>Fonte: http://www.tetracam.com/Products-ADC_Lite.htm</p> 
Multiespectral	Obtém informações em três ou mais regiões espectrais: visível, infravermelho próximo e médio. Normalmente possibilita ao operador estabelecer quais as regiões espectrais desejadas na compra do equipamento.	<p>Tetracam Mini MCA</p> <p>Fonte: http://www.tetracam.com/Products-Mini_MCA.htm</p> 
Hiperespectral	Obtém informações em uma grande quantidade de faixas ao longo das regiões espectrais do visível e do infravermelho (próximo e médio).	<p>Rikola</p> <p>Fonte: http://www.rikola.fi/</p> 
LIDAR	Obtém informações a pulsos de luz (laser).	<p>HDL-32E</p> <p>Fonte: http://velodynelidar.com/hdl-32e.html</p> 

Fonte: Linhares (2016).

3.2 Recuperação de áreas degradadas

A restauração ecológica pode ser definida como o processo de recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (SER, 2004). O entendimento de restauração pode ser compreendido por duas vertentes: a que condiciona a retomada completa das funções ecológicas estabelecidas originalmente num determinado ecossistema, que apresenta grau elevado de dificuldade de sucesso para realização prática da tarefa, visto que sistemas ambientais, principalmente o amazônico, possuem alto nível de complexidade em sua composição; a outra vertente estabelece como premissa a impossibilidade de retorno da área ao estado original, portanto a restauração deve buscar a estabilização das condições ecológicas para que haja a promoção da sucessão natural no ambiente, que possibilite maior flexibilização de utilização da área, juntamente com a execução de outros projetos (MARTINS, 2010).

Estudos apontam que aproximadamente 33% dos solos do mundo estão degradados ou em processo de degradação, o que é atribuído a fatores como desmatamento, erosão, compactação e perda de matéria orgânica (FAO, 2015). Recentemente, o governo brasileiro, na conferência do clima da organização das Nações Unidas (ONU) em Paris (COP-21), assumiu uma meta de restauração e reflorestamento de 12 milhões de hectares (ha) até 2030 na Amazônia e Mata Atlântica como adesão aos acordos globais realizados com intuito de reduzir os efeitos das mudanças climáticas (BRASIL, 2015).

3.2.1 Restauração ambiental em áreas degradadas pela mineração

No processo de recuperação devem ser consideradas as alterações ocorridas no ambiente original e nas áreas de entorno, para assim avaliar os agentes e fatores responsáveis pela degradação de uma determinada área (MARTINS, 2010). Portanto, a compreensão do histórico da área é fundamental para sugerir um ponto de partida para o diagnóstico do ambiente, tornando mais simples a escolha de quais técnicas de intervenção para que a recuperação ambiental esteja de acordo com o plano de uso do solo.

No processo de restauração ecológica em áreas degradadas pela atividade de mineração, existem variados modelos e técnicas possíveis de adoção (SILVA, 2013). Nos casos de onde as áreas mineradas têm como extrativo a bauxita, o processo de restauração inicia-se com a reconformação do solo, através da recomposição do terreno, deposição do solo vegetal e revegetação (RIBEIRO, 2016).

Contudo é primordial que se tenha o entendimento que a etapa de reconstituição do solo vegetal tem importância significativa no processo, pois, logo após a etapa de remoção desta camada superficial, deve-se armazenar com a finalidade de reconformação futura no espaço original de onde ele foi removido, diminuindo, assim, os impactos na estrutura do solo, além de que esta camada do solo é a que possui o maior teor de matéria orgânica e é onde está contido o bando de sementes do solo, camada primordial para a indução da sucessão ecológica (GUIMARÃES, 2015). Santos (2010) julga que a capacidade de germinação do banco de sementes presente no *topsoil*, diminui em função do tempo de armazenamento, portanto a eficiência do sistema está fortemente atrelada a este fato.

Existem diversos modelos e técnicas a serem adotados num processo de restauração florestal em áreas degradadas pela atividade de mineração, contudo, na maioria dos casos, são adotadas as técnicas de plantio de mudas, e condução da regeneração natural, onde ambos os métodos tem como prioridade a promoção do reestabelecimento dos processos ecológicos do ambiente florestal pós-supressão da vegetação (SILVA, 2013). Outra alternativa técnica, que vem sendo disseminada nos últimos anos, é o método de restauração chamada de nucleação, na qual são estabelecidos os mesmos propósitos das outras duas técnicas anteriormente citadas (REIS et al., 2006).

3.2.1.1 Métodos de restauração em áreas de mineração

- **Plantio de mudas:** esta técnica é baseada na implantação de mudas de espécies florestais das quais, prioritariamente, devem ocorrer na mesma microbacia hidrográfica ou região, obedecendo critérios de diversificação de espécies, assim como a utilização de mudas provenientes de diferentes matrizes de remanescentes florestais com o objetivo de garantir a diversidade genética ao sistema. É necessário fazer a escolha de espécies com base em seus grupos ecológicos, ou seja, atendendo a demandas de grupos que obtém rápido crescimento, promovendo um amplo dimensionamento de copa para que haja o recobrimento do solo (MARTINS, 2010)
- **Condução da regeneração natural:** este método está baseado na condição de se explorar o potencial de resiliência das áreas que foram degradadas, utilizando-se da regeneração do banco de sementes do solo, resgate de plântulas, e da dispersão dos propágulos das áreas remanescentes do entorno, induzindo a ocorrência da regeneração para proporcionar a restauração florestal na área (RIBEIRO, 2016).

- **Nucleação:** este mecanismo tem por finalidade simular microhabitats ecológicos em núcleos, proporcionando a ocorrência de uma série de eventuais acontecimentos que auxiliem ou promovam a regeneração natural do ambiente. Estes microhabitats são constituídos por pequenos núcleos de biomassa, funcionando como atrativo para a chegada de outras espécies vegetais, através de interação de organismos de todas as formas de vida, aumentando a probabilidade de formação de uma diversidade de rotas sucessionais (BECHARA, 2006; BECHARA, 2003; FRANKS, 2003; FIEDER et al., 1997).

3.2.2 Sensoriamento remoto para monitoramento e avaliação de áreas degradadas

O sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores e equipamentos para processamento e transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos e fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, a partir da análise de interação entre a radiação eletromagnética e outras substâncias (NOVO, 2010).

A identificação e o monitoramento dos processos de degradação dos solos em diferentes escalas, sejam elas regionais ou nacionais, são de suma importância para o dimensionamento eficaz da magnitude dos problemas relacionados a degradação ambiental. A partir de uma avaliação mais precisa podem ser subsidiadas as políticas públicas nas tomadas de decisão sobre a recuperação, manejo e o uso das terras.

Morton et al., (2006) refere-se ao geoprocessamento como uma importante ferramenta para especializar e monitorar os recursos naturais, atividades antrópicas e as consequências destas atividades sobre a superfície terrestre. Portanto, o sensoriamento remoto voltado ao monitoramento ambiental representa a possibilidade da realização de medições contínuas ou sazonais de um determinado ambiente, podendo representar, por exemplo, a qualidade da água, uso e ocupação do solo e o desenvolvimento da cobertura vegetal (BRAGA, 2009).

Dentro deste panorama, o uso dos VANTs para o monitoramento ambiental vem sendo apontado como uma alternativa válida de aplicação, por apresentar novas possibilidades e vantagens quando comparado aos métodos tradicionais. Este tipo de ferramenta é capaz de gerar um grande conjunto de informações, concebendo produtos mais completos e de maior qualidade (LONGHITANO, 2010).

O uso dos VANTs contribui para a otimização dos estudos ambientais, proporcionando dados mais fiéis a realidade de campo, como por exemplo o reconhecimento de áreas de solo exposto, auxiliando, desta maneira, a complementação de diagnósticos precisos em um curto

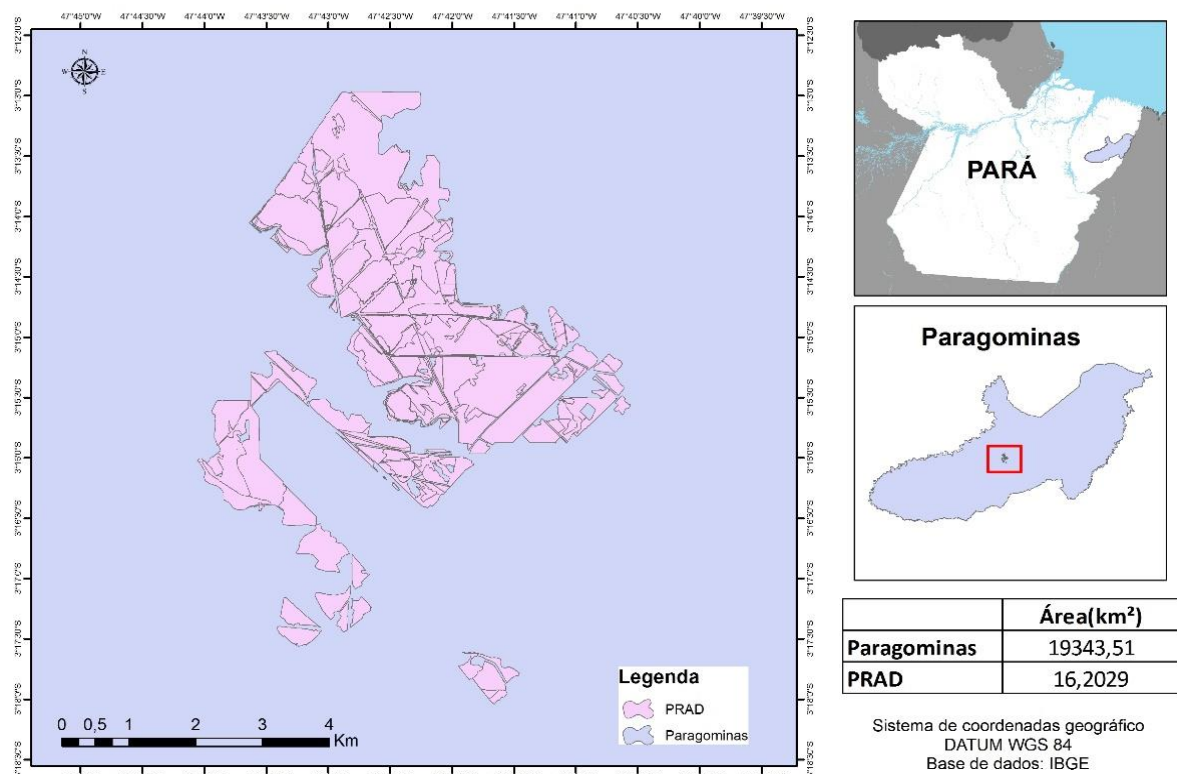
período de tempo tornando a tomada de decisão mais ágil e assertiva. Os resultados obtidos através da utilização deste tipo de equipamento para estudos ambientais possuem validação verossímil, contribuindo significativamente para a análise do uso da terra (SILVA, 2015)

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na área que compreende o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (Figura 3) da empresa Mineração Paragominas S.A. pertencente ao grupo HYDRO, sediada no nordeste paraense, município de Paragominas, aproximadamente 70 km da sede municipal. A área está a 150 m de altitude e situa-se no Platô Miltônia III (3°15'35''S e 47°43'25''W) (HYDRO, 2015).

Figura 3 - Mapa de localização da área onde foi realizado o estudo da empresa Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



A região possui clima tipo “Aw”, segundo classificação de Köppen-Geiger, caracterizado como quente e úmido, com estações de chuva e seca bem definidas. Possui

temperatura média entre 25,8 a 27,7 °C (SILVA; SANTANA, 2014). A umidade relativa é de aproximadamente 86% e o índice pluviométrico de aproximadamente, 1.500 mm (INMET, 2015).

Na região ocorrem, predominantemente, solos do tipo Latossolo Amarelos, Argilosos Amarelos, Plintossolos, Gleissolos e Neossolos. Em geral, solos de baixa fertilidade, com baixos teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e nitrogênio, e ainda possuem altas taxa de saturação por bases (RODRIGUES et al., 2003).

A tipologia florestal é constituída por três subtipos: Floresta Ombrófila Densa de terras baixas; Floresta Ombrófila Densa submontana; e Floresta Aluvial (PINTO et al., 2009).

A partir do ano de 2009, iniciou-se o programa de recuperação das áreas degradadas nas áreas onde foi realizada a extração mineral. Os métodos de recuperação utilizados na área de estudo, são: plantio de mudas, condução da regeneração natural, e nucleação.

4.2 Levantamento por VANT

4.2.1 Características do equipamento

A aeronave utilizada foi o DJI Phantom 3 PRO, com as seguintes informações:

- Peso (incluindo bateria): 1280 gramas;
- Câmera P3pro 12 MegaPixels;
- Resolução de imagem: 4000 x 3000;
- Capacidade de voo de aproximadamente 23 minutos;
- Sensor: 1/2 .3” CMOS;
- Velocidade máxima de voo: 16 m/s;
- 4 baterias Lipo 3S 5350 mAh;
- Controle Remoto Phantom 3;
- Tablet IPAD 4 - Apple.

Este modelo (Figura X) é do tipo asa rotativa multirotor quadricoptero com 4 motores elétricos 2312S (CW)

Figura 4 – VANT modelo DJI Phantom 3pro utilizada para realização do aerolevantamento para a da área do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

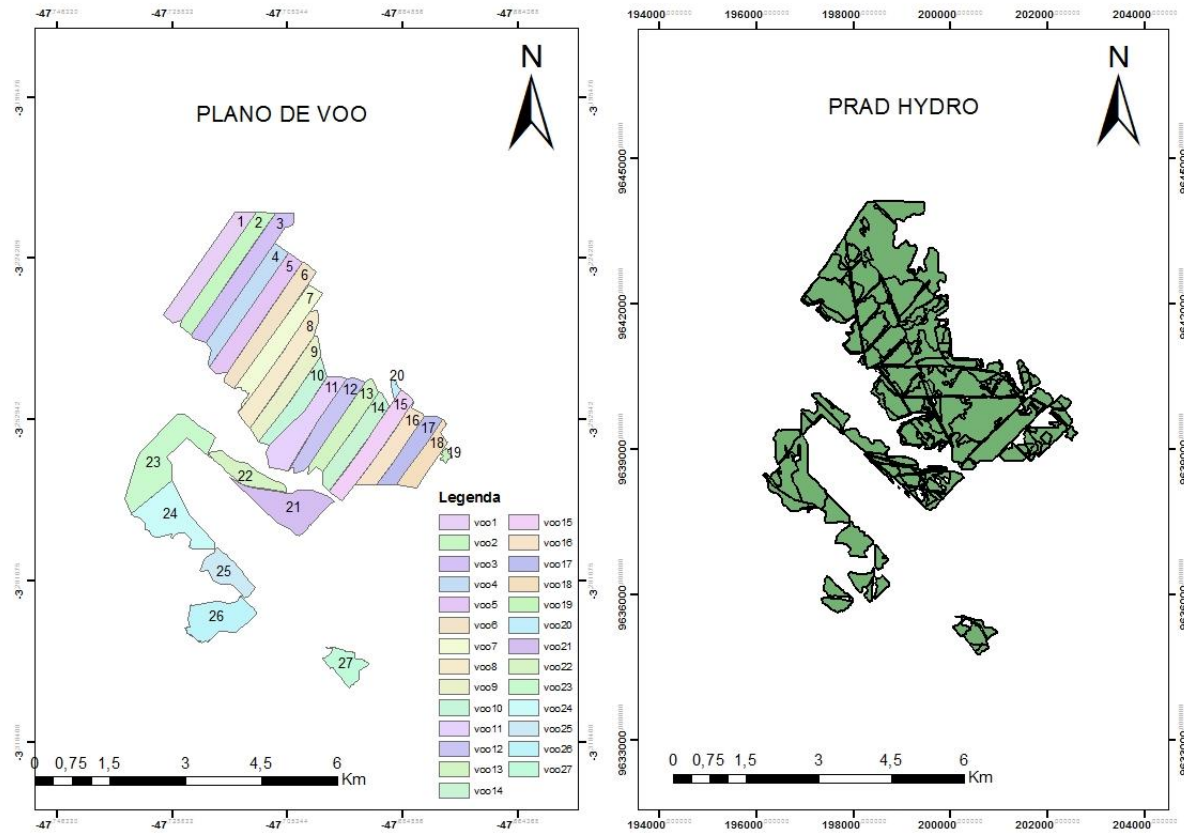


4.2.2 Planejamento e execução de voo

O planejamento de voo foi elaborado a partir com base em arquivo vetorial, formato *shapefile*, no qual delimita área do total do PRAD (1633,36 ha). O *Ground Control Station* (GCS) ou estação de controle no solo utilizado foi o *software Mission Planner 1.2.35*, plataforma *open-source* da empresa 3DRobotics, realizando a definição de todos os parâmetros de voo.

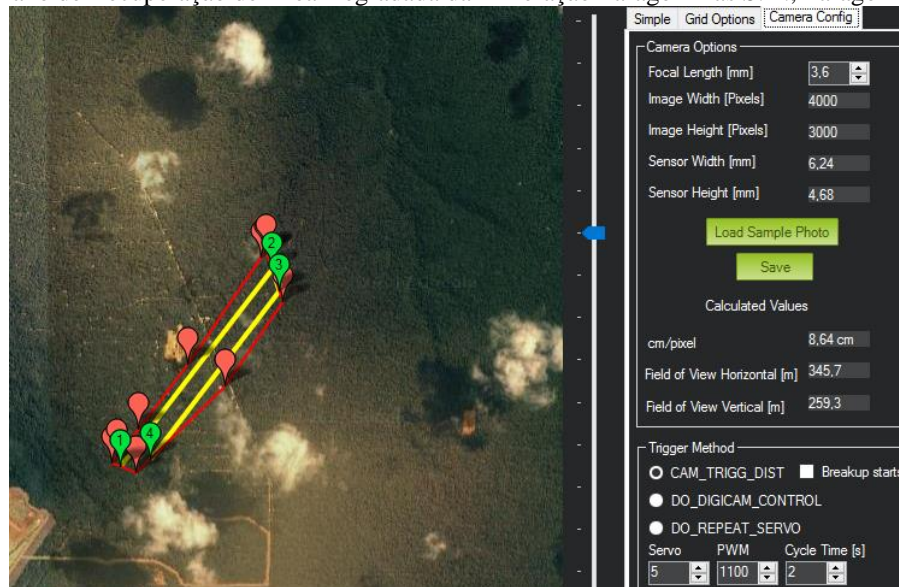
Como o VANT utilizado possui limitação de cobertura de área de imageamento, foi necessário particionar a área total do PRAD em 27 poligonais que comportassem áreas de até 100 ha, considerado como o limite de abrangência de área que o um drone multirrotor deve mapear em um voo. Esta etapa foi desempenhada pelo *software* ArcGis – ArcMap 10.1, onde foi feita a delimitação das áreas de voo e mensuração de área de cada um deles (Figura 4).

Figura 5 - Delimitação das áreas de voo do VANT e mapa esquemático da área do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



A partir do estabelecimento das áreas a serem mapeadas, foram importados os *shapes* para o *Mission Planner*, no qual foram configurados os requisitos técnicos para todos os voos como: altura de 200 metros, velocidade de 13 m/s, sobreposição longitudinal e lateral das fotos (*sidelap* e *overlap*) de 60%. Assim como, os ajustes de configuração de câmera, sendo estes: 3,6 mm de distância focal, tamanho do sensor 6,24 mm por 4,68 mm, e resolução de 4000 pixels x 3000 pixels (Figura 5).

Figura 6 - Parâmetros de voo estabelecidos no *software Mission Planner* para a realização da coleta de imagens nas áreas do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



Foram definidos os parâmetros básicos de planejamento de voo (Tabela 2) para a aquisição das imagens da área total do PRAD, que após estabelecidos no *Mission Planner*, foram exportados no formato Kml e abertos no aplicativo LITCHI versão 3.10.10 disponível para o sistema IOS. Um *tablet* modelo iPad 4, da empresa Apple, foi utilizado para operação de voo. Esta etapa visou a busca pela facilidade de operação e acompanhamento de em campo, haja vista que o trabalho foi desenvolvido em área remota de difícil acesso e sem conexão de internet. Portanto, a plataforma de conectividade direta de execução de voo foi o LITCHI. A configuração de câmera foi feita no modo manual fixando-se o ISO 100 e SS 500 para todas as fotografias. No total foram realizados três dias de voos com nove voos por dia totalizando 27 voos necessários para cobrir toda a área do PRAD 2009 - 2016.

Tabela 2 - Parâmetros básicos de planejamento de voo para os 27 polígonos estabelecidos para cobrir a área total do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Voo	Parâmetros							Área de cobertura de voo (ha)
	Velocidade (m/s)	Tempo de voo (min.)	Resolução espacial (cm/pix)	Percurso (km)	Linhas de voo	Overlap (%)	Sidelap (%)	
1	13	9	8,54	5,4	2	60	60	91,04
2	13	9	8,54	5,8	2	60	60	91,46
3	13	8	8,54	5,1	2	60	60	98,62
4	13	8	8,54	5,2	2	60	60	83,92
5	13	9	8,54	5,6	2	60	60	94,14
6	13	9	8,54	5,8	2	60	60	94,45
7	13	8	8,54	5,1	2	60	60	89,15
8	13	9	8,54	5,7	3	60	60	84,99
9	13	9	8,54	5,4	3	60	60	72,29
10	13	6	8,54	3,8	2	60	60	58,02
11	13	10	8,54	6,4	4	60	60	90,02
12	13	7	8,54	4,6	2	60	60	70,16
13	13	7	8,54	4,4	2	60	60	67,42
14	13	7	8,54	4,4	2	60	60	69,06
15	13	8	8,54	5,1	2	60	60	81,93
16	13	6	8,54	3,7	2	60	60	60,69
17	13	6	8,54	3,4	2	60	60	54,91
18	13	5	8,54	3	2	60	60	45,11
19	13	1	8,54	0,467	2	60	60	3,474
20	13	1	8,54	0,570	2	60	60	4,12
21	13	12	8,57	7,1	6	60	60	91,23
22	13	8	8,4	5,2	3	60	60	43,83
23	13	15	8,38	5,3	7	60	60	99,02
24	13	16	8,38	6,8	9	60	60	96,70
25	13	7	8,77	4,2	4	60	60	46,56
26	13	10	8,9	5,9	5	60	60	77,94
27	13	7	8,43	4,3	8	60	60	35,88

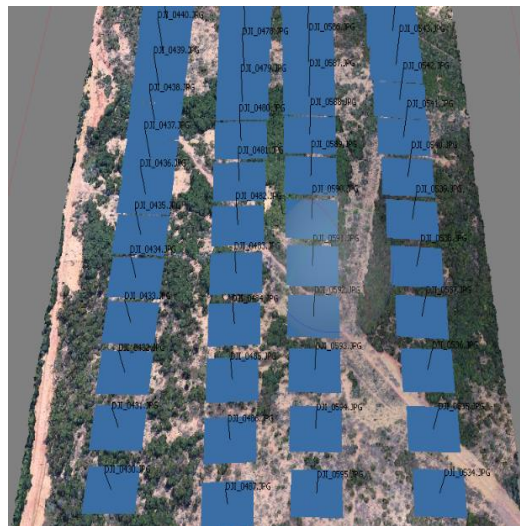
4.2.3 Processamento das Imagens

O processamento das imagens foi realizado no *software Agisoft PhotoScan Professional*. Esta plataforma é comumente utilizada para processamento de imagens capturadas por VANTs, na qual permite-se criar modelos de ortofotos de alta resolução.

Devido a quantidade de imagens geradas e a disposição das áreas a serem mapeadas, o processamento deu-se da seguinte maneira: os voos realizados em área contínua, ou seja, os polígonos do planejamento de voo que tangenciaram o polígono seguinte, foram processados conjuntamente; já as áreas que apresentaram interseção com outras áreas, foram processadas de forma independente. Sendo assim, realizou-se um processamento para os voos de 1 a 20 (1360 fotos) e outro para os voos 23 e 24 (313 fotos). Os voos 21 (125 fotos), 22 (83 fotos), 25 (81 fotos), 26 (96 fotos) e 27 (67 fotos) foram processados um a um por ocorrerem em áreas descontínuas (Figura 6).

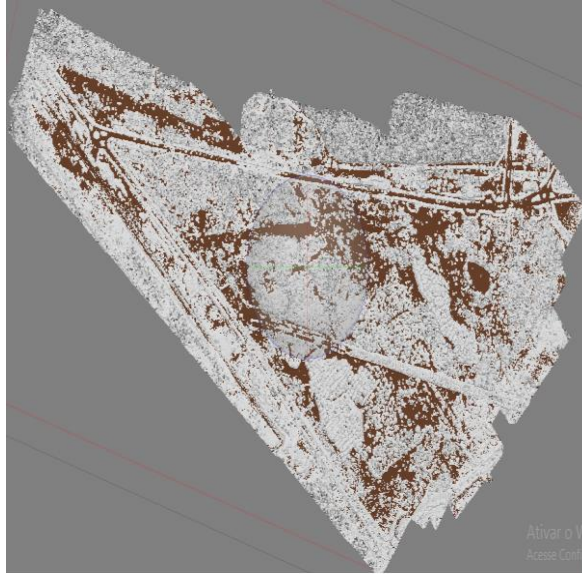
A primeira etapa do processamento foi constituída pelo alinhamento das fotos, etapa na qual o *software* busca semelhança entre as imagens selecionando pontos homólogos nas fotografias, possibilitando o cálculo dos parâmetros, as posições dos pontos e os parâmetros de rotação da imagem (TOMMASELLI, 2009). A partir de então o software gerou uma nuvem de pontos não adensada para gerar um modelo de terreno. Não houve a seleção de pontos de controle artificiais neste trabalho, visto que a implantação de pontos de controle artificiais inviabilizaria a atividade dado o tamanho da área.

Figura 7 - Alinhamento das imagens para os voos 1 e 2 no *software Agisoft PhotoScan Professional* para a realização da coleta de imagens nas áreas do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



Na etapa seguinte foi realizada a densificação da nuvem de pontos, etapa fundamental para a formação do ortomosaico e geração do Modelo Digital do Terreno – MDT. Entre os níveis de densificação disponíveis no software, foi adotado o nível médio, gerando cerca de 200 milhões de pontos tridimensionais para todos os processamentos dos voos, totalizando um tempo de processamento aproximado de 24 horas. Logo após, a partir da classificação da nuvem de pontos onde foram filtrados os pontos acima do solo gerando a classe do terreno (Figura 7), produzido o MDT. Para todos os modelos digitais de elevação (MDE) foi atribuído 0 à superfície mais baixa mapeada. A altitude não foi levada em consideração para a geração do MDE neste trabalho, portando todos os modelos apenas representam os valores de altura contidos nas áreas.

Figura 8 - Classificação do terreno elaborada no *software Photoscan* para a realização do MDE nas áreas do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



A ortofotomosaico foi elaborada por meio do processo chamado de ortorretificação, onde as fotografias assumem uma projeção ortogonal ao solo, possibilitando o observador visualizar a imagem em um único plano. É importante mencionar que não foram utilizados pontos de controle neste trabalho, incumbindo ao programa realizar, maneira automática, esta tarefa (AGISOFT, 2016).

4.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ORTOFOTOS

As ortofotomosaicos geradas foram exportados no formato Geotiff com projeção UTM, projeção padrão em diversos produtos cartográficos e com o sistema de referência geodésico WGS 84, a partir de então realizou-se a vetorização das áreas mapeadas. Nesta fase o processo de vetorização visou a geração de mapa contendo informações sobre o estado de cobertura que a área do PRAD apresentava, sendo definidas cinco classes de cobertura: cobertura vegetal, zona de interseção, solo exposto, solo degradado e outros usos (Tabela 3). Adotou-se uma escala de visualização de 1:800 em virtude da elevada resolução espacial das imagens, desta forma obteve-se uma maior precisão entre os limites das classes geradas (TOMMASELLI, 2009).

Tabela 3 - Descrição das classes de cobertura consideradas no estudo para a realização da classificação da ortoimagem nas áreas do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Classes	Descrição	Imagem no campo
Cobertura vegetal	Áreas com cobertura vegetal mais homogênea e contínua. Para esta classe são atribuídas diferentes texturas de vegetação, sendo elas: lisas, rugosas, rasteiras ou não.	
Zona de interseção	Áreas com escassa cobertura vegetal, parcial e heterogênea. Esta classe é caracterizada por apresentar elementos de cobertura pontuais intercalados por áreas de solo exposto.	
Solo exposto	Área com ausência de cobertura vegetal. Esta classe é composta por áreas de solo exposto de coloração marrom-clara, sendo atribuído a presença de camada de solo superficial ou <i>topsoil</i> .	
Solo degradado	Áreas com ausência de cobertura vegetal. Classe correspondente a exposição de solo estéril. Possui coloração magenta e textura rugosa geralmente devido a presença de sulcos de erosão no solo.	
Outros	Classe atribuída aos aspectos não inerentes ao PRAD. Nesta classe estão inclusas áreas de infraestrutura (estradas, pátios de estocagem de madeira, e áreas de pátios de operação etc.) que compõem o polígono do PRAD mas não estão em processo de recuperação.	

O método empregado baseou-se em fotointerpretação a partir do reconhecimento de áreas homogêneas com características de tonalidade e cor, forma e tamanho padrão, textura, associação e sombra (POLITANO, 1994). Tendo em vista que imagem possui alto grau de resolução espacial e detalhamento, não houve dificuldades maiores neste processo. Pode-se citar como exemplo a diferenciação das áreas de cobertura vegetal e zona de interseção, onde

percebe-se nitidamente a diferença de tonalidade e textura entre as duas classes. A classe cobertura vegetal apresenta coloração e textura contínuas, diferente da classe zona de interseção, na qual percebe-se texturas heterogêneas compondo a classe. A vetorização de classificação foi gerada a partir do *software* ArcGis-ArcMap, versão 10.1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produtos gerados pelo VANT

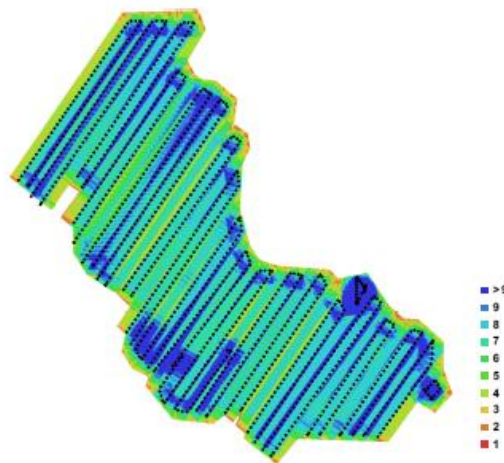
Foram gerados sete mosaicos por meio do processo de georreferenciamento e ortorretificação das imagens obtidas, que resultaram em ortofotos finais, relatórios com informações sobre o mosaico e os modelos digitais de elevação do terreno (MDT).

Os modelos de elevação da superfície tiveram alta resolução espacial, os resultados ficaram abaixo de 1m/pixel. Modelos digitais de elevação de terreno gerados pelo satélite IKONOS, considerado um satélite de alta resolução, possuem resolução de 4m/pixel (LUIZ et al., 2007). Os produtos de elevação gerados apresentam alta resolução espacial.

5.1.1 Área correspondente aos voos 1 a 20

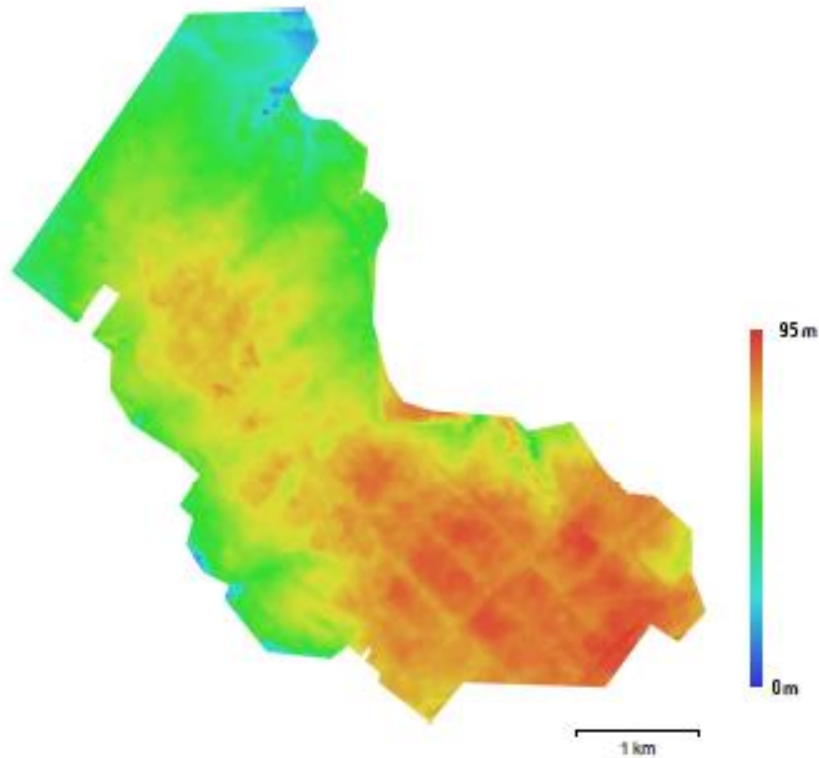
O nível de sobreposição das imagens realizadas para a área que abrange os voos 1 a 20 foi bom, obtendo-se níveis acima de oito imagens durante todo o processo. Este nível é considerado ideal para a geração de modelos de elevação (CASSEMIRO; PINTO, 2014).

Figura 9 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área dos voos 1 a 20, coletados para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



O modelo digital de superfície do terreno da área representada pelos voos de 1 a apresentou resolução de 68,3 cm/pixel e densidade de pontos de 2,14/m² (Figura 9). O maior valor de altura encontrado foi de 95 metros.

Figura 10 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico gerado a partir dos voos 1 a 20 para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



A ortofoto final apresentou boa qualidade (resolução de 8,54 cm/pixel), valor equivalente ao desejado (definido no planejamento para 8,64 cm/pixel) para os parâmetros de voo utilizados nesta etapa (Figura 10). A área total mapeada foi de 1560 ha. Dentro desta área nota-se a diferença de tonalidade em certos espaços que pode ser explicado pela diferença de ajuste de câmera utilizada em alguns momentos da execução de voo, em alguns momentos do dia foi necessário alterar o valor do ISO da câmera, pois a incidência de radiação era muito elevada.

Figura 11 - Ortofoto final referente a área dos voos 1 a 20 para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



O erro geodésico médio alcançado para os voos 1 a 20 foi de 12,5m (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios do Erro de posição das imagens no mosaico da área correspondente aos voos 1 a 20 gerados pelo *software PhotoScan* para as ortofotos do para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

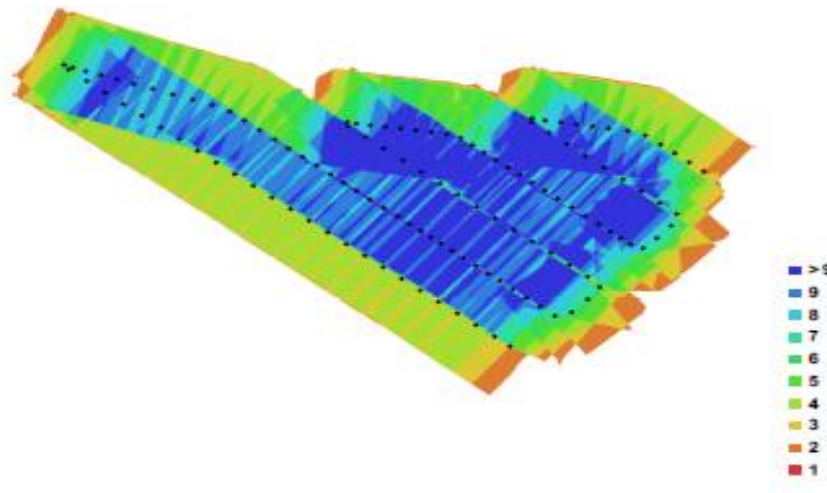
Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro Total (m)
6,34171	4,36606	9,85489	12,5059

5.1.2 Área correspondente ao voo 21

A área do voo 21 também obteve boa sobreposição de imagens, onde, em regiões mais centrais obteve-se um nível de sobreposição acima de 9 (Figura 11). Contudo, nas zonas mais periféricas, a sobreposição das imagens teve um nível um pouco abaixo do ideal, apresentando

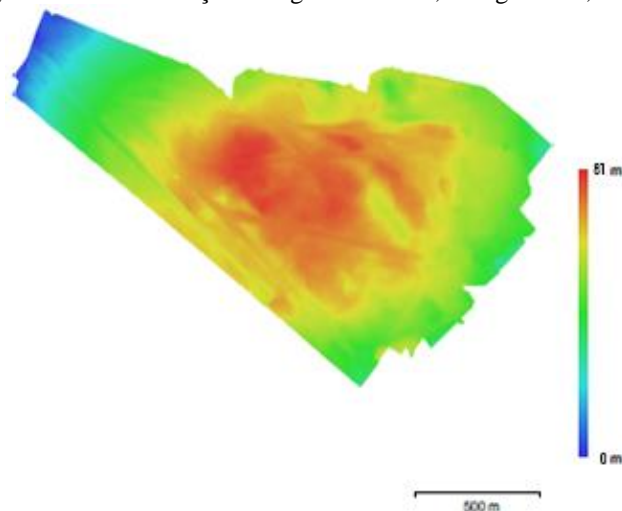
valores de 4 a 6 imagens sobrepostas. Contudo, estas áreas marginais não estão dentro da delimitação da área de estudo empregada para este trabalho.

Figura 12 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área do voo 21 coletados para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



O modelo digital de superfície do mosaico referente a área voo 21 apresentou resolução de 17,1 cm/pixel, densidade de 34,1 pontos/m² (Figura 12) e altura máxima de terreno de 81 metros, as zonas centrais do modelo apresentam os maiores valores de altura.

Figura 13 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área do voo 21 obtido para o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



A ortofoto final da área do voo 21 apresentou boa resolução espacial, gerando um valor de 8,57cm/pixel, com área total de mapeamento de 1,58 km² (Figura 13). O erro médio das imagens obtidas referente à área do voo 21 foi de 10,7 m (Tabela 5).

Figura 14 - Ortofoto final referente a área do voo 21 para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

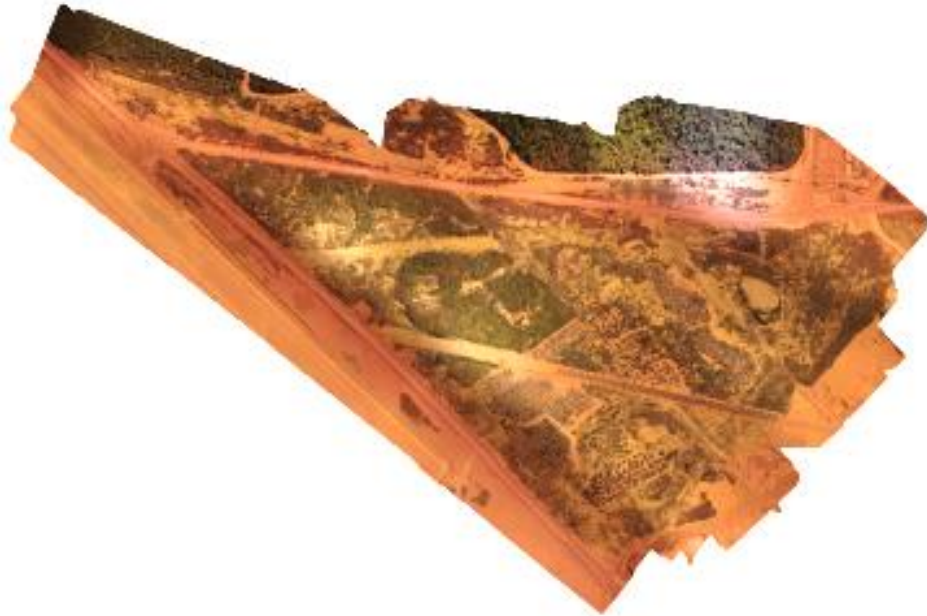


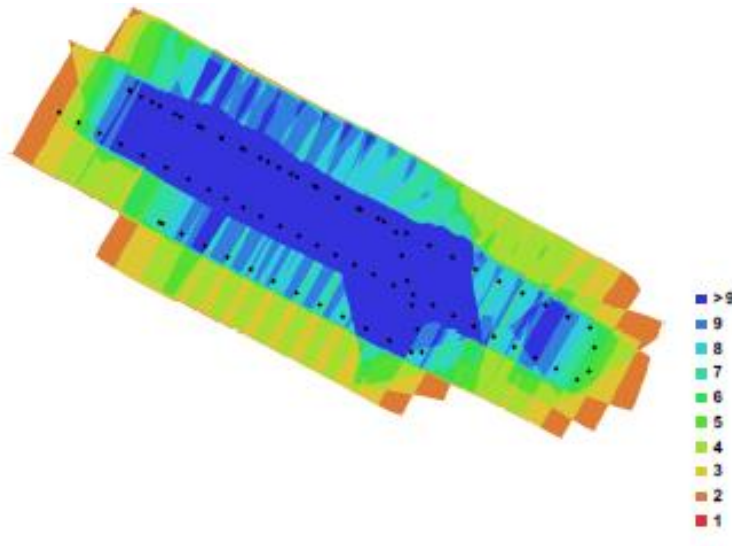
Tabela 5 - Erro médio da posição das imagens do mosaico da área correspondente ao voo 21 gerados pelo *software PhotoScan* para as ortofotos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro Total (m)
3,73235	3,25039	9,56903	10,766

5.1.3 Área correspondente ao voo 22

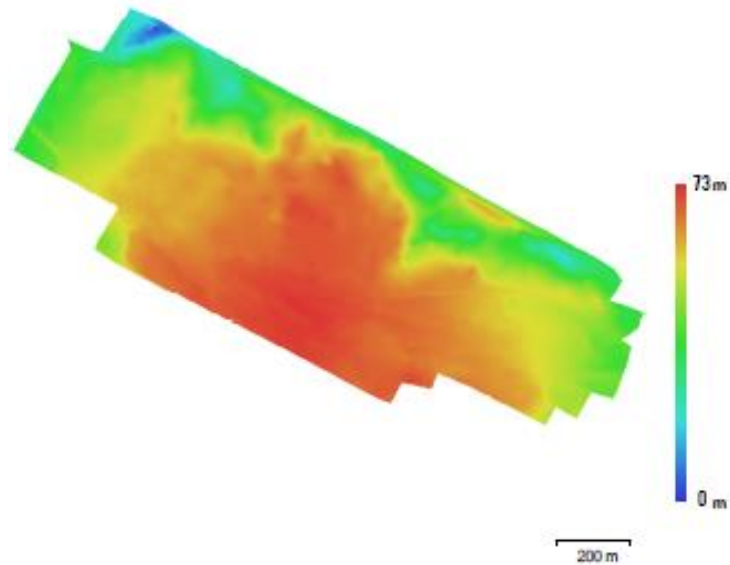
A área do voo 22 apresentou boa sobreposição de imagens, demonstrando, também, em regiões mais centrais, um nível de sobreposição acima de 9 (Figura 14).

Figura 15 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área do voo 22 obtido para a área do Plano de Recuperação de áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



O MDE para a área referente ao voo 22 apresentou resolução de 16,8 cm/pixel e densidade de 35,5 pontos/m² (Figura 15). O maior valor de altura encontrado na área foi de 73 metros.

Figura 16 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área do voo 22 obtido para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



A ortofoto final para a referida área possui resolução de 8,4 cm/pixel e cobriu uma área de 0,966 km² (Figura 16). A imagem também apresentou sombreamento em alguns pontos. O valor do erro total de localização foi de 8,99 metros. O valor médio do erro gerado no voo 22 foi de 8,9 (Tabela 6).

Figura 17 - Ortofoto final referente a área do voo 22 obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

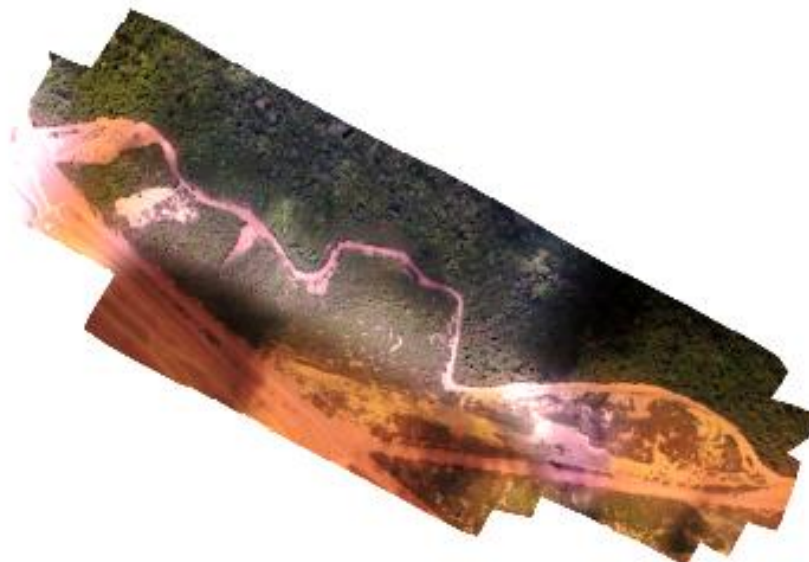


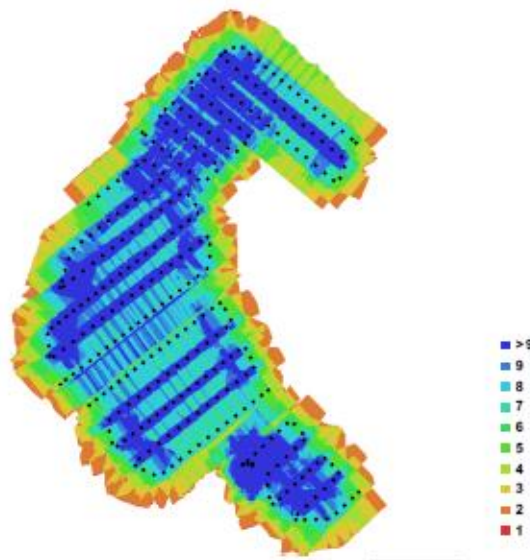
Tabela 6 - Valores médios de erro da posição das imagens do mosaico da área correspondente ao voo 22 gerados pelo *software PhotoScan* para as ortofotos do para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro Total (m)
4,60244	2,96178	7,12718	8,98617

5.1.4 Área correspondente aos voos 23 e 24

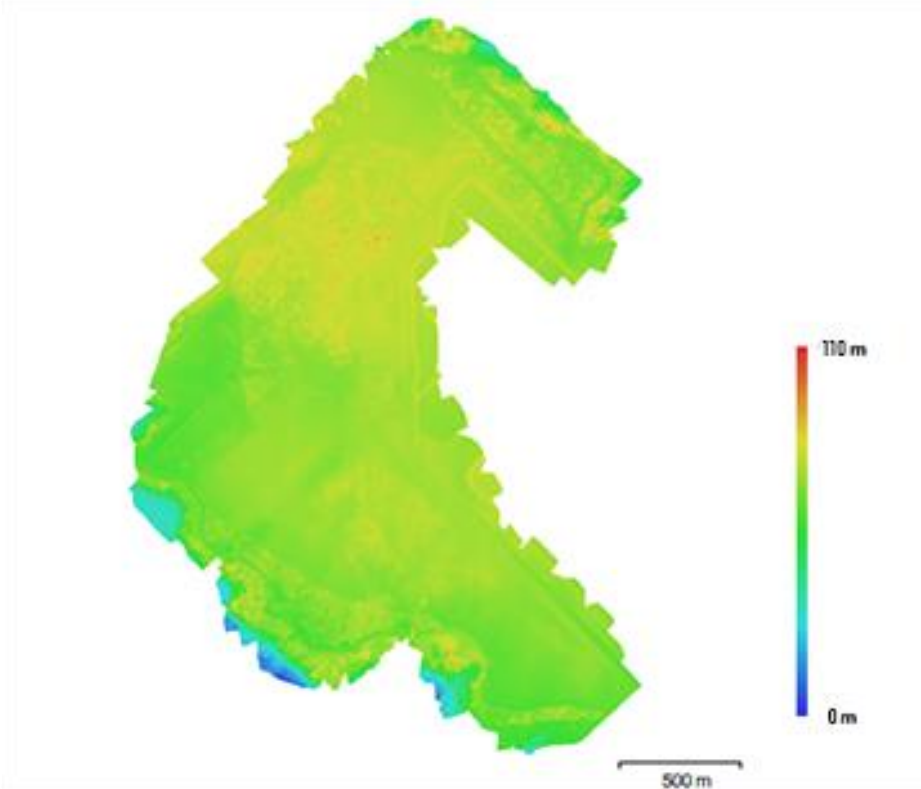
A área referente aos voos 23 e 24 apresentou boa sobreposição de imagens (figura 17), em alguns pontos ocorreu um nível de sobreposição acima de 9 e em outros variam de 6 a 8. As zonas marginais tiveram baixos níveis de sobreposição. A resolução deste MDE foi de 33,5 cm/pixel e a densidade de 8,9 pontos/m².

Figura 18 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área dos voos 23 e 24 obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



O MDE para área dos voos 23 e 24 apresentou resolução de 33,5 cm/pixel e densidade de 8,9 pontos/m², a altura máxima encontrada foi de 110 metros (Figura 18). Contudo este modelo mostrou-se como o mais plano entre todos, se for levado em consideração a composição total da área.

Figura 19 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área dos voos 23 e 24 obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



Para a área referente aos voos 23 e 24, a ortofoto final apresentou resolução de 8,38 cm/pixel e mapeou uma área de 3,57 km² (Figura 19). A imagem apresenta boa nitidez e baixa ocorrência de sombreamento. O erro médio da posição das imagens referentes aos voos 23 e 24 foi de 8,4m (Tabela 7).

Figura 20 - Ortofoto final referente a área dos voos 23 e 24 obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



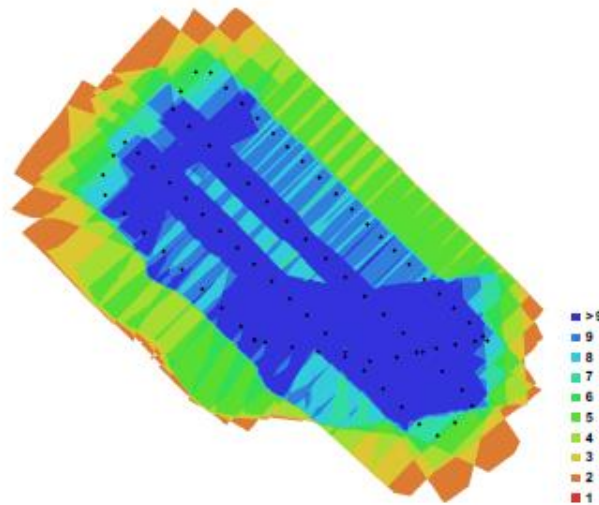
Tabela 7 - Erro médio da posição das imagens do mosaico da área correspondente aos voos 23 e 24 gerados pelo software *PhotoScan* para as ortofotos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro Total (m)
5,12602	3,8013	5,46204	8,39999

5.1.5 Área correspondente ao voo 25

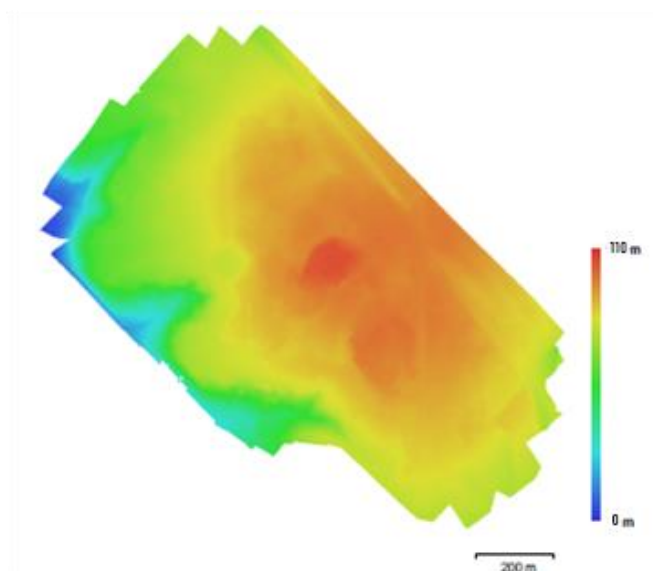
Nas regiões mais centrais da imagem, o modelo apresentou bom nível de sobreposição, de 8 a acima de 9, e nas áreas periféricas obteve um resultado um pouco abaixo do ideal, apresentando níveis abaixo de 7 (Figura 20).

Figura 21 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área do voo 25.



A resolução para este modelo de elevação foi de 35,1 cm/pixel e densidade de 8,13 pontos/m². As zonas centrais apresentam os maiores valores de altura, chegando a 110 metros (Figura 21).

Figura 22 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área do voo 25, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



A ortofoto final apresentou resolução de 8,77 cm/pixel e mapeou uma área de 0,96 km². A imagem apresenta boa nitidez, contudo relativa ocorrência de sombreamento (Figura 22). A imagem apresentou erro médio total de 7,63 m (Tabela 8).

Figura 23 - Ortofoto final referente a área do voo 25, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

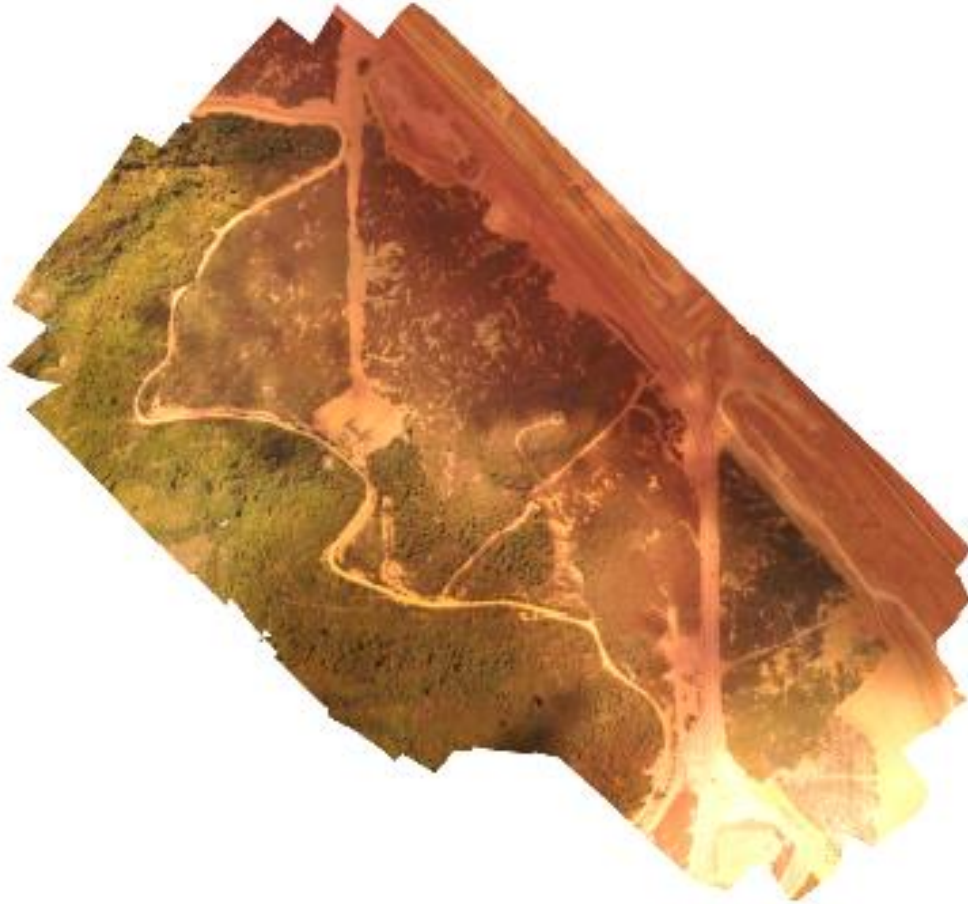


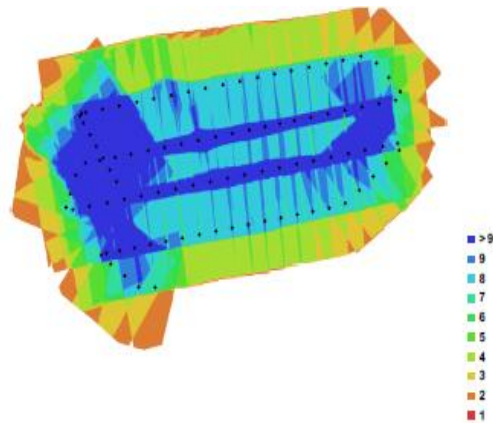
Tabela 8 - Erro médio da posição das imagens do mosaico da área correspondente ao voo 25, gerados pelo *software PhotoScan* para as ortofotos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro Total (m)
3,80978	3,26133	5,7476	7,628

5.1.6 Área correspondente ao voo 26

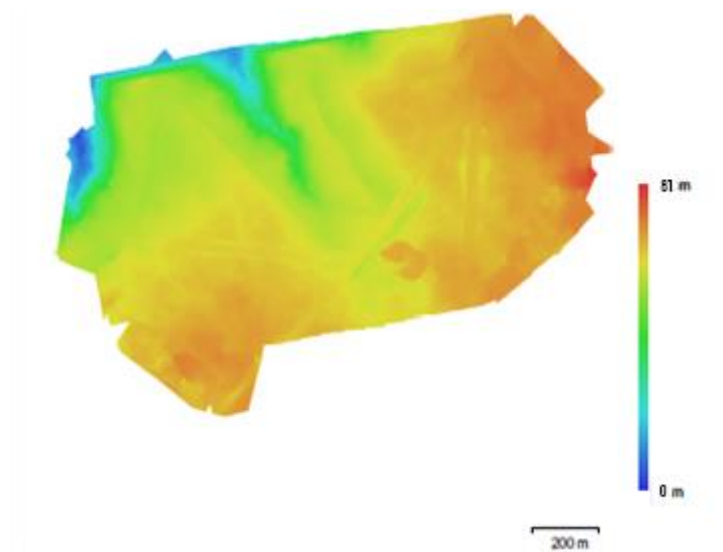
O nível de sobreposição para esta área também é considerado bom, com sobreposição acima de 9 imagens nas áreas centrais do modelo (Figura 23).

Figura 24 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área do voo 26.



O MDE apresentou resolução de 17,8 cm/pixel e densidade de 31,5 pontos/m². O maior valor de altura encontrado foi de 81 metros, ocorrendo nas áreas periféricas. A figura 24 mostra a composição do MDE para esta área.

Figura 25 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área do voo 26, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



A ortofoto final, que pode ser observada na figura 25, obteve resolução de 8,9 cm/pixel, com cobertura de mapeamento de 1,31 km². O erro total da posição geográfica das imagens foi de 8,7m (Tabela 9).

Figura 26 - Ortofoto final referente a área do voo 26, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



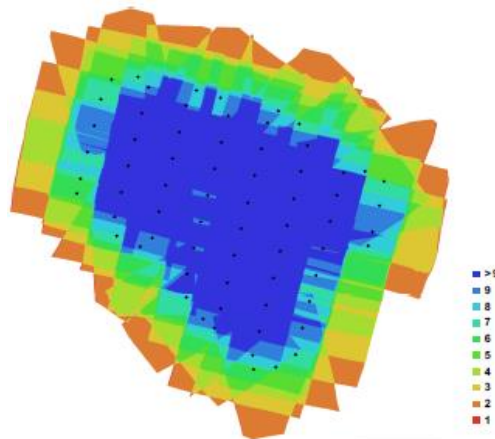
Tabela 9 - Erro médio da posição das imagens do mosaico da área correspondente ao voo 26, gerados pelo *software PhotoScan* para as ortofotos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro Total (m)
6,92301	5,21003	1,18446	8,74502

5.1.7 Área correspondente ao voo 27

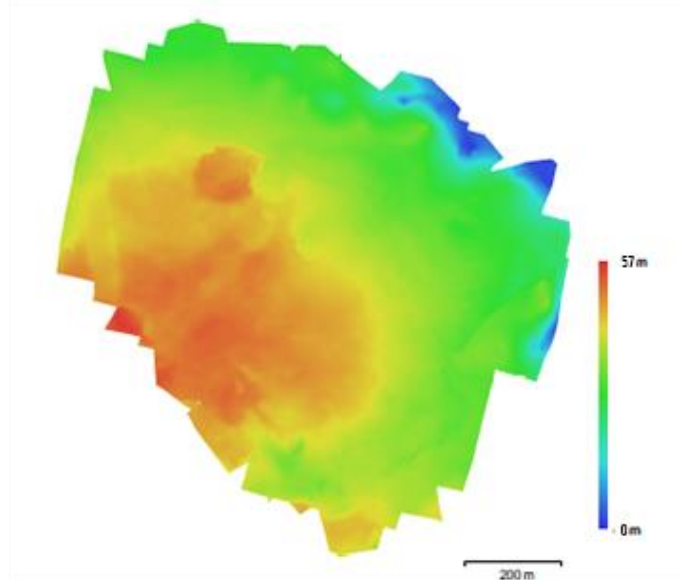
O mosaico apresentou boa sobreposição de imagens, principalmente nas faixas centrais, estabelecendo, assim, boa qualidade ao modelo (Figura 26).

Figura 27 - Posição das imagens coletadas e nível de sobreposição entre elas no mosaico referente a área do voo 27.



O modelo digital de elevação apresentou resolução 33,7 cm/pixel e densidade de 8,8 pontos/m². A altura máxima encontrada foi de 57 metros (Figura 27).

Figura 28 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do mosaico referente a área do voo 27, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



A ortofoto final gerada apresentou boa nitidez e resolução de 8,43 cm/pixel, mapeando uma área de 0,762 km² (Figura 28). O erro médio total foi de 6,5 (Tabela 10).

Figura 29 - Ortofoto final referente a área do voo 27, obtida para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

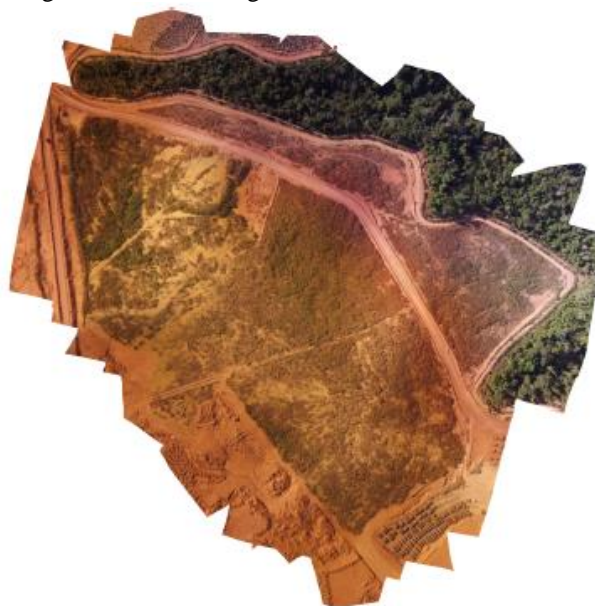


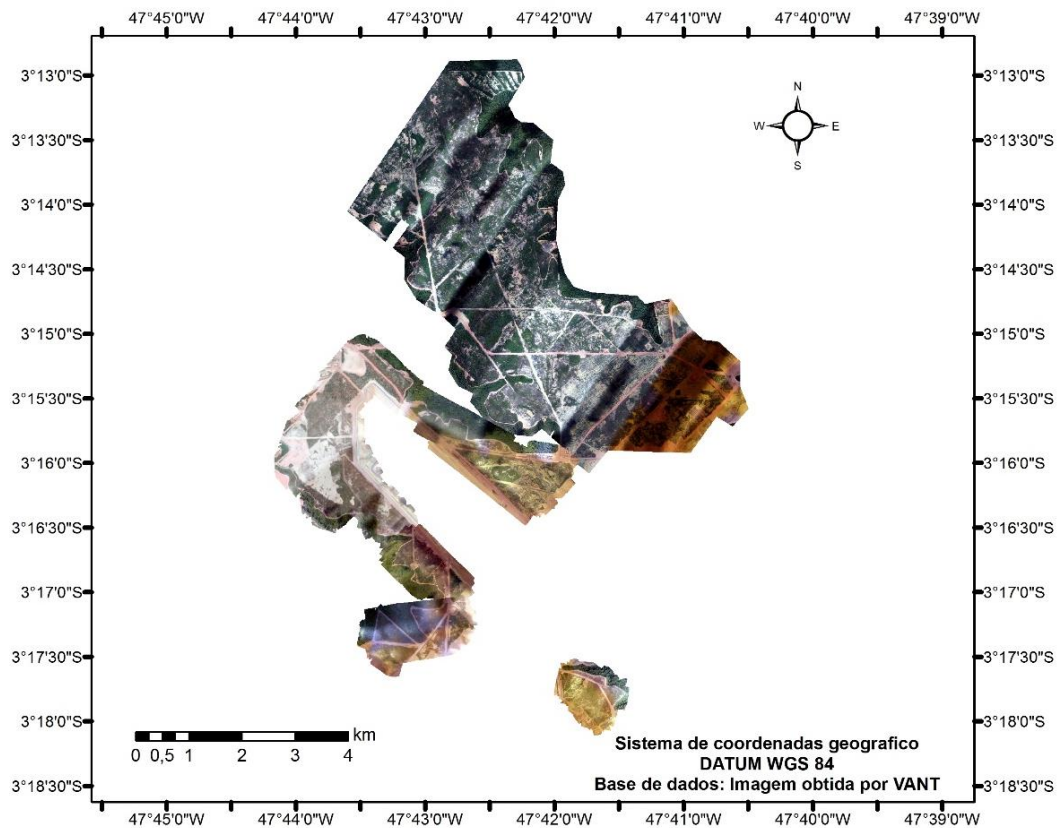
Tabela 10 - Erro médio da posição das imagens do mosaico da área correspondente ao voo 27, gerados pelo software *PhotoScan* para as ortofotos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro Total (m)
3,60937	5,11276	1,77781	6,50603

5.1.8 Ortoimagem

A figura 29 representa o mapa gerado a partir da união de todas as ortofotos geradas no processo. Os mosaicos mapearam um total de 24,78 km², gerando uma ortoreimagem com resolução média de 8,65 cm/pixel, dando a imagem o caráter de alta resolução espacial para o mosaico completo.

Figura 30 - Mapa elaborado a partir da união de todas as ortofotos geradas no processo. Área referente do Plano de Recuperação de Área Degradada (2009-2016) da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



A qualidade final das imagens obtidas neste trabalho contrasta-se com aquelas imagens disponíveis por imageamento obtidas por satélite. A figura 30 demonstra os detalhes alcançados no mosaico gerado através da comparação de imagem de satélite obtida pelo *Google Earth*.

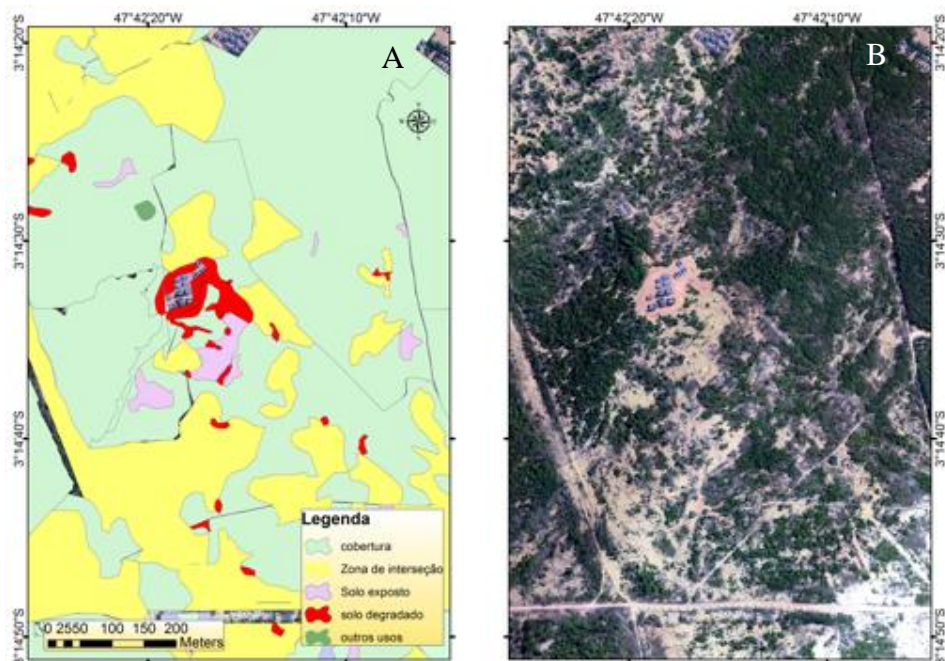
Figura 31 - Comparação entre imagem do mosaico gerado (A) e imagem obtida no programa computacional *Google Earth* (B). Áreas referentes do Plano de Recuperação de Área Degradada da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



5.2 Classificação da ortofotagem

Com base na interpretação visual da ortofoto gerada, juntamente com avaliação em campo, foram definidas 5 classes de uso do solo nos 1633,36 hectares da área de estudo que compreende o PRAD da Mineração Paragominas S.A. (Figura 31).

Figura 32 – Vetorização da ortofoto no software Arcgis – 10.1 (A) e ortofoto gerada por VANT (B). Área referente do Plano de Recuperação de Área Degradada (2009-2016) da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



Dentre as classes avaliadas, foi observada a predominância da classe cobertura vegetal, ocupando uma área de 1027,47 ha, correspondendo a 62,91% da área total estudada. Em seguida, nota-se a classe zona de interseção, ocupando 469,09 ha, 28,72% da área total. A tabela 11 representa quantitativamente o grau de ocupação em cada uma das classes contidas no estudo.

Tabela 11 - Área e percentual de ocupação das classes na área total estudada para o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

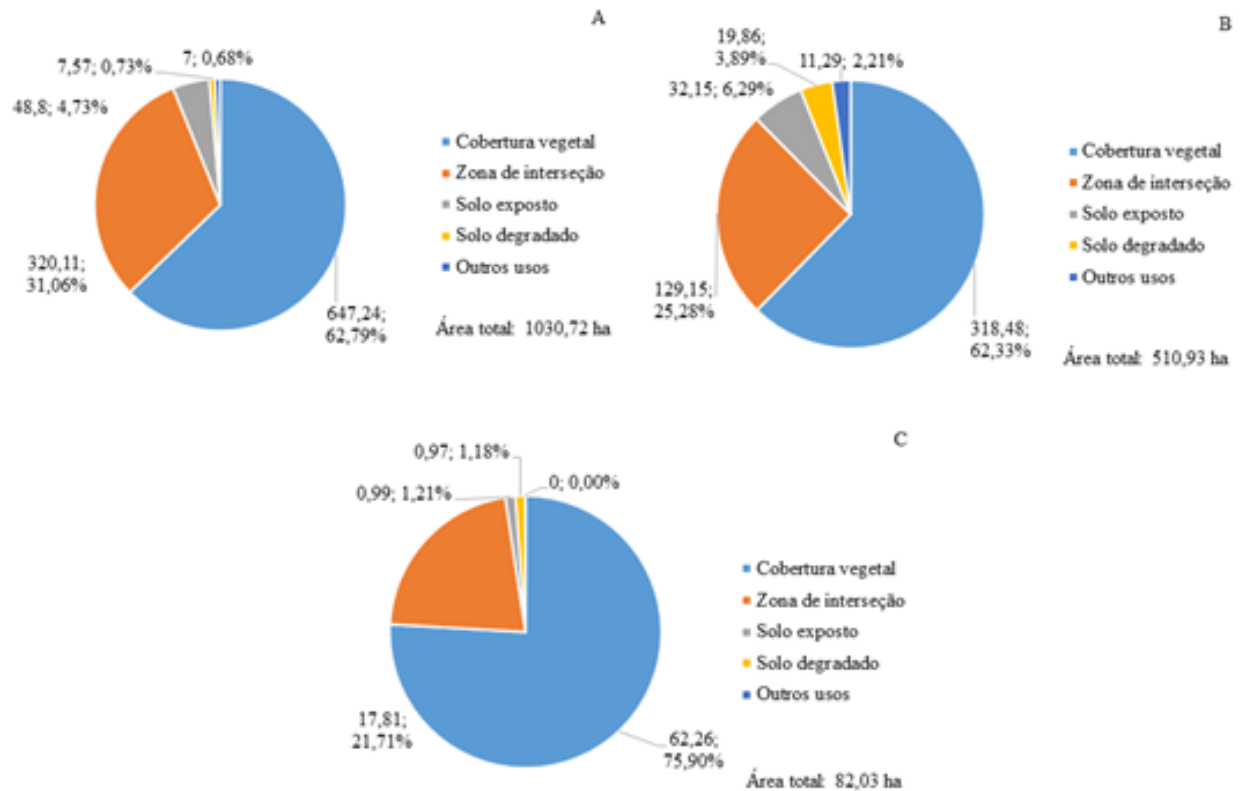
Classes	Cobertura vegetal	Zona de interseção	Solo exposto	Solo degradado	Outros	Total
Área (ha)	1027,47	469,09	85,54	29,12	22,14	1633,36
Valor (%)	62,91	28,72	5,24	1,78	1,36	100

Nas figuras 32 (A, B e C), observa-se os dados referentes a classificação das áreas definidas de acordo com os métodos de restauração adotados. Para a área de 1030,72 ha, referente ao método de plantio de mudas (Figura 32A), ocorreu predominância da classe cobertura vegetal, ocupando área de 647,24 ha, correspondendo a 62,79% da área total. A classe zona de interseção ocupou uma área de 320,11 ha, representando 31,06% da área total. A classe solo exposto ocupou 48,8 ha, seguida pelas classes solo degradado e outros usos, com valores de área de 7,57 e 7 ha, respectivamente. O método de plantio de mudas é o que possui maior taxa de ocupação dentro do espaço estudado, ocupando 63,48% da área total do PRAD.

Na figura 32B são apresentados as percentuais e tamanho de área de ocorrência das classes de ocupação do solo referentes ao método de regeneração natural. A classe cobertura vegetal predominou, ocupando 318,18 ha, 62,33% do total, e a classe zona de interseção 129,15 ha, 25,28% da área total de regeneração natural (510,93 ha). A classe solo exposto e solo degradado representam cerca de 10% da área.

A figura 32C demonstra as taxas de ocupação das classes referente ao método de nucleação. A classe cobertura vegetal apresentou a maior taxa de ocorrência, expressando-se em 75,9% do espaço analisado, ocupando 62,26 ha. A classe zona de interseção foi a que obteve a segunda maior taxa de ocupação com 17,81 ha, 21,71% da área de análise.

Figura 33 - Taxa de ocupação das classes no método de restauração via plantio de mudas (A), regeneração natural (B) e nucleação (C).



As taxas de ocorrência das cinco classes para o método de plantio de mudas a partir dos anos de 2009 a 2016 (Tabela 12). Para a classe cobertura vegetal, os anos 2009, 2010 e 2012, foram os que expressaram os maiores valores percentuais de ocorrência, sendo estes de 97,2%, 90,2% e 80,1%, respectivamente, totalizando uma área de 208,09 hectares.

A classe zona de interseção demonstrou os maiores valores percentuais de ocorrência para os anos de 2015 e 2016, com 57% e 37,2%, respectivamente. Este resultado era esperado, visto que em área mais recentes de implantação do PRAD, a sucessão ecológica ainda está nos estágios iniciais, portanto não existe cobertura homogênea da vegetação.

Para a classe solo exposto o ano de 2014 foi o que apresentou maior valor representativo, totalizando uma de 32,3 ha, 13,4% da área total do método de plantio de mudas do ano. As classes solo degradado e outros usos apresentam os menores valores percentuais.

Tabela 12 -Taxas de ocupação das classes no plantio de mudas em função dos anos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Plantio de mudas						
Ano	Cobertura vegetal	Zona de interseção	Solo exposto	Solo degradado	Outros usos	Total
Hectares						
2009	70,1 (97,2%)	0,1 (0,2%)	0,4 (0,6%)	0,4 (0,5%)	1,2 (1,6%)	72,13
2010	56,0 (90,2%)	5,3 (8,6%)	0,002 (0,00%)	0,02 (0,0%)	0,7 (1,2%)	62,08
2011	92,0 (74,6%)	23,6 (19,2%)	5,1 (4,1%)	0,9 (0,7%)	1,8 (1,4%)	123,31
2012	59,2 (80,1%)	14,5 (19,6%)	0,04 (0,1%)	0,1 (0,2%)	0,0 (0,0%)	73,88
2013	62,6 (63,6%)	35,2 (35,8%)	0,33 (0,3%)	0,3 (0,3%)	0,003 (0,0%)	98,39
2014	149,6 (61,8%)	58,4 (24,1%)	32,3 (13,4%)	1,7 (0,7%)	0,007 (0,0%)	241,88
2015	92,4 (37,2%)	141,5 (57,0%)	7,8 (3,1%)	2,7 (1,1%)	4,0 (1,6%)	248,37
2016	65,4 (58,5%)	41,5 (37,2%)	2,9 (2,6%)	1,61 (1,4%)	0,1 (0,1%)	111,40

As taxas de ocupação das classes para a área que compõe o método de regeneração natural para os anos de 2009, 2010, 2011, 2012, 2014 e 2015 (Tabela 13). A classe cobertura vegetal ocorreu de forma predominante, e o ano de 2014 apresentou o maior valor absoluto de ocupação, totalizando 147,5 ha, 65,6% da área total referente a regeneração natural 2014.

Contudo, o ano de 2011 foi o que apresentou o maior valor percentual de ocupação da classe cobertura vegetal, sendo composta por 95,3% da área total. A classe zona de interseção ocorreu em seu maior valor espacial no ano de 2012, ocupando área de 38,9 ha, representando 22% da área total, em relação aos valores percentuais, o ano de 2015 foi o que apresentou o maiores valores, chegando ao resultado de 43,5% de ocupação da classe. A classe solo exposto, no ano de 2014, apresentou uma área de 11 ha, 4,5% da área total do referido ano.

Tabela 13 - Taxas de ocupação das classes na regeneração natural em função dos anos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Regeneração natural						
Ano	Cobertura vegetal	Zona de interseção	Solo exposto	Solo degradado	Outros	Total
Hectares						
2009	16,9 (80,5%)	0,5 (2,3%)	0,6 (2,8%)	0,1 (0,4%)	3,0 (14,0%)	21,0
2010	27,2 (63,1%)	9,9 (23,0%)	3,3 (7,7%)	1,9 (4,4%)	0,8 (1,9%)	43,1
2011	4,2 (95,3%)	0,2 (4,7%)	0,0 (0,0%)	0,0 (0,0%)	0,0 (0,0%)	4,4
2012	115,9 (65,6%)	38,9 (22,0%)	7,4 (4,2%)	8,8 (5,0%)	5,7 (3,2%)	176,7
2014	147,5 (60,5%)	65,8 (27,0%)	11,0 (4,5%)	7,7 (3,2%)	1,8 (0,7%)	243,8
2015	6,8 (21,3%)	13,9 (43,5%)	9,9 (31,0%)	1,3 (4,2%)	0,01 (0,0%)	31,9

Os resultados de ocupação das classes contidas na área de nucleação nos anos de 2014 e 2015 (Tabela 14). A classe cobertura vegetal mostrou-se mais uma vez predominante em relação as outras classes, ocupando cerca de 70% nos dois anos que foram feitas as avaliações de cobertura. O ano de 2014 é composto por 79,6% da classe cobertura vegetal, ocupando 43 ha da area total para o referido ano. A classe zona de interseção apresentou maior valor percentual no ano de 2015, 25,9% da área destinada ao método, e para o ano de 2014 obteve o maior valor em área, 10,4 ha. As demais classes apresentaram baixos valores respresentativos.

Tabela 14 - Taxas de ocupação das classes na nucleação em função dos anos para a área do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.

Nucleação						
Ano	Cobertura	Zona de interseção	Solo exposto	Solo degradado	Outros	Total
Hectares						
2014	43 (79,6%)	10,4 (19,3%)	0,1 (0,2%)	0,4 (0,8%)	0,0 (0,0%)	54
2015	19,3 (67,9%)	7,4 (25,9%)	0,9 (3,0%)	0,5 (1,6%)	0,4 (1,5%)	28,4

É interessante ressaltar a necessidade de avaliar de maneira mais específica as classes cobertura vegetal e zona de interseção, pois a elas podem ser atribuídas outras variáveis, ramificando estas classes por atributos mais intrínsecos e direcionados. Também há de se destacar a importância das classes solo exposto e solo degradado, estudos realizados na área apontam que em dado momento do processo sucessional, a falta de cobertura do solo pode ocasionar reversão de progressão dos parâmetros fitossociológicos da área (NETO, 2017). Portanto, são classes que, mesmo que ocorram em menores números, devem demandar uma atenção maior quanto ao seu monitoramento.

6 CONCLUSÃO

A geração dos modelos de elevação do terreno, bem como as ortoimagens obtidas com o VANT apresentam alta qualidade e boa resolução, quando comparadas aos métodos convencionais.

A ortofoto geral obtida através dos mosaicos gerados neste trabalho constitui um produto de excelente qualidade para a realização da avaliação do uso e cobertura do solo.

Existem cinco classes de uso e cobertura do solo na área de estudo, sendo predominantes as classes de cobertura vegetal e zona de interseção.

Recomenda-se traçar estratégias específicas para as áreas referentes as classes de solo exposto e solo degradado, pois são áreas que apresentam maior vulnerabilidade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais no estado de Goiás.** 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

AGISOFT. **Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.2.** 2016. Disponível em: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf. Acesso em: 10 ago. 2017.

BARROS, D. A.; GUIMARÃES, J. C. C.; PEREIRA, J. A. A.; BORGES, L. A. C.; SILVA, R. A.; PEREIRA, A. A. S. Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts. **Revista Escola de Minas**, v. 65, n. 1, p. 127-133, 2012.

BRAGA, C. C.; DANTAS, F. R. C.; NEVES, D. N. Estimativa da cobertura vegetal no setor leste de Pernambuco utilizando dados do AVHRR/NOAA. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 3, p. 99-107, 2009.

BECHARA, F. C. **Restauração ecológica de restingas contaminadas por Pinus no Parque Florestal do Rio Vermelho, Florianópolis, SC.** 2003. 125 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BECHARA, F. C. **Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras:** Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga. 2006. 249 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Plano Nacional da Mineração.** Brasil: Brasília (DF), 2011.

CABRAL JUNIOR, M.; SUSLICKA, S. B.; OBATA, O. R.; SINTONI, A. A mineração no Estado de São Paulo: situação atual, perspectivas e desafios para o aproveitamento dos recursos minerais. **Geociências**, v. 27, n. 2, p. 171-192, 2008.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Imagens de alta resolução espacial de veículos aéreos não tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo. **Anuário do Instituto de Geociências**, vol. 38, n. 1, p. 147-156, 2015.

CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B. **Composição e processamento de imagens aéreas de alta-resolução obtidas com drone.** 2014. 80 f. Monografia (Graduação em Engenharia Eletrônica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

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

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015. **Status of the World's Soil Resources**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2017.

FIEDLER, P. L.; WHITE, P. S.; LEIDY, R. A. The paradigm shift in ecology and its implications for conservation. In: PICKETT, S. T. A.; OSTFELD, R. S.; SHACHAK, M.; LIKENS, G. E. (Eds.). **The ecological basis of conservation: heterogeneity, ecosystems and biodiversity**. New York: Chapman and Hall, 1997. p. 83-92.

FRANKS, S. J. Facilitation in multiple life-history stages: evidence for nucleated succession in coastal dunes. **Plant Ecology**, 168, p. 1-11, 2003.

GUIMARÃES, J. C. C.; CHAGAS, J. M.; CAMPOS, C. C. F.; ALECRIM, E. F.; MACHADO, F. S. Avaliação dos aspectos e impactos ambientais decorrentes da mineração de bauxita no sul de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, p. 321-333, 2012.

GUIMARÃES, J. C. C. **Restauração ecológica de áreas mineradas de bauxita na Mata Atlântica**. 2015. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

Hydro Mineração Paragominas. **Mina de bauxita**. Disponível em: <https://www.hydro.com/pt-BR/a-hydro-no-brasil/operacoes-no-brasil/paragominas/hydro-paragominas---mina-de-bauxita/>. Acesso em: 31 jul. 2015.

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). **Informações e análise da economia mineral brasileira**. 2012. 68 p.

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). **Informações sobre a economia mineral brasileira**. 2015. 25 p.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2º Distrito de Meteorologia, consulta genérica. Estação automática A202 Paragominas/PA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/climatologia>. Acesso em: 20 out. 2015.

INTERNATIONAL, G. **UAS en los Andes**. 2014. Disponível em: <http://pix4d.com/wp-content/uploads/2013/04/GIM-International-es-full.pdf>.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p.

JÚNIOR, L. R. A.; CÔRTEZ, J. B. R.; FERREIRA, M. E. Validação de mosaicos aerofotogramétricos utilizando fotografias obtidas com câmara digital não métrica acoplada a um VANT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 2157-2164.

LAVINA, L. N.; LINS, G. A.; COSTA, E.; ROCHA, D. C.; RACHID, E.; ALMEIDA, J. R.; Proposta de um plano de recuperação de área degradada por atividade de mineração. **Revista Internacional de Ciências**, v. 6, n. 1, 2016.

LINHARES, M. M. A. **Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de Índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum-MT.** 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

LONGHITANO, G. A. **VANT para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas.** 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração.** 2ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil Editora, 2010. 268 p.

MORTON, D. C., DEFRIES, R. S., SHIMABUKURO, Y. E., ANDERSON, L. O., ARAI, E., ESPIRITO-SANTO, F. B., FREITAS, R., MORISETTE, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **P. Natl. Acad. Sci.**, v. 103, n. 39, p. 14637-14641.

NERI, A. C.; SÁNCHEZ, L. E. A procedure to evaluate environmental rehabilitation in limestone quarries. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 2225-2237, 2010.

NETO, A. B. B. **Efeitos da restauração florestal sobre os atributos do solo e da vegetação após a mineração de bauxita em Paragominas, Pará.** 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2017.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações.** 3ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 363 p.

NUNES, P. H. F. **Mineração & meio ambiente: o desenvolvimento sustentável.** Curitiba: Juruá, 2006. 241 p.

PEGORARO, A. J.; PHILIPS, J. W. Quadrirotores/Microdrone como Portadores de Geosensores aplicados ao Cadastro Territorial. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 8461-8468. Disponível em: <http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A2QGQB>. Acesso em: 28 jul. 2017.

PEREIRA, V. H.; GRANDI, A. M.; LIZZONI, L.; BAUERMAN, H. B. Geotecnologia para o meio rural: avanços e potencial de utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs). In: KUHN, O. J.; NUNES, R. V.; STANGARLIN, J. R.; RAMPIM, L.; FEY, R.; COSTA, N. V.; COSTA, P. B.; GUIMARÃES, V. F.; ZAMBOM, M. A. P. **Ciências agrárias: tecnologias e perspectivas.** Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015. 360 p.

PINTO, A.; AMARAL, P.; SOUZA JR, C.; VERÍSSIMO, A.; SALOMÃO, R.; GOMES, G.; BALIEIRO, C. **Diagnóstico socioeconômico e florestal do município de Paragominas.** Belém: IMAZON, 2009. 65 p.

REIS, A.; BECHARA, F. C.; ESPINDOLA, M. B.; VIEIRA, N. K.; LOPES, L. Restoration of damaged land areas: using nucleation to improve successional processes. **Natureza & Conservação**, v. 1, 2003.

POLITANO, W. **Manual do emprego de imagens aéreas na avaliação do terreno.** Jaboticabal: FUNEP, 1994. 33 p.

RIBEIRO, S. S. **Avaliação da restauração florestal por meio de indicadores de monitoramento em áreas degradadas pela mineração de bauxita em Paragominas-PA.** 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 2016.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.; SILVA, J. M. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. **Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 51p.

RUIZ, M. S.; CORREA, R.; GALLARDO, A. L. C. F.; SINTONI, A. Abordagens de conflitos socioambientais em casos de subsidência de minas de carvão no Brasil e EUA. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 129-156, 2014.

SALOMÃO, R. P.; ROSA, N. A.; MORAIS, K. A. C. Dinâmica da regeneração natural de árvores em áreas mineradas na Amazônia. **Boletim do Museu Paranaense Emílio Goeldi, Ciências Naturais**, v. 2, n. 2, p. 85-139, 2007.

SANTOS, L. M. **Restauração de campos ferruginosos mediante resgate de flora e uso de topsoil no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais.** 2010. 241 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2010.

SANTOS, L. F. B. **Avaliação de modelo digital de terreno gerado através de VANT em planícies pantaneiras.** 2016. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá. 2016.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing - Models and Methods for Image Processing.** 3ed. San Diego: Academic Press, 2007. 515p.

Society for Ecological Restoration International (SER). Science and Policy Working Group. The SER primer in ecological restoration. **Society for Ecological Restoration International**, v. 2, p. 1-15, 2004.

SILVA, E. N.; SANTANA, A. C. Modelos de regressão para estimação do volume de árvores comerciais, em florestas de Paragominas. **Revista Ceres**, v. 61, n. 5, p. 631-636, 2014.

SILVA, K. A. **Avaliação de uma área em restauração pós-mineração de bauxita, município de Descoberto, MG.** 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2013.

TOMMASELLI, A. M. G.; OLIVEIRA, R. A.; MARCATO JUNIOR, J.; MEDEIROS, N. G. Avaliação dos resultados da fototriangulação de imagens orbitais coletadas pelo sensor HRC do satélite CBERS-2B. In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 4., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba. UFPR, p. 1-2.

TURNER D.; LUCIEER, A.; WATSON, C. An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, based on structure from motion (SFM) point clouds. **Remote Sensing**, v. 4, n. 5, p. 1392-1410, 2012.

UNITED STATES. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, USDA. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**. United States: USDA, 2017. 25 p. Disponível em: http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.PDF. Acesso em: 10 jul. 2017.

WALLACE, L.; LUCIEER, A.; WATSON, C.; TURNER, D. Development of a UAV-LiDAR System with application to forest inventory. **Remote Sensing**, v. 4, n. 6, p. 1519-1543, 2012.