



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

BRUNO TADEU BARROS DE CARVALHO

**UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA
AFERIÇÃO DE PRÁTICA MECÂNICA DE CONSERVAÇÃO DE
SOLO**

Londrina

2023

BRUNO TADEU BARROS DE CARVALHO

**UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA
AFERIÇÃO DE PRÁTICA MECÂNICA DE CONSERVAÇÃO DE
SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia da Universidade
Estadual de Londrina (UEL), como requisito para
obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Nardini Gomes

Londrina 2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

C331u Carvalho, Bruno Tadeu Barros de.
Utilização de aeronave remotamente pilotada na aferição de prática mecânica de conservação de solo / Bruno Tadeu Barros de Carvalho. - Londrina, 2023.
81 f.: il.

Orientador: Pr. Dr. Luciano Nardini Gomes.
Dissertação (Mestrado Profissional em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2023.
Inclui bibliografia.

1. aeronave remotamente pilotada (RPAs) - Tese. 2. conservação de solo - Tese. 3. modelo digital de elevação - Tese. 4. terraceamento agrícola - Tese. I. Gomes, Pr. Dr. Luciano Nardini. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

BRUNO TADEU BARROS DE CARVALHO

**UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA
AFERIÇÃO DE PRÁTICA MECÂNICA DE CONSERVAÇÃO DE
SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia da Universidade
Estadual de Londrina (UEL), como requisito para
obtenção do título de Mestre em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luciano Nardini Gomes
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Mauricio Moreira dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- UTFPR

Prof. Dr. Gustavo Spadotti Amaral Castro
Embrapa Territorial

Londrina, 23 de março de 2023.

AGRADECIMENTOS

É com grande satisfação que compartilho meu agradecimento pela conclusão de minha dissertação de mestrado na Universidade Estadual de Londrina. Esse trabalho não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de muitas pessoas incríveis, e é com grande gratidão que reconheço suas contribuições.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador, Luciano Nardini Gomes, pela sua orientação, apoio e inspiração durante todo o meu mestrado. Suas ideias e *insights* foram inestimáveis para o desenvolvimento do meu trabalho, e sua paciência e encorajamento me ajudaram a superar os momentos difíceis. Também quero agradecer aos colaboradores da Proppg - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, em especial, as responsáveis pela seção de apoio a graduação e pós graduação Izabel do Nascimento e Regina Braga pelo trabalho acolhedor e colaborativo que solucionaram diversas dúvidas e percalços no decorrer de todo o programa de pós-graduação.

Sou muito grato à banca examinadora do meu trabalho, composta pelos Professores Doutores: Luciano Nardini Gomes, Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame, Mauricio Moreira dos Santos e Gustavo Spadotti Amaral Castro, pelos comentários construtivos e sugestões valiosas que ajudaram a melhorar meu trabalho e a aprofundar meu conhecimento na área.

Gostaria de expressar minha gratidão aos colegas de aula e profissão, pela amizade, colaboração e discussões estimulantes que me ajudaram a crescer como pesquisador e como pessoa. Também quero agradecer aos outros professores do Departamento de Geografia, bem como a todos os funcionários da universidade, por tornar minha experiência na Universidade Estadual de Londrina tão agradável e produtiva.

Devo um agradecimento especial à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos que me permitiu dedicar-me integralmente ao meu mestrado. Sem essa ajuda financeira, eu não teria sido capaz de realizar meu trabalho e atingir meus objetivos acadêmicos. Sou profundamente grato por essa oportunidade e por todo o suporte que a CAPES oferece aos estudantes de pós-graduação em todo o Brasil.

Finalmente, gostaria de agradecer minha esposa, Angela Cristina Reis, pela sua compreensão, paciência e amor durante todos esses anos juntos e durante essa fase do processo de mestrado. Seu apoio inabalável e sua presença constante foram

uma fonte de força e inspiração, e não teria conseguido sem você.

Essas são apenas algumas das muitas pessoas que contribuíram para minha jornada no programa de pós-graduação. Todos vocês têm meu mais profundo respeito e gratidão, e espero que minha pesquisa possa retribuir, de alguma forma, os esforços que vocês fizeram por mim.

Sinceramente,

Bruno Tadeu Barros de Carvalho

"Dedico este trabalho à minha amada esposa Angela, cujo amor, apoio e inspiração têm sido uma fonte constante de motivação. A você, meu querido filho Gustavo, e a você, meu adorado filho Leandro, que são minha razão de ser e minha fonte de alegria, dedico este trabalho com todo o meu amor e gratidão. Que estas palavras possam sempre lembrá-los do quanto são amados e valorizados em minha vida.."

CARVALHO, Bruno Tadeu Barros. **Utilização de aeronave remotamente pilotada na aferição de prática mecânica de conservação de solo.** 2023. 81 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Londrina, 2023.

RESUMO

A pesquisa aborda o uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) na aplicação de práticas de conservação de solo, visando simplificar o processo de coleta, análise e processamento de dados de forma mais eficiente e econômica. Os RPAs são uma ferramenta valiosa para geógrafos e outras ciências da engenharia. A utilização de RPAs na geografia tem se mostrado essencial para estudos de terreno, cartografia, planejamento territorial e monitoramento ambiental.

Neste estudo específico, os RPAs foram empregados na coleta de dados aéreos topográficos para mitigar os efeitos da erosão hídrica, um desafio para a agricultura brasileira e o meio ambiente. Os objetivos incluíram o levantamento detalhado da área de estudo, a geração de um banco de dados fotogramétrico de alta resolução, a análise desses dados para diagnosticar os terraços existentes, calcular volumes e identificar áreas propensas à erosão. Com base nessa análise, foi possível desenvolver um projeto de implantação de terraceamento, utilizando dados cartográficos e informações precisas do modelo digital de elevação do terreno. Essa abordagem integrada entre RPAs e análise cartográfica permite uma gestão mais eficiente do solo e contribui para práticas sustentáveis na agricultura que refletem na comunidade rural e contribui para o bem estar socioambiental.

Como resultado do estudo, especificamente no terrameamento, os RPAs permitem a coleta de dados topográficos precisos, auxiliando os agricultores no planejamento e implementação do terrameamento de forma eficiente. Além disso, as imagens aéreas obtidas pelos RPAs permitem a avaliação da eficácia do terrameamento e o monitoramento contínuo, possibilitando a correção de problemas como a erosão e o uso inadequado do solo. Em suma, os RPAs são uma ferramenta valiosa na agricultura, proporcionando coleta precisa de dados e monitoramento para melhorias no terrameamento agrícola.

Palavras chave: aeronave remotamente pilotada (RPAs), conservação de solo; ortomosaicos; modelo digital de elevação; terrameamento; planta planialtimétrica.

CARVALHO, Bruno Tadeu Barros. **Utilização de aeronave remotamente pilotada na aferição de prática mecânica de conservação de solo.** 2023. 81 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Londrina, 2023.

ABSTRACT

The research focuses on the use of remotely piloted aircraft (RPAs) in the application of soil conservation practices, aiming to simplify the process of data collection, analysis, and processing in a more efficient and cost-effective manner. RPAs are a valuable tool for geographers and other engineering sciences. The use of RPAs in geography has proven essential for terrain studies, cartography, spatial planning, and environmental monitoring.

In this specific study, RPAs were employed in the collection of topographic aerial data to mitigate the effects of water erosion, a challenge for Brazilian agriculture and the environment. The objectives included a detailed survey of the study area, the generation of a high-resolution photogrammetric database, the analysis of this data to diagnose existing terraces, calculate volumes, and identify erosion-prone areas. Based on this analysis, it was possible to develop a terrace implementation project, using cartographic data and accurate information from the digital elevation model of the terrain. This integrated approach between RPAs and cartographic analysis allows for more efficient soil management and contributes to sustainable agricultural practices that impact rural communities and socio-environmental well-being.

As a result of the study, specifically in terrace implementation, RPAs enable the collection of precise topographic data, assisting farmers in the planning and efficient implementation of terraces. Furthermore, the aerial images obtained by RPAs allow for the evaluation of terrace effectiveness and continuous monitoring, enabling the correction of issues such as erosion and improper soil use. In summary, RPAs are a valuable tool in agriculture, providing accurate data collection and monitoring for improvements in agricultural terracing.

Keywords: remotely piloted aircraft (RPAs), soil conservation, orthomosaics, digital elevation model, terracing, planimetric plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Erosão Laminar	22
Figura 2 – Erosão em sulcos	23
Figura 3 - Voçoroca na Fazenda Experimental do Glória – Uberlândia-MG	24
Figura 4 – Erosão em túnel Guarapuava – PR	24
Figura 5: Ilustração Terraço de Base Estreita	31
Figura 6: Ilustração Terraço Base Média	32
Figura 7: Ilustração Terraço de Base Larga	33
Figura 8: Ilustração Terraço do tipo Nichol's	33
Figura 9: Ilustração Terraço do tipo Mangum	34
Figura 10: Ilustração terraço comum	34
Figura 11: Ilustração Terraço Patamar	35
Figura 12: Ilustração Terraço Murundum ou Leirão	36
Figura 13: Ilustração terraço embutido	36
Figura 14: RPAs Asa fixa Arator 5c	39
Figura 15: RPAs multirotor DJI Mavic 2 PRO	40
Figura 16: Hardware recomendado pela Agisoft	42
Figura 17: Fluxograma de etapas da atividade e da metodologia proposta	44
Figura 18: Localização Município de Apucarana	45
Figura 19: Talhões de fazenda em Apucarana	47
Figura 20: Solos de Apucarana	48
Figura 21: Solos Talhão 1	49
Figura 22: Solos Talhão 2	49
Figura 23: Solos Talhão 3	50
Figura 24: Pontos de controle com coordenadas	51
Figura 25: DJI Mavic 2 PRO e controle	51
Figura 26: Planos de voo em <i>Double Grid</i> do Talhão 1	52
Figura 27: Planos de voo em <i>Double Grid</i> do talhão 2	53
Figura 28: Planos de voo em <i>Double Grid</i> do Talhão 3	53
Figura 29: Etapas do processamento no software <i>Agisoft Metashape</i>	54
Figura 30: Aba fluxo de trabalho do software <i>Agisoft Metashape</i>	55
Figura 31: Configurações do alinhamento de fotos no <i>Agisoft Metashape</i>	56
Figura 32: Aba <i>reference</i> do <i>Agisoft Metashape</i>	56
Figura 33: Janela de conversão de arquivo no <i>Agisoft Metashape</i>	57

Figura 34: Importando arquivo shapefile no <i>Agisoft Metashape</i>	57
Figura 35: Janela <i>Build Dense Cloud</i> no <i>Agisoft Metashape</i>	58
Figura 36: <i>Buil Mesh – Construir modelo</i>	59
Figura 37: Gerando curvas de nível (<i>Generate Contours</i>).....	59
Figura 38: Configurações <i>Build DEM</i>	60
Figura 39: Configurações <i>Build Othomosaic</i>	60
Figura 40: Folha 01 – Ortomosaico talhão 1	62
Figura 41: Folha 01 – Ortomosaico talhão 2	62
Figura 42: Folha 01 – Ortomosaico talhão 3	63
Figura 43: Folha 02 – Modelo Digital de Elevação DEM talhão 1	63
Figura 44: Folha 02 – Modelo Digital de Elevação DEM talhão 2	64
Figura 45: Folha 02 – Modelo Digital de Elevação DEM talhão 3	64
Figura 46: Folha 03 – Planta planialtimétrica do talhão 1	65
Figura 47: Folha 03 – Planta planialtimétrica do talhão 2.....	65
Figura 48: Folha 03 – Planta planialtimétrica do talhão 3.....	66
Figura 49: Folha 04 – Terraceamento existente do talhão 1	67
Figura 50: Folha 04 – Terraceamento existente do talhão 2	67
Figura 51: Folha 04 – Terraceamento existente do talhão 3	68
Figura 52: Folha 05 – Cruzamento Planialtimetria e terraceamento existente no talhão 1.....	69
Figura 53: Folha 05 – Cruzamento Planialtimetria e terraceamento existente no talhão 2.....	69
Figura 54: Folha 05 – Cruzamento Planialtimetria e terraceamento existente no talhão 3.....	70
Figura 55: Projeto proposto de construção e reaproveitamento de terraceamento no talhão 1.....	71
Figura 56: Reaproveitamento total do terraceamento no talhão 2.....	71
Figura 57: Projeto proposto de construção e reaproveitamento de terraceamento no talhão 3.....	72
Figura 58: Projeto proposto para terraceamento com imagem talhão 1.....	73
Figura 59: Projeto proposto para terraceamento com imagem talhão 2.....	74
Figura 60: Projeto proposto para terraceamento com imagem talhão 3.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos RPAs por PMD	37
Quadro 2: A constituição de um sistema RPA para aerolevantamento	38
Quadro 3: Tipos de terraços em função da declividade do terreno	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVOMD	Autorização de Voo do Ministério da Defesa
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CTNP	Companhia de Terras do Norte do Paraná
DCEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GNSS	Global Navigation Satellite System
GLONASS	Sistema GNSS da Rússia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas
MDE	Modelo Digital de Elevação
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PMD	Peso Máximo de Decolagem
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
RTK	Real-Time Kinematic correction system
SARPAS	Sistema de Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo por RPAs

SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico das Américas
SIMEPAR	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	DEGRADAÇÃO DE SOLOS E EROSÃO HÍDRICA	19
2.1.1	EROSÃO LAMINAR.....	22
2.1.2	EROSÃO EM SULCOS.....	23
2.1.3	VOÇOROCAS.....	23
2.1.4	EROSÃO EM TÚNEL.....	24
2.2	CONSERVAÇÃO DE SOLOS	25
2.3	TÉCNICAS MECÂNICAS DE CONSERVAÇÃO E MANEJO DE SOLOS	27
2.3.1	PLANTIO DIRETO	28
2.3.2	ROTAÇÃO E SUCESSÃO DE CULTURAS.....	28
2.3.3	PLANTIO EM NÍVEL.....	29
2.3.4	TERRACEAMENTO AGRÍCOLA	29
2.3.5	CLASSIFICAÇÃO DOS TERRAÇOS QUANTO A SUA FUNÇÃO.....	30
2.3.6	CLASSIFICAÇÃO DOS TERRAÇOS QUANTO A LARGURA DA BASE	31
2.3.6.1	TERRAÇO BASE ESTREITA	31
2.3.6.2	TERRAÇO BASE MÉDIA.....	32
2.3.6.3	TERRAÇO BASE LARGA.....	32
2.3.7	CLASSIFICAÇÃO DOS TERRAÇOS QUANTO AO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO	33
2.3.7.1	TERRAÇO TIPO NICHOL'S OU CANAL	33
2.3.7.2	TERRAÇO TIPO MANGUM	34
2.3.8	CLASSIFICAÇÃO DOS TERRAÇOS QUANTO AO PERFIL DO TERRENO	34
2.3.8.1	TERRAÇO COMUM.....	34
2.3.8.2	TERRAÇO PATAMAR	35
2.3.8.3	TERRAÇO MURUNDUM OU LEIRÃO.....	35
2.3.8.4	TERRAÇO EMBUTIDO.....	36
3.	RPA_s – SISTEMA DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA.	37
3.1	PLATAFORMAS DOS RPA _s	39
3.1.1	RPA _s ASA FIXA.....	39
3.1.2	RPA _s MULTIROTOR	40

2.1.2.1	MAVIC 2 PRO.....	41
3.2	HARDWARE E SOFTWARE PARA PROCESSAMENTO	41
4.	OBJETIVOS.....	42
4.1	GERAL	42
4.2	ESPECÍFICOS	43
5.	MATERIAIS E METODOS	43
5.1	DADOS E EQUIPAMENTOS.....	43
5.2	SOFTWARES.....	43
5.3	SÍNTESE DA METODOLOGIA.....	44
5.4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	44
5.5	COLETA DOS PONTOS DE CONTROLE	50
5.6	LEVANTAMENTO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA – RPAs	51
5.7	PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DO AEROLEVANTAMENTO	54
5.7.1	INSERÇÃO E ALINHAMENTO DAS IMAGENS	54
5.7.2	GEORREFERENCIANDO OS PONTOS DE CONTROLE FOTO VISÍVEIS	56
5.7.3	NUVEM DE PONTOS DENSA (<i>Dense Cloud</i>).....	58
5.7.4	GERANDO A MALHA (<i>Mesh</i>)	58
5.7.5	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (<i>DEM</i>)	59
5.7.6	ORTOMOSAICO (<i>Orthomosaic</i>)	60
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
6.1	SÍNTESE DOS RESULTADOS	61
6.2	PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS DOS PROCESSAMENTOS.....	61
6.2.1	ORTOMOSAICOS GEORREFERENCIADOS	62
6.2.2	MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (DEM)	63
6.2.3	PLANTAS PLANIALTIMÉTRICAS	65
6.2.4	DIGITALIZAÇÕES DO DEM	66
6.2.5	CRUZAMENTO DAS PLANIALTIMETRIAS COM O TERRACEAMENTO EXISTENTE.....	68
6.2.6	PROJETOS DE TERRACEAMENTO – CONSTRUIR E REAPROVETAR.....	70
6.2.7	PROJETO FINAL COM IMAGEM DE ALTA RESOLUÇÃO...72	
7.	CONCLUSÕES	75
8.	REFERÊNCIAS.....	77

1. INTRODUÇÃO

Convenhamos que é surpreendente o avanço tecnológico apresentado a sociedade a cada ano que passa. O surgimento dessas novas tecnologias vem impactando a estrutura de governos, profissões, metodologias científicas e no modo de vida da população em uma velocidade exponencial, que é quase impossível acompanhá-las na mesma rapidez em que surgem. Esta pesquisa trata da inovação tecnológica aplicada a eficácia da utilização de aeronave remotamente pilotada na aplicação de práticas mecânicas em conservação de solo. O manejo e a conservação do solo foram agraciados com a implementação do uso das aeronaves remotamente pilotadas. Com o intuito de simplificar o processo de captura, análise e processamento dos dados pela utilização de equipamentos com valor de investimento, bem inferiores em detrimento a aquisição de equipamentos consolidados no mercado como um como um GNSS + RTK de investimento relativamente considerável. Abre a possibilidade de substituir uma tecnologia por outra de menor investimento e que pode atingir a mesma finalidade em diversas aplicações. Este estudo é objeto da aplicação de fundamentos geográficos e cartográficos entrelaçados com as tecnologias e suas novas possibilidades de momento na prática profissional submetidas empiricamente.

A utilização de aeronaves remotamente pilotadas (*sigla em inglês RPAs*) voltada ao mapeamento está se consolidando como uma alternativa mais do que viável as práticas tradicionais do mapeamento topográfico, uma vez que, as imagens e dados do RPAs somadas a utilização de softwares de processamentos da atualidade, qualquer profissional munido de conhecimentos básicos de cartografia e seguindo uma simples sequência lógica de passos, está apto a gerar um material cartográfico efetivamente confiável, com acurácia e de qualidade.

Evidentemente o RPAs não é um substituto da aerofotogrametria e da topografia convencional, mas um complemento que pode facilitar, e em muitas tarefas substituir os equipamentos utilizados até então para trabalhos que empregam, mapeamento topográfico e geração de mapas (ALVES JUNIOR; GOMES, 2022). Muito além das práticas já citadas, na geografia o RPAs tem se apresentado como ferramenta fundamental no planejamento e georreferenciamento urbano e rural, muito utilizada por profissionais da área e também pelo poder público em geral, pois o equipamento é utilizado para a resolução de diversas problemáticas passíveis da necessidade de imagens aéreas e em áreas do cotidiano como: planejamento,

tráfego, fiscalização e segurança.

A utilização do RPAs neste estudo foi executada com o objetivo de coletar dados aéreos de cunho topográfico, para mitigar os efeitos de um dos mais relevantes processos de degradação de terras da agricultura brasileira que é a erosão hídrica. Este passivo ambiental é um desafio na produção agropecuária, pois pode transportar materiais erodidos com grande facilidade podendo ocasionar adversidades nas esferas ambientais, sociais e econômicas, uma vez que não analisados e mitigados previamente.

Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), 33% do solo em nível global encontra-se em moderado ou alto grau de degradação. A erosão hídrica, embora seja um processo natural, é responsável pela perda anual de 75 bilhões de toneladas de solo em áreas cultiváveis em todo o mundo, resultando em prejuízos que ultrapassam a marca de US\$ 400 bilhões (FAO, 2017).

Em regiões tropicais, a erosão hídrica desempenha um papel fundamental no processo de degradação dos solos (DECHEM, S.C.F.; TELLES, T.S.; GUIMARAES, M.F.; MARIA, I.C; 2015). No Brasil, milhões de toneladas de solo agrícola são perdidas anualmente, tornando-se cada vez mais necessários estudos e inovações voltados para a prática de conservação e manejo, nos quais o RPAs (Remotely Piloted Aircraft Systems) também pode ser empregado como parte da solução para essa problemática.

Embora existam diversas técnicas difundidas e empregadas há muitos anos para conter a erosão hídrica, como o plantio direto, a rotação de culturas, a manutenção da cobertura vegetal e a semeadura em contorno, nem sempre essas técnicas são suficientes para conter os grandes volumes de precipitação em áreas com declives acentuados (NUERNBERG, 1998). Portanto, é necessário adicionar outras técnicas conservacionistas a esse processo.

Uma técnica mecânica de conservação tradicionalmente utilizada para combater a erosão hídrica é o terraceamento. Essa prática tem como objetivo mitigar os efeitos do escoamento das águas pluviais, disciplinando seu volume e direcionando-o para canais, a fim de reter e estimular a infiltração, além de reduzir a velocidade do escoamento para áreas adjacentes. Em resumo, o terraceamento visa reduzir o comprimento do declive onde ocorre o escoamento superficial, a fim de mitigar a degradação do solo causada pelo escoamento da água e, ao mesmo tempo, contribuir

para a infiltração e recarga dos aquíferos. A utilização do RPAs nesse processo envolve a obtenção de mapeamento aerofotogramétrico para a geração de um modelo de elevação do terreno. A partir desse modelo, é possível calcular as declividades, gerar curvas de nível e categorizar as microbacias hidrográficas para simular o escoamento, chegando, por fim, a um percentual de declividade que permita calcular o espaçamento entre os terraços a serem construídos no terreno.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 DEGRADAÇÃO DE SOLOS E EROSÃO HÍDRICA

O solo é fator essencial para geração e manutenção da vida, sua função vai muito além de fornecer alimentos, ele atua como um regulador do clima, faz o armazenamento das águas, organiza ecossistemas, faz a ciclagem de nutrientes e é fonte de energia (FAO, 2017).

Um desafio central para a agricultura é reduzir a degradação da terra e emissões de gases, afim de evitar mais poluição e perda de serviços ambientais, e manter os níveis de produção global. A resposta precisa incluir uma gestão da terra inteligente em conjunto com o clima, e que se adapte às mudanças nos processos do solo e da água. Opções de gerenciamento estão disponíveis para aumentar a produtividade, e se a gestão e a inovação tecnológica podem ser dimensionadas a transição para sistemas agroalimentares sustentáveis pode se tornar uma realidade. Apesar disso, nós não iremos muito longe sem planejar e administrar recursos de terra, solo e água por meio de uma governança efetiva da terra e da água (FAO, 2021). Injetar um senso de urgência para fazer as transformações necessárias no núcleo do sistema alimentar global é essencial. A degradação do solo induzida pelo homem é agora uma prioridade, embora tenha sido amplamente ignorada no passado. Em muitos casos, é evitável e reversível.

Espera-se que os impactos das mudanças climáticas no ciclo da água tenham um impacto significativo na produção agrícola e no desempenho ambiental dos sistemas de produção da terra e da água. Os modelos climáticos preveem declínios nos recursos hídricos renováveis em algumas regiões (latitudes médias) e aumentos em outras (principalmente latitudes altas e latitudes médias úmidas). Mesmo onde são projetados aumentos, pode haver escassez de curto prazo devido a mudanças no fluxo devido a mudanças maiores na precipitação (FAO, 2021).

Cenários de mudanças climáticas futuras indicam a necessidade de mudanças nos padrões de cultivo e práticas de manejo para acomodar as mudanças na adequação da cultura da terra. Os sistemas agrícolas foram adaptados através do uso mais preciso de tecnologia e insumos, em parte em resposta às mudanças climáticas, mas principalmente em resposta às demandas mais complexas do sistema alimentar global. Por esta razão, as medidas tradicionais de produtividade da terra e da água têm diminuído em importância à medida que mais fatores de produção são

considerados. De fato, enquanto o crescimento das terras agrícolas e da área irrigada estagnou, a produtividade total dos fatores agrícolas cresceu 2,5% ao ano nas últimas décadas, refletindo melhorias na eficiência do uso de insumos agrícolas. Ele substituiu a intensificação de recursos como a principal fonte de crescimento agrícola mundial (FAO, 2021).

Segundo a OCDE 2001a e IPCC 2001, a agricultura é uma atividade de grande impacto ambiental, pois além de consumir um alto volume de água, a utilização de fertilizantes e os agrotóxicos e pesticidas (apelidado pelo agro de “defensivo agrícola”), são responsáveis por poluição das fontes superficiais e subterrâneas. Algumas questões positivas referente ao agronegócio acabam por ter um caráter importante para o armazenamento de água, a pegada de carbono e a manutenção da paisagem desde que técnicas de manejo sejam aplicadas de forma adequada. Formas inclusivas de governança da terra e da água só podem ser adotadas em escala com vontade política, políticas adaptativas e investimento sustentado. Um foco na governança da terra e da água é fundamental para alcançar as mudanças transformacionais necessárias para alcançar modelos agrícolas sustentáveis que aumentem a renda e sustentem os meios de subsistência, enquanto protegem e restauram a base de recursos naturais (FAO, 2021).

Diversos processos físicos e biológicos estão diretamente ligados a degradação dos solos e sistemas de produção (EMBRAPA SOJA, 2011). Os graus de degradação do solo são definidos com base nas tendências de degradação e na presença de fatores antropogênicos. A resiliência da terra (a capacidade de resistir ao estresse antropogênico) também entra em jogo, como quando fortes fatores antropogênicos não se alinham com tendências negativas.

A degradação agrícola é uma delas e pode ser considerado o ponto inicial da degradação, onde há uma perda econômica originada do desequilíbrio e da ausência de ações para conservar o solo de maneira ideal como combate a ervas daninhas, pragas que diminuem a produção da cultura principal trazendo perda do potencial de capacidade dos solos (EMBRAPA SOJA, 2011). A degradação biológica é tida como o processo final, com consequências de diminuição da produção de biomassa vegetal, instituída pela perda de nutrientes e matéria orgânica, a compactação do solo e o aumento da acidez do mesmo. Em relação as condições de solo no estado do Paraná o processo de maior impacto ambiental é a erosão hídrica, na qual se retrata uma grande perda da camada superficial do solo, decorrente do escorramento superficial

da água.

O passivo ambiental objeto deste estudo é a erosão hídrica, o fenômeno natural responsável pela maior parte da degradação de solos em países tropicais, com um índice regular de precipitações relevantes, os impactos as plantações e capacidades de armazenamento ou escoamento da água causam diariamente prejuízos na esfera socioeconômica e ambiental por todo o globo (DECHEM, S.C.F.; TELLES, T.S.; GUIMARAES, M.F.; MARIA, I.C; 2015). Desde meados do século 20, progressos consideráveis foram feitos no desenvolvimento de medidas de conservação eficazes através de uma melhor compreensão das causas, fatores e processos de erosão do solo e propriedades do solo associadas. A compreensão dos fatores que determinam a magnitude do risco de erosão do solo permite o desenvolvimento e o estabelecimento de práticas de controle da erosão em muitas partes do mundo. Apesar desses avanços tecnológicos, o nível de erosão do solo continua alto.

Para LEPSCH (2011), a formação da vertente e a declividade do terreno, influenciam diretamente na dispersão, concentração da água e na velocidade da enxurrada que proporciona um arraste das partículas superficiais do solo. O autor cita que quanto maior a declividade, menor é a resistência quanto ao escoamento superficial e a água alcança grandes velocidades, que somadas a ações antrópicas na modificação das declividades, sem o manejo correto resultam em um maior processo erosivo. As qualidades físicas do solo, a manutenção da camada orgânica e a porosidade do solo, são responsáveis por sua estabilidade e condicionam a resistência do mesmo a erosão hídrica (BAGATINI et al., 2011). A concentração de grande precipitação pluviométrica associada as condições de relevo elevam o risco do processo erosivo. O transporte das partículas do solo ocorre quando a intensidade das chuvas ultrapassa a capacidade de infiltração do mesmo, esta capacidade está relacionada ao tempo de ocorrência das chuvas causando um selamento superficial do solo que resulta no processo da enxurrada. Com o aumento da enxurrada superficial, a velocidade da água ganha forças desproporcionais gerando atrito com o solo ocasionando a desagregação e o arraste dessas partículas para áreas adjacentes. Se a carga dos sedimentos for superior ao transporte produzido pela enxurrada, haverá a ocorrência de deposição destas partículas nas partes mais baixas do declive. Por ser inversamente proporcional a deposição das partículas consequentes do arraste primeiro as maiores partículas se depositam, consequentemente as menores que acabam assim percorrendo maiores distâncias

em direção as partes mais baixas ocorrendo assim uma maior probabilidade de atingir recursos hídricos e assim poluindo-os.

O material erodido pode formar novos solos ou simplesmente encher lagos, reservatórios e córregos. Todos os solos sofrem de erosão hídrica em graus variados. A erosão leve beneficia a formação do solo, mas a erosão severa ou acelerada pode impactar negativamente o solo e o meio ambiente. Compreender os mecanismos e a extensão da erosão hídrica é fundamental para gerenciar e desenvolver práticas de controle de erosão (BLANCO; LAL, 2010).

Então diversos são os fatores que condicionam uma erosão: A Erosividade que é a capacidade da chuva em causar erosão, a Erodibilidade que representa a capacidade de cada tipo de solo ser erodido, a inclinação do relevo e a cobertura da rampa, o tipo do solo, a cobertura vegetal, as propriedades físicas e químicas do solo, a ação antrópica, entre outros (BERTONI, 2008).

Segundo BERTONI 2008, variadas formas de ocorrência de erosão hídrica podem ser analisadas, das modalidades erosivas descritas na obra, as quatro mais recorrentes são: a erosão laminar (figura 1), erosão em sulcos (figura 2), as voçorocas (figura 3) e as erosões em túnel (figura 4), todas essas decorrentes da maciça concentração de enxurrada pela superfície.

2.1.1 EROSÃO LAMINAR

Figura 1 – Erosão Laminar



Fonte: Solloagro ESALQ / USP (2018)

A erosão laminar é a primeira a aparecer de forma clara, evidenciando que houve uma desagregação e transporte de partículas. Durante o processo de erosão laminar, as camadas finas superficiais do terreno são removidas em toda a área, sendo pouco perceptiva no âmbito visual, porém após alguma concentração de

enxurrada, acontece a exposição das raízes de plantas perenes. É considerada muito perigosa, pois ao se acumular uma quantidade muito grande de água na superfície, o trajeto não oferece resistência ganhando velocidade e assim transportando um maior número de partículas sem a formação de sulcos (ALVES, et al 2006).

2.1.2 EROSÃO EM SULCOS

A erosão em sulcos resulta do escorramento das enxurradas pelas irregularidades no declive do terreno, concentrando água e ganhando velocidade, formando sulcos com profundidades variáveis. Os sulcos devem ser corrigidos na fase inicial com técnicas de preparo e revolvimento de solo, pois, em fase avançada, pode atingir grandes profundidades que dificultam ou até interrompem o trabalho das máquinas.

Figura 2 – Erosão em sulcos



Fonte: Rafael Araújo, CPRM/SBG (2017)

2.1.3 VOÇOROCAS

As voçorocas são o fenômeno que dá sequência a formação da erosão em sulcos, devido as grandes enxurradas ocasionadas diversas vezes em um mesmo sulco por um período prolongado. Para BERTONI 2008, maneira utilizada para descrever este fenômeno é a “forma espetacular da erosão”, onde decorrente da forte concentração de água é capaz de transportar cada vez partículas maiores, gerando uma desagregação considerável do solo. Formam-se grandes e extensas cavidades tanto em extensão quanto em profundidade, é o fenômeno hídrico erosivo de maior preocupação, pois, é o de mais difícil controle, correção e precaução para que deixe

de evoluir. Geralmente o custo para mitigar este passivo também é muito alto, a voçoroca chega a níveis de atingir o lençol freático, podendo causar o seu rebaixamento e consequentemente a seca de algumas nascentes.

Figura 3 - Voçoroca na Fazenda Experimental do Glória – Uberlândia-MG



Fonte: LAGES - Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos/UFU (2020)

2.1.4 EROSÃO EM TÚNEL

Figura 4 – Erosão em túnel Guarapuava – PR



Fonte: BARBOSA (2013)

É a formação de canais subterrâneos formados pela concentração da água que escorreu uma parte do declive, encontrou uma barreira intransponível e juntamente um solo abaixo com condições de infiltração baixas, arrastando as partículas mais

finas da camada porosa. Normalmente este fenômeno ocorre em solos de baixo valor para utilização em culturas (BERTONI 2008).

2.2 CONSERVAÇÃO DE SOLOS

A gestão e proteção dos recursos terrestres e hídricos é a base do bem-estar humano. Para atender às altas demandas da produção de alimentos e atender às necessidades de uma população mundial crescente, seu uso e gerenciamento cuidadosos são agora mais importantes do que nunca. Apesar da extensa pesquisa e da rica literatura sobre estratégias de conservação do solo e da água, as preocupações com a degradação global do solo e a poluição ambiental permanecem altas.

Os múltiplos sistemas de produção agrícola em todo o planeta, apresentam um importante recurso em comum, o solo, este indispensável para o funcionamento dos mesmos. O solo é a base de todo e qualquer sistema de produção e cultivo, até mesmo os hidropônicos, necessitam de solo para a instalação das estruturas. A contar do século XX, o conceito de solo considera que não se trata de um meio que suporta raízes, mas um influenciador e mantenedor do ecossistema e saúde dos seres vivos que nele habitam (DORAN; PARKIN, 1994).

Entretanto é cada vez mais importante a conscientização para conservação deste recurso natural preponderante para a manutenção da existência do ser humano. Era de conhecimento que a teoria Malthusiana em 1798 defendia que, devido ao crescimento da população mundial, haveria escassez de alimentos, uma vez que a probabilidade do aumento da oferta de alimentos era menor do que se previa para população. A teoria apresenta que a população mundial cresceria aceleradamente, em progressão geométrica (1, 2, 4, 8, 16, 32, ...), e a produção de alimentos cresceria em ritmo mais lento, comparado a uma progressão aritmética (1, 2, 3, 4, 5, ...), na época isso até aconteceu, mas as coisas mudaram.

A mecanização no campo e o advento de novas tecnologias aplicadas ao processo de plantio e as sementes, como a transgenia, vieram a contribuir para que a teoria de Thomas Malthus perdesse sua relevância, pois, em 1798 ainda não se considerava o desenvolvimento tecnológico para aumento de produção de alimentos. Após o mundo moderno vencer esse desafio de produção, juntamente aos avanços na ciência e tecnologia como um todo, novas óticas referentes a resoluções de

problemáticas voltadas ao solo começam a surgir, e há alguns anos o desafio é utilizar o solo de forma sustentável, sem exceder sua capacidade de uso e fazendo um manejo conservacionista (PES, 2017). As principais variáveis socioeconômicas que impulsionam a demanda por terra e água são o crescimento populacional, a urbanização e o crescimento econômico. Tudo isso afeta o clima. Eles impulsionam a demanda por produção agrícola em direções amplamente previsíveis. No entanto, a instabilidade geopolítica, o conflito e a migração podem levar à pobreza generalizada e à insegurança alimentar (FAO, 2017).

Desta forma conseguir manter a produção atual e por vezes aumentar conforme a necessidade, é um desafio considerado grande, uma vez que diversas ações promovem a degradação do solo gerando sua compactação, salinização e o principal, erosões. Mesmo com toda tecnologia disponível, ainda é possível ver em grande escala erosões em solos de diversas propriedades rurais e é preciso buscar o treinamento e conscientização desses produtores a procurarem meios de mitigar esse problema (PES, 2017). No Brasil e no mundo, a degradação de solos gera elevados custos a sociedade, em grande parte pela perda de solos agricultáveis e pelo fenômeno natural da erosão, que além de muitas vezes assorear represas e cursos d'água, reduz a capacidade produtiva do solo, refletindo na economia local e global, por vezes gerando o empobrecimento do produtor rural (ELTZ; AMADO; LOVATO, 2005).

Claro, que a resolução dessa problemática não seja somente de responsabilidade do produtor rural, uma vez que os efeitos negativos da degradação de solo atinjam também as comunidades urbanas. Portanto o plano de uso, manejo e a conservação do solo, e de recursos hídricos, devam ter o envolvimento dos produtores, dos profissionais, do poder público e da comunidade (ELTZ; AMADO; LOVATO, 2005).

Uma das melhores formas de conservar o solo e evitar sua degradação é a utilização da mecanização no preparo do mesmo, o que vai oferecer um ambiente adequado para o crescimento de desenvolvimento do plantio, evitando sua degradação e permitindo a produção econômica de acordo com a capacidade de uso de cada área. O sistema de preparo deve considerar a resposta do solo e da cultura utilizada, visando diminuir as perdas por erosões, capacidade de retenção e movimentação da água, além de calcular a recuperação física daquele solo. O sistema intensivo agrícola que não utiliza um processo adequado de manejo e conservação

do solo, tende a intensificar o surgimento de erosões devido à exposição do solo ao sol, vento e as chuvas, levando a uma degradação agrícola, por conseguinte uma degradação biológica.

A degradação agrícola representa a perda da produtividade econômica, que é resultado de uma menor produção na cultura principal, já a degradação biológica se efetiva com uma enorme diminuição da capacidade de produção da biomassa vegetal, visto que há perda de nutrientes e matéria orgânica, resultam em um aumento da acidez e compactação do solo e é nesse momento que a problemática das erosões se torna evidente (WADT, 2003). Estratégias comprovadas para melhorar a nutrição e a saúde dos ecossistemas e sistemas agroalimentares sustentáveis e resilientes que dependem do solo, da água e da gestão da biodiversidade incluem agroecologia, agricultura de conservação, agricultura orgânica, agrossilvicultura e sistemas integrados de cultivo e pecuária. Ações de terra, solo e água dentro e fora das fazendas estão se tornando comuns para ajudar a lidar com compensações para harmonizar a produção e a gestão do ecossistema, aumentar a produtividade agrícola e a resiliência climática, reduzir a perda e o desperdício de alimentos, mudar os padrões de consumo de alimentos e a transição para um sistema alimentar com maior eficiência no quesito da utilização dos recursos (FAO 2021).

Diversas técnicas de conservação e manejo de solo são amplamente divulgadas, porém não atingem todos os cantos do país, e a falta desse conhecimento e da aplicabilidade das técnicas intensifica o processo erosivo.

2.3 TÉCNICAS MECÂNICAS DE CONSERVAÇÃO E MANEJO DE SOLOS

Uma ampla gama de práticas para o manejo do solo está disponível no portfólio de opções para restauração de solos degradados. Algumas dessas práticas são semelhantes às usadas para restaurar solos marginais na agricultura. Como a erosão do solo é função da inclinação e do comprimento da encosta, recomendam-se medidas corretivas para reduzir a erosão de solos degradados com terrenos íngremes. Os solos degradados geralmente são de baixa fertilidade, alto pH e propensos à compactação, de modo que a adição de correções não apenas promove o crescimento e a fortificação das culturas, mas também melhora a biologia do solo, melhorando a ciclagem e a atividade de nutrientes (BLANCO; LAL, 2010).

2.3.1 PLANTIO DIRETO

Plantio direto é uma prática de semeadura, que vem evoluindo nas últimas décadas e somadas há outras técnicas, melhora a eficiência da produção, reduz os custos, restaura a qualidade da água e de outros recursos vegetais (GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R., 2010). O sistema tradicional de manejo do solo começou a mudar a partir da década de 70, substitui-se a grade e o arado por um processo que envolve a cobertura vegetal de resíduos culturais e redução do preparo mecânico. A característica principal é o não revolvimento do solo, mantendo os restos das culturas anteriores sobre a superfície do solo, pois, mesmo a passagem do arado sendo uma prática viável, caiu em desuso pela maioria dos produtores, que ao notarem o enriquecimento do solo após suscetíveis aplicações do plantio direto, não fazem a aração com receio da supressão dos benefícios adquiridos com a técnica (PÖTTKER, D. E BEN, J. R., 1998). O plantio direto é uma estratégia de conservação eficaz para reduzir a erosão hídrica, pois deixa a maior parte dos resíduos e mantém a superfície do solo intacta. Aumenta o armazenamento de água no solo, reduz a evaporação e reduz a secagem. Solos úmidos são menos suscetíveis à erosão. No entanto, o plantio direto nem sempre é a melhor opção solos argilosos e pouco drenáveis facilmente compactados e endurecidos (BLANCO; LAL, 2010).

A prática do plantio direto evita a perturbação do solo, é a técnica mais aplicada atualmente em todas as culturas comerciais e a aplicação é a que mais se assemelha a forma que a natureza trabalha.

2.3.2 ROTAÇÃO E SUCESSÃO DE CULTURAS

Desenvolvida no hemisfério norte com o intuito de reduzir as populações de pragas e para renovar o ciclo de nutrientes, esta prática é um requisito básico para o sucesso do plantio direto em buscar o objetivo de uma produção sustentável. A técnica desenvolvida em climas frios, se adaptou como uma luva as condições climáticas do Brasil, onde a atividade biológica é muito maior devido ao clima tropical e subtropical, somado a abundância de chuvas (GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R., 2010).

A rotação de culturas é quando em um ciclo ou em determinado espaço de tempo, diferentes culturas são alternadas de forma ordenada em uma mesma área em determinado período do ano. E a sucessão de culturas representa duas culturas, por tempo indeterminado cada uma cultivada em uma estação do ano na mesma área agrícola (EMBRAPA SOJA, 2011). O benefício da aplicação dessas técnicas contribui para o aumento da produtividade das culturas, para uma produção estável e a

utilização racional de insumos.

2.3.3 PLANTIO EM NÍVEL

Baseada em orientação por estágios, o plantio em nível consiste em um processo de cultivo feito no sentido transversal do pendente, acompanhando curvas de nível ou linhas de contorno. A prática constrói uma medida de controle a erosão e favorece a implantação de outras culturas e práticas complementares com menor investimento (CATI, 2014).

Antes de aplicar a técnica é necessária uma preparação do plantio, locando os pontos, seguindo as curvas de nível do terreno, fazendo o plantio em linhas paralelas as curvas locadas. É uma prática conservacionista que ameniza a erosão hídrica e os tratos de cultura se tornam mais fáceis de serem empregados (LEITE, 2009).

2.3.4 TERRACEAMENTO AGRÍCOLA

O terrameamento é uma prática conservacionista que se utiliza da mecanização para a sua implantação. O processo envolve movimentação de terra por corte e aterros em intervalos dimensionados, construídos em transversal ao declive de um terreno se tornando uma barreira física na qual disciplina e controla o escoamento superficial das águas da chuva. É a prática de combate a erosão que se baseia na construção de terraços, propondo disciplinar o volume do escoamento das águas das chuvas. (EMBRAPA SOJA 2011).

Os terraços são taludes de solo estabelecidos ao longo da encosta principal, dividindo o local em seções uniformes e paralelas. Essas estruturas são frequentemente combinadas com canais para redirecionar o escoamento a uma velocidade reduzida para a saída principal. Campos de cultivo com terraços têm sido usados para agricultura em encostas em muitas partes do mundo (por exemplo, Peru, Bolívia, Himalaia e China). Nas montanhas, os terraços comuns são estreitos e na sua maioria construídos à mão. Os avanços na mecanização agrícola, principalmente nos países desenvolvidos, permitiram construir terraços em grandes campos e exportá-los. Canais de saída largos, gradiente e paralelos são comuns nos Estados Unidos, enquanto pátios de bancada são comuns em outras partes do mundo. Os terraços graduados são suavemente inclinados ao longo da encosta principal, acompanhados por canais fluviais e saídas de água de escoamento (BLANCO; LAL, 2010).

Os terraços são construídos para desempenhar muitas funções. O objetivo principal é proteger o solo e a água. Ao reduzir o comprimento da encosta, os terraços

permitem o cultivo em encostas íngremes, e também amenizam o risco de erosão do solo. Nas montanhas, a agricultura nas encostas é quase impossível sem terraços. O afrouxamento do solo durante a construção do terraço aumenta a profundidade do solo superficial e facilita o crescimento das culturas. Em regiões áridas, os terraços aumentam o armazenamento de água disponível para as plantas e a recarga das águas subterrâneas (EMBRAPA SOJA, 2011; FAO, 2017).

O terraceamento é importante para diminuir a velocidade de escoamento e reduzir a formação de altas taxas de escoamento, amenizar o comprimento do declive e das encostas dividindo o campo em faixas estreitas, reduzir a erosão do solo e escoamento concentrado, promover o armazenamento de água no solo retardando e retendo o escoamento e promovendo a infiltração, reduzir a erosão eólica aumentando o teor de água do solo e aumentando a rugosidade da superfície, facilitando a irrigação superficial em solos relativamente nivelados e aumentando a produção das culturas. Melhora ainda a qualidade da água, permitindo a remoção de sedimentos e produtos químicos do escoamento (BLANCO; LAL, 2010). Para BERTONI e LOMBARDI 2008, embora a prática do terraceamento seja eficiente para conter a erosão, nem todos solos e declives podem ser terraceados. Os solos rasos, pedregosos, de subsolo adensado ou com declives muito acentuados, sua construção e manutenção acabam por ser bem dispendiosas e dificultam a aplicação do manejo.

Para uma construção correta, os terraços devem ser muito bem planejados e principalmente feitos em conjunto de outras práticas conservacionistas, afim de ser eficaz contra a perda de solo e água, prevenindo o surgimento de sulcos e grotas. (BERTONI; LOMBARDI, 2008).

2.3.5 CLASSIFICAÇÃO DOS TERRAÇOS QUANTO A SUA FUNÇÃO

Os terraços são classificados pela função que exercem, o espaçamento entre os terraços, a quantidade de terra a ser movimentada, à forma e perfil do terreno, vão definir o processo de construção (EMBRAPA SOJA, 2003).

Para PRUSKY 2009, os tipos básicos de terraço quanto a sua função podem ser separados em:

- Terraço em nível: Usado para retenção, absorção ou infiltração. Deve ser construído em nível com o canal, com suas extremidades bloqueadas segurando a enxurrada e promovendo a infiltração da água. Este terraço é direcionado a terrenos com até 12% de declividade.

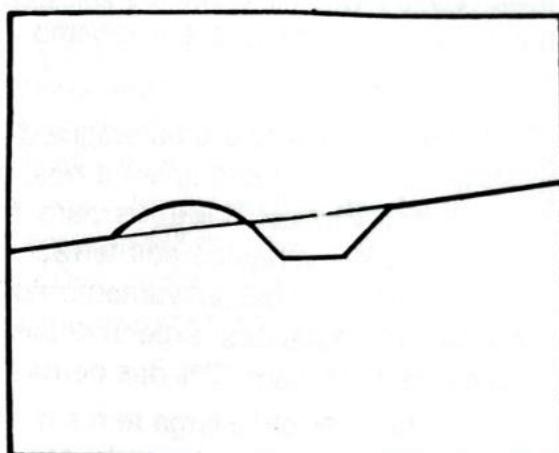
- Terraço em Desnível: Este deve ser construído um canal em um pequeno declive, fazendo com que a água se acumule e seja conduzida para fora da área de proteção. Esta técnica é utilizada em terrenos com até 20% de declividade e solos com lenta permeabilidade.
- Terraço Misto: Uma mistura das duas técnicas, onde se barra o escoamento até o preenchimento do canal que deve estar em nível e pós o preenchimento o excedente é drenado naturalmente para fora da área.

2.3.6 CLASSIFICAÇÃO DOS TERRAÇOS QUANTO A LARGURA DA BASE

2.3.6.1 TERRAÇO BASE ESTREITA

Este terraço utiliza estrutura mecânica e é indicado para terrenos com alta declividade, que impossibilita a aplicação de um tipo base larga. É o que melhor se aplica na proteção de culturas perenes na forma de pomares, cafezais e terrenos com topografias irregulares. Áreas com gradientes superiores a 12% até cerca de 40%. Conhecido por “curvas de nível” em alguns locais, este tipo de terraço (figura 5) pode ser construído entre as árvores, devido a sua pequena largura acompanhando a curva de nível, mesmo que a cultura seja em forma de esquadro. Quando há caimento constante ou progressivo, o tamanho dos cordões deve ser limitado para que não ocorra transbordamento, para cordão em nível não há limite de comprimento. Este tipo de terraço não é indicado sua construção para culturas anuais, uma vez que a soma dos fatores de inclinação dos taludes e do camalhão (aterro) dificultam o trânsito das máquinas e impedem o cultivo em faixa. O espaçamento deste tipo de terraço segue as mesmas características do de base larga. (BERTONI; LOMBARDI, 2008).

Figura 5: Ilustração Terraço de Base Estreita



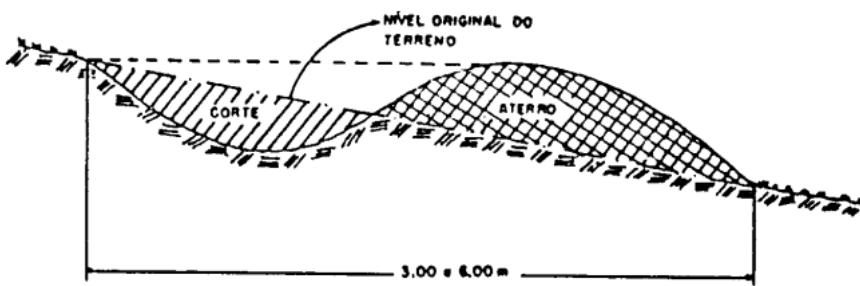
Fonte: Bertoni; Lombardi Neto (2008).

A faixa de terra movimentada no processo de construção é de até 3 metros. É utilizado mais em pequenas áreas de culturas perenes e o seu processo de construção segue o tipo Nichol's.

2.3.6.2 TERRAÇO BASE MÉDIA

Este segue o mesmo procedimento do terraço base estreita, porém é utilizado em menores declividades, entre 10 e 12% (figura 6). Conta com uma maior movimentação de terra que varia dos 3 até 6 metros, e já possibilita a prática mecânica na faixa de plantio com tratores e arados. É indicado para pequenas e médias propriedades.

Figura 6: Ilustração Terraço Base Média



Fonte: Bertol; Cogo (1996)

2.3.6.3 TERRAÇO BASE LARGA

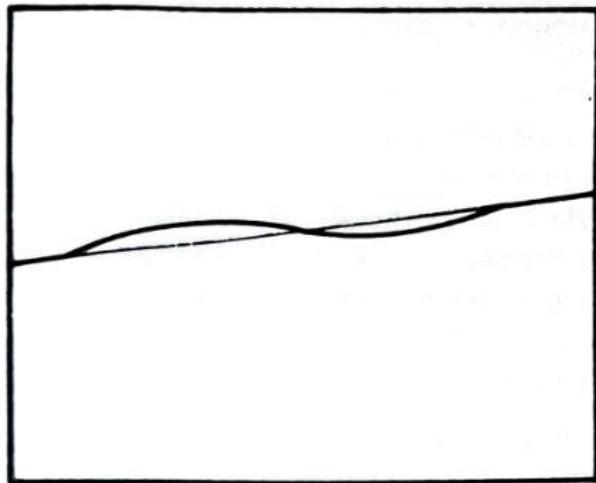
Este terraço (figura 7) é indicado para terrenos com até 12% de declividade, porém é utilizado em terrenos com topografia regular de declividades de até 20%, uma vez que sua construção é dificultosa em topografias irregulares que acabam por restringir em muitos casos a empregabilidade de maquinários, uma vez que estreitas curvas se formam atrapalhando o seu tráfego (BERTONI; LOMBARDI, 2008).

Para BERTONI e LOMBARDI 2008, esta é a forma mais segura para proteção do solo contra os efeitos da erosão, podendo ser empregado tanto em pastagens, com culturas perenes e anuais. O processo é de grande vantagem, pois, contribui diretamente na área de culturas anuais, provendo uma ampla faixa de plantio com perdas irrigatórias de solo. O plantio pode e deve ser feito por toda extensão do canal e do camalhão com uma única cultura. A água coletada é direcionada para canais de escoadouro, ou em solos de boa permeabilidade a água é retida e infiltra no solo.

No caso das culturas perenes, o mesmo deve ser construído previamente ao plantio, devida a perda de espaço para o emprego de maquinários entre as árvores. Em demais áreas de pastagens é comum o uso deste tipo de terraço em locais sujeitos a erosões, fazendo assim a proteção do solo durante a formação da pastagem

proporcionando um melhor sistema de drenagem que muitas vezes são também utilizados como canais de escoadouro. O espaçamento entre os terraços é calculado conforme o tipo do solo e a declividade do terreno. Quanto maior a permeabilidade e menos erodível seja o solo, maior o tamanho do espaçamento.

Figura 7: Ilustração Terraço de Base Larga



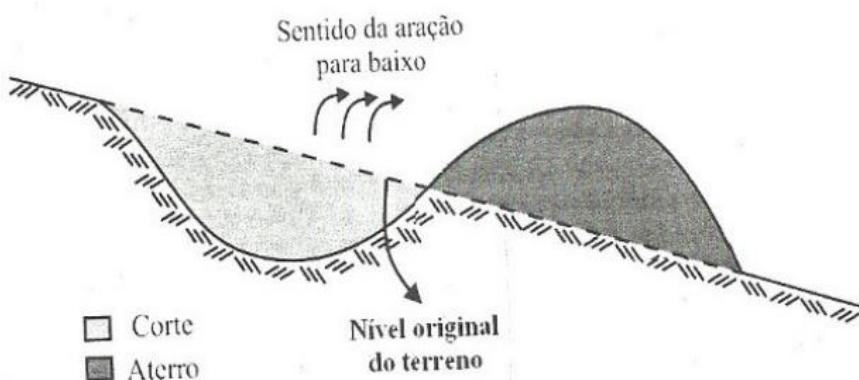
Fonte: Bertoni; Lombardi Neto (2008).

2.3.7 CLASSIFICAÇÃO DOS TERRAÇOS QUANTO AO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

2.3.7.1 TERRAÇO TIPO NICHOL'S OU CANAL

O processo de construção do tipo Nichol's (figura 8), o solo deve ser cortado com o arado, sem a grade, movimentando a terra de cima para baixo formando um canal de forma triangular. Pode ser construído em terrenos com declividade de até 18% e não é possível o cultivo na faixa de construção. (EMBRAPA, 2012).

Figura 8: Ilustração Terraço do tipo Nichol's

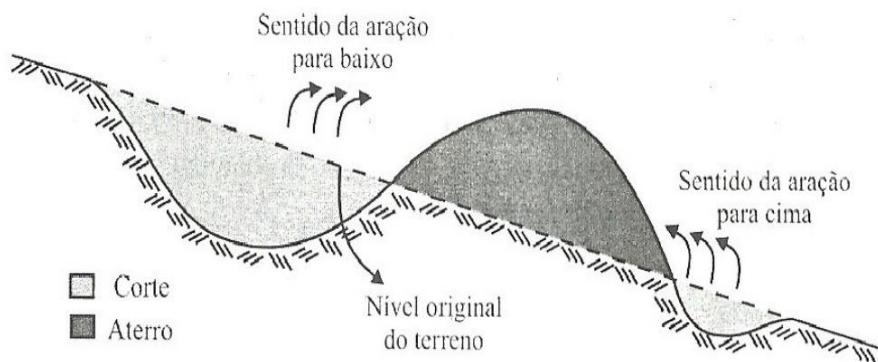


Fonte: Prusky (2009)

2.3.7.2 TERRAÇO TIPO MANGUM

O processo de construção do tipo Mangum (figura 9), movimenta uma maior faixa de terra do que o terraço tipo Nichol's. O solo pode ser deslocado tanto de cima para baixo, como de baixo para cima, formando um canal mais espaçado, porém mais raso, mas com capacidade de armazenamento maior que a prática anterior. É indicado para terrenos com menor declividade e pode ser construído com arados fixo ou reversível.

Figura 9: Ilustração Terraço do tipo Mangum



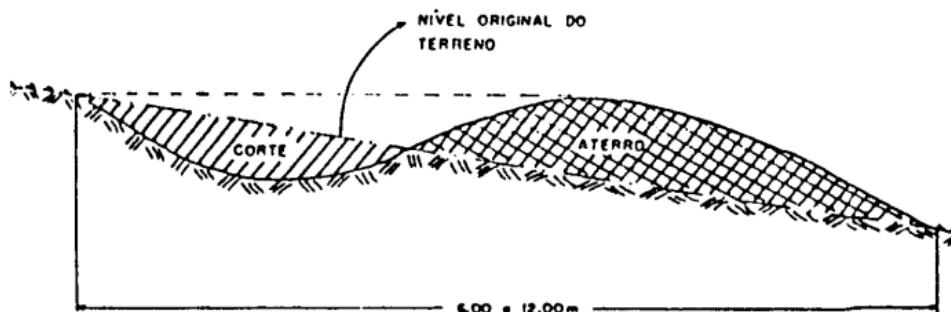
Fonte: Prusky (2009).

2.3.8 CLASSIFICAÇÃO DOS TERRAÇOS QUANTO AO PERFIL DO TERRENO

2.3.8.1 TERRAÇO COMUM

Segue processo de construção do tipo Nichol's, o solo deve ser cortado com o arado, sem a grade, movimentando a terra de cima para baixo formando um canal de forma triangular. Pode ser construído em terrenos com declividade de até 18% e não é possível o cultivo na faixa de construção. (EMBRAPA, 2012). Conforme a figura 10 o terraço comum pode atingir até 12 metros de extensão envolvendo todo o corte e o aterro.

Figura 10: Ilustração terraço comum

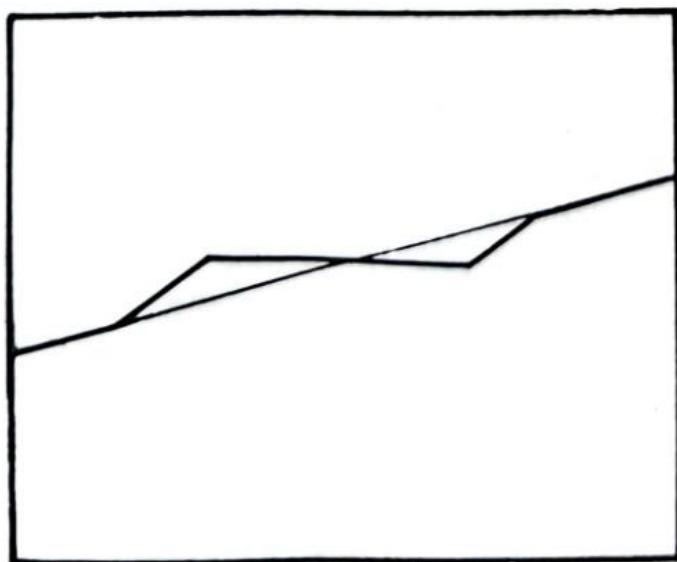


Fonte: Bertol; Cogo (1996)

2.3.8.2 TERRAÇO PATAMAR

O processo de construção patamar é indicado para terrenos muito inclinados utilizados para culturas perenes, uma prática utilizada desde a antiguidade em regiões montanhosas. Sua construção remete aos patamares utilizados nas escarpas andinas pela civilização inca que até os dias de hoje podem ser vistos. Esta técnica de terraço é a que necessita de elevado investimento de capital, e normalmente é utilizada em regiões de grande densidade populacional que tenha ausência de planícies agricultáveis afim de justificar todo o investimento necessário para sua aplicação. Sua construção de dá em terrenos a partir de 20% de declividade, e após finalizado se transforma em um verdadeiro patamar inclinado para dentro do barranco. Quando o terreno tiver uma alta inclinação deve-se construir um patamar estreito para cada linha de plantas, já em declives menores, o patamar pode ser de maior largura e se as plantas forem de pequeno porte, mais linhas podem ser plantadas em cada um. Em alguns casos pode-se efetuar o plantio de plantas intermediárias entre os patamares quando possível. Este tipo de construção requer cautela quanto ao desague, pois como há a dificuldade da construção de canais de escoamento, grotas naturais e vegetadas são o ideal percurso para o desague.

Figura 11: Ilustração Terraço Patamar



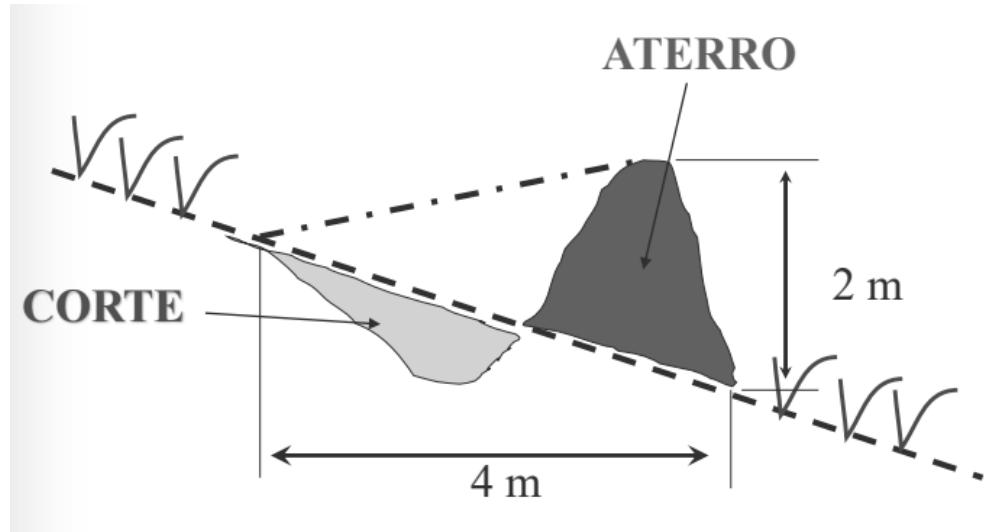
Fonte: Bertoni; Lombardi Neto (2008)

2.3.8.3 TERRAÇO MURUNDUM OU LEIRÃO

A construção do terraço murundum (figura 12), é constituído por um grande camalhão (aterro), é recomendado para inclinações de até 15%, porém pelas grandes proporções do aterro a perda da faixa de plantio pode chegar a 4 metros sendo grande

o suficiente para impedir a entrada de maquinário. (EMBRAPA, 2012).

Figura 12: Ilustração Terraço Murundum ou Leirão

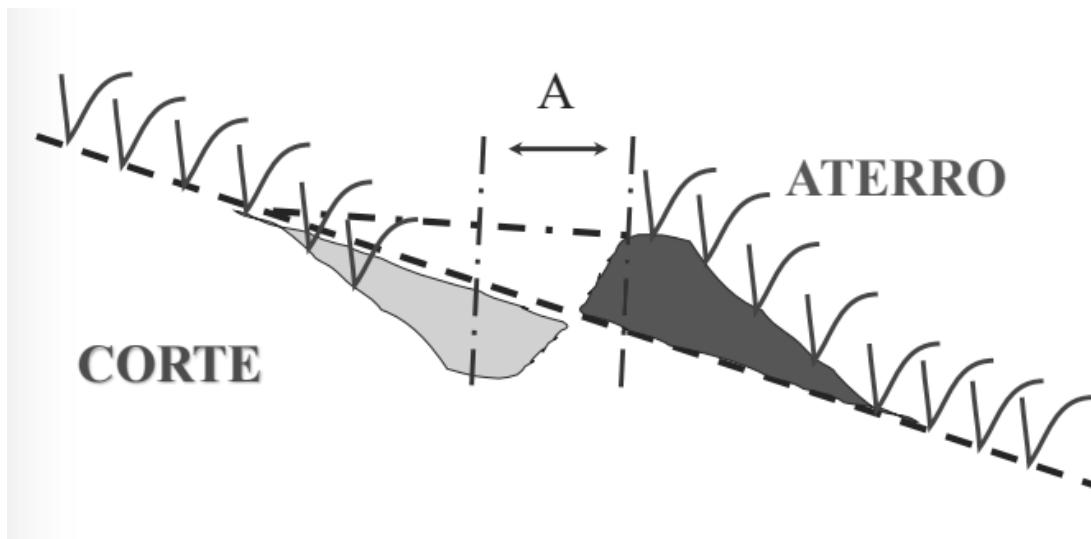


Fonte: Pedro Luz (2018)

2.3.8.4 TERRAÇO EMBUTIDO

Este é um tipo de terraço (figura 13) muito difundido em plantações de cana de açúcar, mas pode ser utilizado em meio a diversas outras. Ele se assemelha um pouco ao murundum, mas apresenta uma área de perda da faixa de plantio muito inferior. É considerado um terraço de grande estabilidade, utilizado em solos arenosos e em declives acentuados e apresenta bom aproveitamento de área. (EMBRAPA, 2012).

Figura 13: Ilustração terraço embutido



Fonte: Pedro Luz (2018)

3. RPAs – SISTEMA DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

A sigla RPAs, é originária do inglês *Remotely Piloted Aircraft system*, se tornou um termo padrão global pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), referindo-se aos Sistemas de Aeronave Remotamente Pilotada. Segundo o DECEA 2020, os RPAs podem ser distinguidos entre duas atividades:

- Aeromodelismo: no qual a aeronave é submetida a atividades recreativas.
- Aerolevantamento: Atividade de cunho comercial que representa o procedimento de operações aéreas sujeitas a medição, coleta e registro de dados do terreno, utilizando câmeras e ou sensores especiais para análise, interpretação e divulgação dos resultados dos dados levantados. A atividade do aerolevantamento é regulada por dois decretos-lei nº 1.177/1971, nº 2.278/1997 e uma portaria regulatória de nº 3726/2020 do Ministério da Defesa. A prática desta atividade exige a AVOMD – Autorização de Voo do Ministério da Defesa que é concedida pelo SARPAS (Sistema de Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo por RPAs).

De acordo com ANAC (2017), a classe dos RPAs se dá de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD) e dividido conforme o quadro abaixo.

Quadro 1: Classificação dos RPAs por PMD

Classe	Atribuição
1	RPAS com peso máximo de decolagem maior que 150 kg
2	RPAS com peso máximo de decolagem maior 25 e menor ou igual 150 kg
3	RPAS com peso máximo de decolagem inferior ou igual à 25 kg

Fonte: adaptado de ANAC (2017).

A imensa maioria dos RPAs utilizados tanto em aeromodelismo quanto aerolevantamento se enquadram na classe 3, ou seja, inferior ou igual a 25 kg.

A utilização de RPAs na modalidade de aerolevantamento é vista como um dos pilares da próxima revolução agrícola que é pautada em dados, estes, responsáveis por auxiliar o aumento da produtividade e o menor impacto ao meio ambiente. A aplicação das aeronaves no âmbito ambiental cresce ano a ano nos ramos da agropecuária, redução ou prevenção de riscos e desastres, fiscalização e

monitoramento de recursos florestais, pesqueiros e conservação da vida selvagem (EMBRAPA 2021). O baixo custo empregado em aeronaves de entrada somada a acurácia proporcionada pelos mesmos, são o fator principal do crescimento de seu uso e se justificam pela otimização do tempo comparada a técnicas tradicionais de coletas de pontos por receptores GNSS RTK L1/L2. Os equipamentos embarcados no RPAs fornecem uma nuvem de pontos considerável em levantamentos planialtimétricos, com pequenas distorções aceitáveis e/ou passíveis de correção de forma rápida e simples via softwares computacionais. (CASTRO; RIBASKI, 2019).

O valor do investimento em um RPAs de entrada oscila entre 5 e 17 mil reais entre algumas marcas e modelos, já modelos mais sofisticados podem ultrapassar a casa dos cem mil reais facilmente.

Sobre os benefícios do uso de RPAs em aerolevantamentos podemos afirmar que:

“Os principais benefícios da obtenção das imagens com RPAs contemplam os baixos custos materiais e operacionais, controle flexível da resolução espacial e temporal, coleta de dados de alta intensidade e ausência de risco para as tripulações” (TANG; SHAO, 2015 apud FIGUEIREDO, 2018, p. 2).

Os RPAs utilizados em aerolevantamentos são constituídos de:

Quadro 2: A constituição de um sistema RPA para aerolevantamento

Estação de Pilotagem	Convencionalmente acoplada a um <i>tablet</i> ou <i>smartphone</i> permite a vizualização de mapa de referência e acesso aos acessórios embarcados.
Frame	A estrutura do RPAs onde os componentes são embarcados.
Rádio Controle	Receptor para comandos rápidos para os servos e segurança na pilotagem.
Controladora de Vôo	Responsável pelo controle dos periféricos, é o cérebro do RPAs.
Interface para GNSS	Conexão com diversas constelações de satélites de posicionamento. (GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS ou BeiDou).
Unidade de Navegação Inercial (IMU)	Sistema que controla as acelerações determinando posição e deslocamento, e corrige as distorções da margem de erro que o satélite proporciona.
Magnetômetro 3 eixos (x, y, z)	Funciona como uma bússola digital auxiliando na orientação do equipamento.
Acelerômetro e Giroscópio	passa dados de telemetria em relação a aceleração e inclinação da aeronave.
Acessórios	Câmera e/ou sensores, bateria, cartões de armazenamento

Fonte: adaptado de EMBRAPA (2020).

Algumas aeronaves da categoria de entrada podem conter um sistema GNSS RTK embarcado o que pode beneficiar ainda mais a otimização do tempo na coleta e processamento dos dados.

A utilização dos RPAs em aerofotogrametria é de grande vantagem,

principalmente em pequenas áreas e também as que necessitem de acompanhamento periódico. (GOMES, 2020). Os RPAs também permitem a utilização em grandes áreas, porém o equipamento utilizado agrega um valor acima dos RPAs de entrada devido a sua autonomia e também mudam de plataforma.

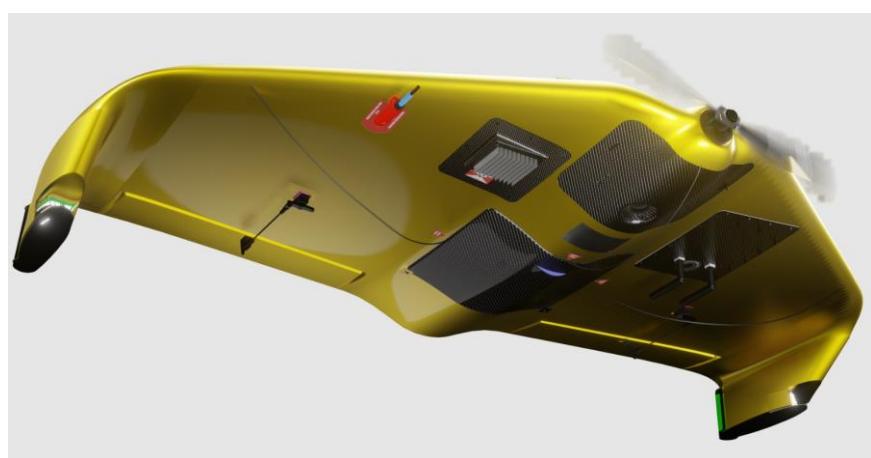
3.1 PLATAFORMAS DOS RPAs

Os RPAs se dividem basicamente em duas plataformas, Asa fixa ou Multirrotor.

3.1.1 RPAs ASA FIXA

Essa plataforma de aeronave se assemelha com um avião (figura 14), geralmente tem um único motor e é mais utilizada para aerolevantamentos em grandes áreas, pois, esse tipo de RPAs tem alta autonomia de bateria (*storage*) e somada a sua capacidade de atingir altas velocidades permite uma cobertura de mapeamento e monitoramento muito maior que os RPAs multirotor (figura 15). Em geral esses equipamentos tem uma autonomia de operação de 2 a 3 horas por bateria. Sua forma de pilotagem pode ser manual ou automatizada e dentre suas desvantagens esta plataforma requer um maior espaço que permita condições para os protocolos de decolagem e pouso, além de possuírem baixa capacidade de embarque de equipamentos (*payload*) em comparação a um multirotor. Ainda são mais difíceis de pilotar e a captura das imagens só ocorre de forma vertical (EMBRAPA, 2020). Os principais equipamentos no mercado são: XMobots – Arator e Echar, eBee, Batmap.

Figura 14: RPAs Asa fixa Arator 5c



Fonte: XMobots (2022)

Nos dias atuais alguns novos modelos de RPAs asa fixa também podem se encaixar em uma nova plataforma chamada de híbrida, que além das mesmas características estruturais do RPAs asa fixa, um e/ou mais novos rotores foram

adicionados para efetuar os protocolos de decolagem e pouso de forma vertical, acabando assim com a desvantagem em locais de pouco espaço para a efetivação destes protocolos (EMBRAPA, 2020).

3.1.2 RPAs MULTIROTOR

Os multirotoretes recebem este nome por carregar mais de um rotor, a enorme maioria dos modelos disponíveis no mercado equipa 4 rotores, podendo ter 6, 8, 10 e 12 rotores cada um levando em consideração a capacidade de levantamento de peso dos equipamentos embarcados gerando a classificação do peso máximo de decolagem (PMD). Pode-se ainda haver RPAs com uma quantidade maior de rotores, porém estes são fabricados de forma mais artesanal, uma vez que comercialmente este tipo de aeronave tem um mercado bem restrito, e as empresas conceituadas não tem interesse comercial nesse nicho de mercado. (EMBRAPA, 2020).

Os principais equipamentos no mercado de aerolevantamento são da empresa DJI, líder de mercado na categoria com os modelos: Mavic2 PRO, Mavic 3, Inspire 2, Phantom 4 PRO e a linha DJI *agriculture* – Agras utilizada para pulverização do campo.

Figura 15: RPAs multirotor DJI Mavic 2 PRO



Fonte: DJI (2022)

As vantagens desta plataforma são inúmeras, a começar pelo seu valor de investimento muito inferior a um asa fixa, os protocolos de aterrissagem e decolagem são verticais, a pilotagem manual do aparelho é extremamente simples e fácil, o

ângulo de captura das imagens também é superior a um modelo asa fixa, pois há a possibilidade de imagens verticais e horizontais rotacionando a câmera embarcada. No âmbito das desvantagens essa plataforma sofre por uma baixa autonomia de voo, e por não conseguir atingir velocidades extremas como um equipamento de asa fixa, o multirotor acaba por ter uma cobertura de área por voo bem inferior (EMBRAPA, 2020). A bateria de um multirotor varia de 20 a 40 minutos de operação, sendo assim um aerolevantamento de uma grande área comparando autonomia e produtividade das duas plataformas, um multirotor precisa de vários planos de voo a mais para sobrevoar a mesma área de interesse do que um equipamento asa fixa.

Deve-se levar em consideração a quantidade de imagens obtidas para o trabalho, pois, influenciam diretamente no tempo para finalizar o projeto. É difícil afirmar qual plataforma é a melhor, vai depender do tipo de projeto que será executado e do local e suas condições. De um modo geral o multirotor é o mais indicado para mapeamento, dado o seu custo benefício e qualidade final dos produtos gerados.

2.1.2.1 MAVIC 2 PRO

O RPAs multirotor utilizado no projeto foi o Mavic 2 PRO da empresa DJI, é um equipamento fantástico que possui uma das melhores câmeras do mercado, da marca *Hasselblad* que embarca os equipamentos Mavic 2 PRO e Mavic 3 (DJI 2020). As câmeras desta empresa são altamente reconhecidas por sua qualidade e por seu conjunto de lentes, o modelo L1D-20C que embarca esta aeronave é de última geração conta com um sensor de 20MP de 1" e o sistema HNCH - *Hasselblad Natural Color Solution* traz a máxima precisão nas cores e nuances (HASSELBLAD 2020). Segundo as especificações do manual do equipamento, sua autonomia de bateria informada é de 31 minutos de tempo limite, mas devido as condições do tempo e o vento fazem com que na prática o tempo seja reduzido. A velocidade do equipamento varia de 29 a 38 km/h, não é recomendada a decolagem em locais em que o vento ultrapassar 11m/s. O Mavic 2 PRO ainda conta com sensores anti-impacto que evitam colisões e desvia de obstáculos e acompanha um controle que deve ser conectado a um dispositivo digital (*tablet ou smartphone*) para a automatização dos voos.

3.2 HARDWARE E SOFTWARE PARA PROCESSAMENTO

O RPAs não é o único equipamento necessário para todo o processo do trabalho, um computador com configuração potente de hardware é necessário para que a

grande quantidade de imagens de alta resolução sejam processadas sem erro e em um tempo razoável (figura 16). São recomendados processadores (CPU. O cérebro do computador), com uma maior quantidade de núcleos (processadores individuais que executam diferentes tarefas) e threads (linhas de execução multitarefas) responsáveis por suportar uma enorme carga de tarefas diferentes ao mesmo tempo a aumentar a velocidade de execução de softwares. Além disso uma boa placa de vídeo (GPU) é utilizada no processamento e é voltada para atividades gráficas realizando renderizações em tempo real, modelagem tridimensional e altas definições. Um pacote de memória RAM a partir de 16GB, que são responsáveis por levar toda a informação para o processador, e por fim uma unidade de armazenamento (HD) com alta taxa de transmissão preferencialmente do tipo SSD NVME M2.

O principal software utilizado para o processamento das imagens do projeto além do AutoCAD, foi o *Agisoft Metashape Professional* que em seu site fornece algumas recomendações de configuração de hardware para melhor utilização do mesmo.

Figura 16: Hardware recomendado pela Agisoft

Basic Configuration	Advanced Configuration	Extreme Configuration
up to 32 GB RAM	up to 128 GB RAM	more than 128 GB RAM
CPU: 4 - 8 core Intel or AMD processor, 2.0+ GHz	CPU: 6 - 24 core Intel or AMD processor, 3.0+ GHz	For processing of extremely large data sets a dual socket Intel Xeon Workstation with Quadro/Tesla GPUs can be used.
RAM: 16 - 32 GB	RAM: 32 - 128 GB	
GPU: NVIDIA or AMD GPU with 700+ CUDA cores / shader processor units (For example: GeForce GTX 1080 or Radeon RX 5700)	GPU: 1 - 2 NVIDIA or AMD GPUs with 1920+ CUDA cores / shader processor units (For example: GeForce RTX 2080 Ti or Radeon VII)	

Fonte: Agisoft (2022)

Na configuração básica pesquisando e utilizando o software, com pequenas quantidades de imagens, é possível fazer o processamento sem uma placa de vídeo, porém o tempo do processamento será elevado. A configuração avançada enquadra pequenos e médios profissionais autônomos e empresas com médio volume de trabalho, e a configuração extrema que é indicada para grandes volumes de dados e uma alta demanda de projetos.

4. OBJETIVOS

4.1 GERAL

A proposta é validar uma metodologia que utiliza o sistema de aeronave

remotamente pilotada (RPAs), juntamente com modelos digitais de elevação e plantas planialtimétricas geradas por aerofotogrametria de alta resolução, para comprovar a eficácia das práticas mecânicas na conservação do solo..

4.2 ESPECÍFICOS

- Realizar levantamento detalhado da área de estudo, gerando banco de dados fotogramétrico de alta resolução obtida por sistema de aeronave remotamente pilotada RPAs.
- Tratar banco de dados e geração de orthomosaico georreferenciado para cálculo preciso de área.
- Gerar o modelo digital de elevação do terreno e fazer o diagnóstico dos terraços já existentes nos talhões, calcular seus volumes, se há degradação e possíveis locais com a ação de processos erosivos.
- Gerar planta planialtimétrica com isolinhas altimétricas de metro a metro. Processar e o digitalizar o MDE, levantando somente os terraços existentes, cruzar os dados, analisar a coerência, distância e nível.
- Criar projeto de implantação de terraceamento baseado na análise do banco de dados e a produção cartográfica de todo o processo.

5. MATERIAIS E METODOS

5.1 DADOS E EQUIPAMENTOS

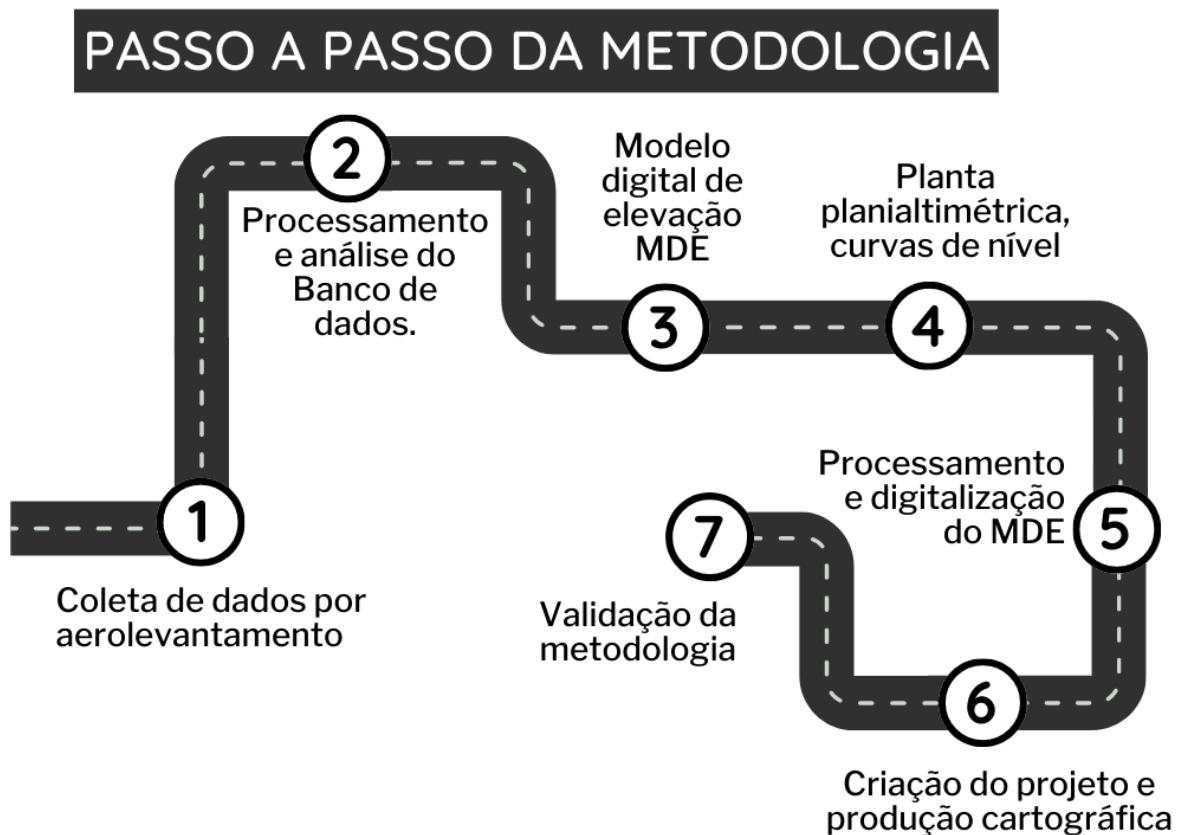
- 31 pontos de controle georreferenciados obtidos através de GNSS RTK;
- Pontos de controle em campo coletados por RPAs em 4 alvos;
- Gabarito para alvos foto visíveis;
- RPA DJI Mavic 2 PRO;
- Smartphone Iphone 8 Plus;
- CPU Xeon E5 2670 V3, 16gb RAM, GPU GT 730, SSD NVME 256gb.

5.2 SOFTWARES

- DroneDeploy;
- Esri ArcGIS;
- Agisoft Metashape;
- AutoCAD 2018;
- AutoCAD Raster Design 2018;

5.3 SÍNTSE DA METODOLOGIA

Figura 17: Fluxograma de etapas da atividade e da metodologia proposta

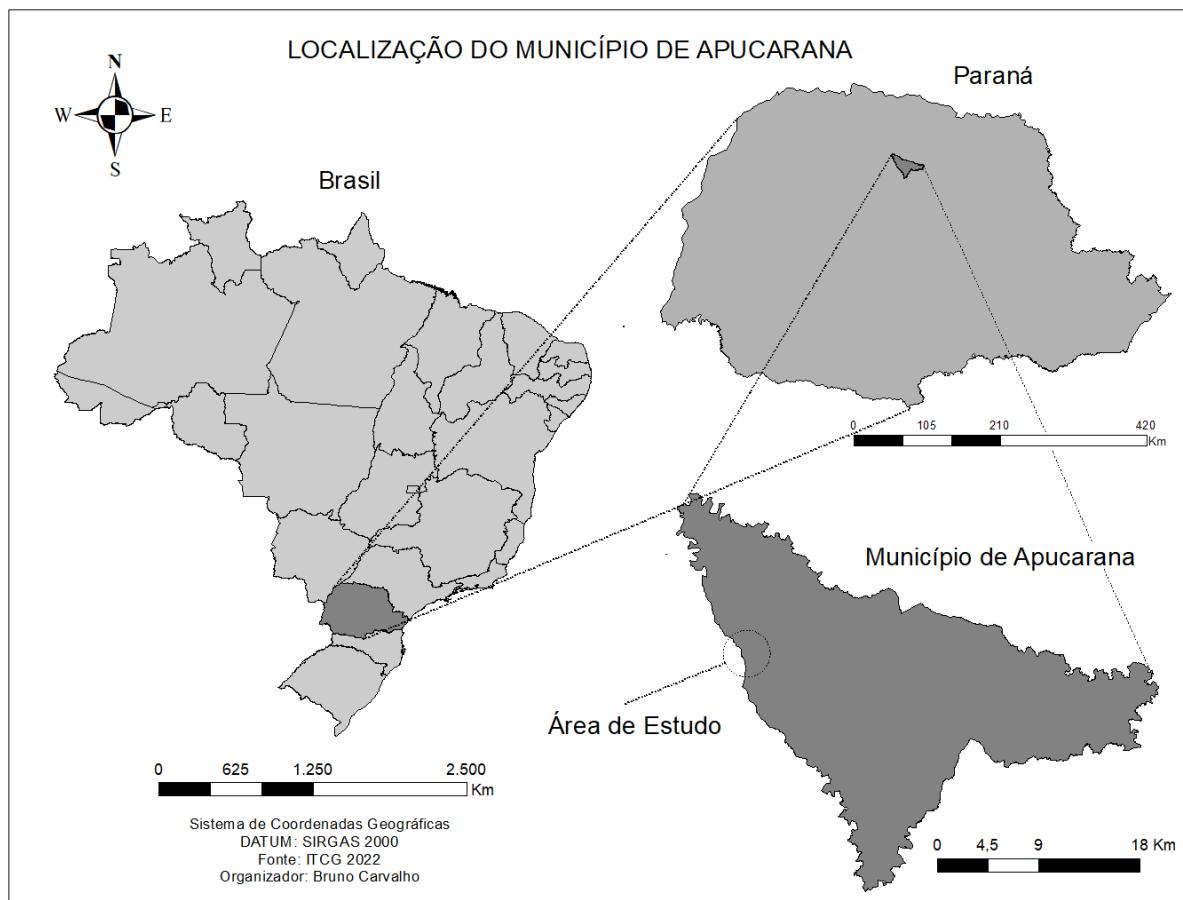


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Apucarana fica situado no terceiro planalto do Paraná e faz parte da mesorregião norte central paranaense. Possui unidade territorial com cerca de 558.389 km², segundo estimativas do IBGE sua população estimada em 2021 pelo IBGE é cerca de 137.438 habitantes, contendo uma densidade demográfica média de 216,55 habitantes por km². Instaurada em 1944 por consequência das obras da companhia de terras do norte do Paraná (CTNP) buscando uma expansão do cultivo do café, Apucarana deriva de origem tupi-guarani, nomeada pelos indígenas guaianases significa “base da floresta grande” (apó = base; caarã = semelhante à floresta; anã = imensa). Seu povoamento é fruto de um elevado contingente para mão de obra, formado por imigrantes de países europeus, somados aos migrantes internos dos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Figura 18: Localização Município de Apucarana



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O clima nessa região seguindo a classificação climática de Köppen-Geiger é o subtropical úmido (Zona Cfa), com temperatura média anual por volta de 20º C, a amplitude térmica anual é muito grande, segundo o SIMEPAR as temperaturas durante o verão atingem picos acima dos 37º C e durante o inverno as temperaturas podem chegar a graus negativos.

Sua pluviosidade acumulada é de 1500 à 1700mm ano. Em relação ao relevo e a vegetação, o município de Apucarana se situa em um grande divisor de águas, composta pelas bacias hidrográficas de 4 grandes cursos d'água, o rio Tibagi que compõe a porção ocidental do território, o rio Paranapanema na região setentrional e o rio Ivaí que se situa na porção meridional do município e o rio Pirapó que deriva do rio Paranapanema, e segue pela porção oriental do município sendo o principal curso d'água para abastecimento de água da cidade para consumo humano e industrial.

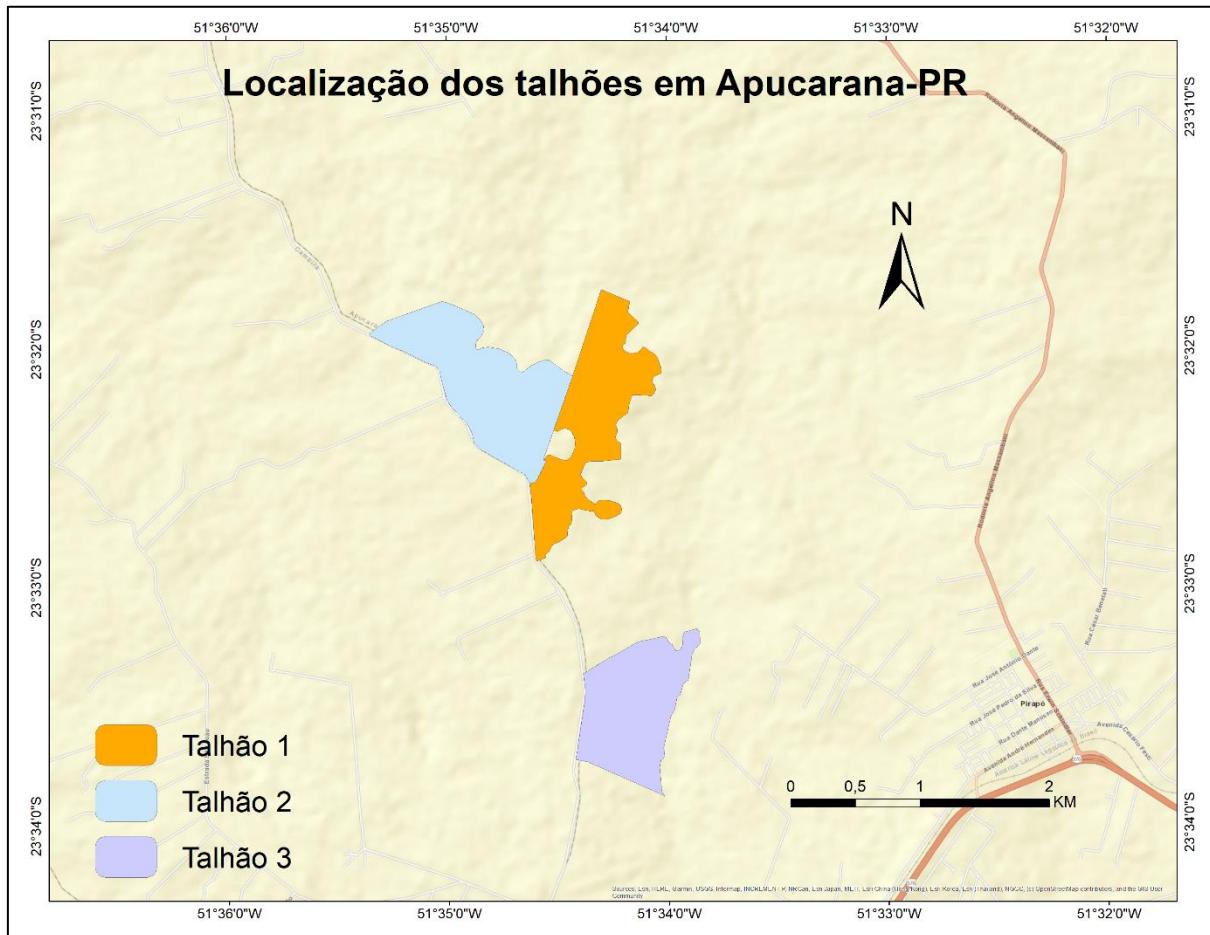
O relevo ainda compreende grandes altitudes, Apucarana conhecida como cidade alta possui altitudes que variam de 420 metros até 908 metros acima do nível

do mar, tendo uma altitude média de 663 metros. Sua vegetação pertence ao bioma Mata Atlântica, onde se predominavam a mata das araucárias, esta devastada durante a ocupação do Estado do Paraná, hoje somente restam 5% da mata original. Apucarana possui uma economia diversificada, com destaque para o setor de serviços e a indústria.

No entanto, o agronegócio também é uma atividade importante na região, com destaque para a produção de grãos, avicultura e agroindústria. A localização estratégica da cidade, próxima a importantes rodovias que ligam outros Estados e também levam ao Porto de Paranaguá, favorece a logística de transporte de produtos agrícolas para outras regiões do país e para exportação. A agricultura familiar é uma importante fonte de renda e emprego para a população local.

A fazenda que abrange a área de estudo do projeto, está situada a aproximadamente 25 km do contorno norte da cidade partindo da BR-369, seguindo para a BR-376 sentido norte por 7 km. Possui uma grande área de reserva legal com mais de 400 hectares e diversos talhões dispersos dentro dos seus limites de cerca. Entende-se por talhão um pedaço de terra separado do todo, que seja uma área de cultivo. No desenvolvimento do projeto foram escolhidos 3 talhões (figura 19) na parte oeste da fazenda, que fazem divisa com o município de Cambira-PR e somados totalizam aproximadamente 248 hectares de área cultivável.

Figura 19: Talhões de fazenda em Apucarana

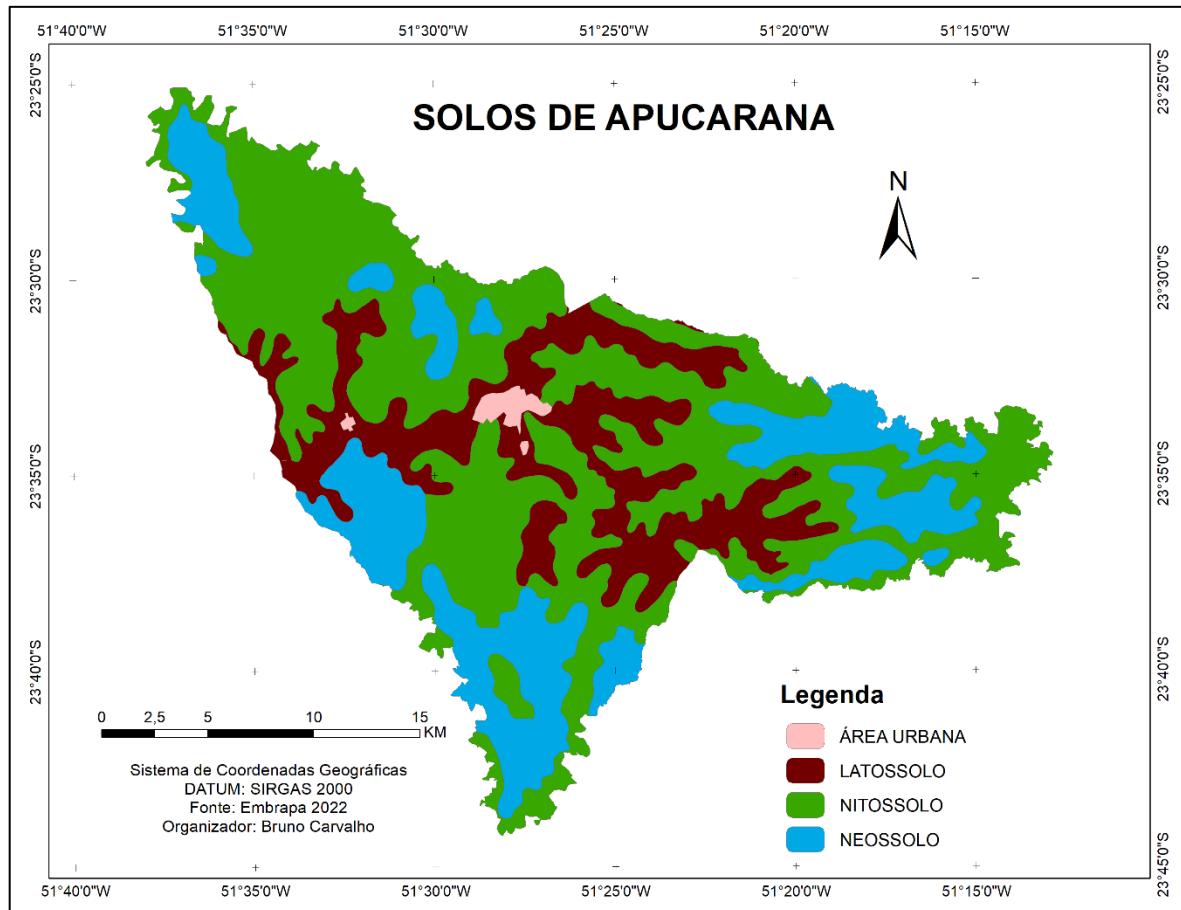


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Três são os tipos de solo que contemplam essa região (figura 20), pode-se perceber uma predominância de nitossolo vermelho eutroférico (NVef3), não muito distante em quantidade o latossolo vermelho eutroférico (LVef1), ambos pertencentes ao sub grupo típico e com textura argilosa. E por fim o neossolo regolítico eutrófico (RRe10), solo pertencente ao sub grupo chernossólico com textura argilosa e pedregosa. Todos os 3 tipos de solo, são profundos e bem drenados. O nitossolo vermelho eutroférico e o latossolo vermelho eutroférico são solos bastante comuns em regiões tropicais e subtropicais, ambos pertencentes ao subgrupo típico e com textura argilosa. Esses solos são caracterizados por serem profundos e bem drenados, o que favorece o desenvolvimento de plantas e a agricultura. A presença desses solos indica que a região pode ter um potencial produtivo para a agricultura, uma vez que são solos com boa fertilidade natural. Por outro lado, o neossolo regolítico eutrófico pertence ao subgrupo chernossólico e possui textura argilosa e pedregosa. Esse tipo de solo é formado a partir da desagregação de rochas e

apresenta baixa fertilidade natural. Em geral, a descrição dos solos indica que a região apresenta solos com características favoráveis para o desenvolvimento de atividades agrícolas, além de outras possibilidades econômicas. A profundidade e a boa drenagem dos solos são fatores importantes para o crescimento de plantas e a produtividade agrícola, o que pode ser explorado pela região.

Figura 20: Solos de Apucarana

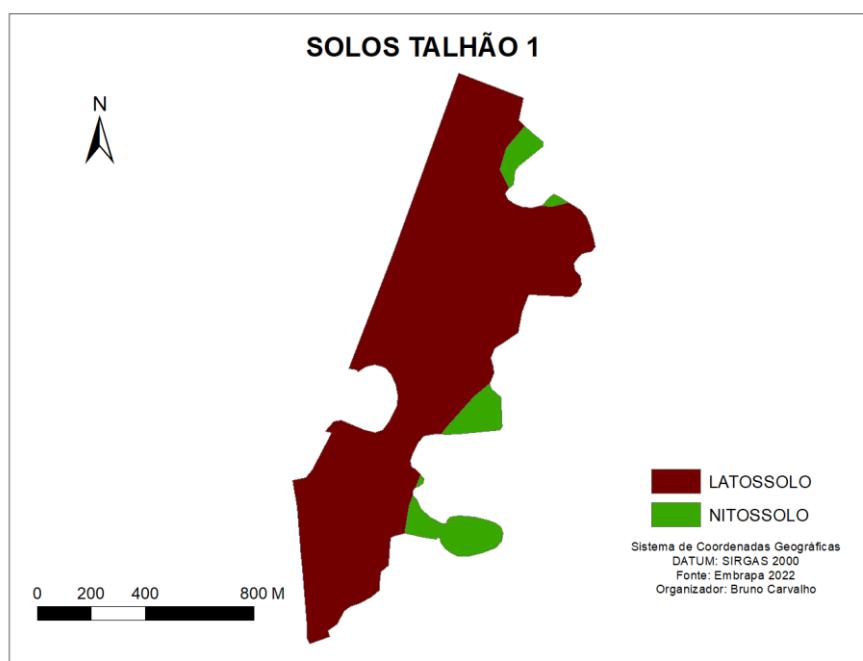


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Já na região dos 3 talhões utilizados no projeto (figuras 21, 22 e 23), somente o latossolo e o nitossolo estão presentes, facilitando assim o manejo do solo uma vez que ficamos somente com a textura argilosa, e sem os pedregulhos que o neossolo poderia prover. Sobre o critério de capacidade de absorção de água, os dois solos são bem drenáveis e quando bem manejados podem mitigar os processos erosivos fazendo com que a absorção da água seja a mais próxima a precipitação. O gradiente dos 3 talhões se enquadra para o terraceamento de base larga, porém o gradiente não segue um padrão uniforme por toda sua extensão aumentando sua declividade em alguns pequenos trechos, fazendo com que nesses locais fique mais difícil conter

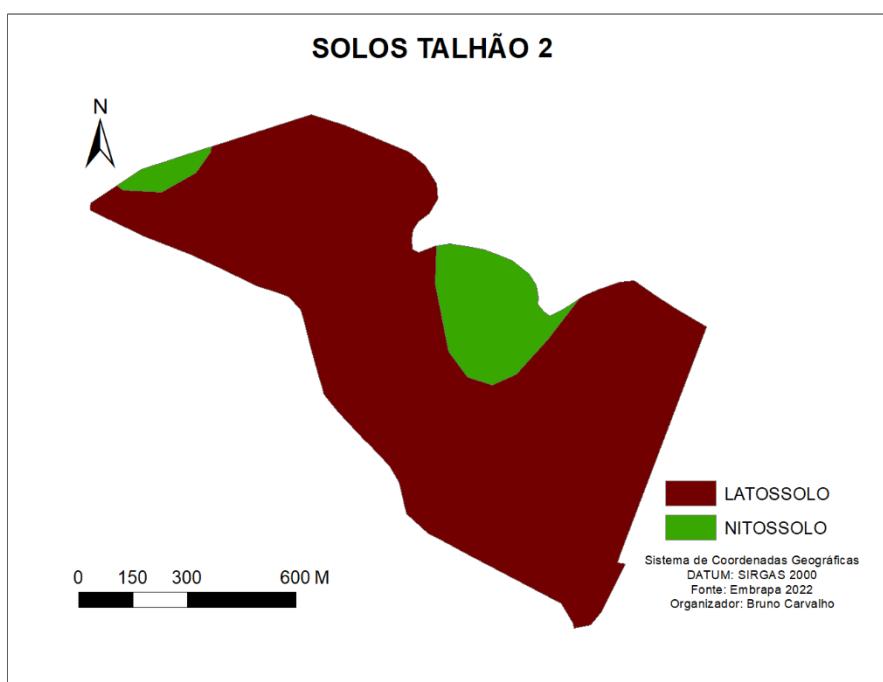
a enxurrada. Sendo assim, um projeto de terraceamento em áreas de agricultura intensiva preza sempre a importância da mecanização por todo o terreno, tentando aproveitar ao máximo o espaço para que as máquinas operem na área de plantio sem qualquer obstáculo que eventualmente tenham que transportar.

Figura 21: Solos Talhão 1



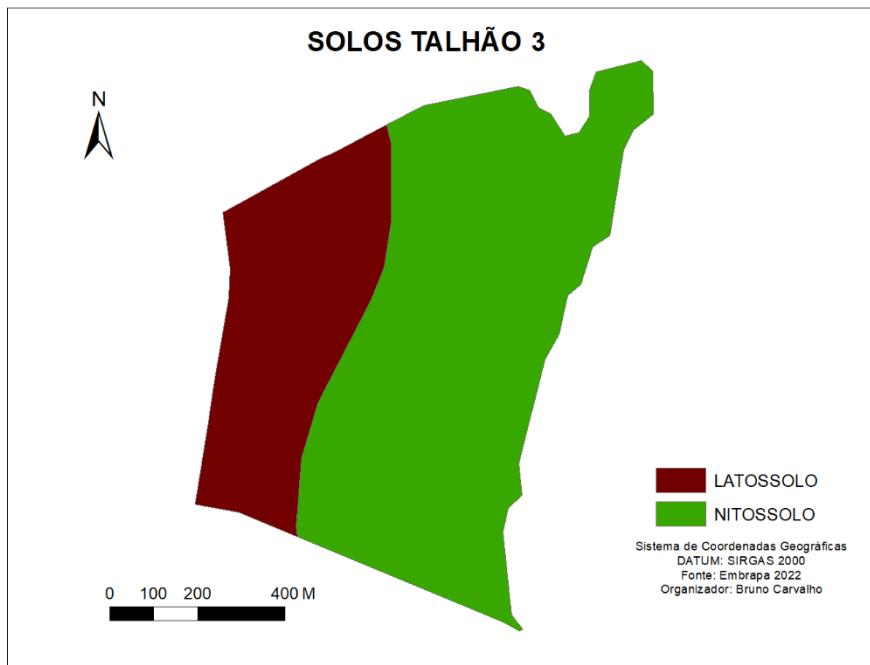
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 22: Solos Talhão 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 23: Solos Talhão 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Essa declividade que se acentua em trechos dos talhões remete a utilização de alguns talhões embutidos no meio do terreno, mesclando técnicas de construção conseguindo assim aproveitar uma maior porcentagem do terreno. Assim aumentando as bases dos terraços, facilitando a entrada de maquinários e conter a enxurrada, disciplinando-a aos canais de escoadouro e a infiltração por acumulação.

Quadro 3: Tipos de terraços em função da declividade do terreno

Declividade (%)	Tipo de terraço recomendado
2 – 8	Base larga
8 – 12	Base média
12 – 18	Base estreita
18 – 50	Em patamar

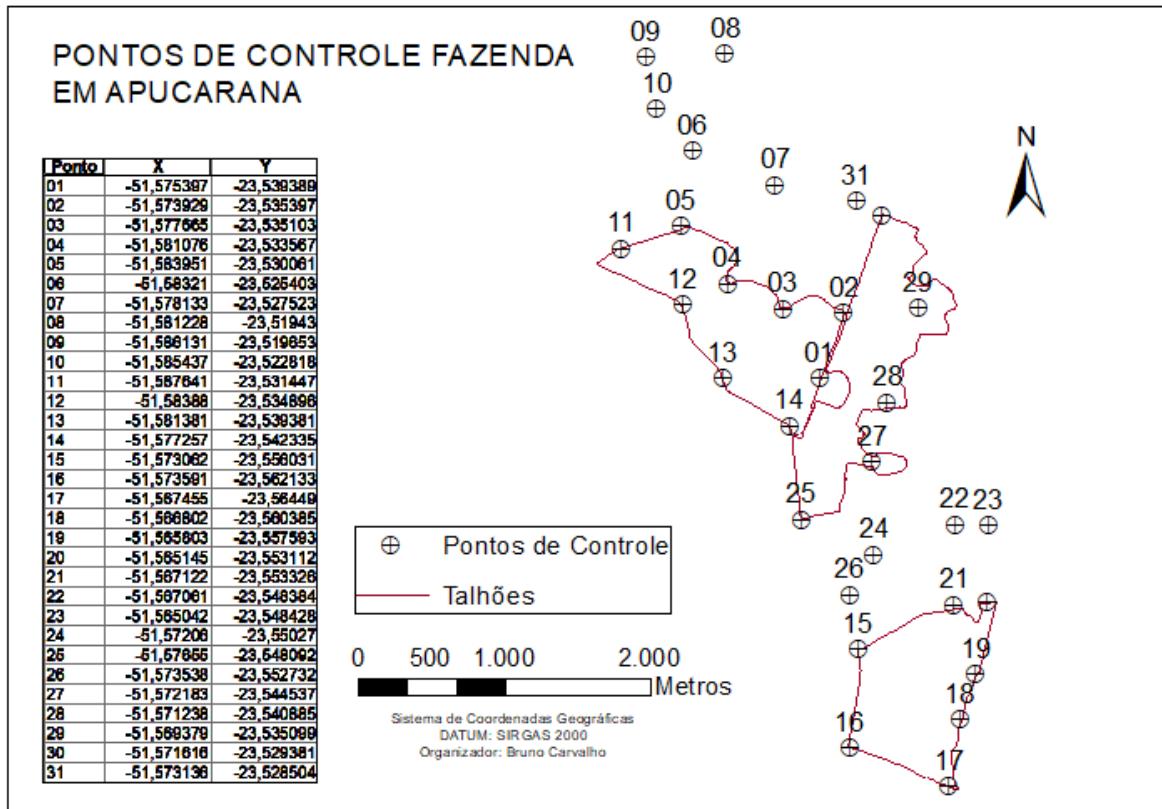
Fonte: Adaptado BERTOLINI (1989)

5.5 COLETA DOS PONTOS DE CONTROLE

Ao todo foram coletados 31 pontos de controle em toda a propriedade a partir de um receptor GNSS Ashtech ProMark 500 L1/L2 constituído de: base, rover e

acessórios.

Figura 24: Pontos de controle com coordenadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.6 LEVANTAMENTO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA – RPAs

O equipamento utilizado no aerolevantamento foi um DJI Mavic 2 PRO, a aeronave é equipada com câmera Hasselblad de 20 megapixels.

Figura 25: DJI Mavic 2 PRO e controle



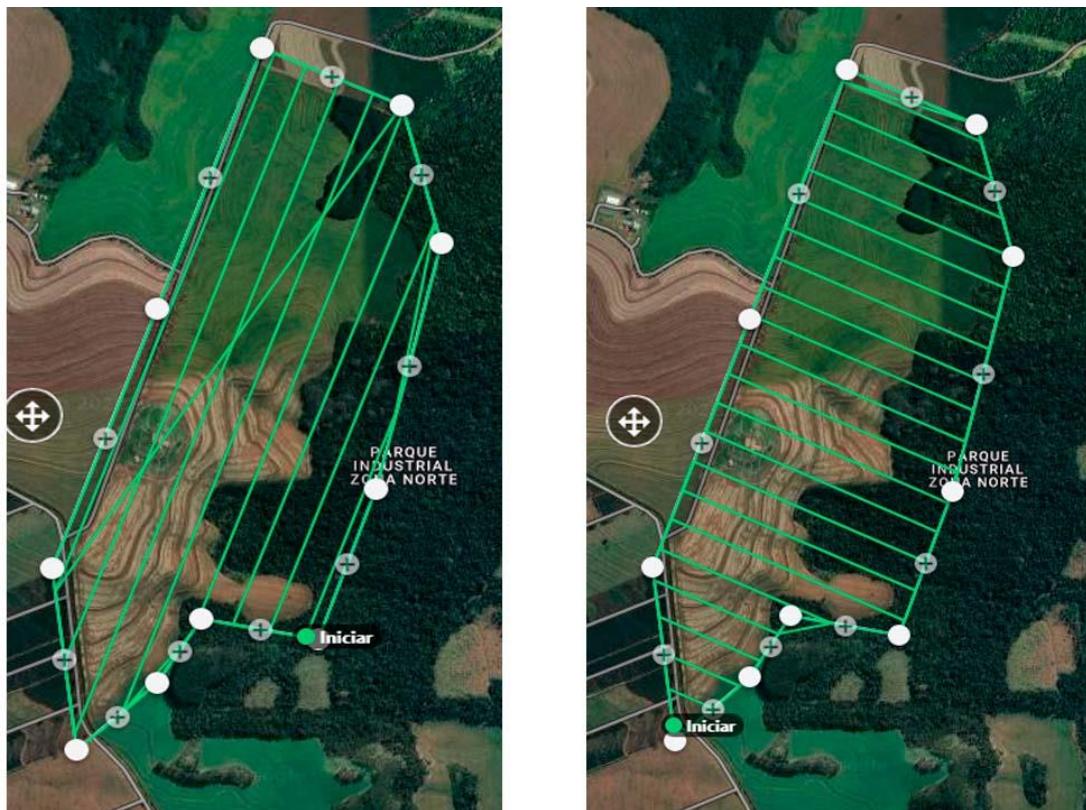
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A telemetria condiz a tecnologia que permite a troca de informações e medição dos dados por transmissão remota, sendo assim ela é responsável pelo monitoramento e rastreamento do RPAs.

O aerolevantamento pela aeronave remotamente pilotada foi executado em 3 dias a partir de dois planos de voos para cada talhão no sentido que eles se transponham verticalmente, sendo assim cada missão terá uma direção de voo projetada com uma angulatura de 90º entre elas promovendo assim o *double grid*, trazendo assim uma maior confiança e fidelidade na qualidade das imagens e dos dados capturados. Os pontos de controle foram marcados com cruz de cal reaproveitando os piquetes demarcados da coleta de pontos feita pelo GNSS RTK, assim como o arquivo *shapefile* dos pontos demarcados para fazer o cruzamento e o processamento dos dados obtidos.

Os planos de voo foram elaborados no site do aplicativo *DroneDeploy*, onde foram elaborados um total de 6 planos de voo, 2 planos para cada talhão (figuras 15, 16 e 17).

Figura 26: Planos de voo em *Double Grid* do Talhão1



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Figura 27: Planos de voo em *Double Grid* do talhão 2



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Figura 28: Planos de voo em *Double Grid* do Talhão 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A facilidade proporcionada pelo software *online DroneDeploy*, permite a importação dos arquivos do plano de voo criados no desktop para o aplicativo no celular, tratando de aplicar um voo completamente autônomo a aeronave remotamente pilotada, desde o protocolo de decolagem, até sua aterrissagem e

retornos para trocas de bateria.

Após cumpridos os protocolos de base de lançamento, baterias e o de telemetria o aerolevantamento somando todas as missões capturou um portfólio de 1925 imagens de alta resolução georreferenciadas, sendo 602 imagens do talhão 1, 712 imagens do talhão 2 e 611 imagens do talhão 3. Imagens essas que para serem processadas no software *Agisoft Metashape* levaram mais de 15 horas para serem analisadas.

5.7 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DO AEROLEVANTAMENTO

O procedimento se dá início importando as imagens do aerolevantamento para o computador, separando as imagens em pastas referentes a cada talhão. Assim, separadamente cada banco de imagens foi submetido ao software *Agisoft Metashape* para a realização das etapas do processamento.

Figura 29: Etapas do processamento no software *Agisoft Metashape*



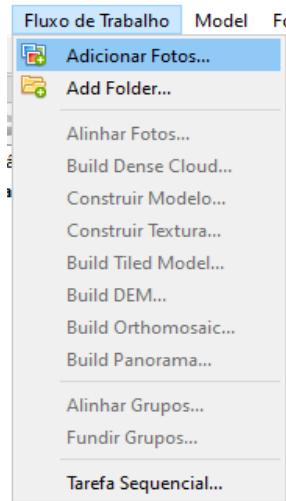
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.7.1 INSERÇÃO E ALINHAMENTO DAS IMAGENS

O manuseio do software é simples e intuitivo, partindo da aba fluxo de trabalho

(workflow), aciona-se adicionar fotos para inserir as imagens do aerolevantamento.

Figura 30: Aba fluxo de trabalho do software *Agisoft Metashape*

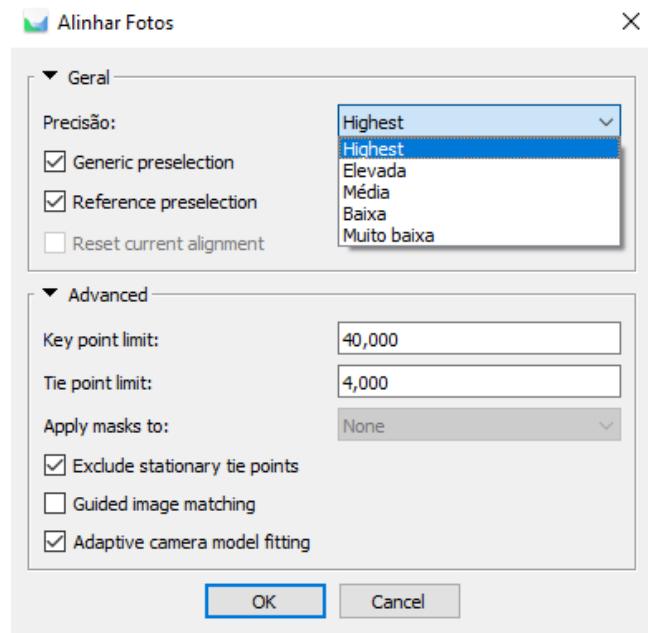


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Após as imagens adicionada é preciso fazer o alinhamento das mesmas. O software fará o alinhamento das imagens, baseado nas coordenadas georreferenciadas que carregam as imagens, com a orientação da câmera da aeronave, esse processo é feito para todas as imagens com o objetivo de formar um modelo de nuvem esparsa (sparse cloud). O processo de alinhamento é a etapa principal, este ponto é onde se confirma a acurácia e a qualidade do aerolevantamento, pois alguns fatores externos podem interferir na qualidade dos dados, como fortes ventos durante o voo, a regularidade da captura de feições do terreno e a configuração da altura do aerolevantamento com a sobreposição das imagens. Problemas como estes interferem diretamente na classificação do alinhamento, uma vez que o software fornece uma classificação baseada em 5 rigores de acurácia (do mais baixo até o mais alto rigor), somente um dos problemas citados anteriormente faria o software acusar uma aleatoriedade e não habilitar os rigores máximos de processamento para escolha, inviabilizando assim alguns projetos que necessitem do máximo rigor de alinhamento, pois, todo processamento restante é viabilizada a partir do alinhamento das imagens georreferenciadas.

Apesar de o tempo de processamento ser relativamente alto em detrimento da quantidade de imagens, é recomendado que o alinhamento e se possível todos os processamentos sigam o rigor máximo (*highest*) como este projeto, para no fim de todo o processamento gerar um ortomosaico de qualidade e de alta confiabilidade.

Figura 31: Configurações do alinhamento de fotos no *Agisoft Metashape*



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.7.2 GEORREFERENCIANDO OS PONTOS DE CONTROLE FOTO VISÍVEIS

O sistema de referência (Datum) utilizado, foi o Sistema de Referência Geocêntrico das Américas – SIRGAS 2000 que é o Datum oficial do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB. Este processo é de suma importância para que a padronização do processamento seja realizada no mesmo plano, para isso é necessária a conversão do projeto para o sistema de coordenadas escolhido. Para esse procedimento acesse a aba *reference* para converter o projeto.

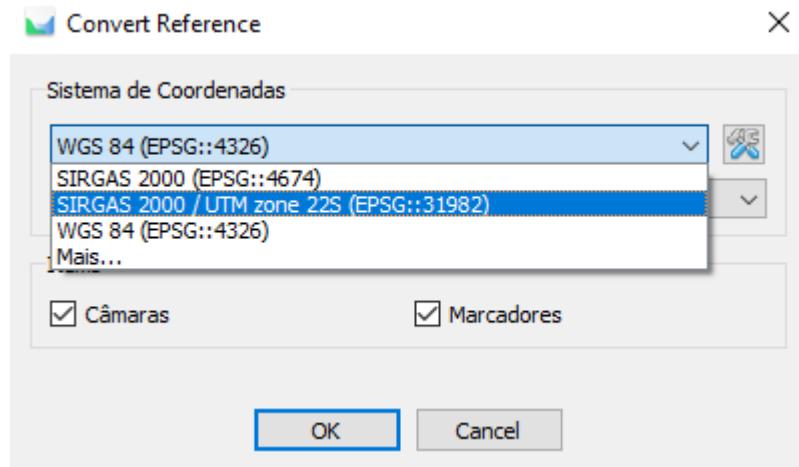
Figura 32: Aba *reference* do Agisoft Metashape

Câmeras	Latitude	Altitude (m)
DJI_0545	-23.027942	706.210000
DJI_0546	-23.027943	706.260000
DJI_0547	-23.027943	706.380000
DJI_0548	-23.027942	706.470000
DJI_0549	-23.027942	706.360000
DJI_0579	-23.027476	706.140000
DJI_0580	-23.027476	706.120000

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O próximo passo é escolher o Datum de referência e fazer a conversão do projeto.

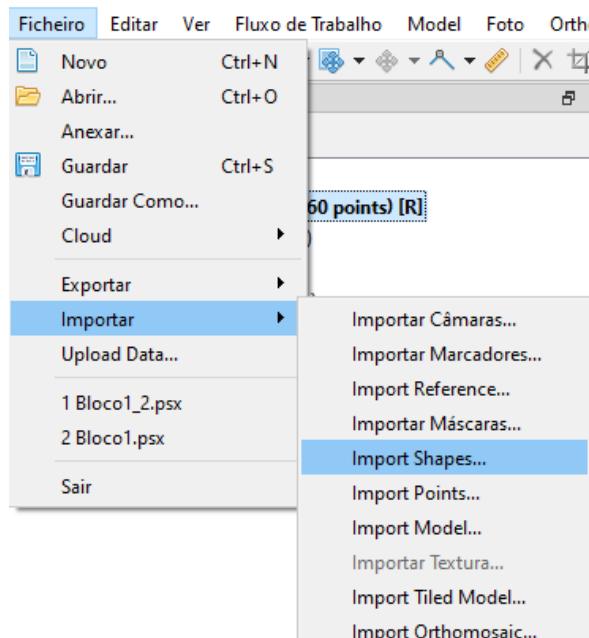
Figura 33: Janela de conversão de arquivo no Agisoft Metashape



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Terminada a conversão é necessário fazer o alinhamento dos pontos de controle foto visíveis com os pontos coletados pelo *hover* do GNSS RTK, coletados na propriedade. Portanto é preciso fazer a importação do arquivo shapefile para o projeto.

Figura 34: Importando arquivo shapefile no Agisoft Metashape



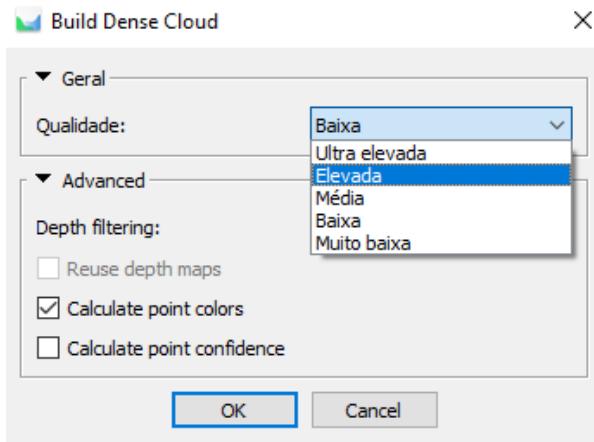
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Processada a importação dos pontos o software printa os pontos na tela e é preciso fazer o alinhamento manual arrastando os pontos georreferenciados até os mesmos pontos foto visíveis, fazendo a correção da geometria em todo o banco de dados dando aval para iniciar os processamentos e a geração cartográfica.

5.7.3 NUVEM DE PONTOS DENSA (*Dense Cloud*)

Esta etapa é base para o modelo digital de elevação (DEM), constitui em criar uma nuvem de pontos calculando informação de profundidade.

Figura 35: Janela *Build Dense Cloud* no Agisoft Metashape



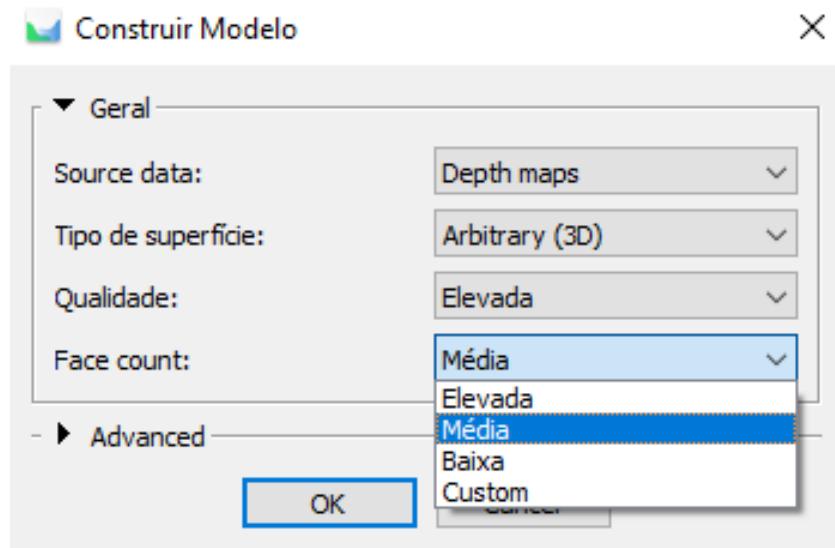
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

As configurações de classificação seguem o melhor e maior rigor de acurácia nesse caso representada pela classificação elevada, uma vez que o tempo de processamento para à escolha do ultra elevada é muito alto, e a classificação não é utilizada convencionalmente por gerar arquivos muito pesados. A nuvem de pontos gerada a partir destas configurações influencia diretamente na qualidade altimétrica do produto final, proporcionando riqueza de detalhes e precisão apesar do elevado tempo de processamento os resultados são compensadores.

5.7.4 GERANDO A MALHA (*Mesh*)

Agora baseado no produto gerado referente a nuvem densa de pontos é preciso gerar a malha (Mesh) e o modelo 3D. Para definir o número de polígonos que preencherão a malha utiliza-se o *face count* (contagem de faces) para modelar a malha em 3D. neste processo o rigor utilizado a qualidade elevada e o *face count medium* (médio).

Figura 36: *Buil Mesh – Construir modelo*

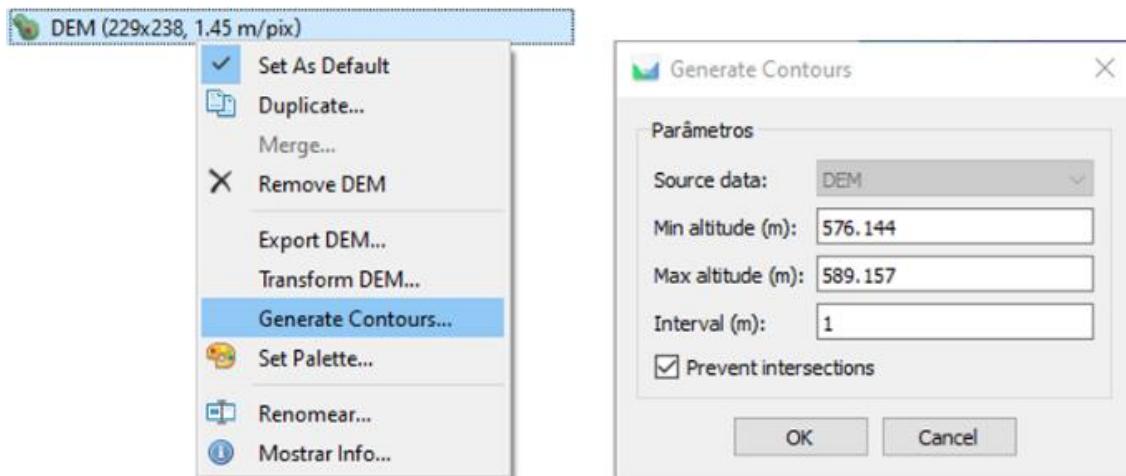


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.7.5 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (DEM)

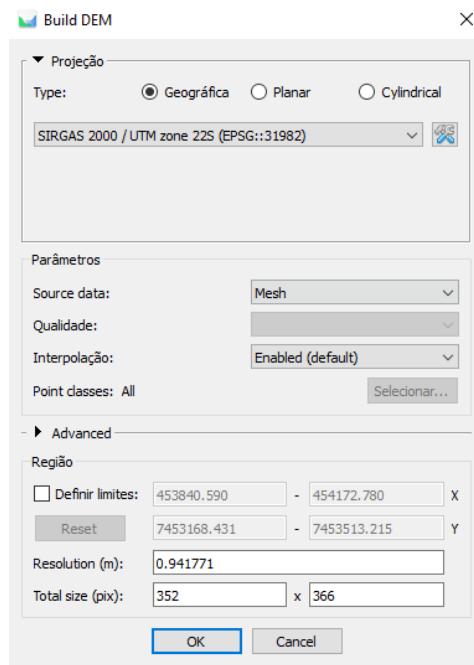
Este processo gera a representação de um modelo de superfície, o *Buid DEM* pode ser utilizado a partir de uma nuvem de pontos esparsos, nuvem densa de pontos ou malha como nos modelos gerados neste processamento. A representação do relevo é tão confiável, capaz de realizar quaisquer medições, volumes ou área a partir de um modelo digital de elevação. Neste arquivo foram geradas curvas de nível (*generate contours*) equidistantes verticalmente a 1 metro de distância.

Figura 37: Gerando curvas de nível (*Generate Contours*)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 38: Configurações *Build DEM*

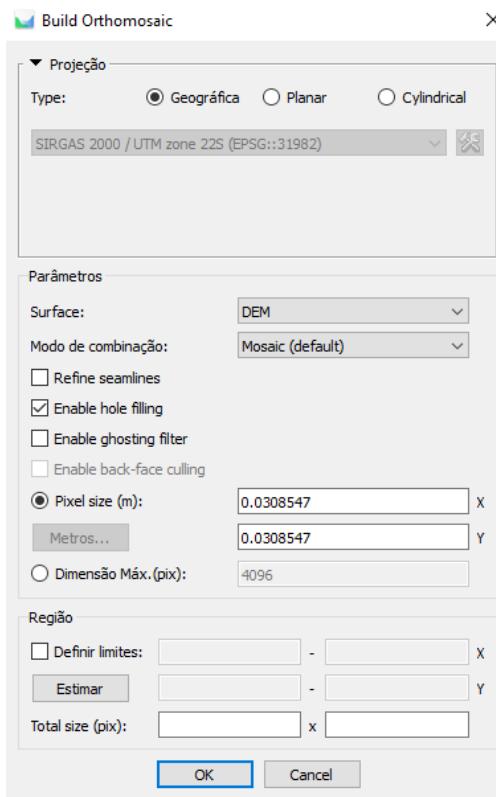


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.7.6 ORTOMOSAICO (*Orthomosaic*)

E na última etapa é preciso gerar o ortomosaico a partir do modelo digital de elevação.

Figura 39: Configurações *Build Orthomosaic*



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS

A apresentação dos resultados não segue a ordem dos produtos gerados pelas etapas do software *Agisoft Metashape*, mas sim da apresentação cartográfica gerada para construção de um projeto para terraceamento.

Os sete produtos obtidos pela metodologia proposta foram os seguintes:

- Ortomosaicos georreferenciados dos 3 talhões
- Modelo digital de elevação DEM dos 3 talhões
- Planta planialtimétrica dos 3 talhões
- Digitalização do DEM em modelo 3D dos 3 talhões
- O cruzamento das planialtimetrias com o terrameamento existente
- O projeto gerado da análise dos cruzamentos
- O projeto final com imagens de alta resolução

6.2 PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS DOS PROCESSAMENTOS

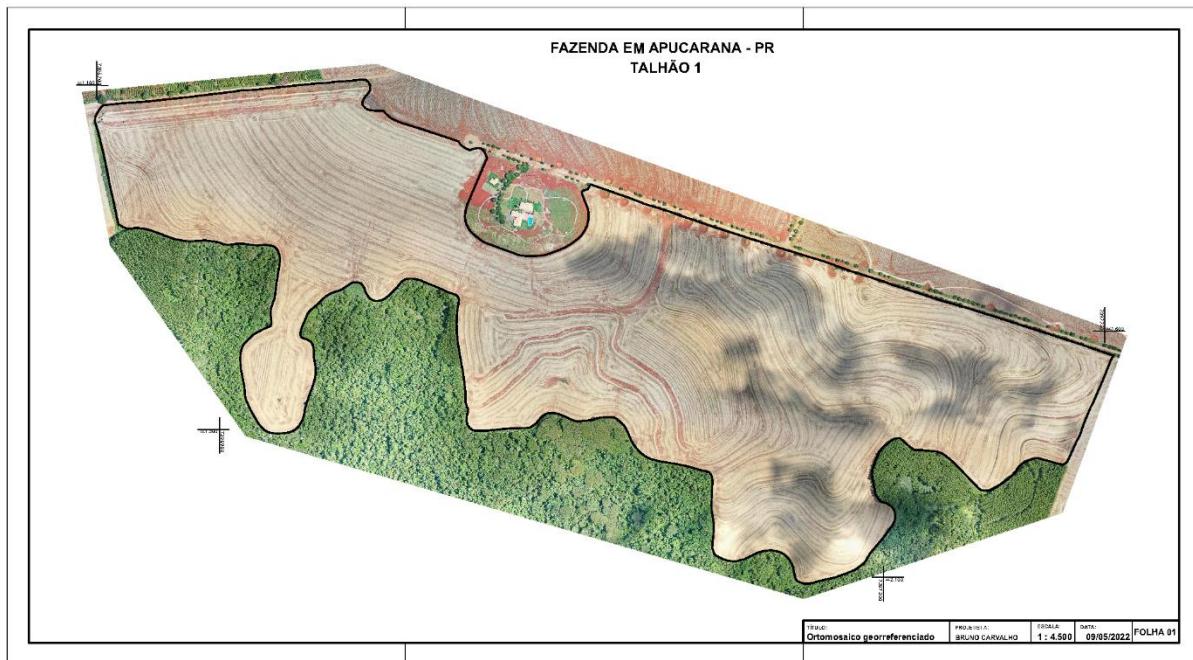
Após o processamento completo no *Agisoft Metashape*, os arquivos foram exportados para o AutoCAD em formato *Tiff*, que irá permitir ao software a completa manipulação dos dados métricos do material gerado para cálculos de área e perímetro quanto a planta de uso atual do solo. O intuito de utilizar o AutoCAD que é um software ligado as engenharias vem de encontro com a necessidade de gerar plantas baixas para impressão e a um específico conjunto de ferramentas denominado *Raster Design*.

Essas ferramentas permitem o usuário utilizar diversos formatos de imagens, digitalizadas, de aerolevantamentos, modelos digitais de elevação e até imagens de satélite. As últimas versões da extensão que compõem o conjunto de ferramentas aceitam diversos formatos de imagem e permite sua manipulação. Além de simples retoques e espelhamentos, habilita edições de entidades *raster* (REM) podendo editar linhas, arcos, pontos com facilidade. Fornece ainda ferramentas de vetorização para converter arquivos e transformação das imagens para exibir a análise das imagens geográficas no AutoCAD map3D.

6.2.1 ORTOMOSAICOS GEORREFERENCIADOS

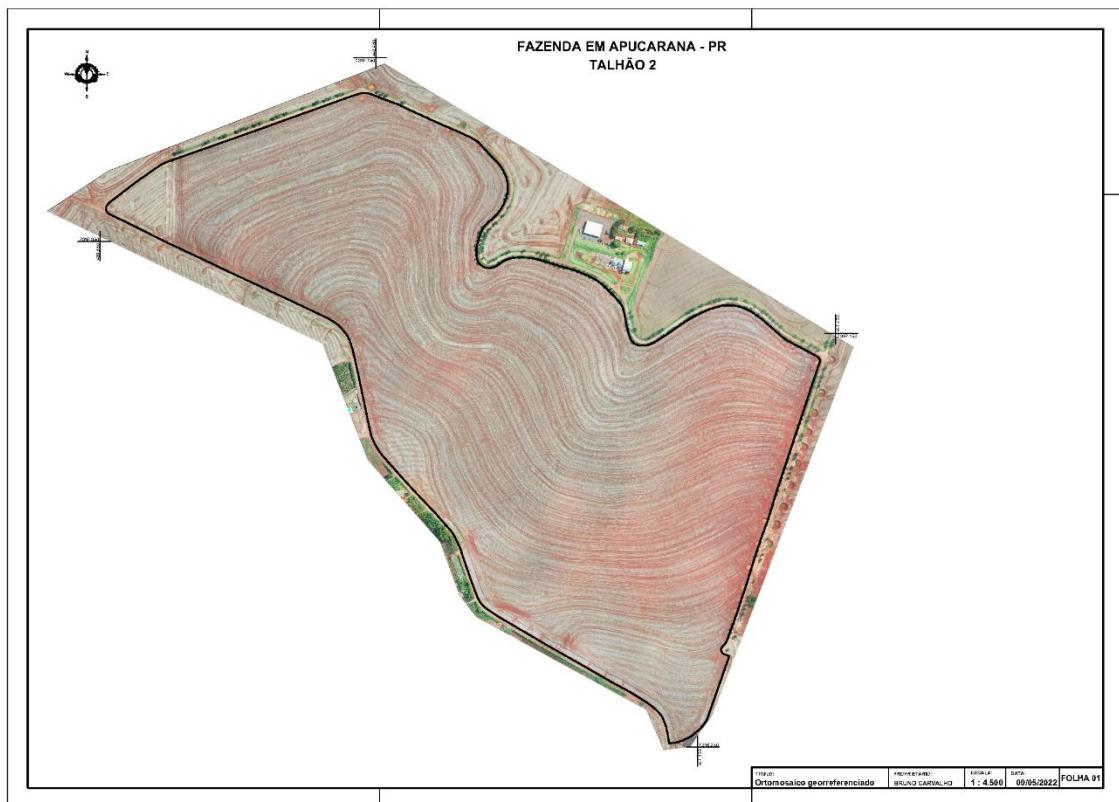
Representam a imagem de alta resolução das áreas, servindo para diagnósticos superficiais, e cálculos precisos de área.

Figura 40: Folha 01 – Ortomosaico talhão 1



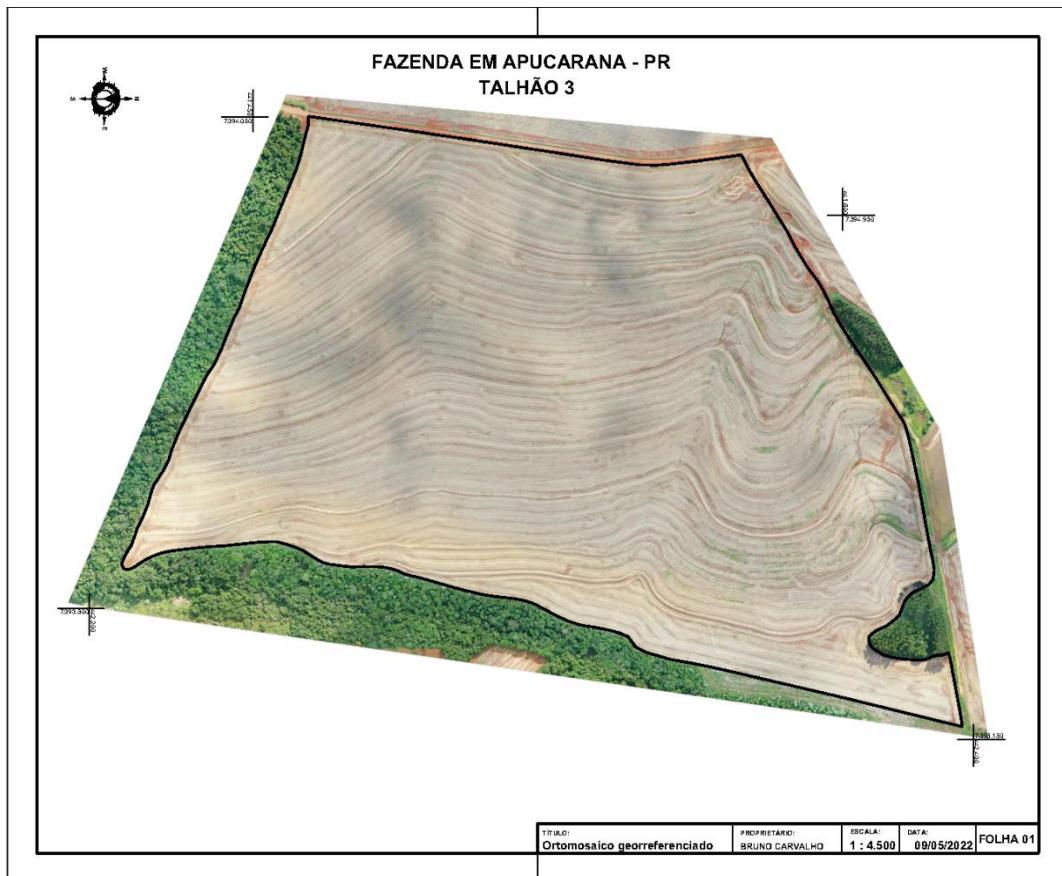
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 41: Folha 01 – Ortomosaico talhão 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 42: Folha 01 – Ortomosaico talhão 3

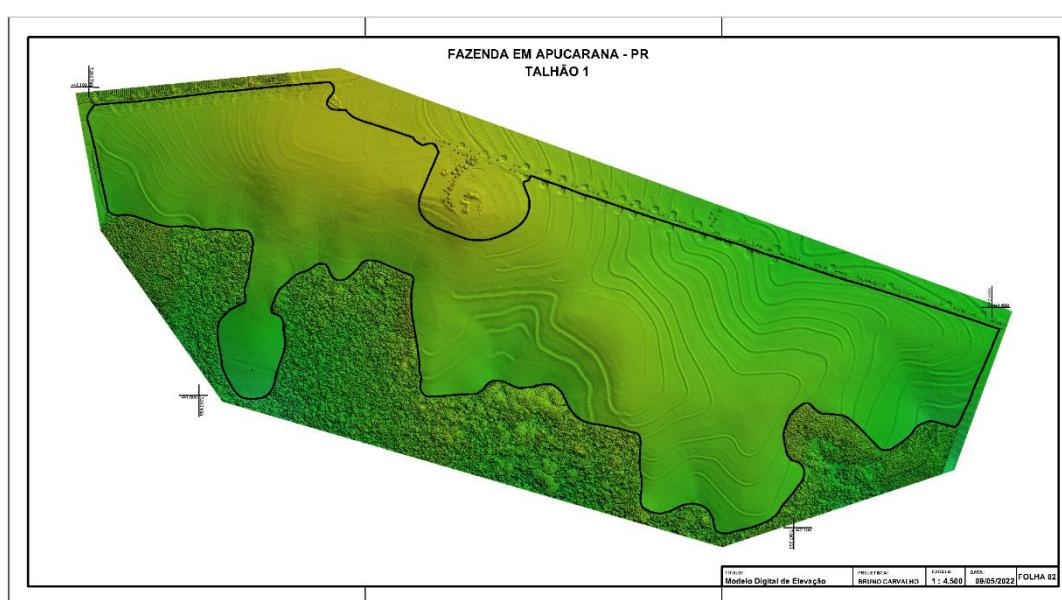


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

6.2.2 MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (DEM)

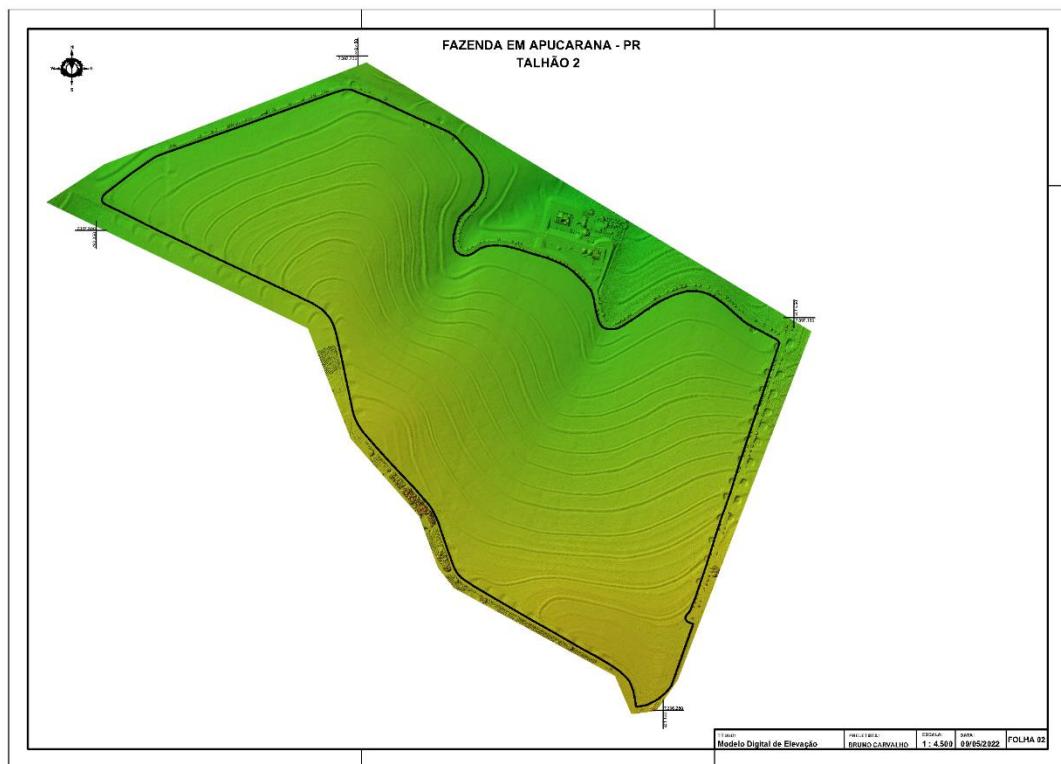
Representa a imagem de alta resolução utilizando o processamento de maior rigor de acurácia, e traz a quantificação dos terraços existentes e suas formas.

Figura 43: Folha 02 – Modelo Digital de Elevação DEM talhão 1

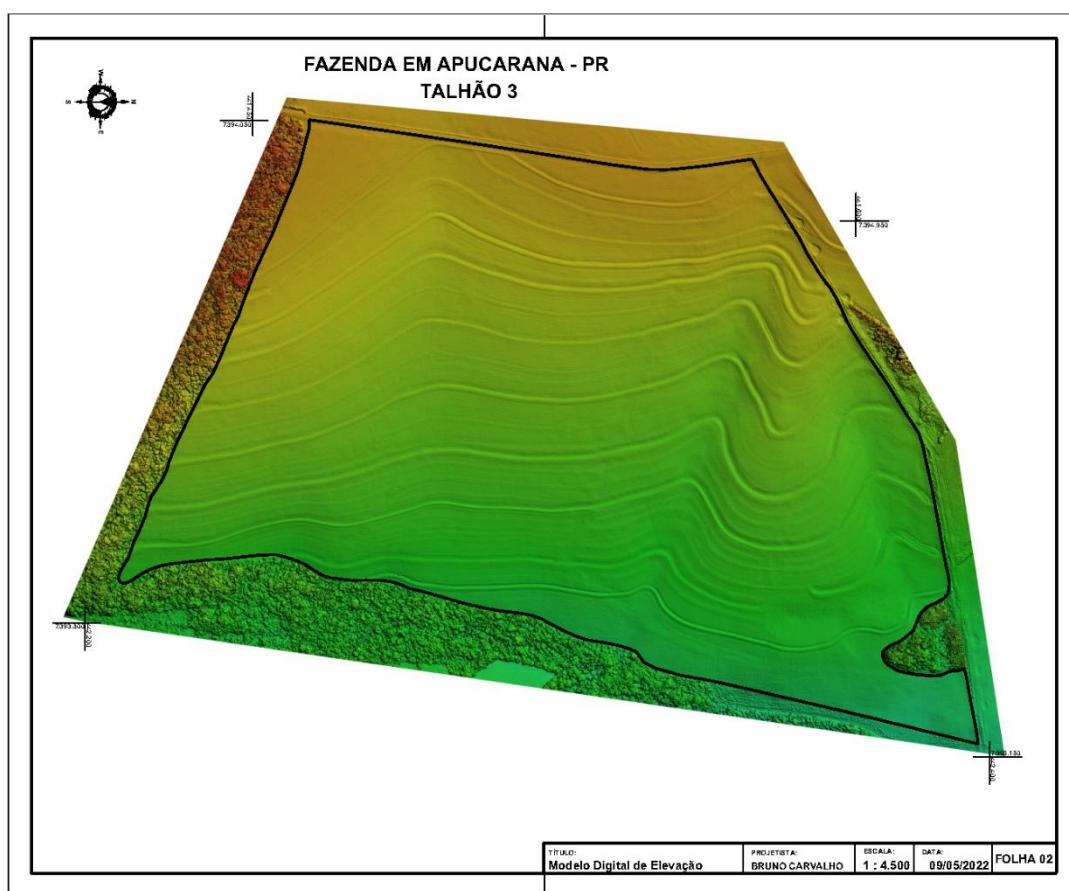


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 44: Folha 02 – Modelo Digital de Elevação DEM talhão 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)
Figura 45: Folha 02 – Modelo Digital de Elevação DEM talhão 3

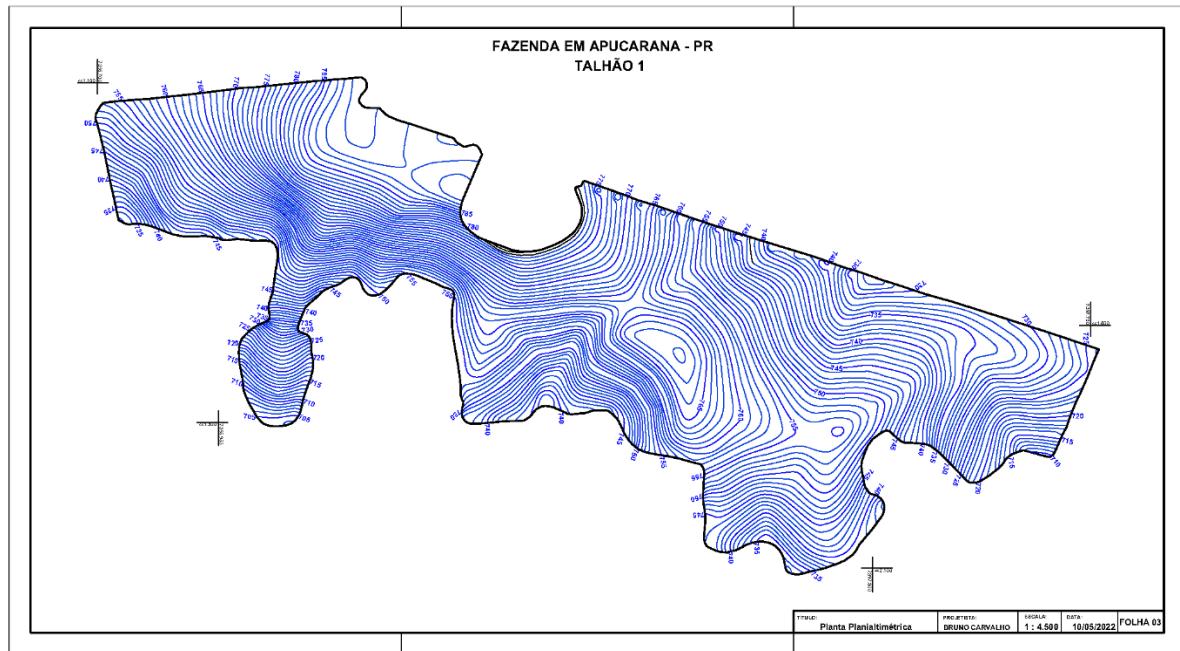


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

6.2.3 PLANTAS PLANIALTIMÉTRICAS

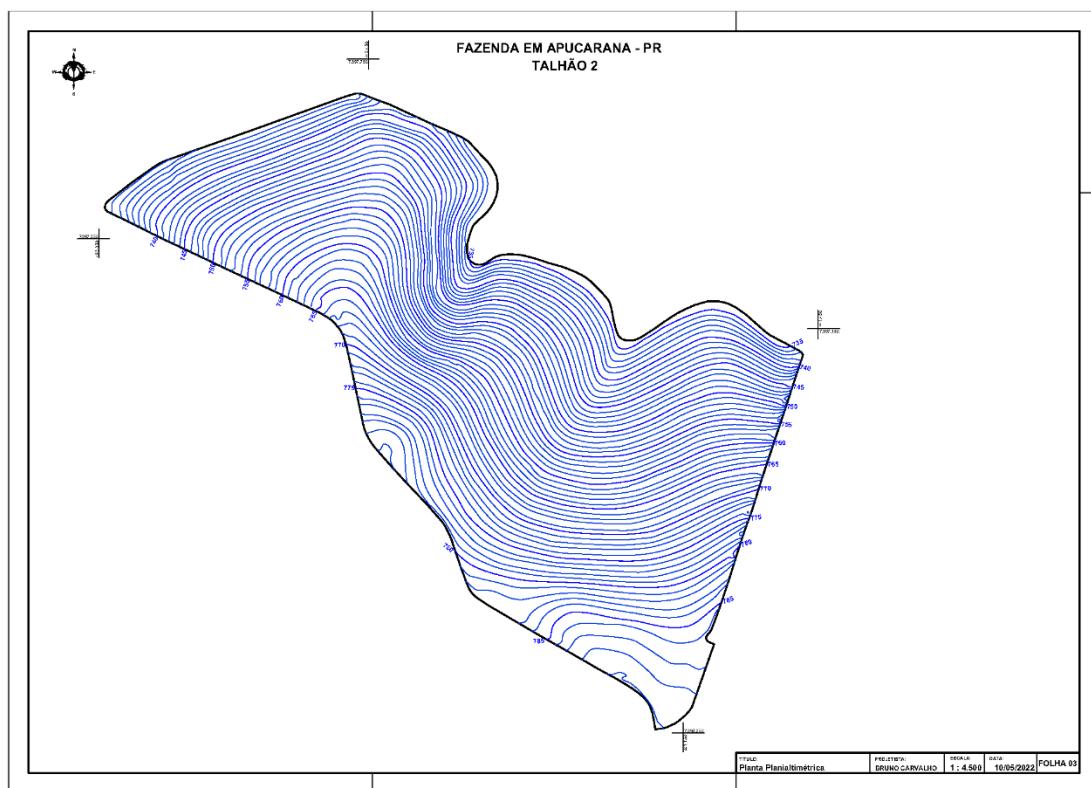
Representação da Planialtimetria dos 3 talhões gerados a partir do modelo digital de elevação criando uma malha de polígonos (*Mesh*) formando as curvas de nível.

Figura 46: Folha 03 – Planta planialtimétrica do talhão 1



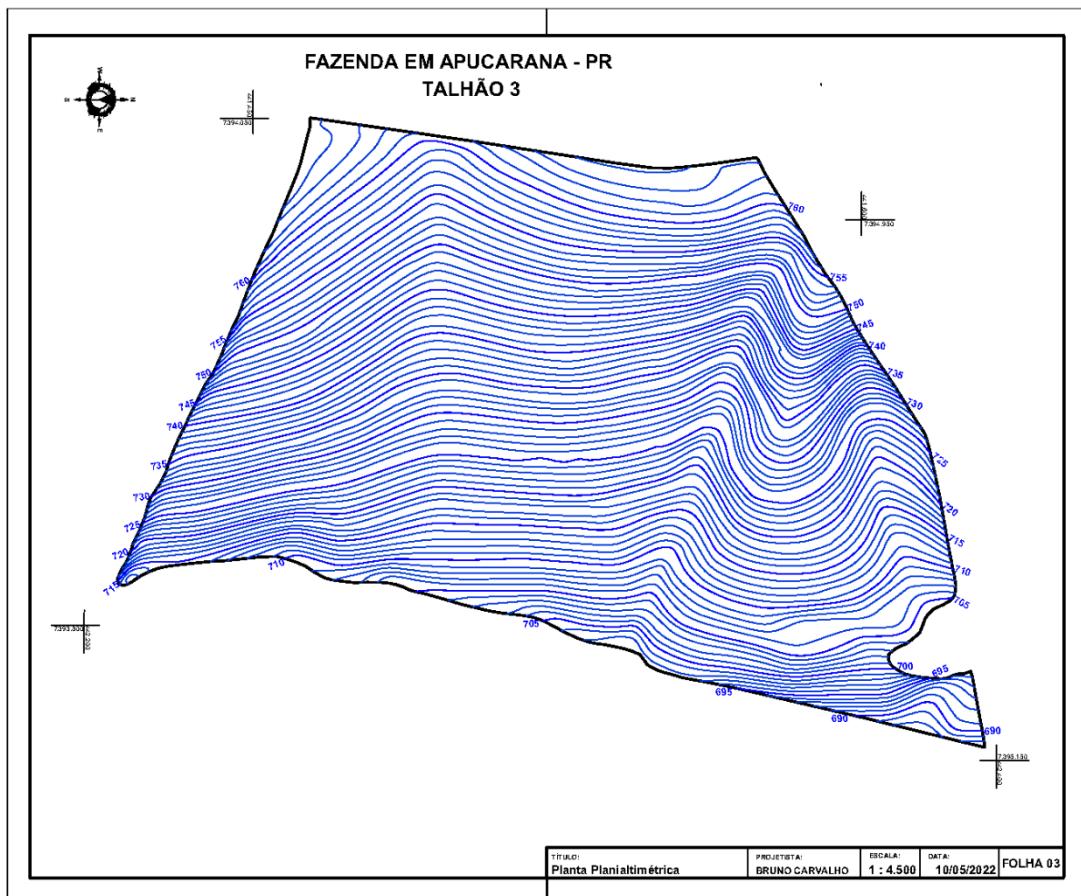
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 47: Folha 03 – Planta planialtimétrica do talhão 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 48: Folha 03 – Planta planialtimétrica do talhão 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

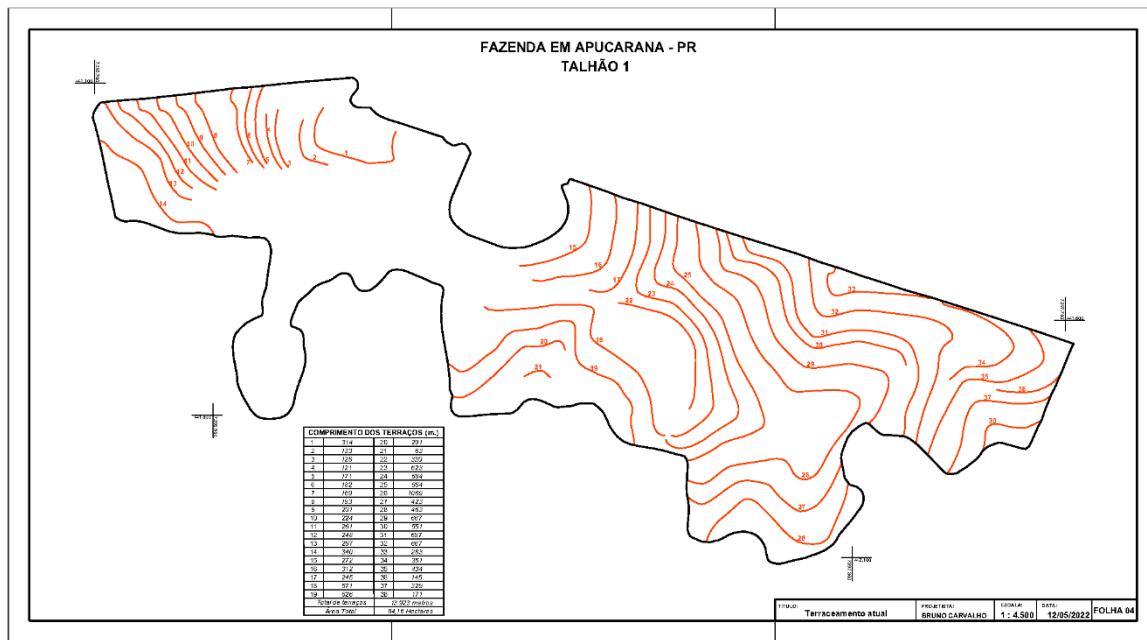
As curvas de nível geradas a partir de aerolevantamento permite a modelagem perfeita do relevo evidenciando as feições representando perfeitamente a declividade facilitando no processo de contornos suavizados em isolinhas espaçadas constantemente de metro em metro nos terrenos que estão livres de processos erosivos. A altimetria do terreno não ultrapassa o valor de 10% possibilitando assim a construção de terraços de base larga, e em alguns pontos do talhão 1 devido a uma acentuação de inclinação talhões embutidos serão compostos intercalados aos de base larga.

6.2.4 DIGITALIZAÇÕES DO DEM

Este processo representa a digitalização dos terraços obtidos no modelo digital de elevação de forma que possibilite a sua quantificação e principalmente a medição dos mesmos facilitando assim a análise exata do que pode ser reaproveitado por estar instalado corretamente acompanhado o contorno da curva de nível (no próximo passo), e os locais onde venham a faltar o terraço afim de mitigar os escoamentos

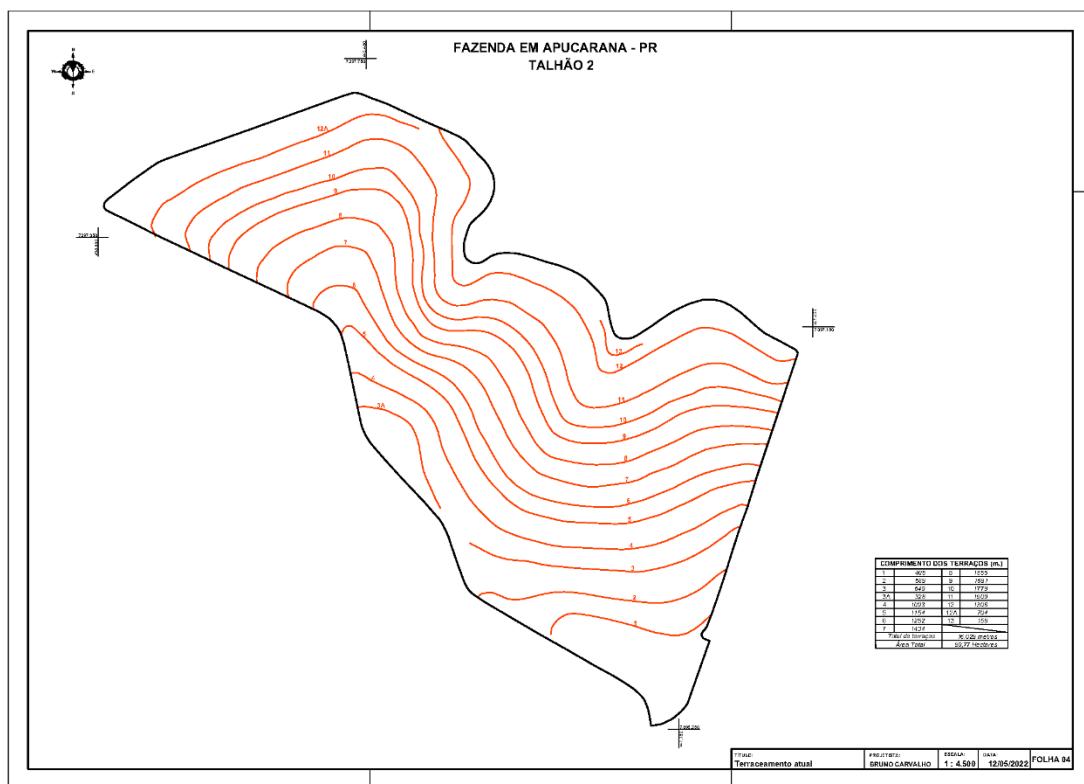
pela precipitação.

Figura 49: Folha 04 – Terraceamento existente do talhão 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 50: Folha 04 – Terraceamento existente do talhão 2

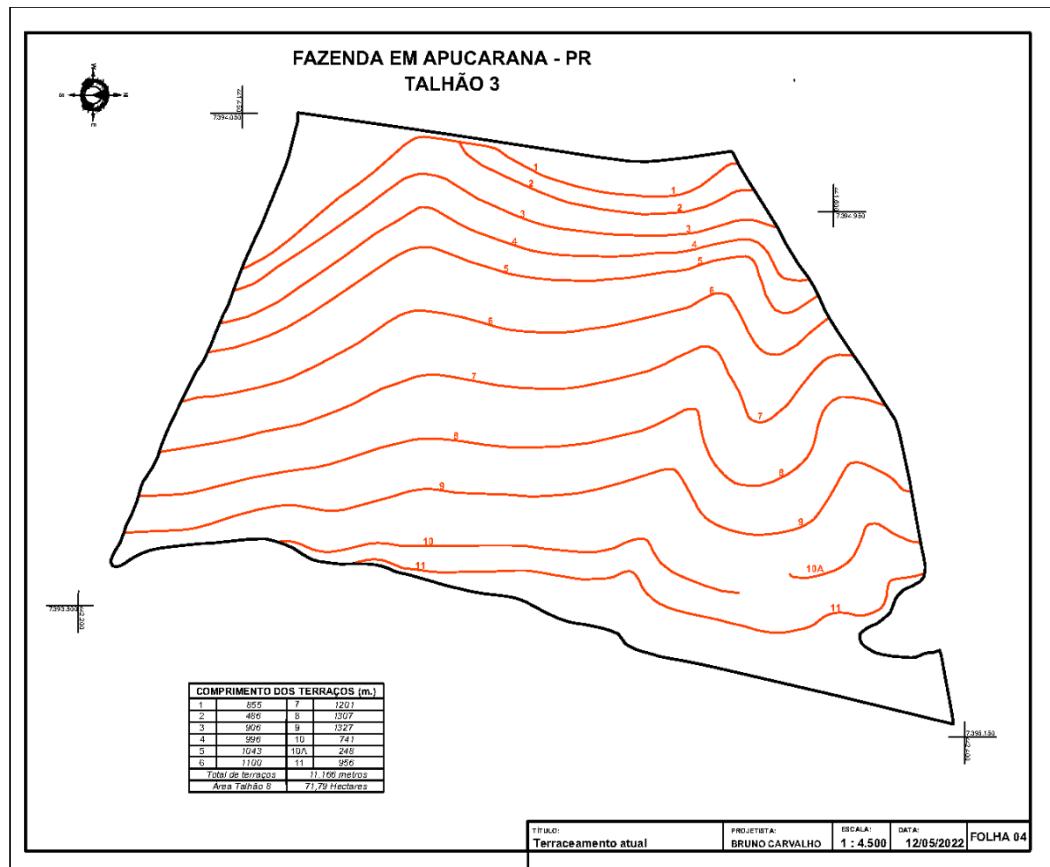


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Já haviam terraços de base larga instalados por boa parte da extensão dos 3 talhões, porém, em alguns pontos pode-se notar a falta da prática mecânica,

propiciando assim este projeto. Após a análise conclui-se que os terraços existentes do talhão 1, tenham um total de 13.923 metros de terraços, do talhão 2, 16.029m e do talhão 3, 11.166m, totalizando 29.952 de terraços e uma boa parte deles pode e deve ser reutilizada no projeto, diminuindo assim o tempo e principalmente o investimento para a total execução do projeto.

Figura 51: Folha 04 – Terraceamento existente do talhão 3

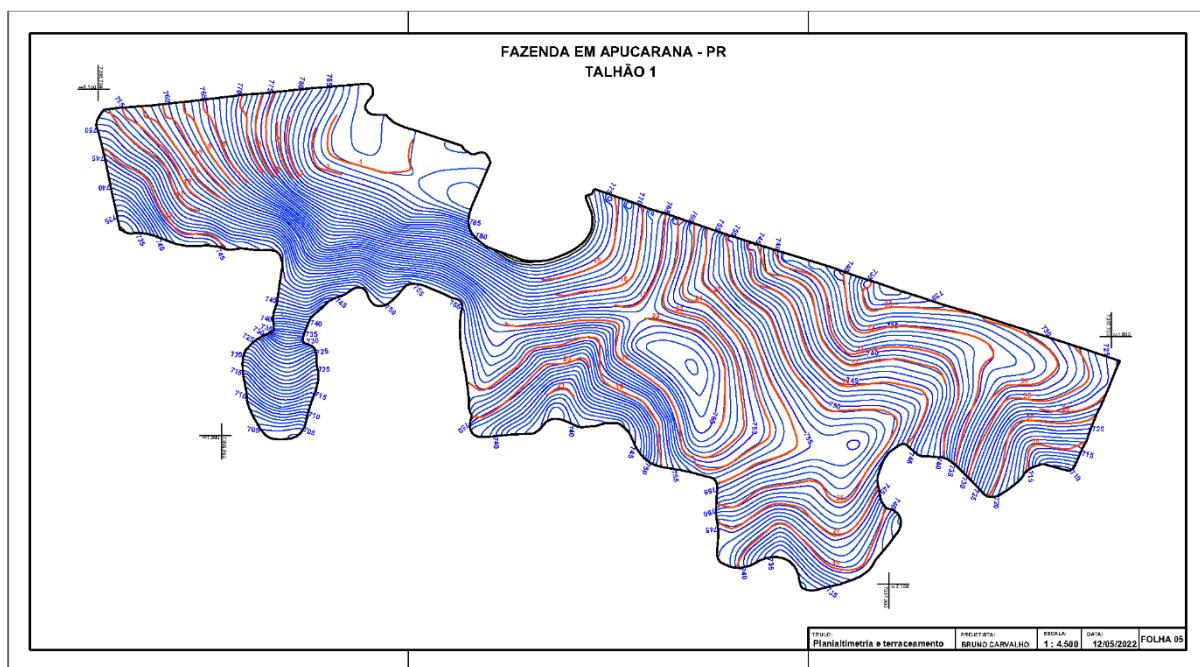


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

6.2.5 CRUZAMENTO DAS PLANALTIMETRIAS COM O TERRACEAMENTO EXISTENTE

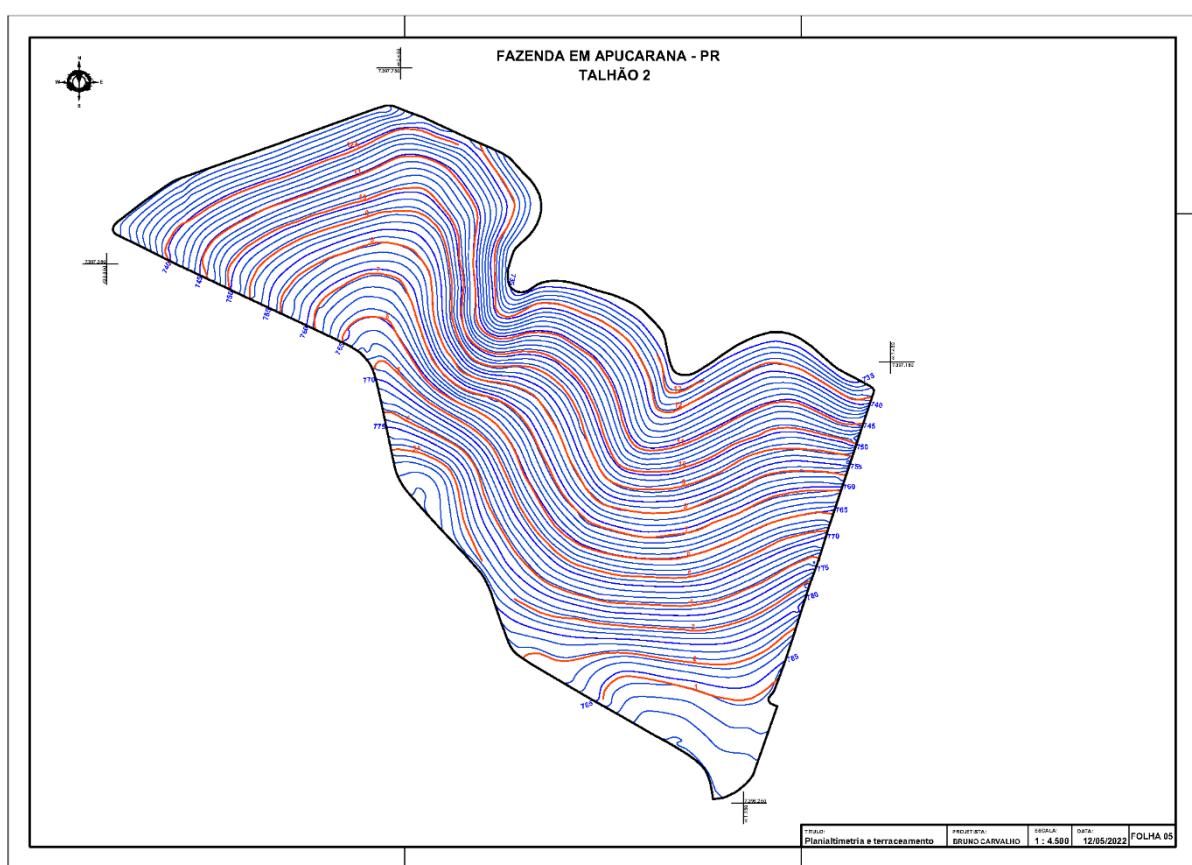
O seguinte passo consiste em utilizar as plantas de altimetria dos 3 talhões como plano de fundo, e em primeiro plano a digitalização do modelo digital de elevação (DEM), possibilitando o cruzamento das informações. A análise serve para visualizar se acompanhamento da linha sinuosa dos terraços bate com as curvas de nível geradas a partir do aerolevantamento pelo *Agisoft Metashape* coincidem. Com posse de todos esses dados pode-se calcular os terraços restantes a serem executados que descrevem o projeto final.

Figura 52: Folha 05 – Cruzamento Planialtimetria e terraceamento existente no talhão 1



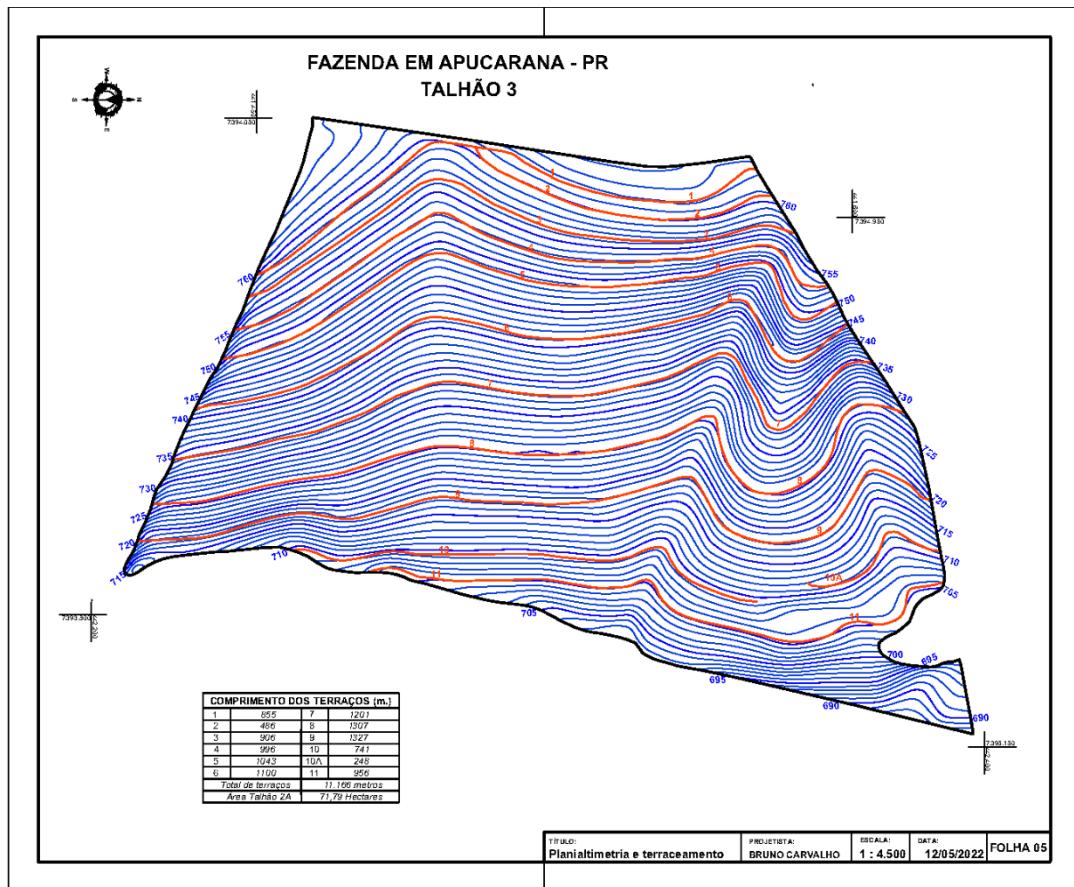
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 53: Folha 05 – Cruzamento Planialtimetria e terraceamento existente no talhão 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 54: Folha 05 – Cruzamento Planialtimetria e terraceamento existente no talhão 3

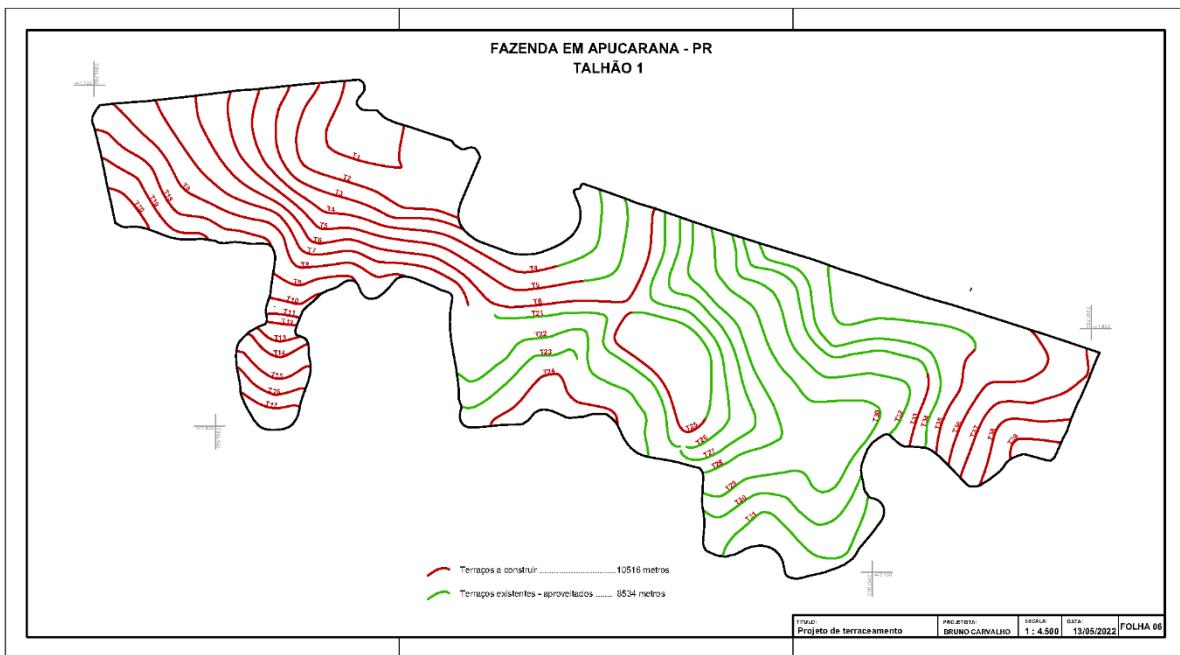


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

6.2.6 PROJETOS DE TERRACEAMENTO – CONSTRUIR E REAPROVETAR

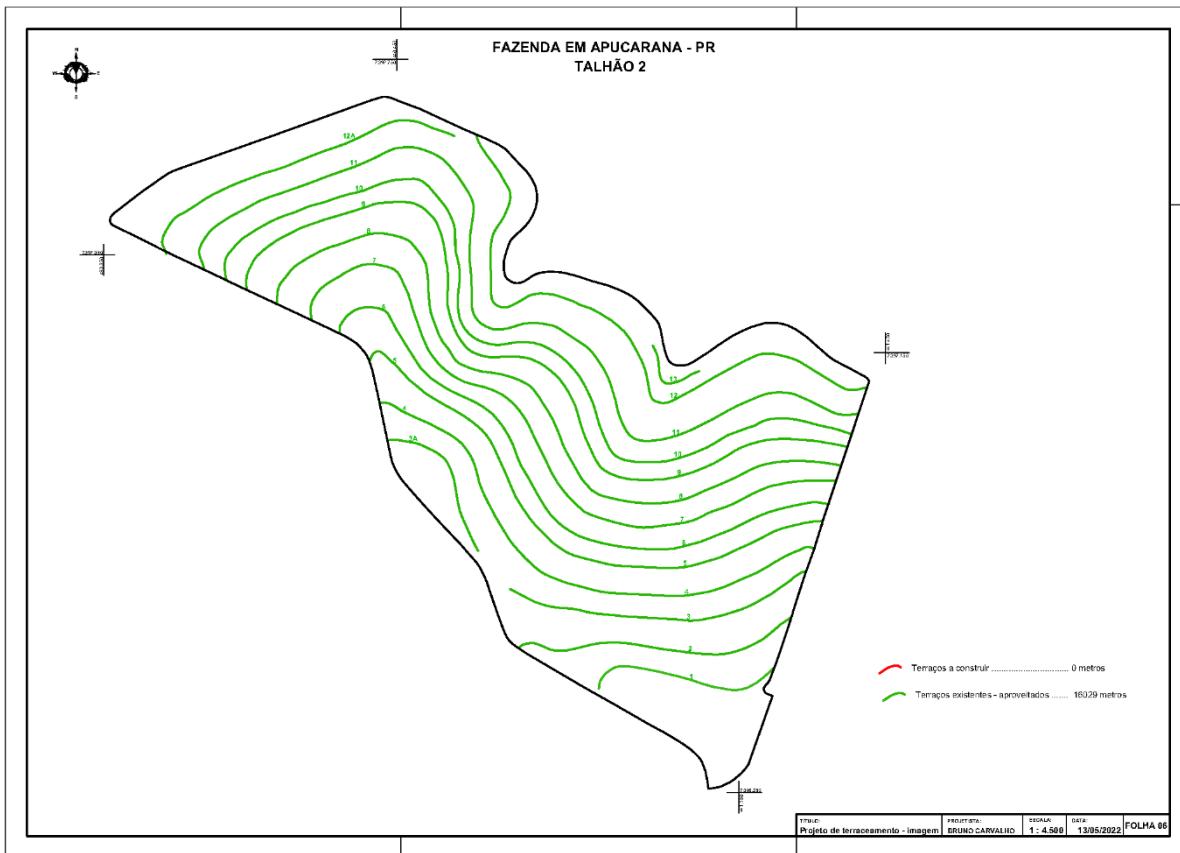
Então como mostrado anteriormente na digitalização do DEM (folha 04), diversos terraços do tipo base larga já estavam instalados no terreno e este passo é utilizado na criação do novo projeto de construção utilizando alguns já existentes. No talhão 1 foram reaproveitados 8.534 metros de terraceamento existente, e serão necessários a construção de mais 10.516 metros. No talhão 2 o reaproveitamento foi total, os 16.029 metros de terrameamento existente. Por último o talhão 3 que conta com um reaproveitamento de terrameamento de 8.636 metros e precisa da construção de mais 5.161 metros. A extensão de terra movimentada em linha, atingirá os 15.677 metros, sendo que aproximadamente 33.199 metros puderam ser reaproveitados. O projeto é apresentado nas figuras a seguir (55, 56 e 57) onde a linha verde representa os terraços a serem reaproveitados e a linha vermelha representa os terraços que devem ser construídos, apresentam-se ainda os dados de extensão e altimetria das linhas de terrameamento.

Figura 55: Projeto proposto de construção e reaproveitamento de terraceamento no talhão 1



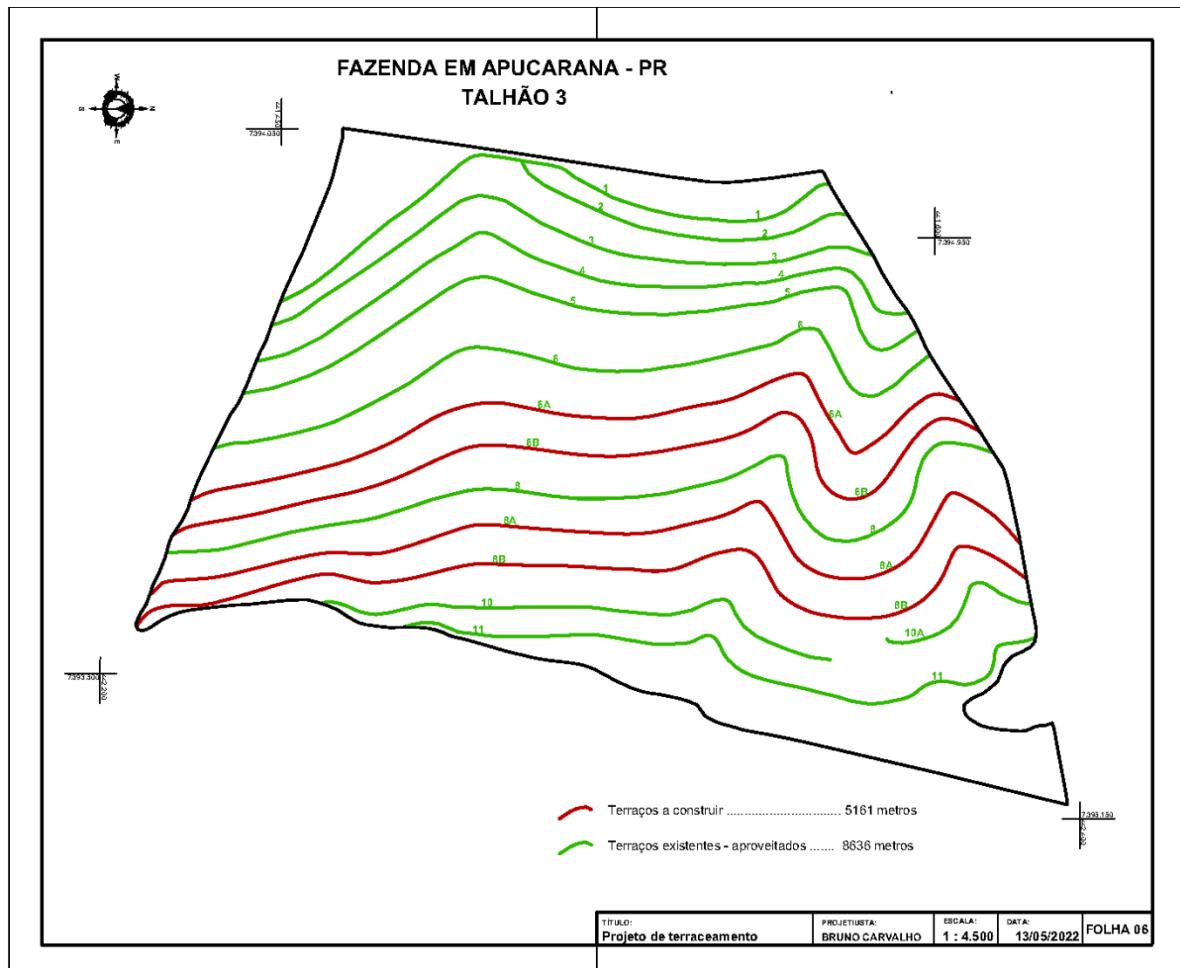
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 56: Reaproveitamento total do terraceamento no talhão 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 57: Projeto proposto de construção e reaproveitamento de terraceamento no telhão 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

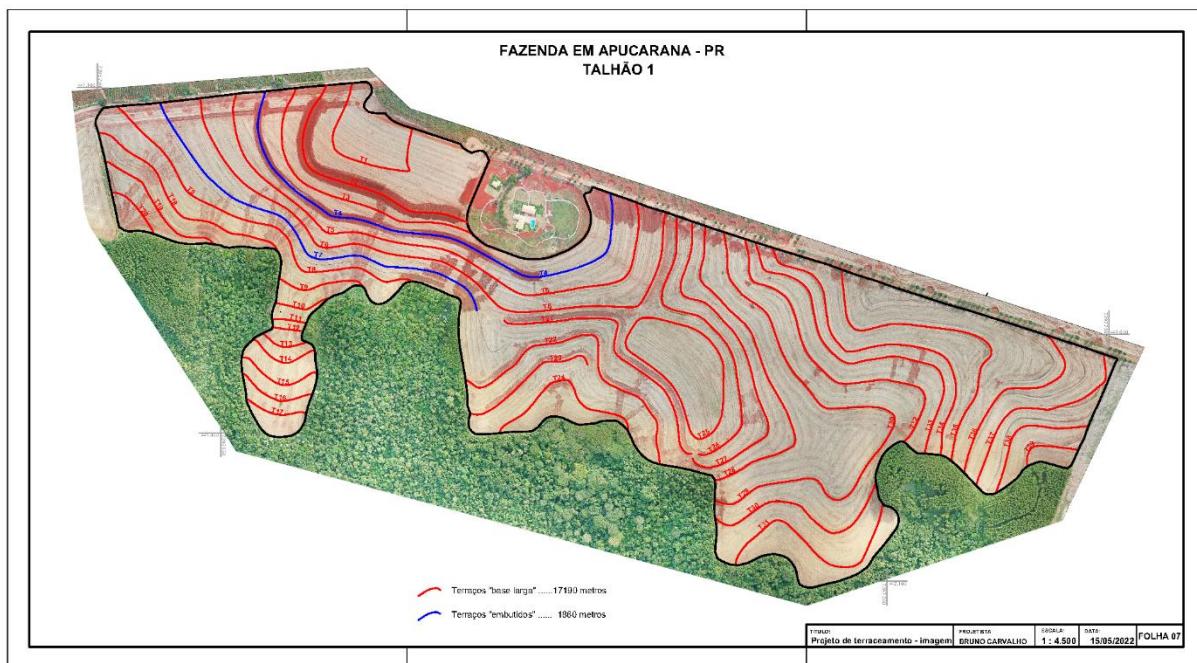
6.2.7 PROJETO FINAL COM IMAGEM DE ALTA RESOLUÇÃO

O último estágio consiste na elaboração do projeto final a ser implementado, com ênfase na tipologia e quantificação dos terraços. Conforme analisado anteriormente, a inclinação dos talhões presentes no estudo determina a construção de terraços do tipo base larga, técnica essa que foi aplicada integralmente nos talhões 2 e 3. No talhão 1, determinados locais apresentam uma inclinação acentuada, onde a construção de um terraço de base larga poderia resultar em sua ruptura, comprometendo a integridade dos demais terraços devido ao acúmulo exacerbado de água e detritos.

Um projeto de terraceamento tem como objetivo principal ampliar a base, facilitando a mecanização e equilibrando a produtividade com a preservação ambiental, neste caso específico, a conservação do solo. O aumento da base pode ser realizado até o limite em que a premissa da rampa não seja perdida. A tecnologia

proporcionada pelos aerolevantamentos tem contribuído para combinar técnicas de construção, permitindo que a infiltração ocorra mais próxima da precipitação. No talhão 1, serão adotadas duas técnicas alternadas (ver figura 58), em que serão construídos terraços embutidos em locais específicos. Embora esses terraços embutidos dificultem a mecanização, eles serão instalados intercalados com outros terraços de base larga, oferecendo segurança e suporte para a utilização de máquinas.

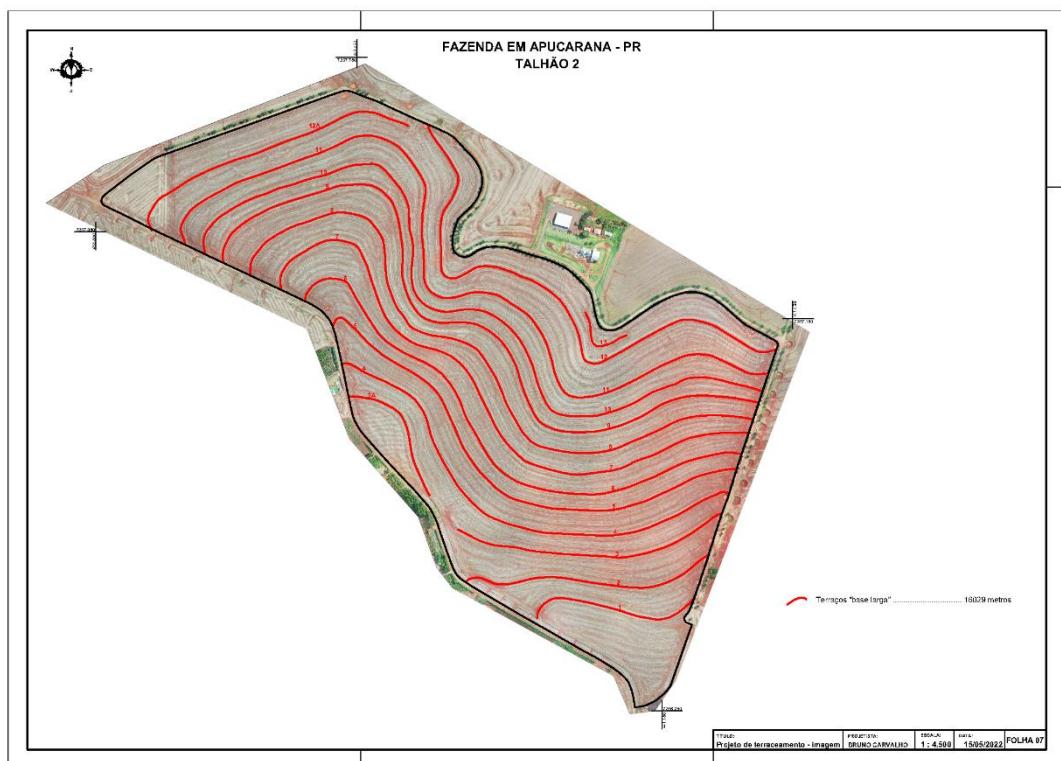
Figura 58: Projeto proposto para terraceamento com imagem talhão 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

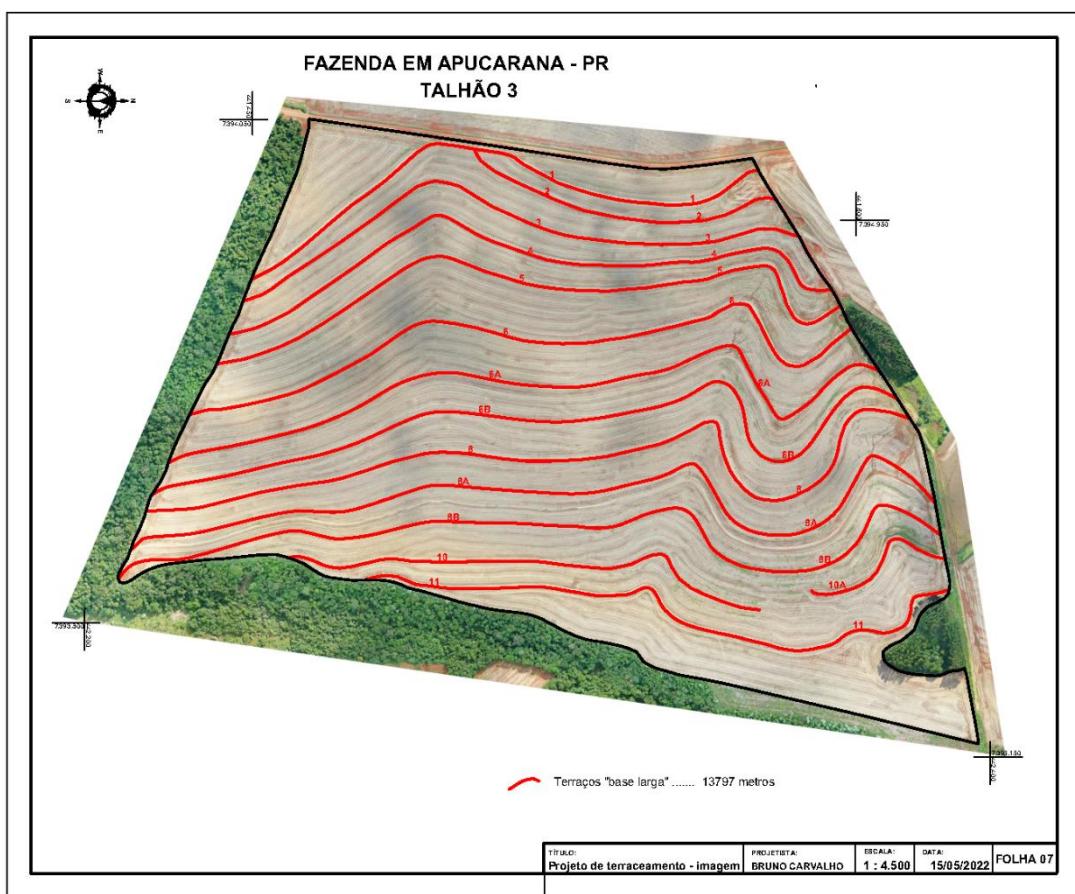
A folha 07 do talhão 2 (figura 59), não foi necessária sua implantação, pois, todos terraços foram reaproveitados. Assim o projeto foi entregue baseado em um futuro próximo, caso os terraços precisem ser reparados ou reconstruídos. Após a implantação dos projetos o talhão 1 passará a contar com 17.190 metros de terraços de base larga e 1860 metros de terraços embutidos. O talhão 2 continuará com seus 16.029 metros de terraços de base larga e o talhão 3 atingirá a marca de 13.797 metros. A extensão total dos terraços após a total implementação dos projetos será de 48.876 metros.

Figura 59: Projeto proposto para terraceamento com imagem talhão 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 60: Projeto proposto para terraceamento com imagem talhão 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

7. CONCLUSÕES

Baseado nos objetivos propostos, na metodologia aplicada e os resultados obtidos foi possível concluir que:

- A utilização dos planos de voo realizado pelo RPAs em *Double Grid* proporcionou ótimos resultados de altimetria. Para melhores resultados altimétricos deve-se sempre fazer voos com angulatura de 90º de diferença entre eles.
- O processamento das imagens do aerolevantamento no *Agisoft Metashape* influenciou diretamente na altimetria, ao ser utilizado o maior rigor de qualidade, os resultados foram surpreendentes.
- A eficiência do modelo digital de elevação (DEM), descreve o relevo por completo, traçando suas formas em mais alto nível em uma escala de valores. Economizando muito tempo para a criação do projeto final.
- A existência de terraços pré-existentes (de base larga) e que estavam em harmonia com a planta altimétrica foram fundamentais para o reaproveitamento de muitos metros diminuindo também o investimento para a execução do projeto.
- O cruzamento das informações da digitalização do DEM, que trouxe todos terraços existentes com a planta de altimetria e sua confiabilidade, trouxe a possibilidade de criar 2 terraços embutidos em meio aos terraços de base larga no projeto final do talhão 1, misturando técnicas de construção de interferindo o mínimo possível na mecanização.
- Os ortomosaicos gerados pelo processamento reproduzem a completa realidade do terreno em alta definição gerando uma acurácia eficaz sobre o terreno.

- Sendo assim, analisados todos os dados capturados, o processamento dos mesmos e os resultados obtidos, gerou-se uma representação cartográfica de alta qualidade e acurácia. Como visto anteriormente o RPAs não substitui completamente a utilização de um GNSS RTK, mas complementa e muito pela enorme economia de tempo e os custos de investimento. Atualmente os RPAs de entrada (baixo custo) podem se considerar ótimas ferramentas de diagnóstico, projeção, medição e implementação de práticas mecânicas de conservação de solo na prática do terrameamento.
- A utilização de RPAs na geografia tem permitido aos geógrafos obter imagens e dados de alta precisão, o que tem sido essencial para estudos de terreno, cartografia, planejamento territorial e monitoramento ambiental. Neste estudo, foi possível verificar como os RPAs podem ser utilizados na agricultura, especificamente no terrameamento agrícola.
- Foi possível observar que a utilização de RPAs para a coleta de dados topográficos, como elevações e curvas de nível, permitiu aos agricultores planejar e implementar terrameamento de maneira mais precisa e eficiente. Além disso, as imagens aéreas obtidas pelos RPAs possibilitaram avaliar a eficácia do terrameamento realizados, possibilitando ajustes e melhorias futuras.
- Outra vantagem observada foi a possibilidade de monitoramento contínuo do terrameamento, o que permitiu detectar e corrigir problemas de erosão e outros problemas relacionados ao uso inadequado do solo.
- Em resumo, a utilização de RPAs na geografia tem mostrado ser uma ferramenta valiosa para a agricultura, especificamente no terrameamento agrícola. A coleta precisa de dados topográficos e a possibilidade de monitoramento contínuo permitem planejar e implementar terrameamento de maneira mais precisa e eficiente, além de possibilitar a detecção e correção de problemas relacionados ao uso inadequado do solo.

8. REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: ALVES, B. J. R. et al. (ed). **Manejo de sistemas agrícolas impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. Cap. 3, p. 59-79.

ALVES JUNIOR, A. P.; GOMES, L. N. **Extração da Informação Posicional de Pontos de Projeção Cartográfica Geradas em Rotinas de Processamento para Geração de Ortofotos**. Revista Brasileira de Cartografia, [S. I.], v. 74, n. 1, p. 122 –, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n1-56925. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/56925>. Acesso em: 1 ago. 2022.

ANAC -AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regras da ANAC para uso de drones**. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf/view>. Acesso em 8 mar. 2021.

ANAC -AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **DRONES -Páginas Temáticas – Drone**. ANAC, 2018. Disponível em <<http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>>. Acesso em: 8 mar. 2021.

ARAUJO, Rafael. **Foto recortada de erosão em sulcos**. 2017. 1 fotografia. 444x333 pixels. Disponível em: <https://defesacivil.es.gov.br/Media/DefesaCivil/Capacitacao/CBPRG2018/Processos%20erosivos.pdf>. Acesso em: 10 de outubro de 2022.

BAGATINI, T. et al. **Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 999-1011, 2011.

BARBOSA da Silva, Wellington & Pietrobelli, Gisele & Tratz, Eliza. (2013). **1 foto recortada erosão em túnel de Circulação e vazão de água em encosta com erosão em túneis na bacia do rio das pombas – Guarapuava – PR**. 450x400 pixels. Terra Plural. 7. 269-286. 10.5212/TerraPlural.v.7i2.0006. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Frevistas.uepg.br%2Findex.php%2Ftp%2Farticle%2FviewFile%2F4340%2F3946&psig=AOvVaw1cKq-Lj6PUlbgeW_uGE3ca&ust=1677277226253000&source=images&cd=vfe&ved=0CBIQ3YkBahcKEwioja3c1qz9AhAAAAAHQAAAAAQCA. Acesso em: 10 de outubro de 2022.

BERTOL, I.; COGO, N.P. **Terraceamento em sistemas de preparo conservacionistas de solo: um novo conceito..** Lages, NRS-SBCS, 1996. 41p. (NRS-SBCS, Boletim Técnico, 1)

BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. **Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta**. R. Bras. Ci. do Solo, 13:373-379, 1989.

BERTOLINI, D.; GALETTI, P. A.; DRUGOWICH, M. I. **Tipos e formas de terraços.** In: Simpósio sobre terraceamento agrícola, 1989, Campinas. Anais... Campinas: Fundação Cargill, p.79-98. 1989.

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do Solo.** São Paulo: Ícone, 2008. 355p

BLANCO, L; LAL, R. **Principles of Soil Conservation and Management.** Springer. Netherlands, 626 p., 2010.

CASTRO, P. D.; RIBASKI, N. G. **Aplicação de RPAs para apoio a projetos de terrameamento em áreas agrícolas.** Brazilian Journal of Technology, Vol. 2, Nº 2, 2019. ISSN:2595-5748. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BJT/article/view/6677/5889>. Acesso em 12 abr. 2022.

CATI. Comissão Técnica de Conservação do Solo. **Boas Práticas em Conservação do Solo e da Água.** Coordenado por Mário Ivo Drugowich, Campinas, CATI 2014. 38p. ilus. (Manual Técnico, 81).

COGO, N; LEVIEN, R; Schwartz, R. (2003). **Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, (2003), 743-753, 27(4). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400019>. Acesso em: 15 Dez. 2021.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (ed.) **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1994. p. 1-21. (SSSA special publications, v. 35).

DECHEN, S.C.F.; TELLES, T.S.; GUIMARAES, M.F.; MARIA, I.C. **Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo.** Bragantia, Campinas, v. 74, p. 224-233, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0363>.

ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; LOVATO, T. **Apostila de manejo e conservação do solo.** Santa Maria, 2005. 102 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Construção de terraços para controle da erosão pluvial no Estado do Acre.** EMBRAPA Acre, 2003. 44p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Práticas de Conservação de Solo e Água.** Circular Técnica, Campina Grande, PB. 2012. 24p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Uso de sensores aerotransportados em RPAs.** Campinas, SP. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelia-de-monitoramento/sensores/rpa>. Acesso em 11 jun. 2022.

ESALQ / USP. Solloagro. **Foto recortada de erosão laminar.** 2020. 1 fotografia. 540x485 pixels. Disponível em: https://www.facebook.com/solloagro/photos/eros%C3%A3o-laminar-%C3%A9-o-processo-de-remo%C3%A7%C3%A3o-da-camada-superficial-de-solo-causada-g/1891942584229427/?_rdr. Acesso em: 10 de outubro de 2022.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Alerta sobre degradação de um terço dos solos do planeta.** ONU News, 9 dez. 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/12/1773222>. Acesso em 15 jan. 2022.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global Soil Partnership Endorses Guidelines on Sustainable Soil Management, 2017.** Disponível em: <https://www.fao.org/news/story/en/item/416121icode/>. Acesso em 15 jan. 2022.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point. Synthesis report 2021.** Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb7654en/cb7654en.pdf>. Acesso em 15 jan. 2022.

FERRANTI, Francisco de Assis et al. (org.). **Geotecnologias e análise ambiental: reflexões teóricas e aplicações práticas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FIGUEIREDO, E. O.; FIGUEIREDO, S. M. M. **Planos de voo semiautônomos para fotogrametria com aeronaves remotamente pilotadas de classe 3.** Rio Branco: Embrapa, 2018

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Plantio direto.** Revista Plantio Direto-Março/abril de, v. 2010, p. 33, 1996.

GOMES, L. N. **Validação de metodologia de cálculo do volume erodido de voçorocas a partir de fotos obtidas de aeronave remotamente pilotada (rpa) de baixo custo.** Unesp Botucatu, 2020.

Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná I Julio Cesar Franchini ... [et al.]. - Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52p. - - (Documentos I Embrapa Soja, ISSN 1516-781 X; n.327) | Julio Cesar Franchini ... [et al.]. - Londrina: EMBRAPA SOJA, 2011. 52p. - - (Documentos I Embrapa Soja, ISSN 1516-781 X; n.327). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes-/publicacao/ 897259/ importancia-da-rotacao-de-culturas-para-a-producao-agricola-sustentavel-no-parana>. Acesso em 13 fev. 2022.

IPCC. 2001a. **Climate change 2001**: synthesis report, by R. Watson & the Core Writing Team, eds. Cambridge, UK, Cambridge University Press.

LAGES, Laboratório de Geomorfologia e erosão de solos. **Foto recortada de erosão em sulcos. 2020.** 1 fotografia. 444x333 pixels. UFU – Universidade Federal de Uberlândia Disponível em: <https://comunica.ufu.br/noticia/2020/06/vocoroca-e-apenas-um-buraco-na-terra>. Acesso em: 10 de outubro de 2022.

LEITE, Marcelo Henrique Siqueira et al. **Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 689-699, 2009.

LEPSCH, I.F. 19 **Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 1. Ed. Viçosa: SBCS, 2015. 170 p.

LOMBARDI NETO, F. et al. **Terraceamento Agrícola**. Campinas, SP: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado de São Paulo – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, (Boletim Técnico CATI, 206). 1994. 39p.

LOMBARDI NETO, F. **Dimensionamento do canal do terraço**. In: Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989. Anais... Campinas, SP: Fundação Cargill, p.125-135. 1989.

LUZ, PEDRO. Conservação e planejamento do uso da terra. **Terraceamento I conceitos e tipos**, 2018. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4460354/mod_resource/content/1/Terraceamento%201a%20parte%20out18.pdf. Acesso em 02 fev. 2022.

NUERNBERG, N. J. (Ed.); 1998. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul. 160p.

OECD. 2001a. **OECD environmental outlook to 2020**. Paris, OECD

PES, Luciano Zucuni **Conservação do solo** / Luciano Zucuni Pes, Diego Antonio Giacomini. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico; Rede e-Tec Brasil, 2017. 69 p.: il.; 28 cm ISBN: 978-85-9450-024-3

PÖTTKER, D. E BEN, J. R. **Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]. 1998, v. 22, n. 4 [Acessado 8 agosto 2022], pp. 675-684. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000400013>>. Epub 07 Out 2014. ISSN 1806-9657. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000400013>.

PRUSKY, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa. Ed. UFV. 2009. 279p.

WADT, G. S; e outros. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 29 p. il. (Embrapa Acre. Documentos, 90) Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/498802/1/doc90.pdf>. Acesso em: 16 Dez. 2021.