

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ÉRIQUE ALMEIDA CONCE MACIEL

**PLATAFORMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS PLANIALTIMÉTRICOS PARA CRIAÇÃO DE
PROJETOS DE SUAVIZAÇÃO DO TERRENO PARA CULTIVO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS**

**Alegrete
2023**

ÉRIQUE ALMEIDA CONCE MACIEL

**PLATAFORMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS PLANIALTIMÉTRICOS PARA CRIAÇÃO DE
PROJETOS DE SUAUIZAIÇÃO DO TERRENO PARA CULTIVO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius dos Santos Cunha

ERIQUE ALMEIDA CONCE MACIEL

PLATAFORMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS PLANIALTIMÉTRICOS PARA CRIAÇÃO DE
PROJETOS DE SUAVIZAÇÃO DO TERRENOS PARA CULTIVO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Agrícola da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Agrícola.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Vinícius dos Santos
CunhaOrientador
(UNIPAMPA)

Prof^a. Dr^a. Chaiane Guerra da Conceição
(UNIPAMPA)

Eng^a. Agrícola Paola da Rosa Lira



Assinado eletronicamente por **CHAIANE GUERRA DA CONCEICAO, PROFESSOR DO MAGISTERIOSUPERIOR**, em 14/12/2023, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais

aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Paola da Rosa Lira, Usuário Externo**, em 14/12/2023, às 12:42, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **VINICIUS DOS SANTOS CUNHA, PROFESSOR DO MAGISTERIOSUPERIOR**, em 14/12/2023, às 14:46, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1329018** eo código CRC **3F86FD0D**.

RESUMO

A orizicultura é tradicional na fronteira oeste, sendo a região o maior contribuinte na produção nacional. Ao longo dos anos, outras culturas estão sendo implementadas em rotação com o arroz irrigado. Entre essas culturas, a que teve maior expansão, é a soja, que vem sendo cultivada com uso de irrigação por superfície. Este trabalho visa comparar diferentes plataformas de coleta de dados planialtimétricos para uso em projetos de suavização do terreno para irrigação da soja em terras baixas. O trabalho foi desenvolvido em uma lavoura comercial localizada próxima ao município de Alegrete-RS. O estudo foi constituído de três metodologias: 1) coleta de dados utilizando drone de baixa autonomia de voo, sem correção de posicionamento pós processada (PPK), com pontos de controle e de verificação, com denominação de PC; 2) coleta de dados utilizando drone de alta autonomia de voo, marca modelo Nuvem Spectral 2, com correção de posicionamento pós processada (PPK), sem pontos de controle e de verificação; 3) coleta de dados utilizando sistema RTK (Real Time Kinematic) embarcado em um veículo automotivo, com denominação de RTK. Foi realizado um pré-processamento das imagens, de modo excluir as que apresentam nível de arrasto elevado utilizando Quantum GIS® e pontos que não foram gravados a elevação. Com os MDEs (modelo de elevação do terreno) obtidos, foi gerado uma malha densa espaçada por 5 metros. Com isso conseguindo extrair a informação de elevação. Após ter os dados foi confeccionado um gráfico box plot, resultando em duas variáveis resposta, elevação e declividade. Realizou-se uma análise de correlação de Pearson. A movimentação de terra foi estimada através de um MDE teórico usando a média das elevações para criar um parâmetro. Em conclusão os objetivos propostos revelaram que tanto a coleta de dados altimétricos com RTK quanto com drones apresentou similaridade planialtimétrica satisfatória nos modelos digitais da elevação. Ao comparar as estimativas de movimentação de terra, observamos consistência nas metodologias PPK e RTK, com uma discrepância significativa na metodologia PC, que apresentou uma variação de cerca de 15%, inviabilizando a utilização de drones sem correção PPK. Essas conclusões ressaltam a importância de uma escolha criteriosa da metodologia, considerando a coerência nos resultados, eficiência operacional e possíveis variações nas estimativas de movimentação de solo.

Palavras-chave: Sistematização; altimetria; sistema RTK; VANT.

ABSTRACT

Rice cultivation is traditional in the western border, with the region being the largest contributor to national production. Over the years, other crops have been implemented in rotation with irrigated rice. Among these, soybeans have experienced the most significant expansion, cultivated with surface irrigation. This study aims to compare different platforms for collecting planimetric-altimetric data for use in terrain smoothing projects for soybean irrigation in lowlands. The work was carried out in a commercial plantation near the city of Alegrete-RS. The study involved three methodologies: 1) data collection using a low-autonomy drone, without post-processed positioning correction (PPK), with control and verification points, denominated as PC; 2) data collection using a high-autonomy drone, Nuvem Spectral 2 model, with post-processed positioning correction (PPK), without control and verification points; 3) data collection using Real-Time Kinematic (RTK) system embedded in a motor vehicle, denominated as RTK. Pre-processing of images was performed, excluding those with high drag levels using Quantum GIS®, and points that were not recorded for elevation. With the obtained Digital Elevation Models (DEMs), a dense mesh spaced by 5 meters was generated, allowing the extraction of elevation information. After obtaining the data, a box plot graph was created, resulting in two response variables, elevation and slope. Pearson correlation analysis was performed, and earth movement was estimated through a theoretical DEM using the average elevations to create a parameter. In conclusion, the proposed objectives revealed that both altimetric data collection with RTK and drones showed satisfactory planimetric-altimetric similarity in digital elevation models. When comparing earth movement estimates, consistency was observed in the PPK and RTK methodologies, with a significant discrepancy in the PC methodology, showing a variation of about 15%, making the use of drones without PPK correction unfeasible. These conclusions underscore the importance of a careful choice of methodology, considering coherence in results, operational efficiency, and possible variations in soil movement estimates.

Key-words: Systematization; altimetry; RTK system; VANT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lavoura de soja ao lado de arroz, ilustrando a nova realidade da rotação do arroz com a soja.....	13
Figura 2 - Vista de uma área de soja no estádio V2 um dia após a irrigação por superfície no sistema sulco-camalhão	14
Figura 3 - Ilustração da triangulação mínima necessária entre satélites, base RTK e receptor GNSS acoplado ao trator para que haja a correção do deslocamento durante a operação ou mesmo que cada ponto coletado represente fielmente as coordenadas X, Y e Z no terreno.....	16
Figura 4 - Exemplo de MDE gerado por meio do levantamento de dados planialtimétricos do terreno. A imagem ilustra curvas de nível a cada 1 metro de desnível.....	18
Figura 5 - Talhão selecionado.....	19
Figura 6 – Marcação dos pontos e disposição dos pontos.....	20
Figura 7 – Equipamento para correção de posicionamento pós processada (PPK)..	21
Figura 8 – Equipamentos para coleta de dados utilizando RTK.....	21
Figura 9 - Descrição dos dados coletados por cada plataforma de aquisição utilizada.....	25
Figura 10 - Representação gráfica dos mapas de elevação e declividade.....	26
Figura 11 - Correlação Linear de Pearson entre os modelos gerados pelas diferentes plataformas de aquisição de dados.....	28
Figura 12 - Análise vetorial da distribuição de corte e aterro metodologia PC.....	29
Figura 13 - Análise vetorial da distribuição de corte e aterro metodologia PPK.....	29
Figura 14 - Análise vetorial da distribuição de corte e aterro metodologia RTK.....	30
Figura 15 - Análise da movimentação de solo na metodologia PC.....	30
Figura 16 - Análise da movimentação de solo na metodologia PPK.....	31
Figura 17 - Análise da movimentação de solo na metodologia RTK.....	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Objetivo geral.....	11
1.1.1. Objetivos específicos	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. Cultura da soja em áreas de arroz irrigado	12
2.2. Suavização do terreno em sistemas de irrigação e drenagem por superfície.....	13
2.3. Métodos de levantamento dos dados planialtimétricos	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Local do estudo	19
3.2 Composição dos fatores de estudo e procedimentos de coleta de dados	19
3.3 Descrição dos equipamentos utilizado	22
3.4 Processamento dos dados e geração dos Modelos Digitais de Elevação (MDE).....	22
3.5 Avaliação da similaridade entre os MDEs gerados	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5. CONCLUSÃO.....	33
6. REFERÊNCIAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul (RS) é o maior produtor de arroz (*Oryza Sativa* L.) do Brasil que segundo o Irga (2023) produziu, na safra 22/23 7,2 milhões de toneladas, com uma área cultivada de 840 mil hectares. Sendo a fronteira oeste a maior contribuinte na produção colhendo, 2,078 milhões de toneladas em uma área de 251 mil hectares.

A orizicultura no Rio Grande do Sul é uma das principais atividades agrícolas, com alta produtividade e estabilidade. Apesar da importância econômica e social do arroz, seu cultivo, desperta preocupação ambiental e é lembrada como grande consumidora de água. De acordo com Lorensi *et al.* (2008), o valor do consumo hídrico pode variar entre 9.000m³ e 25.000 ha⁻¹ ano⁻¹.

A quantidade de água necessária para o cultivo do arroz é a soma da água necessária para saturar o solo, formar uma lâmina sobre a superfície, compensar a evapotranspiração e repor as perdas por infiltração vertical, perdas laterais e pelos canais de irrigação. Essa quantidade depende, por exemplo, do tipo de solo, das condições meteorológicas sistema de cultivo, e ciclo da cultivar (SOSBAI, 2018).

Na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, observou-se um aumento no custo de produção de arroz. Esse fator, aliado ao baixo preço de venda da saca de arroz, que teve custo médio de produção de R\$ 93,28 na safra de 2021/22, ao passo que o mercado pagou, em média, R\$ 90,00/saca (AGROLINK, 2023), tem levado a obtenção de baixa rentabilidade com a cultura. Assim, os agricultores têm a necessidade de procurar outras fontes de renda, buscando por novas opções de cultivo, que apresentem maior liquidez.

A soja chegou na fronteira oeste com o intuito de, inicialmente, controlar o arroz vermelho que, segundo Irga (1987), é a principal planta daninha no cultivo do arroz, chegando a inviabilizar 15% das áreas. As áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado necessitam, dentre outros fatores, controle de drenagem eficiente para que o cultivo de outras espécies agrícolas, como a soja, seja viabilizado (PAULETTO *et al.* 1991 *apud* MARCHEZAN *et al.*, 1998). O rendimento da soja, nessas áreas, vem tornando-se lucrativo, sendo que a cada ano mais produtores optam por fazer rotações utilizando soja e, alguns, até mesmo milho.

Segundo Irga (2022) a área cultivada com soja em terras baixas, na safra 21/22, foi de 426 mil hectares, aumento de 14,6% em relação à safra anterior. Apesar da estiagem nesta safra a produção total de soja chegou a 1,1 milhão de toneladas.

A problemática dessas culturas de sequeiro nas áreas tradicionalmente cultivadas com arroz é o regime hídrico, tanto do ponto de vista da irrigação como da drenagem das áreas. Assim, para um melhor controle da irrigação e da drenagem, as áreas podem ser suavizadas eliminando lagoas ou cristas, de modo que o talhão tenha um desnível uniformemente controlado (CAMPOS *et al.*, 2021). Para a implantação de projetos de suavização de áreas, a coleta de dados planialtimétricos é uma operação importante. Para o levantamento das cotas ao longo do terreno pode utilizar-se de receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), em conjunto com um sistema de correção diferencial RTK.

Boa parte dos produtores e técnicos que tem trabalhado a soja, em áreas suavizadas, tem realizado a coleta desses dados utilizando o sistema RTK embarcado em tratores agrícolas. Essa prática tem possibilitado o alcance de produtividades rentáveis e domínio do fluxo das águas, tanto para irrigação quanto para drenagem. Porém, o processo de coleta dos dados nessa metodologia é dependente de um trator e de um operador, ao mesmo tempo que necessita de condição ótima de umidade no solo, para que o conjunto possa coletar os dados.

Com o avanço da tecnologia, novos equipamentos são testados. O uso de drones, embarcados ou não com RTK, tem sido frequente em operações de topografia, tanto para levantamentos planimétricos como altimétricos. Dependendo da aplicação e acurácia desejada, o uso de drone como plataforma para coleta de dados, substitui outras metodologias/plataformas tradicionais, como estação total e nível óptico (COELHO e SILVA, 2017). Porém, essa ferramenta não tem sido utilizada ou mesmo não teve sua viabilidade de uso testada para levantamento de dados em projetos de suavização (BUENO, 2022).

Toda via, os drones tem um menor custo para o levantamento de dados, se comparado ao uso de trator com RTK, onde o mesmo tem um alto custo atrelado e uma janela curta de operação, também dependendo do clima e do solo para realizar a coleta, enquanto o drone necessita somente que a velocidade do vento não seja elevada.

1.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade de projetos de suavização do terreno para cultivo de soja com dados planialtimétricos obtidos por drones quadrimotor e veículo equipado com sistema RTK.

1.1.1. Objetivos específicos

Avaliar a similaridade planialtimétrica entre o modelo digital do terreno gerado pela coleta com veículo e pelos drones.

Comparar a estimativa de movimentação de terra pelas metodologias avaliadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura da soja em áreas de arroz irrigado

Segundo Reichert *et al.* (2006) a suavização da declividade de uma área, proporciona menor consumo de água e maior eficiência no uso da água, promovendo, também, melhoria na aplicação de insumos para culturas cultivadas em áreas de arroz. A suavização possibilita a produção adequada de culturas de sequeiro, tornando-se um ponto de grande importância para gerar lucratividade ao produtor, propiciando o cultivo de áreas que ficariam em pousio (RODRIGUES *et al.*, 2015).

As características físicas dos solos tradicionalmente cultivados com arroz apresentam, usualmente, restrições ao cultivo de espécies como soja ou mesmo o milho e o trigo. A baixa condutividade hidráulica aliada a um perfil de solo raso e camada compactada presente nos primeiros centímetros do perfil é justamente o que facilita o cultivo de arroz por inundação. Justamente essas características que limitam o cultivo de outras espécies. Porém, lavouras de soja vem apresentando resultados satisfatórios e até mesmo expressivos nessas áreas, aumentando a renda de muitos produtores. Um exemplo disso, é que no último campeonato de produtividade de soja no Brasil, na categoria soja irrigada, foi vencido por um agricultor que cultiva soja em rotação com arroz irrigado por inundação (CESB, 2022), que alcançou 7.044,6 kg de soja/há.

A soja é, também, uma grande aliada na rotação com arroz na redução da presença do arroz-vermelho (FIGURA 1), principal planta daninha que afeta as lavouras da região (BOCK *et al.*, 2017).

Figura 1 - Lavoura de soja ao lado de arroz, ilustrando a nova realidade da rotação do arroz com a soja.



Fonte: Severo, (2022).

Os índices pluviométricos no RS são irregulares, sendo que a região da Fronteira Oeste está, frequentemente, sujeita tanto a excesso como restrição hídrica. No caso da soja, o excesso hídrico, dentre outros fatores, reduz a disponibilidade de oxigênio para as raízes e até mesmo a eficiência da fixação biológica de nitrogênio atmosférico (SICZEK e LIPIEC, 2011).

Segundo Gubiani *et al.* (2018), nas áreas tradicionalmente cultivadas com arroz, a deficiência de oxigênio é o principal causador de redução da produtividade, quando a disponibilidade hídrica não é restritiva ou limitante. Dessa maneira, foram desenvolvidos métodos para que a drenagem não seja um fator limitante no desenvolvimento das culturas (SILVA e PARFITT, 2004). Um exemplo é o sistema de cultivo sulco-camalhão, onde a suavização é realizada para permitir tanto a irrigação quanto a drenagem (CAMPOS *et al.*, 2021).

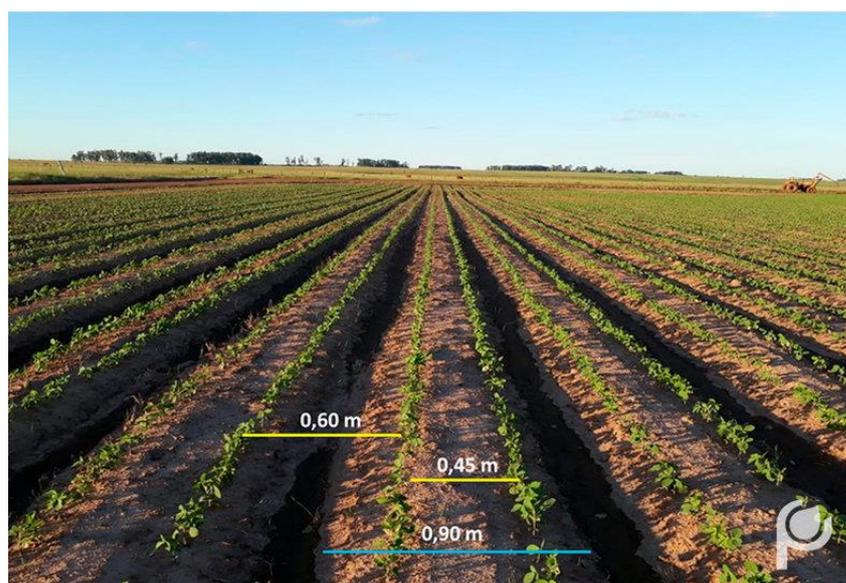
2.2. Suavização do terreno em sistemas de irrigação e drenagem por superfície

Para o cultivo de culturas de sequeiro é necessário que a irrigação e a drenagem ocorram de forma eficiente, para isso outras metodologias são testadas e

aplicadas. O sistema sulco-camalhão vem se expandindo, justamente por possibilitar ambos irrigação e drenagem. Nesse sistema a área de cultivo passa pelo processo de suavização, onde a declividade do terreno é uniformizada, permitindo a irrigação por superfície de modo uniforme (CAMPOS *et al.*, 2021).

A implantação do sistema é composta por diversas etapas, tais como o levantamento de dados altimétricos, operações de corte e aterro, construção do sulco-camalhão, semeadura e instalação de politubos (CAMPOS *et al.*, 2021). O declive indicado nos sulcos é de 0,1 a 0,5%, contudo há um cuidado para cada tipo de área, sendo que cada projeto deve ser “customizado” para cada área (DA SILVA *et al.*, 2007). A FIGURA 2 ilustra o sistema, um dia depois da primeira operação de irrigação.

Figura 2 - Vista de uma área de soja no estádio V2 um dia após a irrigação por superfície no sistema sulco-camalhão



Fonte: MARQUES, (2022).

Estima-se que a sistematização com o intuito de eliminar a presença de lagoas reduza aproximadamente 30% do comprimento de taipas, reduzindo em até 70% a movimentação do solo durante o preparo para o cultivo do arroz (BETEMPS, 2018). O custo da sistematização é cobrado pela quantidade de solo movimentada, o preço é regulado pelo metro cúbico de terra que será realocada estimando em torno de US\$ 1,00/m³ (PARFITT, 2021).

2.3. Métodos de levantamento dos dados planialtimétricos

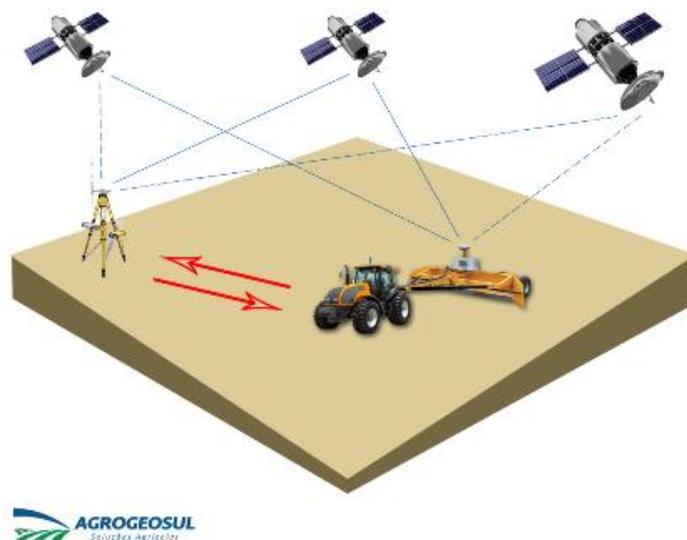
Os métodos de obtenção de dados planialtimétricos estão em constante evolução. Desde o teodolito até os níveis ópticos e laser, que foi muito usado principalmente para confecção de taipas, até o advento da estação total e do sistema de posicionamento global por satélite (GNSS, do inglês) a precisão, a acurácia e a agilidade no levantamento, tem evoluído. No sistema de nível laser, por exemplo, a coleta dos dados utiliza-se de uma base que emite um sinal para uma régua, em que a base identifica a altura que está demarcada e assim o operador deve ajustar o trajeto para e manter a demarcação da curva dentro da cota desejada (BUENO, 2018).

Atualmente novas tecnologias estão sendo aplicadas no campo. A utilização de receptores GNSS, em conjunto com o sistema de correção diferencial RTK, possibilita maior acurácia e precisão na coleta de dados, ao mesmo tempo que aumenta a agilidade nos levantamentos. O RTK recebe sinal dos satélites corrigindo pela sua posição previamente conhecida, ajustando a diferença e retransmitindo para o veículo por ondas de rádio, em tempo real (FIGURA 3).

O veículo ou mesmo outra plataforma, embarcada com RTK, pode então fazer a coleta de dados para a utilização em aplicações diversas, tanto dentro da lógica da irrigação e drenagem como também da agricultura de precisão, como posicionamento dos implementos com correção em tempo real para que trafeguem onde foi previamente demarcado (MOLIN *et al*, 2015).

A coleta dos dados também envolve planejamento, como por exemplo a velocidade de deslocamento, a distância entre as passadas e a frequência de coleta dos dados, quando se utiliza trator ou outro veículo (BUENO, 2018). A frequência de coleta de dados pode ser definida com base na gravação do dado em um intervalo de tempo ou intervalo de deslocamento. Quanto maior a frequência, maior a quantidade de pontos levantados e vice-versa.

Figura 3 - Ilustração da triangulação mínima necessária entre satélites, base RTK e receptor GNSS acoplado ao trator para que haja a correção do deslocamento durante a operação ou mesmo que cada ponto coletado represente fielmente as coordenadas X, Y e Z no terreno.



Fonte: Agrogeosul, 2023.

O GNSS é composto de várias constelações de satélites como o GPS (Sistema de posicionamento global) pertencente aos Estados Unidos da América, o GLONASS (Sistema de Navegação Global por Satélite) pertencente a Rússia, o GALILEO pertencente aos países da União Europeia (MODELISMOBH, 2021) e, mais recentemente, o BEIDOU, pertencente a China.

Outra metodologia de correção e coleta de dados é pelo sistema PPK. Diferentemente do RTK, que faz correções em tempo real, o sistema PPK faz a correção das coordenadas em pós processamento. Com isso, sua aplicação na agricultura ainda é limitada, pois a grande maioria das operações necessita de correção em tempo real. Porém, a coleta de dados para projetos que efetivamente não são implantados em tempo real, como a suavização, é uma aplicação possível. O seu uso, está mais atrelado a levantamentos planialtimétricos com uso de drones. Isso por que para a correção de posição pós-processada não é necessário que a base PPK tenha “visada” 100% do tempo com o receptor GNSS, como é necessário no RTK. A necessidade de visada ou comunicação integral entre base RTK e receptor é, na verdade, uma limitação do sistema RTK e que inexistente no sistema PPK (AMARAL *et al.*, 2020; TOMAŠTÍK *et al.*, 2019).

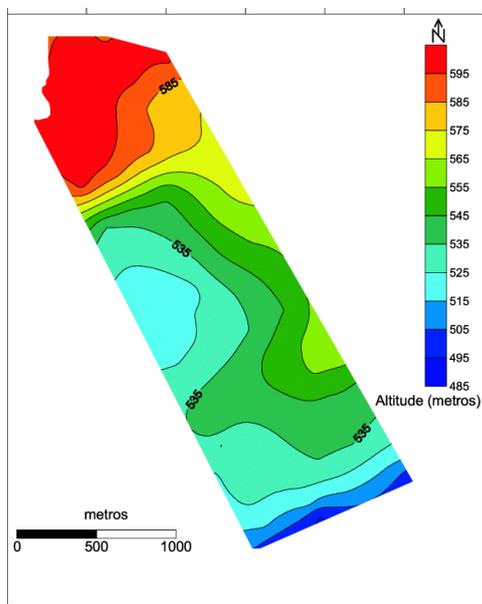
O funcionamento do sistema PPK se utiliza dois receptores, uma base e o drone simultaneamente. Os dados coletados são armazenados na base onde serão

processados em escritório, quando a correção em relação a base será feita. Para aumentar a acuraria no posicionamento, o sistema pode fazer uso de pontos de controle. Entende-se por ponto de controle uma amarração feita através da coleta de coordenadas X, Y e Z em um objeto que pode ser reconhecido em uma imagem, de modo a fazer uma segunda aproximação para a real posição no terreno (TOMAŠTÍK *et al.*, 2019).

Os drones podem também serem diferenciados com base em alguns parâmetros. Esses parâmetros podem estar, inicialmente, divididos em modelos com baixa e alta autonomia de voo, em função da capacidade de bateria que o mesmo carrega. A alta autonomia, por exemplo, está muitas vezes atrelada a equipamento de custo mais elevado, com possibilidade de serem embarcados com equipamentos que trazem mais qualidade para levantamentos. Drones de baixa autonomia, normalmente não foram concebidos, inicialmente, para aplicações em aerolevantamentos, embora possam também serem utilizados para esse fim (RODRIGUES, 2019).

A adequação da área começa pelo levantamento planialtimétrico, que é a principal ferramenta para que o produtor ou responsável técnico consiga interpolar e analisar os dados coletados, e assim ter um conhecimento adequado sobre a superfície do terreno. Esse levantamento pode ser realizado utilizando, veículos, tratores agrícolas e drones (PARFITT, 2021). Segundo Betemps (2018), para que se tenha uma amostragem correta deve-se coletar pelo menos 400 pontos por hectare, podendo esse valor variar de acordo com a mudança na declividade ao longo da área. Dessa forma, é possível representar graficamente terreno em softwares dedicadas, por meio da geração do MDE utilizando os dados de altimetria coletados (PEREIRA, 2008). A FIGURA 4 representa um MDE, com curvas de nível espaçadas a cada 1 metro de desnível do terreno.

Figura 4 - Exemplo de MDE gerado por meio do levantamento de dados planialtimétricos do terreno. A imagem ilustra curvas de nível a cada 1 metro de desnível.



Fonte: BECEGATO, (2005).

Para obtenção de dados planialtimétricos por meio de drones se faz necessário o uso de câmeras com sensoriamento capaz de determinar a elevação do terreno., O tipo mais utilizado são câmeras de RGB (Red, Green, Blue), que trabalham dentro do espectro visível (BARBOSA *et al.*, 2016). Além disso, o primeiro produto do levantamento com drones são imagens, que precisam ser processadas, em software específico, utilizando técnicas de aerofotogrametria (AMARAL *et al.*, 2020).

As câmeras são equipadas com sensores que realizam a transformação dos fótons para energia elétrica. Por exemplo, o sensor CMOS (sensor semicondutor de óxido metálico complementar) realiza a transformação das cargas diretamente dentro do pixel, enquanto que o CCD (Dispositivo de carga acoplada) realiza a conversão, mas necessita passar por um conversor analógico-digital (ADC) para obter a imagem (ASTRO, 2021)

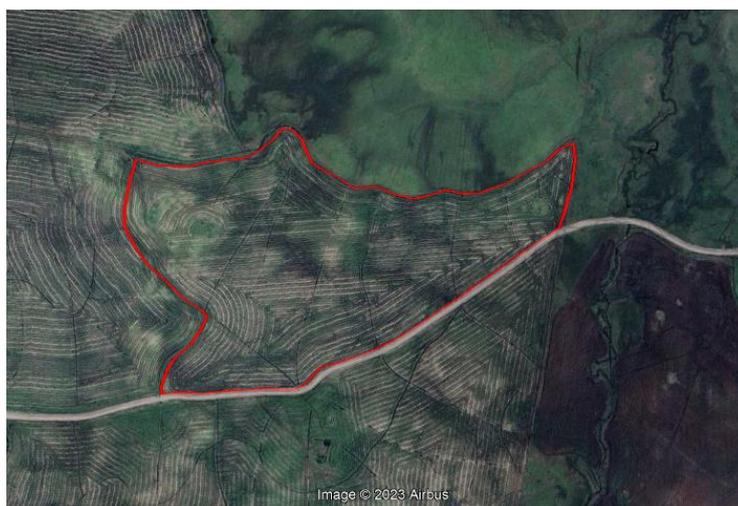
Outros trabalhos que fizeram a utilização da tecnologia embarcada em drones para levantamento planialtimétrico, como Coelho e Silva (2017), definiram como parâmetros de entrada altura de voo de 150 metros, com 8 pontos de controle, 3 pontos de verificação, com sobreposição de imagens de 80% longitudinalmente e 70% lateralmente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do estudo

O presente trabalho foi realizado na propriedade de Marcos Antônio Ancinelo, localizada no município de Alegrete-RS, nas coordenadas geográficas Latitude Sul 29° 46.222' e Longitude Oeste 55° 45.065', o local onde executou-se os trabalhos possui uma área em torno de 13,3 hectares delimitado na FIGURA 5. Este talhão é cultivado com a cultura do arroz desde antes da década de 80, sendo manejado da seguinte forma: ciclo de arroz irrigado por dois anos consecutivos e pousio em outros dois anos.

Figura 5 - Talhão utilizado.



Fonte: Autor.

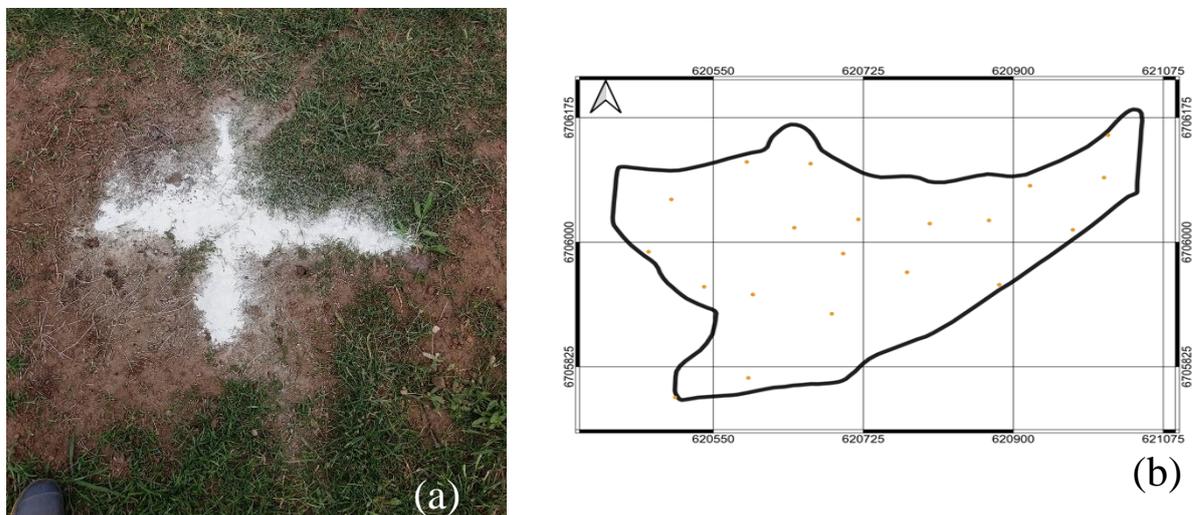
3.2 Composição dos fatores de estudo e procedimentos de coleta de dados

O estudo foi constituído de três metodologias de coleta de dados planialtimétricos, para criação do projeto de suavização do terreno: 1) coleta de dados utilizando drone de baixa autonomia de voo, sem correção de posicionamento pós processada (PPK), com pontos de controle e de verificação, com denominação de PC; 2) coleta de dados utilizando drone de alta autonomia de voo, marca modelo Nuvem Spectral 2, com correção de posicionamento pós processada (PPK), sem pontos de controle e de verificação; 3) coleta de dados utilizando sistema RTK embarcado em um veículo automotivo, com denominação de RTK. A M3, denominada de RTK, foi considerada

como a metodologia padrão, pois é o método que vem sendo mais empregado para projetos de suavização

Para coleta dos dados, georreferenciou-se um ponto e utilizou-o como ponto base para todas as metodologias. Após o georreferenciamento do referido ponto, alvos para representarem pontos de controle e de verificação foram demarcados com cal (FIGURA 6a) e suas coordenadas X, Y e Z levantadas. Esses pontos de controle foram coletados com um sistema RTK de mão, sendo levantados 20 pontos ao longo da área, conforme ilustra a Figura 6b.

Figura 6 – Marcação e disposição dos pontos no campo.



Fonte: Autor.

Na sequência, instalou-se o equipamento PPK sobre o ponto georreferenciado (FIGURA 7) e teve início a coleta de dados na metodologia PPK e depois na metodologia PC. A altura de voo utilizada foi estipulada de acordo com o tamanho do pixel, no ortomosaico processado, de modo que fosse menor que 2,5 centímetros, sendo de 265 metros no PPK e 60 metros no PC. A sobreposição frontal das imagens foi estipulada em 85% e lateral de 65%, em ambas as metodologias. O planejamento dos voos foi realizado em aplicativos dedicados, tais como o NControl®, para a metodologia PPK, e DroneHarmony®, para a metodologia PC.

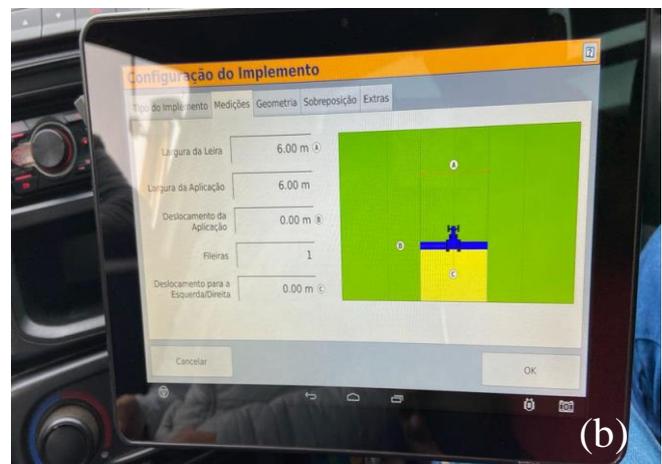
Figura 7 – Equipamento para correção de posicionamento pós processada (PPK).

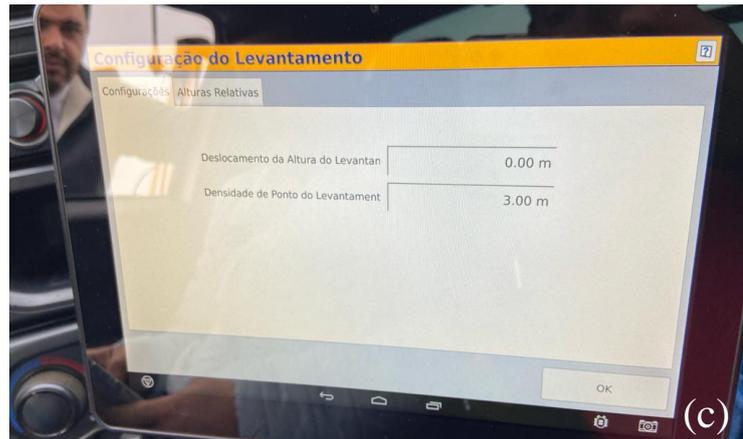


Fonte: Próprio autor.

Após a coleta de dados com os drones, foram instalados os equipamentos para a metodologia RTK, como a sua base, que tem conexão com o receptor GNSS acoplado ao veículo automotivo utilizado no levantamento (FIGURA 8a). Com isso, foi realizado a coleta de pontos pela metodologia RTK. Trafegando na área com uma velocidade estípula de entorno de 4 km/h, fazendo passadas paralelas espaçadas em 6 metros, com frequência de coleta de 1 ponto georreferenciado a cada 3 metros conforme exemplificado na FIGURA 8b e 8c.

Figura 8 – Equipamentos para coleta de dados utilizando RTK





Fonte: Autor.

3.3 Descrição dos equipamentos utilizados

Para a realização do experimento foram utilizados os seguintes equipamentos:

Veículo automotivo: da marca FIAT, modelo Strada 2022, com suspensão independente.

Drone de alta autonomia de voo: Spectral 2, equipado com câmera RGB NVM 24mp (Sensor Sony Micro 4/3), campo de visão 83° e distância focal de 25 mm e base PPK para pós-processamento de dados para correção de posicionamento horizontal e vertical das imagens coletadas.

Drone de baixa autonomia de voo: drone DJI Mini 2, equipado com câmera RGB, sensor CMOS de 1/2,3 polegadas 12 MP, campo de visão de 83° e distância focal de 24 mm / mm (equivalente a 35 mm). Equipado com GNSS compatível com constelação GPS, Glonass e Galileo.

Base RTK de mão: Modelo South SHT 86s com receptor GNSS captando as bandas r1 e r2, utiliza um Rover SHT 82s equipado com receptor GNSS com banda l1 l2.

3.4 Processamento dos dados e geração dos Modelos Digitais de Elevação (MDE)

O MDE gerado pelas metodologias que envolvem drones foi obtido por meio do processamento digital das imagens aéreas obtidas. Inicialmente, as imagens foram pré-processadas utilizando o software Quantum GIS ®, de modo a excluir imagens

que apresentaram nível de arrasto elevado. Essa análise foi realizada utilizando o plugin LF Tools, que opera dentro do Quantum GIS®. Feito o pré-processamento, a imagens obtidas pela metodologia PC foram processadas no software WebODM®, para geração do MDE, enquanto que as imagens obtidas pela plataforma PPK foram processadas no software Agisoft Metashape®.

Os MDEs gerados com as imagens dos drones foram então carregados no software Quantum GIS. A partir da inserção nesse software, o MDE gerado por cada drone pode ser então utilizado para a criação do projeto de suavização do terreno.

O MDE obtido pela metodologia RTK foi também gerado utilizando o software Quantum GIS®, sendo que os dados obtidos por meio dessa metodologia foram previamente convertidos em formato compatível com o referido software, por meio de outro software, denominado Case IH AFS Software®. Algumas etapas precederam a geração dos MDE gerado pelo RTK. Inicialmente foi realizado um pré-processamento dos dados. A primeira etapa do pré-processamento foi uma análise visual da nuvem de pontos gerada, utilizando o Quantum GIS®, em busca de pontos eventualmente localizados de maneira muito discrepante, denotando erro na sua coleta. Em seguida, os dados foram analisados para verificar a presença de pontos onde a informação de elevação não foi gravada, assim como aqueles em que o parâmetro GpsHrms apresentar-se com valor maior que 1,5 centímetros.

O parâmetro GpsHrms refere-se ao erro horizontal de posicionamento, no momento de gravação da informação. O erro vertical é aproximadamente 1,5 vezes o erro horizontal e é desejável que não seja superior a 2,5.

A última etapa do pré-processamento dos dados foi a filtragem do parâmetro elevação. Essa filtragem foi realizada conforme metodologia descrita por Maldaner *et al.* (2022), utilizando a mediana para classificar um ponto dentro do banco de dados. A mediana foi tomada como parâmetro estatístico principal, e cada ponto medido terá sua filtragem avaliada pela discrepância em relação aos demais, em um raio de 5 metros. Essa filtragem foi realizada utilizando o software Mapfilter (MOLIN *et al.*, 2019).

Finalizado o pré-processamento dos dados coletados pelo veículo equipado com RTK, esses foram então interpolados utilizando o software Quantum GIS®, para a geração do MDE e posteriormente o projeto de suavização.

3.5 Avaliação da similaridade entre os MDEs gerados

Para comparação dos MDEs obtidos, pelas diferentes metodologias, inicialmente foi gerada uma malha densa de pontos espaçados por 5 metros, utilizando o software Quantum GIS®. Através dessa camada de pontos foi possível extrair a informação de elevação de cada MDE, gerando uma camada/coluna para cada metodologia de levantamento dos dados.

Com isso, foi realizada análise de estatística descritiva dos dados, representando-os por meio de gráfico box plot. Para tanto, criou-se duas variáveis resposta para comparação: elevação (metros acima do nível médios dos mares) e declividade (representada em %). Os dados de elevação foram submetidos a uma análise de correlação de Pearson, utilizando o software R.

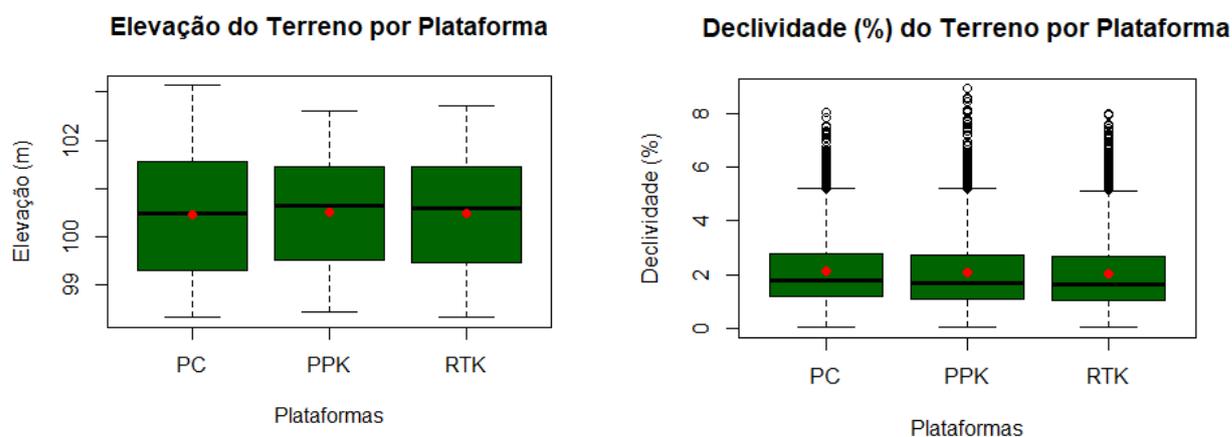
A movimentação de terra foi estimada diretamente pelo software Quantum GIS®, sendo outro parâmetro de avaliação da similaridade entre as metodologias. Para a estimativa da movimentação total de terra, foi gerado um MDE teórico para cada metodologia, usando a média das elevações obtidas por cada metodologia, onde utilizou-se como parâmetro a declividade de 0,03% (3 centímetros de desnível a cada 100 metros horizontais). Com isso, subtraiu-se o MDE teórico pelo MED real (obtido por cada metodologia). O resultado trouxe um novo MDE, onde valores negativos representam áreas de corte de terra e valores positivos representam valores de aterro.

De acordo com Da Cruz (2023), as diferentes abordagens de levantamento altimétrico possuem características distintas. Ao comparar a topografia tradicional com o uso de drones, ele destaca que a tecnologia embarcada nos drones proporciona facilidade de acesso e eficiência no processo de coleta de dados, tornando-o mais ágil. Mesmo diante do contínuo desenvolvimento tecnológico dos drones, a praticidade oferecida é evidente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado na Figura 9, que representa as médias marcadas pelos pontos vermelhos e as medianas por linhas pretas, observa-se que os dados coletados apresentam semelhança em ao longo das metodologias, tanto em elevação quanto em declividade.

Figura 9 - Descrição dos dados coletados por cada plataforma de aquisição utilizada.



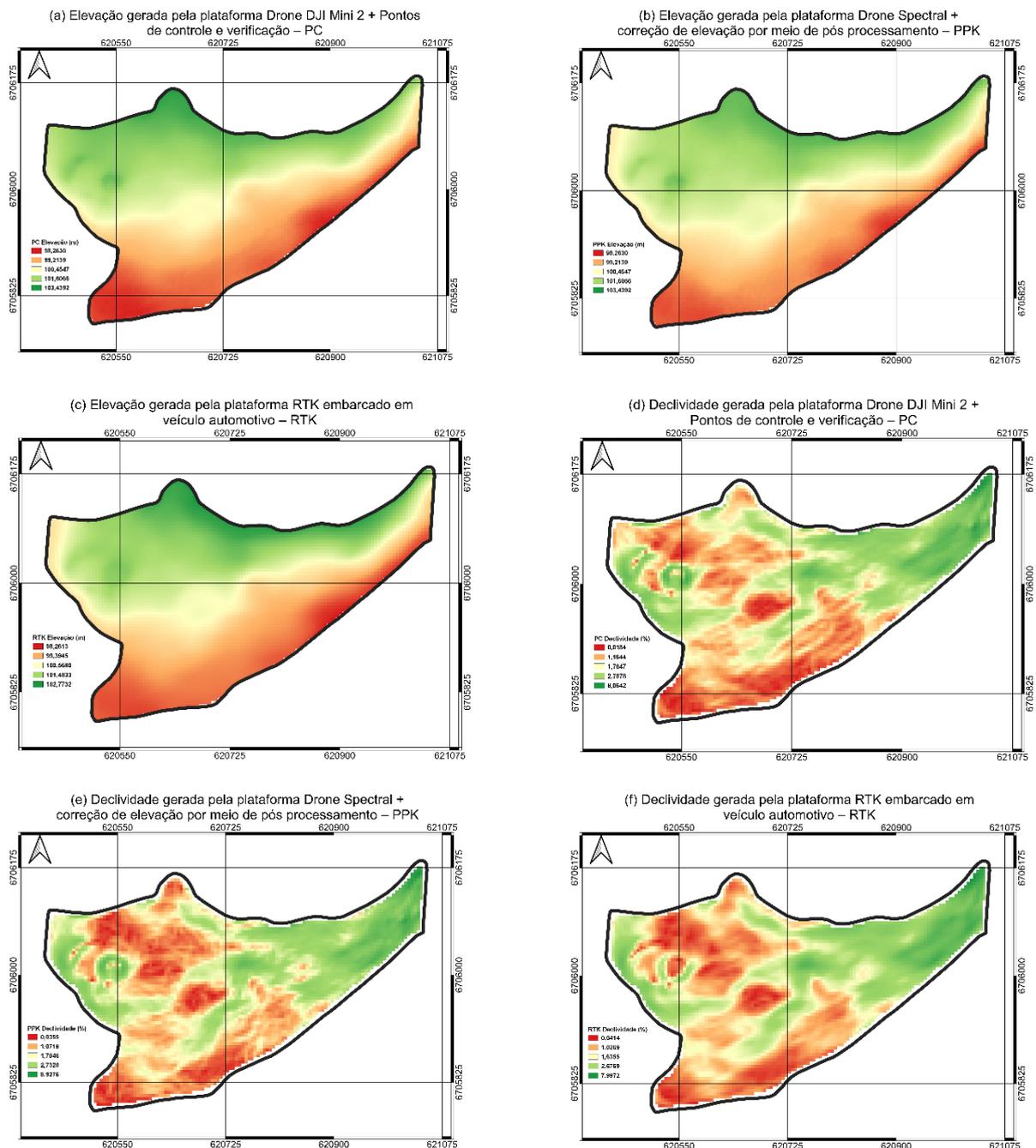
*PC = coleta de dados utilizando drone marca modelo DJI Mini 2 com pontos de controle e verificação no terreno; PPK = coletada de dados utilizando drone marca modelo Nuvem Spectral com correção de elevação por meio de pós processamento; RTK = coletada de dados utilizando sistema RTK embarcado em veículo automotivo.

Essa semelhança indica que, em termos médios, as coletas de dados para cada tratamento são próximas, apesar de variações notáveis nos valores máximos e mínimos de elevação, particularmente na metodologia PC, em comparação com os drones equipados com PPK e RTK. Essa discrepância ressalta a influência do desempenho do drone e pontos de controle na consistência dos dados altimétricos. No entanto, é importante notar que, para a declividade, não foi observado esse padrão de diferenças entre as metodologias. Essas constatações ressaltam a importância de considerar cuidadosamente as características altimétricas ao avaliar o desempenho de diferentes drones, indicando haver diferença na qualidade da coleta de dados realizadas pelas diferentes metodologias.

A FIGURA 10 demonstra os MDEs gerados por cada metodologia. A FIGURA 10a apresenta as elevações obtidas pela metodologia PC, onde a cor verde demonstra a parte mais elevada do talhão e a vermelha a com menor elevação, sendo possível visualizar que a troca de elevação da mais elevada para a menos ocorre

suavemente com uma zona de transição bem expressiva. Já na Figura 10b trata-se da metodologia PPK, que visualmente apresenta maior similaridade dos mapas com a metodologia RTK (Figura 10c), demonstrando que as metodologias podem equivalerem-se. Na metodologia RTK, considerada como a referência nesse trabalho, visualmente percebe-se que essa apresenta semelhança com as demais, não destoando das coletas realizadas com os dois tipos de drone.

Figura 10 - Representação gráfica dos mapas de elevação e declividade



Representação gráfica dos mapas de elevação (m) e declividade (%) gerados por cada uma das plataformas de aquisição de dados utilizadas. (a) Elevação gerada pela plataforma Drone DJI Mini 2 +

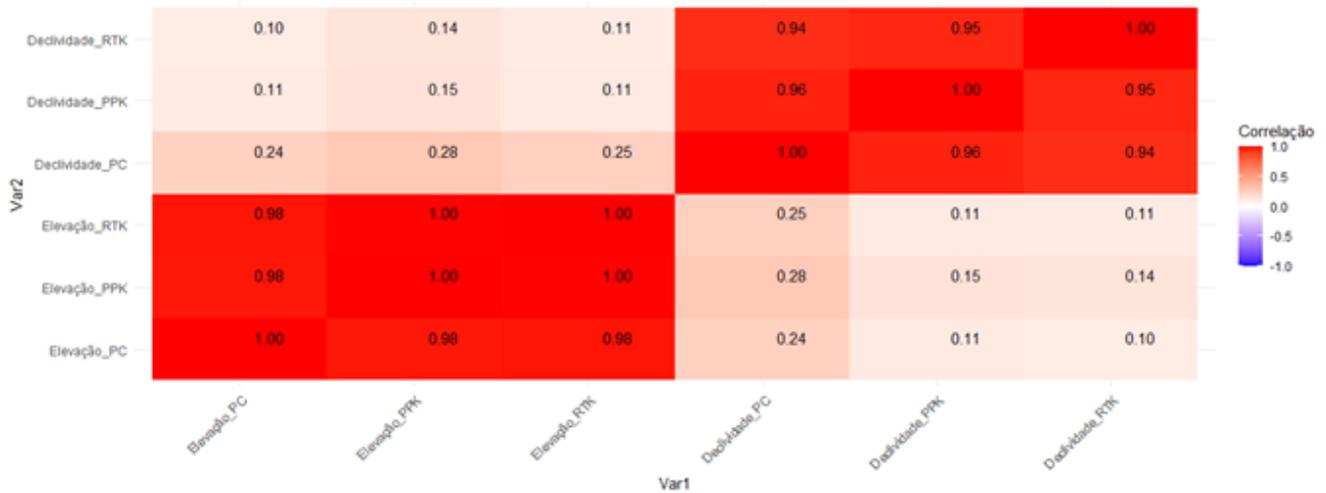
Pontos de controle e verificação – PC; (b) Elevação gerada pela plataforma Drone Spectral + correção de elevação por meio de pós processamento – PPK; (c) Elevação gerada pela plataforma RTK embarcado em veículo automotivo – RTK; (d) Declividade gerada pela plataforma Drone DJI Mini 2 + Pontos de controle e verificação – PC; (e) Declividade gerada pela plataforma Drone Spectral + correção de elevação por meio de pós processamento – PPK; (f) Declividade gerada pela plataforma RTK embarcado em veículo automotivo – RTK.

De acordo com os mapas de elevação, foram gerados os mapas de declividades para cada metodologia sendo apresentados na FIGURA 10. São destacados os mapas de declividade para cada tratamento, proporcionando a visualização e comparação entre eles. É possível observar que nas FIGURAS 10d e 10e, onde as coletas foram realizadas com drones, o mapa exibe uma menos suavidade em comparação com o obtido através da coleta em RTK. Este último apresentou uma suavidade mais acentuada nas regiões de transição de elevação. Essa diferença na variação da declividade sugere que a metodologia de coleta, especialmente quando realizada por drones, pode resultar em mapas mais detalhados, mas não necessariamente resultarão em projetos com mais qualidade. Em contrapartida, o uso de RTK tende a proporcionar mapas com declividades mais suavizadas nas zonas de transição de elevação como demonstrado na Figura 10f.

Aqui, é relevante mencionar que as correlações mais significativas são observadas nas elevações obtidas pelo RTK em comparação com o PPK. Embora a correlação entre o PC e o RTK seja alta, seu valor é inferior à correlação entre o RTK e o PPK, o que pode influenciar nos resultados ao gerar corte e aterro. Em termos gerais, os mapas resultantes das três metodologias apresentam semelhanças notáveis, mas também revelam divergências pontuais. Nota-se que onde a declividade é menor, o desempenho do PC é inferior, enquanto PPK e RTK permanecem consistentes.

A Figura 11 ilustra os resultados da análise de correlação linear de Pearson entre as metodologias para elevação e declividade, evidenciando uma alta correlação.

Figura 11 - Correlação Linear de Pearson entre os modelos gerados pelas diferentes plataformas de aquisição de dados.



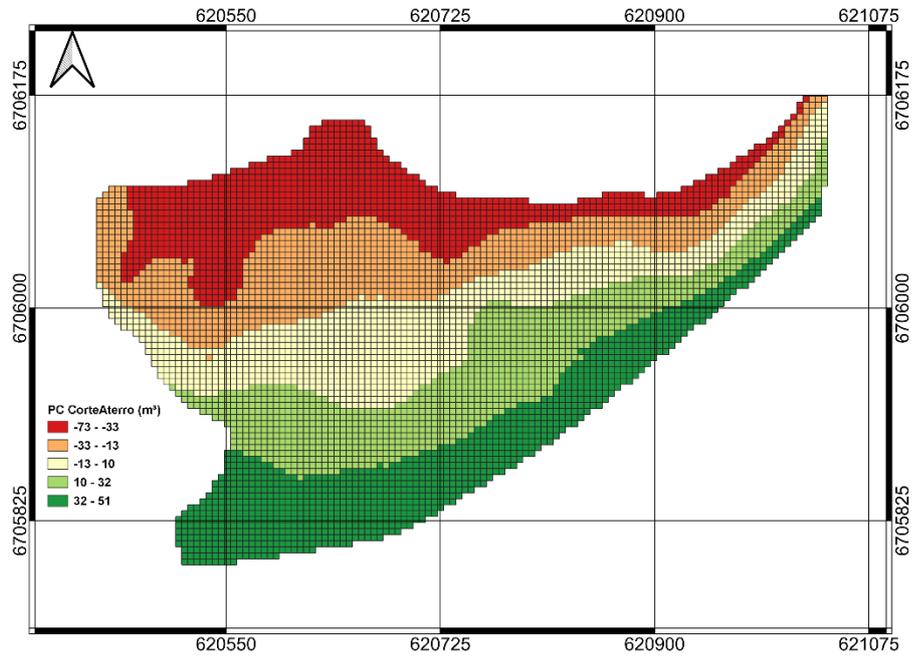
Fonte: Autor.

Em todos os tratamentos, observa-se que as variações na elevação em uma metodologia correspondem proporcionalmente às variações na outra. Essa consistência é também evidente na análise da declividade, onde a correlação reflete a proporcionalidade das mudanças nos dados entre as metodologias. Em resumo, a FIGURA 11 destaca a relação linear positiva entre as elevações e declividades obtidas pelas diferentes metodologias, fornecendo uma medida quantitativa da consistência entre os conjuntos de dados.

Na Figura 12,13 e 14, os dados foram transformados para representar cortes e aterros no terreno em formato de mapas e gráficos colunas. As áreas em verde no mapa indicam locais onde seria necessário realizar aterramento, enquanto as áreas em vermelho indicam onde seriam necessários cortes de solo. Cada pixel na imagem corresponde a um valor na unidade metro cúbico, possibilitando o cálculo da movimentação de terra em cada metodologia.

Figura 12 - Análise vetorial da distribuição de corte e aterro metodologia PC.

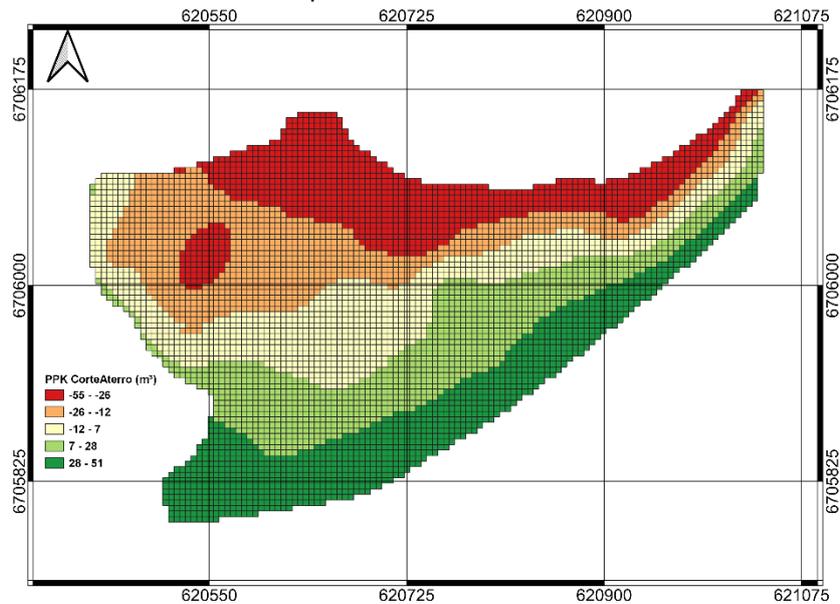
(a) Distribuição de cortes e aterros pela plataforma Drone DJI Mini 2 + Pontos de controle e verificação - PC



Fonte: Autor.

Figura 13 - Análise vetorial da distribuição de corte e aterro metodologia PPK.

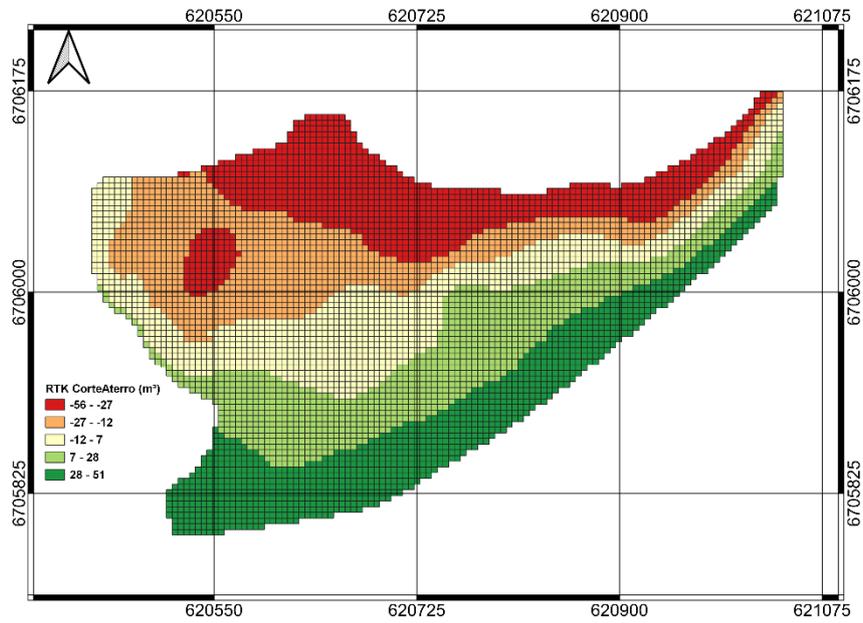
(b) Distribuição de cortes e aterros pela plataforma Drone Spectral + correção de elevação por meio de pós processamento - PPK



Fonte: Autor.

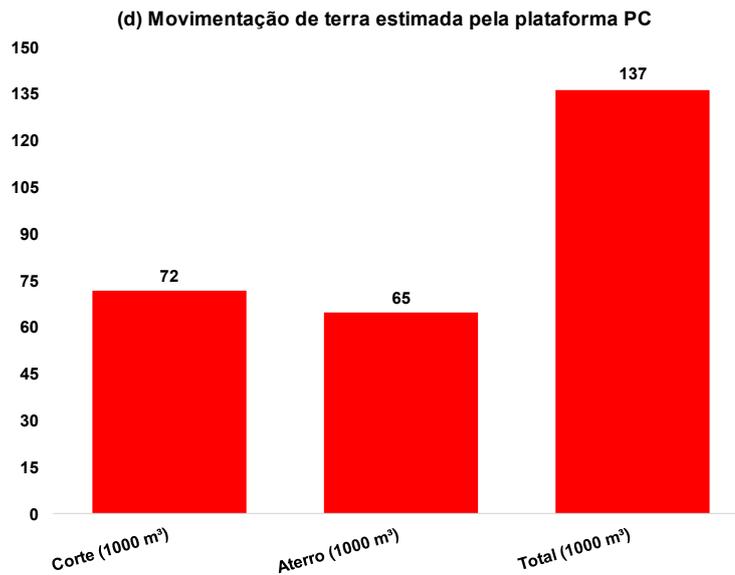
Figura 14 - Análise vetorial da distribuição de corte e aterro metodologia RTK.

(c) Distribuição de cortes e aterros pela plataforma RTK embarcado em veículo automotivo - RTK



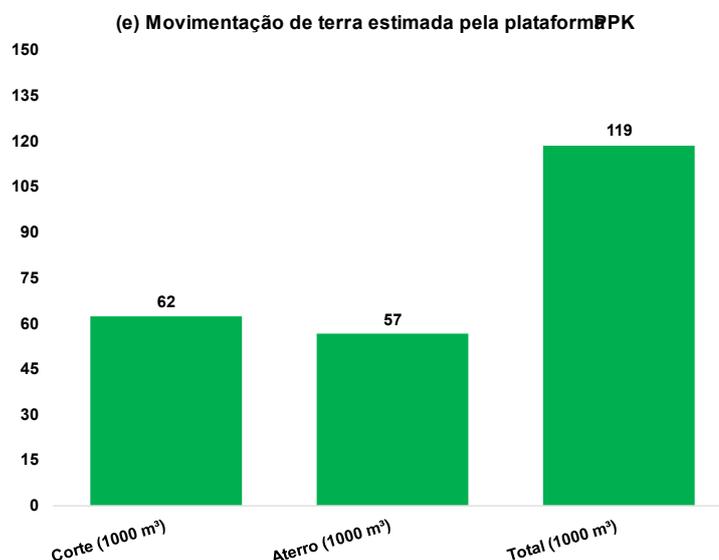
Fonte: Autor.

Figura 15 - Análise da movimentação de solo na metodologia PC.



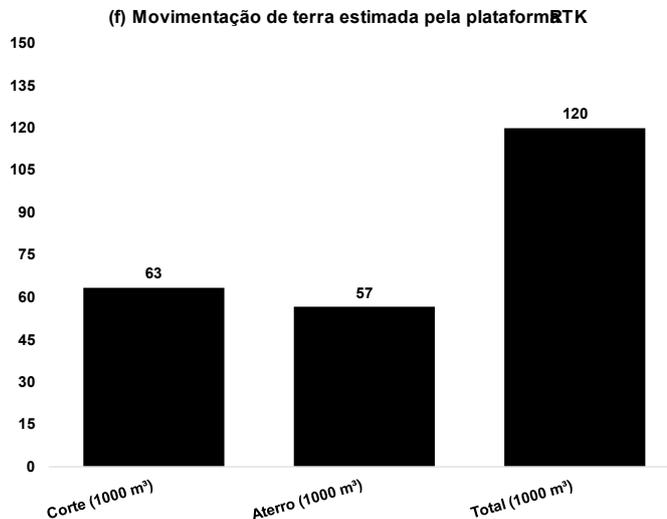
Fonte: Autor.

Figura 16 - Análise da movimentação de solo na metodologia PPK.



Fonte: Autor.

Figura 17 - Análise da movimentação de solo na metodologia RTK.



Fonte: Autor.

Nota-se uma movimentação total de 137 metros cúbicos, na metodologia PC (FIGURA 15), já comparando o PPK e o RTK ambos ficaram semelhantes quando analisados os valores de corte e aterro sendo o PPK 119 e o RTK 120 metros cúbicos (FIGURA 16, 17). No entanto, é importante ressaltar que nenhuma dessas variações é exequível a nível de campo, sendo praticamente impossível realizar cortes e aterros

tão severos. O talhão selecionado não é ideal para passar por corte e aterro do solo, haja visto que o mesmo possui grande variação altimétrica, que segundo BERNARDO (2019), a relação entre as quantidades de terra cortada (corte) e aterro deve seguir uma proporção específica, variando entre 1,2 e 1,4. Em termos práticos, isso significa que o volume de terra a ser retirado durante o corte deve ser de 20% a 40% maior do que a quantidade estimada para o aterro. Porém, serve para comparação teórica do desempenho obtido por cada metodologia.

Observa-se que o drone, devido à sua menor dependência das condições climáticas adversas, como chuvas intensas, tem a capacidade de retomar as operações mais rapidamente em comparação com o trator ou camionete. Essa capacidade de rápida resposta após eventos climáticos pode ser crucial em projetos onde a continuidade da coleta de dados é essencial, proporcionando ao drone uma vantagem prática adicional sobre as metodologias tradicionais, embora demandasse tempo adicional no processamento dos dados.

Ao comparar os resultados obtidos por Coelho e Silva (2017), que se basearam na relação entre drone e estação total, o desempenho registra uma diferença variando entre 5,7 e 11,7 centímetros. Essa comparação evidencia não apenas a eficiência prática do drone em condições climáticas adversas, mas também destaca a consistência satisfatória em termos de precisão, mesmo considerando a necessidade de um processamento adicional de dados.

5. CONCLUSÃO

Em conclusão, os objetivos propostos indicam que tanto a coleta de dados altimétricos com RTK quanto com drones apresentou uma similaridade planialtimétrica satisfatória nos modelos digitais de elevação. Ao comparar as estimativas de movimentação de terra, observamos consistência nas metodologias PPK e RTK, mas uma discrepância significativa na metodologia PC, que registrou uma variação de cerca de 15, tornando inviável a utilização de drones sem correção PPK.

Os resultados deste estudo destacam a consistência geral nos modelos digitais do terreno gerados por drones e veículo equipado com RTK, evidenciando a viabilidade de ambas as metodologias para coleta de dados altimétricos. A avaliação da similaridade planialtimétrica, apoiada pela análise de correlação linear, ressalta a coerência nas características do terreno obtidas pelos diferentes métodos. Nota-se uma eficiência notável do drone no levantamento topográfico, apesar do tempo adicional necessário para o processamento dos dados. Essa eficácia destaca a relevância do uso de drones, especialmente em projetos que exigem rapidez na coleta de informações altimétricas. No entanto, a variação aparentemente irreal nas estimativas de movimentação de terra sublinha a importância de interpretar os resultados com cautela, considerando as peculiaridades da área em estudo.

Essas conclusões ressaltam a importância de uma escolha criteriosa da metodologia, considerando a coerência nos resultados, eficiência operacional e possíveis variações nas estimativas de movimentação de solo.

6. REFERÊNCIAS

AGROGEOSUL. **Nivelção RTK**. Disponível em: <https://agrogeosul.com.br/rtk/>. Acesso em: 01 de jan. de 2023.

AGROLINK. **Cotação; arroz irrigado em casca Sc 50kg**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/cotacoes/historico/rs/arroz-irrigado-em-casca-sc-50kg>. Acesso em: 21 de jan. de 2023.

AMARAL, L. R.; ZERBATO, C.; FREITAS, R. G.; BARBOSA JÚNIOR, M. R.; SIMÕES, I. O. P. S. UAV applications in Agriculture 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, Special Agriculture 4.0, e20207748, 2020.

ASTRO. **Observações com Câmaras CCD**. Astronomia e Astrofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/ccd/ccd.htm>. Acesso em: 25 de jan. de 2023.

BARBOSA, J. Z. *et al.* Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 15-24, 2016.

BECEGATO, V. A.; FERREIRA, F. J. F. Gamaespectrometria, resistividade elétrica e susceptibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, p. 371-405, 2005.

BERNARDO, Salassier; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação, 9. ed. **Editora UFV**, 2019.

BETEMPS, C. **O uso de modelos de sistematização do solo em terras baixas terá Jornada Técnica**, dia 25. Embrapa. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/33527080/o-uso-de-modelos-de-sistematizacao-do-solo-em-terras-baixas-tera-jornada-tecnica-dia-25>. Acesso em: 16 de jan. de 2023.

BOCK, R. *et al.* Plantio de soja em área de várzea. **Cultivar Máquinas**. Ed. 173, 2017. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/plantio-de-soja-em-area-de-varzea>. Acesso em: 01 de jan. de 2023.

BUENO, M. V. **Sistematização com declividade variada como ferramenta para diversificação de sistemas produtivos em terras baixas**. Universidade Federal de Pelotas, 2022.

BUENO, M. V. **Uso de ferramentas de geotecnologias para a simulação do manejo da água em terras baixas**. 2018., 2018.

CAMPOS, A. S. *et al.* Utilização da Tecnologia Sulco-camalhão na Produção de Soja e Milho em Terras Baixas do Rio Grande do Sul. **DOCUMENTOS (EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. IMPRESSO)**, v. 1, p. 1-32, 2021.

CESB – COMITÊ ESTRATÉGICO SOJA BRASIL. **Case Campeão Categoria Irrigada**. Disponível em: <<https://www.cesbrasil.org.br/case-campeao-sul-safra-21-22/>>. Acesso em: 21 de jan. de 2023.

COELHO, R. C.; SILVA, R. L. d. **Mapeamento topográfico, com utilização de veículo aéreo não tripulado (vant) e topografia convencional**. 2017.

DA CRUZ, João Guilherme Marinho; PERIN, Jessica. Topografia na Construção Civil: **Análise comparativa dos levantamentos topográficos realizados por estação total e drone**. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/54783/1/JO%C3%83O_GUILHERME_MARINHO_DA_CRUZ_ATIVIDADE_DEFESA.pdf. Acesso em: 05 de dez. de 2023.

DA SILVA, C. A. S. *et al.* **Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007., 2007.

GUBIANI, P. I. *et al.* Transpiration Reduction Factor and Soybean Yield in Low Land Soil with Ridge and Chiseling. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-14, 2018.

IRGA. **Safra 2022/2023 teve produção de 7,2 milhões de toneladas e produtividade de 8,79 t/ha**. 2023. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/safra-2022-2023-teve-producao-de-7-2-milhoes-de-toneladas-e-produtividade-de-8-79-t-ha>. Acesso em: 05 de dez. de 2023.

IRGA. Instituto Riograndense do Arroz. A lavoura orizícola do Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.40, n.370, p.12-53, 1987.

IRGA. **Irga divulga custo de produção de arroz 2021/2022**. Instituto Rio Grandense do Arroz. 2022. Disponível em: <https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202207/19145145-custo-de-producao-2021-22.pdf>. Acesso em: 28 de jan. de 2023.

LORENSI, R. P. *et al.* **Automonitoramento dos recursos hídricos em lavouras orizícolas**. 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7692>. Acesso em: 24 de jan. de 2023.

MALDANER, L. F.; MOLIN, J. P.; SPEKKEN, M. Methodology to filter out outliers in high spatial density data to improve maps reliability. **Scientia Agricola**, v. 79, n. 1, e20200178, 2022.

MARCHEZAN, E. *et al.* Sistemas de cultivo no controle de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 4, n. 2, p. 139–143, 1998.

MARQUES, L. **Sistema sulco/camalhão beneficia o cultivo de soja no RS**. Elevagro, 2022. Disponível em: <https://elevagro.com/conteudos/materiais-tecnicos/sistema-sulcocamalhao-beneficia-o-cultivo-de-soja-no-rs>. Acesso em: 29 de dez. de 2022.

MODELISMOBH. **Sistemas de posicionamento Gps, Glonass, Galileo, Beidou: conheça as diferenças**. 2021. Disponível em: <https://www.modelismobh.com.br/blog/sistemas-de-posicionamento-gps-glonass-galileo-beidou-conheca-as-diferencas/>. Acesso em: 25 de jan. de 2023.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. COLACO, A. F. . Agricultura de precisão. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238p.

MOLIN, J. P.; SPEKKEN, M; MALDANER, L. F. Mapfilter 2.0. 2019. Patente: Programa de Computador. Número do registro: BR512019002014-6, data de registro: 01/07/2019, título: "**MAPFILTER 2.0**", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

PARFITT, J. M. B. **Cultivo do arroz: Estruturação e Sistematização**. Embrapa. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/estruturacao-e-sistematizacao>. Acesso em: 16 de jan. de 2023.

PAULETTO, E. A. *et al.* **Produtividade de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo em rotação com soja e milho**. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 1991, Camboriú. Anais... Camboriú: EPAGRI, 1991. p.125-129.

PEREIRA, A. R. A. **Uma abordagem metodológica para a identificação, representação e monitoramento geodésico de uma encosta em risco natural**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

REICHERT, J. M. *et al.* Agregação de um planossolo sistematizado há um ano e sob cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 36, p. 837–844, 2006.

RODRIGUES, F. A. *et al.* **Avaliação de sistemas de implantação de soja em áreas típicas de cultivo de arroz irrigado**. Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

RODRIGUES, Lucas Soares; MCJABVCM, E. A. Otimização da trajetória com adaptação à autonomia de drones como gateway de comunicação para dispositivos iot. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, v. 23, p. 10-23, 2019.

SEVERO, B. S. **A rotação de cultura em terras baixas: Arroz/Soja**. Pet Agronomia. 2022. Disponível em: <https://www.ufsm.br/pet/agronomia/2022/09/08/a-rotacao-de-cultura-em-terras-baixas-arroz-soja/>. Acesso em: 01 de jan. de 2023.

SICZEK, A.; LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil & Tillage Research**, v. 114, p. 50–56, 2011.

SILVA, C. da; PARFITT, J. **Drenagem superficial para diversificação do uso de solos de várzea do rio grande do sul**. Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E), Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004., 2004.

SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Reunião técnica da Cultura do arroz irrigado, 2018. Disponível em: https://www.sosbai.com.br/uploads/documentos/recomendacoes-tecnicas-da-pesquisa-para-o-sul-do-brasil_906.pdf. Acesso em: 23 de jan. de 2023.

TOMAŠTÍK, Julián et al. UAV RTK/PPK method—an optimal solution for mapping inaccessible forested areas?. *Remote sensing*, v. 11, n. 6, p. 721, 2019.