



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 7, nº 2 (2021)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n2ID20423>



ESTIMANDO A ALTURA DE GRAMÍNEAS INVASORAS COM IMAGENS DE UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO NO CERRADO BRASILEIRO: PRECISÃO DO SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE DO PHANTOM 4

**Dhonatan Diego Pessi¹; Jefferson Vieira José²;
Camila Leonardo Miotto³; Marco Antonio
Diodato⁴; Alfredo Marcelo Grigio⁵; Antonio
Conceição Paranhos Filho⁶; Normandes Matos da
Silva⁷**

¹Doutorando em Tecnologias Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande / MS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0781-785X>

Email: dhonatan.pessi@gmail.com

²Doutor em Ciências com área de especialização em Engenharia de Sistemas Agrícolas pela ESALQ / USP, Professor Adjunto A na área de Irrigação, Hidrologia e Drenagem, Hidráulica e Construções Rurais do curso de Agronomia e Engenharia Florestal, Universidade Federal do Acre, Cruzeiro do Sul / AC, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1384-0888>

Email: jfvieira@usp.br

³Doutora em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela UFMS, Professora Adjunta A2 do Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (ICAT), Universidade Federal de Rondonópolis (UFR), Rondonópolis / MS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6951-9527>

Email: ea.miotto@gmail.com

⁴Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Paraná. Professor adjunto da Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, Mossoró / RN, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9088-836X>

Email: diodato@ufersa.edu.br

⁵Doutor em Geodinâmica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Professor Adjunto II da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró / RN, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2094-9710>

Email: alfredogrigo1970@gmail.com

⁶Livre-docente do Instituto de Geociências da USP, Professor Titular da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande / MS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9838-5337>

Email: antonio.paranhos@ufms.br

⁷Doutor em Ecologia dos Ecossistemas Terrestres e Aquáticos pela USP, Professora Associada do Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (ICAT) da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR), Rondonópolis / MT, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4631-9725>

Email: normandes@ufr.edu.br

Resumo

O objetivo deste estudo foi estimar a altura de plantas invasoras a partir de imagens de veículo aéreo não tripulado (VANT) usando o GNSS integrado ao VANT e avaliar a precisão do GNSS(I) (integrado ao VANT) em relação ao GNSS(RTK) Topcon. Modelos de elevação DSM e DTM foram produzidos a partir de imagens coletadas por veículos aéreos não tripulados. A produção de CHIS ocorreu por meio da subtração do DSM e do DTM. Para avaliar a precisão do modelo CHIS+GNSS(I), o modelo CHIS+GNSS(RTK) foi gerado como a variável observada. A comparação entre os modelos ocorreu em duas áreas amostrais representadas por vegetação típica de Cerrado e capim-braquiária. Os testes estatísticos adotados foram: correlação de Spearman, RMSE, MAE e teste de Wilcoxon. A interpretação visual das imagens selecionadas mostrou que o modelo CHIS+GNSS(I) apresentou erros na identificação da cobertura do solo representada por gramíneas invasoras quando comparado ao modelo CHIS+GNSS(RTK), sendo menos preciso na classificação das alturas do dossel das espécies invasoras. Testes estatísticos indicaram que o modelo CHIS+GNSS(I) apresentou diferenças significativas na identificação de espécies invasoras, com maior erro de altura (0,24 cm) na área amostrada. A partir desses resultados, pode-se verificar que o modelo CHIS+GNSS(RTK) é mais assertivo na detecção de cobertura do

solo composta por gramíneas exóticas do que o modelo CHIS+GNSS(I).

Palavras-chave: Drones; Gestão ambiental; Plantas invasoras; Sensoriamento remoto, Agricultura de precisão.

ESTIMATING INVASIVE GRASSES HEIGHTS WITH IMAGES FROM A UNMANNED AERIAL VEHICLE IN BRAZILIAN CERRADO: ACCURACY OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM FROM PHANTOM 4

Abstract

The purpose of this study was to estimate the height of invasive plants from UAV images using the GNSS integrated into the UAV and to evaluate the accuracy of the GNSS(I) (integrated in UAV) relative to Topcon's GNSS(RTK). DSM and DTM elevation models were produced from images collected by unmanned aerial vehicle. The production of CHIS occurred through the subtraction of the DSM and the DTM. In order to assess the accuracy of the CHIS+GNSS(I) model, the CHIS+GNSS(RTK) model was generated as the observed variable. The comparison between the models took place in two sample areas represented by typical vegetation of Cerrado and *Brachiaria* grass. The statistical tests adopted were: Spearman correlation, RMSE, MAE and Wilcoxon test. The visual interpretation of the selected images showed that the CHIS+GNSS(I) model presented errors in the identification of the ground cover represented by invasive grasses when compared to the CHIS+GNSS(RTK) model, being less accurate in the classification of the canopy heights of the invasive species. Statistical tests indicated that the CHIS+GNSS(I) model showed significant differences in the identification of invasive species, with greater height error (0.24 cm) in the sample area. From these results it can be seen that the CHIS+GNSS(RTK) model is more assertive in detecting ground cover composed by exotic grasses than the CHIS+GNSS(I) model.

Keywords: Drones; Environmental management; Invasive plants; Remote sensing; Precision agriculture.

ESTIMACIÓN DE ALTURAS DE PASTOS INVASORES CON IMÁGENES DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EN EL CERRADO BRASILEÑO: PRECISIÓN DEL SISTEMA DE NAVEGACIÓN POR SATELITE GLOBAL DEL PHANTOM 4

Resumen

El propósito de este estudio fue estimar la altura de plantas invasoras a partir de imágenes de UAV utilizando el GNSS integrado en el UAV y evaluar la precisión del GNSS(I) (integrado en el UAV) en relación a GNSS(RTK) Topcon. Los modelos de elevación DSM y DTM se elaboraron a partir de imágenes recopiladas por vehículos aéreos no tripulados. La producción de CHIS se consiguió mediante la sustracción del DSM y del DTM. Para evaluar la precisión del modelo CHIS+GNSS(I), se generó el modelo CHIS+GNSS(RTK) como variable observada. La comparación entre los modelos se realizó en dos áreas de muestreo con vegetación típica de pasto Cerrado y *Brachiaria*. Las pruebas estadísticas adoptadas fueron:

correlación de Spearman, RMSE, MAE y prueba de Wilcoxon. La interpretación visual de las imágenes seleccionadas mostró que el modelo CHIS+GNSS(I) presentó errores en la identificación de la cobertura vegetal representada por pastos invasores cuando se comparó con el modelo CHIS+GNSS(RTK), siendo menos preciso en la clasificación de las alturas del dosel de las especies invasoras. Las pruebas estadísticas indicaron que el modelo CHIS+GNSS(I) mostró diferencias significativas en la identificación de especies invasoras, con mayor error de altura (0,24 cm) en el área de muestreo. A partir de estos resultados, se puede ver que el modelo CHIS+GNSS(RTK) es más asertivo en la detección de la cobertura del suelo compuesta por pastos exóticos que el modelo CHIS+GNSS(I).

Palabras-clave: Drones; Gestión ambiental; Plantas invasoras; Teledetección, Agricultura de precisión.

1. INTRODUÇÃO

Áreas protegidas são espaços naturais de elevado valor ecológico, que visam salvaguardar a biodiversidade, preservar serviços ecossistêmicos e garantir a integridade do patrimônio natural. A conservação desses ecossistemas requer rotinas de monitoramento ambiental. Porém, a obtenção de recursos financeiros para lidar com uma variedade crescente de atividades relacionadas ao manejo de seus recursos ambientais, geralmente é insuficiente (WATSON *et al.*, 2014), afetando seriamente a eficácia dos resultados finais dos projetos (JUFFE-BIGNOLI *et al.*, 2014).

As áreas protegidas sujeitas a acordos internacionais e nacionais devem resolver suas responsabilidades adquiridas para manter seu status legal (GONÇALVES *et al.*, 2016), ou seja, os projetos de conservação desses espaços devem ser efetivos e perenes. Existe uma demanda por iniciativas econômicas, versáteis e práticas para atender uma disparidade de requisitos para garantir a conservação, incluindo uma ampla gama de soluções (LOPOUKHINE *et al.*, 2012), avanços tecnológicos e métodos ou aplicações inovadoras de tecnologias existentes (LÓPEZ; MULERO-PÁZMÁNY, 2019).

Na última década, os veículos aéreos não tripulados (VANTs) também conhecidas popularmente como drones, têm sido objeto de um crescente interesse na esfera civil e científica, sendo consideradas uma tecnologia disruptiva dentro do sensoriamento remoto (MELESSE *et al.*, 2007; LÓPEZ; MULERO-PÁZMÁNY, 2019), inclusive para os estudos ambientais (WHITEHEAD; HUGENHOLTZ, 2014).

Os drones representam uma estratégia com relativo baixo risco de acidentes e reduzido custo financeiro, para observar de forma rápida e sistemática os fenômenos naturais em alta resolução espaço-temporal (RODRÍGUEZ *et al.*, 2012; LÓPEZ; MULERO-PÁZMÁNY, 2019). Por estas razões, os drones se tornaram recentemente uma grande tendência nas pesquisas sobre a vida selvagem (LINCHANT *et al.*, 2015; CHRISTIE *et al.*, 2016) e no manejo ambiental (MULERO-PÁZMÁNY *et al.*, 2014; CHABO; BIRD, 2015).

Considerando a ampla gama de possibilidades, não é de surpreender que algumas áreas protegidas estejam adotando drones para várias aplicações. Por exemplo, no monitoramento de espécies de plantas invasoras (MICHEZ *et al.*, 2016; DVORÁK

et al., 2015; HUNG et al., 2014; WAN et al., 2014; KNOTH et al., 2013; PEÑA et al., 2013; ZAMAN et al., 2011); para documentar a extração ilegal de madeira e mineração (KOH; WICH, 2012); nos métodos de classificação através da altura do dossel (MATESE et al., 2017; STROPPIANA et al., 2018; ZILIANI et al., 2018; VILJANEN et al., 2018; DE SÁ et al., 2018; MARTIN et al., 2018), inclusive para identificar espécies de interesse por meio de imagens suborbitais. Recentemente, uma equipe de cientistas descobriu um hotspot de biodiversidade usando drones (LÓPEZ; MULERO-PÁZMÁNY, 2019), o que poderia ser discutido como um procedimento conveniente para expandir adequadamente as áreas protegidas, conforme estabelecido pelo Aichi Target 11 (JUFFE-BIGNOLI et al., 2014).

Estamos testemunhando um desenvolvimento contínuo de drones sofisticados e métodos engenhosos que visam ações específicas de conservação, como o combate a incêndios florestais (KRULL et al., 2012; MERINO et al., 2012; ZHANG et al., 2015) e o plantio de sementes para reflorestamento (FORTES, 2017). O ritmo acelerado dos avanços tecnológicos e das novas aplicações provavelmente excedeu as expectativas anteriores, mas também dá origem a circunstâncias singulares que devem ser colocadas no contexto da administração (LÓPEZ; MULERO-PÁZMÁNY, 2019).

O objetivo desta pesquisa foi estimar a altura de plantas invasoras a partir de imagens de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) utilizando o GNSS integrado ao VANT (GNSS(I)) e avaliar a acurácia do GNSS a partir da correção do mosaico de imagens realizada com um posicionamento global sistema com precisão centimétrica (GNSS(RTK)), corrigido com pontos de controle obtidos por RTK (Real-time Kinematic).

2. METODOLOGIA

2.1. Descrição da área de estudo

A área de estudo localiza-se na Universidade Federal de Rondonópolis (Figura 1), em Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil. O local estudado apresenta elementos de vegetação remanescente de Cerrado stricto sensu, trechos com solo exposto e ambientes com presença de espécies exóticas e invasoras, predominantemente a espécie *Urochloa ssp.* A área estudada abrangeu três hectares. A característica climática local é definida como CWA (clima subtropical úmido) com média anual em precipitação de 1500 mm e na temperatura de 25°C (SOUZA et al., 2013; PEEL et al., 2007).

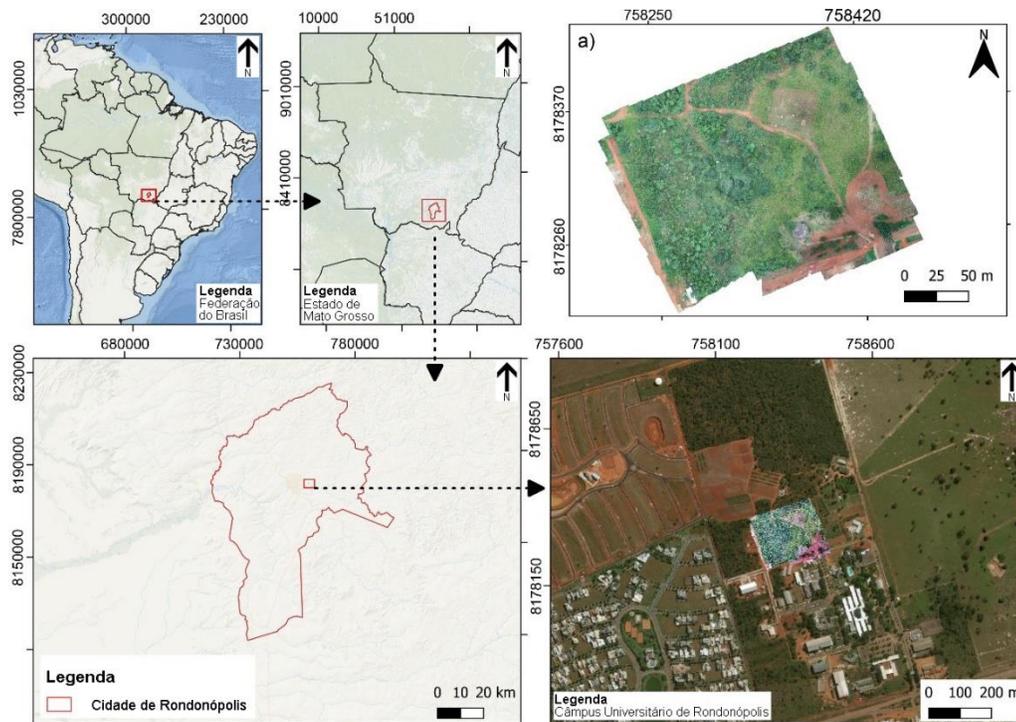


Figura 1 - Localização geral da área de estudo. Em a) sítio experimental com o ortomosaico de imagens obtidas pelo VANT. Sistema de Coordenadas UTM, SIRGAS 2000, 21S. Fonte: Dados vetoriais, IBGE (2019); imagens de satélite, Google (2019); imagem ortomosaicada, Os autores.

Informações como classe de solo, clima, temperatura e a precipitação média anual, longitude e latitude, bioma e altitude do

local de estudo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de latitude, longitude, tipo de solo, precipitação e temperatura média anual, clima e altitude da área de estudo. Fonte: Dados de temperatura e precipitação (SOUZA et al., 2013); dados de clima (PEEL et al., 2007); dados de solo (EMBRAPA, 2006). Legenda: CWA (Clima Subtropical Úmido).

Bioma	Altitude	Latitude	Longitude	Clima	Classe de Solo	Média Anual	
						Precipitação	Temperatura
Cerrado	293 m	16°27'40"	54°34'52"	Cwa	Latossolo Vermelho Distrófico	1500 mm	25°C

2.2. Aquisição dos dados em campo

Para a aquisição das imagens foi realizado o plano de voo executado pela plataforma DroneDeploy, disponível em: <https://support.dronedeploy.com/lang-pt-BR>, no dia 2 de fevereiro de 2019, usando o VANT Phantom 4 Pro da DJI montada com uma câmera regular RGB, sensor de 20 megapixels (MP).

Coletaram-se dados de referência compostos por pontos e medidas, rotulados como *Urochloa ssp.* A coleta dos pontos foi realizada a partir de um receptor GPS Garmin 76CSx. Ao todo foram coletados 18 pontos de referência em campo, os quais estavam associados a medidas da altura das espécies invasoras, medidas essas mensuradas por meio de trena métrica.

2.3. Coleta de pontos de controle com RTK

Foram coletados sete pontos de controle no solo (GCPs, *Ground Control Points*). Esses pontos foram materializados por meio de placas de plástico quadradas brancas de 0,4 m, colocadas na área de estudo para garantir a correção da acurácia posicional das coordenadas centrais de fotografia obtida pelo sistema de geolocalização do drone. Normalmente essas coordenadas possuem erro posicional que pode variar de cinco a dez metros, nos eixos X (longitude), Y (latitude) e Z (altitude). Os GCPs foram georreferenciados com sistema RTK da marca Topcon Hiper V, que possui precisão média nos eixos XYZ de $\pm 0,005$ m. Na etapa de elaboração do mosaico de fotos, os GCPs foram utilizados para ajustar o erro de posicionamento das imagens, a partir da técnica de pós-processamento de acurácia posicional PPK (Post Processed Kinematic). Os pontos de referência (GCPs) foram inseridos nas imagens manualmente no *software* Agisoft Photoscan Professional (version 1.4.0, Agisoft, St. Petersburg, Russia).

2.4. Processamento dos dados

2.4.1. Imagens

Todos os dados do VANT foram pré-processados e entregues usando o *Structure from Motion* (SfM) disponível no Agisoft Photoscan. Além de disponibilizar as ortofotografias da área de estudo com 3 bandas (RGB), os subprodutos SfM do Modelo Digital da Superfície (MDS) e Modelo Digital do Terreno (MDT) também foram elaborados. O MDT foi obtido por métodos de classificação semi-supervisionados da nuvem densificada de pontos. O modelo de altura do dossel (CHM) foi obtido a partir da subtração do MDT e MDS no *software* R (R CORE TEAM, 2019) com o pacote raster (HIJMANS, 2017).

2.4.2. Espécies invasoras CHIS+GNSS(I)

Para calcular o modelo de altura de dossel das espécies invasoras foi necessário selecionar no modelo CHM, a altura estabelecida para as espécies invasoras, sendo nesse caso definidos os valores mínimos de 49 cm e valores máximos de 110 cm para *Urochloa ssp.* conforme dados levantados em campo. Entretanto, optou-se em definir valores diferentes aos observados em campo, para mais e para menos, de modo a considerar as possíveis diferenças no modelo (erros). Desta maneira, foi informado ao programa para selecionar valores que compreendessem desde 20 cm até 140 cm. Os procedimentos foram realizados no *software* R (R CORE TEAM, 2019) com os pacotes: (i) processamento dos dados pacote raster (HIJMANS, 2017), *rgdal* (BIVAND, 2018); (ii) plotagem dos resultados pacote *lattice* (DEEPAYAN, 2008), *rasterVis* (LAMIGUEIRO; HIJMANS, 2018), *gridExtra* (AUGUIE, 2017), *RColorBrewer* (NEUWIRTH, 2014).

2.5. Validação

2.5.1. Comparação visual dos resultados

Optou-se por fazer a comparação dos resultados a partir de duas áreas amostrais (Figura 2), apenas locais onde há presença de plantas invasoras e vegetação remanescente confirmadas nos trabalhos de campo.

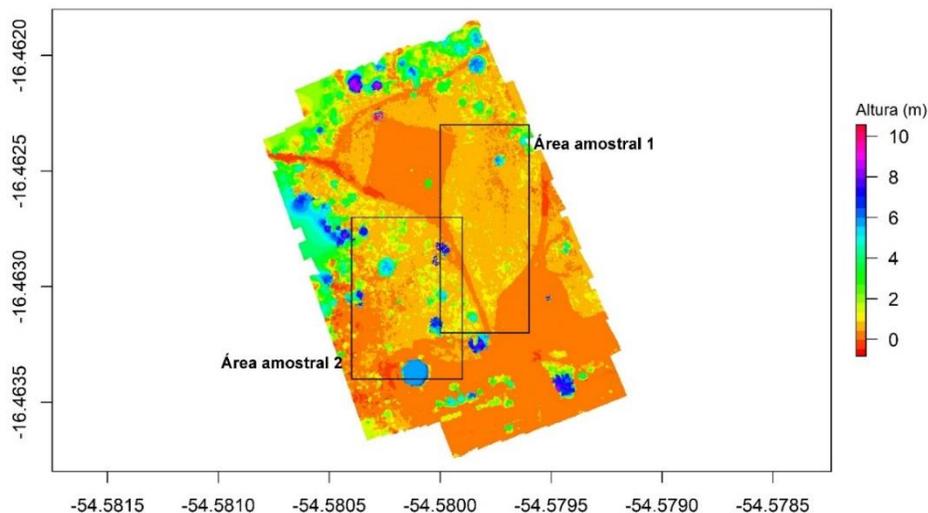


Figura 2 - Localização das áreas amostrais usadas para comparação dos resultados de ambos modelos (CHIS+GNSS(I) e CHIS+GNSS(RTK)). Fonte: Os autores.

2.5.2. Análise estatística

Para validar a precisão do modelo CHIS+GNSS(I) comparado ao modelo CHIS+GNSS(RTK), foi necessário selecionar 1000 pontos amostrais de cada uma das áreas a partir de uma grade de pixels (Figura 3), gerada a partir do software R. Nele é informado o a quantidade de números que deve ser

recolhido num determinado dado raster, sendo que cada ponto da grade representa uma média dos valores de pixels correspondente ao raster analisado. Os valores das médias dos pontos recolhidos foram lançados num arquivo data frame e posteriormente realizada a exclusão dos pontos onde havia ausência de informação, pois em alguns locais da grade não havia presença de informação conforme pode ser verificado na Figura 3.

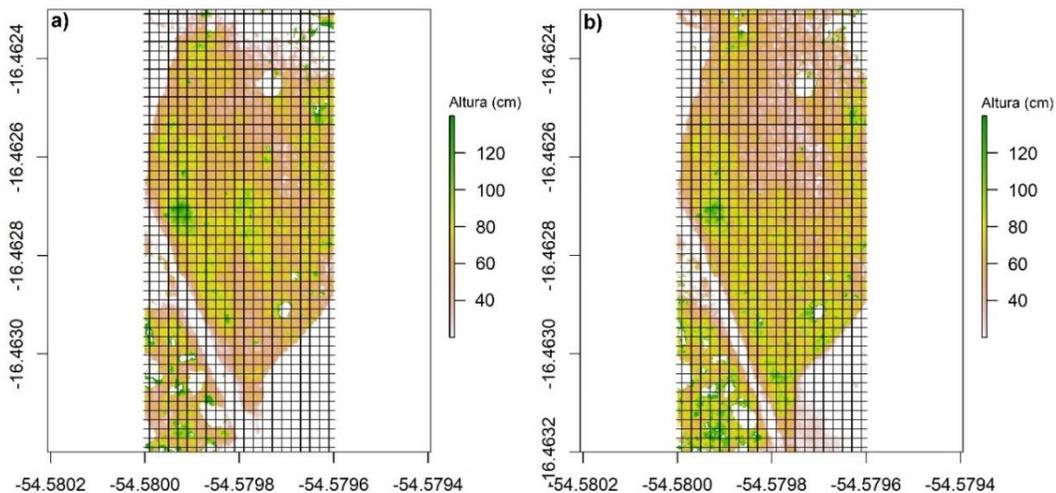


Figura 3 - Exemplo da grade gerada para recolher 1000 pontos amostrais. Cada quadrado da grade equivale a um ponto amostral. Em (a) área amostral 1 com CHIS+GNSS(I) e em (b) área amostral 1 com CHIS+GNSS(RTK). Fonte: Os autores.

Para calcular a precisão do modelo CHIS+GNSS(I) comparado ao modelo CHIS+GNSS(RTK) foram realizados testes estatísticos, tais como: coeficientes de correlação de

Spearman (SCC), erro quadrático médio da raiz da altura de dossel (RMSEZ), erro absoluto médio da altura de dossel (MAEZ) e teste de Wilcoxon.

O coeficiente de correlação de Spearman é um teste de classificação não paramétrico (livre de distribuição) proposto como uma medida da força da associação entre duas variáveis. É uma medida de uma associação monótona que é usada quando a distribuição de dados torna o coeficiente de correlação de Pearson indesejável ou enganoso (HAUKE; KOSSOWSKI, 2011).

A relação (ou correlação) entre as duas variáveis é denotada pela letra r e quantificada com um número que varia entre -1 e +1. Zero significa que não há correlação, onde 1 (um) significa uma correlação completa ou perfeita. O sinal do r mostra a direção da correlação. Um r negativo significa que as variáveis estão inversamente relacionadas. A força da correlação aumenta de 0 para +1 e de 0 para -1 (AKOGLU, 2018). A interpretação da força da correlação está representada na Tabela 2.

Tabela 2 - Interpretação do coeficientes de correlação de Spearman segundo Akoglu (2018) e Fowler (2009). Fonte: Os autores.

Coeficiente de de Correlação		Força de correlação
+ 1	- 1	Perfeita
+ 0,70 a + 0,90	- 0,70 a - 0,90	Forte
+ 0,40 a + 0,60	- 0,40 a - 0,60	Moderada
+ 0,10 a + 0,30	- 0,10 a - 0,30	Fraca
0	0	Nenhuma

O RMSE tem sido usado como uma métrica estatística para medir o desempenho do modelo em meteorologia, qualidade do ar e estudos de clima. O MAE é outra medida útil amplamente utilizada em avaliações de modelos. Embora ambos tenham sido usados para avaliar o desempenho do modelo por muitos anos, não há consenso sobre a métrica mais apropriada para erros de modelo. No campo das geociências, muitos apresentam o RMSE como uma métrica padrão para erros de modelo (MCKEEN et al., 2005; SAVAGE et al., 2013; CHAI et al., 2013), enquanto outros optam por evitar RMSE e apresentam apenas o MAE (CHAI;

DRAXLER, 2014). Neste estudo optou-se por escolher os dois testes como medida métrica para fornecer dados de erros na distribuição dos valores atribuídos.

O teste de Wilcoxon é uma hipótese estatística não paramétrica usada para comparar duas amostras relacionadas, amostras pareadas ou medições repetidas em uma única amostra para avaliar se suas classificações médias populacionais diferem. Ele pode ser usado como uma alternativa para o teste t de estudantes emparelhados, teste t para pares combinados ou o teste t para amostras dependentes quando a população não pode ser considerada como sendo normalmente distribuída. É um teste não paramétrico que pode ser usado para determinar se duas amostras dependentes foram selecionadas de populações com a mesma distribuição (KLOKE; MCKEAN, 2014).

3. RESULTADOS

3.1. Avaliação da precisão do modelo CHIS+GNSS(I) em relação ao modelo CHIS+GNSS(RTK)

A observação visual do mosaico de imagens permite identificar diferenças entre os dois modelos, principalmente quando se compara a parte inferior esquerda e a parte superior das figuras. De modo geral, percebe-se que houve diferença na espacialização e interpretação das alturas das espécies invasoras nos modelos analisados.

A Figura 4 apresenta os modelos das alturas do dossel das espécies invasoras da área amostral 1 gerados neste trabalho. Na Figura 4a (esquerda), tem-se o modelo CHIS+GNSS(I) e na Figura 4b, o modelo CHIS+GNSS(RTK). A partir de interpretação visual, verificam-se diferenças relacionadas à altura, comparando as Figuras 4a e 4b, principalmente na parte inferior esquerda da Figura 4a e na parte superior da Figura 4a. Percebe-se na Figura 4b (CHIS+GNSS(RTK)) que houve diferença na espacialização e interpretação das alturas das espécies invasoras comparado à Figura 4a.

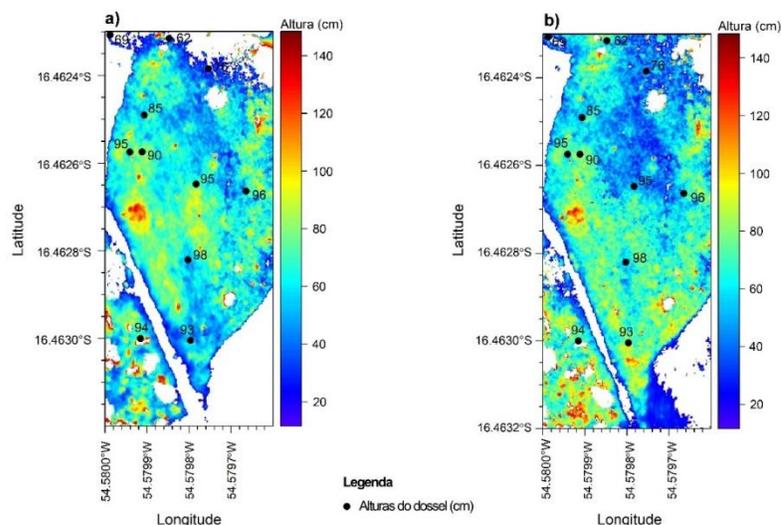


Figura 4 - Comparação entre os modelos CHIS+GNSS(I) (a), e CHIS+GNSS(RTK) (b) na área amostral 1. Fonte: Os autores.

As regiões apresentadas na Figura 5 foram os locais onde ocorreram diferenças visuais mais pronunciadas nas alturas do dossel das espécies invasoras, ocorrendo também em alguns lugares ausência de informação (provavelmente valores abaixo de

20 cm) no modelo CHIS+GNSS(I) (Figura 5a e Figura 5c) comparado ao modelo CHIS+GNSS(RTK) (Figura 5b e Figura 5d).

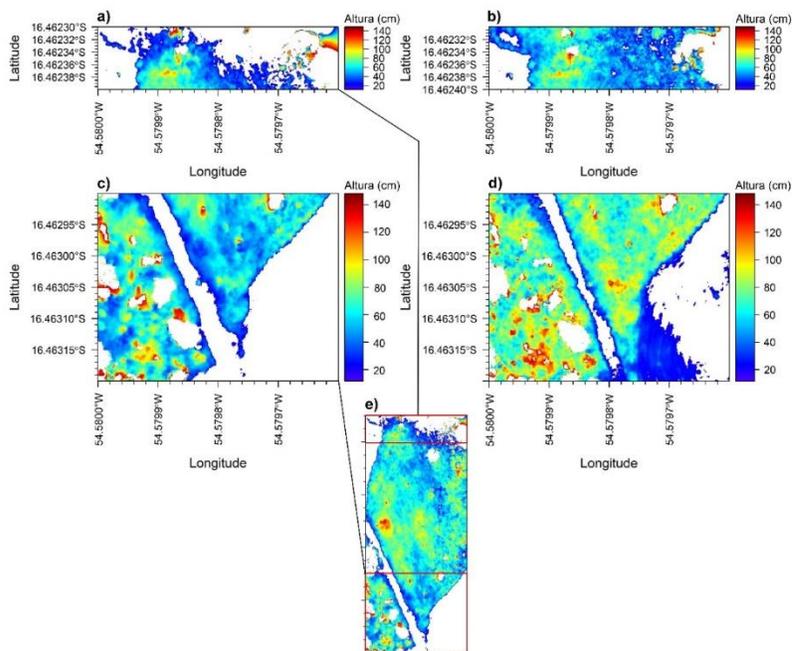


Figura 5 - (a) e (b) um recorte da parte superior de (e); (c) e (d) um recorte do fundo de (e); (a) e (c) representam o modelo CHIS+GNSS(I) e (b) e (d) representam o modelo CHIS+GNSS(RTK). Fonte: os autores.

A Figura 5 representa a parte superior da Figura 5e (modelo CHIS+GNSS(I)). Nessa região verificou-se falhas no modelo, para adequada identificação de espécies invasoras quando comparada com a Figura 5b (CHIS+GNSS(RTK)). Essa ausência de informação pode estar relacionada à precisão do modelo CHIS+RTK, uma vez que a altura registrada nessa região foi de valores muito baixos (entre 20 cm a 40 cm), necessitando de maior precisão para identificar vegetação de menor porte.

Também foi notável a diferença entre as Figuras 5c e 5d. Na Figura 5c houve maior heterogeneidade nas alturas comparado com a Figura 5d, na qual as alturas estão mais homogêneas. Na parte esquerda da Figura 5c há presença de valores baixos (20 cm a 40 cm), sendo que esta escala de altura só esteve presente nas

bordas (corredor entre os dois fragmentos de vegetação) e na parte inferior direita (região com presença de herbáceas) da Figura 5d.

O modelo CHIS+GNSS(RTK) foi mais sensível na identificação de espécies de pequeno porte (até 40 cm) quando comparado ao modelo avaliado (CHIS+GNSS(I)). O uso do modelo CHIS+GNSS(RTK) é essencial como produto para tomada de decisão no manejo agrícola, quando for necessário avaliar áreas com presença de plantas invasoras de porte graminóide, conhecidas na área agrícola como plantas daninhas, que geralmente possuem porte baixo. Já com o modelo CHIS+GNSS(I) isso talvez não seria possível, uma vez que os erros de altura são mais variáveis.

A área amostral 2 apresentou mais claramente a diferença entre os dois modelos (Figura 6).

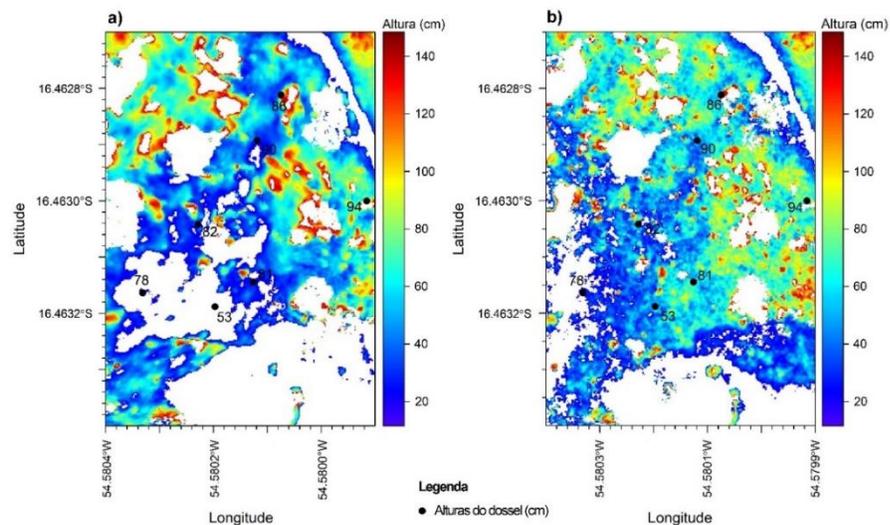


Figura 6 - Comparação entre os modelos CHIS+GNSS(I) (a) e CHIS+GNSS(RTK) (b) na área amostral 2. Fonte: os autores.

Assim como na área amostral 1, constata-se na Figura 6a diferenças de classificação do modelo, ou seja, ausência de informação de altura do dossel das espécies invasoras em algumas regiões da figura quando comparado à Figura 6b. Na Figura 6b a distribuição das alturas está mais coerente com as informações levantadas em campo, conforme pode ser verificado nos pontos de controle presentes nas figuras.

A Figura 7 ilustra a área na qual ocorreu grande diferença nas alturas do dossel das espécies invasoras. Conforme verifica-se na

Figura 7a, existe ausência de informação da altura numa região onde os valores são muito baixos (20 cm a 30 cm), comparando-se com a Figura 7b. Como são valores muito baixos, é de se esperar que ocorrerá imprecisão a partir do modelo CHIS+GNSS(I). Além da ausência, pode-se também ser analisado que os valores de altura do dossel não são semelhantes à Figura 7b, na qual as alturas estão mais bem distribuídas e coerentes com os dados coletados em campo (Figura 7b).

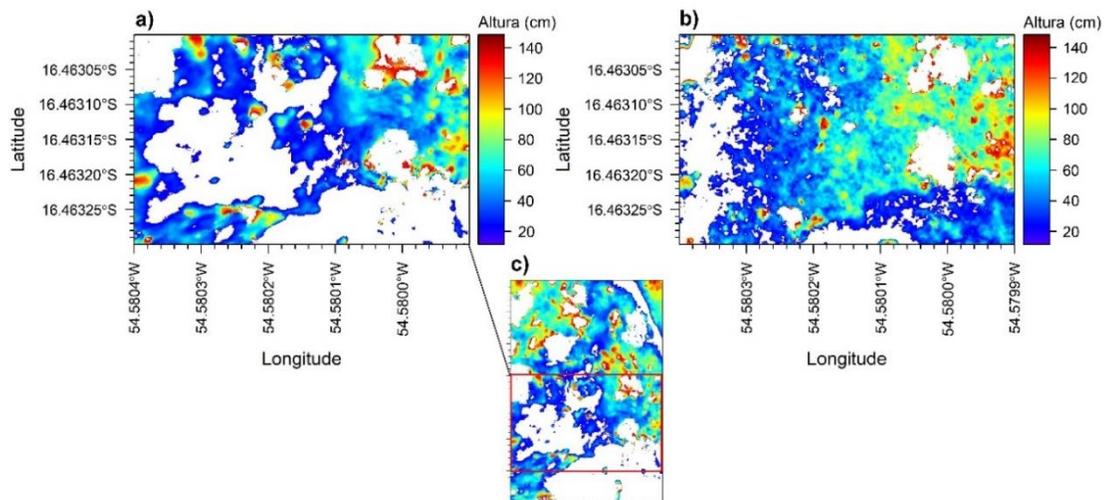


Figura 7 - Em (a) e (b) recorte da parte inferior central da Figura 50 (c); (a) representa o modelo CHIS+GNSS(I) e (b) representa modelo CHIS+GNSS(RTK). Fonte: os autores.

3.2. Resultado da análise estatística

A classificação de correlação de Spearman entre o modelo estimado (CHIS+GNSS(I)) e o observado (CHIS+GNSS(RTK)) para as duas áreas amostrais está apresentada na Figura 8.

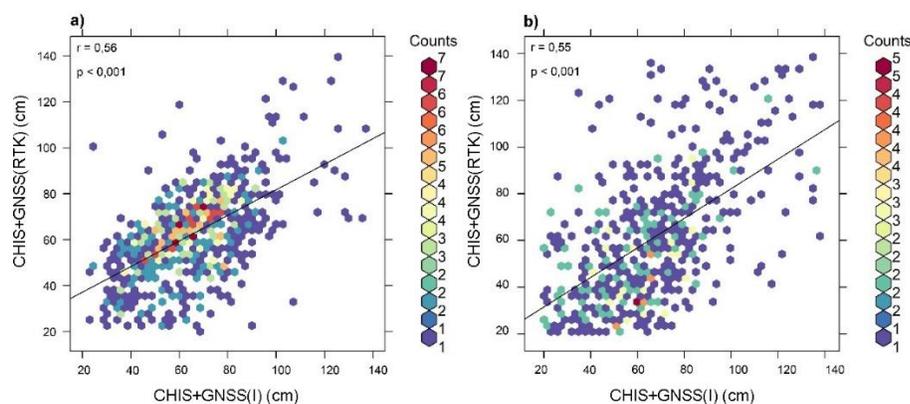


Figura 8 - Correlação de Spearman entre os modelos CHIS+GNSS(I) e CHIS+GNSS(RTK). Em (a) área amostral 1 e em (b) área amostral 2. Em (a) foram analisados 684 pontos e em (b) foram analisados 506 pontos. A diferença de pontos entre as duas áreas se deve pela ausência de informação (NA) em alguns locais da área. Fonte: os autores.

Os dados mostram uma força de correlação mediana e significativa para a área amostral 1 ($r = 0,56$, $p < 0,001$) e para a área amostral 2 ($r = 0,55$, $p < 0,001$). A correlação foi significativa, porém moderada. Isso se deve por conta da precisão do processo de medição de dossel a partir da calibração com o RTK (modelo CHIS+GNSS(RTK)). Esse modelo é mais preciso em todos os

eixos espaciais com baixa margem de erro. Os dados de medidas a partir do GNSS(I) do VANT foram calculados com maior imprecisão em todos os eixos espaciais (Tabela 3) ao calcular a nuvem densa de pontos no PhotoScan, o que pode explicar algumas diferenças nos modelos comparados.

Tabela 3 - Erro nos eixos espaciais a partir dos dados do GNSS(I) e dos dados a partir do GNSS(RTK). Fonte: Relatório de erros gerado no software Agisoft PhotoScan 1.4.0.

PPK	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Erro Total (cm)
GNSS+GPS/GLONASS	169	79	75	186	201
RTK	4,86	4,82	0,57	6,85	6,87

Os testes estatísticos não paramétricos de erros no modelo avaliado (MAEZ e RMSEZ) e o teste de Wilcoxon para ambas as áreas amostrais estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Testes estatísticos entre a variável estimada (CHIS+GNSS(I)) e a variável observada (CHIS+GNSS(RTK)). Fonte: os autores.

Área Amostral	RMSE _Z (cm)	MAE _Z (cm)	Wilcoxon
1	0,17	0,12	0,0117
2	0,24	0,19	$p < 0,001$

A área amostral 1 foi a que apresentou o menor erro métrico, com erro de 0,12 cm para MAEZ e 0,17 cm de erro para RMSEZ, enquanto a área amostral 2 apresentou o maior erro, variando de 0,19 cm para MAEZ a 0,24 cm para RMSEZ. As estimativas do

VANT com o GNSS(I) mostraram maiores erros na precisão da altitude do dossel de espécies invasoras na área de amostra 2.

Considerando as duas áreas amostrais, os resultados dos testes de diferença significativa entre amostras relacionadas foram significativas. No teste de Wilcoxon, considerando que os resultados para ambas as amostras resultaram a um nível de significância inferior a $\alpha = 0,05$.

É possível concluir que as distribuições das alturas das espécies invasoras são diferentes entre as duas áreas amostrais estudadas. Isso pode ser facilmente verificado nas Figuras 5 e 7, onde é possível notar que há uma diferença visual na distribuição das alturas das espécies invasoras nos dois modelos analisados para ambas áreas amostrais, e esse fenômeno se deve à precisão dos modelos comparados. Pode ser constatada na Figura 9 a presença de espécies invasoras para ambas as áreas amostrais, locais nos quais foram recolhidos os pontos das medidas de altura da *Urochloa spp.* encontrada no local e fotografado os pontos de coleta.



Figura 9 - Em (a) área amostral 1 com presença de *Urochloa* spp. Em (b) área amostral 2 com presença de *Urochloa* spp. misturada com fragmentos de vegetação. Fonte: Os autores.

4. DISCUSSÃO

Em relação ao objetivo desta pesquisa, analisar a precisão do modelo CHIS+GPS/GLONASS de um padrão de altitude do dossel de espécies invasoras e sua distribuição, foi verificado um comportamento diferente nas duas áreas amostrais de teste. Na área amostral 1, a variação de altura do dossel das gramíneas exóticas foi reduzida em ambos os modelos. A principal razão para isso é provavelmente que a área amostral 1 apresenta topografia mais homogênea que a área amostral 2. Além do mais, foi observada no campo a presença de espécies invasoras em ambas as áreas amostrais, as quais apresentaram presença de espécies invasoras no modelo de referência (CHIS+GNSS(RTK)) e em algumas partes da área amostral 1 e mais evidentemente da área amostral 2, ocorreu ausência de espécies invasoras no modelo estimado (CHIS+GNSS(I)).

O erro de acurácia do modelo nos eixos XYZ é menor quando utilizado o modelo CHIS+GNSS(RTK). A área amostral 2 apresentou padrão diferente na precisão do modelo CHIS+GNSS(I) no componente Z (altura) provavelmente devido às diferenças naturais de elevação do terreno.

O método CHIS+GNSS(I) é menos preciso que o modelo CHIS+GNSS(RTK) apresentando um deslocamento sistemático devido às fontes de erro combinadas do deslocamento dos eixos XYZ, alinhado à falta de qualquer ponto de referência de fundo (RTK).

O modelo CHIS+GNSS(I) com diferença máxima observada no teste de média de erros (RMSEz) foi de 24 cm, é inadequado para trabalhos pelos quais exige maior acurácia posicional, como a agricultura de precisão, por exemplo.

O custo econômico, o tempo investido e as exigências de cada modelo são diferentes e podem servir a vários propósitos de detecção remota. Destaca-se que, mesmo que a operação em campo seja apenas com o GNSS(I), podem assim ser amostradas para um tamanho de pixel mais grosseiro para absorver a incerteza geométrica, que é tipicamente o erro radial, ou seja, isso permitiria usar o modelo para análises numa escala de análise mais grosseira, como por exemplo, para determinar

variações médias de altura de dossel em hectares, mas não em metros quadrados.

De todas essas descobertas, foi possível extrair alguns resultados importantes para na prática usar o modelo CHIS+GNSS(I). Em primeiro lugar, se o terreno não mostrar muita ondulação, o modelo CHIS+GNSS(I) torna-se viável, pelo menos em parte, como por exemplo, quando o levantamento de dossel não exija alturas mínimas como aquelas usadas nesse estudo. A inclusão de observações de posição de imagem baseada em RTK no fluxo de trabalho de processamento do VANT acabou por ter um efeito positivo, em particular no componente de altura.

No futuro, espera-se que todos os VANTs no mercado estejam equipadas com hardwares de tagueamento (geolocalização) das imagens do VANT, que possam corrigir em escala centimétrica os erros de posicionamento das fotografias aéreas. Espera-se também que áreas como a Ecologia da Restauração e a Restauração Ecológica incorpore em suas rotinas de pesquisa e trabalho dados multitemporais com alta resolução espacial, temporal e de acurácia posicional, para o monitoramento de vegetação em recuperação. Porém, mesmo que distorções posicionais dos dados, essas atividades ainda sim, tem acesso a dados robustos para estudos em ecossistemas degradados (PÁDRO *et al.*, 2019).

Em algumas áreas, como na agricultura, o levantamento do dossel de plantas daninhas, muito comum na agricultura, a partir do GNSS integrado ao VANT pode não ser possível, pois o porte desse tipo de vegetação é muito pequeno, e o georreferenciamento preciso é indispensável (BIRDAL *et al.*, 2017; VETRELLA *et al.*, 2018). Uma sugestão para melhorar a precisão de levantamentos como desse estudo, incluiria a integração de um dispositivo RTK-GPS como o Trimble BD 935, em uma plataforma de asa rotativa, potencialmente montada diretamente no gimbal, ou mesmo na câmera. Se fosse possível também aproximar a atitude do eixo óptico, além de uma posição precisa, pode-se esperar pelo menos uma orientação mais rápida e eficiente da câmera. Alsadik *et al.* (2013) já mostraram que o conhecimento dos locais aproximados da câmera e da direção de visualização, que pode diminuir o tempo de processamento tremendamente e, ao mesmo tempo, aumentar a confiabilidade geral (GERKE *et al.*, 2016).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi testada a precisão do modelo CHIS+GNSS(I) e demonstrado que os dados espaciais de altura (z) foram relativamente precisos quando comparados aos dados obtidos por meio de abordagens de referência padrão (CHIS+GNSS(RTK)). Fatores adicionais podem ter uma influência supostamente significativa na precisão, como as diferenças de altitude do terreno. Mais especificamente, foi investigado neste estudo o impacto do levantamento de espécies invasoras sem a estação de controle convencional RTK/PPK. Os resultados a partir do RTK/PPK são mais precisos e menos propensos a erros.

Quando a abordagem é realizar um levantamento da altura de plantas ordem dos centímetros, por exemplo, ervas daninhas na agricultura, recomenda-se que o levantamento seja a partir do RTK/PPK. A técnica do levantamento da altura de dossel é interessante para medir indicadores de recuperação de áreas vegetadas e projetos de recomposição de Áreas Degradadas e Alteradas (PRADA). Aumentar o número de GCPs (*Ground Points Control*) provavelmente levaria a aumentos na precisão, mas tal abordagem é mais viável quando a exigência de trabalhos seja de precisão mínimas. Nas duas áreas amostrais, os RMSEs e MAEs horizontais (z) do método CHIS+GNSS(I) não excederam os 30 cm, demonstrando uma relativa precisão. Os resultados sugerem que o método CHIS+GNSS(I) pode fornecer dados com precisão satisfatória em comparação com as abordagens GCP, independentemente das medições terrestres, para aplicações que não exigem acurácia posicional centimétrica.

Esse modelo pode ser estratégico para a detecção remota de áreas florestais inacessíveis e perigosas que não exigem alta precisão espacial, possibilitando mensurar a variação de dossel e presença de clareiras, ou seja, aspectos ecológicos do ecossistema. Se a questão principal era saber se o método CHIS+GNSS(I) pode ser a melhor solução em termos econômicos, flexibilidade e tempo para mapear áreas de difícil acesso e que não exigem alta precisão, a resposta poderia ser: sim. Entretanto, além de testes adicionais de ambigüidades de exatidão, também os parâmetros técnicos do VANT (tempo de voo máximo, operação autônoma, etc.) devem ser ajustados para obter todos os benefícios dessas possibilidades.

O método aqui analisado pode ser útil quando se trata de preparar inventários para áreas com vegetação nativa degradada, que são geralmente feitos manualmente e ocularmente pelo homem, e também é um meio de monitorá-las em intervalos definidos, buscando identificar a presença de espécies que inibem o desenvolvimento e crescimento de áreas em recuperação ambiental. A tecnologia do VANT é altamente rentável, flexível e móvel, além do processamento fotogramétrico totalmente automatizado, pode ser implantado com baixíssimo custo para uso operacional.

6. REFERÊNCIAS

ALSADIK, B.; GERKE, M.; VOSSSELMAN, G. Automated camera network design for 3D modeling of cultural heritage objects. *Journal of Cultural Heritage*, v. 14, 515-526, 2013.

AGISOFT PHOTOSCAN PROFESSIONAL (Version 1.4.0) (Software). 2017. Retrieved from <http://www.agisoft.com/downloads/installer/>

AUGUIE, B. 2017. gridExtra: Miscellaneous Functions for "Grid" Graphics. R package version 2.3. <https://CRAN.R-project.org/package=gridExtra>

AKOGLU, H. User's guide to correlation coefficients. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, v. 18, 91-93, 2018.

BIVAND, R.; KEITT, T.; ROWLINGSON, B. 2018. rgdal: Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library. R package version 1.3-4. <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>

CHRISTIE, K. S.; GILBERT, S. L.; BROWN, C. L.; HATFIELD, M.; HANSON, L. Unmanned aircraft systems in wildlife research: Current and future applications of a transformative technology. *Front. Ecol. Environ.*, v. 14, 241-251, 2016.

CHABOT, D.; BIRD, D. M. Wildlife research and management methods in the 21st century: Where do unmanned aircraft fit in? *J. Unmanned Veh. Syst.*, v. 3, 137-155, 2015.

CHAI, T.; KIM, H. C.; LEE, P.; TONG, D.; PAN, L.; TANG, Y.; HUANG, J.; MCQUEEN, J.; TSIDULKO, M.; STAJNER, I. Evaluation of the United States National Air Quality Forecast Capability experimental real-time predictions in 2010 using Air Quality System ozone and NO2 measurements. *Geosci. Model Dev.*, v. 6, 1831-1850, 2013.

CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci. Model Dev.*, v. 7, 1247-1250, 2014.

DVORÁK, P.; MULLEROVÁ, J.; BARTALOS, T.; BRUNA, J. Unmanned Aerial Vehicles For Alien Plant Species Detection And Monitoring. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNMANNED AERIAL VEHICLES IN GEOMATICS*, Toronto: Canada, 83-90, 2015.

DE SÁ, N. C.; CASTRO, P.; CARVALHO, S.; MARCHANTE, E.; LÁPEZ-NÚÑEZ, F. A.; MARCHANTE, H. Mapping the Flowering of an Invasive Plant Using Unmanned Aerial Vehicles: Is There Potential for Biocontrol Monitoring?. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, 283, 2018.

DEEPAYAN, S. 2008. Lattice: Multivariate Data Visualization with R. Springer, New York. ISBN 978-0-387-75968-5.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

FOWLER, J.; COHEN, L.; JARDIS, P. Practical Statistics for Field Biology. 2. ed., Loughborough: Wiley, 2009. 132p.

FORTES, E. P. Seed Plant Drone for Reforestation. *The Graduate Review*, v. 2, 13-26, 2017.

- GERKE, M.; PRZYBILLA, H. J. Accuracy Analysis of Photogrammetric UAV Image Blocks: Influence of Onboard RTK-GNSS and Cross Flight Patterns. *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, v. 1, 17-30, 2016.
- GONÇALVES, J.; HENRIQUES, R.; ALVES, P.; SOUSA-SILVA, R.; MONTEIRO, A. T.; LOMBA, Â.; MARCOS, B.; HONRADO, J. Evaluating an unmanned aerial vehicle-based approach for assessing habitat extent and condition in fine-scale early successional mountain mosaics. *Appl. Veg. Sci.*, v. 19, 132-146, 2016.
- GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>, Data da imagem: 26/02/2019.
- HAUKE, J.; KOSSOWSKI, T. Comparison of values of Pearson's and Spearman's correlation coefficients on the same sets of data. *Quaestiones Geographicae*, v. 30, 87-93, 2011.
- HIJMANS, R. J. 2017. raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 2.6-7. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- HUNG, C.; XU, Z. SUKKARIEH, S. Feature Learning Based Approach for Weed Classification Using High-Resolution Aerial Images from a Digital Cameral Mounted on a UAV. *Remote Sensing*, v. 6, 12037–12054, 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acessado em: 12/01/2019.
- JUFFE-BIGNOLI, D.; BURGESS, N. D.; BINGHAM, H.; BELLE, E. M. S.; DE LIMA, M. G.; DEGUIGNET, M.; BERTZKY, B.; MILAM, N.; MARTINEZ-LOPEZ, J.; LEWIS, E.; EASSOM, A.; WICANDER, S.; GELDMANN, J.; VAN SOESBERGEN, A.; ARNELL, A. P.; O'CONNOR, B.; PARK, S.; SHI, Y. N.; DANKS, F. S.; MACSHARRY, B.; KINGSTON, N. Protected Planet Report 2014. UNEP-WCMC: Cambridge, UK, 2014. 69 p.
- KLOBE, J.; MCKEAN, J. W. Nonparametric Statistical Methods Using R. 1. ed. Flórida: CRC Press, 2014. 287p.
- KRULL, W.; TOBERA, R.; WILLMS, I.; ESSEN, H.; WAHL, N. V. International Symposium on Safety Science and Technology Early forest fire detection and verification using optical smoke, gas and microwave sensors. *Procedia Engineering*, v. 45, 584-594, 2012.
- KOH, L. P.; WIH, S. A. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science*, v. 5, 121-132, 2012.
- KNOTH, C.; KLEIN, B.; PRINZA, T.; KLEINBECKER, T. Unmanned Aerial Vehicles as Innovative Remote Sensing Platforms for High-Resolution Infrared Imagery to Support Restoration Monitoring in Cut-Over Bogs. *Applied Vegetation Science*, v. 16, 509-517, 2013.
- LAMIGUEIRO, O. P.; HIJMANS, R. 2018. rasterVis. R package version 0.45.
- LINCHAT, J.; LISEIN, J.; SEMEKI, J.; LEJEUNE, P.; Vermeulen, C. Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mamm. Rev.*, v. 45, 239-252, 2015.
- LOPOUKHINE, N.; CRAWHALL, N.; DUDLEY, N, FIGGIS, P.; KARIBUHOYE, C.; LAFFOLEY, D.; LONDOÑO, J. M.; MACKINNON, K.; SANDWITH, T. Protected areas: providing natural solutions to 21st Century challenges. *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, v. 5, 1-16, 2012.
- LÓPEZ, J. J.; MULERO-PÁZMÁNY, M. Drones for Conservation in Protected Areas: Present and Future. *Drones*, v. 3, 10, 2019.
- MATESE, A.; GENNARO, S. F. D.; BERTON, A. Assessment of a canopy height model (CHM) in a vineyard using UAV-based multispectral imaging. *INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING*, v. 38, 2150-2160, 2017.
- MCKEEN, S. A.; WILCZAK, J.; GRELL, G.; DJALALOVA, I.; PECKHAM, S.; HSIE, E.; GONG, W.; BOUCHET, V.; MENARD, S.; MOFFET, R.; MCHENRY, J.; MCQUEEN, J.; TANG, Y.; CARMICHAEL, G. R.; PAGOWSKI, M.; CHAN, A.; DYE, T.; FROST, G.; LEE, P.; MATHUR, R. Assessment of an ensemble of seven realtime ozone forecasts over eastern North America during the summer of 2004. *J. Geophys. Res.*, v. 110, D21307, 2005.
- MICHEZ, A.; PIÉGAY, H.; JONATHAN, L.; Claessens, H.; Lejeune, P. Mapping of Riparian Invasive Species with Supervised Classification of Unmanned Aerial System (UAS) Imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 44, 88-94, 2016.
- MARTIN, F.; MULLERONÁ, J.; BORGNIET, L.; DOMMANGET, F.; BRETON, V.; EVETTE, A. 2018. Using Single- and Multi-Date UAV and Satellite Imagery to Accurately Monitor Invasive Knotweed Species. *Remote Sens.*, v. 10, 1662.
- MULERO-PÁZMÁNY, M.; STOLPER, R.; VAN ESSEN, L. D.; NEGRO, J. J.; SASSEN, T. Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa. *PLoS One*, v. 9, 1-10, 2014.
- MERINO, L.; CABALLERO, F.; MARTÍNEZ-DE-DIOS, J. R.; MAZA, I.; OLLERO, A. An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement. *J Intell Robot Syst.*, v. 65, 533-548, 2012.
- MELESSE, A.; Weng, Q.; Prasad, S. Senay, G. Remote Sensing Sensors and applications in environmental resources mapping and modelling. *Sensors*, v. 7, 3209-3241, 2007.

- NEUWIRTH, E.; 2014. RColorBrewer: ColorBrewer Palettes. R package version 1.1-2. <https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer>
- PADRÓ, J. C.; MUÑOZ, F. J.; PLANAS, J.; PONS, X. Comparison of four UAV georeferencing methods for environmental monitoring purposes focusing on the combined use with airborne and satellite remote sensing platforms. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, v. 75, 130–140, 2019.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L. MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 11, 1633–1644, 2007.
- PEÑA, J. M.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; DE CASTRO, A. I.; KELLY, M.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. *PlosOne*, v. 8, e77151, 2013.
- RODRÍGUEZ, A.; NEGRO, J. J.; MULERO, M.; RODRÍGUEZ, C.; HERNÁNDEZ-PLIEGO, J.; BUSTAMANTE, J. The Eye in the Sky: Combined Use of Unmanned Aerial Systems and GPS Data Loggers for Ecological Research and Conservation of Small Birds. *PLoS One*, v. 7, 1-6, 2012.
- R CORE TEAM. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- SAVAGE, N. H.; AGNEW, P.; DAVIS, L. S.; ORDÓÑEZ, C.; Thorpe, R.; Johnson, C. E.; O'Connor, F. M.; Dalvi, M. Air quality modelling using the Met Office Unified Model (AQUUM OS24-26): model description and initial evaluation. *Geosci. Model Dev.*, v. 6, 353-372, 2013.
- SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. *Nativa*, v. 1, 34-43, 2013.
- STROPPIANA, D.; VILLA, P.; SONA, G.; RONCHETTI, G.; CANDIANI, G.; PEPE, M.; Busetto, L.; MIGLIAZZI, M.; BOSCHETTI, M. Early season weed mapping in rice crops using multi-spectral UAV data. *INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING*, v. 39, 5432-5452, 2018.
- VILJANEN, N.; HONKAVAARA, E.; NASI, R.; HAKALA, T.; NIEMELAINEN, O.; KAIVOSOJA, J. A Novel Machine Learning Method for Estimating Biomass of Grass Swards Using a Photogrammetric Canopy Height Model, Images and Vegetation Indices Captured by a Drone. *Agriculture*, v. 8, 70, 2018.
- WATSON, J. E. M.; DUDLEY, N.; SEGAN, D. B. HOCKINGS, M. The performance and potential of protected areas. *Nature*, v. 515, 67–73, 2014.
- WAN, H.; WANG, Q.; JIANG, D.; FU, J.; YANG, Y.; LIU, X. Monitoring the Invasion of *Spartina Alterniflora* Using Very High Resolution Unmanned Aerial Vehicle Imagery in Beihai, Guangxi (China). *The Scientific World Journal*, v. 2014, 1–7, 2014.
- WHITEHEAD, K.; HUGENHOLTZ, C. H. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: A review of progress and challenges. *J. Unmanned Veh. Syst.*, v. 2, 69-85, 2014.
- ZAMAN, B.; JENSEN, A. M.; MCKEE, M. Use of High-Resolution Multi-Spectral Imagery Acquired with an Autonomous Unmanned Aerial Vehicle to Quantify the Spread of an Invasive Wetlands Species. In: *GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS)*, Vancouver: BC, Canada, 803-806, 2011.
- ZILIANI, M. G.; PARKES, S. D.; HOTEIT, I.; MCCABE, M F. Intra-Season Crop Height Variability at Commercial Farm Scales Using a Fixed-Wing UAV. *Remote Sens.*, v. 10, 2007, 2018.
- ZHANG, Q.; QIN, R.; HUANG, X.; FANG, Y.; LIU, L. Classification of ultra-high resolution orthophotos combined with DSM using a dual morphological top hat profile. *Remote Sens.*, v. 7, 16422-6440, 2015.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental (PGTA), da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

Este estudo foi realizado com o apoio da Universidade Federal de Rondonópolis - UFR / MEC - Brasil.

A pesquisa também foi viabilizada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil, pelo apoio financeiro necessário para a realização desta pesquisa. Código Financiador 001 e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida a Normandes Matos da Silva (Processos 441975/2018-6, 305013/2018-1 e 315170/2018-2), e pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida a A. C. Paranhos Filho (Processo CNPq 305013/2018-1).

Agradecemos à CAPES por nos fornecer acesso ao Portal de Periódicos.

Por fim, gostaríamos também de agradecer à CAPES pela bolsa de mestrado concedida ao Dhonatan Diego Pessi e pela bolsa de doutorado (processo número 88887.494036/2020-00).

Recebido em: 16/04/2020

Aceito para publicação em: 29/08/2021