

**Desempenho operacional de smartphones em levantamentos planimétricos
GNSS sobre coberturas vegetais de pastagem e *Pinus elliottii* Engelm****Operational performance of smartphones in GNSS planimetric surveys on
pasture coverages and *Pinus Elliottii* Engelm**

DOI:10.34117/bjdv6n7-867

Recebimento dos originais: 03/06/2020

Aceitação para publicação: 31/07/2020

Tiago Gonçalves Lopes

Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria
Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Camobi, Santa Maria – RS, Brasil
E-mail: tiagoglopes@yahoo.com.br

Airton dos Santos Alonço

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria
Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Camobi, Santa Maria – RS, Brasil
E-mail: airtonalonco@gmail.com

Luana Freitas Knierim

Mestranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria
Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Camobi, Santa Maria – RS, Brasil
E-mail: luanaknierim@gmail.com

Bruno Christiano Correa Ruiz Zart

Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria
Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Camobi, Santa Maria – RS, Brasil
E-mail: brunozart@gmail.com

Gessieli Possebom

Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria
Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Camobi, Santa Maria – RS, Brasil
E-mail: gessielip@hotmail.com

Ricardo Froehlich

Mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria
Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Camobi, Santa Maria – RS, Brasil
E-mail: froehlich.ricardo@gmail.com

Wagner Alexandre Silveira da Cruz

Mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria
Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Camobi, Santa Maria – RS, Brasil
E-mail: wagnercasca@hotmail.com

Sabrina Dalla Corte Bellochio

Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria
Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Camobi, Santa Maria – RS, Brasil
E-mail: bellochiosabrinad@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de receptores de baixo custo, equipados com tecnologia GNSS convencional e assistida por telefonia móvel (A-GNSS), em ambientes que oferecem diferentes níveis de obstrução vegetal aos sinais de satélite para a obtenção de levantamentos planimétricos na superfície terrestre. Para isso, foram conduzidas estimativas de índices de acurácia horizontal, através de métodos de posicionamento GNSS estático, onde os tratamentos foram compostos pela combinação dos níveis de dois fatores, sendo estes: cobertura vegetal (Pastagem e Pinus) e cinco receptores GNSS (um de navegação e quatro smartphones), constituindo um total de 10 tratamentos, avaliados durante um período de 10 horas de coleta simultânea, com quatro repetições. A presença de cobertura vegetal de Pinus, independente do receptor utilizado, proporcionou os piores índices de acurácia horizontal, reduzindo o número de satélites visíveis no horizonte, e ocasionando perda na qualidade da distribuição geométrica dos satélites, sendo o melhor índice de acurácia nesta condição obtido por um smartphone, indicando uma possível melhoria de desempenho, oferecida pela operadora de telefonia móvel através do sistema A-GNSS. Para o ambiente com cobertura vegetal de Pastagem, o melhor índice de acurácia horizontal foi obtido pelo receptor de navegação, demonstrando maior estabilidade e precisão experimental dos dados ao longo do período de coleta frente aos smartphones, que apresentaram alta variabilidade amostral. O uso de um sistema de rastreamento de sinais mono-constelação (apenas GPS) influenciou negativamente os índices de acurácia horizontal, em comparação com os receptores que utilizaram sistemas multi-constelação (GPS+Glonass).

Palavras-chave: A-GNSS, Acurácia, Baixo custo.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the performance of low-cost receivers, equipped with conventional GNSS technology and assisted by mobile phone (A-GNSS), in environments that offer different levels of plant obstruction to satellite signals to obtain planimetric surveys on the earth's surface. For this, estimates of horizontal accuracy indexes were carried out using static GNSS positioning methods, where the treatments were composed by the combination of the two factors levels: vegetation cover (Pasture and Pinus) and five GNSS receivers (one of navigation and four smartphones), constituting a total of 10 treatments, evaluated during a period of 10 hours of simultaneous collection, with four repetitions. The presence of vegetation cover Pinus, regardless of the receiver used, provided the worst horizontal accuracy indexes, reducing the number of visible satellites on the horizon, and causing a loss in the quality of the geometric distribution of the satellites, the best accuracy score in this condition was obtained by a smartphone, indicating a possible performance improvement offered by the mobile operator through the A-GNSS system. For the environment with Pasture vegetation cover, the best horizontal accuracy index was obtained by the navigation receiver, demonstrating greater stability and experimental precision of the data over the collection period, compared to the

smartphones, which presented high sampling variability. The use of a signal tracking system mono-constellation (GPS only) negatively influenced horizontal accuracy indices, compared to receivers using multi-constellation systems (GPS+Glonass).

Keywords: A-GNSS, Accuracy, Low-cost.

1 INTRODUÇÃO

Em pequenas propriedades rurais são comuns situações onde é possível realizar práticas de agricultura de precisão que não exigem alta acurácia, como mapeamentos para aplicação de fertilizantes, monitoramento de produtividade, amostragem de solo ou até mesmo estimativas de extensões de área para fins gerenciais, sendo em todos estes casos indicado o uso de dispositivos de baixo custo (MOLIN et al., 2015). Todavia, esta abordagem não se limita apenas a coleta de geodados (latitude e longitude).

Dispositivos móveis, como smartphones e tablets, oferecem novas oportunidades para a geração de dados in-situ através de seus múltiplos sensores, pois permitem seu uso não somente no modo automático, mas também enriquecendo as informações localizadas da propriedade, através de fotos ou anotações, possibilitando até mesmo enviá-las instantaneamente a outros dispositivos ou servidores (MARX et al., 2016; TANAKA et al., 2020).

Logo, a seleção do dispositivo adequado para o uso na coleta de dados geoespaciais torna-se uma questão fundamental, exigindo a compreensão de quais requisitos são necessários para atender às atribuições desejadas. Em outras palavras, deve-se questionar: o que temos, o que precisamos e quais dispositivos estão disponíveis, atendendo a uma lista de parâmetros que devem ser considerados para a escolha do mesmo. Em geral, nenhum parâmetro único, por si só, é desejado. Almeja-se, habitualmente, que o dispositivo atenda a uma combinação de vários parâmetros para esta seleção, como: acurácia, confiabilidade, integridade, eficiência de tempo, acessibilidade, facilidade de implementação, repetibilidade, atualização, compartilhamento de dados, entre outros (RAHMATIZADEH et al., 2018).

Neste sentido, não fosse a carência de informações confiáveis na literatura, quanto a parâmetros como acurácia e confiabilidade de smartphones para a obtenção de levantamentos planimétricos, estes adaptar-se-iam bem a muitos dos parâmetros levados em consideração para a escolha do dispositivo e constituiriam uma nova alternativa aos receptores GNSS (Global Navigation Satellite Systems) de navegação, popularmente adotados para estas tarefas em pequenas propriedades.

A grande maioria dos smartphones comercializados atualmente vem de fábrica equipados com sistema A-GNSS (GNSS Assistido), criado para localizar os satélites com mais rapidez através de conexões de internet. Esse sistema permite que as informações de localização não sejam adquiridas

somente pelos satélites, mas sim, de maneira híbrida, contando com a assistência de estruturas terrestres de comunicação das operadoras da rede de telefonia para baixar informações de almanaque (dados orbitais) e efemérides (posição instantânea) de satélites, utilizando uma rede de internet móvel, como 2G, 3G ou 4G (OXLEY, 2017).

Em um receptor GNSS L1 C/A comum, que não se conecta com a rede de telefonia celular, o estabelecimento da posição dos satélites visíveis é realizado através de loopings (sequências) de rastreamento, usados para decodificar as mensagens de navegação recebidas no receptor. O download dessas informações (almanaque e efemérides) é realizado diretamente pelos sinais recebidos dos satélites visíveis, podendo levar dezenas de segundos, minutos ou até mesmo nem serem baixados, quando em condições locais desfavoráveis (COURONNEAU, 2013).

Um receptor compatível com sistema A-GNSS, pode receber os dados dos satélites a partir de fontes externas, o que reduz consideravelmente o tempo de fixação da posição, especialmente em ambientes com presença de obstruções físicas aos sinais GNSS, onde o tempo de download do almanaque e efemérides tende a ser longo (STMICROELETRONICS, 2018). Logo, os loopings de rastreamento podem estar ausentes em receptores A-GNSS, permitindo simplificar o leiaute do receptor, reduzir o tamanho físico do chip ou até mesmo integrá-lo a outros chips.

Além disso, permite a operação do receptor em situações de sinal mais fraco, uma vez que a capacidade de sinal necessária para decodificar as mensagens de navegação geralmente é maior do que a capacidade necessária para apenas equacionar as informações processadas e estimar a pseudodistância entre o receptor e os satélites (COURONNEAU, 2013). Em teoria, estas características conferem aos dispositivos A-GNSS maior disponibilidade em relação aos convencionais, pois permitiriam a obtenção de posicionamentos planimétricos em locais suscetíveis a baixo sinal, como condições atmosféricas adversas ou presença de cobertura vegetal, estendendo sua aplicação a outros tipos de uso.

Motivando a proposta de estudo do presente trabalho, que tem por objetivo avaliar receptores de baixo custo equipados com tecnologia GNSS convencional e assistida por telefonia móvel (A-GNSS) em ambientes característicos de pastagem e floresta, que oferecem diferentes níveis de dificuldade para a obtenção de posicionamentos planimétricos, e verificar o desempenho de receptores A-GNSS quanto as suas particularidades e tecnologias de rastreamento de sinal (constelação GPS ou GPS+Glonass).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, em área agrícola localizada entre os limites do Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),

cujas coordenadas geográficas aproximadas são: latitude 29°43'26" Sul e longitude 53°43'24" Oeste, com altitude variando entre 90 e 120 metros acima do nível do mar.

Os tratamentos foram compostos pela combinação dos níveis de dois fatores, sendo estes: receptor GNSS (com cinco níveis) e cobertura vegetal (com dois níveis), constituindo um total de 10 tratamentos, avaliados em quatro repetições.

O fator cobertura vegetal foi composto, em seus dois níveis, por uma área de Pastagem (C1) cultivada com azevém-anual (*Lolium multiflorum* Lam.), tomada como ambiente sem obstrução vegetal aos satélites, e por uma área a mais de 30 anos povoada com *Pinus elliottii* Engelm (C2), já em processo natural de regeneração da vegetação, apresentando floresta secundária com grande diversidade biológica de espécies arbustivas e indivíduos de porte arbóreo, com cobertura vegetal variando de aberta a fechada.

As principais especificações dos cinco receptores avaliados são mostradas detalhadamente na Tabela 1.

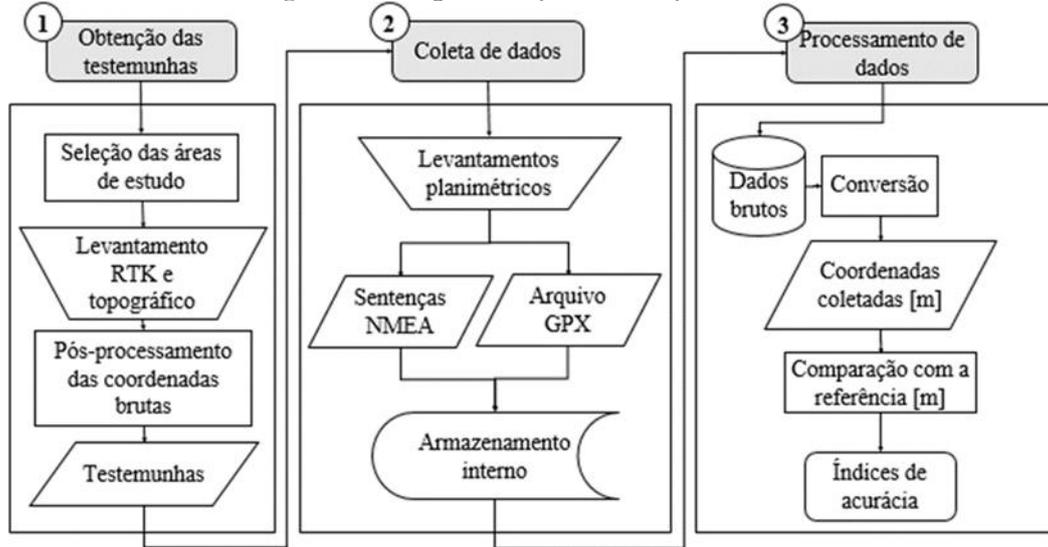
Tabela 1. Especificações técnicas dos receptores.

Descrição	Receptores				
	R1	R2	R3	R4	R5
Processador					
Núcleos	1	2	4	4	4
Velocidade	208 MHz	1,3 GHz	1,3 GHz	1,2 GHz	2,4 GHz
Chip GNSS					
Marca	STMicroelectronics	Qualcomm	MediaTek	Qualcomm	Qualcomm
Modelo	STA8088EXG	WTR1605L	MT6627N	WTR4905	WTR1625L
Sinal rastreado	GPS/Glonass C/A	GPS/Glonass C/A	GPS C/A	GPS/Glonass C/A	GPS/Glonass C/A
Memória RAM	*	1 GB	1 GB	1 GB	2 GB
Memória interna	1,7 GB	5,0 GB	3,5 GB	5,0 GB	10,0 GB
Autonomia em uso	25 horas	10 horas	10 horas	10 horas	21 horas
Ano de lançamento	2011	2013	2015	2015	2014
Operadora	*	Vivo	Vivo	Vivo	Vivo
Pacote de internet	*	1 GB	1 GB	1 GB	1 GB

Legenda: R1, receptor 1 (navegação); R2, receptor 2; R3, receptor 3; R4, receptor 4; R5, receptor 5. *não consta informação.

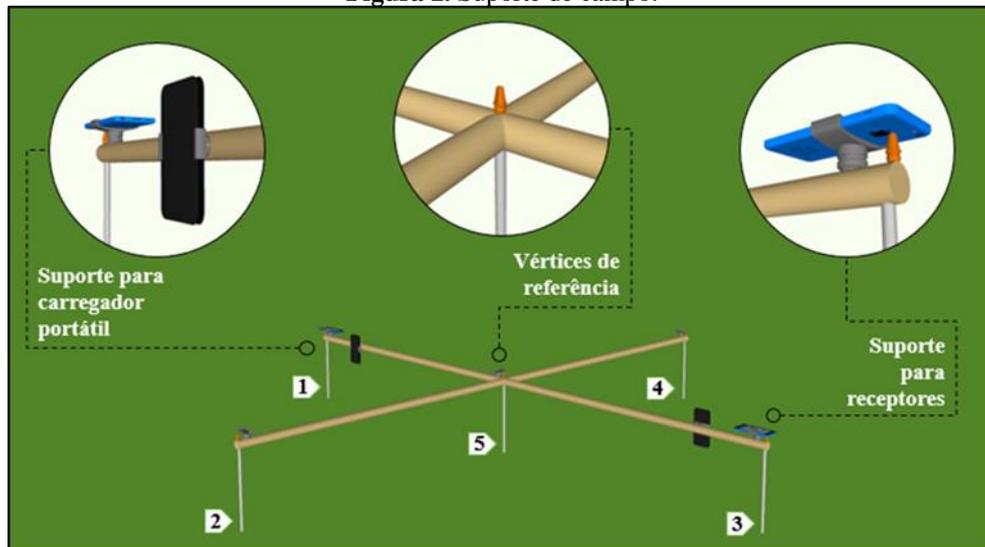
A qualidade do posicionamento dos receptores GNSS em levantamentos planimétricos estáticos é expressa habitualmente por índices de acurácia horizontal. O princípio básico para a obtenção destes índices, é a determinação da distância entre o posicionamento obtido por um receptor e sua suposta posição verdadeira (MOLIN et al., 2015). Para determinar essas posições, é necessária a execução de uma série de procedimentos normatizados, que foram organizados neste trabalho nas seguintes etapas: 1 - Obtenção das testemunhas; 2 - Coleta de dados; 3 - Processamento de dados. Sendo os procedimentos experimentais detalhados em fluxograma na Figura 1.

Figura 1. Fluxograma de processos experimentais.



Para a obtenção das testemunhas (Etapa 1), foram georreferenciados em cada ambiente de estudo (Pastagem e Pinus) suportes de campo equipados com cinco suportes de fixação reguláveis para receptores, dois suportes de fixação para carregadores portáteis de bateria, quatro cabos USB e dois carregadores portáteis de bateria, marca Pineng, modelo PN-951, com capacidade de 10000 mAh (Figura 2). Objetivando, inicialmente, obter a posição planimétrica de referência de seus cinco vértices, por meio da determinação de suas coordenadas planas Norte e Leste.

Figura 2. Suporte de campo.



Foi utilizada como base para os levantamentos dos vértices testemunha a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais - NTGIR (INCRA, 2013). Os métodos foram definidos em função da infraestrutura disponível e das limitações físicas oferecidas pelas vegetações. Empregando para a área de Pastagem o posicionamento por GNSS no método RTK convencional, utilizando um

par de receptores GNSS RTK de dupla frequência marca Topcon Hiper Lite+ (precisão: 10 mm + 1 ppm) com coletora de dados Topcon FC-200. E para a área de Pinus o posicionamento por topografia clássica no método de irradiação, utilizando estação total eletrônica marca Topcon CTS 3007 com prisma (precisão linear: 3 mm + 2 ppm e precisão angular: 7”).

Após realizar os levantamentos dos vértices de cada suporte de campo, todos os dados coletados foram importados para o software Topcon Tools, e ajustados a partir da estação de monitoramento contínuo Santa Maria (SMAR), pertencente ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). E foram concebidas as coordenadas Norte e Leste de cada ponto testemunha, representando os dados no plano de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) utilizando o datum WGS84.

Definidos os vértices testemunha, a próxima etapa realizada foi a coleta de dados (Etapa 2). Esta etapa consistiu em determinar coordenadas planimétricas a partir das associações entre os fatores cobertura vegetal e receptores GNSS. A metodologia escolhida para realizar os levantamentos foi o posicionamento absoluto. Neste tipo de levantamento a posição é determinada em tempo real sobre o ponto de interesse, sendo a que melhor se adapta ao procedimento, pois requer apenas a utilização de um receptor operando no modo autônomo, não sendo necessária estrutura adicional (IBGE, 2008).

Os levantamentos foram realizados com os receptores operando em modo estático, com tempo de coleta de 10 horas consecutivas, com taxa de aquisição de um 1 dado por segundo, com quatro repetições. Para o registro dos dados, os smartphones foram equipados com o aplicativo NMEA Tools Pro (Android), que tem como finalidade coletar e armazenar os dados recebidos no chip GNSS ao longo do tempo, atuando de forma análoga a um data logger. A versão correspondente do aplicativo para a plataforma iOS é denominada Tracks Logger Pro. Ao final do período de coleta, os dados do levantamento foram salvos manualmente na memória interna dos receptores, sendo nos smartphones exportados via e-mail no formato de sentenças NMEA, e no receptor de navegação via cabo USB com extensão GPX.

Na etapa de processamento de dados (Etapa 3), os dados brutos de todos os receptores foram tratados de modo a obter coordenadas finais no sistema métrico na projeção Universal Transverso de Mercator (UTM), e obtidas as variáveis resposta utilizadas para avaliar o desempenhos dos tratamentos, sendo estas expressas através do cálculo de índices de acurácia horizontal ($RMSE_{68\%}$ e $RMSE_{95\%}$), conforme estabelecem os padrões de acurácia para posicionamentos geoespaciais, propostos em norma pelo Comitê Federal de Dados Geográficos dos Estados Unidos (FGDC, 1998), descritos pelas Equações 1 e 2.

$$RMSE_{68} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (1)$$

em que: $RMSE_{68}$ é a acurácia horizontal a 68% de nível de confiança (m), e $RMSE_x$, $RMSE_y$ são a raiz do erro médio quadrático das coordenadas Norte e Leste (m).

$$RMSE_{95} = 1,7308 RMSE_{68} \quad (2)$$

em que: $RMSE_{95}$ é a acurácia horizontal a 95% de nível de confiança (m).

Também foram obtidas através dos dados brutos as variáveis de desempenho: Diluição da Precisão Horizontal (HDOP) e Número de satélites visíveis (Nsatélites), determinadas apenas para os receptores R3, R4 e R5, devido a limitações de acesso preservadas pelos fabricantes dos receptores R1 e R2.

Para a análise estatística, o efeito dos tratamentos foi verificado pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, e sempre que foram detectadas diferenças significativas entre pelo menos dois dos tratamentos, em nível de 5% de significância, foi realizado o procedimento complementar de Comparações Múltiplas de Kruskal-Wallis, que permite identificar quais pares de tratamentos diferem entre si.

Todos os testes estatísticos foram executados com o auxílio do software Action Stat (versão 3.5.152.34).

3 RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta de forma resumida os resultados dos procedimentos estatísticos aplicados as variáveis $RMSE_{68\%}$ e $RMSE_{95\%}$.

Tabela 2. P-valores da análise estatística para os índices de acurácia $RMSE_{68\%}$ e $RMSE_{95\%}$.

Procedimento		P-valor	
		$RMSE_{68\%}$	$RMSE_{95\%}$
Teste de normalidade	(Kolmogorov-Smirnov)	0,00	0,00
Transformação Box-Cox	(Anderson-Darling)	$2,62 \cdot 10^{-16}$	$2,62 \cdot 10^{-16}$
Teste não-paramétrico	(Kruskal-Wallis)	$2,62 \cdot 10^{-104}$	$2,62 \cdot 10^{-104}$

Os resultados das comparações entre os tratamentos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Índice de acurácia a 68% ($RMSE_{68\%}$) e 95% ($RMSE_{95\%}$) de confiança e coeficientes de variação (CV) de cinco receptores em dois tipos de cobertura vegetal.

Tratamentos	$RMSE_{68\%}$ (m)	$RMSE_{95\%}$ (m)	CV (%)
C2R3	13,6 a	23,5 a	18,3
C2R5	8,8 b	15,2 b	6,7
C2R4	7,8 c	13,5 c	19,4
C2R1	5,7 d	9,8 d	10,3
C2R2	5,5 e	9,5 e	44,4

C1R4	4,3 f	7,3 f	31,0
C1R3	3,7 g	6,4 g	25,9
C1R5	2,5 h	4,3 h	27,9
C1R2	2,3 i	3,9 i	48,2
C1R1	1,7 j	2,9 j	15,5

Nota: *Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de comparações múltiplas de Kruskal-Wallis a nível de 5% de significância. C1 (Pastagem) e C2 (Pinus); R1 (Receptor 1), R2 (Receptor 2), R3 (Receptor 3), R4 (Receptor 4) e R5 (Receptor 5).

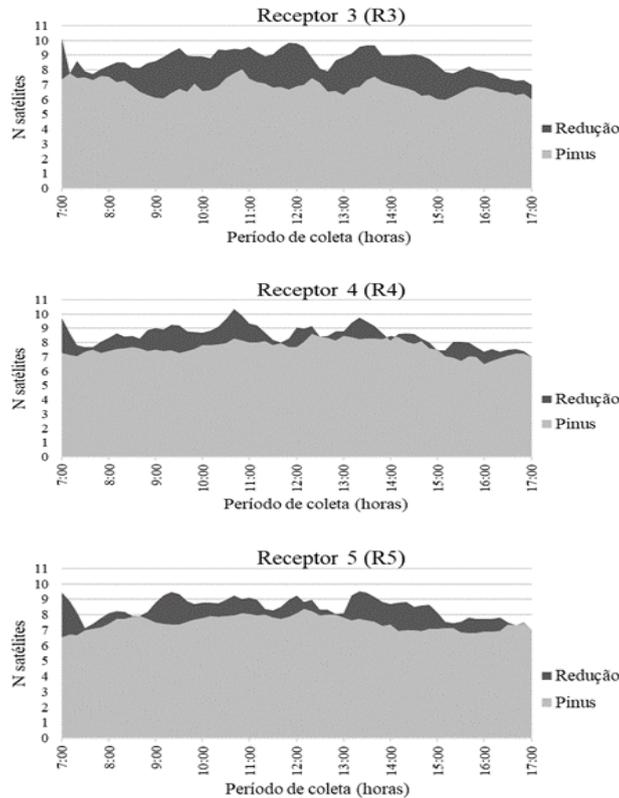
A Tabela 4 apresenta os valores médios, mínimos e máximos de HDOP, nas duas condições de cobertura vegetal (C1 e C2), bem como a sua variação (Δ HDOP).

Tabela 4. Diluição da precisão horizontal em função das coberturas vegetais Pastagem (C1) e Pinus (C2).

Receptor	HDOP - C1			HDOP - C2			Δ HDOP
	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	
R3	0,92	0,81	1,10	1,15	1,00	1,37	+0,23
R4	0,68	0,60	0,81	0,71	0,63	0,81	+0,02
R5	0,67	0,60	0,80	0,79	0,68	1,34	+0,12

A Figura 3 ilustra a influência da cobertura vegetal de Pinus no número de satélites visíveis para os receptores R3, R4 e R5 ao longo do período de coleta.

Figura 3. Redução do número de satélites visíveis em cobertura vegetal de Pinus.



4 DISCUSSÃO

O efeito dos tratamentos foi verificado pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, onde foram detectadas diferenças com significância de 5% entre os tratamentos, para as variáveis analisadas (Tabela 2).

Os resultados das comparações entre os tratamentos podem ser observados na Tabela 3, e mostram que houve diferença significativa entre todas as combinações dos fatores receptor e cobertura vegetal, quanto ao seu desempenho no posicionamento planimétrico, expresso através dos índices de acurácia $RMSE_{68\%}$ e $RMSE_{95\%}$.

Os menores erros de posicionamento horizontal foram obtidos na área experimental com cobertura vegetal de Pastagem (C1), independente do receptor utilizado na coleta, agrupando os tratamentos compostos por cobertura vegetal de Pinus (C2) nas cinco posições superiores do ranking do teste de comparações múltiplas (Tabela 3), respondendo pelos maiores erros posicionais, confirmando a influência de diferentes coberturas vegetais no desempenho dos receptores, sendo a presença de dossel tomada como a principal fonte para os erros, ao atuar como barreira física à propagação de sinais de satélite, concordando com Grala e Brach (2009) e Ordóñez et al. (2012).

Na Figura 3 é possível visualizar a influência do dossel florestal na redução do número de satélites visíveis obtidos por três dos receptores avaliados (R3, R4 e R5). A presença de troncos, galhos e folhas impossibilita a condição ideal de operação, concordando com as proposições de Pissardini & Fonseca Jr. (2018), ao afirmarem que o número de satélites visíveis depende diretamente do ambiente presente entre o centro de fase da antena do receptor e o centro de fase da antena dos satélites, pois este pode impedir a propagação total ou parcial do sinal GNSS emitido ao receptor.

Nota-se uma maior limitação para o receptor R3 em operação sob dossel, sendo afetado com 20% de redução do número de satélites durante o período médio de coleta. Seguido pelos receptores R4 e R5, com 10% e 11% de redução, respectivamente.

Bastos & Hasegawa (2013), ao estudarem a probabilidade de interrupção do sinal GNSS em diferentes condições florestais acrescentam, ainda, que o ambiente sob copas de árvores exerce influência negativa sobre outros fatores associados aos bloqueios de sinal, dentre estes, está a perda na qualidade da distribuição geométrica dos satélites visados pela antena do receptor. Fato comprovado ao analisar os dados de diluição da precisão horizontal (HDOP), obtidos nos levantamentos com os receptores R3, R4 e R5.

A Tabela 4 apresenta os valores médios, mínimos e máximos de HDOP, nas duas condições de cobertura vegetal (C1 e C2), bem como a sua variação ($\Delta HDOP$), onde foi evidenciado o aumento do valor de diluição da precisão horizontal nas situações de presença de dossel. Representando um acréscimo de 25% para o receptor R3, 3% para o receptor R4 e 18% para o receptor R5.

O percentual de redução de acurácia horizontal (RMSE) em cada receptor sob dossel de Pinus, também foi um fator agravante observado entre as duas coberturas vegetais, ocasionando erros posicionais cerca de três vezes maiores aos valores obtidos na área de Pastagem para os receptores R1, R3 e R5, e cerca de duas vezes maiores para os receptores R2 e R4. Este resultado corrobora com Tomaščík et al. (2016), ao obterem incrementos de erro posicional de duas a cinco vezes maiores em área de floresta de coníferas para cinco smartphones, quando comparado com levantamentos em área de céu aberto.

Neste sentido, fatores peculiares ao hardware de cada receptor, foram aspectos importantes verificados neste estudo. O primeiro, e talvez o mais notório, foi a disponibilidade de apenas uma constelação de satélites ao receptor R3 (somente GPS), obtendo de modo geral, os piores índices de desempenho do trabalho, em comparação aos receptores multi-constelação (GPS+Glonass), ocupando a primeira posição no ranking do teste de Kruskal-Wallis, com o pior índice de acurácia horizontal em cobertura de Pinus, com valor $RMSE_{95\%}$ de 23,56 m (Tabela 3).

O mesmo comportamento foi observado por Ogundipe et al. (2014), ao avaliar o impacto de diferentes tipos de cobertura arbórea sobre cinco categorias de receptores GNSS, onde o smartphone HTC Wildfire, com suporte apenas a constelação GPS, obteve a pior média de acurácia horizontal ($RMSE_{68\%}=20$ m), superado consistentemente por um tablet Samsung Galaxy Tab2 multi-constelação ($RMSE_{68\%}=3$ m).

Este fato também foi observado por Dabovi & Petovello (2014), ao atribuírem o melhor desempenho de um smartphone Samsung Galaxy S5, ao fato deste ser capaz de rastrear duas constelações (GPS+Glonass), em vez de apenas uma (GPS) como o Apple iPhone 4, onde os smartphones descreveram um comportamento semelhante no ambiente de céu aberto, e houve uma notória redução de desempenho do Apple iPhone 4 no ambiente com obstrução, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Ambos autores, relataram que o sinal GNSS recebido pelos smartphones foi muito ruidoso, causado por múltiplas reflexões do sinal ao atravessar a complexa estrutura do dossel vegetativo, afetando com maior magnitude os dispositivos que suportavam apenas uma constelação de satélites.

Segundo Pissardini et al. (2017), nestes cenários o bloqueio dos sinais não é total, e estes ainda podem chegar de maneira fraca a antena do receptor, e permitir o posicionamento. No entanto, a utilização de sinais degradados poderá gerar posicionamentos de baixa qualidade.

Em geral, também foram identificadas restrições entre os receptores que fazem uso de chips multi-constelação. Ao observar o ranking do teste de Kruskal-Wallis, verifica-se em particular o comportamento do receptor R5, que piorou cerca de 350% sua acurácia horizontal na transição de cobertura de Pastagem ($RMSE_{95\%}=4,30$ m) para a cobertura de Pinus ($RMSE_{95\%}=15,24$ m) (Tabela

3). Tomaščík Jr. et al. (2016) também obtiveram resultados semelhantes ao avaliar smartphones Sony M4 Aqua e LG G2, ambos com suporte a multi-constelação, piorando sua acurácia horizontal em cerca de 315% e 440%, respectivamente.

Esses autores atribuem esses efeitos não somente a qualidade dos chips GNSS, mas também a qualidade das antenas patch instaladas em cada receptor, ao afirmarem que estas apresentam dificuldades para lidar com sinais degradados. Pirazzi et al. (2017) confirmam, e acrescentam que esta seria a principal fonte de aumento do erro posicional em smartphones com chip GNSS habilitado para multi-constelações.

Logo, pode-se inferir que o receptor R5 obteve valores de acurácia horizontal próximos aos melhores desempenhos (C1R1 e C1R2), em condições de ambiente sem obstrução aos satélites, contudo, os resultados mostram que sua capacidade de suporte a multi-constelações não está combinada com hardware ao nível de sensibilidade dos receptores R1 e R2, estando este propenso a maiores perdas de exatidão na presença de vegetação florestal.

O cenário observado para o receptor R4 apresentou características diferentes, evidenciando o pior desempenho entre os receptores no ambiente de Pastagem ($RMSE_{95\%}=7,36$ m), mas sofrendo o menor percentual de influência da vegetação de Pinus na comparação, com cerca de 184% de piora nos índices de acurácia horizontal ($RMSE_{95\%}=13,53$ m) (Tabela 3). Ainda que mais consistente quanto a presença de dossel, manteve-se distante dos melhores desempenhos posicionais nas duas condições de cobertura vegetal, diferentemente do observado para o receptor R5.

Portanto, pode-se levar em consideração as proposições de Specht et al. (2018), ao avaliarem a qualidade do posicionamento de seis gerações de smartphones do modelo Samsung Galaxy. Seus resultados indicaram que aumentar o número de sistemas GNSS para o rastreamento também implica na qualidade do processador instalado, visto que, a combinação de multi-constelações demanda processamento adicional para combinar matematicamente diferentes formatos de informações orbitais, provenientes das constelações GPS e Glonass. Com isso possibilita que o baixo desempenho do receptor R4 esteja associado à sua menor capacidade de processamento frente aos demais smartphones, com velocidade de 1,2 GHz (Tabela 1).

Em outros casos, a combinação otimizada entre componentes de hardware em um smartphone, pode permitir a obtenção de resultados com um nível superior, como foi verificado para o receptor R2, ao alternar os melhores resultados obtidos no trabalho com o receptor R1, sendo R1 um dispositivo GNSS dedicado a atividades de navegação, bastante utilizado como ferramenta de auxílio em práticas de agricultura e silvicultura de precisão.

Ao observar o ranking do teste de Kruskal-Wallis em cada cobertura vegetal (Tabela 3), destaca-se com o melhor desempenho no ambiente de Pastagem o receptor R1, obtendo índice de

acurácia horizontal dentro do limite de 2,9 m em 95% do tempo de coleta, seguido pelo receptor R2 com 3,9 m. Em ambiente com presença de dossel de Pinus, sobressai o desempenho do smartphone R2, com índice de acurácia horizontal dentro do limite de 9,5 m em 95% do tempo de coleta, contra 9,8 m para o receptor de navegação R1.

Resultados semelhantes foram encontrados por Tomaščík Jr. et al. (2016), ao comparar o desempenho de smartphones a um receptor GPS de mapeamento Trimble Nomad 900 GLE, bastante difundido para o posicionamento em operações florestais, onde em área de céu aberto obteve índice de acurácia horizontal de 1,63 m ($RMSE_{68\%}$), superando o melhor smartphone (1,90 m), e em condições de área florestal obteve $RMSE_{68\%}=10,11$ m, sendo superado por um smartphone LG G2, que apresentou $RMSE_{68\%}=6,74$ m.

Mesmo com o melhor desempenho de R1 e R2 frente aos demais smartphones, também foram identificadas particularidades e fragilidades de comportamento entre estes receptores ao longo das coletas. O primeiro ponto verificado, foi a substancial redução percentual de exatidão do dispositivo R1 na presença de dossel florestal, piorando em cerca de 335% sua acurácia horizontal. Mostrando que apesar de robusto e projetado para atividades dedicadas à navegação e localização, também demonstra pouca sensibilidade para lidar com a deterioração de sinais em ambiente florestal, se aproximando das reduções percentuais de desempenho atingidas pelos receptores R3 e R5.

Para o smartphone R2, a redução percentual de exatidão foi menor na presença de dossel florestal, com piora de aproximadamente 240%. No entanto, nota-se que apesar do melhor desempenho, este dispositivo de medição apresenta menor qualidade quanto à repetibilidade da exatidão ao longo do período de coleta (10 horas), mostrando maior variabilidade amostral frente aos demais receptores, tanto em cobertura de Pastagem, quanto em cobertura de Pinus.

Este comportamento também pode ser observado nos valores dos coeficientes de variação (CV), que permitem quantificar a precisão dos resultados experimentais (Tabela 3). Fica explícita a menor estabilidade do smartphone R2, evidenciando elevados coeficientes de variação (CV) em ambas as coberturas vegetais ($C1=48,2\%$ e $C2=44,4\%$), mesmo apresentando menores índices de acurácia horizontal ($RMSE$).

De modo geral, a maior estabilidade nas medições foi obtida pelo receptor de navegação R1, apresentando coeficientes de variação (CV) de 15,5% (Pastagem) e 10,3% (Pinus), evidenciando uma maior qualidade e precisão experimental ao longo do período de coletas.

Embora alguns limites dos receptores utilizados neste estudo já sejam evidentes até aqui, de um modo global, ainda é difícil generalizar o desempenho de smartphones, em termos de valores absolutos de exatidão, tendo em vista a grande variabilidade de modelos disponíveis no mercado, e suas distintas configurações de hardware e software. Entretanto, com os resultados obtidos, torna-se

possível fazer o uso destes receptores em inúmeras atividades vinculadas a agricultura e a silvicultura de precisão.

Segundo Whelan & Taylor (2013), diferentes atividades agrícolas, requerem distintos níveis de exatidão, e sistemas mais baratos e menos acurados, como smartphones, são tão úteis quanto os demais, quando é exigido apenas nível métrico entre 3 e 10 metros de exatidão. Assim esses equipamentos são habilitados a executar inúmeras atividades, como: análises de solo e tecidos vegetais; aferição de produtividade; definição de faixas para aplicação de fertilizantes; controle de taxa variável; e elaboração de mapas de rendimento. Essa afirmativa baseia-se no fato de que para todos os receptores estudados os resultados obtiveram índices de acurácia horizontal entre 2,9 e 7,3 m durante 95% do tempo de coleta em cobertura vegetal de Pastagem.

Para atividades de silvicultura, exatidões de até 15 metros permitem a execução de inventários florestais, bem como, de outras atividades com demandas de menor exatidão, como: navegação sob dossel; medição de estandes florestais ou pilhas de toras; posicionamento de trabalhadores e maquinário florestal; e detecção preliminar de pontos de interesse (TOMAŠTÍK JR. et al., 2016; FAUZI et al., 2016; TALBOT et al., 2017), enquadrando os valores obtidos para os receptores R1, R2 e R4 (entre 9,5 e 13,5 m).

5 CONCLUSÕES

- Todos os tratamentos compostos pela combinação dos distintos receptores GNSS com as coberturas vegetais, afetaram significativamente os índices de acurácia, onde a presença de cobertura florestal de Pinus, independente do receptor utilizado, proporcionou os piores índices de acurácia horizontal.
- O smartphone R2 apresentou o melhor índice de acurácia no ambiente de cobertura florestal de Pinus, indicando uma possível melhoria de desempenho oferecida pela operadora de telefonia móvel, através do sistema GNSS assistido (A-GNSS).
- A presença de cobertura florestal de Pinus reduziu o número de satélites visíveis no horizonte, e ocasionou perda na qualidade da distribuição geométrica dos satélites no espaço.
- O smartphone com rastreamento de sinais de apenas uma constelação de satélite, apresentou o menor número de satélites visíveis, a pior qualidade de distribuição geométrica dos satélites e os piores índices de acurácia horizontal.
- O receptor de navegação R1 apresentou o melhor índice de acurácia horizontal no ambiente com cobertura de pastagem, e demonstrou maior estabilidade e precisão experimental dos dados ao longo das 10 horas de coleta nos dois ambientes de cobertura vegetal.

- A acurácia horizontal dos smartphones é afetada por distintas configurações de hardware e software.
- Os smartphones apresentam alta variabilidade amostral ao longo de um período de 10 horas de coleta.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PPGA e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior - CAPES.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, A. S.; HASEGAWA, H. Behavior of GPS signal interruption probability under tree canopies in different forest conditions. **European Journal of Remote Sensing**. n. 46, p. 613-622, 2013.
- DABOVE, P.; PETOVELLO, M. G. What are the actual performances of GNSS Positioning using smartphone technology?. **Inside GNSS**. v. 9, p. 34-37, 2014.
- FAUZI, M. F.; IDRIS, N.; YAHYA, M. H.; MD DIN, A. H.; LAU, A.; ISHAK, M.H.L. Tropical forest tree positioning accuracy: A comparison of low cost GNSS-enabled devices. **International Journal of Geoinformatics**. v. 12, n. 2, p. 59-66, 2016.
- FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE – FGDC. **Geospatial Position Accuracy Standards**. Virginia (EUA): Secretariat Federal Geographic Data Committee c/o U. S. Geological Survey. 1998.
- GRALA, N.; BRACH, M. Analysis of gnss receiver accuracy in the forest environment. Polish association for spatial information. **Annals of geomatics**. v. 7, n. 2, 2009. 7 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos - GPS**. Abril, 2008. 35 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Norma Técnica Para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 3ª edição, Brasília, 2013. 4 p.
- MARX, S.; HAMMERLE, M.; KLONNER, C.; HOFLE, B. 3D Participatory Sensing with Low-Cost Mobile Devices for Crop Height Assessment – A Comparison with Terrestrial Laser Scanning Data. **PLoS ONE**. United States, 2016. 22 p.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, p. 238. 2015.
- OGUNDIPE, O.; INCE, S.; BONENBERG, K. L. **GNSS Positioning Under Forest Canopy**. Disponível: < <https://www.researchgate.net/> >. 2014. 15 p.

OXLER, A. **Uncertainties in gps positioning: a mathematical discourse**. 1ª edição. London: Elsevier, 2017. 185 p.

ORDÓÑEZ, C.; MARTÍNEZ, J.; de COS JUEZ, F.; SÁNCHEZ, F. Comparison of GPS observations made in a forestry setting using functional data analysis - CMMSE 2010. **International Journal of Computer Mathematics**. n. 89, p. 402-408, 2012.

PISSARDINI, R.; FONSECA JR, E. S. Detecção automática de cenários internos e externos utilizando mensagens NMEA de receptores GNSS. **Revista Brasileira de Geomática**. Curitiba, v. 4, n. 6, p. 346-360, 2018.

PISSARDINI, R.; OLIVEIRA, R. H. de; VAZ, J. A.; ALMEIDA, F. G. V. de; FONSECA JR, E. S. O problema do posicionamento para transporte terrestre no ambiente urbano. **Revista Brasileira de Geomática**. Curitiba, v. 5, n. 3, p. 380-403, 2017.

PIRAZZI, G.; MAZZONI, A.; BIAGI, L.; CRESPI, M. **Preliminary Performance Analysis with a GPS+Galileo Enabled Chipset Embedded in a Smartphone**. p. 101-115, 2017. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/321315487> >. Acesso em: 3 jan. 2019.

RAHMATIZADEH, S.; RAJABIFARD, A.; KALANTARI, M.; HO, S. A framework for selecting a fit-for-purpose data collection method in land administration. **Land Use Policy**. Melbourne: Elsevier, p. 162-171. 2018.

SPECHT, C.; DĄBROWSKI, P.; PAWELSKI, J.; SPECHT, M.; SZOT, T. Comparative analysis of positioning accuracy of GNSS receivers of Samsung Galaxy smartphones in marine dynamic measurements. **Advances in Space Research**. 2018. DOI: 10.1016/j.asr.2018.05.019.

STMICROELECTRONICS. **Datasheet – target specification: Teseo-LIV3F**. 2018. 35 p.

TALBOT, B.; PIERZCHAŁA, M.; ASTRUP, R. Subject review Applications of Remote and Proximal Sensing for Improved Precision in Forest Operations. **Croatian Journal of Forest Engineering**. v.38, n. 2, p. 327-336, 2017.

TANAKA, A. H. A.; MERA, W.Y.W de L.; DA SILVA, A. O.; MELO, D. M.; VIÉGAS, I. de J. M; SILVA, D. A. S.; JÚNIOR, A. M. G. da S. Fertiup! – aplicativo de recomendações de adubação e calagem para plantas medicinais. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n. 1, p. 430-440, 2020.

TOMAŠTÍK JR, J.; TOMAŠTÍK SR, J.; SALOŇ, Š.; PIROH, R. Horizontal accuracy and applicability of smartphone GNSS positioning in forests. **International Journal of Forest Research**. v. 90. p. 187-198. 2016.

WHELAN, B. **Precision agriculture for grain production systems** / Brett Whelan, James Taylor. Collingwood, Victoria, CSIRO Publishing, 2013. 208 p.