

## AVALIAÇÃO DE SENSORES DE VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO EM DIFERENTES SUPERFÍCIES

J. P. MOLIN<sup>1</sup>, A. B. M. SOUZA<sup>2</sup>, G. FONTANA<sup>2</sup>, G. K. NAGUMO<sup>2</sup>, P. C. SILVA<sup>3</sup>

### RESUMO

Um dos fatores que influenciam diretamente no desempenho de sistemas mecanizados é a velocidade de deslocamento pela sua importância no planejamento e execução das operações agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia de quatro sensores de velocidade, em condições de superfície asfáltica, solo com cobertura vegetal, aclives e declives, acelerações e desacelerações, submetidos a velocidades representativas para aplicações agrícolas. Foram ensaiados dois modelos comerciais de sensores de radar, um sensor de GPS e um sensor ótico. Foram identificadas diferenças significativas para as situações de solo com cobertura vegetal, acelerações e desacelerações. Para a superfície asfáltica, em situação de velocidade constante, os sensores avaliados não apresentaram desempenho com diferença significativa. Os sensores tipo radar demonstraram ser influenciados pela superfície com cobertura vegetal. Na superfície asfáltica, sob condições de acelerações e desacelerações o sensor de GPS apresentou tendência de retardo nos valores de velocidade quando comparado com os demais, podendo ser causado por características de processamento interno.

**PALAVRAS-CHAVE:** MÁQUINAS AGRÍCOLAS, GPS, RADAR.

### SPEED SENSORS EVALUATION ON DIFFERENT SURFACES

#### SUMMARY

One of the factors that influence directly the performance of mechanized systems is the displacement speed, which has extreme importance on planning agricultural operations. The objective of this work was to evaluate the accuracy of four speed sensors, on paved road, vegetated surface, hills, increasing and reducing speeds representative for the agricultural applications. Two commercial radars, a GPS sensor and an optical sensor were tested. For the paved road surface, under constant speed, no significant differences were observed on the performance. Radars were influenced by the vegetated surface. On paved road and under accelerations and decelerations the GPS sensor tended to delay the speed values when compared with the other sensors, which may be caused by internal processing process.

**KEYWORDS:** AGRICULTURAL MACHINERY, GPS, RADAR.

#### INTRODUÇÃO

A velocidade de deslocamento é um dos fatores de extrema importância no planejamento das operações agrícolas, influenciando diretamente no desempenho dos sistemas mecanizados. A correta determinação da velocidade de deslocamento dos conjuntos motomecanizados é fundamental para o gerenciamento da qualidade das operações, monitoramento do requerimento de potência, deslizamento das rodas motrizes e da eficiência de tração, dentre outros. Nas operações de distribuição de insumos em geral a velocidade de deslocamento se torna indispensável para que ocorra a correta dosagem de calcário, fertilizantes e defensivos. Com o advento das práticas de aplicação de insumos em taxa variada como função da variabilidade espacial da demanda, associados a práticas de agricultura de precisão, com auxílio de

1 Engº Agrícola, Prof. Depto. Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, SP, (19) 34294165, e-mail: jpmolin@esalq.usp.br

2 Engº Agrícola, Mestrando em Máquinas Agrícolas, Depto. Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, SP.

3 Tecnólogo em Processamento de Dados, Mestrando em Máquinas Agrícolas, Depto. Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, SP.

controladores, a detecção da velocidade passou a ser ainda mais importante, pois é um dos componentes da definição de dosagens.

Os sistemas mecanizados mais avançados contam com monitores ou controladores eletrônicos, os quais utilizam informações de velocidade obtidas por meio de sensores. Os sensores de velocidade mais utilizados baseiam-se em radares ou sensores ópticos ligados às rodas dos tratores (ANTUNIASSI et al., 2001).

TOMPKINS et al. (1988) avaliaram vários tipos de técnicas de medição de velocidade como sensor de rodas, roda odométrica e radar, com trator operando entre 1,31 e 2,78 m.s<sup>-1</sup> em diferentes superfícies. Observaram que o coeficiente de variação da indicação da velocidade como uma função de tempo tendeu a ser maior para sensores em contato com rodas do que para o radar, exceto em superfícies de vegetação alta. O princípio de funcionamento do radar, segundo WERNECK (1996), se baseia no efeito Doppler, o qual estabelece que quando uma onda que se propaga num meio qualquer se reflete em algum objeto móvel, será refletida e terá uma frequência diferente da onda incidente. Ainda, segundo o autor, outro sistema muito utilizado é o sensor magnético de roda, que corresponde a contatos fabricados com metal ferro-magnético que são acionados por um campo magnético externo gerado por ímãs presos à roda do trator.

BENEZ et al. (2000) avaliaram o uso de um radar e de cronômetro para determinar a velocidade de deslocamento de um conjunto composto por trator e semeadora-adubadora de precisão em ensaios de campo em áreas com cobertura de aveia preta. Observaram que a velocidade média obtida com o cronômetro foi ligeiramente superior que a indicada pelo radar em todas as velocidades de deslocamento. ANTUNIASSI et al. (2001), avaliaram a influência do tipo de superfície e de mudanças no direcionamento do trator na medição da velocidade de deslocamento utilizando sensores de roda e radares. Os autores concluíram que o sensor magnético de roda apresentou velocidade média indicada maior do que o radar, apesar de ambos terem sido calibrados nas mesmas condições.

O sensor de GPS calcula sua posição através da medida da distância entre ele e os satélites em vista. Cada satélite de GPS envia continuamente sinais contendo sua posição e também uma medida de tempo. O receptor mede o tempo para que o sinal percorra a distância entre o satélite e a antena deste receptor. Este tempo é utilizado para calcular a distância da antena a cada satélite e com a distância e o tempo em cada posição é calculada a velocidade (MOLIN, 2001).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia de quatro sensores de velocidade em condições de solo com cobertura vegetal, superfície asfáltica, sob acelerações e desacelerações, aclives e declives, em velocidades representativas para aplicações agrícolas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) em Piracicaba, SP, no mês de outubro de 2003. Como veículo foi utilizado um trator, marca Massey Ferguson, modelo 5285, 4x2.

O ensaio avaliou quatro diferentes tipos de equipamentos: sensor de radar de velocidade, modelo DjRVS II da marca Dickey John, acoplado ao lado direito do trator; sensor de radar de velocidade, modelo RGSS-201 da marca Mid-Tech, acoplado ao lado esquerdo do trator; ambos os sensores de radar foram afixados próximo ao eixo dianteiro; receptor de GPS como sensor de velocidade, modelo SV18GPS que gera 100.000 pulsos por quilometro desenvolvido pela Auteq, fixado no toldo do trator; e o sensor óptico com 240 pulsos por volta, marca Hohner, fixado na roda dianteira direita do trator. Todos os equipamentos foram acoplados ao trator seguindo as recomendações técnicas dos fabricantes e com uma corrente de alimentação de 12V. Para aquisição dos dados de tempo e número de pulsos de cada sensor, foi utilizado um cronômetro, montado em uma bancada de instrumentação acoplada ao trator.

A calibração dos sensores foi realizada em superfície asfáltica, em percurso reto, em área interna do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP. Foi demarcado o espaço de 30 metros a ser percorrido pelo trator, entre duas balizas posicionadas no início e no final do percurso. O trator estava equipado com um sensor fotoelétrico de feixe duplo com alinhamento a laser (modelo DT-30 marca DTECH), possuindo um ajuste de velocidade de disparo de 50m.s (milisegundos). Ao passar pela primeira baliza o dispositivo era acionado por meio de um relé que disparava o cronômetro e ao passar pela segunda baliza o dispositivo era desacionado. Utilizou-se um total de 5 repetições para cada velocidade. As

velocidades utilizadas foram de aproximadamente 1,60; 3,20 e 4,10m.s<sup>-1</sup>, selecionando diferentes escalonamentos de marchas. Com o número de pulsos obtido para cada sensor, dividido pelo espaço percorrido de 30m, obteve-se o número de pulsos por metro.

Nos ensaios para o cálculo da velocidade média foi utilizado o número de pulsos por metro obtidos na calibração com o número de pulsos do cronodômetro, obtendo-se a distância considerada para cada sensor. Através da distância e do tempo do cronodômetro calculou-se a velocidade média de cada sensor. Para aquisição de dados dos ensaios dos sensores foram utilizados os mesmos equipamentos da calibração.

Os sensores foram avaliados em superfície regular de asfalto e solo com cobertura vegetal. Na superfície de asfalto os ensaios foram realizados com o trator sob velocidade constante, acelerações, desacelerações, aclives e declives. No solo com cobertura vegetal os sensores foram ensaiados apenas em velocidade constante. Em todos os ensaios utilizou-se parcela única de 30 metros. Para estabilização da velocidade foi adotada uma distância de 45 metros antes da primeira baliza. A alavanca de aceleração foi posicionada em uma rotação constante para cada velocidade ensaiada, permanecendo inalterada em todas as repetições realizadas.

No ensaio sob velocidade constante utilizaram-se quatro velocidades para a condição de solo coberto (0,62; 1,70; 3,04 e 4,05m.s<sup>-1</sup>) e três velocidades para a condição de asfalto (3,03; 4,31 e 5,63m.s<sup>-1</sup>), selecionando diferentes marchas no trator, e procurando simular operações agrícolas representativas em nosso meio.

No ensaio sob aceleração utilizou-se um espaço de 0,50m, antes da primeira baliza, para partida do trator da posição estática e a partir de então a velocidade permanecia crescente em todo o percurso. A desaceleração foi realizada com o trator a velocidade constante, retornando a alavanca do acelerador para posição mínima imediatamente após a passagem do trator pela primeira baliza. Em todo o percurso o trator permaneceu em velocidade decrescente, passando com uma velocidade próxima a nula na segunda baliza.

Para aclives e declives utilizou-se uma rampa com inclinação longitudinal de 9% (dado aferido com clinômetro). Analisou-se o erro da velocidade indicada em cada sensor, considerando que, para o sensor de GPS, a distância medida é equivalente à projeção horizontal, o que pode causar distorção no valor estimado da velocidade, interferindo na medição da distância. Em função da rampa as velocidades obtidas foram de 1,66; 2,96 e 4,30m.s<sup>-1</sup> para aclives e 1,80; 3,11 e 4,53m.s<sup>-1</sup> para declives. Em ambas situações foi utilizada a mesma marcha e rotação.

O trabalho foi delineado em esquema fatorial (4 x 6), inteiramente casualizados, com 5 repetições, correspondentes aos seguintes fatores de variação: 4 sensores (2 sensores de radar, 1 sensor de GPS e 1 sensor óptico), 6 situações (solo coberto, asfalto, aclive, declive, aceleração e desaceleração), totalizando 24 tratamentos.

Para situação de solo coberto, o ensaio foi realizado em uma área em que havia sido colhido milho para silagem seis meses antes. A caracterização da cobertura vegetal foi determinada com auxílio de um gabarito (quadrado de ferro), nas dimensões de 0,50 x 0,50m, totalizando 0,25m<sup>2</sup> (área interna do gabarito). O quadro foi arremessado sobre a área, aleatoriamente, com três repetições. O material encontrado dentro do gabarito foi recolhido e secado em estufa para determinação da quantidade de matéria seca existente na área do ensaio. Durante o ensaio em solo com cobertura vegetal, evitou-se a repetição do tráfego do trator no mesmo percurso, a fim de se evitar a deformação da vegetação.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O material amostrado na área utilizada para o ensaio em solo coberto (restos culturais de milho, ervas daninhas e outros) apresentou cobertura de matéria seca de 271g.m<sup>-2</sup> (2710 Kg.ha<sup>-1</sup>).

A calibração dos sensores foi realizada com o intuito de aferir os dados obtidos nos manuais fornecidos pelos fabricantes com os obtidos na calibração e os resultados são apresentados na Tabela 1. Como era esperado, o sensor ótico, pela sua característica de coleta de dados resultou em menor desvio padrão, embora ainda elevado para as condições de controle estabelecidas e provavelmente causado por deslizamentos não previstos do rodado dianteiro do trator.

**TABELA 1-** Frequência de coleta de dados indicados pelos fabricantes dos sensores e número de pulsos por metro de deslocamento obtidos na calibração.

Sensores	Frequência	Calibração	
		Pulsos por metro	Desvio padrão
Sensor óptico	240 pulsos por volta	100,97	0,06
Radar Dickey John	*	97,62	0,26
Sensor GPS	100.000 pulsos por quilômetro	100,23	0,16
Radar Mid-Tech	*	119,31	0,25

\* Dado não disponível na literatura que acompanha o produto.

Os resultados comparativos dos sensores de velocidade para a condição de solo coberto são apresentados na Tabela 2.

**TABELA 2-** Velocidades médias observadas no ensaio realizado em superfície com cobertura vegetal e sob velocidade constante.

Sensor	Velocidade ( $m.s^{-1}$ )	
	Nominal	Média observada
Sensor óptico	0,62	0,62 a
Radar Dickey John		0,63 a
Sensor GPS		0,62 a
Radar Mid-Tech		0,63 a
Sensor óptico	1,70	1,69 a
Radar Dickey John		1,72 c
Sensor GPS		1,70 ab
Radar Mid-Tech		1,71 b
Sensor óptico	3,04	3,02 a
Radar Dickey John		3,07 a
Sensor GPS		3,03 a
Radar Mid-Tech		3,05 a
Sensor óptico	4,05	4,01 a
Radar Dickey John		4,09 c
Sensor GPS		4,03 ab
Radar Mid-Tech		4,04 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Observou-se ausência de diferença significativa nas velocidades indicadas pelos sensores nas velocidades de 0,62 e 3,04  $m.s^{-1}$ . Já nas velocidades de 1,70 e 4,05  $m.s^{-1}$ , o sensor óptico apresentou velocidade inferior quando comparado com os radares, não apresentando diferença significativa com o sensor de GPS. Nestas velocidades observou-se que o radar Dickey John resultou em velocidade indicada maior que o radar Mid-Tech, sendo que ambos apresentaram as maiores velocidades nestes dois tratamentos.

Os resultados apresentados nas Tabela 3, 4 e 5 são para as condições de velocidade constante em superfície asfáltica, aclive e declive, respectivamente. Nestas três situações não foi encontrada diferença significativa entre os sensores analisados. Para a condição de superfície asfáltica, em situações de aceleração e desaceleração, os resultados são apresentados na Tabela 6.

**TABELA 3-** Velocidades médias observadas no ensaio realizado em superfície asfáltica e sob velocidade constante.

Sensor	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	
	Nominal	Média observada
Sensor óptico		3,03 a
Radar Dickey John	3,03	3,03 a
Sensor GPS		3,03 a
Radar Mid-Tech		3,03 a
Sensor óptico		4,31 a
Radar Dickey John	4,31	4,31 a
Sensor GPS		4,31 a
Radar Mid-Tech		4,31 a
Sensor óptico		5,62 a
Radar Dickey John	5,63	5,61 a
Sensor GPS		5,61 a
Radar Mid-Tech		5,63 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

**TABELA 4-** Velocidades médias observadas no ensaio realizado em superfície asfáltica sob situação de aclave.

Sensor	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	
	Nominal	Média observada
Sensor óptico		1,65 a
Radar Dickey John	1,66	1,66 a
Sensor GPS		1,65 a
Radar Mid-Tech		1,65 a
Sensor óptico		2,94 a
Radar Dickey John	2,96	2,94 a
Sensor GPS		2,94 a
Radar Mid-Tech		2,95 a
Sensor óptico		4,28 a
Radar Dickey John	4,31	4,29 a
Sensor GPS		4,28 a
Radar Mid-Tech		4,29 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

**TABELA 5-** Velocidades médias observadas no ensaio realizado em superfície asfáltica sob situação de declive.

Sensor	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	
	Nominal	Média observada
Sensor óptico	1,80	1,80 a
Radar Dickey John		1,81 a
Sensor GPS		1,80 a
Radar Mid-Tech		1,81 a
Sensor óptico	3,11	3,11 a
Radar Dickey John		3,12 a
Sensor GPS		3,11 a
Radar Mid-Tech		3,13 a
Sensor óptico	4,53	4,53 a
Radar Dickey John		4,54 a
Sensor GPS		4,53 a
Radar Mid-Tech		4,54 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

**TABELA 6-** Velocidades médias observadas no ensaio realizado em superfície asfáltica sob situações de aceleração e desaceleração.

Sensor	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	
	Nominal	Média observada
Sensor óptico	1,23 - Aceleração	1,24 c
Radar Dickey John		1,21 b
Sensor GPS		0,72 a
Radar Mid-Tech		1,21 b
Sensor óptico	1,14 - Desaceleração	1,13 a
Radar Dickey John		1,16 b
Sensor GPS		1,34 c
Radar Mid-Tech		1,14 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Em superfície asfáltica e para a condição de aceleração, os sensores de radar não apresentaram diferença significativa na velocidade indicada, enquanto que o sensor de GPS apresentou erro na ordem de 41% inferior em relação à velocidade nominal. Na condição de desaceleração apenas o sensor óptico e sensor de radar Mid-Tech não apresentaram diferença significativa na velocidade indicada. O sensor de GPS apresentou velocidade média 18% superior em relação à velocidade nominal. Foi observado que o sensor de GPS apresentou um retardo na obtenção de velocidades na situação de aceleração e desaceleração e esta diferença pode estar relacionada ao processamento de dados que geram o sinal de velocidade por conta de seu algoritmo interno.

Sobre o solo com cobertura vegetal os sensores tipo radar demonstraram ser influenciados pela irregularidade na superfície. Já nas situações de mudanças bruscas de velocidade, como nos ensaios de aceleração e desaceleração, o sensor de GPS apresentou atraso na velocidade indicada, o que de alguma forma deve ser corrigido ou compensado para não comprometer significativamente a qualidade de operações dependentes da velocidade, especialmente nas bordas dos talhões, onde as máquinas apresentam mudanças acentuadas na velocidade em função de manobras.

## CONCLUSÕES

Para a condição de superfície asfáltica em situação de velocidade constante, os sensores avaliados não apresentaram diferença significativa entre si. Os sensores tipo radar foram influenciados pela cobertura vegetal. Sob superfície asfáltica em condições de acelerações e desacelerações o sensor de GPS apresentou tendência de retardo nos valores de velocidade quando comparado com os demais sensores.

## AGRADECIMENTOS

Ao Eng<sup>o</sup> Juarez Reno Amaral, ao técnico Áureo Oliveira e auxiliar Francisco de Oliveira pela colaboração; à Prof<sup>a</sup>. Dra. Sonia Maria Stefano Piedade pelas sugestões e auxílio no delineamento e análise estatística; à empresa Auteq pelo suporte para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNIASSI, U. R.; FIGUEIREDO, Z. N.; GADANHA JUNIOR, C. D. Avaliação de sensores de velocidade em função do tipo de superfície e direção de deslocamento do trator. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.21, n.1, p.74-81, 2001.
- BENEZ, S. H.; SILVA, S. de L.; PEREIRA, J. O.; RICIERI, R. P. Comparação de dois métodos de medição de velocidade de deslocamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000. Fortaleza. *Anais...* Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. 1 CD ROM.
- MOLIN, J.P. Agricultura de precisão - O Gerenciamento da Variabilidade, Piracicaba: o autor, 2001, 83p.
- TOMPKINS, F. D.; HART, W. E.; FREELAND, R. S.; WILKERSON, J. B.; WILHELM, L. R. Comparasion of tractor ground speed measurement techniques. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.31, n.2, p.369-74, 1988
- WERNECK, M. M. Transdutores de velocidade. In: *Transdutores e interfaces*. Rio de Janeiro: LTC – Livros técnicos e Científicos, p.119-34, 1996.