

QUANTIFICAÇÃO DE ERROS ENTRE PASSADAS DE UM CONJUNTO TRATOR-CARRETAS TRANSBORDO DURANTE A COLHEITA DA CANA DE AÇÚCAR

BRUNA PESSOA PASSALAUQA¹, JOSÉ PAULO MOLIN²

¹Tecnóloga em Mec. em Agricultura de Precisão, Pós-graduanda, ESALQ-USP, Piracicaba-SP, Fone: (19) 3447-8509, bpassalaqua@usp.br

²Engº. Agrícola, Professor Associado, Depto de Eng. de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, jpmolin@usp.br

Apresentado no

Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2016

Goiânia, Goiás, 4 a 6 de outubro de 2016

RESUMO: Em áreas de produção canavieira o tráfego na região das raízes deve ser evitado para proporcionar a integridade física da rebrota e a produtividade, o que exige exatidão no tráfego de máquinas. Essa necessidade tem impulsionado a adoção de sistemas de direção automática; sendo instalados com mais frequência nas colhedoras do que nos tratores de transbordo. Este trabalho avalia a ocorrência de erros entre passadas dos tratores e das carretas transbordos. Utilizou-se do sistema de colheita composto por um trator e duas carretas transbordos com três eixos, sendo todos equipados com receptores GNSS e sistema de correção tipo RTK. Os erros entre as passadas foram avaliados pela diferença da distância ortogonal entre os pontos de posição das antenas, no centro do trator e no centro do último eixo de cada carreta, em relação à linha referência. Produtores de cana-de-açúcar consideram que os erros devem estar abaixo de 0,1 m para evitar danos às soqueiras. Os resultados indicam erros acima do valor aceitável. Observou-se que nas áreas de relevo inclinado e com percursos curvos o erro de posição do rodado do terceiro eixo da última carreta de transbordo ultrapassa a distância de separação entre duas fileiras de cana.

PALAVRAS-CHAVE: GNSS, direcionamento automático, percursos

MEASUREMENT ERRORS BETWEEN PASSES OF A TRACTOR-WAGON SET DURING SUGARCANE HARVEST

ABSTRACT: In sugarcane production fields, traffic over the roots must be avoided to keep the physical integrity of regrowth and yield, which requires accuracy in machine traffic. This need has driven the adoption of automatic steering systems, which are settled up with more frequency on harvesters than tractors with sugarcane wagon, which travel over the ground in the same intensity. This work evaluates the occurrence of errors between tractors and sugarcane wagon accompanying harvesters. We used a combination of a tractor and two sugarcane wagons with three axes, all equipped with GNSS receivers with RTK correction system. The errors between rows was evaluated by the difference of the orthogonal distance between the position of the antennas in the center of the tractor and wagons and the reference line. Sugarcane producers consider that the errors should be below 0.1 m to prevent damage to the ratoon and the results indicate that the errors found on inclined areas with curved paths are above the acceptable value and the third axis of the last sugarcane wagon reach the row width.

KEYWORDS: GNSS, steering systems, track routes

INTRODUÇÃO: O sistema de produção canavieiro é dependente de sucessivos cortes e rebrotas da cana de açúcar, sobre as quais o tráfego de máquinas deve ser evitado (PAULA & MOLIN, 2013). Portanto, o tráfego de máquinas sobre áreas recém colhidas deve seguir de maneira exata as entrelinhas da cultura (BAIO, 2011). O espaçamento assimétrico das entrelinhas da cana-de-açúcar é o maior precursor dos danos de tráfego associados à colheita. A necessidade de exatidão no tráfego de máquinas impulsionou a adoção de sistemas de direção automática. A despeito da adoção desses sistemas esta ocorre com maior frequência nas colhedoras do que nos tratores com transbordos, os quais trafegam em igual intensidade no campo, porém resistem a adotar tal recurso,

ou quando o fazem, usam tecnologia com menor exatidão de posicionamento. Além disso, as carretas tendem a sofrerem desvios em percursos curvos e em terrenos inclinados, o que ocorre com frequência nas áreas produtoras (Backman et al., 2010). O desempenho dos sistemas de direcionamento automático é frequentemente associado aos erros transversais à trajetória (EASTERLY et al., 2010). O objetivo deste trabalho é quantificar a ocorrência de erros entre passadas durante o processo de colheita da cana de açúcar em relação ao percurso dos tratores acoplados à carretas de transbordo.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi realizado em áreas de produção de uma usina localizada no oeste do estado de São Paulo, com latitude de 20°45'20" S e longitude de 50°34'08" W, em solo argiloso e produtividade de cana de açúcar de 132 Mg ha⁻¹. As linhas de plantio foram previamente projetadas de acordo com o relevo do terreno. Foram utilizados três talhões no experimento: a área 1 com relevo plano e percurso retilíneo; a área 2 com o mesmo tipo de percurso, porém com inclinação de aproximadamente 9,8%; e a área 3 inclinada de 9,6% e percurso em curvas. Utilizou-se um trator modelo 6180J (John Deere, Montenegro, Brasil) com 132 kW e duas carretas de transbordo de três eixos TAC 14000 (Civemasa, Matão, Brasil). Tanto o trator, quanto cada uma das carretas estavam equipados com um receptor GNSS com sistema de correção tipo RTK para determinação de posicionamento instantâneo. As carretas de transbordo utilizaram os computadores do sistema de direcionamento automático para a coleta de sinal GNSS com sistema de correção tipo RTK. Na primeira carreta foi utilizado o modelo FMX® (Trimble, Sunnyvale, EUA) e na segunda carreta foi utilizado o modelo X30® (Topcon, Tóquio, Japão) e FMX® (Trimble, Sunnyvale, EUA). O trator dispunha de um sistema de direcionamento automático modelo AutoPilot (Trimble, Sunnyvale, EUA) com um receptor GPS AgGPS 262 e um controlador modelo AgGPS NavController II, com sistema de correção tipo RTK. A Figura 1 mostra a disposição das antenas e estas acopladas nas carretas transbordo e no trator.



FIGURA 1. Representação do esquema da disposição das antenas de GNSS no conjunto. **Schematic representation of the arrangement of GNSS antennas in the set.**

A velocidade média do conjunto foi de 1,25 m s⁻¹ (4,5 km h⁻¹). Foram coletadas linhas dentro de toda a extensão da área. A aquisição de dados foi realizada pelos monitores, de forma contínua e sem interrupções, com frequência de 0,5 Hz. A ordenação, as análises e a exportação de dados foram realizadas nos programas AutoCAD (Autodesk, San Rafael, EUA) e QGIS (Open Source Geospatial Foundation, Beaverton, EUA). Os erros entre as passadas foram avaliados pela diferença da distância ortogonal entre os pontos de posição das antenas, no centro do trator e de cada carreta e a linha referência planejada, utilizando o algoritmo desenvolvido por Spekken et al. (2014). Os erros obtidos foram analisados por estatística descritiva, obtendo-se o erro médio, mediana e o desvio padrão (σ) para o terceiro eixo de cada carreta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram os erros entre passadas para cada componente do conjunto (trator, carreta transbordo 1 e carreta transbordo 2) referente às três áreas experimentais. Produtores de cana-de-açúcar consideram que os erros em 2σ que indicam 95% de probabilidade de ocorrência, devem estar abaixo de 0,1 m para evitar danos à soqueira de cana. Os erros de alinhamento observados no eixo dianteiro do trator quando comparados com a trajetória projetada em A1, estão dentro do aceitável em terreno plano para os valores médios dos erros, no entanto, quando observado o valor para 2σ , este está 0,018 m acima do aceitável.

TABELA 1. Erros entre passadas do trator e de cada carreta transbordo no seu terceiro eixo para cada uma das áreas estudadas. **Errors between lines of tractor and each sugarcane wagon in its third axis for each of the areas studied.**

Análise	Terreno plano e percurso reto			Terreno declivoso e percurso reto			Terreno declivoso e percurso curvo		
	Trator	Eixo 3 Carreta 1	Eixo 3 Carreta 2	Trator	Eixo 3 Carreta 1	Eixo 3 Carreta 2	Trator	Eixo 3 Carreta 1	Eixo 3 Carreta 2
N	836	800	813	1280	1200	1290	1600	2103	2334
Erro mínimo (m)	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,054	0,001	0,001
Erro máximo (m)	0,177	0,484	0,590	0,699	0,997	1,330	1,490	1,483	1,496
Média (m)	0,083	0,109	0,129	0,426	0,473	0,521	0,447	0,533	0,549
CV (%)	61,57	72,14	75,97	40,94	54,41	42,13	52,57	68,11	82,45
Desvio padrão (m)	0,051	0,079	0,098	0,174	0,236	0,329	0,270	0,300	0,353
2σ (m)	0,185	0,267	0,326	0,775	0,943	1,178	0,919	1,133	1,255

N - Número de pontos coletados; CV (%) - Coeficiente de variação; 2σ - 95% de probabilidade de erro

Com base nestes dados, gerou-se os gráficos de frequência acumulada (probabilidade) dos erros para cada uma das situações (Figura 2).

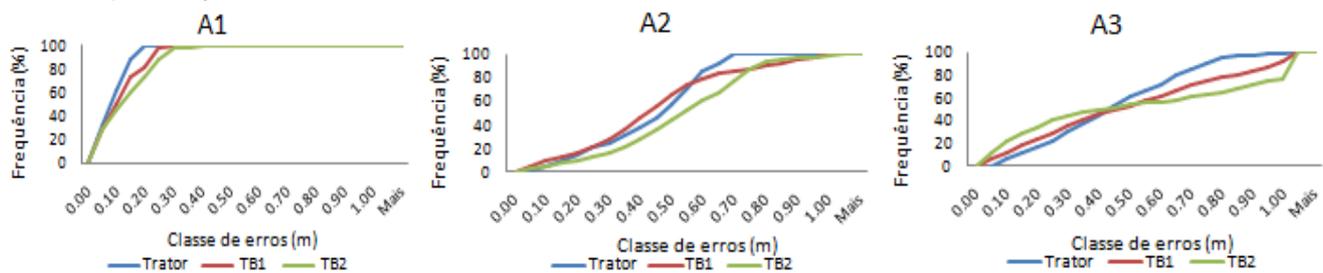


FIGURA 2. Probabilidade de ocorrência dos erros para cada parte do conjunto trator e carreta transbordo para a terreno plano e percurso reto (A1), terreno declivoso e percurso reto (A2) e terreno declivoso e percurso curvo (A3). **Probability of occurrence the error for each of the tractor and sugarcane wagon on flat terrain and straight path (A1), sloping terrain and straight path (A2) and sloping terrain and curved path (A3).**

Porém, esses valores dos erros passam a se acentuar conforme a mudança de relevo (A2) e de percurso (A3), chegando a aumentos de 7,75 e 9,19 vezes acima do aceitável para as áreas respectivamente. Em relação aos erros dos transbordos, verifica-se que em todos os tratamentos os valores estão acima do aceitável. Além disso, estes valores também se acentuam conforme se altere o tipo de percurso e relevo. Observa-se também que os valores do eixo 3 na carreta 2 são sempre superiores em relação aos valores encontrados no eixo 3 da carreta 1. Em A3, com terreno inclinado e trajetória curva, os valores de erros no terceiro eixo da última carreta de transbordos são da ordem de 1,155 m acima do aceitável, praticamente sobre a linha de cana adjacente. Para a área de relevo plano e percurso reto, esse valor é de 0,226 m, já sobre a soqueira de cana.

TABELA 2. Desvios médios relativos entre os eixos. **Relative average deviations among axels.**

Áreas	Erros entre as partes do conjunto (m)				
	Trator - referência	Carreta 1 - trator	Carreta 2 - carreta 1	Carreta 2 - trator	Carreta 2 - referência
Terreno plano e percurso reto	0,185	0,082	0,059	0,141	0,326
Terreno declivoso e percurso reto	0,775	0,168	0,235	0,403	1,178
Terreno declivoso e percurso curvo	0,919	0,214	0,214	0,336	1,255

Observou-se que os maiores desvios ocorreram em terreno inclinado e nesse caso os erros são maiores em percursos curvos, pois as carretas de transbordo têm a tendência de diminuir o raio de curvatura. Estudo realizado por Backman et al. (2010) mostra que em percursos curvos as carretas tendem a sofrer desvios em relação à trajetória do trator, aumentando com a inclinação do terreno. Braunbeck & Oliveira (2006) abordaram

esse fato mostrando que os veículos de pneus retratam uma tendência de deslocamento lateral, no sentido da declividade do terreno.

CONCLUSÃO: Os desvios encontrados para o trator estão acima do valor aceitável em todos os cenários avaliados, porém com valores mais próximos para o terreno plano com percurso reto e mais elevados em terrenos declivosos e percursos curvos. Quando observado o último eixo da segunda carreta o desvio reflete, em seu pior cenário, a sua passagem sobre a soqueira da fileira adjacente, com erro ultrapassando a distância de separação entre duas fileiras de cana. Observa-se que valores de erros acima do aceitável são encontrados também para o eixo dianteiro do trator.

AGRADECIMENTOS: A CAPES (Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior) pela bolsa do primeiro autor e a Fundação "Shunji Nishimura" pelo empréstimo de equipamento de GNSS.

REFERÊNCIAS:

- BACKMAN, J., OKSANEN, T., VISALA, A. Nonlinear model predictive trajectory control in tractor-trailer system for parallel guidance in agricultural field operations. In: IFAC CONFERENCE IN MODELLING AND CONTROL IN AGRICULTURE, HORTICULTURE AND POST-HARVEST PROCESSING - AGRICONTROL, 3., 2010, Kyoto. *Anais...* Kyoto: 2010. p. 133-138.
- BAIO, F. H. R., MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** (Impresso), v. 31, n. 2, p. 367-375, 2011.
- BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p.300-308, 2006.
- EASTERLY, D. R., ADAMCHUK, V. I., KOCHER, M. F., HOY, R. M. Using a vision sensor system for performance testing of satellite-based tractor auto-guidance. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 72, n. 2, p. 107-118. 2010.
- PAULA, V. R. de; MOLIN, J. P. Assessing damage caused by accidental vehicle traffic on sugarcane ratoon. **Engineering in Agriculture**, v. 29, n.2, p. 161-169, 2013.
- SPEKKEN, M.; SALVI, J. V.; MOLIN, J. P. **A method to evaluate paralelism for machine logged positions.** In: International Conference on Robotics and Associated High-Technologies and Equipament for Agriculture and Forestry (RHEA), 2, 2014, Madri. *Anais...* Madri: 2014. p. 227-237.