

DESEMPENHO OPERACIONAL DE CONJUNTO TRATOR-RECOLHEDORA DE FEIJÃO¹

RICARDO F. GARCIA², DANIEL M. DE QUEIROZ³, HAROLDO C. FERNANDES³,
LUIZ A. PETERNELLI⁴

RESUMO: Estudos sobre a otimização do processo de colheita de grãos, dentre os quais, os de feijão, têm sido realizados pelo desenvolvimento e aperfeiçoamento de máquinas agrícolas, com a finalidade de aumentar o desempenho operacional, tornando-as mais eficientes e seguras, bem como aumentar a qualidade dos grãos colhidos. A avaliação do desempenho operacional de uma máquina viabiliza o seu emprego de forma técnica e economicamente organizada. Diante disso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho operacional de um conjunto trator-recolhedora de feijão. Foi utilizado um sistema de aquisição automática de dados, o que permitiu a coleta de dados, em tempo real, incluindo torque requerido e rotação da tomada de potência (TDP), e velocidade de deslocamento da recolhedora de feijão. Foram determinadas, também, a capacidade de processamento da máquina e as perdas ocorridas na área. O maior valor de torque requerido na TDP observado, durante ensaios de campo para a rotação de 7 Hz na TDP, foi de 731 Nm, enquanto, para a condição de 9 Hz, foi de 907 Nm. O conjunto apresentou, durante os ensaios de campo, capacidade média de processamento de 0,85 kg s⁻¹, para área com produtividade média de 0,22 kg m⁻². O produto foi colhido com umidade média de 13,6% b.u. em área de plantio direto e, nessas condições, o valor de perda encontrado totalizou 11,15%.

PALAVRAS-CHAVE: aquisição de dados, LabVIEW, mecanização.

EVALUATING THE OPERATIONAL PERFORMANCE OF A TRACTOR-HARVESTER SYSTEM FOR BEANS

ABSTRACT: The beans harvesting system has been optimized by improving the mechanisms and the machines used. The objectives of the optimization works have been studied to increase the performance, efficiency and safety of the machines and to get better product quality. The objective of this work was to evaluate the operational performance of a tractor-harvester system for beans. The work was done using an automatic data acquisition system to acquire the torque and rotational velocity of the power take-off (PTO) and the system velocity. The processing capacity and the loss values were determined. The largest torque requirement, at 7 Hz PTO conditions, was 731 Nm, and the largest torque requirement, at the 9 Hz PTO conditions, was 907 Nm. The tractor-harvester system for beans showed, during field tests, a mean processing capacity of 0.85 kg s⁻¹ for a production field condition of 0.22 kg m⁻². The product was harvested at 13.6% moisture basis at a no-till area. At these conditions, it was found a total loss of 11.15%.

KEYWORDS: data acquisition, LabVIEW, mechanization.

¹ Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor.

² Eng^o Agrícola, Prof. Associado, Laboratório de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes - RJ, Fone: (0XX22) 2726.1543, garcia@uenf.br.

³ Eng^o Agrícola, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG.

⁴ Eng^o Agrônomo, Prof. Adjunto, Departamento de Informática, Setor de Estatística, UFV, Viçosa - MG.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 15-10-2002

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 21-2-2005

INTRODUÇÃO

O Brasil é grande produtor de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), tanto em produção como em área cultivada, atingindo na safra 2001-2002, segundo dados da CONAB, 3,26 milhões de toneladas, com área cultivada de 4,21 milhões de hectares (BRASIL, 2002).

Durante o ciclo da cultura do feijão, são adotadas práticas que visam à obtenção de um produto final de alto valor comercial. A colheita, etapa final da condução da cultura, se não for bem conduzida, poderá invalidar esforços e insumos aplicados nas fases anteriores, comprometendo a qualidade e a conservação dos grãos (EMBRAPA, 1980).

Segundo EMBRAPA (1980) e EMBRAPA (1994), a quase totalidade dos agricultores utiliza a prática de colheita manual, que consiste em arrancar as plantas inteiras quando elas se encontram quase despidas de folhas. As plantas arrancadas são transportadas para um terreiro onde permanecem para secar e, em seguida, é feita a trilha, utilizando-se de bateção manual ou mecânica.

A mecanização do processo de colheita do feijão implica economia de tempo e energia, além de eliminar uma árdua tarefa. Além disso, a colheita consiste em cerca de 60% dos custos de todo o ciclo produtivo (ROBLES et al., 1997). Esse processo consiste em arrancar manualmente ou mecanicamente o feijão e deixá-lo secar naturalmente no campo. Posteriormente, utiliza-se de máquina recolhadora acionada por trator que recolhe, trilha e limpa o feijão.

A realização de estudos voltados para o conhecimento do desempenho dos sistemas que englobam uma atividade agrícola, como a colheita, é importante para propor melhorias nas máquinas (SOUZA, 2001a). Estudos sobre a otimização do processo de colheita de grãos, dentre os quais o de feijão, têm sido realizados por meio do desenvolvimento e aperfeiçoamento de mecanismos e máquinas, melhorando seu desempenho operacional, tornando-os mais eficientes e seguros. Busca-se, além disso, a melhoria da qualidade dos grãos colhidos e a redução das perdas ocorridas durante o processo de colheita mecânica.

Devido à necessidade de conhecer o desempenho de máquinas destinadas à colheita (recolhimento) de feijão, aliada à importância da cultura para o Brasil, autores têm trabalhado avaliando o desempenho. SOUZA (2001a) avaliou o desempenho de uma recolhadora de feijão, estudando as exigências energéticas, a capacidade de processamento, as perdas ocasionadas no processo de colheita e a qualidade do produto colhido. O autor implementou modelo matemático de simulação da trilha e separação mecânica da recolhadora, validando-o por meio da comparação entre resultados simulados com resultados obtidos experimentalmente. SOUZA (2001b), também trabalhando com colheita mecanizada do feijão, avaliou o desempenho de uma recolhadora de feijão na região da Zona da Mata de Minas Gerais. O autor observou, em testes de desempenho, a melhor capacidade de recolhimento de 2,77 t h⁻¹, inclinação-limite do terreno para tráfego com estabilidade transversal do conjunto trator-recolhedora de 31% e níveis de ruído superiores ao limite diário estabelecido por normas.

Atualmente, os agricultores trabalham diante de problemas como a elevação dos custos de produção e queda dos preços do mercado. Como resultado, precisam de todas as vantagens a fim de produzir safras de forma eficiente com baixos custos. Embora os agricultores não possam controlar todas as variáveis que influenciam nos custos de produção, existem algumas que podem ser controladas e aperfeiçoadas. Uma delas é a operação e o manejo das máquinas agrícolas como a seleção adequada do conjunto trator-máquina agrícola (GREEN et al., 1985).

É importante conhecer a capacidade da máquina a fim de selecionar a potência e os equipamentos que desempenharão as operações de campo em tempo hábil, mas é também importante evitar custos adicionais de máquinas superdimensionadas.

Diante disso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho operacional de um conjunto trator-recolhedora de feijão, determinando-se as características operacionais, dinâmicas e de manejo do conjunto durante a operação de colheita.

MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação do desempenho do conjunto trator-recolhedora de feijão, durante operação de colheita, foi realizada na Área Experimental da Epamig e no Laboratório de Automação Agropecuária da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas - MG. A cultura de feijão, da variedade Pérola, para a qual o conjunto trator-recolhedora foi avaliado, foi cultivada em área de plantio direto e apresentava 12 a 13 sementes por metro, espaçamento entre linhas de 0,5 m, umidade média dos grãos de 13,6% b.u., relação de massa de palha/massa de grãos de 0,82 e relação de massa/volume de palha de 14,7 kg m⁻³.

No ensaio de campo, foram utilizados um trator Massey Ferguson, modelo MF 620 4x2, equipado com tração dianteira auxiliar, com potência do motor na rotação nominal (36,7 Hz) de 77,2 kW (105 cv), de acordo com o fabricante, e uma recolhedora de feijão modelo Double Master, fabricada em 1996 pelas Indústrias Reunidas Colombo Ltda. A máquina recolhedora apresenta as seguintes características técnicas, segundo o fabricante: potência mínima do trator para acionamento de 88 kW; rotação nominal de trabalho de 9 Hz, e capacidade de produção estimada até 30 t dia⁻¹.

Sistema de aquisição automática de dados

A aquisição automática de dados envolveu um torquímetro Omega, modelo TQ501-10K, com capacidade de 1130 Nm e 100 Hz; sensor tipo indutivo Sense, modelo PS5-18GI50-E, e radar Dickey-John, modelo RVSII. Foi utilizado, ainda, um computador portátil Compaq, modelo Presario, para aquisição, processamento e armazenamento de dados e equipamentos de aquisição National Instruments.

Utilizando o programa de computador LabVIEW, versão 6i, da National Instruments, um instrumento virtual para aquisição automática de dados foi desenvolvido para coletar, processar e armazenar dados provenientes dos sensores instalados no conjunto trator-recolhedora de feijão. O sistema de aquisição automática de dados, depois de implementado, foi testado preliminarmente com os sensores previamente calibrados em laboratório. Após o ensaio preliminar, o sistema de aquisição automática de dados foi montado na recolhedora, com a finalidade de avaliar seu desempenho durante operação de colheita.

O torquímetro foi montado entre a árvore secundária de acionamento da recolhedora e a árvore do cilindro trilhador da recolhedora. O sensor indutivo foi montado na árvore de acionamento primária da recolhedora, e o sensor de velocidade foi montado na lateral do trator, na estrutura da escada de acesso do operador.

Dados do torque requerido e rotação da TDP e velocidade de deslocamento do conjunto foram coletados em tempo real por meio do torquímetro, sensor indutivo e de velocidade, respectivamente. O conjunto foi ensaiado sob diferentes condições de operação, com velocidades de deslocamento de 1,11; 1,94 e 2,78 m s⁻¹, número de linhas de feijão na leira colhida de 4; 7 e 10 leiras e rotação da TDP de 7 e 9 Hz. Foi montado um experimento em esquema fatorial de 3x3x2, com três velocidades, três linhas e duas rotações, instalado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Cada tratamento foi realizado em linha de 50 m de comprimento. Os dados obtidos foram submetidos às análises de regressão linear simples e múltipla, e os modelos foram selecionados com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se do teste t, a 5%, e o coeficiente de determinação.

Avaliação do desempenho operacional do conjunto trator-recolhedora de feijão

Na avaliação do desempenho operacional do conjunto trator-recolhedora de feijão, foram determinadas as características operacionais, dinâmicas e de manejo que representavam o comportamento do conjunto trator-recolhedora durante a operação.

A potência requerida na TDP foi calculada a partir dos dados coletados de torque requerido e a rotação da TDP, conforme a eq.(1).

$$P_{tdp} = 2 \pi T n \quad (1)$$

em que,

P_{tdp} - potência requerida na TDP, W;

T - torque requerido na TDP, Nm, e

n - rotação da TDP, Hz.

A capacidade efetiva do conjunto trator-recolhedora foi determinada medindo-se a produção da máquina por unidade de tempo, não levando em consideração os tempos perdidos com manobras de cabeceira, descarregamento, manutenção, etc.

A avaliação de perda de grãos foi realizada por meio de amostragens, durante os ensaios, quando foi recolhido o material perdido em vários setores da máquina. A massa obtida foi convertida em perda por unidade de área (kg m^{-2}), tendo sido realizadas cinco repetições para cada condição.

A taxa de alimentação total estimada (palhas e grãos) para a recolhedora foi calculada em função do número de linhas enleiradas, espaçamento entre as linhas, velocidade da recolhedora, produtividade do feijão e da relação entre a massa de palha e de grão da cultura [eq.(2)].

$$q = P_a n e v (1 + x) \quad (2)$$

em que,

q - taxa de alimentação total estimada da recolhedora, kg s^{-1} ;

P_a - produtividade média de toda área colhida, kg m^{-2} ;

n - número de linhas enleiradas, adimensional;

e - espaçamento entre linhas, m;

v - velocidade de deslocamento, m s^{-1} , e

x - relação, em massa, de palha e grão, adimensional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de estudar a relação da potência requerida na TDP, em função das variáveis número de linhas na leira, velocidade de deslocamento e rotação da TDP, foi realizada análise de regressão linear desses parâmetros. O modelo estatístico que melhor descreveu o comportamento da potência requerida na TDP, em função das variáveis monitoradas com leiras de 4; 7 e 10 linhas de feijão, velocidade de deslocamento de 1,11; 1,94 e 2,78 m s^{-1} e rotação da TDP de 7 e 9 Hz, é representado pela eq.(3).

$$\hat{P}_{req} = -15,864 + 0,746 L + 3,737 V + 2,520 R \quad R^2 = 0,66 \quad (3)$$

em que,

\hat{P}_{req} - potência requerida na TDP, kW;

L - número de linhas na leira, adimensional;

V - velocidade de deslocamento, m s^{-1} , e

R - rotação da TDP, Hz.

A potência requerida na TDP é diretamente proporcional ao número de linhas na leira e velocidade de deslocamento, fatores esses que determinam a taxa de alimentação total de grãos e a rotação da TDP, que também foi observado por SOUZA (2001a).

O modelo que melhor descreveu a relação entre a taxa de alimentação total e o torque requerido na TDP, para as rotações de 7 e 9 Hz, pode ser representado por um comportamento linear por meio da eq.(4).

$$\hat{T}_{\text{req}} = 150,103 + 80,528 q \quad R^2 = 0,60 \quad (4)$$

em que,

\hat{T}_{req} - torque requerido na TDP, Nm, e

q - taxa de alimentação total da máquina, kg s^{-1} .

As condições de trabalho variaram continuamente durante os ensaios. As variações de taxa de alimentação total estimada, rotação, torque e potência requeridas na TDP, em função do tempo, para um ensaio realizado com tratamento de 10 linhas na leira, velocidade de deslocamento de $2,78 \text{ m s}^{-1}$ e rotação da TDP de 9 Hz, são apresentadas nas Figuras 1; 2; 3 e 4, a título de exemplo.

Analisando a Figura 1, observa-se queda de taxa de alimentação total estimada dentro da faixa ensaiada, aproximadamente aos 16 s. Esse fato pode ser atribuído, em parte, à desuniformidade da leira e/ou à queda instantânea de velocidade de deslocamento do conjunto trator-recolhedora provocada pelo aumento repentino da resistência oferecida pelo volume de produto colhido aos órgãos internos da máquina, reduzindo a rotação de funcionamento da máquina e do trator.

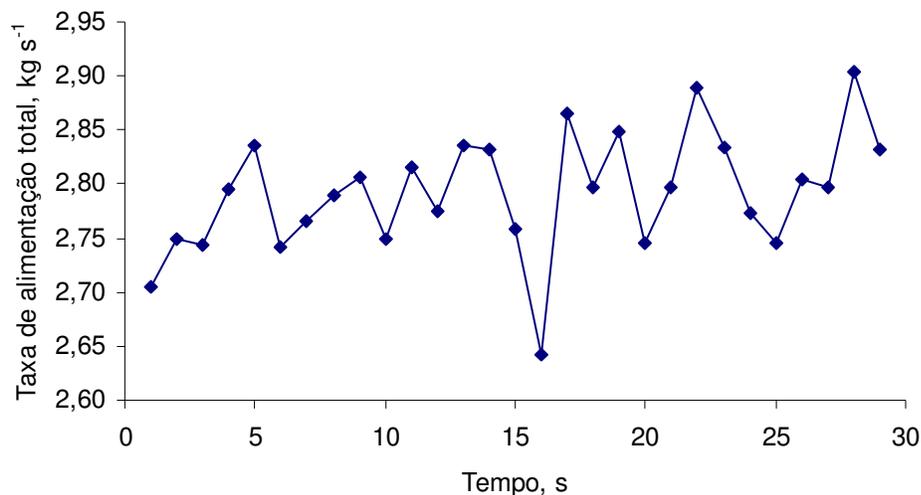


FIGURA 1. Variação da taxa de alimentação total estimada da recolhedora de feijão em função do tempo, durante ensaio com tratamento de dez linhas na leira, velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$ e rotação da TDP de 9 Hz.

Analisando a Figura 2, observa-se grande variação da rotação do motor, fato ocasionado pela variação constante da taxa de alimentação, em decorrência da variabilidade do material contido em leiras e velocidade de deslocamento.

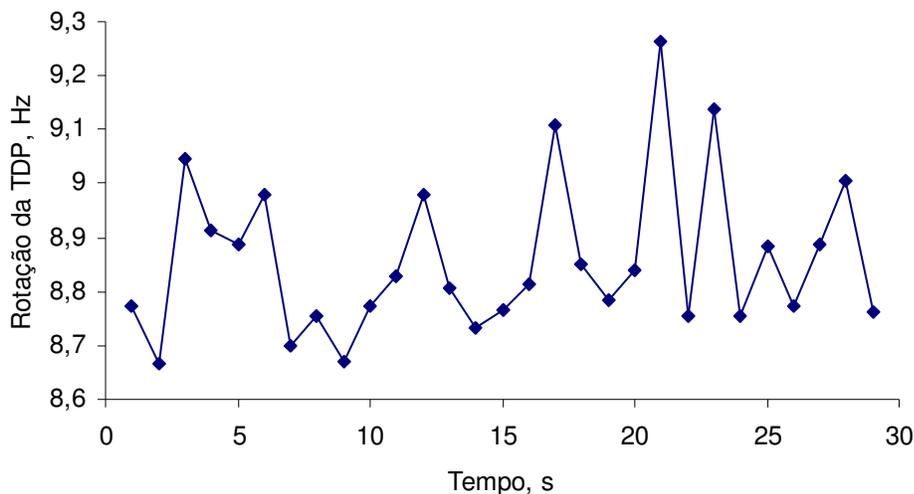


FIGURA 2. Variação da rotação da TDP, em função do tempo, durante ensaio com tratamento de dez linhas na leira, velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$ e rotação da TDP de 9 Hz.

Já com relação às Figuras 3 e 4, observam-se variações de torque e potência requeridas na TDP [eq.(1)]. Os baixos valores de torque e potência observados decorrem do fato de a recolhedora ter iniciado cada tratamento com seus sistemas de recolhimento, trilha, separação e limpeza, e elevação do produto ao graneleiro vazios. O incremento gradual, atingindo o valor máximo no tratamento, ocorreu devido ao enchimento repentino dos sistemas de trilha, separação e limpeza do produto colhido, à medida que a recolhedora avançava ao longo da leira, recolhendo o produto. Atingido o valor máximo, quando todos os sistemas realizavam suas funções carregados de palhada e grãos, observou-se tendência de estabilização e declínio do torque e potência requeridos na TDP até o final do tratamento. Esse fato ocorreu devido ao início da descarga do material, que não os grãos, para fora da máquina e da elevação dos grãos beneficiados ao graneleiro, reduzindo, assim, o volume de material presente nos órgãos internos e a resistência oferecida pelo sistema.

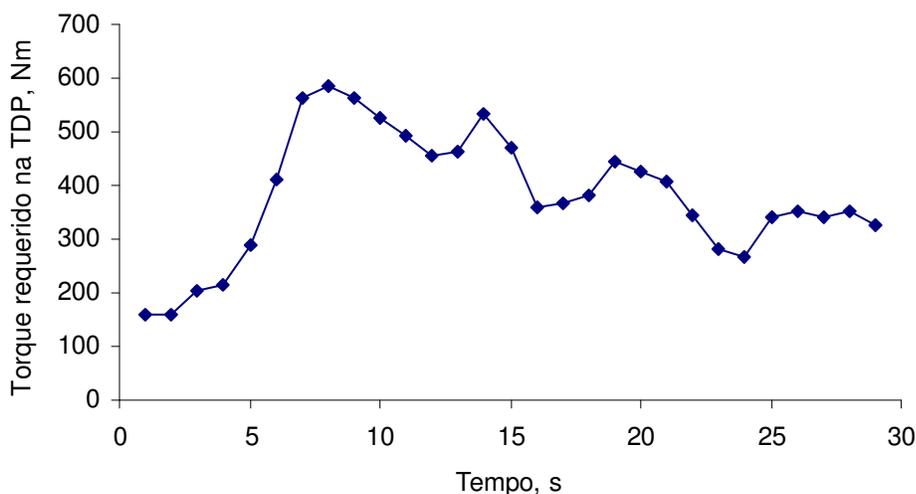


FIGURA 3. Variação do torque requerido na TDP, em função do tempo, durante ensaio com tratamento de dez linhas na leira, velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$ e rotação da TDP de 9 Hz.

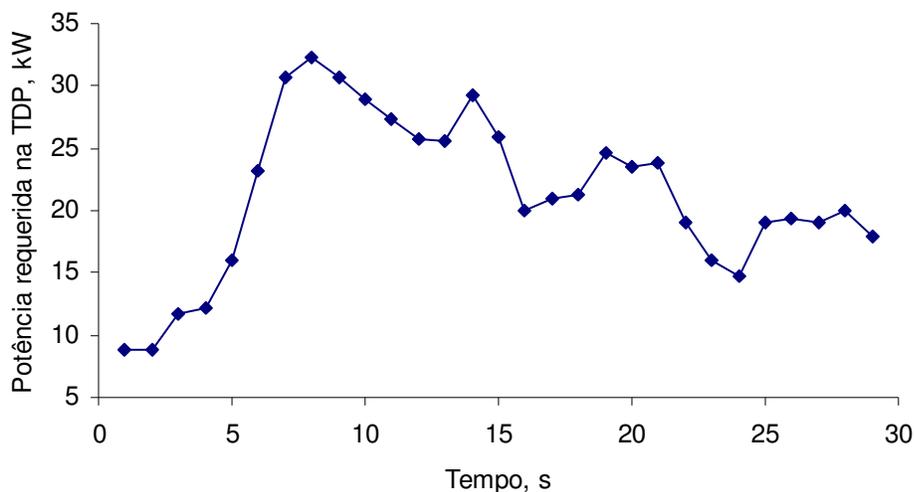


FIGURA 4. Variação da potência requerida na TDP, em função do tempo, durante ensaio com tratamento de dez linhas na leira, velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$ e rotação da TDP de 9 Hz.

O maior valor de torque requerido na TDP, observado durante os ensaios de campo para a rotação de 7 Hz na TDP, foi de 731 Nm para a condição de sete linhas na leira e velocidade teórica de $2,78 \text{ m s}^{-1}$, resultando em potência requerida na TDP de 27 kW. Para a rotação de 9 Hz, o maior valor de torque requerido na TDP foi de 907 Nm, para a condição de dez linhas na leira, e velocidade teórica de $1,94 \text{ m s}^{-1}$, resultando em potência requerida na TDP de 48 kW.

Observou-se que a potência mínima requerida pela recolhedora de feijão, declarada pelo fabricante da recolhedora como sendo 88 kW, foi maior que a potência do motor do trator, declarada pelo fabricante como sendo 77 kW. Nas condições da realização do ensaio, observou-se que a demanda de potência da recolhedora, declarada pelo fabricante, foi superior à máxima exigida.

O conjunto trator-recolhedora apresentou, durante os ensaios de campo, capacidade média de processamento de colheita de grãos de $0,85 \text{ kg s}^{-1}$, para área com produtividade média de $0,22 \text{ kg m}^{-2}$. A capacidade de processamento encontrada foi considerada boa, uma vez que a capacidade de processamento estimada pelo fabricante é de $0,35 \text{ kg s}^{-1}$.

Observou-se que os valores médios de perdas naturais, somados aos de arranquio e enleiramento, foram inferiores a 0,1%, sendo ignorados por não serem significativos.

Durante a colheita do feijão com umidade de 13,6% b.u., cultivado em área de plantio direto, observou-se que, para os sistemas da plataforma de recolhimento, trilha e separação, e limpeza as perdas encontradas foram de $1,15 \times 10^{-2}$; $7,21 \times 10^{-3}$ e $9,11 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-2}$, respectivamente, totalizando 11,15% de perdas. Tal valor de perdas é considerado elevado em relação ao nível aceitável, o qual deve ser entre 3 a 5%, segundo GRIFFIN (1991), e ocorreu em função da baixa velocidade média de deslocamento durante a operação de colheita que, segundo SOUZA (2001a), afeta a perda de modo inversamente proporcional para mesmo número de linhas na leira, e em função da baixa umidade relativa dos grãos que, segundo SOUZA (2001 b), afeta a perda na plataforma de modo inversamente proporcional para mesma velocidade de deslocamento.

CONCLUSÕES

Pode-se sugerir que se evite colher o produto em velocidade e umidade baixa de forma a reduzir as perdas observadas.

A demanda de potência da colhedora, declarada pelo fabricante, foi superior à máxima observada. Por esse motivo, concluiu-se que a potência requerida, declarada pelo fabricante, está superestimada, uma vez que o trator utilizado no ensaio conduziu o experimento sem problemas. Pode-se, então, utilizar um trator de menor potência disponível do que a potência requerida pela colhedora, indicada por seu fabricante, dependendo das condições de campo.

O conjunto trator-colhedora apresentou, durante os ensaios de campo, capacidade média de processamento de colheita de grãos de $0,22 \text{ kg m}^{-2}$, para área com produtividade média de $0,22 \text{ kg m}^{-2}$. A capacidade de processamento observada foi considerada boa pelo fato de considerar apenas o tempo operacional efetivo.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento. *Política Agrícola - SAFRA*. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/politica_agricola/safra/avalia.html>. Acesso em : 15 jan. 2002.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. *Aspectos técnicos e econômicos da colheita mecânica e manual do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. Goiânia: EMBRAPA/CNPAP, 1980. 14 p. (Circular Técnica, 2).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. *Colheita mecanizada do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. Goiânia: EMBRAPA/CNPAP, 1994. 27 p. (Boletim de Pesquisa, 8).
- GREEN, M.K.; STOUT, B.A.; SEARCY, S.W. Instrumentation package for monitoring tractor performance. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.28, n.2, p.346, 1985.
- GRIFFIN, G.A. *Combine harvesting: operating maintaining and improving efficiency of combines*. 4th ed. Moline: Deere & Company Service Publications, 1991. 207 p. (Fundamentals of Machine Operation)
- ROBLES, C.J.F.; SAÚL, T.P.; ALBERTO, V.P.C.; JUAN, S.C. Diseño de una máquina cosechadora de frijol. *Memoria del Congreso Nacional*, Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola, v.7, p.99, 1997.
- SOUZA, C.M.A. *Avaliação e simulação do desempenho de uma colhedora de fluxo axial para feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. 2001. 113 f. Dissertação (Mestrado em Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2001a.
- SOUZA, L.H. de. *Avaliação do desempenho de uma colhedora-trilhadora de feijão (Phaseolus vulgaris L.) na Zona da Mata de Minas Gerais*. 2001. 58 f. Dissertação (Mestrado em Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2001b.