



## PERFIL DE CARGA DO MOTOR DE COLHEDORAS DE CANA-DE AÇÚCAR ANTES E APÓS ADEQUAÇÕES

Lucas Villela Rosa<sup>1</sup>, Murilo Aparecido Voltarelli<sup>2</sup>, Antônio Tassio Santana Ormond<sup>3</sup>, Rouverson Pereira da Silva<sup>4</sup>, Tiago de Oliveira Tavares<sup>3</sup>

**RESUMO:** O monitoramento do desempenho das colhedoras de cana-de-açúcar ao longo da colheita torna-se essencial para garantir o seu funcionamento e para determinar as adequações do produto para melhor otimizar a operação. Neste sentido, objetivou-se neste trabalho avaliar o perfil de carga do motor de colhedoras de cana-de-açúcar por um determinado período antes e após a adequação do produto às normas do fabricante. O experimento foi realizado utilizando-se quatro colhedoras, sendo os dados coletados pela rede de interconexões entre as diferentes partes da colhedora, podendo ser caracterizados com módulos atuantes durante a coleta de dados. As análises foram baseadas em dois momentos distintos: 0 a 23 dias sem adequação do produto e 25 a 48 dias com a adequação do produto as normas do fabricante. Foi realizada a análise de variância aplicando-se o teste F de Snedecor, com nível de significância de 1%, para se verificar a existência ou não de diferenças antes e após as adequações. A adequação das colhedoras para a operação de colheita em virtude dos fatores estabelecidos pelos fabricantes torna-se fundamental para a otimização do processo. A colhedora 3 trabalhou 36% do tempo com perfil de carga do motor superior a 90%, podendo resultar na não utilização do *Fieldcruise* e no aumento do consumo horário de combustível por atuar próximo a faixa de rotação de potência máxima.

**PALAVRAS CHAVE:** Máquinas agrícolas, mecanização, otimização.

## LOAD PROFILE OF SUGARCANE HARVESTERS MOTORS BEFORE AND AFTER ADEQUACY

**ABSTRACT:** The sugarcane harvester performance monitoring is essential to ensure its operation and determine the adequacy of the product to optimize the operation. In this sense, the aimed of this study was to evaluate the sugarcane harvester engine load profile for a certain period of time before and after the adequation of the product to the manufacturer's standards. The experiment was conducted using four harvesters, and the data was collected by the network of interconnections between different parts of the harvester that could be characterized with active modules during data collection. The analysis were based on two distinct periods: 0-23 days before the suitability of the product and 25 to 48 days after the suitability of the product to the manufacturer's standards. Analysis of variance were performed by applying the F Snedecor test with 1% significance level, to verify the existence of differences between both periods. The harvester's adequacy to those established by the manufacturers is fundamental for the process optimization. The harvester number 3 worked 36% of the time with the motor load profile higher than 90% what may result in the use of the *Fieldcruise* and increased fuel consumption per hour.

**KEYWORD:** Agricultural machinery, mechanization, optimization.

### 1 INTRODUÇÃO

Com a mudança gradativa que ocorre para o sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, torna-se comum pensar em melhores meios de utilização das colhedoras, de forma que a operação possa ser realizada com a maior

eficiência de tempos (SANTOS et al., 2014). Um dos principais fatores que tem levado para a adoção da colheita mecanizada de cana crua é redução do custo com as operações, podendo assim haver uma maior participação econômica nos estados produtores (REIS et al., 2015).

À medida que a tecnologia avança, informações mais confiáveis estão sendo incorporadas aos sistemas inteligentes de veículos agrícolas, exigindo que as informações de controle sejam rapidamente tratadas para garantir uma resposta confiável e rápida do sistema (BALDO et al., 2012). Neste sentido, o monitoramento

<sup>1</sup> Mestre em Agronomia, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal, SP. email: lucasvillelarosa@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG. email: voltarelli@ufv.br

<sup>3</sup> Doutorando em Agronomia, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal, SP. email: tassiormond@gmail.com; tiagooolitavares@hotmail.com

<sup>4</sup> Prof. Dr., Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal, SP. email: rouverson@fcav.unesp.br

em tempo real de variáveis, referentes ao motor da colhedora, deve ser realizado com precisão, pois as variáveis são em maior parte mensuradas por sensores alocados em pontos específicos do motor (VOLTARELLI et al., 2013).

O correto funcionamento das partes móveis dos motores, associado aos seus componentes eletrônicos vem a ser essencial para o monitoramento de variáveis que incrementam qualidade e melhor desempenho a operação (BAIO, 2012). Porém, para que esta operação obtenha a qualidade requerida torna-se fundamental adequá-la aos parâmetros pré-estabelecidos pelo fabricante, ou seja, aos limites específicos, para se obter o maior aproveitamento do sistema (VOLTARELLI et al., 2013).

Neste sentido, as curvas características do motor representam o torque (N m), a potência utilizada (kW), o consumo específico ( $\text{g kWh}^{-1}$ ) e horário de combustível ( $\text{L h}^{-1}$ ) (LOPES et al., 2003). À medida que se aumenta a rotação do motor, o torque aumenta até seu limite de rotação e, em seguida, tende a diminuir. Por outro lado, a potência aumenta (até a rotação de potência máxima), o consumo específico de combustível atinge a faixa de consumo mínimo e, posteriormente, ultrapassa-o, causando incremento no consumo de combustível (MIALHE, 1980). A previsão de consumo de combustível e potência no motor em diversas operações se torna muito importante, pois as mesmas podem refletir nos custos de produção (SHIN et al., 2012), refletindo conseqüentemente no dimensionamento das operações agrícolas.

Diante o exposto, pressupondo que durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar possa haver variação do perfil de carga do motor no decorrer da operação em virtude do fluxo de material colhido e dos tempos de deslocamento e ociosidade, objetivou-se neste trabalho avaliar o perfil de carga do motor de colhedoras de cana-de-açúcar por um determinado período de tempo antes e após a adequação do produto às normas do fabricante.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre abril e maio de 2015, na Fazenda Guariroba, localizada em área agrícola do município de Pontes Gestal, SP, situada entre coordenadas geográficas: 20°08'24" S, 49°46'32" W, com 438 metros de altitude média. As áreas experimentais possuíam declividade média de 5% e solo com classificação textural média.

O porte do canal foi avaliado, utilizando-se de um triângulo retângulo padrão, de acordo com a metodologia proposta por Ripoli (1996), na qual foram determinados 20; 30 e 50% de colmos deitados, acamados e eretos, respectivamente. A cana colhida era a variedade RB85-5453, estando no 2º corte. A produtividade média das áreas colhidas, antes e após as adequações do fabricante,

ao longo do monitoramento da colhedora foram de 72 Mg ha<sup>-1</sup>.

Foram utilizadas para análise dos dados quatro colhedoras iguais possuindo as seguintes características técnicas: motor 6090T PowerTech (Tier III), com 9,0 litros, de 251 kW (342 cv), rodados de esteiras com bitola de 1,88 m. Estas colhedoras não possuíam o sistema piloto automático e o kit de mudas durante a operação, e trabalhavam em uma faixa média de velocidade de 4,0 a 5,0 km h<sup>-1</sup> durante a colheita. Todas as colhedoras possuíam zero horas motor no início da coleta de dados, ou seja, eram novas.

As máquinas utilizadas neste experimento possuíam, de fábrica, um recurso chamado *FieldCruise*, que é um limitador de rotação do motor, no qual limita a rotação da máquina de acordo com o valor ajustado no computador de bordo (configura-se uma rotação máxima de trabalho que pode ser de 1850 a 2050 rpm), evitando que o operador sempre trabalhe com a máquina em rotação máxima o que por sua vez pode reduzir o consumo de combustível. O *FieldCruise* deve ser utilizado quando o motor está trabalhando com até 90% de carga. Acima deste valor ele deve ser desligado e a máquina deve trabalhar com rotação máxima (JOHN DEERE, 2014).

O delineamento estatístico utilizado foi em faixas para todas as colhedoras avaliadas, durante a jornada de trabalho habitual da Unidade Produtora, sendo constituído por dois tratamentos: antes e após às adequações do produto às normas estabelecidas pelo fabricante. Os tempos de coleta antes das adequações foram de 23 dias e após as adequações foram de 25 dias.

Os dados referentes ao monitoramento do perfil de carga do motor foram adquiridos pela ferramenta "ServiceAdvisor™", que é uma interface de comunicação/atualização entre a máquina e um computador, permitindo a leitura e extração de todos os dados armazenados nas controladoras da máquina, as quais recebem informações via rede CAN (*Controller Area Network*).

O CAN é um protocolo de comunicação serial síncrono. O sincronismo entre os módulos conectados à rede é feito em relação ao início de cada mensagem lançada ao barramento (evento que ocorre em intervalos de tempo conhecidos e regulares). O perfil de carga do motor (Figura 1) é uma grade com dois eixos (x e y), em que o eixo X corresponde às variações de rotação do motor (rpm), enquanto o eixo Y corresponde às variações de carga do motor (%), que corresponde ao percentual de regime de potência exigido pelo conjunto de sistemas da máquina, momentaneamente, sobre o motor. Quando cruzadas estas duas informações obtém-se a distribuição da quantidade de horas que o motor permanece ligado em cada faixa de rotação e carga do motor (JOHN DEERE, 2014).



Carga Motor / RPM / Operação

150	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
125	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
110	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,7	1,5	0,0	17,7	0,1	0,0	0,0	0,0
95	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,5	5,8	0,5	30,8	0,4	0,0	0,0	0,0
90	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	1,8	10,3	1,1	30,0	0,5	0,0	0,0	0,0
80	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,4	05,7	5,7	57,0	1,4	0,0	0,0	0,0
70	0,0	0,1	0,1	0,0	1,8	0,3	0,1	0,1	23,7	130,0	5,8	41,8	1,0	0,0	0,0	0,0
60	0,0	0,2	0,0	1,2	7,4	0,2	0,0	0,2	28,2	90,3	3,3	37,0	1,3	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,4	0,0	2,4	15,0	0,8	0,0	0,2	10,8	58,5	3,0	14,5	0,0	0,0	0,0	0,0
40	0,0	1,0	0,0	2,0	25,3	1,8	0,0	0,1	12,8	51,4	3,0	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0
30	0,0	11,8	0,0	1,8	57,8	4,0	0,0	0,0	0,8	24,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	55,0	0,0	0,8	85,0	4,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	2,5	0,0	0,1	14,4	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	0	750	1050	1250	1450	1550	1850	1750	1050	1850	2050	2150	2250	2350	2450	

Distribuição de Horas Motor

RPM Motor

Figura 1 - Modelo de planilha do perfil de carga no motor.

Na etapa seguinte, logo após os dados do perfil de carga serem coletados por meio do ServiceAdvisor™ eles foram inseridos em uma planilha eletrônica, desenvolvida para filtrar estes dados e apresentar gráficos e tabelas que mostram como está o trabalho da máquina, permitindo assim que o administrador possa tomar as medidas necessárias para adequar sua operação.

O armazenamento dos dados de perfil de carga do motor acontece apenas de maneira acumulativa, ou seja, não é possível selecionar apenas um período e fazer a leitura deste. Portanto, para realizar este trabalho foi extraído um perfil de carga que foi considerado como ponto inicial de partida para as análises, denominado como marco 0 para todas as máquinas.

Aos 23 dias após a primeira extração, foi obtido um novo perfil de carga, sendo então os dois perfis inseridos na planilha Excel. Por meio dessa planilha realizou-se a subtração dos dados entre os dois perfis, ou seja, o perfil de carga atual subtraído do perfil de carga inicial (23 dias atrás), resultando nos dados de desempenho da máquina durante o período desejado (sem adequação do produto aos requisitos do fabricante).

Posteriormente, coletou-se os dados por mais 25 dias e neste período iniciou-se as correções e melhorias operacionais sugeridas pelo fabricante para que a máquina (adequação do produto) possa melhorar o seu desempenho apresentando assim como corrigir erros operacionais, com foco na adequação do produto ao uso. Após 25 dias das melhorias terem sido sugeridas e

executadas, foi extraído um novo perfil de carga, o qual também foi inserido na planilha eletrônica e por sua vez também subtraído do perfil anterior, resultando assim nos dados de desempenho da máquina nos últimos 25 dias, onde pode-se observar as mudanças ocorridas no desempenho da máquina (totalizando 48 dias de monitoramento).

Este procedimento foi realizado simultaneamente nas quatro máquinas estudadas, as quais se encontravam na mesma frente de trabalho, ou seja, estavam trabalhando juntas na mesma área, sendo, portanto, apresentado os valores médios para cada colhedora. A única variação ocorrida se deu em relação ao operador da máquina, pois cada máquina possuía um grupo de três operadores trabalhando em turnos de oito horas, incluindo-se o folguista, sendo impossível o controle do fator humano dentro da logística de trabalho em uma unidade produtora, quando se monitora o perfil de carga da colhedora por um período de 24 horas por dia.

A planilha eletrônica desenvolvida (Figura 2) fornece os resultados necessários para que se possa avaliar a operação em execução e, posteriormente, tomar as ações corretivas necessárias para a melhoria da operação, para obter desta forma, a potencial redução do consumo horário combustível. Por outro lado, esta planilha também serve para avaliar como a operação esta sendo realizada com base nas premissas designadas pelo fabricante da colhedora, como forma de deixar a operação dentro dos padrões de qualidade requeridos.



Figura 2 - Modelo de planilha utilizada para interpretação dos resultados.

Os parâmetros avaliados por meio da planilha foram em virtude dos pré-estabelecidos pelo fabricante sendo eles: Zona de ociosidade: refere-se ao tempo no qual a máquina estiver com até 20% de carga do motor, em rotação mínima (até 750 rpm) ou em rotação de colheita (1450 a 1550 rpm) e com até 10% de carga do motor em rotação de 1850 a 2050 rpm; - Deslocamento/manobra: a faixa de 1450 a 1550 rpm com 20% a 60% de carga do motor e a faixa entre 1850 a 2250 rpm com 20% a 40% de carga do motor; - Colheita: tempo em que a máquina estiver 1850 e 2050 rpm e de 50% a 90% de carga do motor ou na faixa entre 2051 e 2250 rpm entre 91% a 100% de carga do motor (JOHN DEERE, 2014). A faixa de transição refere-se ao tempo de partida do motor até o ponto em que a rotação do mesmo se estabilize na desejada para a operação.

Para todas as classificações, estas podem ou não estar dentro do padrão que resulta no melhor desempenho da máquina, retratando manobras ou deslocamentos fora da rota planejada. Ressalta-se ainda que, no painel de instrumentos da colhedora há um monitor digital que indica a porcentagem instantânea de carga do motor, para que o operador possa se orientar e tomar as ações necessárias para efetuar a operação dentro dos padrões estabelecidos. Após a extração do segundo perfil de carga (25 - 48 dias) foi realizado a comparação e determinação (em relação à porcentagem do perfil de carga no motor) de como estava à operação destas máquinas no período inicial (0 - 23 dias) antes da implementação dos parâmetros estabelecidos pelo fabricante. A partir deste diagnóstico foram feitas as recomendações aos operadores, por meio de treinamento, de que as operações futuras fossem realizadas de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos pelo fabricante.

A partir destas informações foram calculadas as eficiências total de tempo em que a colhedora trabalhou

para cada faixa de rotação, antes e após às adequações, determinando-se assim a porcentagem do perfil de carga do motor (MIALHE, 1974).

Posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA) aplicando-se o teste F de Snedecor, com nível de significância de 1%, para verificar a existência ou não de diferenças entre os tratamentos para as variáveis analisadas (FERREIRA, 2011).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As horas motor das colhedoras 1, 2, 3 e 4 apresentaram valores de 32, 24, 27 e 30% superior de uso no período após as adequações (Tabela 1). Para esta condição atribui-se causas que podem aumentar o tempo de uso do motor da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (colheita, manobra e motor ocioso), sendo estas não totalmente controláveis ao longo da operação.

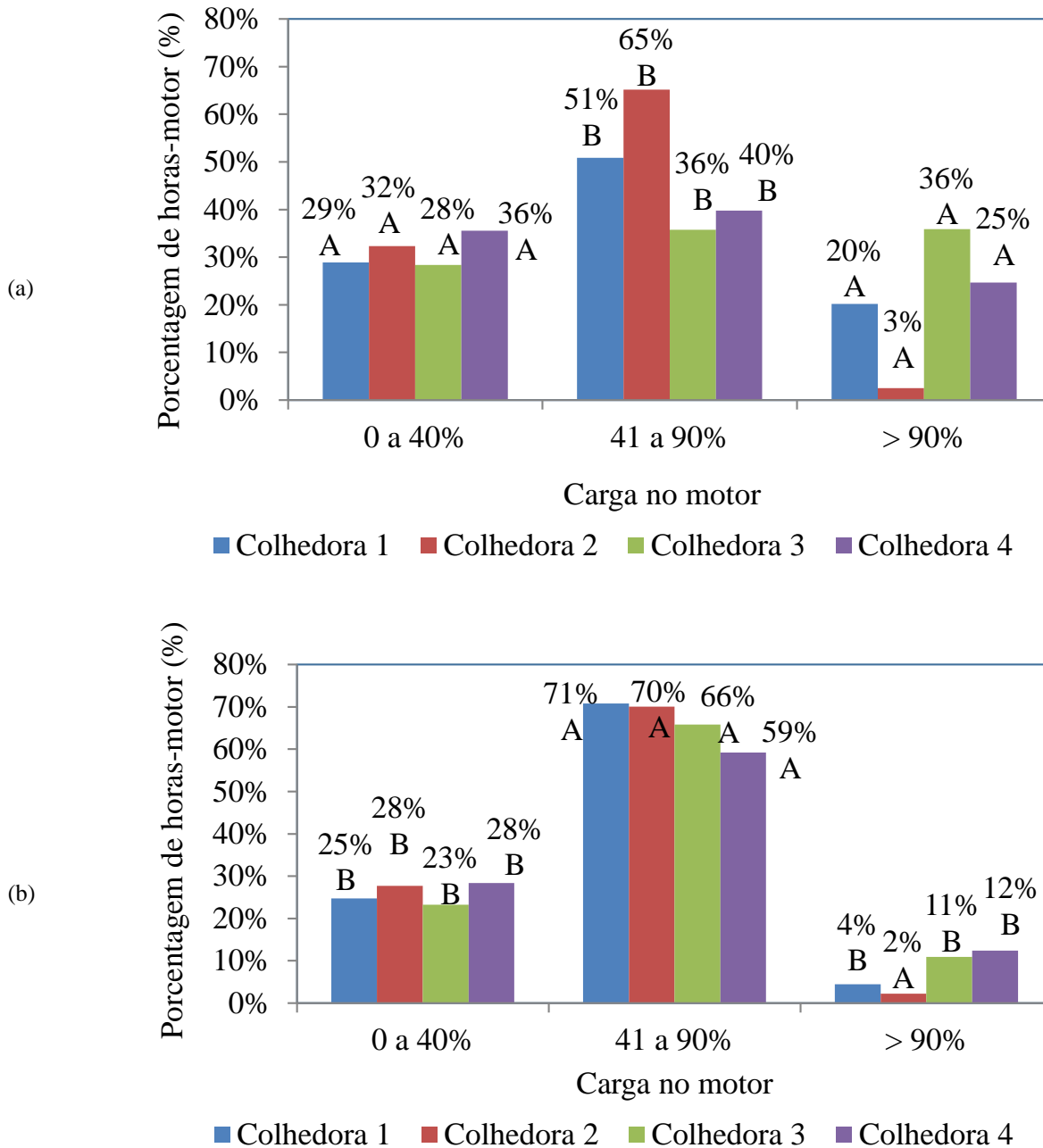
Tabela 1 - Horas motor das colhedoras de cana-de-açúcar antes e após as adequações às normas do fabricante.

Máquinas	Horas motor (h)	
	Antes	Após
Colhedora 1	290	425
Colhedora 2	277	363
Colhedora 3	303	417
Colhedora 4	287	408

Na Figura 3 são apresentados os resultados de oportunidade de uso do *Fieldcruise*, nos quais encontram-se as distribuições de horas-máquina em cada faixa de carga do motor, para cada colhedora, na qual consta-se maior tempo de uso na faixa de carga de 0 a 40% antes das adequações e de 41 a 90% após as adequações as normas do fabricante, resultando da diminuição das horas motor na faixa de ociosidade, tempo de manobra e no deslocamento das colhedoras. Ressalta-se ainda que os ganhos em tempo ocioso,

manobra e deslocamento após as adequações, foram refletidos na maior porcentagem do perfil de carga no motor durante a colheita (41 a 90%) e, com exceção da colhedora 2, verifica-se o menor tempo de uso do motor na faixa de carga >90% após as adequações às normas estabelecidas pelo fabricante. No primeiro período (Figura 3a), denominado período de diagnóstico,

observa-se que as colhedoras 1, 2, 3 e 4 apresentaram, respectivamente, 29; 32; 28 e 36% das horas-máquina com carga no motor entre 0 e 40%, o que representa situações nas quais a colhedora poderia não estar em operação de colheita, realizando deslocamentos, manobra ou estar em marcha lenta.



**Figura 3 - Distribuição das horas motor das colhedoras para o perfil de carga antes e após às adequações às normas do fabricante: a) antes da adequação; b) após adequação.**

\*Letras iguais nos períodos antes e após as adequações para cada colhedora, em função do perfil de carga no motor, não apresentaram diferenças significativas pelo teste F a 1%.

Neste mesmo período ocorreram 51; 65; 36 e 40% das horas-máquina com carga no motor entre 41 e 90%, para as colhedoras 1, 2, 3 e 4, respectivamente, representando os tempos nos quais houve a oportunidade de uso do *Fieldcruise*. Ainda pela Figura 3a, constata-se

para as colhedoras 1, 2, 3 e 4, os valores de 20; 3; 36 e 25%, respectivamente, das horas-máquina com carga no motor acima de 90%, apontando para a oportunidade de não se utilizar o controle automático de rotação do motor, uma vez que nestes momentos ocorrem a probabilidade de as colhedoras estarem próximas a

máxima rotação do motor e o uso deste sistema nesta situação poderia aumentar o consumo de combustível ao invés de diminuir-lo, uma vez que o motor trabalharia fora dos seus padrões estipulados.

Na Figura 3b são apresentados os resultados de oportunidade de uso do controle automático da rotação do motor, após a padronização das recomendações designadas pelo fabricante, como forma de adequar o produto (colhedora) a operação. No primeiro período (Figura 4a), denominado período de diagnóstico otimizado, observa-se que as colhedoras 1, 2, 3 e 4 apresentaram os valores de 25; 28; 23 e 28%, respectivamente, das horas-máquina com carga no motor entre 0 e 40%, o que representa situações nas quais a colhedora poderia não estar em operação de colheita, realizando deslocamentos ou estar em marcha lenta. Ressalta-se ainda que, para esta situação a colhedora número 2 e 4 apresentaram ganhos de 4 e 12% em relação a não utilizações de padrões de qualidade (Figura 3a).

Observa-se ainda que 71, 70, 66 e 59% das horas-máquina com carga no motor entre 41 e 90%, para as colhedoras 1, 2, 3 e 4, respectivamente, representam a condição nos quais houve a oportunidade de uso do *Fieldcruise* da melhor forma possível, o que poderá acarretar em ganhos no consumo horário de combustível (Figura 3b). Em comparação com o trabalho executado sem a adequação do produto às diretrizes do fabricante (Figura 3a), nota-se uma otimização do uso da colhedora destacando-se as colhedoras números 3 e 4 com valores de ganhos percentuais de 28 e 39% superiores, quando os parâmetros do fabricante são seguidos e implantados no processo de colheita.

Ainda pela Figura 3, constata-se que ocorreram, para as colhedoras 1, 2, 3 e 4, os valores 4; 2, 11 e 12%, respectivamente, das horas-máquina com carga no motor acima de 90%, apontando para a não utilização do controle automático de rotação, uma vez que nestes momentos ocorrem a probabilidade de as colhedoras estarem próximas a máxima rotação do motor. Observa-se que as colhedoras de número 1, 3 e 4 foram as que tiveram maiores ganhos percentuais em relação à adequação a faixa normal de trabalho quando comparada em relação à operação realizada sem os padrões estabelecidos (Figura 3b).

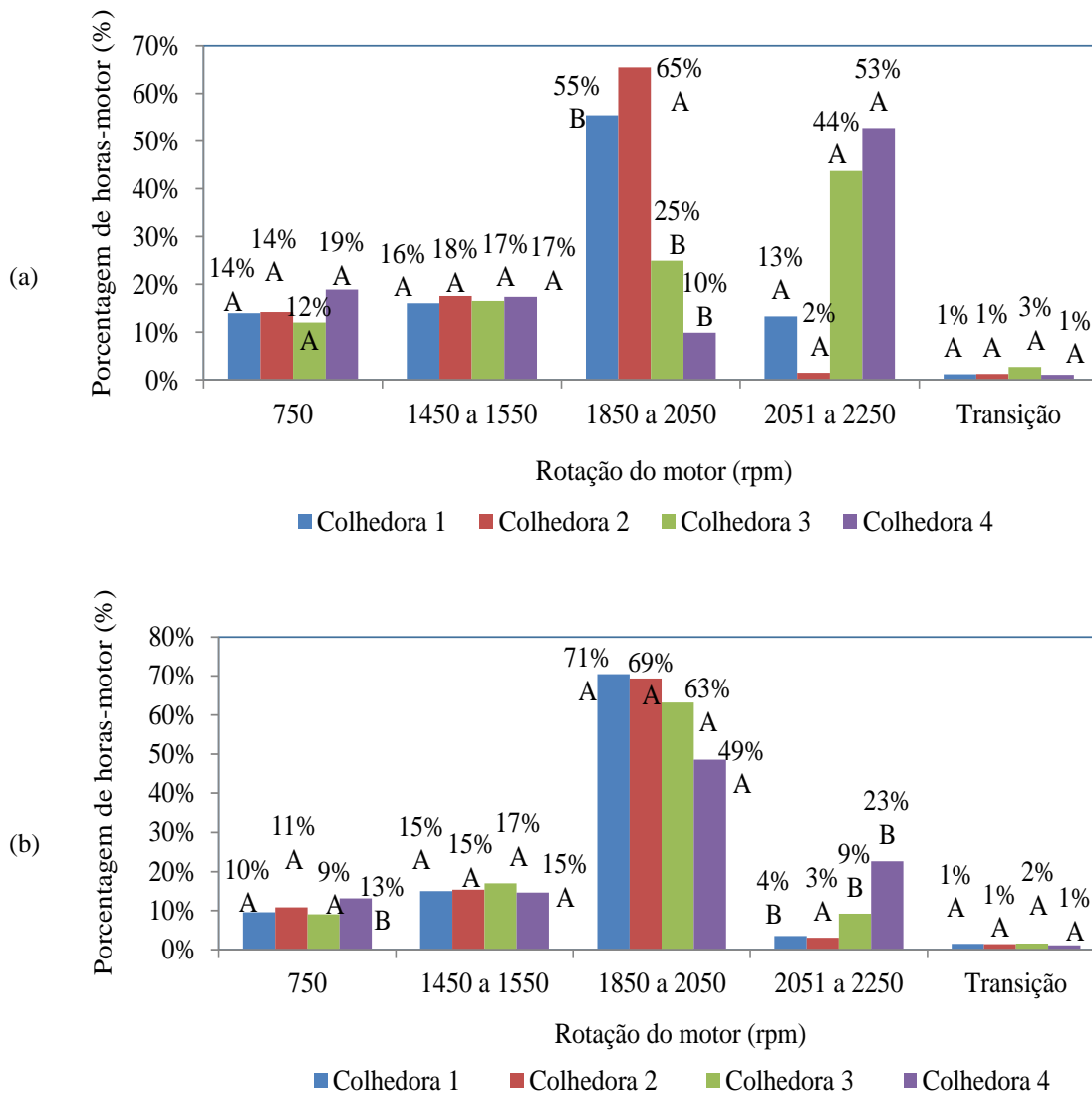
De acordo com Kim et al. (2011), quando os motores estão trabalhando em suas máximas rotações do motor, o consumo de combustível é elevado, porém o mesmo está trabalhando com toda a sua potência disponível, podendo ser interessantes para determinadas situações na qual existe maior demanda de energia para a realização da

operação. Resultados semelhantes foram encontrados por Ali et al. (1996), que estudaram o comportamento de uma curva característica de um motor Cummins, devido à variação da rotação do motor e Rípoli e Rípoli (2010) que estudando o desempenho das máquinas para a cultura da cana de açúcar no Brasil também encontraram resultados semelhantes ao do presente trabalho, retratando na ausência de adequação das máquinas a sua melhor forma de uso.

Na faixa de rotação de 750 rpm a colhedora número 4 foi a que apresentou menor valor, em percentual, após o período de adequação das máquinas (Figura 4a e 4b). Por outro lado, nota-se também que na faixa de rotação do motor de 1850-2050 rpm, todas as colhedoras apresentaram maior tempo de colheita, situação esta favorável a operação. Por fim, na faixa de rotação do motor entre 2051 a 2250 rpm, as colhedoras 1, 2 e 4 apresentaram diluição dos tempos de carga no motor na maior faixa de potência, o que potencialmente poderá melhorar os gastos com combustível durante a colheita.

Ao analisar os gráficos de execução da colheita antes do período de adequação (Figura 4a) constata-se que as colhedoras números 4 e 2 foram as que permaneceram maior tempo com motor ocioso, entretanto, dentro da faixa estabelecida pelo fabricante. De modo geral o atendimento aos padrões estabelecidos pelo fabricante foram verificados também para o deslocamento das colhedoras (1450 a 1550 rpm) e a colheita (1850 a 2250 rpm). Observa-se ainda que, quando a rotação do motor está entre 1850 a 2050 rpm, somente as colhedoras 1 e 2 estão dentro dos padrões das normas, ou seja, atuando de forma eficaz no decorrer da colheita. De forma análoga, ocorre a mesma situação para a faixa de rotação entre 2051 e 2250 rpm, uma vez que os valores estão abaixo dos desejados para esta condição. Porém, para o período de transição das máquinas, na qual também apresenta sua ociosidade, estes estão de acordo com o recomendado pelo fabricante, sendo que este fato pode resultar em ganhos no total acumulado do consumo horário de combustível.

Dependendo da demanda de potência requerida durante a colheita, em virtude do volume de matéria-prima colhida, as colhedoras devem trabalhar próximas à faixa de potência máxima (rotação máxima do motor) para poder aumentar a operacionalidade e a eficiência da operação (VOLTARELLI, et al., 2015), podendo nesse caso trabalhar com o sistema controle automático de rotação do motor desligado evitando assim consumo de combustível desnecessário e também o desgaste dos componentes móveis do motor.



**Figura 4** - Distribuição das horas motor das colhedoras em função das rotações por minuto (rpm) antes e após às adequações às normas do fabricante: a) antes da adequação; b) após adequação. \*Letras iguais nos períodos antes e após as adequações para cada colhedora, em função da rotação do motor, não apresentaram diferenças significativas pelo teste F a 1%.

Por outro lado, ao se observar os gráficos de execução da colheita constata-se que a colhedora número 4 foi a que apresentou maior tempo com motor ocioso em relação as demais máquinas, no período antes e após as adequações (Figura 4a e 4b). Porém, tal situação influencia nos ganhos de colheita da máquina (1850 a 2050 rpm), podendo fazer com que o valor percentual da rotação do motor não aumente. O motor da colhedora, ao trabalhar dentro da faixa de rotação que lhe confere maior potência e menor consumo horário de combustível, representa que a operação está bem dimensionada, havendo pouca influência de interferências externas, que possam causar-lhe elevada variação e prejuízos ao desempenho da máquina, representando a adequação do produto aos parâmetros de qualidade estabelecidos pelo fabricante (VOLTARELLI et al., 2015).

Observa-se ainda que, quando a rotação do motor está entre 1850 e 2050 rpm, somente as colhedoras número 1,

2 e 3 estão dentro dos padrões estabelecidos pelo fabricante, ou seja, atuando de forma eficaz no decorrer da colheita (faixa entre 50 a 90% do perfil de carga no motor). De forma análoga, ocorre a mesma situação para a faixa de rotação entre 2051 e 2250 rpm, uma vez que todos os valores estão abaixo dos desejados para esta condição. Porém, para o período de transição das máquinas, na qual também apresenta sua ociosidade, estes estão de acordo com o recomendado pelo fabricante, sendo que este fato pode também resultar em aumento do consumo horário de combustível.

Voltarelli et al. (2013) ao avaliarem uma operação agrícola no ciclo da cana-de-açúcar, descreveram que a rotação de motores agrícolas, acima de 200 cv, atingem, de maneira geral, a potência efetiva máxima ao redor de 2200 rpm. Esta situação pode ser condizente com a do presente trabalho, uma vez que isso pode indicar que a potência do motor da colhedora estava sendo utilizado



próximo à condição máxima, o que reflete no limite superior da velocidade angular da faixa do motor, ou seja, o torque nesta situação é reduzido. Além disso, o consumo horário de combustível tende a estar na faixa mais elevada, indicando que o motor se encontrava em uma condição operacional na qual o consumo específico situava-se acima do ponto de mínimo, refletindo em maior consumo de óleo diesel.

Segundo Kumar e Kumar (2013) ao avaliarem o desempenho de motores do ciclo diesel relataram que à medida que se aumenta a rotação do motor, aumenta a pressão que a bomba injetora dosa a quantidade de diesel na câmara de combustão o que implica no maior consumo de combustível. Esta situação pode ser semelhante aos resultados do presente trabalho, uma vez que ao trabalhar na faixa ideal de colheita, de acordo com o padrão do fabricante, existe um ganho de horas na melhor faixa de utilização do motor podendo refletir em um menor consumo de diesel durante a operação.

Suryawanshi et al. (2013) ao avaliarem uma ceifadora de cana-de-açúcar em diferentes rotações do motor, relataram que quando a máquina trabalha em maior parte do tempo acima da rotação indicada pelo fabricante, existe um aumento no consumo de combustível, sendo que estes resultados afirmam o que ocorreu para o presente estudo.

#### 4 CONCLUSÕES

A adequação das colhedoras em função do perfil de carga do motor para a colheita de cana-de-açúcar, em virtude dos parâmetros estabelecidos pelos fabricantes, torna-se fundamental para a otimização do processo e possíveis ganhos na eficiência de tempos da operação.

A colhedora 3 trabalhou 36% do tempo com perfil de carga do motor superior a 90%, resultando na não utilização do *Fieldcruise* e no potencial aumento do consumo horário de combustível, por atuar próximo a faixa de rotação de potência máxima.

O atendimento aos padrões estabelecidos pelo fabricante durante a colheita resulta em maior tempo de uso das colhedoras dentro do intervalo específico para colheita (perfil de carga de 40 a 90%) nas rotações de 1850 a 2050 rpm para todas as colhedoras avaliadas.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, Y.; HANNA, M. A.; BORG, J. E. Effect of alternative diesel fuels on heat release curves for Cummins N14-410 diesel engine. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 2, p. 407- 414, 1996.

BAIO, F. H. R. Evaluation of an auto-guidance system operating on a sugarcane harvester. **Precision Agriculture**, New York, v. 13, n. 1, p. 141-147, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11119-011-9241-6>>.

BALDO, R. F. G., MAGALHÃES, P. S. G. Synchronized speed control system between two agricultural vehicles. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 298-304, 2012.

JOHN DEERE. **Gateway telemático JDLink e Service ADVIDOR™**: Manual do operador. 4. ed. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2014. 44 p.

KIM, S. C.; KIM, K. U.; KIM, D. C. Prediction of fuel consumption of agricultural tractors. **Applied Engineer Agriculture**, v.27, n.5, p.705-709, 2011.

KUMAR, G.; KUMAR, A. Spray behavior comparison in diesel engine with biodiesel as fuel. **Journal of Energy Technologies and Policy**, v.3, n.4, p. 1-12, 2013.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D. C. C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.382-386, 2003.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Agronomica Ceres, 1974. 301 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EDUSP, 1980. v.2, 367p.

REIS, G. N.; VOLTARELLI, M. A.; DA SILVA, R. P.; TOLEDO, A.; LOPES, A. Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em dois tipos de manejo do solo. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 2, p.143-153, 2015.

RIPOLI, T. C. C. **Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar**. In: MIALHE, L.G.Máquinas agrícolas: ensaios & certificação. Piracicaba: Fundação de Estudos “Luiz de Queiroz”, 1996. p. 635-673.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 333 p.

SANTOS, N. B.; CAVALCANTE, D. S.; FERNANDES, H. C.; JÚNIOR, C. D. G. Simulação da eficiência de campo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Energia na agricultura**, v. 29, n. 1, p. 09-13, 2014.

SHIN, C. S.; KIM, U. K.; KIM, K. W. Energy efficiency classification of agricultural tractors in Korea. **Journal of Biosystems Engineering**, Seoul, v. 37, n. 4, p. 215-224, 2012.

SURYAWANSHI, V.; THAKUR, S. S.; SHARMA, S. Performance evaluation of self-propelled sugarcane

harvester. **Journal of Sugarcane Research**, v.3, n.1, p. 35-40, 2013.

VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P.; ROSALEN, D. L.; ZERBATO, C.; CASSIA, M. A. Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. **Australian Journal Crop Science**, Brisbane, v. 7, n. 9, p. 1396-1406, 2013.

VOLTARELLI, M. A; SILVA, R.P.; ZERBATO, C.; PAIXÃO, C. S. S. TAVARES, T. O. Monitoramento das perdas da colheita mecanizada de cana-de-açúcar por cartas de controle. **Engenharia agrícola**, v. 35 n. 6, p. 1079-1092, 2015.