

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESEMPENHO DE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR
EM FUNÇÃO DO PERFIL DE CARGA DO MOTOR**

Lucas Villela Rosa

Engenheiro Agrícola

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESEMPENHO DE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR
EM FUNÇÃO DO PERFIL DE CARGA DO MOTOR**

Lucas Villela Rosa

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Diego Augusto Fiorese

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

2015

Rosa, Lucas Villela
R788d Desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar em função do perfil
de carga do motor / Lucas Villela Rosa. -- Jaboticabal, 2015
xiv, 43 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Rouverson Pereira da Silva
Banca examinadora: Carlos Eduardo Angeli Furlani, Fábio
Alexandre Cavichioli
Bibliografia

1. Adequação de máquinas agrícolas . 2. Mecanização . 3.
Rotação do motor . 4. *Saccharum* spp . Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.35:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUCAS VILLELA ROSA – nascido em São Joaquim da Barra, São Paulo, no dia 26 de julho de 1986, filho de Antônio Luiz Villela Rosa e Marlene Saleti Scarpelini Villela Rosa, cursou o Ensino Fundamental e Médio no Colégio Feam-COC, em São Joaquim da Barra, São Paulo, tendo finalizado o Ensino Médio no ano de 2003. Ingressou no Ensino Superior no ano de 2004 no curso de Engenharia Agrícola, e recebeu o título de Engenheiro Agrícola, formado, pela Universidade Federal de Lavras – UFLA em Julho de 2010. Iniciou sua carreira na John Deere Brasil em Horizontina, Rio Grande do Sul, em Setembro de 2010 como Engenheiro Especialista de Suporte ao Produto, dando suporte para os produtos John Deere de Agricultura de Precisão. Em Junho de 2012 assumiu a posição de Gerente Soluções Integradas no concessionário John Deere Itaeté Máquinas em São José do Rio Preto, São Paulo, e em toda sua região de atuação, trabalhando com otimização de desempenho de máquinas agrícolas para cana-de-açúcar. Em agosto de 2013, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no Programa de Ciência do Solo, na área de Máquinas Agrícolas, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, no Departamento de Engenharia Rural. Em Junho de 2015 assumiu a posição também de Gerente de Soluções Integradas no concessionário John Deere Agro Amazônia em Tangará da Serra, Mato Grosso, e em toda sua região de atuação (parte do Mato Grosso e parte do Mato Grosso do Sul), trabalhando com otimização de desempenho de máquinas agrícolas para grãos e algodão. Em novembro de 2015, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

“Ando devagar porque já tive pressa e levo este sorriso porque já chorei demais”

Renato Teixeira

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que sempre me deu fé e força para desejar, conseguir e conquistar meus objetivos, e por ter chegado até aqui que considero uma das grandes vitórias de minha vida. Dedico intensamente a meus pais que sempre foram à base de tudo em minha vida e sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos de minha vida, tanto na glória como na dificuldade, e por terem este carinho enorme por mim, o qual é insubstituível, e também à minha companheira, amiga e namorada Fernanda Riese que me apoiou durante todo este tempo. É com muita alegria que dedico este trabalho principalmente a eles.

DEDICO

À todas as pessoas que fizeram parte desta história.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre estar junto comigo me ajudando e iluminando meu caminho.

Ao professor Dr. Rouverson Pereira da Silva, pela amizade, por todos os ensinamentos e oportunidades durante todo curso de mestrado e pela orientação neste trabalho.

Aos professores Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani e Dr. Fábio Alexandre Cavichioli, por participarem da banca examinadora bem como pelas colocações e sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Em especial ao meu pai Antônio Luiz e a minha mãe Marlene por todo apoio, carinho e dedicação durante essa etapa de minha vida, e em toda minha vida, que além de meus pais são meus melhores amigos.

Em especial também a minha namorada Fernanda Riese, por todo apoio, carinho, amor e amizade, com quem eu tenho o prazer de conviver a mais de 4 anos.

A meus avós Devani, Helena e Maricota por todo carinho, cuidado e preocupação, e também a meu avô Isaac, que apesar de não ter conhecido, sempre me trouxe muita inspiração.

A meus irmãos Isaac e Pedro por todo apoio e amizade.

Aos estimados irmãos da República Terra Roxa.

Aos meus amigos de trabalho e deste mestrado Guto e Michel, que frequentamos todas as disciplinas juntos e com muita garra e dedicação conseguimos concluir.

Aos amigos da Itaeté Máquinas Carlos Eduardo Lucas e Carlos Aguiar pelo auxílio na coleta de dados e metodologia deste trabalho.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo).

Ao amigo Murilo Aparecido Voltarelli integrante do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) pela ajuda na elaboração deste trabalho.

Aos demais amigos do Lamma pela amizade e convivência.

À Itaeté Máquinas por ter disponibilizado parte do meu tempo para cursar este mestrado.

À Agro Amazônia por ter disponibilizado parte do meu tempo para conclusão deste mestrado.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para esta conquista.

SUMÁRIO

Assunto	Pág.
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
I INTRODUÇÃO	1
II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar	3
2 Desempenho de colhedoras	4
3 Eficiência operacional	7
4 Gerenciamento e adequação de operações	8
III MATERIAL E MÉTODOS	10
1 Caracterização da experimental.....	10
2 Máquinas e equipamentos utilizados	10
3. Análise dos dados.....	15
4 Análise da eficiência da operação.....	17
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
1 Desempenho da colhedora em função do perfil de carga no motor.....	19
2 Eficiência da operação.....	25
V CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
VI REFERÊNCIAS	40

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
Tabela 1. Características da colheita mecanizada após os períodos inicial e final de trabalho.....	14
Tabela 2. Caracterização das horas motor para o cálculo do gasto total e custo de óleo diesel em função das operações de colheita, manobra e motor ocioso fora do padrão.	18

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Páginas
1. Modelo de planilha do perfil de carga no motor.....	11
2. Modelo de monitor do perfil de carga do motor da colhedora.	12
3. Modelo de planilha utilizada para interpretação dos resultados.	15
4. Distribuição de horas-máquina em cada faixa de carga do motor sem adequação aos parametros do fabricante: a) porcentagem; b) em função da rotação do motor.	20
5. Distribuição de horas-máquina em cada faixa de carga do motor com adequação aos parametros do fabricante: a) porcentagem; b) em função da rotação do motor.	22
6. Eficiência de tempos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (a) e após (b) adequação às normas do fabricante para a máquina 1.	26
7. Eficiência de colheita (a), manobras (b) e motor ocioso (c) da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (1) e após (2) adequação às normas do fabricante para a máquina 1.....	27
8. Eficiência de tempos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (a) e após (b) adequação às normas do fabricante para a máquina 2.	29
9. Eficiência de colheita (a), manobras (b) e motor ocioso (c) da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (1) e após (2) adequação às normas do fabricante para a máquina 2.....	31
10. Eficiência de tempos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (a) e após (b) adequação às normas do fabricante para a máquina 3.....	32

11. Eficiência de colheita (a), manobras (b) e motor ocioso (c) da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (1) e após (2) adequação às normas do fabricante para a máquina 3.34
12. Eficiência de tempos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (a) e após (b) adequação às normas do fabricante para a máquina 4.36
13. Eficiência de colheita (a), manobras (b) e motor ocioso (c) da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (1) e após (2) adequação às normas do fabricante para a máquina 4.37

DESEMPENHO DE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DO PERFIL DE CARGA DO MOTOR

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 desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar por um determinado período de tempo a fim de quantificar o perfil de carga realizado pelo motor durante a colheita e a eficiência da operação. O experimento foi realizado utilizando-se quatro colhedoras, sendo os dados coletados pela rede de interconexões entre as partes da colhedora, podendo ser caracterizados com módulos atuantes como mestre e em determinados momentos com escravo 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 adequação do produto às normas do fabricante. A ferramenta de monitoramento *FieldCruise* se mostrou eficiente para a gestão do desempenho da colheita mecanizada, permitindo analisar e tomar decisões visando melhorar a eficiência energética das colhedoras. 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. O nível de otimização dos tempos de colheita dentro do padrão após a adequação depende de um conjunto de fatores dinâmicos, porém os valores alcançados foram semelhantes nas quatro máquinas variando de 57 a 69%.

PALAVRAS-CHAVE: Máquinas agrícolas, mecanização, rotação do motor, *Saccharum spp.*

SUGARCANE HARVESTERS PERFORMANCE IN FUNCTION OF THE PROFILE OF THE MOTOR ROAD

ABSTRACT - The performance monitoring of sugarcane harvesters along the crop becomes essential to ensure its functioning and to determine the adequacy of the product to better optimize the operation. In this sense, the aimed of this study was to evaluate the performance of harvesters sugarcane for a certain period of time in order to quantify the load profile conducted by the motor during harvest and operating efficiency. The experiment was conducted using four harvesters, and the data were collected by the network of interconnections between different parts of the harvester, can be characterized with active modules as master and slave with at certain times during the data collection. The analyzes were based on two distinct periods: 0-23 days without suitability of the product and 23 to 48 days with the appropriateness of the product manufacturer's standards. The FieldCruise monitoring tool proved efficient for managing the performance of mechanized harvesting, allowing analyze and make decisions to improve the energy efficiency of harvesters. The adequacy of harvesters to harvest operation because of the factors established by the manufacturers is fundamental for the process optimization. The harvester worked 3 time with 36% higher motor load profile than 90% may result in the use of FieldCruise and increased fuel consumption per hour for acting close to maximum power engine range. The level of optimization of sampling times within the pattern after adaptation depends on a set of dynamic factors, but the achieved values were similar in the four machines ranging from 57 to 69%.

KEY WORDS: Agricultural machinery, mechanization, engine rpm, Saccharum spp.

I INTRODUÇÃO

A colheita é uma das atividades mais importantes na agricultura devido ao seu alto valor agregado, compreendendo operações onerosas do processo produtivo e de alta demanda energética. Sua execução contribui para o retorno dos investimentos realizados em todo o ciclo produtivo de uma cultura. Neste contexto, a mecanização na cultura da cana-de-açúcar é irreversível e desempenha função fundamental para alcançar um produto final de qualidade, bem como o bem estar dos trabalhadores e da população em geral evitando as queimas dos canaviais.

O sucesso na colheita mecanizada depende de vários fatores como: nivelamento do solo, variedade, qualidade da operação, treinamento do pessoal e, principalmente, pelo modo de uso das colhedoras. Desta forma, torna-se necessário o conhecimento de práticas culturais e de engenharia aplicáveis e compatíveis com a adequação da máquina a sua melhor forma de uso, em função da cultura, visando maximizar o retorno financeiro.

As operações agrícolas, principalmente a colheita, devem ser executadas no prazo agronomicamente recomendado e com concomitantemente as máquinas devem atender as especificações do fabricante, para assim explorar seu máximo potencial de uso. Por isso as informações de desempenho e eficiência de tempos das colhedoras são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando nas decisões a serem tomadas pela administração como foco na maximização do processo de colheita.

Atrelado a isso, estudos sobre o desempenho das operações agrícolas mecanizadas em cana-de-açúcar, ainda são escassos no Brasil, em especial para o monitoramento da colhedora, quando se refere ao desempenho do motor relacionando ao seu perfil de carga durante a colheita. Portanto, monitoramento em tempo real de variáveis, referentes ao motor da máquina (colhedora), deve ser realizado com precisão e cautela, pois as variáveis são em maior parte mensuradas por sensores alocados em pontos específicos do motor.

O correto funcionamento das partes móveis dos motores, bem como o maior tempo de trabalho dentro da faixa ideal de rotação do motor, para que haja o menor consumo de combustível e, conseqüentemente, menor desgaste dos componentes

do motor, associa-se aos seus mecanismos eletrônicos sendo essencial para o monitoramento de variáveis que podem incrementar qualidade e melhor desempenho a operação. Porém, para que esta operação obtenha a qualidade requerida torna-se fundamental adequá-la aos parâmetros pré-estabelecidos pelos fabricantes, ou seja, aos limites específicos, para se obter o maior aproveitamento do sistema

Diante o exposto, pressupondo que durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar há 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 desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar por determinado período de tempo a fim de quantificar o perfil de carga utilizado pelo motor durante a colheita, com e sem adequação às normas do fabricante bem como a eficiência da operação.

II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua vem sendo impulsionada pela legislação trabalhista e ambiental, em virtude de livrar o trabalhador das condições abrasivas do corte manual e evitando também a queima indiscriminada da matéria-prima, visando reduzir os impactos ambientais (COELHO, 2009).

Segundo Ripoli (1996) a colheita de comum uso no Brasil é a de cana picada crua, que pode ser destinada tanto para a produção de mudas quanto para a colheita comercial. De acordo com Costa Neto (2006), quando se faz uso de colhedoras de cana-de-açúcar, estas podem atingir capacidade de colheita de 600 a 1.000 t dia⁻¹, retratando sua elevada capacidade operacional, para máquinas que colhem apenas uma linha no espaçamento 1,50 m.

Belardo (2010) observou que existe elevada variabilidade no decorrer da operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, quando se deseja atingir uma velocidade fixa de trabalho a fim de atingir a maior capacidade de colheita ao longo do dia (t dia⁻¹), sendo esta variação perfeitamente comum no decorrer do processo de colheita, porém esta situação não deve afetar o nível de qualidade da operação com reflexos na ineficiência da relação do sistema máquina-planta-mão de obra.

Os potenciais fatores que afetam a colheita de cana-de-açúcar podem ser descritos por meio das condições agronômicas, ambientais, técnicas e do gerenciamento da operação, que influenciam no trabalho realizado pela colhedora e, caso esta não seja executada dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pelo fabricante, pode reduzir a produtividade e a longevidade do canavial (RIPOLI; RIPOLI, 2009), além disto, caso a colheita não seja realizada dentro deste padrão considerando as características da cultura pode ocorrer a redução da vida útil dos componentes móveis e bem como acarretar o desgaste acentuado dos órgãos ativos das máquinas e incremento no consumo de óleo diesel.

A colhedora de cana-de-açúcar possui as seguintes operações durante o corte do canavial: inicialmente, é realizado o corte das ponteiros da cana-de-açúcar pelos despontadores; na sequência, a matéria-prima é conduzida pelos divisores de linha, se necessário, e apoiada pelo rolo tombador para haver o direcionamento à realização do

corte basal; após o corte basal, os colmos são direcionados para os rolos alimentadores, até chegar aos rolos picadores, onde é cortada em rebolos de tamanho que variam entre 30 e 40 centímetros; em seguida, são depositados no cesto, onde, pela ação do extrator primário, a maior parte das impurezas é removida por exaustão de ar, promovido por uma hélice giratória; na etapa seguinte, os colmos fracionados são conduzidos pelo elevador de taliscas, passando pelo extrator secundário para nova remoção de impurezas e, por fim, são descarregados, normalmente, em sistemas de transbordo específicos (VOLTARELLI, 2015).

2 Desempenho de colhedoras

Define-se desempenho operacional das máquinas agrícolas como um complexo conjunto de informações que determinam seus atributos ao executarem operações sob determinadas condições de trabalho. Essas informações podem ter características: operacionais, relativas à qualidade e a quantidade de trabalho; dinâmicas; relativas à potência requerida e à velocidade de trabalho; e de manejo, relativas às regulagens, aos reparos às manutenções das máquinas e, por fim, pela forma de uso das máquinas em virtude das recomendações do fabricante. As avaliações das características operacionais, no caso de colhedoras, tratores e implementos agrícolas, são feitas pela capacidade de campo, a qual é estimada pela área trabalhada em uma unidade de tempo (MIALHE, 1974).

Considera-se importante que o desempenho das colhedoras seja otimizado por se tratar de máquinas com elevado custo operacional. Dessa forma, um método preciso de calcular o desempenho das colhedoras auxilia os usuários a selecionar corretamente a sua capacidade, bem como o equipamento requerido para o transporte da cultura (MOLIN et al., 2006).

As máquinas agrícolas são projetadas para realizar atividades na íntegra ou parcialmente, estas possuem estruturas básicas, órgãos ativos que permitem realizar operações agrícolas. Rodrigues et al. (2011) estudando a eficiência operacional de um conjunto mecanizado identificaram que o preparo do solo e a velocidade da operação de semeadura influenciam a operação, sendo que estes potenciais prejuízos podem ser levados até a colheita.

Pacheco (2000) afirma que com o aumento da mecanização agrícola, é cada vez mais necessário o desenvolvimento de novas tecnologias, exigindo cada vez mais equipamentos com maior potência para atender as diversas atividades agrícolas. Com isso, é necessário um maior gerenciamento sobre a rentabilidade do negócio e utilizar de maneira viável e sustentável o máximo potencial de uso das máquinas agrícolas.

De acordo com Silveira et al. (2006), a capacidade de trabalho ou de campo das máquinas agrícolas é função dos seguintes fatores: largura de trabalho da máquina, velocidade de deslocamento, porcentagem de tempo parado ou não operado devido ao tempo gasto no deslocamento para a área a ser trabalhada, em manobras e com outras atividades que podem surgir durante o processo

Segundo Strickland et al. (2001), no passado, os estudos de desempenho de máquinas a campo eram realizados utilizando-se de cronômetros, pranchetas e mecanismos de gravação, que consumiam muito tempo e necessitavam de uma pessoa ou uma equipe de campo para apontamentos. O advento dos monitores de colheita para fins de obtenção de mapas de produtividade tornou a coleta de dados para essa operação mais simples, utilizando um receptor de GPS ("*Global Positioning System*") conectado a um computador instalado na cabine da colhedora e sensores que medem o fluxo e a umidade dos grãos colhidos, definindo a produtividade na área de forma georreferenciada.

O desempenho operacional das máquinas também pode ser muito influenciado pelo operador, nas horas de alimentação (lanches e água), descanso e higiene pessoal, o tempo de experiência e o estado de ansiedade do trabalhador, obstáculos presentes no percurso das máquinas, velocidade de deslocamento da máquina e paradas técnicas para manutenção e reparos (LINHARES et al., 2012). Associado a estes fatores o desempenho da operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, tanto de mudas como em escala comercial, pode ser afetado, principalmente pelos fatores relacionados ao desempenho da máquina e do motor, sendo tais variáveis descritas a seguir (VOLTARELLI et al., 2015):

- Velocidade: é influenciada diretamente pelas condições do canavial, ou seja, pela quantidade de matéria-prima a ser colhida pela máquina, inclinação do terreno, operador, desgaste do fio de corte das facas, dentre outros fatores, podendo estes influenciar na eficiência operacional da colheita. Segundo Ripoli e Ripoli (2009), a

velocidade da colheita de cana-de-açúcar, durante a safra, deve ser ajustada em virtude das características dos talhões, no que diz respeito à sistematização, ao porte do canavial e à produtividade agrícola estimada, podendo esta consideração também ser adaptada à colheita de mudas. Por outro lado, Belardo (2010) relata que, com o aumento da velocidade de trabalho das colhedoras de cana-de-açúcar durante a operação, há aumento nas capacidades de colheita, sendo elas: capacidade efetiva, capacidade efetiva bruta de matéria-prima, capacidade efetiva bruta de colmos e capacidade efetiva líquida de colmos. Porém, estes resultados são destinados à colheita mecanizada durante a safra de cana-de-açúcar sendo destinada à indústria e não para a produção de mudas, visando ao plantio, em virtude de que o aumento da velocidade de trabalho da colhedora proporciona maiores danos às gemas viáveis das mudas, quando os colmos passam pelo sistema de corte e alimentação da máquina.

- Rotação do motor: possui a capacidade de interferir nas características de desempenho do motor. Portanto, as curvas características do motor representam o torque (N m), a potência utilizada (kW), o consumo específico (g kWh^{-1}) e o horário de combustível (L h^{-1}). À medida que se aumenta a rotação do motor, o torque aumenta até seu limite de rotação e, em seguida, tende a diminuir, a potência aumentar (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. Por fim, o consumo horário também sofre um incremento quando se aproxima da rotação de potência máxima (MIALHE, 1996). 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.

- Consumo horário de combustível: pode ser considerado como um dos principais problemas da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, uma vez que, durante a safra de cana-de-açúcar, o consumo de óleo diesel situa-se próximo de 50 a 60 L h^{-1} para uma fileira de cana colhida (RIPOLI; RIPOLI, 2009). O consumo horário de combustível é influenciado pela velocidade de trabalho da colhedora, sendo que a maior velocidade retrata o maior consumo de óleo diesel durante a operação (LYRA, 2012). Nery (2000), ao avaliar a colheita comercial de cana-de-açúcar com velocidade média de trabalho da colhedora, a 2,6 km h^{-1} , encontrou consumo horário médio de

combustível de 49, 77 L h⁻¹ na rotação próxima a de potência máxima do motor da colhedora.

3 Eficiência operacional

Há uma necessidade de aumentar a eficiência em todos os setores da economia para a manutenção da competitividade, especialmente no setor agrícola. A otimização do projeto, adequação de maquinário, desenvolvimento de sistemas de informação geográfica e de posicionamento global, softwares para gerenciamento do perfil de carga do motor, e muitas outras técnicas estão proporcionando à agricultura ganhos crescentes, permitindo aumento da produção com redução de áreas cultivadas (KLAVER et al., 2012).

Estudos feitos por Linhares et al. (2012) mostram que o planejamento operacional das atividades tem por objetivo estabelecer alternativas que propiciem o cumprimento das metas de produção que são determinadas pelo planejamento global, por meio do conhecimento da eficiência e do desempenho das máquinas e equipamentos utilizados na colheita. A eficiência de um sistema de colheita depende, basicamente, do ambiente onde o mesmo é trabalhado, e os principais fatores a serem considerados são o clima, o terreno, a espécie vegetal, a infraestrutura, o nível de desenvolvimento, a tradição do sistema utilizado (PAIXÃO, 2015).

Eficiência de campo é um importante critério para verificar a capacidade de campo e para tomar importantes decisões sobre o gerenciamento das máquinas (GRISSE et al., 2004). Segundo a norma ASAE D497.6 (2009), eficiência de campo é a relação entre a capacidade de campo efetiva de uma máquina pela sua capacidade de campo teórica. Esta eficiência está relacionada com o não aproveitamento da largura total de trabalho da máquina, com os hábitos do operador, tempo de manobras e características da área.

De acordo com Hunt et al. (2001), a eficiência de tempo é o resultado da relação entre o tempo que a máquina efetivamente trabalhou na operação de campo e o tempo que ela utilizou para realizar a operação. Nos estudos feitos por Molin et al. (2006) constataram que a eficiência de campo indica o quão eficiente é o sistema no que diz respeito à influência dos tempos de manobra e descarregamento.

Segundo Araldi et al. (2013), eliminando-se os tempos de descargas e de imprevistos, pode-se aumentar aproximadamente 13,4% a eficiência de campo e as variáveis com maior correlação com a redução das eficiências foram tempo de deslocamento e velocidade de deslocamento, para eficiência de campo, e tempo de descarga, para eficiência de tempo.

Em contrapartida, Santos et al. (2014) destacou que o aumento da eficiência de campo diminui o custo de produção do sistema de colheita mecanizada de cana de açúcar e eleva a renda líquida e para se alcançar altas eficiências se fazem necessários grandes investimentos gerenciais para os meios de execução e tempos operacionais.

4 Gerenciamento e adequação de operações

Dentro do contexto da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, seja ela destinada voltada para a indústria de açúcar e etanol, a forma de como e quando estas operações ocorrem são baseadas no seu gerenciamento, sendo determinadas pelos gestores da operação (SILVA et al., 2008).

O gerenciamento das máquinas de colheita parte da definição dos talhões de cana a serem colhidos, para onde serão transportadas, qual caminho será realizado, distância do deslocamento, dentre outros fatores (ANDRADE; PAIVA, 2012). Contudo, a operacionalização das máquinas que realizam a colheita de cana-de-açúcar, de maneira geral, depende basicamente de sua distribuição a campo, da logística do transporte e, por fim, da qualidade da operação a ser desempenhada no decorrer da colheita, sendo influenciada ou não pelo atendimento aos padrões estabelecidos pelo fabricante para maximizar sua forma de uso (VOLTARELLI, 2015).

Neste sentido, associado à gestão da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, está à correta forma de uso das colhedoras em virtude das condições adversas impostas a campo para que esta realize sua função. Segundo Maximiano (2004), o planejamento para adequar um produto ou processo a sua melhor forma de uso é uma ferramenta administrativa relacionando as operações a serem realizadas no presente ou no futuro, dentro dos padrões de qualidade determinados.

Segundo Voltarelli (2015) quando associamos os itens planejamento e qualidade em que as operações agrícolas são desenvolvidas, no caso a colheita mecanizada de cana-de-açúcar, este torna-se o primeiro passo do ciclo da melhoria sistêmica em um determinado processo. Esta etapa envolve os responsáveis pelo entendimento do processo ao qual se quer aplicar o planejamento, esperando resultados satisfatórios que resultem em ganhos produtivos. Por fim, para atingir tais ganhos produtivos, é necessário estabelecer três etapas: estabelecer metas ou intervalo de especificações, identificar o caminho de como estas metas serão alcançadas e o método que será utilizado para chegar a esta meta (MAXIMIANO, 2004).

Após o gerenciamento da operação de colheita definir qual o planejamento a ser realizado e as metas de qualidade a serem atingidas, pode-se utilizar como ferramenta para se obter o máximo de desempenho das colhedoras softwares específicos para o acompanhamento do perfil de carga do motor durante a operação. A análise baseada pelo software levanta os indicadores críticos do processo, ou seja, a quantidade de tempo em que a operação permaneceu fora dos padrões de qualidade que podem causar potenciais de falhas no decorrer da colheita (FERNANDES; REBELATO, 2006).

III MATERIAL E METÓDOS

1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Guariroba, pertencente à Usina Guariroba (Grupo Bünge), localizada em área agrícola do município de Pontes Gestal, SP, situada nas coordenadas geográficas: 20°08'23,82" S, 49°46'31,56" W, com 438 metros de altitude. A área experimental possui declividade média de 5% e solo com classificação textural média.

O porte do canavial foi avaliado, utilizando-se de um triângulo retângulo padrão, de acordo com a metodologia proposta por Ripoli (1996), na qual foram classificados acamados. A cana colhida possui diversas variedades estando em anos de corte diferente. A produtividade média da área colhida ao longo do período total de monitoramento da colhedora foi de 72 Mg ha⁻¹.

2 Máquinas e equipamentos utilizados

Foram utilizadas para a coleta dos dados quatro colhedoras, do mesmo modelo, iniciando a operação com zero horas de uso, 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⁻¹ durante a colheita.

As máquinas utilizadas neste experimento possuíam, de fábrica, um recurso chamado *FieldCruise*, que é um limitador de rotação o 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 então a máquina trabalhar com rotação máxima (JOHN DEERE, 2014).

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 o 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). Trabalha baseado no conceito multi-mestre, onde todos os módulos podem se tornar mestre em determinado momento e escravo em outro, além de suas mensagens serem enviadas em regime multicast, caracterizando o envio de toda e qualquer mensagem para todos os módulos existentes na rede (BARBOSA, 2003).

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	
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	
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	
100	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,7	1,5	6,6	17,7	0,1	0,0	
95	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,5	5,8	6,5	36,8	0,4	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	39,0	0,5	0,0	
80	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	9,4	65,7	5,7	57,9	1,4	0,0	
70	0,0	0,1	0,1	0,6	1,8	0,3	0,1	0,1	23,7	136,9	5,8	41,8	1,6	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	37,9	1,3	0,0	
50	0,0	0,4	0,0	2,4	15,0	0,8	0,0	0,2	16,8	58,5	3,6	14,5	0,6	0,0	
40	0,0	1,0	0,0	2,9	25,3	1,8	0,0	0,1	12,8	51,4	3,0	1,0	0,1	0,0	
30	0,0	11,8	0,0	1,8	57,8	4,0	0,0	0,0	6,8	24,6	0,9	0,1	0,0	0,0	
20	0,0	55,9	0,0	0,8	85,6	4,6	0,0	0,0	0,1	0,5	0,1	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	0,1	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	750	1050	1250	1450	1550	1650	1750	1850	1950	2050	2150	2250	2350	2450

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 Excel, 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 (Figura 2).



Figura 2. Modelo de monitor do perfil de carga do motor da colhedora.

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 a seu desempenho apresentado 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 Excel 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).

A Tabela 1 representa as caracterizações do número de horas motor e elevador trabalhadas, monitoradas por meio do monitor de coluna frontal instalados no interior da cabine da colhedora, sendo os dados armazenados por estes interligados pela rede CAN de comunicação sendo, portanto, coletados por meio eletrônico e descarregado também em uma planilha eletrônica. Por outro lado, o consumo de combustível foi determinado pelos abastecimentos que aconteciam durante a colheita, ou seja, apenas a quantidade total de óleo diesel gasto no período de tempo sendo disponibilidade pelo caminhão comboio após o término do período de avaliação. Por fim, para efeito de cálculos estimados em ganhos em consumo de combustível o preço do litro de óleo diesel foi utilizado valendo R\$ 2,50.

Tabela 1. Características da colheita mecanizada após os períodos inicial e final de trabalho.

Dados	Período sem adequação	Período com a adequação
	Máquina 1	
Período de avaliação	19/03 a 10/04/2015	11/04 a 05/05/2015
Horas motor	290,5	425,2
Horas elevador	156,8	253,3
Consumo de combustível (L)*	11.372,0	16.385,6
Consumo médio (L h ⁻¹)	39,1	38,5
	Máquina 2	
Período de avaliação	19/03 a 10/04/2015	11/04 a 05/05/2015
Horas motor	277,3	429,0
Horas elevador	143,8	363,5
Consumo de combustível (L)*	9.795,4	15.542,9
Consumo médio (L h ⁻¹)	35,3	36,2
	Máquina 3	
Período de avaliação	19/03 a 10/04/2015	11/04 a 05/05/2015
Horas motor	303,9	417,2
Horas elevador	167,6	221,9
Consumo de combustível (L)*	12.593,3	16.883,7
Consumo médio (L h ⁻¹)	41,4	40,5
	Máquina 4	
Período de avaliação	19/03 a 10/04/2015	11/04 a 05/05/2015
Horas motor	287,2	408,2
Horas elevador	143,9	245,6
Consumo de combustível (L)*	10.590,0	15.161,6
Consumo médio (L h ⁻¹)	36,9	37,1

*Consumo médio de combustível foi calculado em função das horas motor.

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, 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 24 horas por dia.

3. Análise dos dados

A planilha desenvolvida em Excel (Figura 3) fornece os resultados necessários para que se possa avaliar a operação em executada 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.

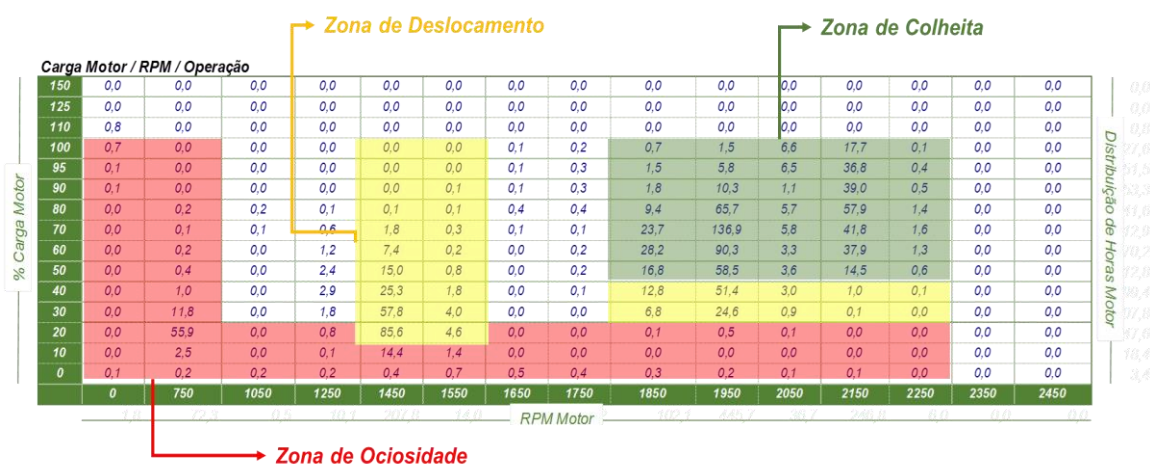


Figura 3. Modelo de planilha utilizada para interpretação dos resultados.

Os parâmetros avaliados por meio da planilha foram em virtude dos pré-estabelecidos pelo fabricante sendo eles (JOHN DEERE, 2014):

- Zona de ociosidade: refere-se ao tempo no qual a máquina estiver com até 20% de carga do motor, em rotação mínima (0 a 750 rpm) ou em rotação de colheita (1450 a 1550 rpm) e com até 10% de carga do motor em rotação média (1850 a 1550 rpm);
- Deslocamento/manobra: a faixa de 1450 a 1550 rpm com 20% a 60% de carga do motor e a faixa de 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.

Para todas as classificações, estas podem ou não estarem 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 painel 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, as operações futuras sejam realizadas de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos pelo fabricante.

4 Análise da eficiência da operação

Os dados do monitoramento dos tempos da colhedora foram coletados por meio da rede CAN, sendo utilizado: as horas motor da colhedora que é o tempo utilizado para mensurar e determinar a eficiência geral de colheita (faixas de transição, motor ocioso, manobra dentro e fora do padrão e colheita dentro e fora do padrão). Por outro lado, as horas elevador foram utilizadas para demonstrar tempo efetivo de colheita em que máquina realizou sua função para o cálculo da eficiência geral de colheita e também para os cálculos da eficiência efetiva de colheita, na qual foi baseada na descrição dos parâmetros elaborados pelo fabricante em função das zonas de ociosidade, deslocamento/manobra e colheita. De posse dos dados adquiridos nos períodos inicial (0 - 23 dias) e final de avaliação (25 – 48 dias), calcularam-se as variáveis relacionadas com a operação em função da rotação do motor e/ou seu perfil de carga (tempo de manobra e a eficiência da operação (eficiência de campo)), considerando-se somente o tempo efetivo de colheita em relação ao tempo total de uso das colhedoras (ASABE EP 496.3, 2011).

Na Tabela 2 são apresentados os valores das horas motor antes e após a adequação as normas do fabricante e o consumo de combustível permitido para cada tipo de operação quando as mesmas trabalham fora da faixa de rotação recomendada para o motor (parâmetros estabelecidos pela John Deere). Portanto, os valores do consumo de combustível e os custos com óleo diesel foram calculados em virtude destes valores.

Tabela 2. Caracterização das horas motor para o cálculo do gasto total e custo de óleo diesel em função das operações de colheita, manobra e motor ocioso fora do padrão.

Colhedora	Horas motor*		
	Colheita fora do padrão	Manobra fora do padrão	Motor ocioso
Máquina 1	46,6 / 14	8,3 / 14,3	43,9 / 49,1
Máquina 2	5,7 / 9,2	7,5 / 16	42,8 / 51,7
Máquina 3	98,7 / 32,5	8,7 / 18,7	40,4 / 41,2
Máquina 4	97,5 / 51,3	5,6 / 10,4	57,9 / 62,7

*Antes da adequação as normas do fabricante / Após a adequação as normas do fabricante.

**Consumo de combustível recomendado para colheita fora do padrão, manobra fora do padrão e motor ocioso: 5, 13 e 10 L h⁻¹.

O cálculo do custo de combustível para as operações foi calculado pela equação 1:

$$Cc = Tempo \times F \quad (1)$$

Em que:

Cc: Consumo total de combustível (L)

Tempo: horas motor trabalhadas antes e após a adequação do produto

F: fator de correção estipulado pela John Deere para cada operação a ser calculada.

O custo em reais calculado para o gasto com combustível foi efetuado por meio da equação 2:

$$Custo = Cc \times 2,50 \quad (1)$$

Em que:

Custo: Custo gasto com óleo diesel em reais (R\$).

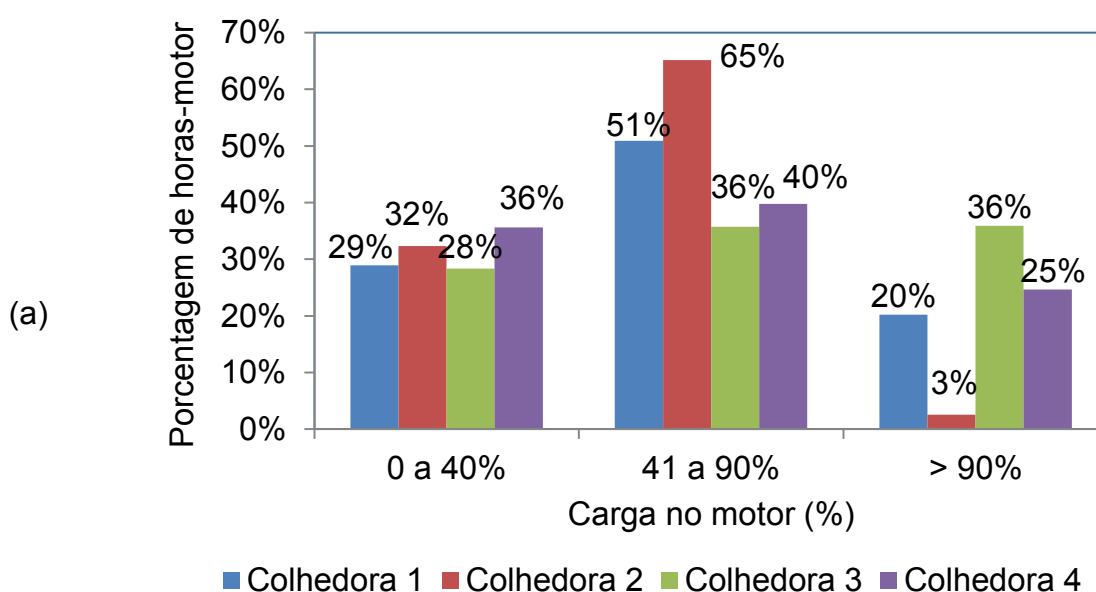
Cc: Consumo total de combustível para cada operação antes e após a adequação do produto.

2,50: Valor do óleo diesel na região da Unidade Produtora no período experimental.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 Desempenho da colhedora em função do perfil de carga no motor

Na Figura 4 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. No primeiro período (Figura 4a), 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.



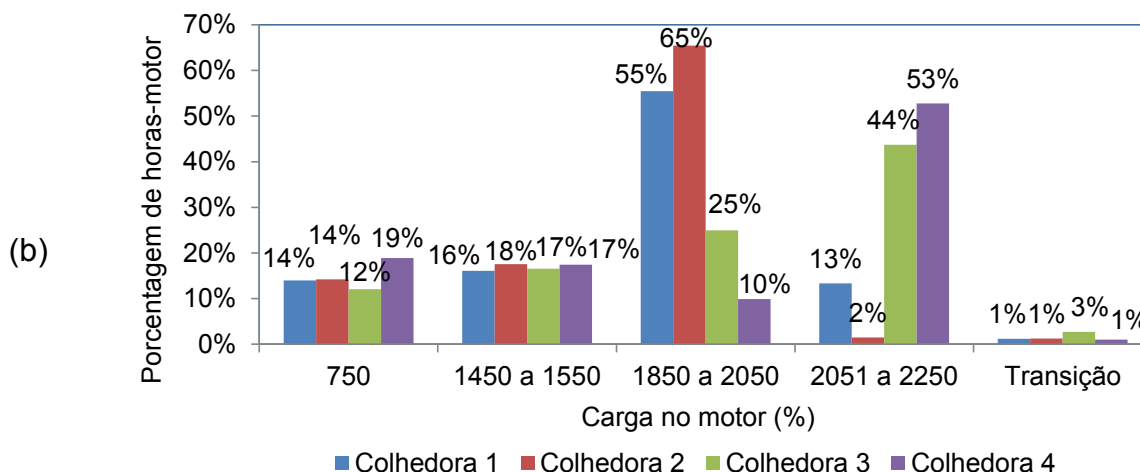


Figura 4. Distribuição de horas-máquina em cada faixa de carga do motor sem adequação aos parâmetros do fabricante: a) porcentagem; b) em função da rotação do motor.

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 4a, constata-se que ocorreram, 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 uso do FieldCruise, 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 diminuí-lo, uma vez que o motor trabalharia fora dos seus padrões estipulados.

De acordo com Kim, Kim e Kim (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 potência disponível, podendo ser interessante para determinadas situações onde existe maior demanda de energia para a realização da operação. Resultados semelhantes foram encontrados por Ali, Hanna e Borg (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.

Por outro lado, quando se analisa os gráficos de execução da colheita (Figura 4b) constata-se que a colhedora número 4 e 2 foram as que permaneceram maior tempo com motor ocioso em relação ao deslocamento (até 750) e a colheita (1450 a 1550), respectivamente. Observa-se ainda que, quando a rotação do motor esta entre 1850 a 2050 rpm, somente as colhedoras 1 e 2 estão dentro dos padrões estabelecidos pelo fabricante, ou seja, atuando de forma eficaz no decorrer da colheita. De forma análoga, ocorre a mesma situação para a faixa de rotação entre 2051 a 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, uma vez que este fato pode resultar em ganhos no total acumulado do consumo horário de combustível.

Ao avaliar a influência da rotação do motor no consumo horário de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar, Lanças et al. (2012) descreveram que, ao utilizar a rotação do motor próximo à rotação de potência máxima (2000 rpm), existe a menor faixa de consumo de óleo diesel com aproximadamente 50 L h^{-1} , porém a velocidade de trabalho utilizada por estes autores foi de $5,0 \text{ km h}^{-1}$ em virtude de a colheita ser em época de safra. Estes resultados podem ser considerados semelhantes ao do presente trabalho, uma vez que o motor da colhedora também trabalhou tentando buscar sua faixa de consumo mínimo, aproveitando o máximo do desempenho do motor.

Na Figura 5 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, uma vez que nesta situação houve a padronização das recomendações designadas pelo fabricante, como forma de adequar o produto (colhedora) a operação. No primeiro período (Figura 5a), 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 5a).

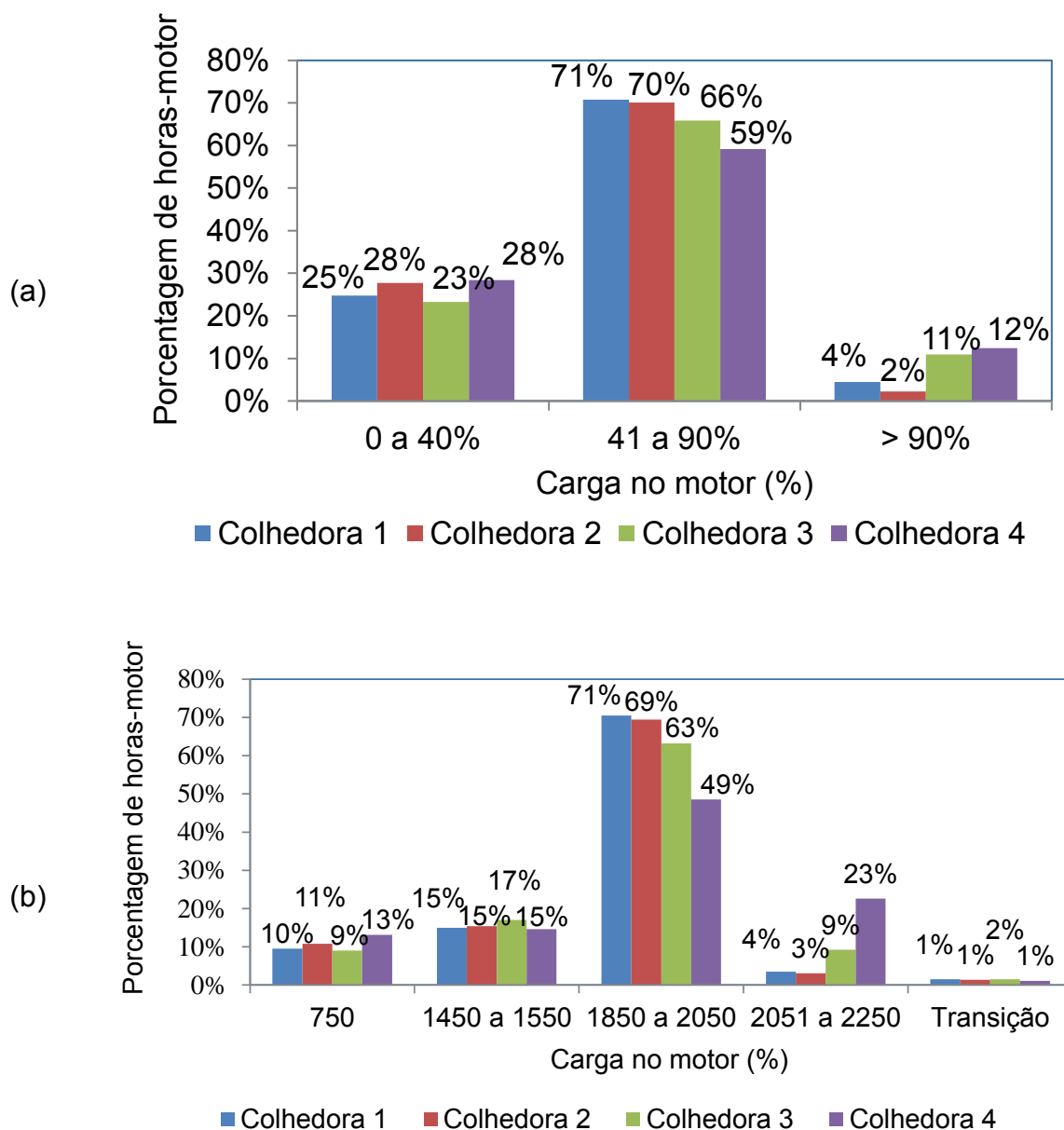


Figura 5. Distribuição de horas-máquina em cada faixa de carga do motor com adequação aos parâmetros do fabricante: a) porcentagem; b) em função da rotação do motor.

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 5b). Em comparação com o trabalho executado sem a adequação do produto as diretrizes do fabricante (Figura 4b), nota-se uma otimização do uso da colhedora destacando-se as colhedoras número 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 5, 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 FieldCruise, 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 5b).

Por outro lado, ao se observar os gráficos de execução da colheita (Figura 5b) constata-se que a colhedora número 4 e 2 foram as que permaneceram maior tempo com motor ocioso em relação ao deslocamento (até 750) e a colheita (1450 a 1550), respectivamente, porém, sendo menores quando não se utiliza critérios do fabricante para adequação do produto. 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, 2015).

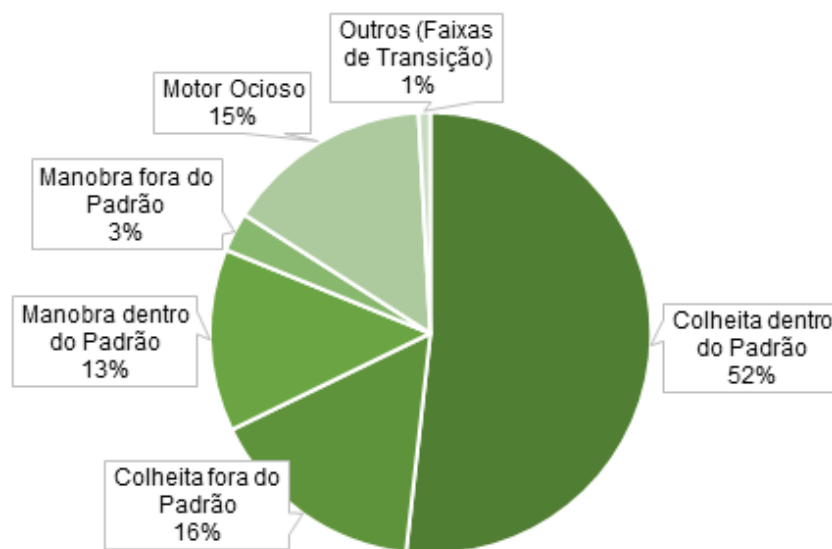
Observa-se ainda que, quando a rotação do motor esta entre 1850 a 2050 rpm, somente as colhedoras número 1, 2 e 3 estão dentro dos padrões estabelecidos pelo fabricante, ou seja, atuando de forma eficaz no decorrer da colheita (faixa entre 50 a 90% do perfil de carga no motor). De forma análoga, ocorre a mesma situação para a faixa de rotação entre 2051 a 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, uma vez que este fato pode também resultar em aumento do consumo horário de combustível.

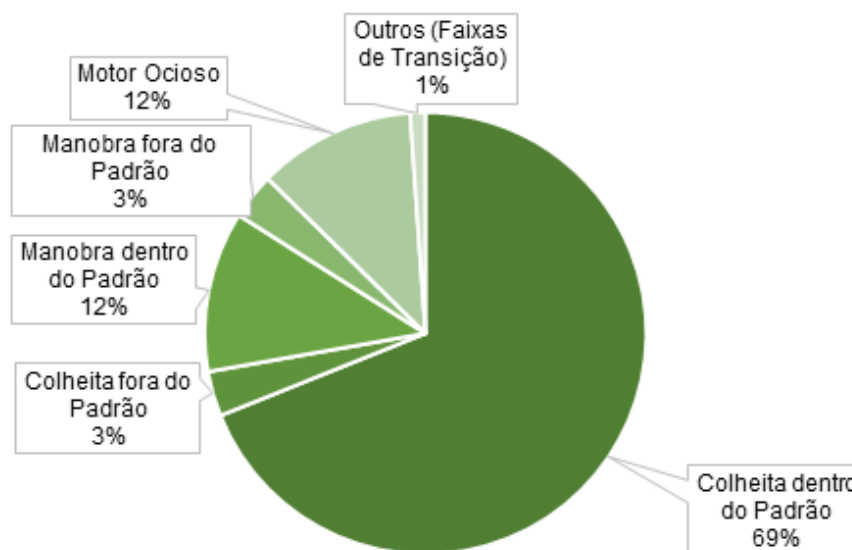
Voltarelli (2013) ao avaliar uma operação agrícola no ciclo da cana-de-açúcar, descreve que a rotação de motores agrícolas, acima de 200 cv, atingem, de maneira geral, a potência efetiva máxima ao redor de 2200 rpm. Esta situação pode ser condizente com a do presente trabalho, uma vez que isso pode indicar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

2 Eficiência da operação

Ao analisar a eficiência de tempos de colheita para a máquina 1 (Figura 6) nota-se que após o período de adequação ao regime de trabalho do fabricante (Figura 6b) as faixas com motor ocioso e colheita fora do padrão reduziram na ordem de 3 e 13%, respectivamente, em relação ao período sem adequação (Figura 6a). Por outro lado, a porcentagem de tempo referente às manobras fora do padrão manteve-se estável com 3%, já para as manobras dentro do padrão observa-se que houve uma leve diminuição na ordem de 1% após a adequação.



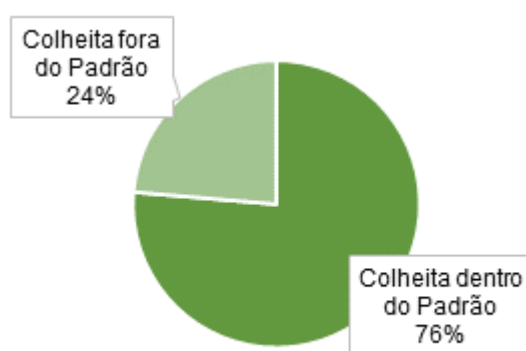
(a)



(b)

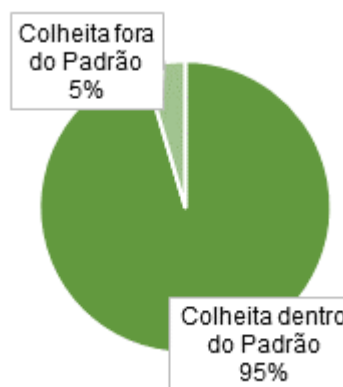
Figura 6. Eficiência de tempos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (a) e após (b) adequação às normas do fabricante para a máquina 1.

Por outro lado, ao se observar os valores da eficiência de tempos efetivos da colheita (Figura 7) verifica-se que o tempo de colheita fora do padrão (Figura 7 a.1) diminui 19% após a adequação do produto as rotações do motor determinadas pelo fabricante (Figura 7 b.1) e, conseqüentemente, elevando o percentual de tempo da colheita dentro do padrão.



(a.1)

Consumo de combustível – 223 L
Custo com combustível – R\$ 582,50



(a.2)

Consumo de combustível – 70 L
Custo com combustível – R\$ 175,00

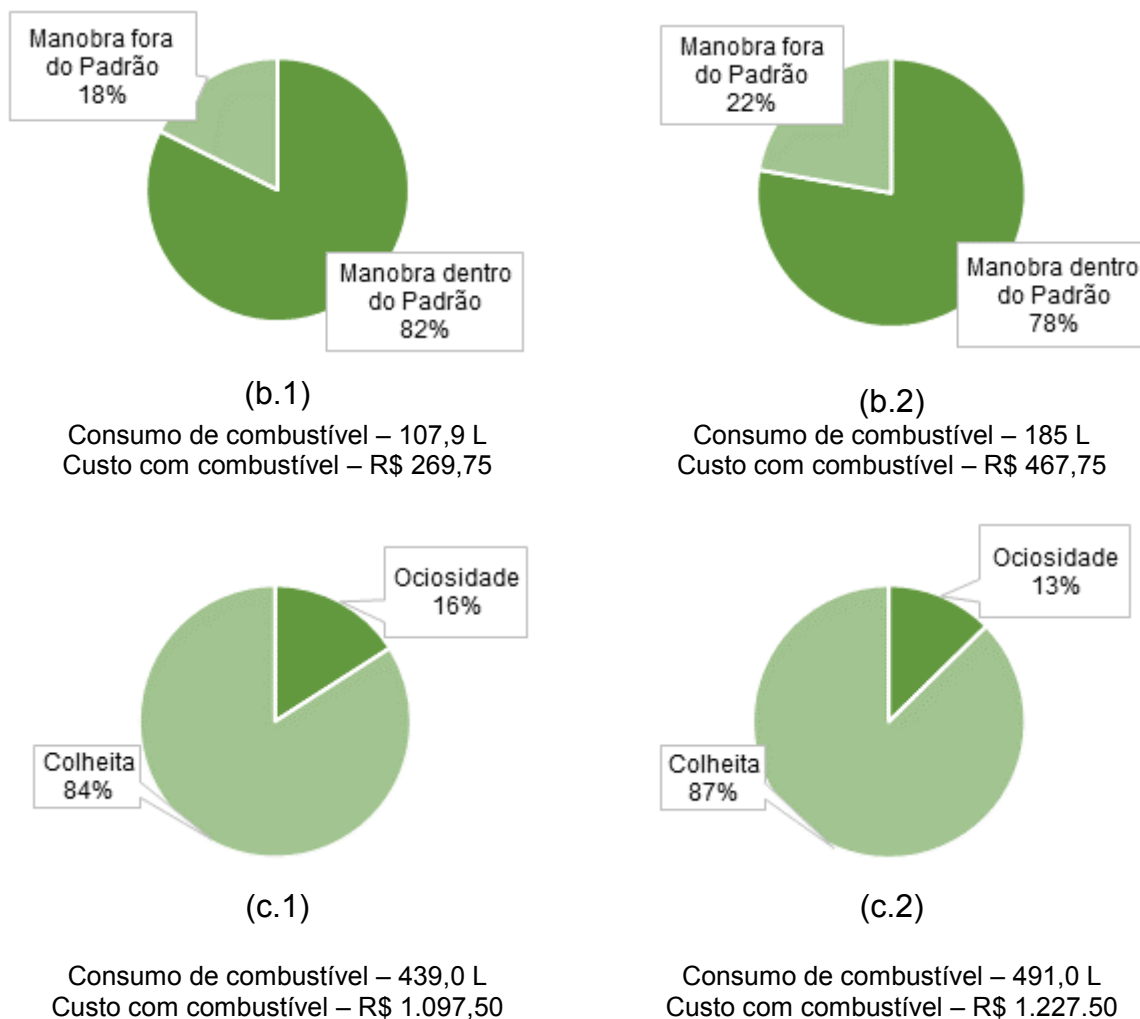


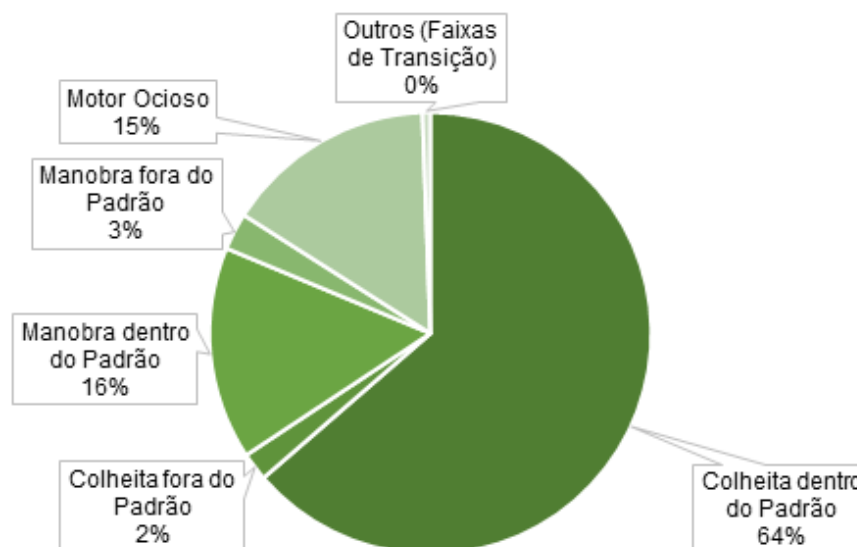
Figura 7. Eficiência de colheita (a), manobras (b) e motor ocioso (c) da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (1) e após (2) adequação às normas do fabricante para a máquina 1.

O tempo de manobra após o período de adequação quando comparado ao período antes da adequação, apresentou um aumento de 4% sendo este acréscimo possivelmente ocorrido pelos espaços reduzidos para a máquina manobrar na cabeceira dos talhões tanto nos períodos diurno e noturno da operação, bem como pela inabilidade do operador folguista para realizar a manobra, pois o valor incrementado, de modo geral, pode ser considerado mínimo, sendo mais condizente com estas situações ocorridas a campo. Neste sentido, quando analisado os tempos de motor ocioso, antes e após adequação do produto, houve uma redução de 3% depois da adequação as normas do fabricante, tornado a faixa de tempo de rotação de colheita com maior tempo de trabalho dentro da faixa especificada.

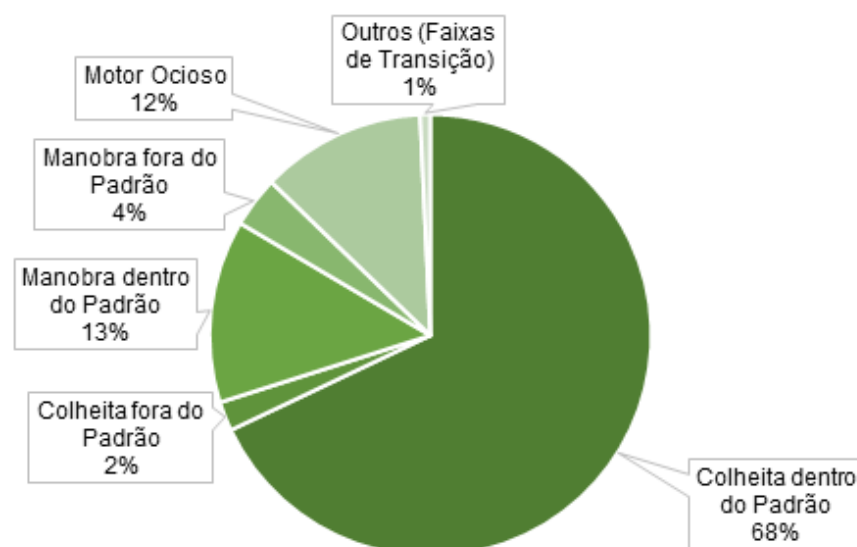
Ao analisar o consumo de combustível por meio do tempo de colheita dentro e fora do padrão, observa-se que houve uma redução do volume total de litros e no custo final da operação, após a adequação da colhedora as normas do fabricante. No entanto, os tempos de manobras e os de colheita em associação com os de motor ocioso, após o tempo de adequação do produto comparado ao período sem adequação, representam um aumento no consumo de combustível e nos custos da operação. Esta situação explica-se em virtude do dinamismo da operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, uma vez que existem diversos fatores que podem influenciar o desempenho da operação, mesmo que o máquina trabalhe em perfeitas condições de funcionamento e sob as recomendações adequada, desta forma não houve sub e super utilização do produto ao seu trabalho.

Segundo Belardo (2010) ao avaliar o desempenho de vários modelos de colhedoras de cana-de-açúcar relatou um valor máximo de consumo de combustível de $63,0 \text{ L h}^{-1}$. Este resultado, quando comparado ao presente trabalho, representa um valor muito elevado antes e após o período de adequação do produto o que retrata que o presente estudo, com uso desta ferramenta de gerenciamento da rotação do motor, traz benefícios ao sistema de colheita de cana-de-açúcar. Ressalta-se ainda que o avanço tecnológicos das máquinas também pode influenciar tamanha diferença dos valores encontrados, mostrando a evolução das colhedoras para minimizar o consumo de combustível, bem como tornar a operação sustentável.

Para a máquina 2, a adequação da colhedora incorreu em pequenas alterações, nas quais o único fator que melhorou foi a faixa de motor ocioso e colheita dentro do padrão com valores de 3 e 4%, respectivamente (Figura 8). Os demais indicadores do desempenho da operação tiveram pequenas reduções e se mantiveram estáveis de maneira geral. Porém, diferentemente da máquina 1 os valores de colheita da máquina 2 estavam em valores aceitáveis para a operação de acordo com a unidade produtora (aproximadamente 60%) mesmo antes da adequação.



(a)



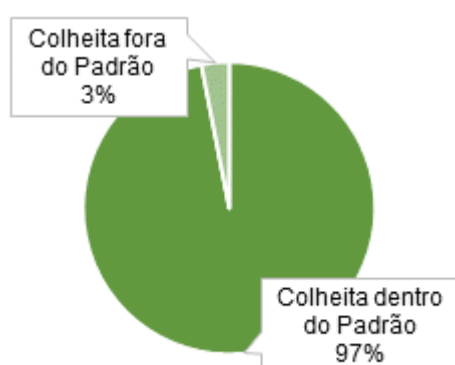
(b)

Figura 8. Eficiência de tempos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (a) e após (b) adequação às normas do fabricante para a máquina 2.

Segundo Banchi et al. (2012) ao estimarem a capacidade operacional da colheita de cana-de-açúcar em função da produtividade agrícola utilizaram um valor de referência para a eficiência das colhedoras de 55% ao longo do período de trabalho. Este valor utilizado quando comparado ao presente trabalho, não condiz mais com realidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, pois em virtude do aumento do nível de tecnologia das colhedoras, bem como das etapas que a

antecedem, a eficiência de tempo das colhedoras aumentou o que reflete na maximização desta etapa produtiva.

Os valores em porcentagem dos tempos de colheita dentro e fora do padrão mantiveram-se estabilizados antes e após a adequação do produto as normas do fabricante, enquanto que a manobra apresentou acréscimo de 7% fora do padrão e, por fim, os tempos de colheita em associação a ociosidade do motor apresentaram uma melhora de 3% o que aumentou o período ideal de rotação com a máquina colhendo cana-de-açúcar (Figura 9).



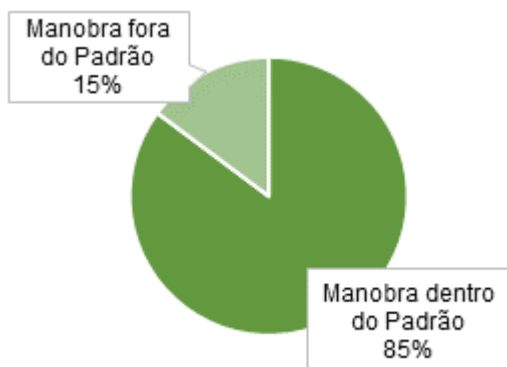
(a.1)

Consumo de combustível – 28,5 L
Custo com combustível – R\$ 71,25



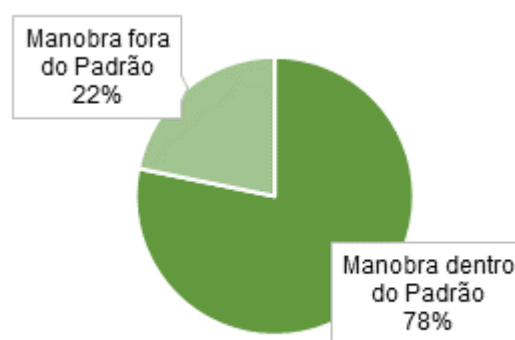
(a.2)

Consumo de combustível – 46,0 L
Custo com combustível – R\$ 115,00



(b.1)

Consumo de combustível – 97,5 L
Custo com combustível – R\$ 243,75



(b.2)

Consumo de combustível – 208,0 L
Custo com combustível – R\$ 520,00

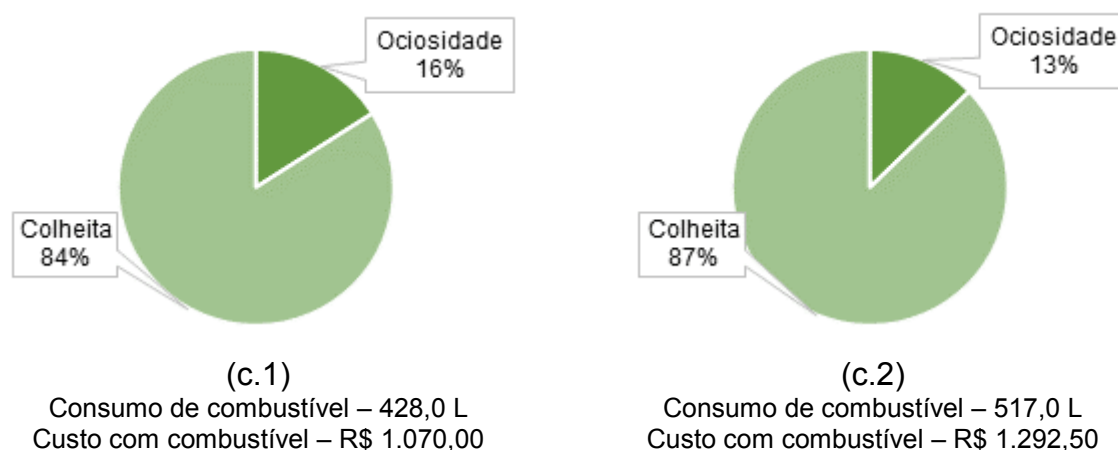
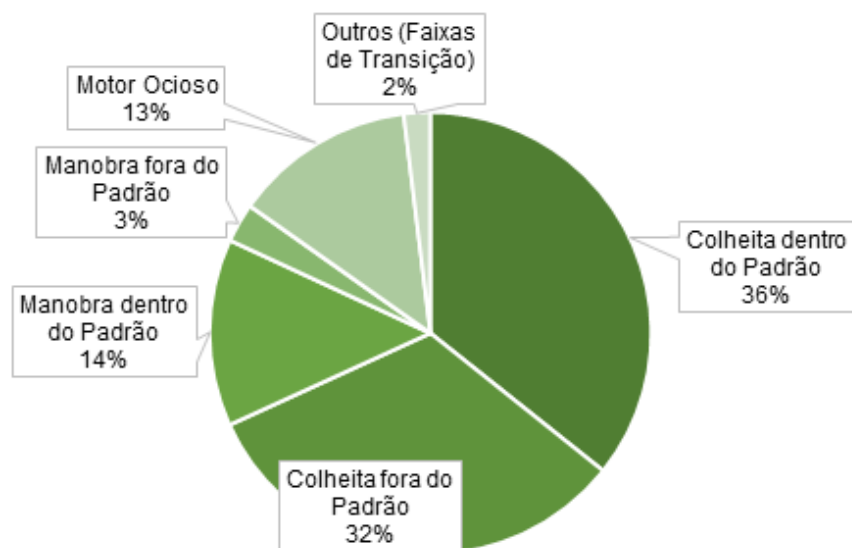


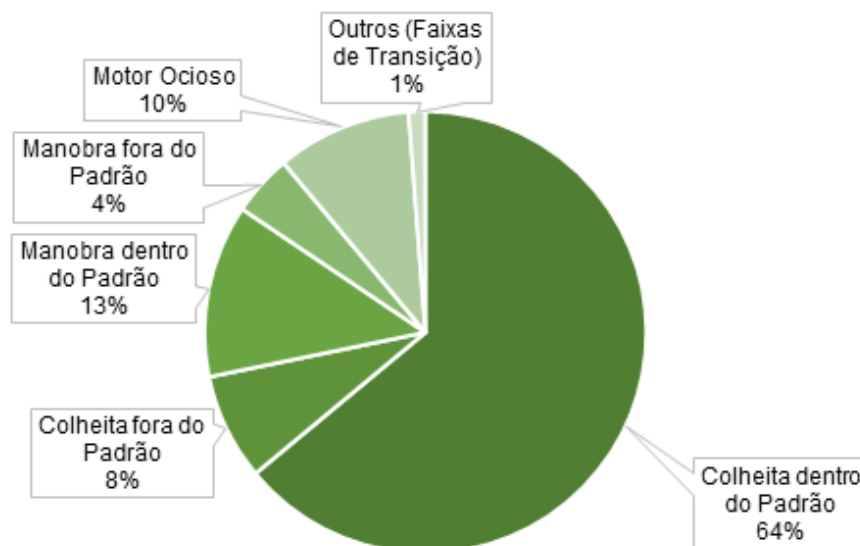
Figura 9. Eficiência de colheita (a), manobras (b) e motor ocioso (c) da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (1) e após (2) adequação às normas do fabricante para a máquina 2.

O consumo de combustível e os custos da operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar foram maiores para o período de pós-adequação dos produtos, situação esta justificada pelo maior quantidade de horas motor e elevador trabalhado pelas máquinas nesse período em relação ao período sem adequação do produto. Neste sentido, ao comparar o consumo de combustível e os custos da operação (Figura 9 c.1 e 9 c.2) observa-se que apesar da maior quantidade de horas motor e elevador nestes períodos os valores das variáveis foram próximos, o que resulta que a adequação do produto deve ser realizada independentemente da situação de trabalho para a maximização da operação, uma vez que a colhedora trabalhou mais e gastou aproximadamente a uma situação em que a máquina não trabalhou e estava sem a adequação do produto.

Nota-se que na máquina 3 antes da adequação havia alto índice de colheita fora do padrão (14%), desta forma, após a adequação conforme as indicações do fabricante a faixa de colheita dentro do padrão foi elevada em 28% (Figura 10), situação esta que comprova que a adequação do produto a sua melhor rotação de trabalho traz melhoria na eficiência de colheita.



(a)

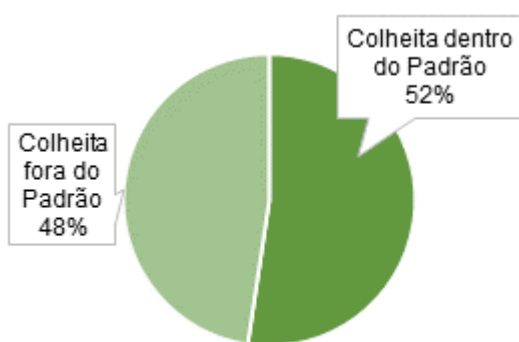


(b)

Figura 10. Eficiência de tempos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (a) e após (b) adequação às normas do fabricante para a máquina 3.

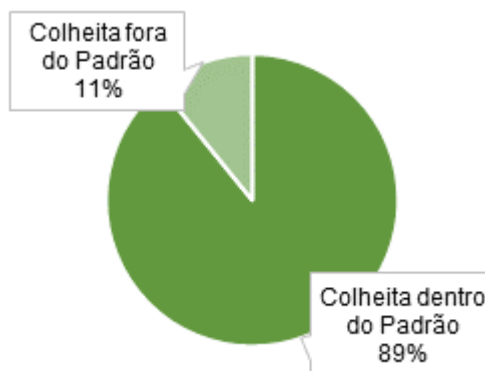
Observa-se também que as faixas de motor ocioso e transição tiveram pequenas reduções após a adequação, por outro lado, as faixas referentes às manobras tiveram pequenas reduções de eficiência, aumentando em 1% às manobras fora do padrão e, conseqüentemente, reduzindo na mesma magnitude as manobras dentro do padrão.

Para as porcentagens de tempos de colheita fora do padrão houve uma redução do valor após a adequação do produto (37%) retratando que ao se atender as recomendações do fabricante dentro das rotações ideal de trabalho para o colhedora pode-se conseguir redução na quantidade total de combustível e nos custos desta operação de forma satisfatória (Figura 11 a.1 e 11 b.1).



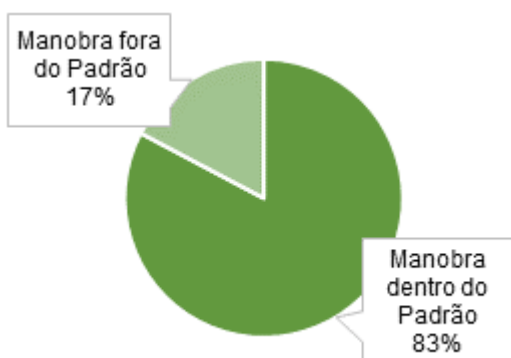
(a.1)

Consumo de combustível – 493,5 L
Custo com combustível – R\$ 1.233,75



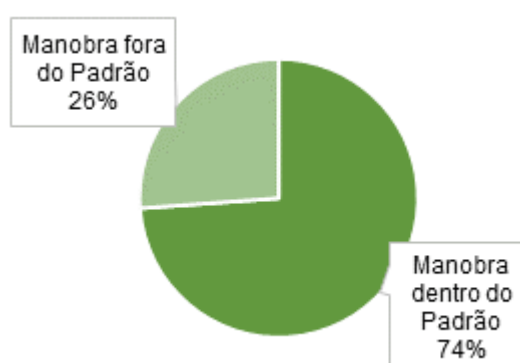
(a.2)

Consumo de combustível – 162,5 L
Custo com combustível – R\$ 406,25



(b.1)

Consumo de combustível – 113,1 L
Custo com combustível – R\$ 282,75



(b.2)

Consumo de combustível – 243,1 L
Custo com combustível – R\$ 607,75

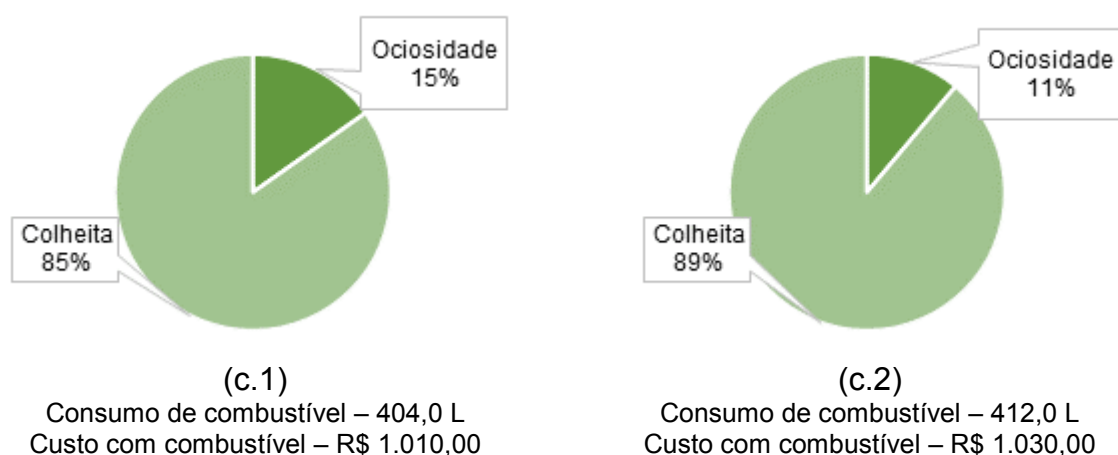


Figura 11. Eficiência de colheita (a), manobras (b) e motor ocioso (c) da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (1) e após (2) adequação às normas do fabricante para a máquina 3.

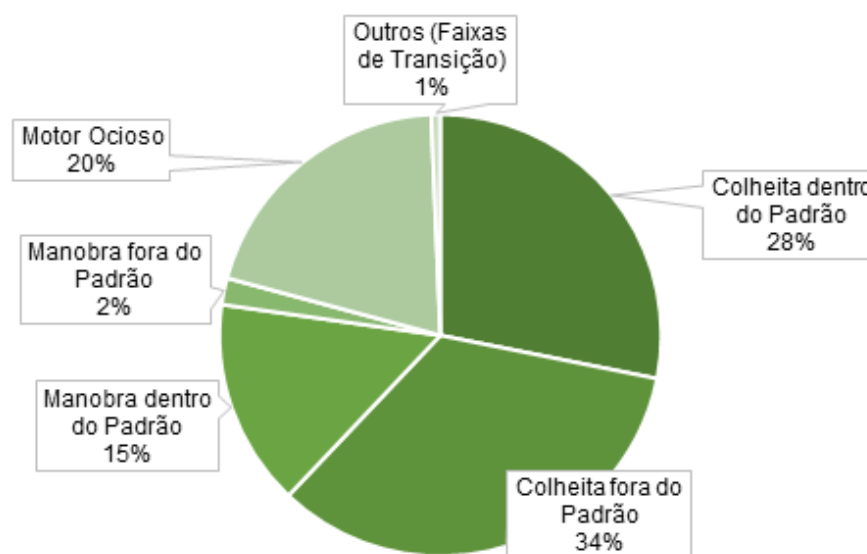
Por outro lado, o tempo de manobra dentro do padrão após o período de adequação obteve um decréscimo de 9%, em relação ao período sem adequação. Esta situação resulta em área com dificuldades para a colhedora manobrar podendo ser perto de cercas, canais de vinhaça, rede elétrica, árvores, dentre outros, o que por fim resulta no em manobras com oscilação da rotação do motor tornando esta fora da recomendação do fabricante. A porcentagem de tempo de colheita quando associadas à ociosidade do motor obteve um incremento de 4% no seu valor após o período de adequação do produto, resultando em uma operação de colheita em maior parte do tempo dentro da faixa de rotação estipulada para a mesma, o que proporciona de modo geral maior economia de combustível e menor desgaste dos componentes móveis do motor (para um número igual de horas trabalhadas).

Há de se observar ainda que, o tempo de colheita dentro do padrão após o período de adequação do produto melhorou o que vem a ser benéfico para a colheita, resultando em uma economia no custo com combustível em aproximadamente três vezes ao período sem adequação. Porém, tal situação não foi evidenciada para os tempos de manobra e de motor ocioso em virtude da maior diferença na quantidade de horas após o período de adequação, entretanto, os valores de consumo de combustível e custo da operação de apresentação de modo satisfatório para a operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar uma vez

que a máquinas trabalhou mais horas e gasto próximo ao equivalente a situação que trabalhou menos horas.

Giachini (2012) ao avaliar o desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar em função dos turnos de operação, relatou que o consumo médio de combustível apresenta um valor de $57,5 \text{ L h}^{-1}$. Esta situação quando comparada ao presente trabalho, uma vez que a máquina trabalhou em todos os turnos de operação, representa um elevado valor para o consumo de combustível antes e após o período de adequação do produto, o que resultou em uma melhor qualidade da colheita no presente estudo.

Os menores valores de eficiência foram obtidos na máquina 4 notadamente pelo alto valor de colheita fora do padrão, tendo apenas 28% de colheita dentro do padrão antes do período de adequação (Figura 12). Posteriormente a adequação, os índices de manobras fora do padrão e faixas de transição se mantiveram estáveis, enquanto que as porcentagens de tempo de rotação ideal para o motor ocioso e manobras dentro do padrão reduziram em 5% e 3%, respectivamente. Por outro lado, nos tempos relacionados à colheita observa-se que os valores fora do padrão, após adequação reduziu 21% do tempo total da operação, enquanto que para a colheita dentro do padrão teve um acréscimo de 29%.



(a)

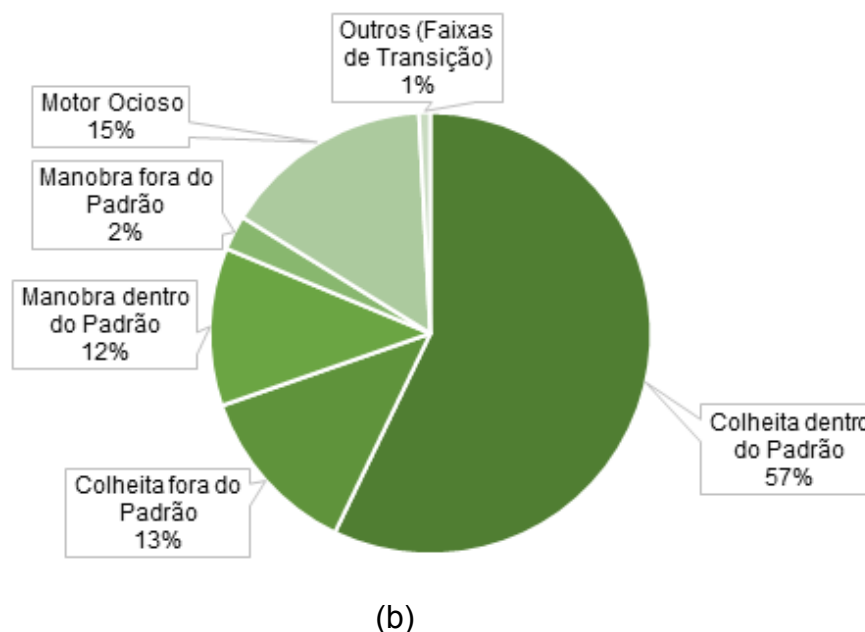


Figura 12. Eficiência de tempos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (a) e após (b) adequação às normas do fabricante para a máquina 4.

Apesar do valor da colheita dentro do padrão ter mais que dobrado, o índice obtido após a adequação (57%) foi inferior a demais máquinas monitoradas (69 e 64%), este fato possivelmente é decorrente do fator mão-de-obra, sendo passível de ser corrigida por meio de treinamentos dos operadores, sistematização de talhões para facilitar manobras e a própria colheita e, por fim, constantes adequações do produto em função da análise da operação por meio desta com esta ferramenta de monitoramento das máquinas com ênfase na melhoria de sua gestão.

Nota-se que a intervenção do trabalho, na máquina 4, com auxílio da ferramenta de monitoramento contribuiu para aumentar o tempo de colheita dentro da faixa de rotação do motor indicada pelo fabricante, reduzindo as faixas consideradas inadequadas, garantindo maior desempenho da colhedora durante a colheita (Figura 13). Por outro lado, faixa com manobras teve redução de seus índices considerados adequados, sendo passível de intervenções da equipe gestora a fim de ajustar ou orientar os operadores desta máquina. Para os tempos de ociosidade, observa-se que os valores foram reduzidos na ordem de 5% após a adequação, por este motivo o tempo de colheita foi favorecida, característica esta que sempre é almejada para melhorar o desempenho de máquinas agrícolas.

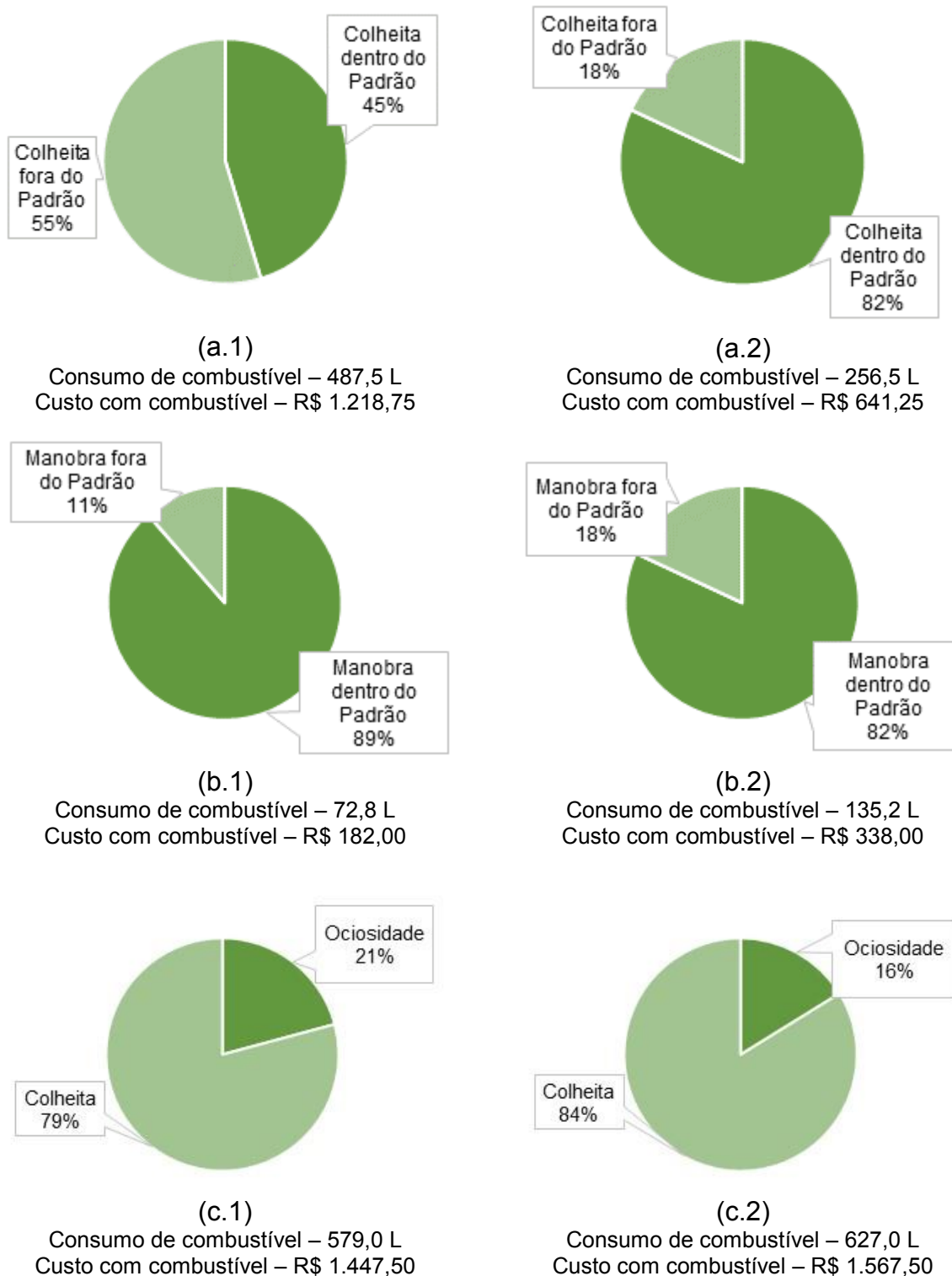


Figura 13. Eficiência de colheita (a), manobras (b) e motor ocioso (c) da colheita mecanizada de cana-de-açúcar antes (1) e após (2) adequação às normas do fabricante para a máquina 4.

O consumo e custo com combustível apresentou redução apenas para o parâmetro colheita, uma vez que após a adequação houve redução do consumo em decorrência do aumento da faixa de rotação do motor dentro do padrão para a colheita. Para os consumos decorrentes de manobras e faixas de ociosidade, o consumo foi maior após a adequação, porém, o consumo deve ser observado no conjunto da operação, desta forma ao se somar os três indicados antes e após da operação nota-se uma redução do consumo favorece a economia com combustível, o que não impede de continuar sendo monitorado buscando reduzir os consumos em manobras e nas ociosidades, uma vez que a colheita tem influência de elevada fonte de variação e dinamismo durante a operação.

Ramos et al. (2014) ao estudarem o consumo de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar relataram que o volume de diesel gasto durante a colheita variou de acordo com a rotação do seu motor e da sua velocidade de deslocamento, aumentando à medida que se aumentou a rotação do motor ou a velocidade. Estes resultados, em partes, podem ser semelhantes ao presente trabalho, pois com o aumento da rotação do motor acima da faixa ideal recomendada pelo fabricante há um incremento no consumo de combustível e nos custos desta operação.

V CONSIDERAÇÕES FINAIS

As colhedoras obtiveram melhoria no desempenho após as adequações às normas do fabricante, aumentando tempos de colheita e manobras dentro do padrão.

A adequação da colhedora às normas fabricante promove a redução do consumo de combustível.

O *FieldCruise* permite a melhoria da eficiência energética das colhedoras.

VI REFERÊNCIAS

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.

ANDRADE, M. C. F.; PAIVA, E. L. Green supply chain management na agroindústria canaveira: o caso de Jalles Machado. **Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos**, v.9, n.1, 2012, p. 2-12.

ASAE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS). ASAE EP 497.6 JUN09: Agricultural machinery management data. In: _____. **ASAE Standards 2009: standards engineering practices data**. St. Joseph, 2009. p. 350-357.

ASABE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL BIOLOGICAL ENGINEERS). ASABE EP 496 JUN11: Agricultural machinery management data. In: _____. **ASABE Standards 2011: standards engineering practices data**. St. Joseph, 2011. 6 p.

ARALDI, P. F.; SCHLOSSER, G. F.; FRANTZ, U. G.; RIBAS, R. L.; SANTOS, P. M. Eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 3, p. 445-451, 2013.

BELARDO, G. C. **Avaliação de desempenho efetivo em três colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima**. 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BANCHI, A. D.; LOPES, J. R.; MARTINS, J. M.; DIMASE, M. Capacidade operacional de colhedora de cana-de-açúcar – Modelagem matemática em função da produtividade agrícola e da vida da máquina. **Revista Agrimotor**, n.8, p. 42-45, 2012.

BARBOSA, L. R. G. **Rede CAN**. Belo Horizonte. Escola de Engenharia da UFMG. 2003. 14 p.

COELHO, M. F. **Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FERNANDES, J. M. R.; REBELATO, M. G. Proposta de um método para integração entre QFD e FMEA. **Revista Gestão e Produção**, v. 13, n. 2, p. 245-59.

GIACHINI, C. F. **Desempenho operacional de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em função dos turnos de trabalho**. 2012. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

GRISSE, R.D, KOCHER, M.F., ADAMCHUK, V.I., JASA, P.J., SCHROEDER. M.A. Field efficiency determination using traffic pattern indices. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, n. 5, p. 563-572, 2004.

HUNT, D. **Farm power and machinery management**. Iowa state press, 2001. 368 p.

JOHN DEERE. **Colhedora de cana John Deere 3510**: Manual do operador. 6. ed. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2006. 238 p.

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

LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A.; RAMOS, C. R. G.; MARASCA, I.; GUERRA, S. P. S. Influência da rotação do motor no consumo de combustível em colhedoras de cana-de-açúcar. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA E CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 10., 2012, Londrina, PR. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2012. 1 CD-ROM.

LINHARES, M.; SETTE JÚNIOR, C. R.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.

LYRA, G. A. **Consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em função da velocidade e rotação de motor**. 2012. 53f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

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

KLAVER, P. P. C; GARCIA, R. C.; JUNIOR, J. F. V.; JUNIOR, C. D. Programa computacional para a determinação da capacidade operacional de máquinas agrícolas. **Revista Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 05, n. 01, p. 52 – 58, 2012.

MAXIMIANO, A. C. A. **Introdução à administração**. São Paulo, Atlas, 2004. 429 p.

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

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificações**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB; FEALQ, 1996. p. 600 – 650.

MOLIN, J.P.; MARCOS MILAN, M.; NESRALLAH, M. G. T.; CASTRO, C. N.; GIMENEZ, L. M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 759-767, 2006.

NERY, M. S. **Desempenhos operacional e econômico de uma colhedora em cana crua**. 2000. 108 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

PACHECO, E. P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; MARTINS, M. B.; MARASCA, I.; SANDI, J. Consumo de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e rotação do motor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43., 2014, Campo Grande, MS. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2014. 1 CD-ROM.

RIPOLI, T.C.C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 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.

RÍPOLI, M. L. C.; RÍPOLI, T. C. C. Evaluation of five sugarcane planters. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1110-1122, 2010.

RODRIGUES, J. G. L.; FERNANDES, J. C.; NASCIMENTO, F. M.; GAMERO, C. A.; BICUDO, S. J. Caracterização física do solo e desempenho operacional de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1813-1824, 2011.

SANTOS, N. B.; CAVALCANTE, D. S.; FERNANDES, H. C.; GADANHA JÚNIOR, C. D. Simulação da eficiência de campo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*). **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 1, p. 09-13, janeiro-março, 2014.

SILVA, R. P.; CORRÊA, C. F.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.28, n. 2, p.292-304, 2008.

SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 220-2245, 2006.

STRICKLAND, R. M.; ESS, D. R.; PARSONS, S. D.; CRISLER, M. T. Extracting machine performance information from site-specific grain yield data to enhance crop production management practices. **Net**, 3p. 2001.

VOLTARELLI, M. A. **Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno**. 2013. 168 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

VOLTARELLI, M. A. **Ferramentas da qualidade na colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2015. 131 f. Tese (Doutorado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.