



## XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

Bogotá, Colombia, 23 al 27 de Mayo de 2016

### MECHANIZED COFFEE HARVEST IN HIGH SLOPES

**Gabriel Augusto de L. Teixeira<sup>1</sup>; Rouverson Pereira da Silva<sup>2</sup>; Felipe Santinato<sup>3</sup>; Caio Fernando Eckhardt Souza<sup>4</sup>; André Pierre<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Department of Rural Engineering, Universidade Estadual Paulista–UNESP/FCAV, Prof. Paulo Donato Castellane Access way, 14884-900 – Jaboticabal, SP–Brazil;

<sup>2</sup> Professor, Department of Rural Engineering, Universidade Estadual Paulista–UNESP/FCAV, Prof. Paulo Donato Castellane Access way, 14884-900 – Jaboticabal, SP–Brazil;

<sup>3</sup>**Student, Universidade Estadual Paulista–UNESP/FCAV, Prof. Paulo Donato Castellane Access way, 14884-900 – Jaboticabal, SP–Brazil;**

<sup>4</sup>Department of Rural Engineering, Universidade Estadual Paulista–UNESP/FCAV, Prof. Paulo Donato Castellane Access way, 14884-900 – Jaboticabal, SP–Brazil;

<sup>5</sup>Department of Rural Engineering, Universidade Estadual Paulista–UNESP/FCAV, Prof. Paulo Donato Castellane Access way, 14884-900 – Jaboticabal, SP–Brazil;

**ABSTRACT.** Brazilian coffee is present in flat and sloping areas, however in higher steepness standard coffee harvesters are unable to perform its function. Operational performance and harvesting efficiency are influenced by steepness To overcome these difficulties some harvesters were adapted to operate at better performance and efficiency on slopes up to 30%, as shown in the present work. An experiment was conducted on five different slopes (10; 15; 20; 25 and 30%), three different rod vibrations (600, 800 and 1000 rpm) and two speeds (800 and 1000 m.h<sup>-1</sup>). Compared with manual harvest and hand-held portable harvesters, the mechanical harvest inflicts less damage to the coffee plant and consequently increases coffee yield on the next year. The results suggest that on a 10% slope, the coffee harvest must work on reduced speed (800 m.h<sup>-1</sup>). On slopes above 20% the mechanical harvest demands 21,6% more time compared to smaller steepness. Downtime in the operation of mechanized harvesting varies from 10.66 to 29.18% due to the higher number of maneuvers.

**KEYWORDS:** Adapted harvesters; high slopes; mechanization

### INTRODUCTION

Um dos grandes desafios para a colheita mecanizada do café é a sua viabilização e o aperfeiçoamento em áreas de declividades mais acentuadas. Este tipo de pesquisa já vem sendo estudada em países como a Colômbia, que apresentam lavouras em locais predominantemente montanhosos (CÁRDENAS et al., 2013; CÁRDENAS et al., 2015).

Na região do Sul de Minas Gerais, das áreas territoriais ocupadas com lavouras cafeeiras 66,74% (290.126 ha) apresentam declividades de até 15%, enquadrando-se como aptas ao sistema de manejo e colheita mecanizada. Os outros 33,26% (144.585,82 ha) enquadram-se como não aptas, ficando sujeitas à colheita exclusivamente manual (SILVA et al., 2009). Além deste região, no Brasil existem outras regiões cafeeiras (Arábica e Conillon) com o relevo predominantemente montanhoso, como a Zona da Mata de Minas Gerais e o Estado do Espírito Santo, compondo aproximadamente 738.910 ha, sendo boa parte não aptos à mecanização (CONAB, 2014).

## XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

Bogotá, Colombia, 23 al 27 de Mayo de 2016

Como a colheita mecanizada é 50 a 60% menos onerosa que a manual, sua viabilidade nas áreas não aptas pode reduzir o custo de produção do cafeicultor (LANNA & REIS, 2012; SANTINATO et al., 2015 b), refletindo em maiores lucros para a classe.

Algumas colhedoras, como a Electron automotriz (TDI), foram projetadas para suplantam a dificuldade imposta pela declividade, devido a um sistema individualizado de ajuste de altura em cada um dos lados da colhedora, nivelando-a conforme a declividade do terreno. A colheita com esse tipo de colhedora em lavouras de maior declividade deve ter o desempenho operacional e a eficiência de colheita mensurada. Isto, porque a declividade pode limitar velocidades operacionais mais elevadas, acima de  $1.000 \text{ m h}^{-1}$ , como as utilizadas em áreas planas do Cerrado de Minas Gerais (SANTINATO et al., 2014a). Além disso, a diferença de altura entre os dois lados da colhedora pode influenciar na quantidade de café caído, refletindo em menor eficiência de colheita.

Outro ponto importante que deve ser estudado na colheita mecanizada em áreas de elevada declividade é o tempo demandado com a operação. Ao realizar a estimativa de tempo gasto nas operações mecanizadas é comum se deparar com grandes diferenças entre o tempo teórico e o tempo efetivo de trabalho. Normalmente, verifica-se a subestimação dos valores de tempo, refletindo em alterações no custo das operações e no dimensionamento das frotas das máquinas utilizadas nas operações. De acordo com a metodologia disponível, para este tipo de cálculo utiliza-se, na cultura do café, o acréscimo de 20% no tempo gasto nas operações de colheita mecanizada (OLIVEIRA et al., 2007 b), em decorrência dos tempos de manobras, e outras paralizações que ocorrem ao longo da operação. No entanto, em elevadas declividades, há um maior número de manobras e paralizações da colhedora para proceder a colheita, de forma que o tempo demandado com a operação pode ser maior.

Portanto, diante destas considerações, objetivou-se neste trabalho determinar as regulagens mais eficientes para a colheita do café na declividade de 10% utilizando uma colhedora Electron automotriz (TDI), e determinar os tempos demandados para a colheita mecanizada nas declividades de 10 a 30%.

### MATERIAL AND METHODS

Foram realizados dois experimentos, na fazenda Santa Felicidade, no município de Santo Antônio do Amparo, nas coordenadas geodésicas  $20^{\circ}51'18''$  latitude Sul e  $44^{\circ}54'18''$  longitude Oeste, na região do Sul de Minas Gerais, com altitude média de 1.050 m, e clima Cwa de acordo com a classificação de Köppen (KÖEPPEN, 1948).

O primeiro experimento objetivou determinar as regulagens (velocidade operacional e vibração das hastes) mais adequadas, visando maior eficiência de colheita, utilizando uma colhedora TDI Electron em uma lavoura típica da região do Sul de Minas Gerais. As lavouras da região são caracterizadas por estarem plantadas em espaçamento semi-adensado, em declividades superiores a 10% e por possuir plantas de porte alto e produtividade mediana (20,0 a 30,0 sacas de café ben.  $\text{ha}^{-1}$ ) (MATIELLO et al., 2010).

O experimento dois teve como foco a avaliação do tempo de colheita, da mesma colhedora, em diferentes declividades, quantificando-se o tempo gasto com as manobras, eventuais paradas e o tempo efetivo da operação. Além disso calculou-se a capacidade de campo operacional (CCO) da colheita mecanizada do café em cada uma das declividades.

Nos dois experimentos utilizou-se uma colhedora Electron automotriz, da marca TDI, com 1.366 horas de utilização, fabricada em 2013, com 67 cv de potência à 1.800 rpm e torque de 274 Nm no motor. A principal diferença entre esta colhedora e uma colhedora convencional é sistema de regulagem de altura independente. Este sistema é individualizado em cada um dos lados que possuem rodados, sendo composto por cilindro hidráulico que eleva, ou reduz a altura da colhedora em relação ao solo procurando alinhar a colhedora, nivelando-a, conforme a inclinação do terreno que esta colhendo.

Nos dois experimentos as lavouras de café utilizadas eram da cultivar Mundo Novo com aproximadamente 4,0 m de altura, espaçada em 3,8 m entre linhas e 0,7 m entre plantas, com

## XII Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

Bogotá, Colombia, 23 al 27 de Mayo de 2016

produtividade média de 23,55 sacas de café ben.ha<sup>-1</sup>. As áreas experimentais diferiram apenas com relação à declividade, sendo de 10% no experimento um.

No experimento um, os tratamentos foram constituídos de um fatorial 3 x 2, sendo três vibrações das hastes e duas velocidades operacionais. As vibrações utilizadas foram de 10, 13,333 e 16,666 Hz, correspondendo a 600, 800 e 1.000 rpm, sendo consideradas, fraca, intermediária e forte (OLIVEIRA et al., 2007; SANTINATO et al., 2014 a). As velocidades avaliadas foram 800 e 1.000 m h<sup>-1</sup> comumente utilizadas na colheita mecanizada nesta região. Somente para a análise dos danos às plantas, houveram dois tratamentos extras (totalizando oito), colhido exclusivamente de forma manual e o colhido manualmente com o auxílio de um derriçador portátil.

Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 28 parcelas. As parcelas foram compostas por quatorze plantas e, espaçadas em 30 m entre si.

Determinou-se a produtividade dos cafeeiros derriçando manualmente sete plantas de cada parcela, previamente à passagem da colhedora. Foram colocados panos de “derriça” de aproximadamente 6,0 m x 2,0 m sob a copa das plantas, dos dois lados da linha de café, de forma que um sobrepusesse o outro. Após isso, os frutos foram derriçados dos pés. O volume do café colhido foi quantificado individualmente por meio de recipiente graduado, para que se calculasse a produtividade média (L planta<sup>-1</sup>).

Do volume de café colhido retirou-se uma alíquota de 2,0 L para as determinações do estágio de maturação, separando os frutos nos estádios verde, cereja, passa e seco. Desta alíquota pesou-se 1,0 kg de café, que posteriormente foi levado ao local de seca, onde permaneceu até obter 11,5% de umidade. Após isto a amostra foi pesada, beneficiada e novamente pesada. De posse dos dados calculou-se a taxa de conversão de kilos de café natural da planta, “café da roça”, para sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>. A taxa de conversão foi utilizada em todas os dados do trabalho para converter o volume de café em sacas de café ben.ha<sup>-1</sup>.

Para a determinação dos parâmetros inerentes à colhedora (quantidade de café caído, remanescente, colhido e eficiência de colheita) colocaram-se panos de derriça sob a copa das outras sete plantas das parcelas. Eles foram fixados no solo utilizando pedaços de viga de aço com 0,2 m, a fim de impedir seu deslocamento durante a passagem da colhedora. Em seguida, operou-se a colhedora e após sua passagem, o café que se desprendera dos ramos e caíra nos panos, foi coletado e teve seu volume medido (Café caído).

Após a limpeza e abanação dos panos, eles foram novamente posicionados sob os pés das plantas e os frutos que ainda estavam presos às plantas foram derriçados manualmente e também medidos (Café remanescente). Em seguida, determinou-se a quantidade de café colhido (equação 01), e de posse desses valores, determinou-se a eficiência de colheita (equação 02):

$$CC = C_{ini} - C_{Caído} - C_{Rem} \quad (01)$$

$$Ef = \frac{CC}{C_{ini}} \cdot 100 \quad (02)$$

Em que:

$Ef$  = Eficiência de colheita (%);

$CC$  = Quantidade de café colhido (Sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>);

$C_{ini}$  = Quantidade de café inicial (Sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>);

$C_{Caído}$  = Quantidade de café caído (Sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>);

$C_{Rem}$  = Quantidade de café remanescente (Sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>).

Os danos provocados às plantas de café decorrente da ação vibratória das hastes da colhedora foram determinados a partir da massa de todo material vegetal, constituída por folhas, galhos e botões florais, que se desprenderam durante a operação da colheita. Este valor foi determinado recolhendo-se e pesando-se todo o material vegetal encontrado sobre os panos de derriça após a passagem da colhedora ou da colheita manual.

Para a análise dos dados realizou-se a análise de variância para café caído, café remanescente, café colhido, eficiência de colheita e danos às plantas. Quando procedente, empregou-se o teste de Tukey, ambos à 5% de probabilidade, comparando-se as linhas e as colunas. Ambas as análises utilizaram o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

## XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

Bogotá, Colombia, 23 al 27 de Mayo de 2016

No experimento dois, os tratamentos foram constituídos das cinco declividades de cada talhão (10, 15, 20, 25 e 30%). Em cada talhão fez-se cinco repetições, sendo cada uma delas em uma linha de café. O delineamento experimental foi o de faixas, contendo 25 parcelas de aproximadamente 200 m ou 280 plantas. Efetuou-se a colheita operando a colhedora com a velocidade operacional de 1.000 m h<sup>-1</sup> e vibração das hastes de 800 rpm, em todos os tratamentos.

Determinou-se a quantidade de café colhido e a eficiência de colheita. No caso deste experimento a eficiência de colheita foi calculada diferentemente do experimento um, devido às condições de delineamento experimental. Foi feito da seguinte forma: Após a colheita de cada linha (repetição), a quantidade de café presente no reservatório foi removida, mensurada e transformada em sacas de café ben ha<sup>-1</sup>, sempre esvaziando o reservatório ao término de cada parcela (café colhido). A partir da quantidade de café colhido, pode-se obter a eficiência de colheita, conforme a equação 3.

$$Ef2 = \frac{CR}{PL} \times 100 \quad (3)$$

Em que;

*Ef2* = Eficiência de colheita (%);

*CR* = Café do reservatório (L);

*PL* = Produtividade da lavoura (L).

Com relação aos tempos de colheita, realizou-se a mensuração dos tempos total de colheita (TC), sendo o tempo demandando do início ao fim da colheita, tempo efetivo de colheita (TEC), sendo o tempo em que a colhedora está realmente se deslocando e derruçando os frutos, tempo de parada total (TP), sendo o tempo que a colhedora não está operando e tempo de manobras (TM), tempo que compõe o tempo de parada, correspondente às manobras realizadas para entrar e sair da linha de café. De posse dos resultados, calcularam-se as respectivas porcentagens de cada uma das variáveis. Também calculou-se a porcentagem do tempo de manobra dentro do tempo de parada total, e a diferença entre o tempo efetivo de colheita e o tempo teórico de colheita.

Os tempos operacionais foram tomados a partir do início da colheita de cada linha, quando a colhedora já se encontrava posicionada prontamente disponível para colher. O tempo era encerrado após a colheita de cada linha, com a saída completa da colhedora da linha de café.

Foram utilizados três cronômetros para realizar as medições, sendo um para a aferição do tempo total de colheita (acionado no início de cada operação), e os demais para o tempo de manobra (acionado somente quando a colhedora executava manobras), e de parada (compreendendo o tempo de manobra e outras interferências que ocasionavam a interrupção da colheita). O tempo efetivo de colheita foi obtido pela diferença entre o tempo total de colheita e o tempo de parada.

Para a comparação do tempo efetivo de colheita e o tempo teórico de colheita adotou-se o tempo teórico de colheita como sendo 3,156 h ha<sup>-1</sup>, pois a colhedora operou em velocidade de 1.000 m h<sup>-1</sup> em áreas com espaçamento entre linhas de 3,8 m, totalizando 2.631,57 m de percurso. Na estimativa do tempo teórico de colheita considerou-se também como tempo médio de parada um percentual de 20% conforme indicado por Silva et al. (2004).

A capacidade de campo operacional (ha h<sup>-1</sup>) foi calculada com base na velocidade média de colheita. Para tanto dividiu-se a área de 1,0 ha pelo tempo total de colheita de cada tratamento.

Os resultados de tempo total de colheita, tempo efetivo de colheita, tempo de parada e eficiência de colheita foram analisados pela ANOVA e quando procedente, comparados pelo teste de Tukey, ambos à 5% de probabilidade.

## RESULTS AND DISCUSSION

Notou-se que as duas maiores vibrações das hastes proporcionaram as maiores quantidades de café caído quando a colhedora se deslocou a 1.000 m h<sup>-1</sup>. Isto ocorreu, pois, na maior velocidade as placas justapostas posicionadas no centro da colhedora abriam com maior frequência, e como o espaçamento entre plantas na linha de plantio era de 0,7 m, permitia que o café caísse em maior quantidade pelos espaços entre as placas (Tabela 1).

Outro ponto é que quanto maior a velocidade operacional maior é a quantidade de café caído (OLIVEIRA et al., 2007), notadamente em lavouras de elevada produtividade (SANTINATO et al.,

## XII Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

Bogotá, Colombia, 23 al 27 de Mayo de 2016

2015 a), devido ao sistema de recolhimento interno da colhedora não acompanhar a velocidade de derriça, não conseguindo recolher o volume de café derriçado.

Na vibração de 600 rpm não houve aumento da quantidade de café caído, com o aumento da velocidade operacional, pois esta vibração derriçou pouca quantidade de café das plantas, e consequentemente permitiu que pouco café caísse no chão. Na velocidade de 800 m h<sup>-1</sup>, o aumento da vibração não elevou a quantidade de café caído, sendo a velocidade mais indicada para a realização da colheita nessa situação (Tabela 1).

**Tabela 1.** Porcentagem de café caído em função da interação entre vibração das hastes e velocidade operacional, Santo Antônio do Amparo, MG, 2014.

Vibração (rpm)	Velocidade (m h <sup>-1</sup> )	
	800	1.000
600	4,77 aA	4,10 bA
800	6,10 aB	8,75 aA
1.000	6,10 aB	8,78 aA
CV (%)	41,88	

\*Médias seguidas por mesmas letras minúsculas, comparadas nas colunas, e maiúsculas, comparadas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Em ambas as velocidades operacionais, a maior vibração utilizada obteve as menores quantidades de café remanescente, sendo que na menor velocidade a quantidade de café remanescente foi a menor obtida no experimento (Tabela 2). O mesmo foi verificado por Oliveira et al., (2007) e Santinato et al., (2014 a). Tal fato minimiza a necessidade de repasse manual, fator preponderante no custo da operação da colheita. Segundo Santinato et al., (2015 b) o custo do repasse manual, dependendo da carga pendente das plantas, compõe a maior parte do custo do processo da colheita.

**Tabela 2.** Porcentagem de café remanescente em função da interação entre vibração das hastes e velocidade operacional, Santo Antônio do Amparo, MG, 2014.

Vibração (rpm)	Velocidade operacional (m h <sup>-1</sup> )	
	800	1.000
600	27,24 aA	27,17 aA
800	26,37 aA	24,74 aA
1.000	11,68 bB	19,03 bA
CV (%)	34,91	

\*Médias seguidas por mesmas letras minúsculas, comparadas nas colunas, e maiúsculas, comparadas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Com relação à eficiência de colheita, na menor velocidade operacional não houve diferença entre 600 e 800 rpm (Tabela 3). A maior vibração promoveu, acréscimo de 21,4% na eficiência da colheita em relação à média das duas menores vibrações (3,4 sacas de café ben ha<sup>-1</sup> colhidos a mais). Na maior velocidade operacional, não houve diferença entre as três vibrações utilizadas. Comparando-se as duas velocidades, nota-se que houve diferença apenas para a vibração de 1.000 rpm, em que na menor velocidade a eficiência foi 13,9% superior à maior velocidade.

Com base no parâmetro operacional da colhedora recomenda-se, nestas condições, a utilização de velocidade operacional de 800 m h<sup>-1</sup> e vibração das hastes de 1.000 rpm, obtendo-se a maior eficiência de colheita, menor quantidade de café remanescente e portanto menor custo.

**Tabela 3.** Eficiência de colheita (%) em função da interação entre vibração das hastes e velocidade operacional, Santo Antônio do Amparo, MG, 2014.

Vibração (rpm)	Velocidade (m h <sup>-1</sup> )	
	800	1.000
600	67,90 bA	68,67 aA

## XII Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

Bogotá, Colombia, 23 al 27 de Mayo de 2016

800	67,50 bA	66,50 aA
1.000	82,20 aA	72,19 aB
CV (%)	10,18	

\*Médias seguidas por mesmas letras minúsculas, comparadas nas colunas, e maiúsculas, comparadas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Os valores de danos às plantas obtidos neste experimento são semelhantes aos encontrados na bibliografia (SILVA et al., 2010; SILVA et al., 2013; SANTINATO et al., 2014 b), em que a colheita mecanizada promove menores danos em relação à colheita manual. Da mesma forma, a colheita manual com o auxílio do derriçador portátil promoveu maiores danos que a colheita mecanizada, não diferindo da colheita exclusivamente manual (Tabela 4). Os derriçadores portáteis são muito utilizados na região do Sul de Minas Gerais bem como nas lavouras cafeeiras da Colômbia (MEJÍA et al., 2013).

O aumento dos danos às plantas ocasiona redução da produtividade na safra seguinte (SANTINATO et al., 2014 b). Isto ocorre pela danificação dos nós e, em alguns casos, dos botões florais que originarão a carga da safra seguinte (DAMATTA et al., 2007). Quando a planta sofre elevada desfolha, ao invés de destinar seus metabólitos para a produção de frutos, destina-os para a recomposição de sua estrutura vegetativa, reduzindo a produtividade (MATIELLO et al., 2010).

Como já constatado na literatura, em outras situações de colheita mecanizada do café, o aumento da vibração das hastes elevou a quantidade de danos às plantas (OLIVEIRA et al., 2007). No entanto, isto ocorreu apenas para a maior velocidade operacional e menor vibração. Na menor velocidade operacional, trabalhar com 600 a 1.000 rpm promoveu a mesma quantidade de danos às plantas, ou seja, com relação aos danos as plantas as regulagens de 800 m h<sup>-1</sup> e vibração de 1.000 rpm também podem ser recomendadas (Tabela 4).

**Tabela 4.** Danos às plantas em função (kg planta<sup>-1</sup>) da interação entre vibração das hastes e velocidade operacional, Santo Antônio do Amparo, MG, 2014.

Vibração (rpm)	Velocidade (m h <sup>-1</sup> )	
	800	1.000
600	1,99 bA	1,51 cB
800	2,14 bA	1,97 bA
1.000	2,05 bA	2,01 bA
Colheita manual	2,57 a	
Colheita semimecanizada utilizando derriçador portátil	2,44 a	
CV (%)	13,01	

\*Médias seguidas por mesmas letras minúsculas, comparadas nas colunas, e maiúsculas, comparadas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

As capacidades de campo operacionais obtidas foram de 0,24; 0,23; 0,24; 0,18 e 0,18 ha h<sup>-1</sup>, respectivamente para as declividades de 10; 15; 20; 25 e 30%. Dessa forma tem-se que a maior diferença entre os tratamentos foi de 0,06 ha h<sup>-1</sup>, ou seja, a cada hora a colhedora operando em elevadas declividades (25 e 30%) colhe 203 plantas a menos que a colheita em declividade de 10%.

Em um dia de trabalho de 8 h, a colhedora, operando em elevadas declividades irá colher 1.621 plantas a menos, ou seja 0,5 ha a menos que a colheita em declividade de 10%. Em sessenta dias, tempo que a colheita mecanizada demora para ser procedida em algumas propriedades, a área colhida seria 30 ha menor, dessa forma haveria grande impacto no dimensionamento de maquinário da propriedade.

Notou-se que o tempo total de colheita (Tabela 5) foi maior nas declividades de 25 e 30%, sem apresentar grandes diferenças entre as declividades de 10, 15 e 20%. Este maior tempo pode ser explicado pelo fato de que, nas maiores declividades, a colhedora não conseguiu desempenhar a velocidade operacional desejada (1.000 m h<sup>-1</sup>) durante todo o percurso, sendo esta velocidade reduzida conforme as irregularidades do terreno. Na média, a colheita nas duas maiores declividades demandou 21,6% a mais de tempo para serem realizadas em relação às menores declividades.

## XII Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

Bogotá, Colombia, 23 al 27 de Mayo de 2016

Verificou-se diferenças entre o tempo efetivo de colheita e o tempo teórico de colheita de 0,94 a 1,19 h ha<sup>-1</sup>, nas menores declividades (29 e 37% a mais), e de 2,15 e 2,22 h ha<sup>-1</sup>, nas duas maiores declividades (68,0 a 70,48% a mais) (Tabela 5).

Analisando a operação como um todo, notou-se que o tempo efetivo de colheita variou entre 70,82 e 89,38% do tempo total da operação, ou seja o tempo de parada é responsável por 10,66 a 29,18% do tempo total da operação (Tabela 5).

Isto pois, o fator declividade impõe limitações operacionais para a colheita mecanizada, demandando maior tempo para manobras, devido aos ajustes nos cilindros que regulam a altura da máquina no início do processo antes de iniciar a colheita em cada linha do café, dentre outras paralizações.

Em lavouras plantadas em espaçamentos mais antigos (adensado entre linhas e largo entre plantas), como por exemplo 3,6 entre linhas e 1,0 m entre plantas, e delineadas em talhões não planejados para a colheita mecanizada, verifica-se a necessidade de maior quantidade de manobras das colhedoras, o que pode interferir ainda mais no tempo efetivo de colheita.

**Tabela 5.** Tempo real total da operação de colheita mecanizada do café, diferença entre tempo total real e teórico, tempo efetivo de colheita e tempo de parada, em cinco declividades, Santo Antônio do Amparo, MG, 2014.

Declividade (%)	Tempo				
	Real total	Diferença (Real-Teórica)	Efetivo de colheita	Parada	
	------(h ha <sup>-1</sup> )-----	-----	-----(%)------	-----	
10	4,13 a	0,97 a	30,81 a	82,33 a	17,77 a
15	4,34 a	1,19 a	37,65 a	89,38 a	10,66 a
20	4,10 a	0,94 a	29,79 a	87,50 a	12,48 a
25	5,38 b	2,22 b	70,48 b	80,73 a	19,28 a
30	5,31 b	2,15 b	68,10 b	70,82 b	29,18 b

\*Médias seguidas por mesmas letras minúsculas, comparadas nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

O tempo de parada (Tabela 6) variou de 0,51 a 1,54 h ha<sup>-1</sup>, sendo maior à medida em que elevou-se a declividade. A composição do tempo de parada teve como predominante o tempo de manobra para as declividades até 25%. O tempo de manobra varia conforme o dimensionamento dos talhões e carregadores, espaçamento de plantio e ondulações. Na maior declividade, o fator preponderante no tempo de parada foram as outras paralizações. Isto ocorreu, pois na maior declividade ocorreram maior número de ajustes na altura da colhedora ao longo do percurso.

**Tabela 6.** Tempo de parada da operação da colheita mecanizada e sua respectiva composição, em cinco declividades, Santo Antônio do Amparo, MG, 2014.

Declividade (%)	Tempo de parada	Tempo de manobra	Outras paralizações
	(h ha <sup>-1</sup> )	-----%	-----
10	0,73 a	69,89	30,11
15	0,46 a	73,70	26,30
20	0,51 a	61,98	38,02
25	1,04 a	73,24	26,76
30	1,54 b	40,92	59,08

\*Médias seguidas por mesmas letras minúsculas, comparadas nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

## XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

Bogotá, Colombia, 23 al 27 de Mayo de 2016

Não houve diferença na eficiência de colheita entre os tratamentos estudados. Em todas as declividades, a colhedora teve eficiência satisfatória, variando de 53,56 a 66,08%, valor considerado adequado para o tipo de colheita plena (SILVA et al., 2013; SANTINATO et al., 2014 a).

**Tabela 7.** Eficiência de colheita, em cinco declividades, Santo Antônio do Amparo, MG, 2014.

Declividade (%)	Eficiência de colheita	
	(%)	
10	63,38 a	
15	66,08 a	
20	53,56 a	
25	58,57 a	
30	62,98 a	

\*Médias seguidas por mesmas letras minúsculas, comparadas nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

### CONCLUSIONS

1. Em lavoura típica do Sul de Minas Gerais deve-se optar por operar em velocidades reduzidas (800 m h<sup>-1</sup>) e vibrações maiores (1.000 rpm).
2. Em declividades acima de 20% a colheita mecanizada demanda 21,6% a mais de tempo para ser procedida que em declividades menores.
3. O tempo efetivo da colheita mecanizada do café varia de 70,82 a 89,38% em função da declividade do terreno.
4. O tempo de parada na operação da colheita mecanizada corresponde a 10,66 a 29,18% do tempo total da colheita, variando em função do maior número de manobras.

### REFERENCES

- CÁRDENAS, E.L.M.; TASCÓN, C.E.O.; CARVAJAL, O.A.A.; MEJÍA, F.A. Development of a new striker for a portable coffee harvesting tool. **Revista da Faculdade Nacional de Agronomia de Medellín**, 66(2):7071-7083, 2013.
- CÁRDENAS, E.L.M.; TASCÓN, C.E.O.; MEJÍA, F.A. A portable device to assist in the harvest of coffee in Colombia. **Revista da Faculdade Nacional de Agronomia de Medellín**, 68(1):7471-7479, 2015.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Indicadores agropecuários**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- DaMATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal Plant Physiology**, 19(4): 485-510, 2007.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- KÖEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.
- LANNA, G.B.M.; REIS, P.R. Influência da mecanização da colheita na viabilidade econômico-financeira da cafeicultura no sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v.7, n. 2, p. 110-121, 2012.
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. G.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro e Varginha: MAPA/PROCAFÉ, 2010. 542 p.
- MEJÍA, F.A.; TASCÓN, C.E.O.; URIBE, J.R.S. Evaluation of mechanical beaters in coffee harvesting. **Revista da Faculdade Nacional de Agronomia de Medellín**, 66(1):6919-6928, 2013.
- OLIVEIRA, E.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; SOUZA, Z. M; CHALFOUN, S. M.; FIGUEIREDO, C. A. P. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 06, p. 827 - 831, 2007 b.

## XII Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

Bogotá, Colombia, 23 al 27 de Mayo de 2016

OLIVEIRA, E.; SILVA, F.M.; SALVADOR, N.; FIGUEIREDO, C.A.P. Influência da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no processo de colheita mecanizada do café. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p.714-721, set./dez. 2007 a.

SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; CARVALHO FILHO, A.; SANTINATO, R. Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas operações da colhedora. **Coffee Science**, v. 10, n.4, 2015 b.

SANTINATO, F.; SILVA, R.P.; CASSIA, M.T.; SANTINATO, R. Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras. **Coffee Science**, v. 9, n.4, 2014.

SANTINATO, F.; SILVA, R.P.; RUAS, R.A.A.; CASSIA, M.T.; SANTINATO, R. Efeitos fisiológicos na cultura do café decorrentes da utilização de uma a seis passadas da colhedora. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 39, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** Serra Negra: MAPA/PROCAFÉ, 2014 b. P. 204 – 207.

SILVA, F.C.; SILVA, F.M.; SILVA, A.C.; BARROS, M.M.; PALMA, M.A.Z. Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, Lavras, v.8, n.1, p.53-60, 2013.

SILVA, F.M.; ALVES, M.C.; SOUZA, J.C.; OLIVEIRA, M.S. Efeitos da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijací, Minas Gerais. **Ciência e Agro tecnologia**, v. 34, n.3, p. 625-632, 2010.

SILVA, F.M.; REZENDE, F.A.; ALVES, H.M.; ALVES, M.C.; MOREIRA, M.A.; SILVA, A.C. Potencialidade de mecanização da região sul e sudoeste de minas gerais, visando a lavoura cafeeira. *In* SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6. Resumos expandidos... EMBRAPA, 2009.