

ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE CO₂ EQUIVALENTE EM OPERAÇÕES MECANIZADAS NA CULTURA DO CAFEIEIRO

Geraldo Gomes de Oliveira Júnior*

Adriano Bortolotti da Silva**

Magda Aparecida de Lima***

Joao Carlos Teles Ribeiro da Silva****

Ligiane Aparecida Florentino*****

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido*****

RESUMO: O emprego da mecanização na cafeicultura brasileira é essencial para otimização da produção, entretanto, a crescente exigência dos mercados internacionais em busca de uma cadeia produtiva de baixo carbono faz com que as propriedades cafeeiras busquem compreender como suas atividades contribuem para a emissão de gases de efeito estufa (GEE). O objetivo do presente estudo foi estimar a emissão de CO₂ equivalente (CO₂ eq) por hectare, nas principais operações mecanizadas realizadas na cultura do cafeeiro no Sul de Minas Gerais. A estimativa de CO₂ eq foi realizada através de um estudo de caso, utilizando-se para os cálculos os parâmetros de emissão de GEE da metodologia do GHG Protocol Agricultura. Os resultados mostraram que nas operações de plantio de café em sistema agrícola convencional as atividades de aração, aplicação de matéria orgânica e de bater covas contribuíram com 73,92% das emissões estimadas de CO₂ eq ha⁻¹ nesta etapa, totalizando 178,61 kg CO₂ eq ha⁻¹. Nos tratos culturais as operações realizadas para colheita mecanizada apresentaram-se como as maiores fontes de emissão de GEE, estimadas em 123,81 kg CO₂ eq ha⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Cafeicultura; Gases de efeito estufa; Mecanização agrícola.

* Doutor em Agricultura Sustentável, Docente do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sul de Minas (IFSULDEMINAS) campus Muzambinho - MG, Brasil. E-mail: geraldo.junior@muz.ifsulde Minas.edu.br

** Doutor em Agronomia, Docente da Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS) campus Alfenas - MG, Brasil.

*** Doutora em Geociências e Meio Ambiente, Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Meio Ambiente), Brasil.

**** Doutor em Engenharia Mecânica, Docente do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sul de Minas (IFSULDEMINAS) campus Muzambinho - MG, Brasil.

***** Doutora em Ciência do Solo, Docente da Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS) campus Alfenas - MG, Brasil.

***** Doutor em Agronomia, Docente do Instituto Federal do Mato Grosso do Sul (IFMS) - câmpus Naviraí - MS, Brasil.

ESTIMATES OF EQUIVALENT CO₂ EMISSION IN MECHANIZED WORK IN COFFEE CULTURE

ABSTRACT: Mechanization in coffee culture in Brazil is crucial for the optimization of production. However, growing demands of international markets for a low carbon productive chain trigger debates on producers with regard to hothouse gas emissions (GEE) due to their activities. Current study estimates the emission of CO₂ equivalent (CO₂ eq) per hectare in the main mechanized operations of coffee culture in the south of the state of Minas Gerais, Brazil. CO₂ equivalent was estimated by a case study and employed parameters of GEE emission by methodology of GHG Protocol Agriculture. Results show that in coffee planting within convention modes, activities such as plowing, application of organic matter and burrowing contribute towards 73.92% of estimated emission of CO₂ equivalent ha⁻¹ during this stage, totaling 178.61 kg CO₂ eq ha⁻¹. In cultural treatments, operations in mechanized harvesting proved to be the greatest GEE emission sources, estimated at 123.81 kg CO₂ eq ha⁻¹.

KEY WORDS: Coffee culture; Hothouse gases; Agricultural mechanization.

INTRODUÇÃO

A agricultura contribui para a emissão de gases de efeito estufa (GEE), como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) por meio de várias atividades, entre elas o uso de combustíveis fósseis, queimadas, utilização de insumos e conversão do uso da terra (IPCC, 2014; LEITE, 2016).

A cultura do cafeeiro destaca-se como uma das principais culturas agrícolas brasileiras (HAJJAR *et al.*, 2019), possuindo uma área total plantada de 2,16 milhões de hectares, sendo que em Minas Gerais concentra-se a maior área de cultivo da espécie arábica, com 1,21 milhão de hectares, representando 69,6% da área cultivada com café no país (CONAB, 2019).

Nos últimos anos, a cultura cafeeira vem passando por mudanças significativas por meio do uso de técnicas modernas, em especial no que se refere ao processo de mecanização das operações agrícolas e tratos culturais, as quais anteriormente eram realizadas de forma manual (CUNHA; SILVA; DIAS, 2016).

A mecanização é uma ferramenta útil para que o cafeicultor possa aumentar sua eficiência nas operações agrícolas, otimizando tempo de realização das

atividades, aumento da produtividade e redução de custo de produção (SANTINATO *et al.*, 2014).

No entanto, vale ressaltar que, durante o processo de produção do cafeeiro, a utilização de combustíveis fósseis para a realização dos tratos culturais pode também contribuir de forma efetiva para a emissão do dióxido de carbono (CO₂) e seus equivalentes (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2015). Andrade *et al.* (2018) afirmaram que a agricultura brasileira produz CO₂ de forma significativa, tendo contribuição expressiva do uso de óleo diesel em grande escala em sua matriz energética.

Desta forma, embora as tecnologias de produção na cafeicultura estejam evoluindo ao longo do tempo, faz-se necessário compreender como o uso de combustíveis fósseis em operações mecanizadas contribui para a emissão de GEE, visto que esta informação é fundamental para atender à crescente exigência dos mercados internacionais em busca de uma cadeia produtiva de baixo carbono e mais sustentável.

Essa necessidade também está ligada à preocupação mundial acerca dos possíveis cenários de mudanças climáticas, tendo em vista que as atividades agrícolas, além de contribuírem para as mudanças climáticas globais, por meio de suas emissões de GEE, podem vir a se tornar vulneráveis aos cenários negativos de distribuição de chuvas e variações das temperaturas (BORDONAL; FIGUEIREDO; LA SCALA, 2012). Regiões produtoras de café já têm experimentado temperaturas altas, períodos de secas prolongados e também chuvas intensas, que podem favorecer a ocorrência de pragas e doenças, limitar a absorção de nutrientes e afetar tanto a produtividade quanto a qualidade do produto (MILLARD, 2017).

Portanto, inventariar as emissões de GEE em operações mecanizáveis na cafeicultura é fundamental para compreender o perfil de suas emissões e estabelecer a gestão estratégica de boas práticas agrícolas no uso eficiente da fonte de energia de combustão móvel, reduzindo, conseqüentemente, suas emissões diretas através da adoção de potenciais meios de mitigação. Carvalho, Elk e Romanel (2017) afirmaram que inventariar é o primeiro passo para o desenvolvimento de um programa de gerenciamento de emissões de GEE.

Observa-se que empresas que vêm se destacando ao longo do tempo nos mais diferentes setores apresentam como característica comum a habilidade de medir

o seu desempenho administrativo de modo sistêmico. No caso da mecanização, o sistema de medição aponta vários indicadores que devem ser analisados de forma integrada para se promover a gestão estratégica destas atividades, tais como controle e melhoria na qualidade de operações bem como na preservação ambiental (PELOIA; MILAN, 2010). Tavares *et al.* (2018) afirmaram que o consumo de combustível é uma das principais preocupações relacionadas ao processo de mecanização agrícola, tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista ambiental.

O dióxido de carbono equivalente, abreviado como CO₂ eq, constitui uma medida métrica usada para comparar as emissões de gases de efeito estufa, com base no seu potencial de aquecimento global (GWP), convertendo quantidades de outros gases para a quantidade equivalente de dióxido de carbono (GHG PROTOCOL AGRICULTURA, 2014).

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi estimar a emissão de CO₂ equivalente por hectare nas principais operações mecanizadas realizadas na cultura do cafeeiro no Sul de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo de caso foi realizado em áreas produtoras de café, pertencentes a um grupo econômico, em uma área de 1.828,58 ha, sendo que 462,94 ha são ocupados pela cultura cafeeira, plantada em sistema adensado e mecanizado. A área de estudo está localizada nos municípios de Guaranésia, Guaxupé e Monte Santo de Minas no Sul de Minas Gerais (Figura 1).

Cerca de 80% da área é ocupada por lavouras de café com mais de 06 anos de idade e produção anual de 11.770 sacas de café beneficiadas no ano de 2012. A mecanização ocorre em uma área de 337,11 ha, correspondendo a 73% do total da área.



Figura 1. Localização geográfica do local de estudo.

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Os dados utilizados para estimar as emissões de GEE do diesel fundamentaram-se no consumo médio anual das operações agrícolas de plantio e tratos culturais do cafeeiro.

Inicialmente, foi determinado o rendimento de hora-máquina por hectare ($h \text{ maq. ha}^{-1}$) e consumo de litros de diesel por hora trabalhada ($L \text{ Diesel h}^{-1}$) a partir da coleta de dados dos registros administrativos das operações mecanizadas em diferentes glebas pertencentes à propriedade.

A coleta aconteceu no ano agrícola 2012 para tratos culturais e 2013 para plantio de café, em glebas aptas para a mecanização, buscando refletir a média da capacidade efetivamente demonstrada pela máquina no campo.

O consumo médio de $L \text{ Diesel h}^{-1}$ trabalhada para cada trator foi determinado a partir da divisão do total de litros de diesel consumido pelo total de horas-máquina efetivamente trabalhadas para os anos de 2012 e 2013.

Em seguida, foi determinado o consumo médio de $L \text{ Diesel ha}^{-1}$, para cada operação mecanizada, a partir da Equação 1:

$$\bar{C}_M = T_O \times \bar{C}_{\text{horário}} \quad (01)$$

Onde:

\bar{C}_M - Consumo médio de litros de diesel por hectare para cada operação mecanizada, em (L de Diesel).ha⁻¹;

T_O - Hora-máquina gasta para realizar a operação em um hectare (Tempo Operacional), em h.ha⁻¹;

$\bar{C}_{\text{horário}}$ - Consumo médio de diesel para proceder a operação do trator utilizado em uma hora, em (L de Diesel).h⁻¹.

O consumo específico do motor foi avaliado pela Equação 2:

$$c = \frac{\bar{C}_{\text{horário}} \times \delta}{P_m} \quad (02)$$

Onde:

c - Consumo específico do motor, em (kg de combustível).cv⁻¹.h⁻¹;

δ - Massa específica do combustível (densidade), 0,853 kg.L⁻¹;

P_m - Potência do motor, em cv.

O consumo específico da operação foi avaliado pela Equação 3:

$$C_{ha} = c \times T_O \quad (03)$$

Onde:

C_{ha} - Consumo específico da operação, em (kg de combustível).cv⁻¹.ha⁻¹.

Foram avaliadas diferentes operações mecanizáveis que aconteceram na etapa de plantio do cafeeiro, onde as operações de implantação foram constituídas pela aração, gradagem, sulcagem, aplicação de calcário, aplicação de matéria orgânica, preparo das covas e aplicação de herbicidas. O rendimento, dado em h

ha¹, foi determinado por meio da divisão das horas efetivamente trabalhadas em cada operação pela área total do talhão de plantio em hectares.

Para a realização das operações descritas foram utilizados os tratores disponíveis na propriedade com potência entre 50 e 105 cv (Tabela 1).

Tabela 1. Tratores utilizados nas operações mecanizáveis do plantio do café

Operação Mecanizada	Modelo de Trator	Ano	Potência (cv)
Aração	New Holland TL 70	2000	71
Gradagem	MF 620	1994	105
Sulcagem	New Holland TL 70	2000	71
Aplicação de calcário	MF 250 X	1995	50
Aplicação matéria orgânica	MF 620	1994	105
Bater Covas	New Holland TL 70	2000	71
Aplicação de herbicidas	MF 250 X	1995	50

Com relação às operações dos tratos culturais foram avaliadas as operações de aplicação de calcário, gesso, fertilizantes, herbicidas, *drench*, pulverização, colheita, varrição, recolhimento do café e roçada. Foram utilizados tratores com potência de 50 a 78 cv (Tabela 2).

Tabela 2. Tratores utilizados nas operações mecanizáveis do trato cultural do café

Operação Mecanizada	Modelo de Trator	Ano	Potência (cv)
Aplicação de calcário	MF 250 X	1995	50
Aplicação de gesso	MF 250 X	1995	50
Aplicação de fertilizante	MF 250 X	1995	50
Aplicação de herbicida	MF 250 X	1995	50
Aplicação <i>drench</i>	MF 250 X	1995	50
Pulverização	MF 250 X	1995	50
Colheita	Case A-2000	2004	55
Varrição	John Deere	2011	78
Recolhedoura	John Deere	2011	78
Roçada	MF 250 X	1995	50

Após a obtenção do volume total de diesel para a realização de cada operação mecanizada foi realizado o fracionamento dos 95% de diesel e 5% de biodiesel presentes na quantidade L Diesel ha⁻¹ em cada operação, conforme resolução ANP nº 14, de 11/05/2012 (ANP, 2012). A mistura de biodiesel no diesel visa estimular o consumo de biodiesel (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2015).

Posteriormente, foi obtida a estimativa da quantidade de kg CO₂ eq ha⁻¹ para cada operação através da utilização da equação 4, descrita abaixo conforme Oliveira Júnior *et al.* (2017):

$$\sum kgCO_{2eq} = OL(F1 \times FE \times PAG) + OL(F2 \times FE \times PAG) \quad (04)$$

Onde:

$\sum kgCO_{2eq}$ - Somatório dos valores obtidos de CO₂ eq a partir da multiplicação das quantidades de diesel e biodiesel pelo fator de emissão e potencial de aquecimento global;

OL - Volume de óleo diesel em litros;

F1 - Fração diesel no diesel (0,95);

F2 - Fração biodiesel contida no óleo diesel (0,05);

FE - Fatores de emissão de CO₂, CH₄, N₂O (GHG PROTOCOL AGRICULTURA, 2014) (Tabela 01);

PAG - Potencial de aquecimento global do CO₂, CH₄ e N₂O, com potencial 1, 28 e 265, respectivamente (MYHRE *et al.*, 2013).

Os fatores de emissão aplicados para CO₂, CH₄ e N₂O foram obtidos a partir da metodologia do GHG da Agricultura (GHG PROTOCOL AGRICULTURA, 2014) (Tabela 3).

Tabela 3. Fatores de emissão de referência para o cálculo de CO₂ eq, considerando combustível para tratores e máquinas agrícolas

Combustível	Fatores de Emissão (kg GEE L ⁻¹)			Fonte
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Óleo diesel	2,6810	0,00030	0,000020	GHG Protocol Agricultura, 2014
Biodiesel	2,4990	-	-	GHG Protocol Agricultura, 2014

No presente estudo foi aplicada a estatística descritiva em que foram contabilizadas as fontes emissoras de GEE, sendo que todos os valores de emissão foram convertidos em carbono equivalente (GHG PROTOCOL AGRICULTURA, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE CO₂ EQ NAS OPERAÇÕES MECANIZÁVEIS NO PLANTIO DO CAFÉ

As emissões de GEE em atividades ou operações que consomem combustíveis e são originadas ou controladas pela propriedade são consideradas como emissões diretas (GHG PROTOCOL AGRICULTURA, 2014). Na etapa de plantio, os resultados mostram que a maior parte da emissão ocorreu na operação de aração (Tabela 4). Belizário (2013) reportou que o consumo de diesel nas operações realizadas na cultura do café cultivado em região de cerrado representou 82% das emissões totais.

Tabela 4. Emissão de CO₂ eq estimada para as operações mecanizáveis do plantio do cafeeiro

Operação Mecanizada	(cv)	T_o	\bar{C}_M	c	c_{ba}	CO ₂ eq	fr%
Aração ⁽¹⁾	71	7,72	28,87	0,05	0,35	77,20	31,95
Gradagem ⁽²⁾	105	1,39	11,36	0,07	0,09	30,38	12,57
Sulcagem ⁽¹⁾	71	2,09	7,82	0,05	0,09	20,91	8,65
Aplicação de calcário ⁽³⁾	50	0,74	1,71	0,04	0,03	4,57	1,89
Aplicação de M.O. ⁽²⁾	105	2,60	21,24	0,07	0,17	56,80	23,51
Bater covas ⁽¹⁾	71	4,46	16,68	0,05	0,20	44,61	18,46
Operação Mecanizada	(cv)					CO ₂ eq	fr%
Aplicação de herbicida ⁽³⁾	50	1,16	2,68	0,04	0,05	7,17	2,97
Total			90,36			241,64	100

Potência do trator (cv); Hora máquina por hectare ; Consumo médio de diesel por hora máquina do trator utilizado ($C_{borário}$: ⁽¹⁾ 3,74 L Diesel h⁻¹; ⁽²⁾ 8,17 L Diesel h⁻¹, ⁽³⁾ 2,31 L Diesel h⁻¹); Consumo médio de diesel por hectare ($CM - C_{borário} \times T_o$); Consumo específico por hora máquina (kg de Diesel.cv⁻¹.h⁻¹); Consumo específico por hectare (kg de Diesel.cv⁻¹.ha⁻¹); *Carbono equivalente (kg de CO₂ eq ha⁻¹) equação 3; frequência relativa (fr%); Matéria Orgânica (M. O.).

A maior contribuição da operação de aração está relacionada diretamente ao rendimento de hora-máquina ha⁻¹ na realização da atividade, o que contribuiu

para o maior CM (L Diesel ha⁻¹) e, conseqüentemente, para a maior emissão de CO₂ eq (Tabela 4). O rendimento hora-máquina ha⁻¹, nesta etapa, foi muito baixo, possivelmente relacionado à dificuldade de aração, devido às propriedades físicas inerentes do próprio solo, bem como pela presença de restos culturais, como raízes da lavoura cafeeira anteriormente instalada, dificultando a realização desta operação.

No que se refere ao consumo específico de motores de tratores agrícolas, constata-se que todas as operações mecanizadas trabalharam com um consumo ótimo de combustível, entre 0,04 e 0,07 (kg de diesel).cv⁻¹.h⁻¹. Ressalta-se que de acordo com Brunetti (2012), o consumo específico de motores de combustão interna modernos deve ser menor ou igual a 0,18 (kg de diesel).cv⁻¹.h⁻¹.

Nas operações de plantio os maiores valores de consumo específico dos motores dos tratores agrícolas por hectare (C_{ha}) foram encontrados nas atividades de aração (0,35), aplicação de matéria orgânica (0,17) e batimento de covas (0,20), contribuindo de forma expressiva para as emissões de CO₂ eq.

Destaca-se que as menores emissões de CO₂ eq foram obtidas nas operações de aplicação de calcário e aplicação de herbicida, quando se obteve melhor rendimento da máquina (T_0), a partir da utilização de tratores com menor potência (cv) e apresentando menor CM (L Diesel ha⁻¹).

Considerando que foram plantadas 8.515 mudas de café ha⁻¹ na área de estudo, com emissões estimadas em 241,64 kg CO₂ eq ha⁻¹ a partir das operações mecanizadas do plantio, os resultados demonstram uma pegada do carbono de 0,028 kg CO₂ eq planta⁻¹.

Ao realizar o inventário de gases de efeito estufa para o manejo da cana-de-açúcar na localidade de Barretos (SP), Souza (2013) estimou um consumo de 166,72 L Diesel ha⁻¹ na etapa do plantio, correspondendo a 661,67 kg CO₂ eq ha⁻¹. No presente estudo os resultados mostraram que foram gastos 90,36 L Diesel para o plantio de um hectare, estimando-se uma emissão de 241,64 kg CO₂ eq ha⁻¹.

Considerando o somatório das emissões no plantio (Tabela 4) e de tratos culturais (Tabela 5), as emissões de CO₂ eq totalizaram 463,45 kg CO₂ eq ha⁻¹, sendo que a etapa do plantio representou 52,14%, enquanto a etapa dos tratos culturais contribuiu com 47,86% das emissões totais. Vale ressaltar que embora a etapa de plantio tenha contribuído com 4,28% a mais de emissões de CO₂ eq quando

comparado às operações mecanizadas realizadas nos tratos culturais (Tabela 5), o plantio é realizado uma única vez durante o período de exploração econômico da lavoura instalada, diferentemente dos tratos culturais que são realizados anualmente.

3.2 ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE CO₂ EQ NAS OPERAÇÕES MECANIZÁVEIS DOS TRATOS CULTURAIS DO CAFEIEIRO

Foram estimadas emissões diretas de 221,81 kg CO₂ eq ha⁻¹ nas operações mecanizáveis dos tratos culturais anuais do cafeeiro (Tabela 5). As operações realizadas na colheita constituíram-se as maiores fontes de emissão de GEE a partir dos tratos culturais mecanizáveis, contribuindo com 123,81 kg CO₂ eq ha⁻¹ representando 55,82% das emissões observadas nos tratos culturais.

Tabela 5. Emissão estimada de kg CO₂ eq ha⁻¹ a partir das principais operações mecanizáveis dos tratos culturais do cafeeiro

Operação Mecanizada	(cv)	T _o	CM	C	c _{ha}	CO2 eq	fr%
Corretivos e Fertilidade	-	-	-	-	-	-	-
Aplicação de Calcário ⁽¹⁾	50	1,10	2,54	0,04	0,04	6,79	3,06
Aplicação de Gesso ⁽¹⁾	50	0,64	1,48	0,04	0,03	3,96	1,79
Aplicação de Fertilizantes ⁽¹⁾	50	0,84	5,82 ⁽⁴⁾	0,04	0,03	15,56 ⁽⁴⁾	7,02
Sub-Total	-	-	9,84	-	-	26,31	11,86
Aplicação de Defensivos	-	-	-	-	-	-	-
Aplicação de Herbicidas ⁽¹⁾	50	1,20	5,54 ⁽⁵⁾	0,04	0,05	14,81 ⁽⁵⁾	6,68
Aplicação Drench ⁽¹⁾	50	1,29	2,98	0,04	0,05	7,97	3,59
Operação Mecanizada	(cv)		CM			CO₂ eq	fr%
Pulverização ⁽¹⁾	50	1,14	10,53 ⁽⁶⁾	0,04	0,05	28,16 ⁽⁶⁾	12,70
Sub-Total	-	3,63	19,05	-	-	50,94	22,97
Colheita Mecanizada	-	-	-	-	-	-	-
Colheita ⁽²⁾	55	3,35	19,33	0,09	0,30	51,69	23,30
Varrição ⁽³⁾	78	3,25	11,08	0,04	0,13	29,63	13,36
Recolhedoura ⁽³⁾	78	4,66	15,89	0,04	0,19	42,49	19,16
Sub-Total	-	11,26	46,30	-	-	123,81	55,82
Outras Operações	-	-	-	-	-	-	-

Roçada ⁽¹⁾	50	1,68	7,76 ⁽⁵⁾	0,04	0,07	20,75 ⁽⁵⁾	9,35
Sub-Total	-	-	7,76	-	-	20,75	9,35
Total		19,15	82,95	-	-	221,81	100%

Potência do trator (cv); Hora máquina por hectare ; Consumo médio de diesel por hora máquina do trator utilizado ($C_{\text{borário}}$: ⁽¹⁾ 2,31 L Diesel h⁻¹; ⁽²⁾ 5,77 L Diesel h⁻¹, ⁽³⁾ 3,41 L Diesel h⁻¹); Consumo médio de diesel por hectare ($CM - C_{\text{borário}} \times T_o$); ⁽⁴⁾Valor total considerando a realização de 3 aplicações de fertilizantes; ⁽⁵⁾ Valor total considerando a realização de 2 aplicações de herbicidas no controle de ervas daninhas e 2 roçadas; ⁽⁶⁾ Valor total considerando a realização de 4 pulverizações; Consumo específico por hora máquina (kg de Diesel.cv⁻¹.h⁻¹); Consumo específico por hectare (kg de Diesel.cv⁻¹.ha⁻¹); carbono equivalente, em kg de CO₂ eq ha⁻¹ (CO₂ eq); frequência relativa (*fr*%).

A longevidade média de uma lavoura depende de uma série de fatores dentre eles o tipo de cultivar e o manejo realizado. No entanto, considerando-se um período de exploração econômica da cultura de 20 anos, as emissões estimadas de CO₂ eq dos tratos culturais mecanizados levantados neste estudo totalizariam 4436,2 kg CO₂ eq ha⁻¹, representando 94,83% das emissões totais (Plantio e Tratos Culturais).

Em estudo sobre a emissão de GEE na cultura do cafeeiro, no sul de Minas Gerais, Oliveira Junior *et al.* (2015) concluíram que o uso de mecanização gerou a maior parte das emissões de GEE provenientes de fontes móveis (caminhões e tratores).

Nos tratos culturais as operações mecanizadas trabalharam com um consumo ótimo de combustível apresentando valores entre 0,04 e 0,09 (kg de diesel).cv⁻¹.h⁻¹. Quanto ao consumo específico dos motores por hectare, destaca-se, neste caso, a colheita, varrição e recolhadora como as operações que consumiram maior quantidade de diesel (Tabela 5), com 0,30, 0,13 e 0,19 kg de diesel.cv⁻¹.ha⁻¹, respectivamente.

A realização da colheita mecanizada com equipamento colhedora automotriz constituiu a principal fonte de emissão, contribuindo com 51,69 kg CO₂ eq ha⁻¹, representando 23,30% do total das emissões estimadas para as operações dos tratos culturais. Em estudo sobre a emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol, Claros e Von Sperling (2010) concluíram que a segunda maior fonte de emissão de gases ocorre pelo uso de combustíveis fósseis, com maior proporção para as operações de colheita mecanizada, carregamento e transporte da cana-de-açúcar.

Neste mesmo estudo, os autores estimaram emissões de 219,93 kg CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹ associadas à etapa de colheita, carregamento e transporte de cana-de-açúcar.

No presente estudo a segunda maior fonte de emissões decorrentes dos tratos culturais do café foram as operações de aplicação de defensivos agrícolas, sendo estimadas em kg CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹, cerca de 22,97% do total emitido (Tabela 5). A prática de aplicação de produtos fitossanitários é uma prática indispensável e rotineira no atual sistema de produção de agrícola convencional. Contudo, o uso recorrente de pulverizadores agrícolas não devidamente regulados, com pontas desgastadas ou mal selecionadas e com dosagens errôneas de defensivos, torna essa prática ineficiente e com aumento dos impactos danosos sobre o ambiente (SCHMIDT; ZANELLA, 2017).

4 CONCLUSÕES

Nas operações de plantio de café em sistema agrícola convencional as atividades de aração, aplicação de matéria orgânica e de bater covas contribuíram juntas com 73,91% das emissões estimadas de CO₂ eq ha⁻¹, totalizando 178,61 kg CO₂ eq ha⁻¹.

As emissões de todas as operações de colheita mecanizada foram estimadas em 123,81 kg CO₂ eq ha⁻¹, sendo a principal fonte emissora de GEE representada pelos tratos culturais mecanizados na cultura do café. Oportunidades de melhoria de práticas agrícolas e de mitigação das emissões de GEE podem ser observadas a partir dos resultados obtidos, demonstrando a importância da gestão da mecanização, a fim de permitir a seleção de tratores e máquinas adequadas para a realização de diferentes operações, obtendo-se maior eficiência no consumo de combustível e, conseqüentemente, menor contribuição às emissões de gases de efeito estufa.

5 AGRADECIMENTO

Aos senhores Mário de Freitas Eiras Garcia e Célio Montagnini por permitirem a coleta de dados e a realização do presente estudo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M.; FEIDEN, A.; ZONIN, W. J.; BESEN, F. G.; ARAUJO, T. V. Socio-environmental costs: financial quantification of carbono credits in agriculture and sustainability in the relation of produced agroenergy with used energy matrix. **Custos e @gronegocio on line**, v. 14, n. 3, p. 191-213, 2018.

ANP. Agência Nacional do Petróleo. **Resolução nº 14, de 11 de maio de 2012**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 18 maio. 2012.

BELIZÁRIO, M. **Estoque de carbono no solo e fluxo de gases de efeito estufa no cultivo de café**. 2013. 143f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.

BORDONAL, R. O.; FIGUEIREDO, E. B.; LA SCALA, N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to Green harvest, considering other conservationist management practices. **Global Change Biology. Bioenergy**, Oxford, n. 4, p. 846-858, 2012.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna**. 2. ed. São Paulo: Ed. Blucher, v. 1, 2012.

CARVALHO, J. P. A. F.; ELK, A. G. H. P.; ROMANEL, C. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Campus Gávea da PUC-Rio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 591-595, 2017.

CLAROS, G. J. C.; VON SPERLING, E. Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 3, p. 217-222, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília, v. 5, n. 1, p. 1-62, 2019. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 06 fev. 2018.

CUNHA, J. P. B.; SILVA, F. M.; DIAS, R. E. B. A. Eficiência de Campo em Diferentes Operações Mecanizadas na Cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 76-

86, 2016.

GHG PROTOCOL AGRICULTURA. **Metodologia GHG protocol para Agricultura**. São Paulo: Unicamp; WRI Brasil, 2014. Greenhouse Gas Protocol. Disponível em: www.ghgprotocol.org/Agriculture-Guidance/Visão-Geral%3A-Projeto-Brasil-Agropecuária. Acesso em: 07 jul. 2014.

HAJJAR, R.; NEWTON, P.; ADSHEAD, D.; BOGAERTS, M.; MAGUIRE-RAJPAUL, V. A.; PINTO, L. F. G.; MCDERMOTT, C. L.; MILDNER, J. C.; WOLLEMBERG, E.; AGRAWAL, A. Scaling up sustainability in commodity agriculture: Transferability of governance mechanisms across the coffee and cattle sectors in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 124-132, 2019.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. **Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (ed.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151p.

LEITE, L. F. C. Emissões de GEE pela agricultura: O caso dos cultivos de Cana de Açúcar. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 377-388, 2016.

MILLARD, E. Still brewing: Fostering sustainable coffee production. **World Development Perspectives**. v. 7, p. 32-42, 2017.

MYHRE, G.; SHINDELL, D.; BRÉON, F.-M.; COLLINS, W.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, J.; KOCH, D.; LAMARQUE, J.-F.; LEE, D.; MENDOZA, B.; NAKAJIMA, T.; ROBOCK, A.; STEPHENS, G.; TAKEMURA, T.; ZHANG, H. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. *In*: CLIMATE Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

OLIVEIRA JÚNIOR, G. G.; SILVA, A. B.; MANTOVANI, J. R.; MIRANDA, J. M.; FLORENTINO, L. A. Levantamento de emissão de Gases de Efeito Estufa pela metodologia do carbono equivalente na cultura do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 412-419, 2015.

OLIVEIRA JÚNIOR, G. G.; SILVA, A. B.; FLORENTINO, L. A.; MANTOVANI, J. R.; APARECIDO, L. E. O. Inventário de Gases de Efeito Estufa na Agricultura. In: PUTTI, F. F.; SILVA, A. L. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A. G. **Tecnologias em Agricultura Sustentável**. Tupã: ANAP, 2017. cap. 14, p. 325-340.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 681-691, 2010.

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**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 495-505, 2014.

SCHMIDT, F.; ZANELLA, S. J. Avaliações qualitativas de pulverizadores agrícolas em propriedades rurais na região de Erechim - RS. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 10, n. 3, p. 633-652, jul./set. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n3p633-652>

SOUZA, W. L. B. de. **Inventário dos gases de efeito estufa associado ao manejo da cana-de-açúcar na localidade de Barretos-SP, Brasil**. 2013. 49f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2013.

TAVARES, T. de O.; BORBA, M. A. de P.; GALLO, L. A. M.; GIRIO, L. A. da S.; PAIXAO, C. S. S.; SILVA, R. P. da. Performance of a special tractor as a function of ballasting and front-wheel drive in coffee harvesting. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 104-111, jan./maio 2018.

Recebido em: 08/04/2018

Aceito em: 12/02/2019