

EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO ADVINDAS DO CORTE DE ÁRVORES ISOLADAS NA FAZENDA BARREIRO NO MUNICÍPIO DE LIMEIRA DO OESTE-MG

*CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM ISOLATED TREE CUTTING ON THE BARREIRO FARM
IN THE TOWN OF LIMEIRA DO OESTE-MG*

*Rodrigo Barbosa Lorena¹, Carlos Roberto Sanquetta², Ana Paula Dalla Corte³,
Osmar Luis Silva Vasconcelos⁴*

¹ Universidade Brasil, Fernandópolis, São Paulo, Brasil – rodrigomeioambiente10@gmail.com

^{2, 3, 4} Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil – carlossanquette@gmail.com,
anapaulacorte@gmail.com & osmarluisvasconcelos@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste artigo foi estimar as emissões de dióxido de carbono advinda do corte de árvores isoladas para o plantio de cana-de-açúcar e propor a compensação ambiental. O inventário foi realizado na Fazenda Barreiro, no município de Limeira do Oeste, estado de Minas Gerais. A propriedade possui uma área total de 74,01 hectares, sendo que 57,20 hectares foram avaliados neste estudo. No inventário foi catalogado o nome das espécies com nome científico e família botânica, foi medida a circunferência à altura do peito (CAP) e a altura comercial de cada árvore. Foi realizado cálculo do rendimento lenhoso a partir de equações da literatura. A massa das árvores foi estimada a partir da densidade básica encontrada literatura científica. A emissão em CO_{2eq} (dióxido de carbono equivalente) foi calculada pela multiplicação da massa do fuste da árvore pelo teor de carbono (48%) e pela constante estequiométrica 3,6667. As emissões de CO₂ advindas do corte de árvores isoladas com rendimento de material lenhoso de 116,22 m³ foi de 132,99 t de CO₂ com média de 2,33 t de CO₂ por hectare. Para realizar as medidas compensatórias a fim de zerar essas emissões será necessário o plantio de 659 mudas de árvores nativas. A partir do estudo realizado, conclui-se que o plantio florestal para a mitigação das emissões de dióxido de carbono é um fator relevante para se evitar o agravamento das mudanças climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: Cana-de-açúcar, Carbono, Compensação ambiental.

ABSTRACT

The purpose of this article is to estimate the flow of carbon dioxide from the cutting of isolated trees for the planting of sugarcane and propose environmental compensation. The inventory was held at Barreiro Farm, in the town of Limeira do Oeste, state of Minas Gerais. The property has a total area of 74.01 hectares, of which 57.20 hectares were considered in this study. In the Inventory, the name of the species with scientific name and botanical family was cataloged, the circumference at breast height (DBH) and the commercial height of each tree were measured. Wood yield calculation was performed using equations in the literature. The mass of the trees was estimated from the basic density found in the scientific literature. An emission in CO_{2eq} (carbon dioxide equivalent) was obtained by multiplying the mass of the tree stem by the carbon content (48%) and by the stoichiometric constant 3,666. CO₂ transfers from cutting trees fed with wood material yield of 116.22 m³ was 132.99 t CO₂ with an average of 2.33 t CO₂ per hectare. To carry out as compensatory measures in order to reset these necessary measures, it will be necessary to plant 659 seedlings of native trees. Based on the study, it is concluded that forest planting to mitigate so-called carbon dioxide is a relevant factor to avoid worsening climate change.

KEYWORDS: Sugarcane, Carbon, Environmental Compensation.

INTRODUÇÃO

Acredita-se que as ações antrópicas tenha elevado a temperatura média do planeta em 1,0°C de aquecimento global em relação ao período pré-industrial, variando entre 0,8°C a 1,2°C, sendo possível que chegue a um aumento de 1,5°C entre 2030 e 2052 se for mantido o ritmo atual de emissões de GEE (IPCC, 2019). As mudanças climáticas causariam impactos para setores vitais da economia, relacionados à disponibilidade de recursos hídricos, geração de energia, produtividade agrícola e para as populações das cidades costeiras (CMMC, 2013).

O inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) é um mecanismo que permite estimar as emissões de GEE do setor empresarial e governamental como um todo (SANQUETA et al., 2013, NUNNENKAMP & CORTE, 2017). As emissões de GEE têm aumentado nas últimas décadas, em que “as emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE), entre 1970 e 2004, cresceram 70%” (PBMC, 2014).

O Brasil tem apresentado redução nas suas emissões de CO₂e de 1,71 bilhão de tCO_{2eq} em 1990 para 1,54 bilhão de tCO_{2eq} em 2017, queda acumulada de 10% nas emissões (SERENO & ANDRADE, 2020), porém esse cenário pode ser afetado com as queimadas do pantanal no ano de 2020 que registrou no mês de outubro 2.856 focos de incêndios, sendo o maior índice desde que começou a série histórica em 1998 (INPE, 2020). O Brasil apresentou suas contribuições nacionalmente determinadas (NDC) com o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, com uma contribuição subsequente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030 (NDC, 2016).

A mudança do uso do solo é responsável por 27,5% das emissões totais de CO₂e (MCTIC, 2016). Isso se deve a aptidão agrícola do Brasil, onde 7,6% do seu território é utilizado para produção de culturas agrícolas (NASA, 2017). Dentre as culturas plantadas e segundo a companhia nacional de abastecimento 8.590.000 hectares é destinado ao plantio de cana-de-açúcar, considerando a safra 2018/2019, uma redução de 1,6% em relação à safra 2017/2018 (CONAB, 2019). O Brasil respondeu por cerca de 61,8% das exportações mundiais de açúcar, o estado de São Paulo possui a maior produção de cana-de-açúcar, em seguida aparecem Goiás e Minas Gerais (FONTANETTI & BUENO, 2017).

Entre os problemas relacionados com a implantação da cana-de-açúcar, se destacam a queima antes do corte da cana, degradação do solo, poluição das águas, ameaça a outras culturas e áreas de vegetação nativas, utilização de defensivos agrícolas, destruição de áreas especialmente

protegidas (COELHO et al., 2007; NOEL, 2007; GOLDEMBERG et al., 2008; MARTINELLI e FILOSO, 2008; WWF, 2008, JORDÃO & MORETTO, 2015). As árvores realizam a absorção de dióxido de carbono por meio da fotossíntese, ficando armazenado na biomassa. Quando ocorre o corte desta árvore além de parar de absorver dióxido de carbono, por meio da decomposição ou queimada ocorre a liberação na atmosfera do estoque de carbono armazenado nela (JAYACHANDRAN, 2017).

A compensação ambiental das emissões de dióxido de carbono, totais ou parciais é uma medida voluntária, que busca neutralizar as emissões através da remoção ou redução externa (NUNNENKAMP & CORTE, 2017). A compensação ambiental está colocada no âmbito do usuário pagador. A ideia do usuário pagador está na de que aquele que faz uso dos recursos naturais venha a sofrer a incidência de um valor (econômico) devido a utilização dos recursos naturais (MOTA, 2015).

Com a grande expansão da cana-de-açúcar, verifica-se a necessidades de estudos relacionados aos impactos advindos dessa expansão principalmente do corte de árvores isoladas, fazendo que este estudo seja um meio importante de medir os impactos nas mudanças climáticas dessa intervenção.

Com isso, o presente estudo teve como objetivo realizar a estimativa das emissões de CO₂ advinda do corte de árvores isoladas na Fazenda Barreiro no município de Limeira do Oeste no estado de Minas Gerais e realizar uma proposta de compensação ambiental baseada no plantio florestal.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Fazenda Barreiro localizada no município de Limeira do Oeste, no estado de Minas Gerais, apresenta uma área total de 74,01 hectares, destes, 57,20 hectares foram avaliados quanto ao corte de árvores isoladas. O imóvel está localizado no Bioma Mata Atlântica nas coordenadas 19°21'27.20"S e 50°35'22.45"O (IDE-SISEMA, 2020), conforme Figura 1, está localizado no Bioma Mata Atlântica porém está na faixa de transição deste Bioma para o Bioma Cerrado, possuindo vegetação com características de transição de biomas.

Densidade Básica, Biomassa, Teor de Carbono e Cálculo das emissões de Dióxido de Carbono

Para a obtenção da densidade básica por espécie foi feita pesquisa em publicações científicas presentes na Tabela 1.

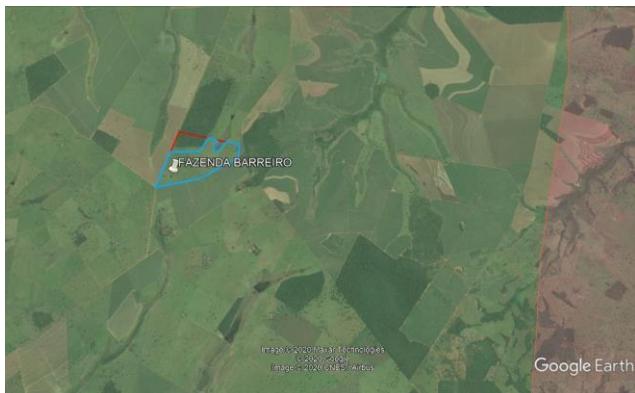


Figura 1. Localização da Fazenda Barreiro, município de Limeira do Oeste, MG. Áreas em verde representam o Bioma Mata Atlântica e em marrom o Bioma Cerrado.

Os solos predominantes no município são Latossolo vermelho distrófico típico, com textura argilosa, epieutrófico, fase campo subtropical relevo suave ondulado (LVd1) e Gleissolo melânico distrófico típico A proeminente textura argilosa (GMD4) (IDE-SISEMA, 2020).

Coleta de dados

Em uma área de 57,20 hectares foi realizado o levantamento de todas as árvores isoladas através do censo florestal.

Foram contabilizados 90 indivíduos arbóreos, foi realizada a identificação da espécie (nome científico) e respectiva família botânica. Foi medida a circunferência à

altura do peito (CAP), a 1,30 m de altura, com auxílio de uma fita métrica, evitando protuberâncias. Foram amostrados todos os indivíduos com diâmetro igual ou superior a 5 cm (DAP ≥ 5 cm).

Cálculo do rendimento do volume de madeira

Para o cálculo do volume de material lenhoso foi utilizada a equação volumétrica específica para nativas que apresentem a fitofisionomia campo cerrado (SOARES et al., 2012), devido à vegetação apresenta característica do bioma cerrado.

- Volume (m^3) com casca do fuste:
$$VFCC = 0,000315 \times DAP^{1,746205} \times Hc^{0,274972}$$

- Volume (m^3) com casca dos galhos:
$$VGCC = 0,000003 \times DAP^{3,512808} \times Hc^{-0,101337}$$

Em que: DAP: diâmetro à altura do peito (cm); Hc: altura comercial (m).

Para a obtenção da biomassa individual foi multiplicado o volume de madeira pela densidade básica da referida espécie, presente na Tabela 1.

O teor de carbono utilizado foi o valor *default* da indicação do IPCC (2006) que para floresta tropical e subtropical para DAP maior que 10 cm é de 49%. As emissões de CO₂ foram encontradas conforme as fórmulas descritas abaixo, adaptado de (IPCC, 2003).

Tabela 1. Densidade básica com a devida fonte bibliográfica e volume de material lenhoso calculado.

Espécie	Número de árvores	Fonte da densidade básica	Densidade básica (kg/m^3)	Total do volume da madeira (m^3)
<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan.	2	Williams et al. (2001)	1.050	2,13
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. & Zucc.	7	Neto et al. (2015)	500	10,20
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg.	1	Lorenzi (1998)	760	1,55
<i>Chlorophora tinctoria</i> (L.) Gaudich. ex B. D. Jackson	1	Lorenzi (1992)	880	1,09
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	4	Lorenzi (1992)	700	7,87
<i>Dipteryx alata</i> Vogel.	14	Sano et al. (2004)	1.100	17,30
<i>Ficus insipida</i> Willd.	3	Parolin & Ferreira (1998)	380	3,96
<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	1	Lorenzi (1992)	950	1,75
<i>Palicourea rigida</i> Kunth.	2	Vale et al. (2002)	430	2,76
<i>Phytolacca dioica</i> L.	2	Horak (1981)	730	2,76
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	39	Neto et al. (2015)	480	48,07
<i>Sclerolobium aureum</i> var. <i>Velutinum</i> Benth.	4	Neto et al. (2015)	610	4,89
<i>Tabebuia avellanedae</i> Toledo.	4	Lorenzi (1992)	1.030	4,88
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	5	Missio et al. (2017)	440	5,81

- $Vol.\ da\ madeira\ (m^3) \times$
 $Densidade\ Básica\ da\ madeira\ (Kg/m^3)$
- $Biomassa\ (kg) \times Teor\ de\ carbono\ (49\%/100)$
- $Carbono\ estocado\ (kg) \times CO_{2e}\ (3,6667)$

Compensação Ambiental

A proposta de compensação ambiental foi a de reposição florestal. Para isso foram utilizados dois cenários, o de plantio de florestas nativas, visando à recuperação ambiental de áreas degradadas, e o de plantio comercial onde existe a possibilidade de comercialização da madeira.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De 90 indivíduos arbóreos levantados no censo florestal apenas 1 indivíduo arbóreo não foi identificado, a espécie com maior presença foi a *Qualea grandiflora* com 39 indivíduos. Foi computado um valor total de 116,22 m³ de material lenhoso, ou seja, 2,03 m³.ha⁻¹ ou uma média de 1,29 m³ por indivíduo. As espécies que apresentaram maior e menor volume de material lenhoso foram *Qualea grandiflora* e *Chlorophora tinctoria* com 48,07 m³ e 1,09 m³ respectivamente.

Um estudo realizado por Paula et al. (1998) no Bioma Cerrado do Município de Santa Quitéria no Maranhão, identificou em um levantamento quantitativo com uma média de 0,057 m³ de material lenhoso. Nota-se que o volume médio de material lenhoso na Fazenda Barreiro esteve acima do resultado obtido por Paula et al. (1998), possivelmente devido que a Fazenda Barreiro se encontra em área de transição de Biomas entre o Cerrado e a Mata Atlântica e por isso apresenta indivíduos arbóreos de maior porte, pois possuía árvores característica de ambos os Biomas por isso alguns desses indivíduos arbóreos tiveram um rendimento de material lenhoso maior que os encontrados em áreas tipicamente do Bioma Cerrado.

De acordo com Sano et al. (2004), a espécie *Dipteryx alata* apresentou uma densidade básica de 1.100 kg.m⁻³ sendo a maior das espécies encontrada na Fazenda Barreiro e segundo Parolin e Ferreira (1998) a densidade da *Ficus insipida* é de 380 kg/m³, sendo a menor densidade das espécies encontrada na Fazenda Barreiro. Silva et al. (2015) foi feito um estudo no cerrado do estado do Tocantins e obtiveram uma densidade média de 650 kg/m³ da madeira. A densidade total da madeira da Fazenda Barreiro foi de 57.330 kg/m³, sendo que a média individual foi de 644,16 kg/m³.

Nota-se que as médias de densidade da Fazenda Barreiro e da realizada por Silva et al. (2015) estão bem

próximas assegurando com isso que a pesquisa realizada para se encontrar a densidade presente na Tabela 1 está condizente.

Obtidas as informações a respeito da densidade básica da espécie com respectivo cálculo de rendimento de material lenhoso foi possível se encontrar a biomassa da madeira.

Por fim, para se encontrar o total do carbono estocado em (kg) e o total do CO_{2e} por espécime (kg) foram feitos cálculos informados no item de Material e Métodos, os resultados estão presentes na Tabela 2.

A biomassa é o meio mais eficaz de se conhecer o carbono estocado (MARCOS et al., 2020), a biomassa total encontrada na Fazenda Barreiro foi de 74,02 t com uma média de 1,29 t.ha⁻¹. De acordo Rezende et al. (2006), a biomassa lenhosa verde encontrada em uma vegetação do Cerrado na Fazenda Água Limpa em Brasília no Distrito Federal foi de 2,23 t.ha⁻¹. Um dos motivos da maior biomassa no estudo de Rezende et al. (2006) pode ser que no seu estudo foi contabilizado um maior rendimento lenhoso com 2,83 m³.ha⁻¹, que acabou influenciando diretamente no resultado da biomassa total.

Um estudo feito por Vieira et al. (2009) verificou que o teor de carbono médio é de 42,09% no cerrado e 44,81% na Caatinga ambas no estado da Bahia nos municípios de Campo Alegre de Lourdes, Remanso e Casa Nova. Conforme observado o valor *default* do IPCC (2006) de 49% é maior que o encontrado nos biomas cerrado e caatinga, provavelmente pelo fato do IPCC utilizar o valor *default* baseado em florestas tropicais.

Na Fazenda Barreiro foi quantificado cerca 36,27 t de carbono estocado, com uma média de 0,63 t.ha⁻¹ de carbono estocado. No estudo realizado por Rezende et al. (2006), foi quantificado cerca de 0,54 t.ha⁻¹ de carbono estocado. Em ambos os casos existe uma quantificação muito próxima do carbono estocado, porém a Fazenda Barreiro possui um índice maior de carbono estocado, possivelmente por estar em área de transição de Biomas e algumas espécies arbóreas presentes nesta área apresentaram rendimento lenhoso superior ao presente em áreas típicas de cerrado como o caso estudado por Rezende et al. (2006). O estoque de carbono no Bioma Amazônico é bem maior do que quantificadas no Bioma Cerrado, com cerca de 177 t.ha⁻¹ de carbono na biomassa de troncos e galhos de árvores DAP igual ou superior a 5 cm (HIGUCHI & CARVALHO, 1994, PAIVA et al., 2011), devido a suas espécies arbóreas serem de grande porte é natural que o estoque de carbono nesse Bioma seja elevado.

Tabela 2. Total da biomassa da madeira em (kg), total de teor de carbono 49%, total de carbono estocado, 3,6667 conforme (SANQUETTA et al., 2014) e total do valor do CO₂e por espécime (kg).

Espécie	Biomassa da madeira (kg)	Teor de carbono 49%	Carbono estocado (kg)	CO ₂ e	CO ₂ e por espécime (kg)
<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan.	2.236,50	0,49	1.095,89	3,6667	4.018,28
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. & Zucc.	5.100,00	0,49	2.499,00	3,6667	9.163,08
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg.	1.178,00	0,49	577,22	3,6667	2.116,49
<i>Chlorophora tinctoria</i> (L.) Gaudich. ex B. D. Jackson	959,20	0,49	470,01	3,6667	1.723,38
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	5.509,00	0,49	2.699,41	3,6667	9.897,93
<i>Dipteryx alata</i> Vogel.	19.030,00	0,49	9.324,70	3,6667	34.190,88
<i>Ficus insipida</i> Willd.	1.504,80	0,49	737,35	3,6667	2.703,65
<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	1.662,50	0,49	814,63	3,6667	2.986,99
<i>Palicourea rigida</i> Kunth.	1.186,80	0,49	581,53	3,6667	2.132,30
<i>Phytolacca dioica</i> L.	2.014,80	0,49	987,25	3,6667	3.619,96
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	23.073,60	0,49	11.306,06	3,6667	41.455,94
<i>Sclerolobium aureum</i> var. <i>Velutinum</i> Benth.	2.982,90	0,49	1.461,62	3,6667	5.359,33
<i>Tabebuia avellanedae</i> Toledo.	5.026,40	0,49	2.462,94	3,6667	9.030,85
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	2.556,40	0,49	1.252,64	3,6667	4.593,04
Total das emissões de CO ₂ e					132.992,09

Em povoamentos de *Eucalyptus grandis* com 6 anos de idade calcularam um estoque médio de carbono para fuste sem casca e galhos de 42,73 t.ha⁻¹ (PAIXÃO et al., 2006; PAIVA et al., 2011), possui um estoque de carbono mais próximo ao valor encontrado na Fazenda Barreiro o que o torna uma das espécies indicadas para plantio em possíveis projetos florestais para a realização da compensação ambiental das emissões de dióxido de carbono.

As emissões advindas da supressão de árvores isoladas na Fazenda Barreiro somadas totalizaram 132.992,09 kg de CO₂ e ou 132,99 t de CO₂ e, média de 2,33 t.ha⁻¹ CO₂ e. A espécie que apresentou maior emissão foi a *Qualea grandiflora* com 41,46 t de CO₂ e a menor emissão foi a espécie *Chlorophora tinctoria* com 1,72 t de CO₂ e. O cálculo das emissões média de t.ha⁻¹ CO₂ e ajudam a perceber que mesmo o corte de poucas árvores isoladas tem o potencial de agravar as mudanças climáticas e servem de alerta para a necessidade de medidas que venham mitigar essas emissões.

Comparativamente com o Bioma Amazônico as emissões quantificadas na Fazenda Barreiro são bem inferiores, um estudo realizado por Campos (2012) para calcular as emissões de dióxido de carbono da madeira Cerrada da Amazônia quantificou um total de emissões entre 7,5 t CO₂ e 28,4 t CO₂ por tora. Tendo em conta o teor de carbono presente em árvores do Bioma Amazônico os efeitos para as mudanças climáticas do corte de árvores neste Bioma é muito mais grave.

Verifica-se que existe uma relação direta entre emissões de gases de efeito estufa e rendimento de material lenhoso, pois a *Qualea grandiflora* foi a que obteve um maior rendimento de volume de madeira e maior emissão e a *Chlorophora tinctoria* foi a que teve menor rendimento de volume de madeira e apresentou as menores emissões de dióxido de carbono, o mesmo de verifica em relação à biomassa encontrada.

A cana-de-açúcar é uma cultura com grande potencial de utilização através da produção do álcool combustível e da cogeração de energia através do uso do uso do bagaço em caldeiras (RESENDE et al., 2001), o que com certeza ajuda na redução das emissões de dióxido de carbono através da utilização de um combustível e energia mais limpa e renovável, porém as emissões de dióxido de carbono advindos do corte de árvores isoladas podem prejudicar os benefícios advindos da utilização do álcool e da biomassa da cana-de-açúcar.

Constatou-se que o corte de árvores isoladas na Fazenda Barreiro como preparação para o plantio de cana-de-açúcar gerou emissões de dióxido de carbono agravando o cenário das mudanças climáticas e foi reaizada uma proposta voluntaria de medidas de compensação ambiental baseada no plantio de mudas de árvores para mitigar essas emissões.

Proposta de Compensação Ambiental

A compensação ambiental das emissões de dióxido de

carbono, totais ou parciais é uma medida voluntária, que busca neutralizar as emissões através da remoção ou redução externa (NUNNENKAMP & CORTE, 2017), tendo em vista as emissões de dióxido de carbono advindo do corte de árvores isoladas para o plantio de cana-de-açúcar, medidas que venham compensar essas emissões são de grande importância para garantir a sustentabilidade do setor sucro alcooleiro.

Uma possibilidade de realizar a compensação dessas emissões de dióxido de carbono é através do plantio de mudas de árvores. De acordo com Wolf et al. (2012), os projetos de reflorestamento auxiliam na redução da emissão dos gases causadores de efeito estufa, realizando a absorção do dióxido de carbono além de realizar a prestação de diversos serviços ambientais, econômicos e sociais para a sociedade.

A execução de projetos de reposição florestal é um fator importante para possibilitar um aumento na quantidade de estoque de carbono, pois o carbono fica estocado nas espécies arbóreas e favorece na mitigação das consequências das mudanças climáticas (AZEVEDO et al., 2018). Para cálculos da compensação que pode ser realizada na Fazenda Barreiro foram utilizados cenários florestais desenvolvidos por Flizikowski (2012) conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3. Cenários para compensação de emissões de CO₂.

Modelo	Gêneros	Espaçamento	Árvore
1	<i>Eucalyptus</i>	2,5 m x 2,5 m	1.242.917
2	<i>Eucalyptus</i>	3,0 m x 2,0 m	1.211.303
3	<i>Eucalyptus</i>	3,0 m X 3,0 m	1.102.282
4	<i>Pinus</i>	2,5 m x 2,5 m	362.292
5	<i>Pinus</i>	3,0 m x 2,0 m	339.464
6	<i>Pinus</i>	3,0 m X 3,0 m	278.070
7	Nativa	3,0 m x 2,0 m	590.311

Fonte: adaptado de Flizikowski (2012).

Flizikowski (2012) realizou uma pesquisa cuja emissão total foi de 119.174,21 t de CO_{2e}, sendo que a quantidade de árvores e as emissões totais de dióxido de carbono foram identificadas, calculou-se o fator de fixação de carbono.

$$Ff = Et/N$$

Ff = fator de fixação de carbono (tCO_{2e} por árvore); Et = emissão total (t de CO_{2e}); e N = número de árvores a serem plantadas.

A partir do inventário de emissões de dióxido de

carbono, foi possível calcular o número de árvores necessárias para compensar as emissões. Os fatores de fixação da Tabela 4 foram calculados com base em Flizikowski (2012), conforme demonstrado na Tabela 3. O número de árvores a serem plantadas considerou as emissões totais que foram calculadas no inventário de emissões da Fazenda Barreiro de 132,99 t de CO₂.

Tabela 4. Fatores de fixação de carbono e número de árvores a serem plantadas.

Modelo	Fator de fixação de carbono (tCO _{2e} por árvore)	Número de árvores a serem plantadas
1	0,0958	1.388
2	0,0983	1.353
3	0,1080	1.231
4	0,3286	405
5	0,3507	379
6	0,4282	311
7	0,2017	659

Através da fotossíntese os ecossistemas florestais se tornam importantes meios de absorção de dióxido de carbono atmosférico. Por isso, o desflorestamento pode ser tido como um dos principais responsáveis pelo aumento das emissões de gás carbônico na atmosfera (REBOITA et al., 2014). Essa situação releva a necessidade da recuperação de áreas que foram desflorestadas, tendo como objetivo proporcionar a absorção de dióxido de carbono e aumentar o seu estoque em indivíduos arbóreos (JOLY et al., 2014).

Nos dias de hoje, devido aos riscos advindo das mudanças climáticas, a fixação de carbono da atmosfera passou a ser considerado um grande benefício proporcionado pelas florestas (MELO & DURIGAN, 2006; MIRANDA et al., 2011). Os cenários de reposição florestal contido na Tabela 4, apesar de oferecer as possibilidades de plantio para fins comerciais como é o caso do *Eucalyptus* e *Pinus* possui como principal objetivo a absorção de dióxido de carbono para realizar a compensação ambiental do corte de árvores isoladas.

Conclusões

Em face dos resultados obtidos é possível constatar que o corte de 90 árvores isoladas realizado na Fazenda Barreiro em uma área de 57,20 hectares para o plantio de cana-de-açúcar, com um rendimento do material lenhoso de 116,22 m³ levou a uma emissão de 132,99 t de CO₂, média de 2,33 t.ha⁻¹ de CO₂. A compensação ambiental das emissões de dióxido de carbono é de caráter voluntário, para realizar a compensação dessas emissões visando compensá-las foram

realizados alguns modelos de plantio.

A partir dos modelos propostos, o empreendedor poderá escolher qual desses modelos de compensação ambiental se enquadra na sua possibilidade ou possui um maior retorno custo benefício, que são os modelos de plantio comercial e de espécies nativas. Para a compensação de floresta nativa que seria para a recuperação do bioma em que ocorreu a supressão será necessário o plantio de 659 árvores nativas conforme equação 7 da Tabela 4, tendo em vista realizar a compensação ambiental das emissões de dióxido de carbono e com vista para o aproveitamento econômico do material lenhoso, a equação 3 da Tabela 4 apresenta uma necessidade de plantio de *Eucalyptus* de 1.231 árvores e a equação 6 da Tabela 4 apresenta uma necessidade de plantio florestal comercial de *Pinus* de 311 árvores.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A.D.D. et al. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. *Floresta*, v.48, n.2, p.183-194, 2018.

CAMPOS, É.F.D. *Emissões de CO₂ da madeira cerrada da amazônia: o caso da exploração convencional*. 2012. 172p. (Dissertação de mestrado).

CMMC - COMISSÃO MISTA PERMANENTE SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Legislação brasileira sobre mudanças climáticas*. 2013. Disponível em: http://www.senado.leg.br/comissoes/CMMC/Livro_legislacao_ambiental_Completo_Final_17_09_2013.pdf

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar. *OBSERVATÓRIO AGRÍCOLA*, v.5, n.4, p.1-75, 2019.

FLIZIKOWSKI, L.C. *Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais: um estudo de caso*. 2012. 132p. (Dissertação de mestrado)

FONTANELLI, C.S.; BUENO, O.C. *Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica*. Bauru: Canal 6, 2017.

HORAK, K.E. *The Developmental anatomy of stegnosperma (Phytolaccaceae)*. 1981. 126p. (Dissertação de mestrado).

IDE-SISEMA. WebGIS - IDE-Sisema. *IDE-Sisema: WebGIS*, 2020. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Monitoramento dos focos ativos por bioma: comparação do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência em cada mês, no período de 1998 até 31/10/2020*. 2020. Disponível em: http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. 2003.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Agriculture, forestry and other land use*. 2006.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *SPM - Sumário para SPM formuladores de política*. 2019.

JAYACHANDRAN, S. et al. Cash for carbon: A randomized trial of payments for ecosystem services to reduce deforestation. *Science*, p.267-273, 2017.

JOLY, C.A. et al. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist*, v.204, n.3, p.1-15, 2014.

JORDÃO, C.O.; MORETTO, E.M. A vulnerabilidade ambiental e o planejamento territorial do cultivo de cana-de-açúcar. *Ambiente & Sociedade*, v.18, n.1, p.81-98, 2015.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, v.1, 1992.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, v.2, 1998.

MARCOS, D.P. et al. Compartimentação do estoque individual de carbono em uma plantação comercial de erva-mate. *BIOFIX Scientific Journal*, v.5, n.2, p.168-173, 2020.

MCTIC - MINISTERIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÃO. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*. 3.ed., 2016. Disponível em: https://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/Estimativas_3ed.pdf

MIRANDA, D.L.C.D. et al. Equações alométricas para estimativa de biomassa e carbono em árvores de reflorestamentos de restauração. *Revista Árvore*, v.35, n.3, p.679-689, 2011.

MISSIO, F.D.F. et al. Atributos funcionais de espécies arbóreas em um fragmento de floresta ombrófila mista em Lages - SC. *Ciência Florestal*, v.27, n.1, p.215-224, 2017.

MOTA, A função socioambiental da propriedade: a compensação ambiental como decorrência do princípio do usuário pagador. *Revista de Direito da Cidade*, v.7, n.2, p.776-803, 2015.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION USGS (SCIENCE FOR A CHANGING WORLD). *Western Geographic Science Center*, 2017. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/wgsc/science/global-food-security-support-analysis-data-30-m?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

NDc. *Pretendida contribuição nacionalmente determinada*. 2016. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf

NETO, A.D.P.M. et al. Densidade e poder calorífico como base para prevenção de incêndios florestais sob linhas de transmissão. *Nativa Sinop Pesquisas Agrárias e Ambientais*, v.3, p.10-15, 2015.

NUNNENKAMP, C.H.; CORTE, A.P.D. Emissão de gases de efeito

estufa e proposta de projeto para compensação: um estudo de caso e-commerce. **BIOFIX Scientific Journal**, v.2, n.1, p.69-77, 2017.

PAIVA, A.O. et al. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do distrito federal. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.527-538, 2011.

PAROLIN, P.; FERREIRA, L.V. Are there differences in specific wood gravities between trees in várzea and igapó (Central Amazonia)? **Ecotropica**, v.4, p.25-32, 1998.

PAULA, J.E.D. et al. Levantamento quantitativo em três hectares de vegetação de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.5, p.613-620, 1998.

PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mitigação das mudanças climáticas**. 1.ed. Rio de Janeiro, v.3, 2014.

REBOITA, M.S. et al. Climate projections for South America: RegCM3 Driven by HadCM3 and ECHAM5. **Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology**, v.2014, p.1-17, 2014.

RESENDE, A.S.D. et al. Efeito estufa e o seqüestro de carbono em sistemas de cultivo com espécies florestais e na cultura de cana-de-açúcar. **Embrapa Agrobiologia**, n.133, p.1-23, 2001.

REZENDE, A.V. et al. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n.71, p.65-76, 2006.

SANO, S.M. et al. **Baru: biologia e uso**. 1.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SANQUETTA, C.R. et al. **Floresta com araucária e suas transições: pesquisas ecológicas de longa duração**. Curitiba: Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD/CNPq), 2014.

SERENO, L.G.F.; ANDRADE, D.C. Perfil regional e setorial das emissões brasileiras de gases de efeito estufa entre 1990 e 2017. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v.32, n.1, p.22-46, 2020.

SILVA, C.J.D. et al. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.82, p.63-75, 2015.

SOARES, C.P.B. et al. **Dendrometria e inventário florestal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2012.

VALE, A.T.D. et al. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do Cerrado. **Ciência Florestal**, v.12, n.1, p.71-80, 2002.

VIEIRA, G. et al. Teores de carbono em espécies vegetais da caatinga e do Cerrado. **Revista Acadêmica : Ciências Agrárias e Ambientais**, v.7, n.2, p.145-155, 2009.

WILLIAMS, R.S. et al. Characteristics of ten tropical hardwoods from certified forests in Bolivia part i weathering characteristics and dimensional change. **Wood and Fiber Science**, v.33, n.4, p.618-626, 2001.

WOLF, R. et al. Sistemas agroflorestais: potencial para sequestro de carbono e produção de outros serviços ambientais. **4º Seminário de Agroecologia de Mato Grosso do Sul**, 2012.

Recebido em 20-09-2020

Aceito em 12-11-2020