

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA-UFU
FACULDADE DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DO PONTAL (FACIP)
CURSO DE GEOGRAFIA

**RELATÓRIO DO PROJETO DE PESQUISA FINANCIADO PELA
FAPEMIG:**

**“A EXPANSÃO CANAVIEIRA E O IMPACTO NO
ESTOQUE DE CARBONO DOS SOLOS DA
MESORREGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO E
ALTO PARANAÍBA-MG ”**

Processo CSA - APQ-02319-13

Jussara dos Santos Rosendo

Ituiutaba - MG
Fevereiro de 2017

Resumo

O principal objetivo da presente pesquisa foi analisar a potencialidade de estoque de carbono dos solos sob cana-de-açúcar, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba-MG, a partir de estimativas do estoque de carbono orgânico total e da utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento que permitissem determinar as áreas ocupadas pelos diferentes modos de colheita (mecanizada ou queimada). Para tanto, a metodologia empregada incluiu: pesquisas de campo para identificação das áreas e coleta das amostras de solo; determinação dos teores de C orgânico do solo em Analisador Elementar; estimativa dos atributos físicos do solo (granulometria e densidade) conforme EMBRAPA (1997) e o mapeamento dos diferentes modos de colheita da cana-de-açúcar mecanizada (CNM) e queimada (CNQ) a partir da utilização do *software* QGIS 2.8. Os resultados do mapeamento das áreas ocupadas com cana-de-açúcar no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (TMAP) demonstraram que em 2015 a monocultura ocupou 7,93% do total da área de pesquisa, representando 718.065 hectares. Ao separar o modo de colheita da cana, verificou-se que 516.251 ha (71,89%) são provenientes da cana colhida mecanicamente, ao passo que 51.317 ha (7,15%) da cana é queimada antes do corte e 150.497 ha (20,96%) foram classificadas como cana bisada ou em reforma. Quanto ao estoque de C analisado, a metodologia empregada estimou que a cana-de-açúcar no modo de colheita mecanizado alcançou dado médio (73,05 Mg C.ha⁻¹) superior ao estoque de C das áreas com cana-de-açúcar queimada (69,91 Mg C.ha⁻¹). O índice de correlação do estoque de C em relação aos parâmetros físicos apontaram relação inversamente proporcional à densidade para os dois modos de manejo, sendo -0,71 (CNM) e -0,72 (CNQ). Quanto à argila, considerada um dos fatores que auxiliam na proteção da matéria orgânica do solo, o índice de correlação para a CNM foi 0,39 sendo relativamente inferior à CNQ (0,58), tais dados demonstram que a argila pode ter exercido influência na preservação do C no solo das áreas queimadas, o que poderia explicar os altos valores de estoque de C observados. Diante do exposto, é importante destacar que 40% das amostras de CNQ estão inseridas na classe textural argilosa e 5% muito argilosa, ao passo que para a CNM apenas 15% das amostras são argilosas, 15% argilo arenosas e 10% argilo siltosas.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, estoque de carbono nos solos, sensoriamento remoto, geoprocessamento.

INTRODUÇÃO

Antes de iniciar a apresentação do relatório de pesquisas concluído, registro um agradecimento especial à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento do projeto inicial, hoje pesquisa concluída. O apoio e a confiança novamente depositados pela FAPEMIG permitiu concluir todos os objetivos propostos e além disso, fortalecer o grupo de pesquisas existente.

O presente relatório tem o objetivo de apresentar as atividades desenvolvidas pelo projeto de pesquisa sob registro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) CSA-APQ-02319-13, aprovado no edital 01/2013 (Demanda Universal), cujo termo de outorga foi assinado em fevereiro de 2014.

Pela adoção de práticas de manejo recomendadas, a agricultura contribui não somente para a conservação e qualidade da água, mas também para potencializar o carbono orgânico do solo, e a mitigação das emissões de dióxido de carbono e consequentes efeitos nas mudanças climáticas (FOLLETT, 2001).

Follett (2001) avaliou que o carbono orgânico presente no solo resulta da taxa de decomposição do carbono orgânico do solo, bem como a quantidade e composição de resíduos de culturas, raízes das plantas, e outras matérias orgânicas que retornam ao solo. Resíduos das culturas e outros materiais orgânicos constituem o maior recurso para superfície de manejo do solo, produção de energia e outros usos. Dessa forma, práticas com aumento de resíduos e/ou crescimento das plantas resultam em potencializar o sequestro de carbono. Ao contrário, práticas como aração ou gradagem da terra e práticas de pastejo abusivo (que causam a remoção excessiva dos resíduos ou vegetação pela pecuária) vão resultar em perdas no SOC, que podem se dar pela erosão do solo ou pela oxidação do SOC.

Desde o início da agricultura, as perdas de matéria orgânica do solo são responsáveis pela emissão de 78 Pg de C para atmosfera (LAL, 2004 apud DIECKOW et al. 2004). Dessa forma, os sistemas convencionais de preparo do solo causam acentuadas perdas de C por mineralização. Entretanto, Dieckow et al. (2004) garantiram que os solos agrícolas podem assumir um outro papel no ciclo do C, se práticas adequadas de manejo forem adotadas, como a redução do preparo do solo, a adoção de sistemas de culturas com elevado aporte de resíduos, a correção de acidez e adubação, etc.

Singh e Lal (2005) relataram que o solo pode se transformar em fonte ou dreno de C atmosférico, a partir de

Practices that lead to transfer of C from soil to the atmosphere include deforestation, burning, plowing, and continuous cropping. In contrast, practices that make agricultural soil a sink are conservation tillage, judicious use of fertilizers, crop rotations, cover crops, and fallowing; improved pasture and growing deep rooted crops (Lal and Kimble, 1997). (SINGH; LAL, 2005, p. 162)

A queima de biomassa na agricultura produz óxido nitroso (N₂O) e óxidos de nitrogênio (NO_x), durante a fase de combustão com chama, o monóxido de carbono (CO) e o metano (CH₄), quando há predomínio de fumaça. As taxas de emissão desses gases dependem do tipo de biomassa e da eficiência da queima (LIMA, et al., 2001).

Lima et al. (2001) salientaram que os resíduos da cana-de-açúcar representam 11% da produção mundial de resíduos agrícolas, cuja queima produz substancial liberação de CO₂, e que a queima da cana-de-açúcar não é julgada uma emissão líquida, pois, pela fotossíntese, a biomassa queimada é reposta no ciclo seguinte (LIMA et al. 2001; MACEDO, 2001).

Normalmente a colheita de cana-de-açúcar é feita após a queima dos resíduos (folhas secas, folhas verdes e pontas). A eliminação das folhas aumenta o rendimento do corte manual dos colmos, elimina animais peçonhentos e facilita o preparo do solo para novo plantio. (LIMA et al. 2001, p. 174).

Cerri e Cerri (2007) declararam que a adoção de práticas de manejo menos agressivas, tal como o sistema plantio direto, substituindo o sistema convencional, e a colheita de cana-de-açúcar mecanizada em lugar da colheita com queima da palha, contribuem, juntos para a mitigação total de 10,55 Mt C ano⁻¹ (9 Mt C ano⁻¹ relativos à adoção do sistema plantio direto e 1,55 Mt C ano⁻¹ devido à colheita mecanizada da cana-de-açúcar). Verifica-se, portanto, que a mitigação derivada da implantação de tais práticas é quase suficiente para compensar a emissão líquida de 12,65 Mt C ano⁻¹ por todo o território brasileiro.

A colheita mecanizada, que dispensa a queima, é uma prática de adoção recente, utilizada em 5% das áreas produtoras do país. Suas vantagens estão na diminuição das emissões de gases e no favorecimento de uma maior cobertura do solo e na melhor qualidade tecnológica da cana crua (LIMA et al. 2001, p. 174).

Macedo (2001) esclareceu que, no caso do estado de São Paulo, a principal ação na mitigação já foi tomada com a legislação específica, visando reduzir gradativamente a queima de cana, e

que a legislação (Decreto Estadual nº 42055, de 06/08/1997) previa a eliminação da queima em 8 anos, a partir de 1998, para as áreas passíveis de ser colhidas mecanicamente, e em 15 anos para as áreas mecanizáveis. O autor ainda demonstrou que a Legislação Federal (Decreto Federal nº 2661, de 08/07/98) também previa uma redução da queima da cana, neste caso, estabelecendo um cronograma de redução apenas para as áreas mecanizáveis, a uma taxa de 25% a cada 5 anos.

Ainda com relação à colheita sem queima realizada por máquinas, Segnini et al. (2004) demonstraram que essa prática possibilita a deposição da palhada sobre o solo, sendo uma alternativa para a redução das emissões de gases, uma vez que o carbono que seria emitido durante a queimada, poderia ficar retido no sistema.

Cerri et al. (2006) relataram que, em estudo realizado na região de Ribeirão Preto-SP, onde a colheita mecanizada de cana crua está presente em mais de 80% das áreas, concluiu-se que este sistema, aliado ao aproveitamento do bagaço, confere um sequestro de 19,55 Mt de C ano⁻¹.

Na pesquisa realizada por Segnini et al. (2004), foi avaliado o sequestro de carbono em áreas de rotação de culturas de cana-de-açúcar/amendoim. Os resultados obtidos mostraram que houve um aumento no conteúdo de carbono no solo na área sob plantio direto, comparado com áreas sob manejo convencional e cultivo mínimo, em um sistema sob rotação cana-de-açúcar/amendoim. O dado ganha importância, pois, nas áreas sob manejo convencional e cultivo mínimo, também não ocorreu a queima da palhada e, portanto, mostra que o principal efeito para diferenciar o conteúdo de carbono no solo foi o manejo e não a ausência de queima da palhada. Os autores concluíram que, nas condições analisadas, o manejo conservacionista, como o plantio direto, teve um efeito relevante para o acúmulo de carbono no solo, configurando uma situação de sequestro de carbono no solo.

Levando-se em conta que o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo (Tabela 1) responsável por, aproximadamente, 36,67% da produção total de cana-de-açúcar (FAO, 2010), é de extrema importância a adoção de novas tecnologias, como a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, que é uma valiosa estratégia de mitigação do efeito das mudanças climáticas globais (CERRI; CERRI, 2007).

Tabela 1: Produção mundial de cana-de-açúcar

| Países | Produção (MT*) | % |
|------------------|----------------------|------------|
| Brasil | 549.707.328 | 36,67 |
| India | 355.519.700 | 23,72 |
| China | 11.3731.917 | 7,59 |
| Outros 17 países | 47.9921.189 | 32,02 |
| Total | 1.498.880.134 | 100 |

MT: Mega Tonelada

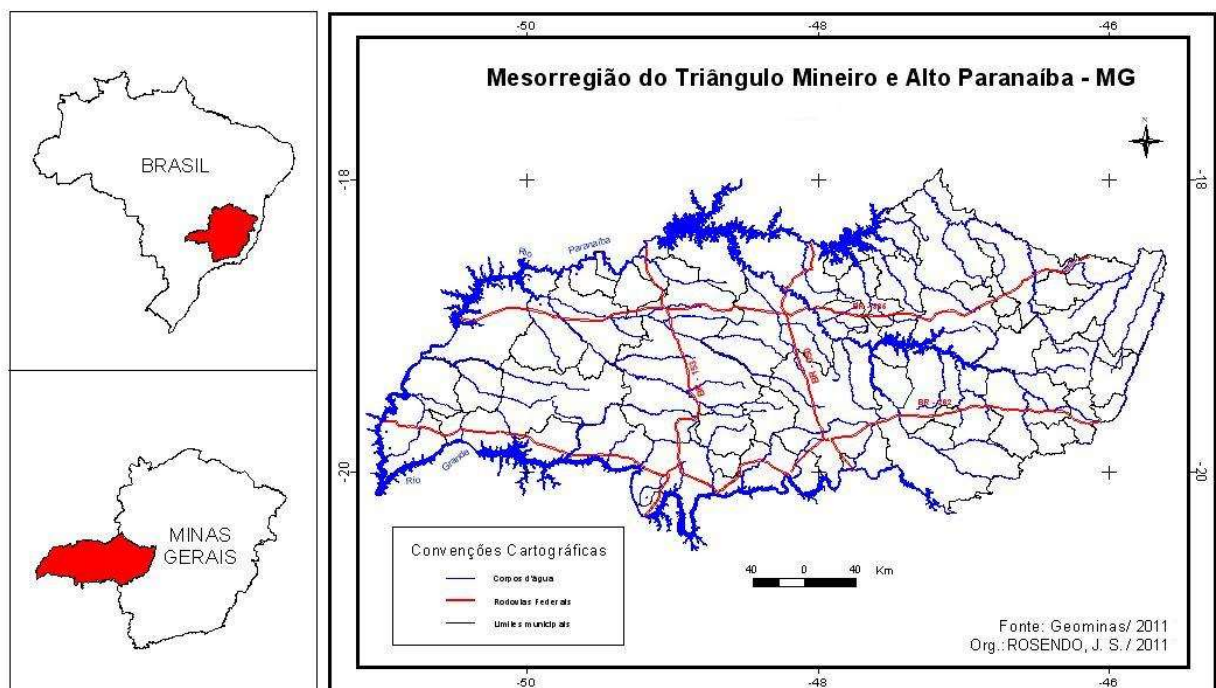
Fonte: FAO (2010)

Org.: ROSENDO, 2017

Neste contexto, Zanzarini e Santos (2009) apontaram o estado de Minas Gerais como o estado que mais cresce na produção nacional de cana-de-açúcar. Santos (2011) afirmou que o Triângulo Mineiro se transformou na maior região produtora de cana-de-açúcar em Minas Gerais, ficando atrás, apenas, de São Paulo, estado que lidera tanto em área quanto em quantidade produzida.

Ainda de acordo com Santos (2011) na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (TMAP), Figura 1, a área plantada com cana-de-açúcar saltou de 126.500 hectares, no ano 2000, para 381.804 hectares no ano 2008, atingindo 427.258 hectares em 2009. Quanto à produção, esta aumentou consideravelmente entre 2000 e 2009, quando saltou de 10.076.488 para 58.384.105 toneladas de cana-de-açúcar.

Figura 1: Localização da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba-MG



O principal objetivo da pesquisa foi analisar a potencialidade de estoque de carbono dos solos sob cana-de-açúcar, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba-MG, a partir de estimativas do estoque de carbono orgânico total e da utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Neste sentido, os objetivos específicos incluem:

- Avaliar o estoque de carbono dos solos para as áreas sob cana-de-açúcar, a partir da determinação do carbono orgânico total (COT), em analisador elementar;
- Comparar o estoque de carbono nos solos cultivados com cana-de-açúcar nos sistemas de manejo praticados na área da pesquisa (colheita mecanizada em comparação a colheita realizada pós-queimadas);
- Quantificar as taxas de estoque de carbono dos solos sob cana-de-açúcar em comparação com a vegetação nativa;
- Realizar mapeamento da expansão canavieira no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba a partir da utilização de dados de sensores remotos (satélite TM/Landsat 5) e técnicas de geoprocessamento;
- Disponibilizar os resultados/dados alcançados pelo mapeamento da evolução da ocupação/expansão da cana-de-açúcar, bem como da potencialidade de estoque de carbono nos solos da área da pesquisa, na internet, com intuito de suprir a carência de informações para pesquisas de diversas áreas do conhecimento.

O documento foi dividido de forma que no item 2 é descrita detalhadamente toda a metodologia empregada desde o mapeamento da área de estudos até as análises de solo, os resultados e discussões foram organizados no item 3, no item 4 apresentamos as considerações finais do trabalho e, por fim, no item 5 as referências bibliográficas utilizadas.

2. METODOLOGIA

2.1 Pré-processamento dos dados de sensoriamento remoto

Para contemplar toda a mesorregião do TMAP com as imagens de sensoriamento remoto, foi necessária uma busca por imagens do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do Landsat-8 livre de nuvens em nível 1 de processamento (reflectância da superfície). Para aquelas imagens com mais de 10 % de nuvem, foram alternativamente baixadas imagens do sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM⁺) do Landsat-7, ambas disponíveis no site da USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Em um terceiro momento, para as datas que ainda não apresentam imagens livres de nuvens, foram baixadas imagens do sensor *Advanced Wide Field Sensor* (AWiFS) do ResourceSat-2 disponibilizadas no catálogo de imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). As principais características desses sensores estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Características básicas dos sensores *Operational Land Imager* (OLI/LANDSAT-8), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM⁺/LANDSAT-7) e *Advanced Wide Field Sensor* (AWiFS/RESOURCESAT-2)

| Descrição da | OLI | ETM ⁺ | AWiFS |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Nome do sensor | Operational Land Imager | Enhanced Thematic Mapper Plus | Advanced Wide Field Sensor |
| Passagem no equador (hora) | ± 11:00 | ± 10:10 | ± 10:30 |
| Resolução radiométrica | 16 | 16 | 12 |
| Resolução espacial | 30 | 30 | 56 |
| Bandas espectrais | | | |
| Red | 0,63-0,68 | 0,63-0,69 | 0,62-0,68 |
| NIR | 0,85-0,89 | 0,76-0,90 | 0,77-0,86 |
| SWIR | 1,56-1,66 | 1,55-1,75 | 1,55-1,70 |

Fonte: INPE/USGS (2016)

Org.: DIAS, B. A. S (2016)

As datas das imagens utilizadas compreenderam o período de colheita da cana-de-açúcar na mesorregião do TMAP (abril a outubro 2015). Além disso, imagens de janeiro de 2015 foram usadas no processamento dos dados e na confecção da referência.

Como a cana-de-açúcar possui uma janela de colheita muito larga, de abril a outubro, foi necessária a obtenção de mosaicos mensais da área de estudo. Dessa forma, o pré-processamento dos dados consistiu na obtenção de mosaicos equalizados, com 30m de resolução espacial e com menor quantidade de nuvem possível, em um período de um mês.

Para isso, 5 passos de pré-processamento foram executados sob os dados: (i) correção geométrica, (ii) preenchimento das falhas das imagens ETM⁺, (iii) reamostragem da resolução espacial para 30 m, (iv) detecção de nuvens e (v) normalização das imagens através da aplicação da aparência equalizada (ApEq). Ao todo, 8 mosaicos foram confeccionados: (1) janeiro, (2) abril, (3) maio, (4) junho, (5) julho, (6) agosto, (7) setembro e (8) outubro de 2015 (Figura 2), todos em composição colorida falsa cor NIR-SWIR-RED.

(i) A correção geométrica foi aplicada nas imagens AWiFS usando os dados Landsat do *Global Land Survey* (GLS). O erro de tolerância adotado no processo foi de 40m. As imagens Landsat 7 e 8 foram adquiridas já com correção geométrica;

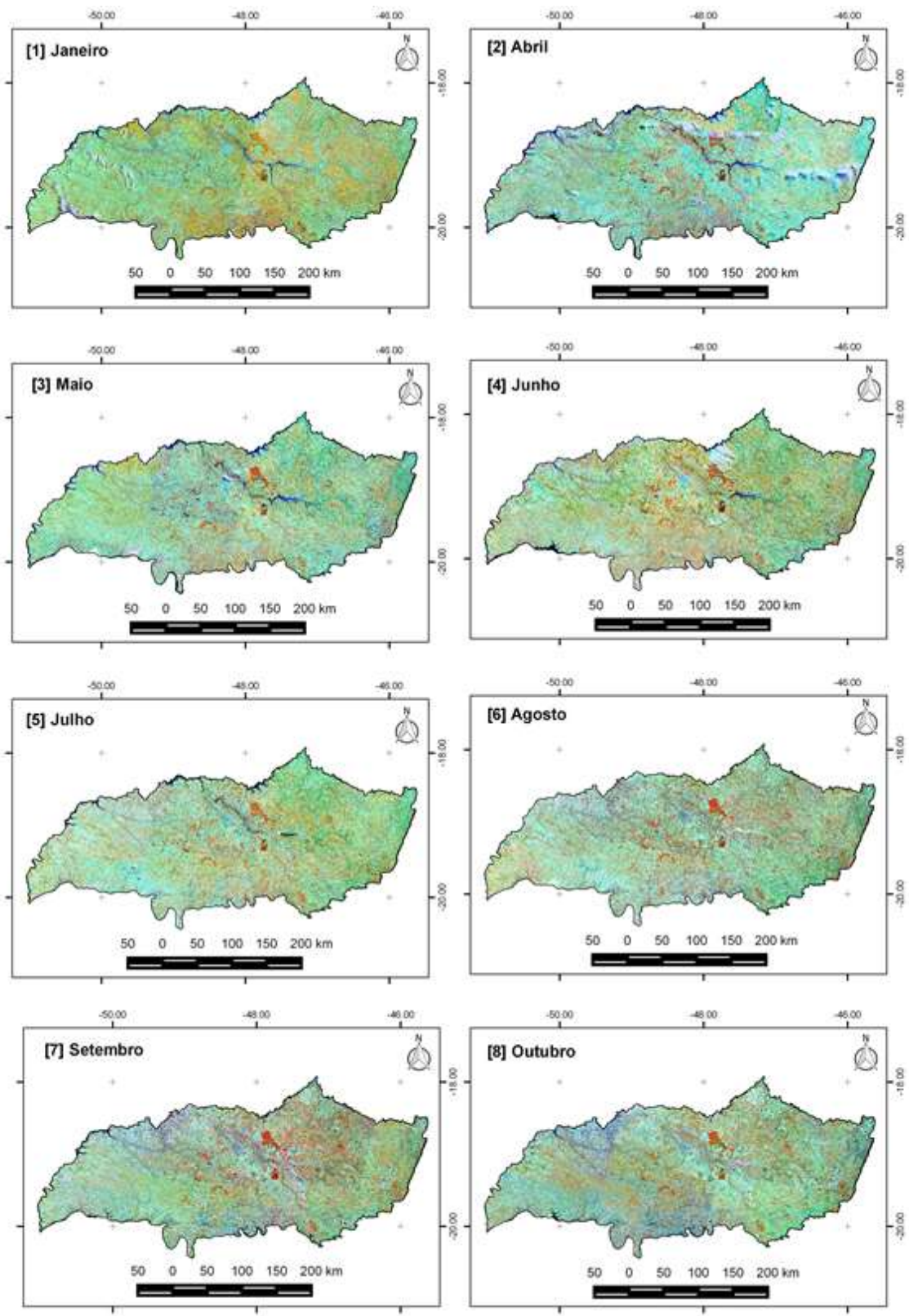
(ii) O preenchimento das falhas (*gaps*) das linhas das imagens do sensor ETM⁺ foram corrigidas usando filtro passa-baixa, como sugerido por Schultz *et al.* (2016) em *script Python*;

(iii) A reamostragem das imagens AWiFS, de 56m para 30m, foi realizada pelo algoritmo *cubic B-spline* (PARKER, 1983). Esse procedimento foi necessário para deixar todas as imagens na mesma resolução espacial;

(iv) Para a detecção de nuvens das imagens AWiFS foi utilizado o *cloud-detection tool*, desenvolvido por Abreu *et al.* (2013). Para as imagens OLI e ETM⁺, o produto *cf_mask* foi utilizado;

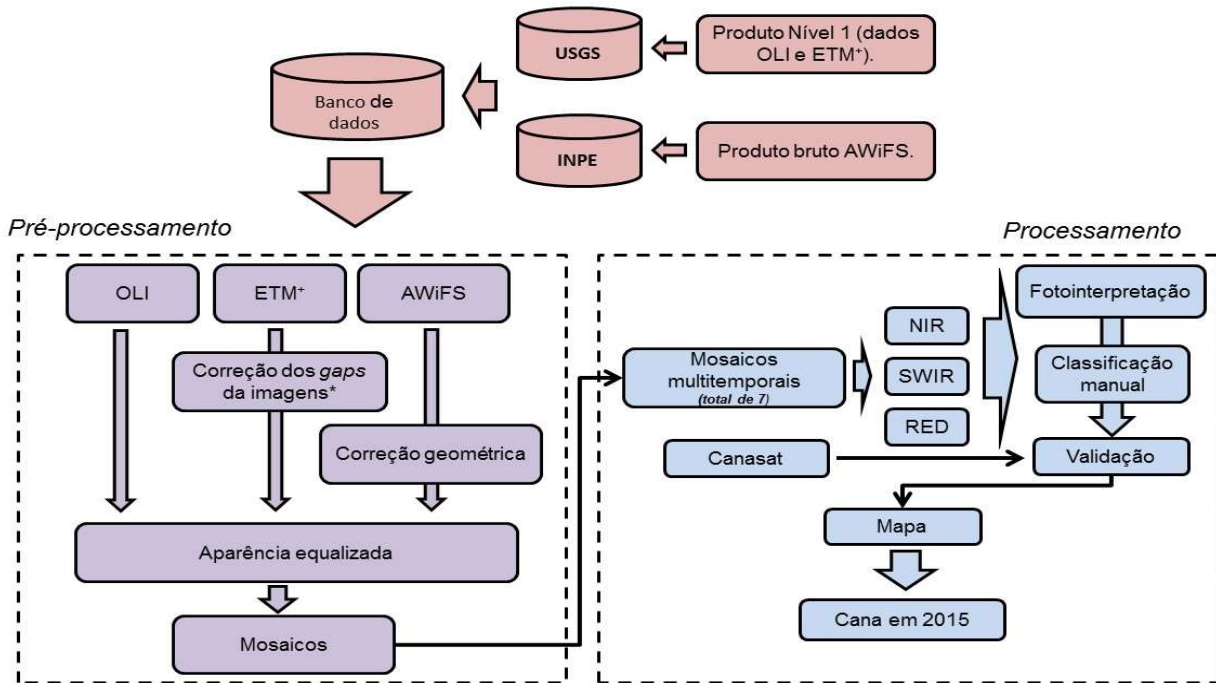
(v) Após todas as imagens estarem com a mesma resolução espacial, a imagem 221/074 do mês de abril do sensor OLI foi escolhida como imagem base (IB) para a aplicação da ApEq, e as demais foram consideradas imagens de conversão (IC). Pela ApEq, a cor das imagens em composição colorida NIR-SWIR-RED foi normalizada com base nos pixels de floresta. Após o processo de equalização pela ApEq, todas as imagens foram salvas em 8 bits (256 níveis de cinza).

Figura 2: Mosaicos em composição colorida falsa cor NIR-SWIR-RED no período de colheita da cana-de-açúcar (Abril a Outubro) e o mês de Janeiro utilizado para atualização da referência e processamento.



A Figura 3 ilustra o fluxograma que contém o passo a passo das atividades desenvolvidas no pré-processamento e no processamento dos mosaicos multitemporais e multi-sensores.

Figura 3: Fluxograma da metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho



2.2 Processamento dos dados de sensoriamento remoto

Para a fotointerpretação, utilizaram-se atributos para o reconhecimento das feições, como: tonalidade e cor, forma e tamanho, padrão, textura e sombra. Como citado anteriormente, a cana-de-açúcar apresenta características bem distintas das demais culturas, elementos estes que facilitaram e contribuiram para sua identificação. A grande vantagem da classificação manual está em sua alta confiabilidade, no entanto, um ponto negativo do seu uso está na delimitação de grandes áreas cujo intuito seja mapear diversos usos.

O modo de colheita da cana foi definido como cana crua/mecanizada ou cana-queimada e avaliado no programa QGIS. Ambos os sistemas de manejo foram analisados quanto aos valores resultantes das médias das bandas NIR, SWIR e RED dos segmentos classificados como cana. Os valores médios dos segmentos foram extraídos para cada uma das três bandas no programa *Ecognition*, em formato matricial TIF. Foram montados 3 diferentes rasters virtuais no QGIS, com uma quantidade de 7 TIFs: (b) abril, (c) maio, (d) junho, (e) julho, (f) agosto, (g) setembro e (h) outubro. O *plugin Spectral*

Profile, desenvolvido por QGIS, no ano de 2016, foi usado para observar a variação temporal do espectro de cada segmento de cana no tempo, isso é, no período de colheita na mesorregião do TMAP (de abril a outubro de 2015).

Para avaliar o modo de colheita da cana, foram observados os valores dos níveis digitais (NDs), 256 níveis, dos talhões nos mosaicos multitemporais. Limiares de NDs foram definidos para cada banda, por análises a priori dos dados, baseados na interpretação visual das imagens em composição RGB NIR-SWIR-RED. As regras foram inseridas no programa R (VENABLES et al., 2016).

- NIR: altos valores no período de vigor vegetativo;
- SWIR: altos valores representam a colheita com cana-crua;
- RED: altos valores representam a colheita com queima.

Para que ocorresse colheita da cana (crua ou queimada), os valores de NIR deveriam ser baixos, e os valores de SWIR e RED, altos. A cana queimada deveria apresentar valores maiores de ND no RED do que no SWIR. A cana crua deveria apresentar valores maiores de ND no SWIR do que no RED.

2.3 Coleta das amostras de solo

Vários trabalhos de campo foram realizados para reconhecimento das áreas sob diferentes manejos da cana-de-açúcar. Com auxílio das imagens de satélite, após interpretação visual preliminar, em laboratório, e de posse de receptor GPS, foram identificadas e selecionadas as áreas com cana de açúcar queimada (CNQ) e cana-de-açúcar mecanizada (CNM). Neste contexto, foram percorridos diversos municípios cujas categorias de análise apresentavam as condições topográficas adequadas (áreas planas), solos do tipo Latossolos e relativa proximidade entre elas. É importante mencionar, que a coleta dos solos se deu de maneira aleatória, buscando respeitar a proximidade entre as diferentes classes, no entanto, as áreas com CNQ concentram-se na região de Uberaba, desse modo, tanto as amostras com CNM e CNQ concentraram-se nessa região.

Esta etapa de trabalho consistiu na seleção de 20 pontos amostrais, de cada modo de colheita, para coleta de solo, em diferentes profundidades, totalizando 40 amostras em toda a área de pesquisa (Figura 4). Em cada amostra foi coletada quantidade suficiente de solo para calcular o Carbono Total (CT), a densidade aparente e a textura nas profundidades de 0- 5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Após coletadas, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos para posterior secagem ao ar e passagem em peneira com malha de 2 mm de abertura (terra fina seca ao ar – TFSA). Parte do solo foi separado para análise do teor de carbono e parte foi utilizado para a análise física. Dessa forma, as variáveis do solo analisadas foram: areia, silte, argila (%), densidade (g/cm^3), teor de carbono total (%) e estoque de carbono (Mg/ha).

2.4 Análise Granulométrica

A análise granulométrica (textura) foi realizada segundo os procedimentos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997), no Laboratório de Análise e Manejo do Solo, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. A textura foi analisada também nas profundidades de 0-5 cm; 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm em cada ponto de coleta, totalizando 40 amostras (20 para cana queimada e 20 para cana mecanizada).

A análise da textura permite identificar os teores de argila, areia e silte, conforme descrição apresentada a seguir, e classificá-los segundo o percentual de suas partículas.

- Areia Grossa: solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 2.0 e 0.2 mm;
- Areia Fina: solo formado por minerais e partículas compreendidas entre 0.2 e 0.05 mm;
- Silte: solo que apresenta baixo ou nenhuma plasticidade, baixa resistência quando seco ao ar. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0.02 e 0.002 mm;
- Argila: solo de graduação fina constituída por partículas com dimensões menores que 0.002 mm. Apresentam características marcantes de plasticidade; quando suficientemente úmido, molda-se facilmente em diferentes formas, quando seco, apresenta coesão suficiente para construir torrões dificilmente desagregáveis por pressão dos dedos.

2.5 Densidade Aparente

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme EMBRAPA (1997), no Laboratório de Estudo e Pesquisa em Pedologia, Geomorfologia e Ensino de Geografia Física (PEDOGEO) da FACIP/UFU, o qual se fundamenta no uso de um anel de bordas cortantes com capacidade interna conhecida. Para análise da densidade foram coletadas amostras nas 4

profundidades das 40 amostras totais. Depois de coletado, o solo do anel foi transferido para um recipiente e levado para secar em estufa a 105 °C, por 48 horas, visando obter sua massa. Depois de seco, a densidade foi obtida mediante a seguinte equação:

$$D = \frac{m}{v}$$

Onde: D é a densidade aparente do solo (g/cm³), m é a massa de solo seco (g), e v é o volume do anel (cm³).

2.6 Determinação dos teores de C no solo

O teor de carbono total (CT) foi determinado por combustão a seco utilizando um Analisador Elementar (CHNS-O) Flash2000, da Thermo Scientific, adquirido com recursos de projeto anterior financiado pela FAPEMIG e instalado no Laboratório de Compostos Inorgânicos, da Faculdade de Ciências Integradas do Pontal (FACIP-UFU).

Amostras de 1 g de solo seco ao ar (TFSA) foram trituradas em almofariz de ágata, garantindo a homogeneidade da amostra. Posteriormente foram secas em estufa a aproximadamente 60°, por 24 horas, e em seguida transferidas para um pequeno tubo e acondicionadas em dessecador.

Em seguida, amostras de solo (1mg), que depois de pesadas em cápsulas de estanho, em balança de precisão, foram acondicionadas em um *autosampler* e queimadas por um reator a 900° C, o reator contém aproximadamente 50mm de óxido de cobre e 140 mm de cobre eletrolítico, seguindo por uma coluna cromatográfica, a 60°C, e por fim analisado em um detector do tipo TCD (*Thermal Conductivity Detector*), todo o processo leva 720 segundos para ser concluído. Cada amostra de solo foi pesada em triplicata (totalizando 480 análises) para as profundidades de 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm e 20-30 cm, o que garante maior confiabilidade nos dados.

2.7 Estoque de Carbono no solo

Concluídas as análises da densidade (D) e dos teores de carbono (C) as amostras coletadas em campo foram submetidas à mensuração do estoque de carbono. O estoque de carbono (Mg/ha) foi calculado por meio da multiplicação do conteúdo do carbono (%), da densidade do solo (g/cm³) e da espessura da camada de solo (cm), conforme equação a seguir:

$$\text{EstC} = C * D * E$$

Onde: EstC é o estoque de carbono na camada analisada (Mg/ha), C é o teor de carbono total (%), D é a densidade aparente do solo da camada analisada (g/cm^3) e, E é a espessura da camada (cm).

A variação dos valores médios do estoque de C dos solos em relação ao Cerrado nativo é definido como Δ Estoque de C, e permite avaliar se o solo está armazenando ou emitindo C-CO₂ para atmosfera (FORTIN et al., 1996; BAYER et al., 2000; ROCHA, 2000 apud NEVES et al., 2004).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estimativa da área

O mapeamento do modo de colheita da cana permitiu verificar que 516.251 ha (71,89%) são provenientes da cana colhida mecanicamente (CNM), ao passo que 51.317 ha (7,15%) da cana é queimada (CNQ) antes do corte e 150.497 ha (20,96%) foram classificadas como cana bisada (CNB) ou em reforma, conforme aponta a Tabela 3 e a Figura 5. A classificação visual das imagens de sensoriamento remoto possibilitou maior exatidão dos dados, principalmente pela aquisição de várias imagens de satélites, auxiliando a fointerpretação e possibilitando separar os dados por município inserido situado na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Tabela 4).

Tabela 3: Área total de cana-de-açúcar mecanizada, queimada e bisada e a porcentagem e relação a área da mesorregião (2015)

| CNM (ha) | CNM (ha) | CNB (ha) | Total Cana TM (ha) | Área total do TMAP (ha) | Total (%) |
|----------|----------|----------|--------------------|-------------------------|-----------|
| 516.251 | 51.317 | 150.497 | 718.065 | 9.054.005 | 7,93 |

Fonte: Mapeamento da cana-de-açúcar em 2015

Org.: DIAS, B. A. S. (2016)

Quando comparamos os dados alcançados no mapeamento com dados oficiais, como os do IBGE (2015) e do MAPA (2015), observa-se uma área colhida de 625.413 ha e 628.345 ha, respectivamente. No mapeamento, foram identificados 567.568 ha, diferença de aproximadamente 10% em relação aos dados citados. Vale lembrar que aquelas áreas em que a cana não foi colhida durante o período da colheita, principalmente em razão de fatores climáticos, ou qualquer outro motivo, foi contabilizada no mapeamento à parte, consideradas como bisada.

Figura 5: Mapa das áreas destinadas a cultura da cana-de-açúcar no TM em 2015.

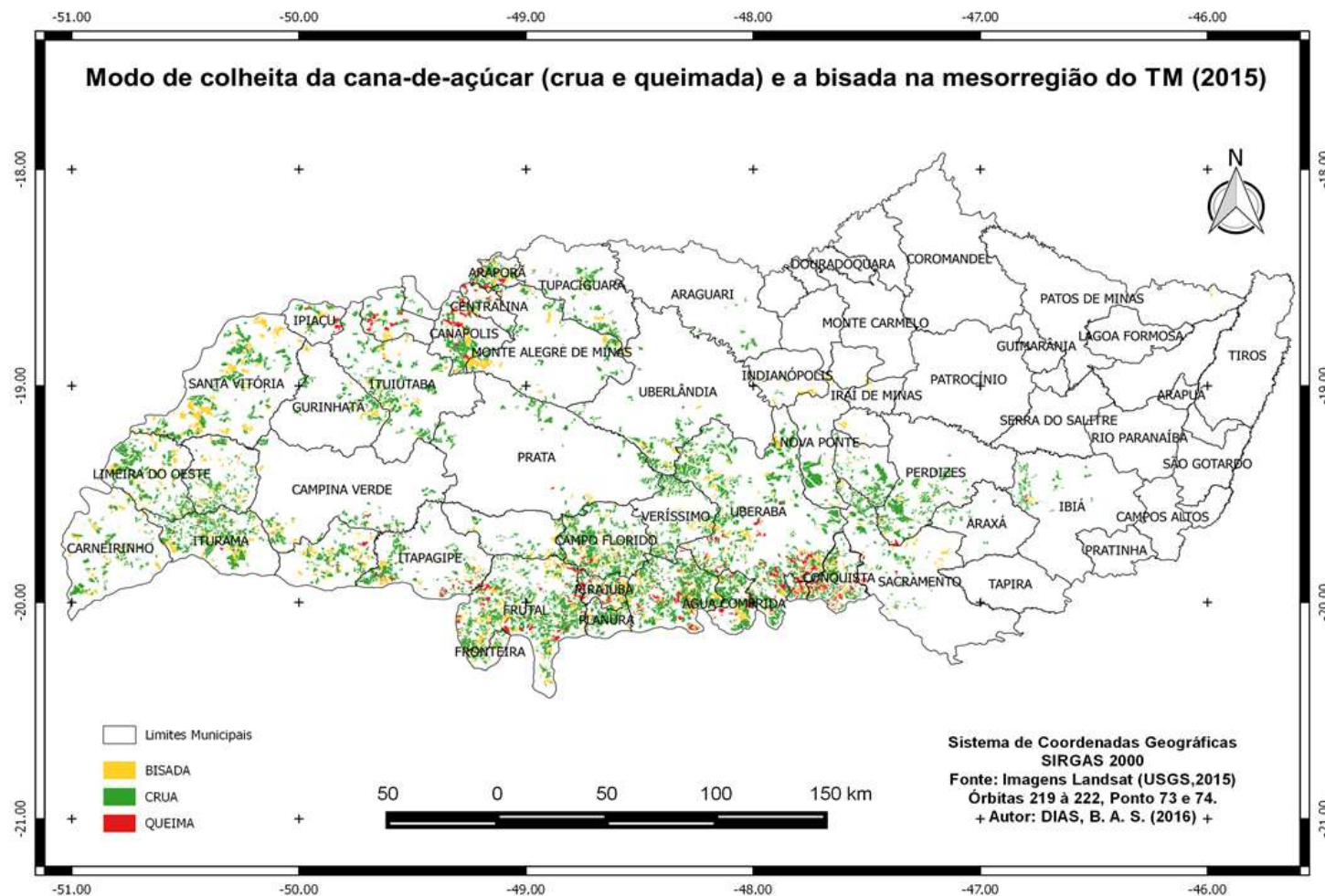


Tabela 4. Modo de colheita da cana-de-açúcar (crua, queimada, bisada) por município, destacando os principais produtores e a porcentagem em relação a área total da mesorregião do TMAP.

| Município | Cana Crua (ha) | Porcentagem da área de cana crua por município (%) | Cana Queimada (ha) | Porcentagem da área de cana queimada por município (%) | Cana Reforma ou bisada (ha) | Porcentagem da área de cana bisada por município (%) | Total área de cana por município (ha) | Porcentagem da área total por município (%) |
|------------------------|----------------|--|--------------------|--|-----------------------------|--|---------------------------------------|---|
| Água Comprida | 12.335 | 70,34 | 2.030 | 11,57 | 3.171 | 18,08 | 17.536 | 2,44 |
| Araguari | 1.875 | 99,36 | 0 | 0 | 12 | 0,64 | 1.887 | 0,26 |
| Araporã | 6.043 | 57,17 | 2.002 | 18,94 | 2.525 | 23,88 | 10.570 | 1,47 |
| Araxá | 2.209 | 97,44 | 0 | 0 | 58 | 2,56 | 2.267 | 0,32 |
| Cachoeira Dourada | 741 | 90,70 | 0 | 0 | 76 | 9,30 | 817 | 0,11 |
| Campina Verde | 9.474 | 77,45 | 505 | 4,12 | 2.253 | 18,43 | 12.232 | 1,70 |
| Campo Florido | 27.925 | 78,15 | 1.333 | 3,73 | 6.474 | 18,12 | 35.732 | 4,98 |
| Canápolis | 11.104 | 59,22 | 4.224 | 22,52 | 3.421 | 18,26 | 18.749 | 2,61 |
| Capinópolis | 4.224 | 51,12 | 2.398 | 29,02 | 1.640 | 19,86 | 8.262 | 1,15 |
| Carneirinho | 10.910 | 68,65 | 0 | 0 | 4.982 | 31,35 | 15.892 | 2,21 |
| Centralina | 2.060 | 49,95 | 1.211 | 29,36 | 853 | 20,69 | 4.124 | 0,57 |
| Comendador Gomes | 5.326 | 71,74 | 0 | 0 | 2.098 | 28,26 | 7.424 | 1,03 |
| Conceição das Alagoas | 34.095 | 72,23 | 5.589 | 11,84 | 7.514 | 15,93 | 47.198 | 6,57 |
| Conquista | 10.984 | 57,74 | 3.927 | 20,64 | 4.112 | 21,62 | 19.023 | 2,65 |
| Delta | 1.822 | 42,23 | 1.429 | 33,12 | 1.063 | 24,65 | 4.314 | 0,60 |
| Fronteira | 2.666 | 66,26 | 0 | 0 | 1.357 | 33,74 | 4.023 | 0,56 |
| Frutal | 47.670 | 68,60 | 7.176 | 10,32 | 14.638 | 21,08 | 69.484 | 9,68 |
| Gurinhata | 5.720 | 70,68 | 0 | 0 | 2.372 | 29,32 | 8.092 | 1,13 |
| Ibiá | 5.250 | 88,36 | 206 | 3,46 | 485 | 8,18 | 5.941 | 0,83 |
| Indianópolis | 850 | 40,34 | 0 | 0 | 1.257 | 59,66 | 2.107 | 0,29 |
| Ipiáçu | 3.158 | 56,89 | 1.191 | 21,45 | 1.202 | 21,66 | 5.551 | 0,77 |
| Iraí de Minas | 131 | 20,20 | 0 | 0 | 517 | 79,80 | 648 | 0,09 |
| Itapagipe | 14.576 | 71,69 | 2.104 | 10,34 | 3.651 | 17,97 | 20.331 | 2,83 |
| Ituiutaba | 19.634 | 79,77 | 67 | 0,27 | 4.573 | 19,96 | 24.274 | 3,38 |
| Iturama | 25.381 | 76,32 | 534 | 1,60 | 7.337 | 22,08 | 33.252 | 4,63 |
| Limeira do Oeste | 20.891 | 76,03 | 0 | 0 | 6.585 | 23,97 | 27.476 | 3,83 |
| Monte Alegre de Minas | 9.682 | 60,85 | 95 | 0,60 | 6.132 | 38,55 | 15.909 | 2,22 |
| Nova Ponte | 8.003 | 83,95 | 0 | 0 | 1.530 | 16,05 | 9.533 | 1,33 |
| Patos de Minas | 0 | 0 | 0 | 0 | 415 | 100 | 415 | 0,06 |
| Pedrinópolis | 0 | 0 | 0 | 0 | 730 | 100 | 730 | 0,10 |
| Perdizes | 16.310 | 87,94 | 547 | 2,94 | 1.689 | 9,12 | 18.546 | 2,58 |
| Pirajuba | 6.960 | 46,17 | 3.251 | 21,56 | 4.862 | 32,27 | 15.073 | 2,10 |
| Planura | 7.875 | 95,48 | 366 | 4,43 | 6 | 0,09 | 8.247 | 1,15 |
| Prata | 11.650 | 92,41 | 116 | 0,92 | 840 | 93,33 | 12.606 | 1,76 |
| Romaria | 0 | 0 | 0 | 0 | 183 | 100 | 183 | 0,03 |
| Sacramento | 11.799 | 73,83 | 710 | 4,44 | 3.471 | 21,73 | 15.980 | 2,23 |
| Santa Juliana | 10.095 | 95,13 | 40 | 0,37 | 475 | 4,50 | 10.610 | 1,48 |
| Santa Vitória | 26.276 | 60,78 | 0 | 0 | 16.950 | 39,22 | 43.226 | 6,02 |
| São Francisco de Sales | 10.314 | 62,71 | 670 | 4,07 | 5.461 | 33,22 | 16.445 | 2,29 |
| Tupaciguara | 10.338 | 87,60 | 0 | 0 | 1.464 | 12,40 | 11.802 | 1,64 |
| Uberaba | 64.354 | 74,78 | 9.268 | 10,77 | 12.427 | 14,45 | 86.049 | 11,98 |
| Uberlândia | 9.713 | 76,98 | 57 | 0,45 | 2.846 | 22,57 | 12.616 | 1,76 |
| União de Minas | 12.317 | 74,23 | 79 | 0,47 | 4.193 | 25,30 | 16.589 | 2,31 |
| Veríssimo | 13.511 | 82,88 | 192 | 1,17 | 2.597 | 15,95 | 16.300 | 2,27 |
| TOTAL | 516.251 | | 51.317 | - | 150.497 | | 718.065 | 100 |

Fonte: Mapeamento da cana-de-açúcar em 2015
Org.: DIAS, B. A. S. (2016)

O percentual de área queimada em relação ao total do município foi maior nos municípios concentrados na porção sul da Mesorregião, dentre eles é possível citar Pirajuba (21,56%), Conquista (20,64%), Conceição das Alagoas (11,84%), Água Comprida (11,57%), Uberaba (10,77%) e Frutal (10,32%). Quando se considera os valores em hectares, percebe-se que Uberaba possui a maior produção de cana queimada (mais de 9.000 ha), seguida por Frutal (7.176 ha). Essa localização reflete a proximidade com o estado de SP e remete ao fato de que essas são as áreas mais antigas na produção de cana em Minas Gerais. Chama a atenção o fato de que outros municípios situados ao norte da Mesorregião apresentaram estimativas elevadas para a queima da cana, são eles Canápolis (4.224 ha), Capinópolis (2.398 ha), Araporã (2.002 ha), Centralina (1.211 ha) e Ipiaçu (1.191 ha).

3.2 Análises das amostras de solos sob cana-de-açúcar

3.2.1 Textura dos solos

O cultivo da cana-de-açúcar e sua acelerada expansão tem causado grandes discussões acerca dos impactos sócio-ambientais ocasionados, que vão desde a “redução” de áreas agricultáveis, o que poderia diminuir a produção de alimentos, a exploração da mão-de-obra migrante e as péssimas condições de trabalho e os impactos ambientais diretamente ligados à sua produção (queimada, empobrecimento do solo, e etc.).

As coletas de solo com cana-de-açúcar nos dois sistemas de manejo (mecanizada e queimada) concentraram-se na porção centro sul da área de pesquisa em razão de ser as áreas produtoras mais antigas do estado tanto no corte manual quanto mecanizado. Ao analisarmos os dados da textura dos solos cultivados com cana-de-açúcar mecanizada (CNM) percebe-se que a maior parte das amostras coletadas situa-se em solos de textura média e arenosa (Tabela 5), de forma que do total das amostras de CNM, 35% possuem textura média, 25% arenosa, 15% argilo arenosa, 10% argilo siltosa e 15% argilosa. Chama atenção o fato de que nenhuma amostra possui textura muito argilosa.

Tabela 5: Textura dos solos coletados em áreas de cana-de-açúcar mecanizada (CNM) e queimada (CNQ)

| Textura | Cana-de-açúcar mecanizada | | Cana-de-açúcar queimada | |
|----------------|--------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| | Quantidade de pontos amostrais | (%) | Quantidade de pontos amostrais | (%) |
| Arenosa | 5 | 25 | 0 | 0 |
| Média | 7 | 35 | 6 | 30 |
| Argilo Arenosa | 3 | 15 | 4 | 20 |
| Argilo Siltosa | 2 | 10 | 1 | 5 |
| Argilosa | 3 | 15 | 8 | 40 |
| Muito Argilosa | 0 | 0 | 1 | 5 |
| Total | 20 | 100 | 20 | 100 |

Fonte: Análises de solos
Org.: ROSENDO, 2017.

Em contrapartida, os dados granulométricos da cana queimada (CNQ) apontam que a maior parte das amostras localizam-se em solos argilosos (Tabela 5), dos quais 40% pertencem à classe textural argilosa, 5% muito argilosa, 5% argilo siltosa e 20% argilo arenosa.

3.2.2 Densidade aparente

A média da densidade aparente avaliada nas áreas cultivadas com CNM alcançou 1,40 g/cm³ enquanto as áreas com CNQ apresentaram média de 1,34 g/cm³ (Tabela 6). É de se esperar que a densidade aparente do solo seja maior em áreas cujo maquinário agrícola é constante, essa afirmação refletiu os dados médios apresentados na CNM. Todavia, há que se ressaltar que durante os trabalhos de campo foi frequente nos depararmos com áreas ao qual o emprego do fogo era realizado, mas a colheita estava sendo realizada de forma mecanizada (Figura 6).

Figura 6: Corte mecanizado em áreas de cana-de-açúcar queimada



Autora: ROSENDO, J. S.

Fonte: Trabalho de campo (2015)

Tabela 6: Média da densidade (Ds) das amostras de cana-de-açúcar mecanizada (CNM) e queimada (CNQ)

| Amostra | Média da Ds (g/cm ³) | Amostra | Média da Ds (g/cm ³) |
|---------|----------------------------------|---------|----------------------------------|
| CNM01 | 1,23 | CNQ01 | 1,30 |
| CNM02 | 1,18 | CNQ02 | 1,21 |
| CNM03 | 1,65 | CNQ03 | 1,24 |
| CNM04 | 1,36 | CNQ04 | 1,18 |
| CNM05 | 1,35 | CNQ05 | 1,12 |
| CNM06 | 1,27 | CNQ06 | 1,26 |
| CNM07 | 1,36 | CNQ07 | 1,23 |
| CNM08 | 1,15 | CNQ08 | 1,15 |
| CNM09 | 1,53 | CNQ09 | 1,27 |
| CNM10 | 1,26 | CNQ10 | 1,31 |
| CNM11 | 1,33 | CNQ11 | 1,53 |
| CNM12 | 1,61 | CNQ12 | 1,55 |
| CNM13 | 1,52 | CNQ13 | 1,28 |
| CNM14 | 1,38 | CNQ14 | 1,37 |
| CNM15 | 1,37 | CNQ15 | 1,28 |
| CNM16 | 1,42 | CNQ16 | 1,32 |
| CNM17 | 1,39 | CNQ17 | 1,44 |
| CNM18 | 1,58 | CNQ18 | 1,58 |
| CNM19 | 1,62 | CNQ19 | 1,61 |
| CNM20 | 1,53 | CNQ20 | 1,64 |
| Média | 1,40 | Média | 1,34 |

Fonte: Análises de solos

Org.: ROSENDO, 2017.

3.2.3 Estoque de C das áreas cultivadas com cana-de-açúcar

O estoque de C para os solos cultivados com cana-de-açúcar mecanizada (CNM) obteve média de 73,05 Mg C.ha⁻¹. A amostra CNM02 foi a que alcançou o maior estoque de C dentre as demais (109,75 Mg C.ha⁻¹), as amostras CNM04, CNM06, CNM10 e CNM15 ultrapassaram os 80 Mg C.ha⁻¹ (Tabela 7 e Figura 7) enquanto a menor estimativa foi observada na amostra CNM 20 (53,22 Mg C.ha⁻¹).

Tabela 7: Estoque de C (Mg C.ha⁻¹) para as amostras de solo coletadas em áreas sob cana-de-açúcar mecanizada (CNM)

| Amostra | Profundidade (cm) | Ds* (g/cm ³) | Teor de C (%) | Estoque de C (Mg C.ha ⁻¹) | Total (Mg C.ha ⁻¹) | Amostra | Profundidade (cm) | Ds* (g/cm ³) | Teor de C (%) | Estoque de C (Mg C.ha ⁻¹) | Total (Mg C.ha ⁻¹) |
|---------|-------------------|--------------------------|---------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------|-------------------|--------------------------|---------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| CNM01 | 0-5 | 1,13 | 2,4 | 13,45 | 78,17 | CNM11 | 0-5 | 1,32 | 1,7 | 11,56 | 70,72 |
| | 5-10 | 1,29 | 2,1 | 13,73 | | | 5-10 | 1,31 | 1,8 | 12,02 | |
| | 10-20 | 1,22 | 2,1 | 25,10 | | | 10-20 | 1,33 | 1,8 | 24,32 | |
| | 20-30 | 1,27 | 2,0 | 25,89 | | | 20-30 | 1,37 | 1,7 | 22,82 | |
| CNM02 | 0-5 | 1,17 | 3,5 | 20,60 | 109,76 | CNM12 | 0-5 | 1,64 | 1,8 | 14,99 | 70,71 |
| | 5-10 | 1,20 | 2,9 | 17,49 | | | 5-10 | 1,60 | 1,5 | 11,98 | |
| | 10-20 | 1,18 | 3,2 | 38,07 | | | 10-20 | 1,61 | 1,4 | 22,91 | |
| | 20-30 | 1,16 | 2,9 | 33,60 | | | 20-30 | 1,59 | 1,3 | 20,83 | |
| CNM03 | 0-5 | 1,47 | 1,5 | 11,36 | 58,65 | CNM13 | 0-5 | 1,40 | 1,9 | 13,66 | 59,15 |
| | 5-10 | 1,67 | 1,2 | 10,37 | | | 5-10 | 1,55 | 1,3 | 9,94 | |
| | 10-20 | 1,72 | 1,2 | 20,59 | | | 10-20 | 1,54 | 1,2 | 17,90 | |
| | 20-30 | 1,72 | 0,9 | 16,33 | | | 20-30 | 1,57 | 1,1 | 17,65 | |
| CNM04 | 0-5 | 1,18 | 2,8 | 16,35 | 85,33 | CNM14 | 0-5 | 1,47 | 2,4 | 17,45 | 78,71 |
| | 5-10 | 1,32 | 2,7 | 18,07 | | | 5-10 | 1,38 | 2,1 | 14,31 | |
| | 10-20 | 1,45 | 1,9 | 27,76 | | | 10-20 | 1,33 | 1,7 | 22,88 | |
| | 20-30 | 1,46 | 1,6 | 23,14 | | | 20-30 | 1,32 | 1,8 | 24,07 | |
| CNM05 | 0-5 | 1,38 | 2,0 | 13,75 | 71,70 | CNM15 | 0-5 | 1,39 | 2,3 | 15,76 | 80,53 |
| | 5-10 | 1,32 | 1,8 | 11,57 | | | 5-10 | 1,36 | 2,0 | 13,45 | |
| | 10-20 | 1,37 | 1,7 | 23,15 | | | 10-20 | 1,41 | 1,9 | 27,00 | |
| | 20-30 | 1,32 | 1,8 | 23,22 | | | 20-30 | 1,34 | 1,8 | 24,31 | |
| CNM06 | 0-5 | 1,23 | 2,4 | 14,71 | 86,88 | CNM16 | 0-5 | 1,36 | 2,0 | 13,84 | 67,51 |
| | 5-10 | 1,30 | 2,4 | 15,68 | | | 5-10 | 1,48 | 1,6 | 11,52 | |
| | 10-20 | 1,29 | 2,2 | 28,95 | | | 10-20 | 1,40 | 1,3 | 18,83 | |
| | 20-30 | 1,26 | 2,2 | 27,54 | | | 20-30 | 1,43 | 1,6 | 23,32 | |
| CNM07 | 0-5 | 1,42 | 2,0 | 14,04 | 77,32 | CNM17 | 0-5 | 1,32 | 1,3 | 8,53 | 57,63 |
| | 5-10 | 1,40 | 2,0 | 13,69 | | | 5-10 | 1,53 | 1,3 | 9,83 | |
| | 10-20 | 1,32 | 2,0 | 25,91 | | | 10-20 | 1,34 | 1,5 | 20,19 | |
| | 20-30 | 1,30 | 1,8 | 23,67 | | | 20-30 | 1,36 | 1,4 | 19,09 | |
| CNM08 | 0-5 | 1,20 | 2,45 | 14,76 | 75,97 | CNM18 | 0-5 | 1,57 | 1,4 | 11,00 | 55,15 |
| | 5-10 | 1,08 | 2,52 | 13,65 | | | 5-10 | 1,58 | 1,1 | 8,85 | |
| | 10-20 | 1,21 | 2,06 | 24,83 | | | 10-20 | 1,61 | 1,2 | 18,69 | |
| | 20-30 | 1,10 | 2,06 | 22,73 | | | 20-30 | 1,56 | 1,1 | 16,60 | |
| CNM09 | 0-5 | 1,48 | 1,9 | 14,38 | 73,30 | CNM19 | 0-5 | 1,49 | 1,4 | 10,42 | 66,24 |
| | 5-10 | 1,52 | 1,6 | 12,03 | | | 5-10 | 1,73 | 1,4 | 11,91 | |
| | 10-20 | 1,56 | 1,6 | 24,99 | | | 10-20 | 1,67 | 1,5 | 24,70 | |
| | 20-30 | 1,57 | 1,4 | 21,90 | | | 20-30 | 1,60 | 1,2 | 19,21 | |
| CNM10 | 0-5 | 1,33 | 2,5 | 16,73 | 84,44 | CNM20 | 0-5 | 1,46 | 1,4 | 10,15 | 53,22 |
| | 5-10 | 1,30 | 2,2 | 14,57 | | | 5-10 | 1,51 | 1,2 | 8,87 | |
| | 10-20 | 1,25 | 2,2 | 27,55 | | | 10-20 | 1,58 | 1,2 | 19,43 | |
| | 20-30 | 1,16 | 2,2 | 25,58 | | | 20-30 | 1,55 | 1,0 | 14,77 | |

Média (MgC/ha) 73,05

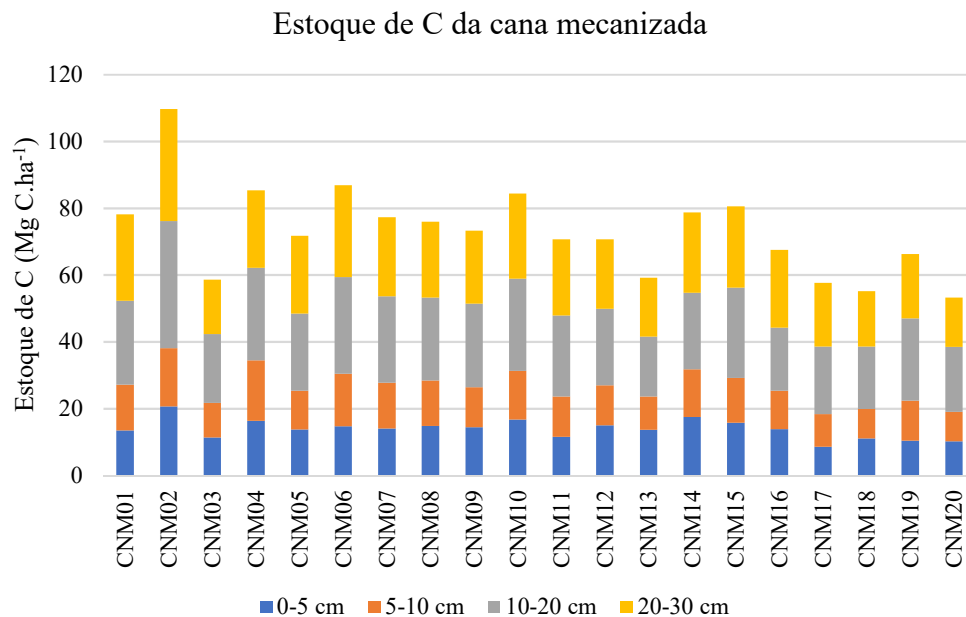
Desvio Padrão 13,38

*DS: Densidade aparente

Fonte: Análises de solos

Org.: ROSENDO, 2017.

Figura 7: Estoque de C ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$) para as amostras de solo coletadas em áreas sob cana-de-açúcar mecanizada (CNM)



O estoque de C médio para as áreas cultivadas com cana de açúcar queimada (CNQ) alcançou dado médio de $69,91 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabela 8 e Figura 8), quando se analisam as amostras individualmente verifica-se que a CNQ7 obteve estoque de C muito alto ultrapassando os $105 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$. Em contrapartida, a CNQ19 apresentou a menor estimativa ($15,37 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$), essas diferenças fizeram com que o desvio padrão da CNQ (23,67) fosse muito maior que o da CNM (13,38).

Tabela 8: Estoque de C ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$) para as amostras de solo coletadas em áreas sob cana-de-açúcar queimada (CNQ)

| Amostra | Profundidade (cm) | Ds* ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) | Teor de C (%) | Estoque de C ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$) | Total ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$) | Amostra | Profundidade (cm) | Ds* ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) | Teor de C (%) | Estoque de C ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$) | Total ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$) |
|---------|-------------------|---------------------------------------|---------------|---|--|---------|-------------------|---------------------------------------|---------------|---|--|
| CNQ01 | 0-5 | 1,24 | 2,85 | 17,67 | 65,17 | CNQ11 | 0-5 | 1,48 | 2,42 | 17,87 | 68,40 |
| | 5-10 | 1,34 | 2,09 | 13,96 | | | 5-10 | 1,60 | 1,49 | 11,91 | |
| | 10-20 | 1,31 | 1,47 | 19,23 | | | 10-20 | 1,58 | 1,46 | 23,20 | |
| | 20-30 | 1,22 | 1,18 | 14,31 | | | 20-30 | 1,47 | 1,05 | 15,42 | |
| CNQ02 | 0-5 | 1,26 | 2,24 | 14,03 | 66,87 | CNQ12 | 0-5 | 1,56 | 2,03 | 15,81 | 73,76 |
| | 5-10 | 1,25 | 1,82 | 11,38 | | | 5-10 | 1,59 | 1,43 | 11,36 | |
| | 10-20 | 1,17 | 1,88 | 21,99 | | | 10-20 | 1,53 | 1,79 | 27,28 | |
| | 20-30 | 1,15 | 1,69 | 19,47 | | | 20-30 | 1,54 | 1,26 | 19,31 | |
| CNQ03 | 0-5 | 1,18 | 2,37 | 14,02 | 71,69 | CNQ13 | 0-5 | 1,33 | 2,58 | 17,07 | 84,93 |
| | 5-10 | 1,29 | 2,13 | 13,73 | | | 5-10 | 1,21 | 3,02 | 18,23 | |
| | 10-20 | 1,23 | 1,86 | 22,99 | | | 10-20 | 1,29 | 1,98 | 25,43 | |
| | 20-30 | 1,23 | 1,70 | 20,95 | | | 20-30 | 1,31 | 1,85 | 24,20 | |
| CNQ04 | 0-5 | 1,19 | 2,62 | 15,67 | 78,30 | CNQ14 | 0-5 | 1,24 | 2,56 | 15,88 | 75,32 |
| | 5-10 | 1,26 | 2,43 | 15,34 | | | 5-10 | 1,24 | 2,47 | 15,29 | |
| | 10-20 | 1,18 | 2,16 | 25,45 | | | 10-20 | 1,45 | 1,72 | 24,92 | |
| | 20-30 | 1,18 | 1,85 | 21,83 | | | 20-30 | 1,37 | 1,40 | 19,22 | |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|------|------|-------|--------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| CNQ05 | 0-5 | 1,16 | 2,69 | 15,56 | 72,01 | CNQ15 | 0-5 | 1,36 | 2,17 | 14,75 | 76,88 |
| | 5-10 | 1,12 | 2,17 | 12,16 | | | 5-10 | 1,28 | 2,15 | 13,79 | |
| | 10-20 | 1,11 | 2,10 | 23,21 | | | 10-20 | 1,20 | 2,13 | 25,45 | |
| | 20-30 | 1,08 | 1,95 | 21,08 | | | 20-30 | 1,28 | 1,79 | 22,88 | |
| CNQ06 | 0-5 | 1,21 | 3,12 | 18,88 | 83,29 | CNQ16 | 0-5 | 1,25 | 2,38 | 14,83 | 84,63 |
| | 5-10 | 1,33 | 2,10 | 13,97 | | | 5-10 | 1,37 | 2,28 | 15,67 | |
| | 10-20 | 1,29 | 2,03 | 26,09 | | | 10-20 | 1,30 | 2,12 | 27,60 | |
| | 20-30 | 1,21 | 2,01 | 24,35 | | | 20-30 | 1,35 | 1,96 | 26,53 | |
| CNQ07 | 0-5 | 1,00 | 5,91 | 29,51 | 105,17 | CNQ17 | 0-5 | 1,44 | 2,03 | 14,68 | 83,25 |
| | 5-10 | 1,29 | 4,38 | 28,20 | | | 5-10 | 1,48 | 1,91 | 14,18 | |
| | 10-20 | 1,36 | 2,06 | 28,10 | | | 10-20 | 1,41 | 1,95 | 27,43 | |
| | 20-30 | 1,26 | 1,53 | 19,36 | | | 20-30 | 1,44 | 1,87 | 26,96 | |
| CNQ08 | 0-5 | 1,13 | 3,28 | 18,55 | 90,82 | CNQ18 | 0-5 | 1,56 | 0,85 | 6,62 | 23,19 |
| | 5-10 | 1,16 | 2,95 | 17,10 | | | 5-10 | 1,59 | 0,64 | 5,13 | |
| | 10-20 | 1,17 | 2,52 | 29,44 | | | 10-20 | 1,51 | 0,42 | 6,35 | |
| | 20-30 | 1,13 | 2,29 | 25,73 | | | 20-30 | 1,65 | 0,31 | 5,09 | |
| CNQ09 | 0-5 | 1,31 | 2,72 | 17,84 | 88,95 | CNQ19 | 0-5 | 1,56 | 0,45 | 3,51 | 15,37 |
| | 5-10 | 1,26 | 2,42 | 15,26 | | | 5-10 | 1,63 | 0,26 | 2,10 | |
| | 10-20 | 1,29 | 2,24 | 28,88 | | | 10-20 | 1,64 | 0,11 | 1,85 | |
| | 20-30 | 1,23 | 2,19 | 26,96 | | | 20-30 | 1,60 | 0,49 | 7,91 | |
| CNQ10 | 0-5 | 1,28 | 2,29 | 14,70 | 69,66 | CNQ20 | 0-5 | 1,58 | 0,64 | 5,04 | 20,52 |
| | 5-10 | 1,33 | 1,88 | 12,53 | | | 5-10 | 1,72 | 0,41 | 3,50 | |
| | 10-20 | 1,28 | 1,57 | 20,16 | | | 10-20 | 1,65 | 0,37 | 6,16 | |
| | 20-30 | 1,32 | 1,68 | 22,27 | | | 20-30 | 1,62 | 0,36 | 5,82 | |

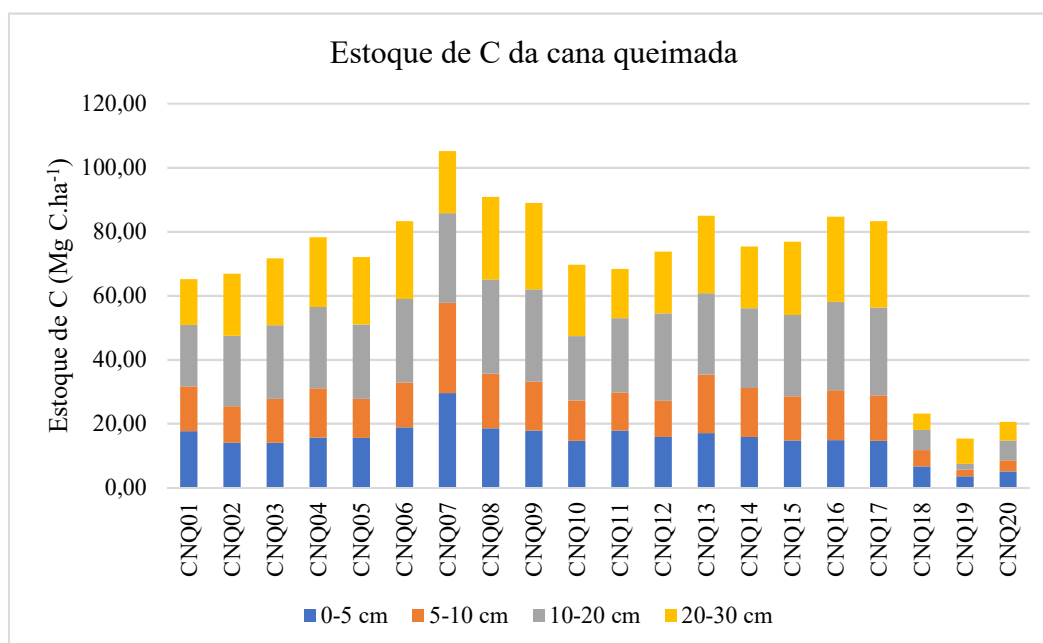
Média (MgC/ha) 69,91
Desvio Padrão 23,67

*DS: Densidade aparente

Fonte: Análises de solos

Org.: ROSENDO, 2017.

Figura 8: Estoque de C (Mg C.ha⁻¹) para as amostras de solo coletadas em áreas sob cana-de-açúcar queimada (CNQ)



O índice de correlação do estoque de C em relação aos parâmetros físicos (Tabela 9) apontaram relação inversamente proporcional à densidade para os dois modos de manejo, sendo -0,71 (CNM) e -0,72 (CNQ), ou seja, à medida que ocorre o aumento no estoque de C, a densidade diminui. A título

de informação, menciona-se que o coeficiente de correlação (r) mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados entre -1,0 e 1,0 inclusive, que reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados.

Tabela 9: Índice de correlação do estoque de C aos atributos físicos do solo cultivado sob cana-de-açúcar

| | Densidade | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila |
|-----|-----------|--------------|------------|-------|--------|
| CNM | -0,71 | -0,59 | -0,52 | 0,73 | 0,39 |
| CNQ | -0,72 | -0,57 | -0,57 | 0,44 | 0,58 |

Fonte: Análises de solos
Org.: ROSENDO, 2017.

Quanto à argila, considerada um dos fatores que auxiliam na proteção da matéria orgânica do solo, o índice de correlação foi moderado e positivo para a CNM (0,39) o que demonstra que esse parâmetro não foi o mais relevante na manutenção do C no solo, o que pode ser explicado pelo incremento da matéria orgânica proveniente da decomposição da palhada. Por outro lado, o índice de correlação relativamente superior nos dados da CNQ (0,58) demonstra que a argila pode ter exercido influência na preservação do C no solo, podendo explicar os altos valores de estoque de C observados nas áreas de CNQ.

Diante do exposto, é importante destacar que 40% das amostras de CNQ estão inseridas na classe textural argilosa e 5% muito argilosa, ao passo que para a CNM apenas 15% das amostras são argilosas, 15% argilo arenosas e 10 argilo siltosas.

Para calcular o Δ Estoque de C (Tabela 10), avalia-se a média do estoque de C calculado para os diferentes sistemas de manejo (CNQ e CNM) em comparação com a vegetação natural de Cerrado (CER). Em pesquisa anterior, financiada pela FAPEMIG, esta pesquisadora calculou o estoque de C das áreas ocupadas com vegetação natural de Cerrado (55,83 Mg C.ha⁻¹) no TMAP que por ser considerada vegetação de referência permite concluir que a CNM estocou 17,22 Mg C.ha⁻¹ a mais que o Cerrado (30,84%), ao passo que a CNQ estocou 14,08 Mg C.ha⁻¹ (25,21%).

Tabela 10: Δ Estoque de C (Mg C.ha⁻¹) da vegetação natural de Cerrado (CE), Pastagem Melhorada (PM), Pastagem Degradada (PD), Cultura Anual (CA) e Cana-de-açúcar (CN)

| Usos | Estoque médio de C (Mg C.ha ⁻¹) | Δ Estoque de C (Mg C.ha ⁻¹) |
|------|---|--|
| CER | 55,83 | |
| CNM | 73,05 | 17,22 |
| CNQ | 69,91 | 14,08 |

Fonte: Análises de solos
Org.: ROSENDO, 2017

Fica evidente que o cultivo da cana-de-açúcar, independentemente do sistema de manejo, estocou mais C no solo que a vegetação natural de Cerrado. Os dados apresentados reforçam a necessidade de políticas públicas para incentivar as boas práticas agrícolas, pois mesmo estocando mais C no solo que o CER a CNQ apresentou dados inferiores a CNM.

Para o mapeamento do estoque do C no TMAP foram utilizados os dados vetoriais da CNM e CNQ (no formato *shapefile*) multiplicados pelo estoque de C de ambos os sistemas de manejo, tomando-se como base as seguintes classes (Figura 9):

- Até 70,00 Mg C.ha⁻¹ (relativa a CNQ);
- Acima de 70,01 Mg C.ha⁻¹ (referente a CNM).

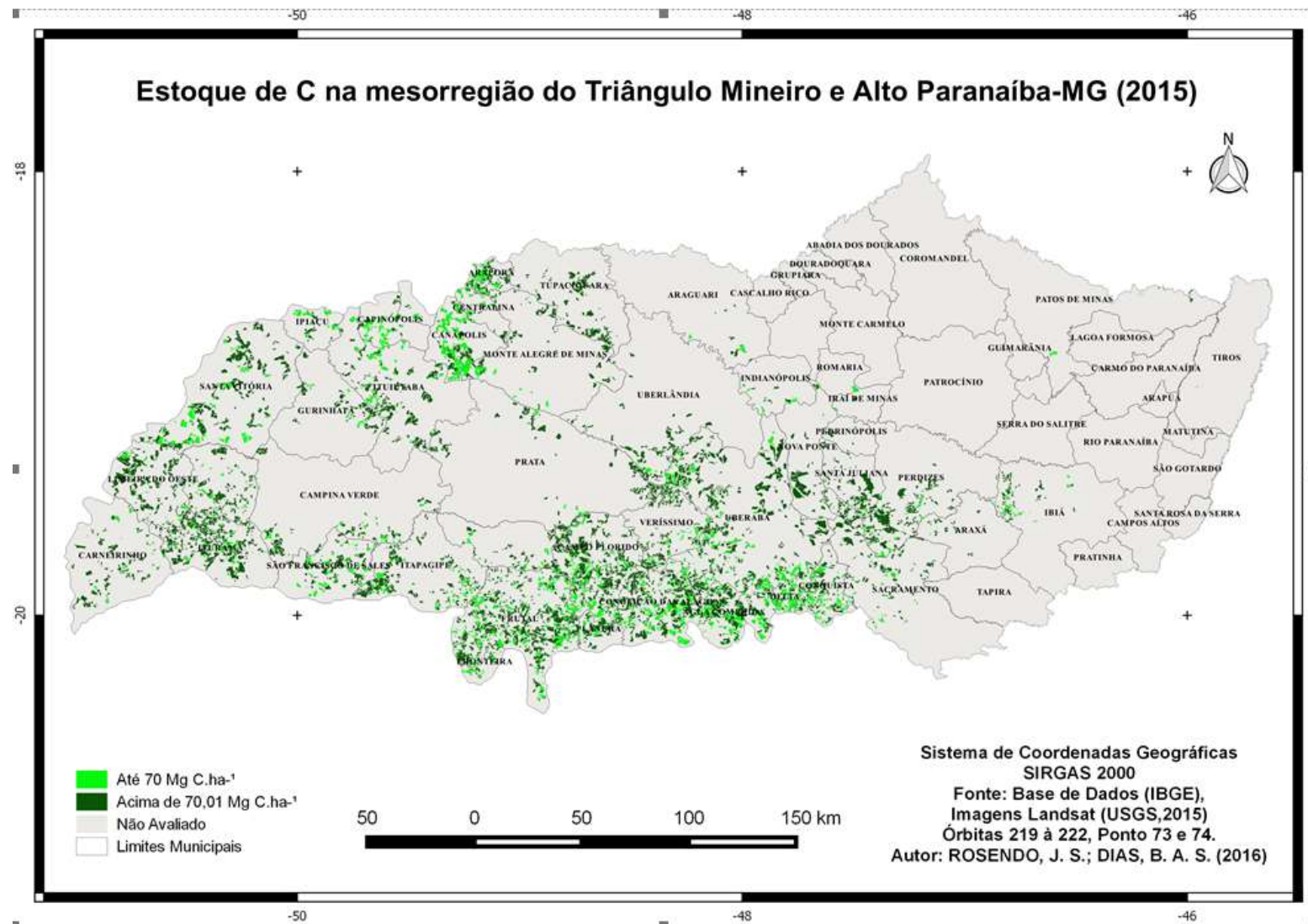
Se levarmos em consideração os resultados apresentados na Tabela 11, podemos inferir que em 2015, o estoque de C nos solos cultivados com cana-de-açúcar na Mesorregião totalizou 41,6 Tg de C. Esses dados não podem ser desconsiderados quando se pensa em políticas de mitigação dos efeitos das possíveis mudanças climáticas.

Tabela 11: Estimativa do estoque de C no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (2015) para a cana mecanizada (CNM) e cana queimada (CNQ)

| Sistemas de manejo | 2015 | | |
|--------------------|---------------|---|-------------------|
| | Área (ha) | Estoque médio de C (Mg C.ha ⁻¹) | Estoque de C (Tg) |
| CNM | 516.251 | 73,05 | 38 |
| CNQ | 51.317 | 69,91 | 3,6 |
| Total | 142,96 | - | 41,6 |

Fonte: Mapeamento dessa pesquisa (2015).
Org.: ROSENDO, 2017

Figura 9: Mapeamento do estoque de C no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (2015)



Atualmente, o Brasil tem investido na adoção de práticas de manejo capazes de armazenar o C no solo, com base nisso é possível citar o Programa do Governo Federal “Agricultura de Baixo Carbono-ABC” que financia práticas e tecnologias adequadas e também sistemas produtivos eficientes que contribuem para a redução dos gases causadores do efeito estufa. Dentre elas, é possível citar o plantio direto na palha, a integração lavoura-pecuária-floresta, a recuperação de pastos degradados, o plantio de florestas, a fixação biológica de nitrogênio e o tratamento de resíduos animais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises permitiram concluir que a cana-de-açúcar mecanizada (CNM) apresentou média do estoque de C superior ($73,05 \text{ Mg C.ha}^{-1}$) à cana queimada (CNQ) ($69,91 \text{ Mg C.ha}^{-1}$). Embora os resultados estejam de acordo com a literatura científica, chama a atenção a pouca diferença entre eles ($3,14 \text{ Mg C.ha}^{-1}$). Associamos a isso, o fato dos solos das áreas com CNQ serem mais argilosos que os da CNM.

Com base no exposto, foi evidenciado que a textura argilosa do solo pode ser considerada como fator determinante para dificultar as perdas de C. Dessa forma, quando se associam as variáveis físicas (teores de argila, areia, silt e granulometria) ao estoque de C, observa-se o índice de correlação positivo com a argila os dois sistemas de manejo avaliados, em especial cana queimada com 0,58. Inversamente proporcional é o índice de correlação entre o estoque de C e os teores de areia, por exemplo, o que indica que quanto maiores os teores de areia menor o estoque de C.

Sabendo-se da importância dos teores de argila na proteção da matéria orgânica do solo e na preservação do C do mesmo, pode-se associar que os baixos teores encontrados no CE são decorrência de solos menos argilosos. Chamamos a atenção para o fato de que as amostras de CE coletadas foram as que apresentavam topografia plana, elevado grau de preservação e pouca intervenção antrópica (reservas), desse modo, não se avaliou o CE das matas de galerias, nem das áreas com declividade mais acentuada e nos topos de morros, o que poderiam resultar dados diferentes dos identificados.

A metodologia empregada foi satisfatória para cumprimento dos objetivos propostos. No que diz respeito ao mapeamento, foi possível identificar as áreas ocupadas com a cana-de-açúcar de forma que os dados estimados se aproximam daqueles divulgados por órgãos oficiais como IBGE e MAPA. No que diz respeito à classificação dos modos de colheita, as imagens de satélite e as técnicas de

geoprocessamento utilizadas conferiram a qualidade necessária aos resultados alcançados, sendo viável sua aplicação.

Com o desenvolvimento desta pesquisa foi possível responder as questões acerca do estoque de C nos diferentes modos de colheita da cana-de-açúcar no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, sendo considerada fronteira agrícola da produção canavieira, também concentra a maior produção do estado de Minas Gerais.

5. REFERÊNCIAS

CANASAT. **Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra**. Aquisição de dados da expansão da cana-de-açúcar em Minas Gerais. Disponível em: <<http://150.163.3.3/canasat/index.php>>. Acesso em: 25 mar 2016.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; LAL, R. Challenges and Opportunities of Soil Carbon Sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. Haworth Press, 2006a, p. 41-48

CERRI, C. C.; BERNOUX, M. CARVALHO, M. C, S.; VOLKOFF, B. **Emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem**. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência. MCT, 2006, 49 p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0004/4199.pdf>. Acesso em: 17 abr 2013.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. **Agricultura e Aquecimento Global**. 2007, 9 p. Disponível em: http://www.aquecimento.cnpem.br/bibliografia/agr_e_aquec_Cerri_2007.pdf. Acesso em: 07 ago 2013.

CRASWELL, E. T.; LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 61: 7–18, 2001. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/t203210751r42058/>. Acesso: 29 mar 2014.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. **Documentos 12. Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo de carbono**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 17p. Disponível em <<http://www.cnpdia.embrapa.br/publicacoes.html>>. Acesso em: 25 mai 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sequestro de Carbono em Solos Sob Sistemas Agropecuários Produtivos**. Embrapa Agrobiologia. Seropédica, RJ, 2004, 2p. Equipe do projeto BODDEY, R.; ALVES, B. J. R., URQUIAGA, S. S. Disponível em: < http://www.cnpab.embrapa.br/pesquisas/folders/folder_sequestro_carbono.pdf> Acesso em: 27 jul 2015.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Review of Evidence on Drylands Pastoral Systems and Climate Change: Implications and Opportunities for Mitigation and Adaptation**. Roma, 2009. Disponível em: < <http://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1135e/i1135e00.pdf>>. Acesso em janeiro de 2013.

FOLLETT, R. F. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil & Tillage Research**, 61 (2001), 77-92.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Dados da produção canavieira. Disponível em: <www.ibge.org.br>. Acesso em: 23 abr 2016.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Aquisição de imagens de satélite MSS/Landsat2 e TM/Landsat5. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 15 ago 2016.

IPCC. 2007. **Cambio Climático 2007: Mitigación del Cambio Climático**. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Resumen Técnico. Disponível em: < http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm>. Acesso em 8 jul 2014.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. Haworth Press, 2006, 49-64.

LIMA, M. A.; BOEIRA, R. C.; CASTRO, V. L. S. S.; LIGO, M. A. V.; CABRAL, O. M. R.; VIEIRA, R. F.; LUIZ, A. J. B. Estimativa das Emissões de Gases de Efeito Estufa Provenientes de Atividades Agrícolas no Brasil. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira**. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2001, p. 169-189. p.193.

MACEDO, I. C. Mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa: Uso dos resíduos da Cana-de-açúcar como Fonte de Energia: Situação Atual, Tecnologias, Legislação e Cenários. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira**. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2001, 191-212

MACHADO, P. L. O. Carbono do solo e a mitigação climática global. **Química Nova**, vol. 28, número 2, p 329-334, 2013.

MCT. **Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal. Comunicação Inicial do Brasil**. p. 81-162, Sem Data (SD). Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0004/4199.pdf. Acesso em: 05 ago 2008.

MIELNICZUCK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANNELAS, L. P.; CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Ecossistemas Tropicais e Subtropicais. 2ª Ed. Metrópole, Porto Alegre, 2008, p. 1-4.

PARKER, J. A.; KENYON, R. V.; TROXEL, D. E. Comparison of interpolating methods for image resampling. **IEEE Transactions on Medicam Imaging**, v. MI-2, n. 1, p. 31–39, 1983.

POST, W. M.; KWON, K. C. Soil carbon sequestration and land-use change: process and potential. **Global Change Biology** (2000) 6, 317-327.

ROSENDO, J. S. **Estoque de carbono nos solos da bacia do Rio Araguari-MG: estimativas, modelagem e cenários**. 311 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2010.

RUDORFF B. F. T., AGUIAR D. A., SILVA W. F., SUGAWARA L. M., ADAMI M., MOREIRA M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, 2(4), p. 1057-1076, 2010. doi: <10.3390/rs2041057>.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G.; BEZERRA, H. S. Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens Landsat ETM+. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**. 04, 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1199-1206. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.11.19.46/doc/1199-1206.pdf>>. Acesso em: 24 fev 2010.

SANTOS, J. C. dos. A territorialização da agroindústria canavieira no Triângulo Mineiro e os (re)arranjos espaciais na microrregião geográfica de Ituiutaba -MG. In: PORTUGUEZ, A. P.; MOURA, G. G.; COSTA, R. A. (Org). **Geografia do Brasil Central: enfoques teóricos e particularidades regionais**. Uberlândia: Assis Editora, 2011. Cap13, p. 265-282.

SEGNINI, A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D. M. B. P.; SILVA, W. T. L. da.; BOLONHEZI, D.; CERDEIRA, A. L. **Uso de métodos espectroscópicos para avaliar o sequestro de carbono em área de rotação de culturas cana-de-açúcar / amendoim sob diferentes sistemas de plantio**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 5 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, 62). Disponível em <<http://www.cnpdia.embrapa.br/publicacoes.html>>. Acesso: 28, nov., 2015.

SINGH, B. R.; LAL, R. The potential of soil carbon sequestration through improves management practices in Norway. **Environment, Development and Sustainability** (2005) 7:161–184.

TRUMBORE, S. E.; TORN, M. S. Soils and the Global Carbon Cycle. In: **Soils and Global Change**, EA Holland, ed. NATO Advanced Study Institute; LBNL-44910, 2003, p. 1-34.

UNICA. **União da Indústria de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

VENABLES, W.N.; SMITH, D.M.; R Development Core Team. **An Introduction to R - Notes on R: a programming environment for data analysis and graphics**. Version 3.3.1 (2016-06-21). Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 18 ago. 2016.

ZANZARINI, R. M.; SANTOS, R. J. A expansão da cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. In: **Anais 12 Encontro de Geógrafos da América Latina (EGAL)**. 3-7 de abril de 2009. Disponível em: <http://egal2009.easyplanners.info/area06/6294_Zanzarini_Ronaldo_Milani.pdf>. Acesso em: 30 mar 2010