UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE UNB PLANALTINA

FÁBIO LUÍS DE SOUZA SANTOS

TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E ASPECTOS BIOFÍSICOS DA COBERTURA VEGETAL DA BACIA DO CÓRREGO SARANDI, PLANALTINA-DF

PLANALTINA-DF, 2013

FÁBIO LUÍS DE SOUZA SANTOS

TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E ASPECTOS BIOFÍSICOS DA COBERTURA VEGETAL DA BACIA DO CÓRREGO SARANDI, PLANALTINA-DF

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Orientador: Gabriela Bielefeld Nardoto

Planaltina – DF

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Fábio

Teor de carbono orgânico do solo e aspectos biofísicos da cobertura vegetal da bacia do córrego Sarandi, Planaltina-DF / Fábio Luís de Souza Santos. Planaltina - DF, 2013. 49 f.

Monografia - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.
Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.
Orientador: Gabriela Bielefeld Nardoto

Gabriela Bielefeld Nardoto
1. Cerrado. 2. Manejo de ecossistemas. 3. Uso da terra. 4. Índices de vegetação.
I. Santos, Fábio Luís de Souza. II. Título.

FÁBIO LUÍS DE SOUZA SANTOS

TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E ASPECTOS BIOFÍSICOS DA COBERTURA VEGETAL DA BACIA DO CÓRREGO SARANDI, PLANALTINA-DF

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

Planaltina-DF, 25 de julho de 2013.

Profa. Dra. Gabriela Bielefeld Nardoto – UnB/FUP

Dra. Adriana Reatto dos Santos Braga – Embrapa Cerrados
(Examinadora Externa)

Dra. Arminda Moreira de Carvalho – Embrapa Cerrados
(Examinadora Externa)

À minha mãe, Antonia, que sempre dedicou sua vida
por mim,

Aos meus irmãos, Gustavo e Caroline, pelo apoio
em todos os momentos,

E ao meu pai, Antonio, que deve estar orgulhoso,
onde quer que esteja.

À melhor família que alguém poderia ter, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, pelo amor e por todas as oportunidades que me fizeram chegar até aqui. Por estar comigo em todos os momentos, sou grato.

A toda minha família, especialmente à minha mãe e aos meus irmãos pelo incentivo, a paciência, o apoio e pelo amor incondicional que têm para comigo. Não seria nada se vocês não existissem em minha vida. Muito obrigado por tudo.

A minha orientadora Dra. Gabriela Nardoto por aceitar o desafio de me orientar, pela amizade, pela confiança, pelos conselhos, ensinamentos e pela tamanha dedicação a este trabalho.

Aos professores da Gestão Ambiental, especialmente ao Dr. Antonio Felipe que tanto contribuiu para a realização deste trabalho, pela amizade, as dicas e por todas as oportunidades que me proporcionou.

Aos companheiros da turma dois de Gestão Ambiental, da qual me orgulho bastante, especialmente aos meus amigos João Paulo, Adriana, Layra e Martha. Também agradeço a Elivaldo, Weber, Kaio, Lauriane, Taiane, Edmo, Winnik, Wikler, Samara, Jhon, Amanda Nunes, Sabrina, Mabby, Vinícius Turra, Raphael, Amanda Zaia, Alexandre, Júlia, Winnie, Ângela,Arthur, Tiago, Jaciane, Loyane, Juliana, Layane e Isabel. Agradeço por todo companheirismo, diversão e aprendizado.

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto Geocerrado, da Embrapa Cerrados. Sou muito grato à Dra. Adriana Reatto, ao Dr. Éder Martins e à Dra. Marisa Prado pelos ensinamentos e pelo apoio que me deram no período em que estive com vocês. Aprendi muito em todos os aspectos, e muito do que consegui realizar devo a vocês. Também agradeço a todos os pesquisadores da Embrapa Cerrados que cederam suas áreas de experimento para as coletas que possibilitaram a execução deste trabalho. Muito obrigado.

Agradeço pela bolsa concedida pelo Projeto Biomas, trabalho realizadoem parceria entre a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil - CNA e a Embrapa Cerrados, que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos parceiros de Embrapa que tornaram essa jornada mais leve e divertida, especialmente ao Glauber, Fernanda, João, Alexandre, Tamiris, Lucas, Gabriel, Carol, Ian, Luiz, Luise, Inês, Josiel, Antonio, Douglas e Mariana.

Ao NEAT (Núcleo de Estudos em Ambientes Tropicais) que me fez aprender um pouco mais sobre o funcionamento da ciência e por todas as suas produções. É um grupo de pessoas incríveis, cujo me sinto orgulhoso de fazer parte.

A todos os parceiros de viagens, que me fizeram curtir os passeios de maneira tão divertida e intensa. Não deixaria de citar: João, Ray, Kisaka, Andréia, Glauber, Pryscila, Valquíria, Vanessa, Rafael, Débora, Felipe, Luane, Pedro, Júlia, Gustavo, Acácia e Hugo.

A todos que contribuíram de forma direta e intensa para que este trabalho fosse realizado, especialmente ao Antonio Felipe, João Paulo, Kisaka, Andréia, Glauber e Fernanda. Sou grato a todo pessoal dos laboratórios da Ecologia da UnB pela recepção e apoio, em especial à Dra. Regina e ao Msc. Gustavo Leite.

Agradeço aos professores que tive durante meu Ensino Fundamental e Médio, especialmente aos professores Pedro Emílio e Ivanildo, pela dedicação a essa profissão incrível e pelo incentivo a sempre tentar evoluir. Também sou grato aos outros amigos, que acumulei até aqui, seja nas escolas, nos estágios, no futebol, na igreja ou em outros locais. De uma forma ou de outra, todas contribuíram para que conseguisse chegar a este momento.

A todos que tiveram a paciência de ler tudo isso e aos que ajudaram de alguma maneira na elaboração deste trabalho. Obrigado a todos!

“Conhecereis a verdade e a verdade vos libertará.”

João 8:32 - Bíblia

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

“Se pude enxergar mais longe foi porque estava sobre os ombros de gigantes.”

Isaac Newton

“Sozinhos chegamos mais rápido, juntos chegamos mais longe.”

Rubinho Pirola

RESUMO

As mudanças no uso e cobertura da terra têm alterado a dinâmica de carbono nos ecossistemas e podem ser identificadas através do uso de geotecnologias aplicadas à análise da cobertura vegetal. No Cerrado, essas modificações ocorrem especialmente pelo avanço da agropecuária, influenciando diretamente os estoques de carbono, a produção primária e a decomposição da matéria orgânica do solo. Além disso, as diferentes classes de solo podem se comportar de maneiras distintas em relação a tais mudanças. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a relação entre o teor de carbono orgânico encontrado no solo e os aspectos biofísicos da cobertura vegetal referentes à bacia experimental do Sarandi em Planaltina-DF. Em todas as áreas estudadas os maiores valores de carbono orgânico no solo foram encontrados nos intervalos de profundidades superficiais (até 20 cm), decrescendo com a profundidade. A pastagem em uso apresentou uma maior concentração de carbono quando comparada com a pastagem degradada, superando inclusive os valores encontrados na Mata de Galeria entre 5 e 60 cm. Houve uma alta correlação entre os índices de vegetação utilizados (NDVI, SAVI e NDWI) com o carbono presente no solo. A análise de correlação múltipla possibilitou a geração de uma equação para estimar a concentração de carbono no solo da bacia do córrego Sarandi: C = -29,6474655 - 145,6187519*NDVI + 412,2212394*SAVI - 82,3615325*NDWI. Onde se obteve um R^2 = 0,76 e um R^2 ajustado = 0,70. Logo, essa relação pode servir de base para estimar o padrão da dinâmica de carbono no solo relacionando com o tipo de cobertura vegetal, bem como, com as classes de solos, além de subsidiar o manejo de ecossistemas.

Palavras-chave: Cerrado, manejo de ecossistemas, uso da terra, índices de vegetação.

ABSTRACT

Changes in land use and cover have been changing the dynamics of carbon in ecosystems and can be identified through the use of geotechnologies applied to plant coverage analysis. In the Cerrado, these changes are due to, especially, the agricultural advancement influencing directly carbon stocks, primary production and decomposition of soil organic matter. Moreover, the different soils can be affected by different ways in relation to such changes. In this context, the objective of this work was to evaluate the relation between the organic carbon found at soil and biophysical aspects of plant cover at the experimental Sarandi basin located at Planaltina - DF. Most of the differences on the percent carbon in the soil from different physiognomics were found at the interval of 0 to 20 cm depth. However, in all of the studied areas the larger values of carbon were found in this interval (0-20 cm), decreasing with depth. The pasture in use presented a larger carbon concentration when compared with degraded pasture overcoming the values found in the Mata de Galeria between 5 and 60 cm depth. There was a high correlation between the vegetation indexes used (NDVI, SAVI e NDWI) with percent of carbon in the soil. Therefore, as a result of multiple correlation analysis, it was possible to obtain an equation to estimate the soil carbon concentration of stream basin Sarandi: C = -29,6474655 - 145,6187519*NDVI + 412,2212394*SAVI - 82,3615325*NDWI, with a R^2 = 0,76 and an adjusted R^2= 0,70. In conclusion, this relation can be used as base to estimate the pattern of soil carbon dynamic related to vegetation coverage type but also to different soil classes, subsidizing ecosystem management.

Keywords: Cerrado, ecosystem management, land use, vegetation index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Detalhe da área da bacia experimental do Córrego do Sarandi (direita); sua posição relativa à América do Sul (superior esquerda) e ao Distrito Federal (inferior esquerda). 23

Figura 2: Localização dos pontos de coleta, inseridas no limite da bacia do córrego Sarandi. CsrLV: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em LV; PstGM: Pastagem sobre Gleissolo; MG: Mata de galeria. 24

Figura 3: Concentração de carbono por intervalo de profundidade até 100 cm, em diferentes fitofisionomias, localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi. CsrLV: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em Latossolo Vermelho; PstGM: Pastagem sobre Gleissolo; MG: Mata de galeria..... 30

Figura 4: Concentração de carbono por intervalo de profundidade até 100 cm em áreas nativas de diferentes fitofisionomias, localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi. CsrLV: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em Latossolo Vermelho; MG: Mata de galeria. 31

Figura 5: Concentração de carbono por intervalo de profundidade até 100 cm, em áreas de Latossolo Vermelho, localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi. CsrLV: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho. 32

Figura 6: Concentração de carbono por intervalo de profundidade até 100 cm, em áreas de Gleissolo Melânico, localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi. MG: Mata de galeria; PstGM: Pastagem sobre Gleissolo. 33

Figura 7: Mapas da bacia experimental do córrego Sarandi gerados através da composição colorida (superior esquerda) e dos Índices de Vegetação: NDVI (superior direita); SAVI (inferior esquerda); e NDWI (inferior direita). 35

Figura 8: Mapa gerado através dos valores estimados do percentual de carbono orgânico no solo até 100 cm de profundidade na bacia experimental do córrego Sarandi. 37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estoque de Carbono no solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado. 20

Tabela 2: Valores médios de Argila, Matéria Orgânica do Solo (MOS) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) nos intervalos de profundidade de até 100 cm, em diferentes fitofisionomias, localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi. 28

Tabela 3: Concentração de carbono no solo até 100 cm de profundidade em cada ponto de coleta, localizado na bacia experimental do córrego Sarandi, e seus respectivos valores de NDVI, SAVI e NDWI. 36

Tabela 4: Análise de regressão múltipla entre os índices de vegetação e o percentual de carbono orgânico do solo da bacia experimental do córrego Sarandi. 36

SUMÁRIO

1. Introdução 13

2. Objetivo 15

3. Referencial Teórico 16

3.1 Cerrado 16

3.2 Uso e cobertura da terra 17

3.3 Carbono no solo 19

3.4 Geotecnologia aplicada à análise da cobertura vegetal 20

4. Metodologia 22

4.1 Área de estudo 22

4.2 Coleta e análises do solo 24

4.3 Correção atmosférica do sensor Landsat 25

4.4 Índices de Vegetação 25

4.5 Análises estatísticas 26

5. Resultados 27

5.1 Aspectos físico-químicos do solo 27

5.2 Carbono orgânico no solo 29

5.3 Índices de Vegetação 34

6. Discussão 38

6.1 Aspectos físico-químicos do solo 38

6.2 Carbono orgânico no solo 38

6.3 Relação entre carbono no solo e os índices de vegetação 39

7. Conclusão 40

8. Considerações Finais 41

9. Referências 42

1. Introdução

O planeta passa um momento de grandes mudanças, após viver um período de certa estabilidade. Grande parte dessas mudanças ocorre devido às atividades humanas, especialmente após a Revolução Industrial, onde se iniciou uma dependência dos combustíveis fósseis, além de formas industrializadas de agricultura que visam sustentar a população humana que cresce exponencialmente. É possível que essas modificações atinjamum nível quepossa prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas que mantêma Terra (ROCKSTROM et al., 2009).

Atualmente, as alterações da dinâmica natural dos ecossistemas são bastante estudadas, especialmente em relação ao clima e ao uso da terra. O Brasil está em uma posição central nas decisões sobre o tema, já que possui uma das maiores biodiversidades do planeta, devido à sua extensão territorial, a grande variedade dos biomas, ecossistemas, flora e fauna e ao alto nível de endemismo (MMA, 2006). Três destes biomas, Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado, são considerados hotspots globais de biodiversidade (MYERS et al., 2000) que são regiões com alto nível de endemismo e rápida perda de habitats. Ao todo, 34 regiões ao redor do mundo são classificadas como hotspots de biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2005).

O Cerrado ocupa a porção central do país, abrange cerca de 2 milhões de km² e faz fronteiras com vários biomas, aumentando ainda mais sua importância para a conservação da biodiversidade do Brasil. O fato do Cerrado ser considerado um hotspot ocorre devido à taxa acelerada de desmatamento nas últimas décadas, à inserção de grandes culturas e ao uso intensivo de máquinas agrícolas, dentre outros motivos, o que faz com que esse bioma venha sofrendo grandes perdas de sua biodiversidade (BUSTAMANTE et al., 2011). Com isso, no Cerrado, há uma intensa modificação na dinâmica de uso e cobertura, em função do avanço da fronteira agrícola, especialmente na porção sul do bioma (SANO et al., 2009).

Para tentar identificar os maiores problemas e reduzir suas consequências, compreender as mudanças do uso e cobertura da terra é muito importante para as atividades de planejamento e tomada de decisões. A cobertura da terra está diretamente associada com os tipos de cobertura natural ou artificial, que pode ser identificada através do sensoriamento remoto, enquanto o uso requer uma interpretação das atividades realizadas na área, baseada na informação da cobertura (FILHO et al., 2007).

Segundo Machado et al.(2004), o bioma Cerrado tem 1,9% de sua área ocupada pela urbanização, 11,3% utilizada para fins agrícolas e 41,6% convertida em pastagens, o que totaliza 55% de sua área total transformada pela ação humana. Os outros 45% do bioma estão ocupados por cobertura natural, que se subdivide em três tipos fisionômicos: campestre, savânica e florestal (RIBEIRO & WALTER, 1998).

As modificações no uso e cobertura da terra influenciam a ciclagem de nutrientes, assim como o estoque de carbono (C) na biomassa aérea e na matéria orgânica do solo. A alteração do ciclo desse elemento que está presente nos meios aquático, terrestre e na atmosfera, pode intensificar os processos naturais que causam esse momento de instabilidade da Terra. As ações humanas têm acelerado o processo de mudança no clima, devido à crescente emissão de poluentes, como o CO_2 e CH_4 (MARENGO, 2007), gerada especialmente pela queima de combustíveis fósseis. De acordo com Fitzsimmons et al. (2003), depois da queima de carvão, petróleo e seus derivados, a mudança de uso da terra é a maior fonte de emissão de carbono antropogênico para a atmosfera.

O carbono é um dos elementos mais abundantesdo planeta, é essencial para os seres vivos, pois tem a capacidade de formar longas cadeias de átomos, que fazem as estruturas básicas dos compostos presentes nas células. Além disso, o carbono é fundamental para a realização da fotossíntese e, consequentemente, da produtividade primária. Porém, altas concentrações desse elemento na atmosfera geram um aumento no efeito estufa e cooperam para o eminente quadro de mudanças climáticas globais.

Toda modificação no ciclo natural do carbono interfere diretamente no funcionamento dos ecossistemas terrestres (NOBRE, 2001). Portanto, as mudanças no uso e cobertura da terra, afetam de maneira expressiva a dinâmica do ambiente, principalmente da matéria orgânica do solo que é fundamental no ciclo global do C, pois o solo constitui o maior reservatório desse elemento no ecossistema terrestreno planeta, compreendendo cerca de duas vezes a quantidade de C na atmosfera e na biomassa vegetal (BRUCE et al., 1999; SWIFT, 2001). A quantidade de C presente na camada até 100 cm em solos no mundo é próxima a 1500 petagramas (LAL, 2002).

No Cerrado, o carbono tende a se acumular nas camadas mais superficiais do solo, com maiores concentrações em áreas florestais e campestres (LARDY et al., 2002). As pastagens, quando submetidas a boas práticas de manejo são também capazes de promover a manutenção dos estoques de matéria orgânica no solo permitindo à estocagem de C no solo

superior ao observado sob um cerrado *sentido restrito* (ROSCOE et al., 2006). Por outro lado, quando a pastagem está degradada, tende a aumentar a perda de carbono por erosão e oxidação microbiana da matéria orgânica do solo (BAYER et al., 2000). Da mesma forma, em sistemas agrícolas, práticas de manejo adequadas podem manter os estoques de matéria orgânica e carbono no solo (SANTOS et al., 2008).

Estudos recentes indicam a possibilidade da utilização dos índices de vegetação espectrais para estimar a biomassa, o estoque e o sequestro de carbono, tais como o de Oliveira et al. (2010) nas sub-bacias do Salto e Piangueiras, pertencentes à bacia do rio Jaguari em Extrema-MG, o de Xiao et al. (2008) nos Estados Unidos e o de Rosendo (2005) na Bacia Hidrográfica do rio Araguari-MG. O Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) destaca a vegetação fotossinteticamente ativa (RODRIGUES, 2010), o Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) está relacionado ao dossel da vegetação (HUETE, 1988) e o Normalised Difference Water Index (NDWI) evidencia o conteúdo de água na estrutura interna da folha (CECCATO et al., 2001). Esses índices são considerados como um bom estimador de biomassa e, como conseqüência, podem ser relacionados ao estoque de carbono nas plantas.

O sensoriamento remoto serve para obter informações sobre a composição da superfície terrestre e é amplamente utilizado atualmente. O crescente uso dessa técnica se explica, porque através da reflectância gerada pelos objetos que compõem a superfície do planeta, por meio de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, é possível distinguir a cobertura de determinadas regiões (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Por todas essas razões, é crescente o número de trabalhos realizados utilizando o sensoriamento remoto como uma ferramenta para gerar índices capazes de estimar as concentrações de carbono nos ecossistemas, com o intuito de compreender o fluxo deste elemento, como o de França (2011). Esta é a chamada transferência de função, que visa facilitar o entendimento da dinâmica do carbono no planeta (ARAGÃO & SHIMABUKURO, 2004).

2. Objetivo

O objetivo desse trabalho foi avaliar a relação entre o teor de carbono orgânico encontrado no solo e os aspectos biofísicos da cobertura vegetal referentes à bacia hidrográfica do córrego Sarandi em Planaltina-DF.

3. Referencial Teórico

3.1 Cerrado

O ecossitema denominado Cerrado abrange cerca de 2 milhões de km² do Planalto Central do Brasil. A região abrange as nascentes de três grandes bacias brasileiras: Tocantins-Araguaia, Paraná e São Francisco (FELFILI & SILVA JÚNIOR, 2005) e é considerado uma das savanas mais ricas e diversas do mundo (LEWINSOHN & PRADO, 2005). As temperaturas variam entre 22 e 27°C, com média de precipitação em torno de 1500 mm por ano, em duas estações muito bem definidas: úmida, que vai de outubro a abril e seca, de maio a setembro.

O bioma Cerrado tem grande influência na biodiversidade brasileira, pois cerca de 20% das espécies existentes no país ocorrem nessa região (MACHADO et al., 2004). O Cerrado faz fronteiras com vários biomas, como Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Amazônia, formando ecótonos diversificados, que contribuem para a riqueza e importância do Cerrado (SILVA et al., 2006). Com toda a variação de ambientes dentro do bioma, as espécies de animais e plantas apresentam uma grande associação com os ecossistemas locais, podendo ser encontrados vários exemplos de espécies muito ligadas aos ambientes naturais, explicando o grande número de endemismo no Cerrado. Porém, apenas cerca de 8% da área de ocupação desse bioma é protegida legalmente, incluindo áreas de proteção permanente, áreas de uso sustentável e terras indígenas (KLINK & MACHADO, 2005).

O Cerrado é considerado como um dos 34 hotspots globais de biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2005) por causa do alto nível de endemismo e rápida perda de habitats devido a mudanças nos regimes de fogo e de conversão de Cerrado nativo para pastagens e terras cultiváveis (BUSTAMANTE et al., 2011). Engloba desde campos com predominância de espécies gramíneas a cerradões com extrato arbóreo compostos por espécies lenhosas. Por ser composto por um mosaico de paisagens, inúmeros autores propuseram uma classificação das fitofisionomias do bioma. Em termos gerais, consideramos três principais fisionomias do cerrado como florestal, savânica e campestre (AB'SABER & COSTA-JUNIOR, 1950; OLIVEIRA-FILHO & RATTER, 2002; RIBEIRO & WALTER, 1998).

A fisionomia florestal envolve as matas de galeria e os cerradões, considerando a predominância do extrato arbóreo dessas áreas. A savânica engloba os ambientes que

intercalam um extrato árbóreo mais esparso com uma vegetação herbáceo-arbustiva, como no cerrado *sentido restrito*, enquanto a fisionomia campestre abrange as áreas que tem a vegetação herbácea como predominante. Os campos limpos e os campos sujos entram nessa classificação (RIBEIRO E WALTER, 1998).

Os solos estão intimamente ligados ao material de origem (rochas) e a geomorfologia local. O Latossolo é o tipo de solo predominante cobrindo 46% da região do Cerrado, subdivididos em Latossolo Vermelho (LV) com 22,1%, Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), 21,6% e Latossolo Amarelo (LA) que ocupa 2% do Cerrado. Os Latossolos geralmente ocorrem em relevo plano a suave-ondulado e são altamente intemperizados, muito profundos, porosos, de textura homogênea ao longo do perfil. O Neossolo Quartzarênico e o Argissolo cobrem aproximadamente 15% do bioma cada um (REATTO et al., 1998). Os solos do Cerrado são, geralmente, ácidos, ricos em alumínio, têm de médios a baixos índices de Capacidade de Troca Catiônica (CTC), possuem baixa concentração de nutrientes e baixo teor de matéria orgânica (GOEDERT, 1989; FALEIRO & FARIAS NETO, 2008).

As questões envolvidas no avanço do agronegócio e do desenvolvimento econômico nesse bioma superam as barreiras ecológicas e atingem também a diversidade social e cultural dos povos do Cerrado. O caráter predatório do sistema agropecuário tem ameaçado a manutenção das tradições culturais dessas populações e a própria existência desse ecossistema que ainda é pouco estudado e, consequentemente, desconhecido por grande parte da população brasileira (MMA, 2003).

3.2 Uso e cobertura da terra

O estudo da paisagem constitui-se numa atividade fundamental no processo de análise e compreensão das inter-relações que ocorrem entre os fatores naturais e as ações humanas (METZGER, 2001). A visão holística sobre a paisagem permite a avaliação dos processos naturais e antrópicos sobre o ambiente e pode subsidiar a gestão dos recursos naturais.

O uso e cobertura da terra torna-se cada vez mais importante, já que o planeta precisa superar os problemas atuais, causados pelo o crescimento descontrolado da população e do uso dos recursos naturais, como a deterioração da qualidade ambiental, a perda de biodiversidade e a perda de habitat dos animais selvagens. Dados de uso da terra são

necessários para a análise dos problemas ambientais e proposição de medidas adequadas, que visam manter ou melhorar as condições de vida nos níveis atuais (ANDERSON, 1976).

A ação humana tem causado modificações substanciais no uso da terra, especialmente nos dois últimos séculos. Tais mudanças podem alterar estrutura e funcionamento dos ecossistemas e as interações entre os meios aquático, terrestre e a atmosfera (VITOUSEK et al., 1997), pois interferem diretamente os ciclos da água e de outros elementos como carbono e nitrogênio.

DeFries et al. (2004) também ressalta que a transformação da cobertura natural da terra tem consequências nas funções ecossistêmicas, responsáveis pela ciclagem dos nutrientes, regulação climática, diversidade biológica, controle de doenças, qualidade da água, fertilidade do solo e produtividade primária, prejudicando os serviços de provisão de água e alimentos e, por consequência, o próprio ser humano.

Enquanto nos países de clima temperado a maior fonte deemissão de gás carbônico são os combustíveis fósseis (veículos, sistemas de aquecimento e de refrigeração, indústrias), que geram os maiores volumes globais anuais de CO_2, nas regiões tropicais a maior fonte de CO_2 se deve aos desmatamentos e as mudanças de uso da terra (ROSENDO & ROSA, 2012).

Considerando os dados de Machado et al. (2004) que estimam que 55% da área do Cerrado já foi transformada pela ação humana e que o bioma contribui com cerca de 25% da economia nacional, comandada especialmente por atividades agropecuárias (IBGE, 2010), infere-se que nos próximos anos as áreas de vegetação nativa do Cerrado continuem a ser substituídas por atividades agropecuárias num ritmo semelhante ao atual.

Entre as consequências apontadas anteriormente, as maiores preocupações giram em torno da perda da biodiversidade do Cerrado, que é considerada a maior e mais diversa savana do planeta. Estudos recentes liderados pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA indicam que o bioma já perdeu 13% de sua biodiversidade e que essa perda pode chegar a 24%, quando o Cerrado estiver 75% de sua área ocupada, valor máximo de ocupação, respeitando o Código Florestal Brasileiro.

3.3 Carbono no solo

O carbono é fundamental para a manutenção da vida no planeta. É um elemento essencial para a atividade fotossintética e, consequentemente, para a produtividade primária dos ecossistemas. Desde a Revolução Industrial o valor de carbono liberado para a atmosfera tem aumentado constantemente, resultando numa intensa modificação no ciclo natural desse elemento e influenciando diretamente o quadro atual de mudanças climáticas (MARENGO, 2006).

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha funções fundamentais para o adequado funcionamento do solo, estando envolvida em processos físicos, químicos e biológicose é composta em sua maior parte (58%) por C (SILVA, 2009). O solo é considerado atualmente um grande sumidouro de carbono, já que é o maior reservatório de C no ecossistema terrestre no planeta, porém a transformação de áreas nativas em agricultura e pastagem com práticas de manejo inapropriadas tem reduzido esse estoque através de processos como erosão e escoamento superficial (SUNDERMEIER et al., 2005). Porém, a manutenção da vegetação natural e práticas agrícolas apropriadas podem resultar em significativa redução no aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (MACHADO, 2005).

O estoque de C no solo está relacionado à quantidade de matéria orgânica, a taxa de decomposição da mesma e à atividade radicular das plantas em cada ambiente (TITO et al. 2009). As espécies savânicas tendem a alocar mais biomassa para as raízes e menos para troncos e folhas, se comparadas às espécies florestais (HOFFMANN & FRANCO, 2003). Considerando o atual ritmo de transformação do Cerrado, cresce a necessidade de estudar a dinâmica de carbono existente neste bioma, uma vez que o mesmo pode vir a ser convertido para outros fins, e consequentemente, acarretar em grandes alterações no ciclo de carbono presente nesse ecossistema (PAIVA & FARIA, 2007).

Como o Cerrado é composto por um mosaico de paisagens que compreende distintos tipos fisionômicos, é natural que exista uma diferença no estoque de C no solo para cada fitofisionomia. Além disso, diferenças entre culturas e tipos de uso do solo associados à variação das condições microclimáticas podem gerar diferenças nas taxas de decomposição da matéria orgânica e na velocidade nas reações químicas em ocorrência no solo, conduzindo a diferentes teores de carbono orgânico em cada área (MARCHÃO et al., 2009; LOSS et al., 2010). O trabalho de Silva (2007) mostra que as áreas florestais, geralmente, possuem maior

estoque de C que as áreas savânicas. Muitas vezes, regiões onde estão inseridas pastagens com manejo adequado, concentram mais carbono no solo que áreas de vegetação savânica natural, como observado nos trabalhos de Pulrolnik et al.(2009) e D'Andréa et al. (2004). O mesmo ocorre nos valores de C encontrados por Lardy et al. (2002) em diferentes áreas de vegetação nativa do Cerrado, levando em consideração que a pastagem estudada tinha 12 anos de uso (Tabela 1).

Tabela 1: Estoque de Carbono no solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado.

Estoque de Carbono (Kg $C.m^{-2}$)		
Formações	Intervalo de Profundidade	
	0-20 cm	0-100 cm
Formação Campestre	6,7	20,9
Formação Savânica	4,3	14,3
Formação Florestal	5,3	14,8
Pastagem	5,4	16,1

Fonte:Lardy et al. (2002).

3.4 Geotecnologia aplicada à análise da cobertura vegetal

O Sensoriamento Remoto é uma ferramenta capaz de obter imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto (NOVO, 1992). Essas imagens são obtidas por meio de medições da radiação eletromagnética, tal como a luz solar refletida da superfície de cada objeto. Os primeiros satélites lançados para os mais diversos fins são oriundos da década de 1960, onde houve um iminente desenvolvimento da área espacial por conta da chamada "Corrida Espacial". Essas experiências permitiram a geração e interpretação das primeiras fotografias que possibilitaram observar as formas da Terra (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Rosendo (2005) afirma que a utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto nas análises ambientais tem se tornado uma prática cada vez mais frequente entre as diversas áreas de pesquisa. No caso do uso do solo e da cobertura vegetal, estas técnicas contribuem de modo expressivo para a rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação natural, controle desenvolvimento de políticas conservacionistas.

Com o objetivo de observar os recursos naturais terrestres, a Agência Espacial Americana criou a série Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT), com o lançamento do satélite ERTS-1 em 1972. Essa série permite o mapeamento multispectral em alta resolução da superfície da Terra, contribuindo no mapeamento da dinâmica espaço-temporal do uso das terras e em todas as aplicações decorrentes (EMBRAPA, 2009).

Os índices de vegetação ressaltam o sinal da vegetação, possibilitando comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, facilitando, assim, o monitoramento sazonal, interanual e variações de longo prazo dos parâmetros estruturais, fonológicos e biofísicos da vegetação (WANG et al., 2003). Esses índices têm sido muito utilizados no monitoramento de áreas vegetadas, na determinação e estimativa do índice de área foliar, biomassa e da radiação fotossinteticamente ativa.

O NDVI é um Índice de Vegetação muito empregado atualmente, pois detém a habilidade de minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, onde os valores variam de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal, enquanto o 0 significa ausência de vegetação e os valores negativos estão relacionados à presença de água (ROSENDO, 2005).

O SAVI foi desenvolvido como uma modificação do NDVI para corrigir a influência do brilho do solo na resposta espectral da cobertura vegetal, permitindo que o substrato do dossel varie em função da biomassa. Dessa forma, o SAVI foi escolhido por oferecer um melhor desempenho na identificação de fitofisionomias do cerrado da região e na separação entre as classes para faixas de valores com vegetação densa, esparsa e rala, conforme os resultados também obtidos por Santiago et al. (2009).

O NDWI evidencia o conteúdo de água na estrutura interna da folha, removendo as variações induzidas pela estrutura interna da folha e os teores de matéria seca, melhorando a precisão na recuperação do teor de água de vegetação (CECCATO et al., 2001). Esse índice foi utilizado com intuito de evidenciar o conteúdo de água em cultivos de soja e milho, sendo constatado que a utilização do comprimento de onda do infravermelho médio permitiu melhor monitoramento dos padrões de crescimento (CHEN et al. 2005). A sensibilidade do NDWI permite a separação de fitofisionomias do Cerrado segundo seus estratos vegetativos em ordem crescente, de acordo com o conteúdo de água (COUTO JUNIOR et al., 2010).

4. Metodologia

4.1 Área de estudo

A área de estudo é a Bacia experimental do Córrego do Sarandi, cuja nascente localiza-se na área da Embrapa Cerrados, em Planaltina, no Distrito Federal, dentro da ecorregião do Planalto Central (Figura 1). O córrego Sarandi deságua no Ribeirão Mestre d'Armas que é um dos mais importantes afluentes do rio São Bartolomeu, o qual tem significativa contribuição para formação da Bacia do Rio Paraná (MARTINS et al., 2002).

O clima predominante é Aw (Köppen), sendo observadas duas estações bem definidas. As chuvas mostram-se concentradas entre novembro e janeiro e a estiagem entre julho e agosto. A precipitação anual é superior a 1.500 mm, com temperatura variando entre 13 ºC a 28 ºC.

A bacia experimental do córrego Sarandi está localizada no Alto São Bartolomeu (SENA-SOUZA et al., 2013), com elevação média de 1087 m, e apresenta um padrão do relevo plano com o predomínio de chapadas e rampas de colúvio, com presença de frentes de recuo erosivo entre elas. O solo predominante é o Latossolo, com presença de Cambissolo e Solo Hidromórfico, com características que variam de acordo com o tipo de relevo onde cada um está inserido.

A bacia possui 55% de cobertura antrópica, 44,7% cobertura natural e 0,3% de corpos d'água. A maior parte das coberturas antrópicas é caracterizada por pastagem (28,7%) e agricultura (21,3%) do total da bacia. Dentre as áreas naturais, predomina a fisionomia savânica com 27%, a formação florestal corresponde 7,4% e a campestre 8% do total da bacia. A superfície constituída corresponde ao restante da cobertura da bacia (NEVES et al., 2013).

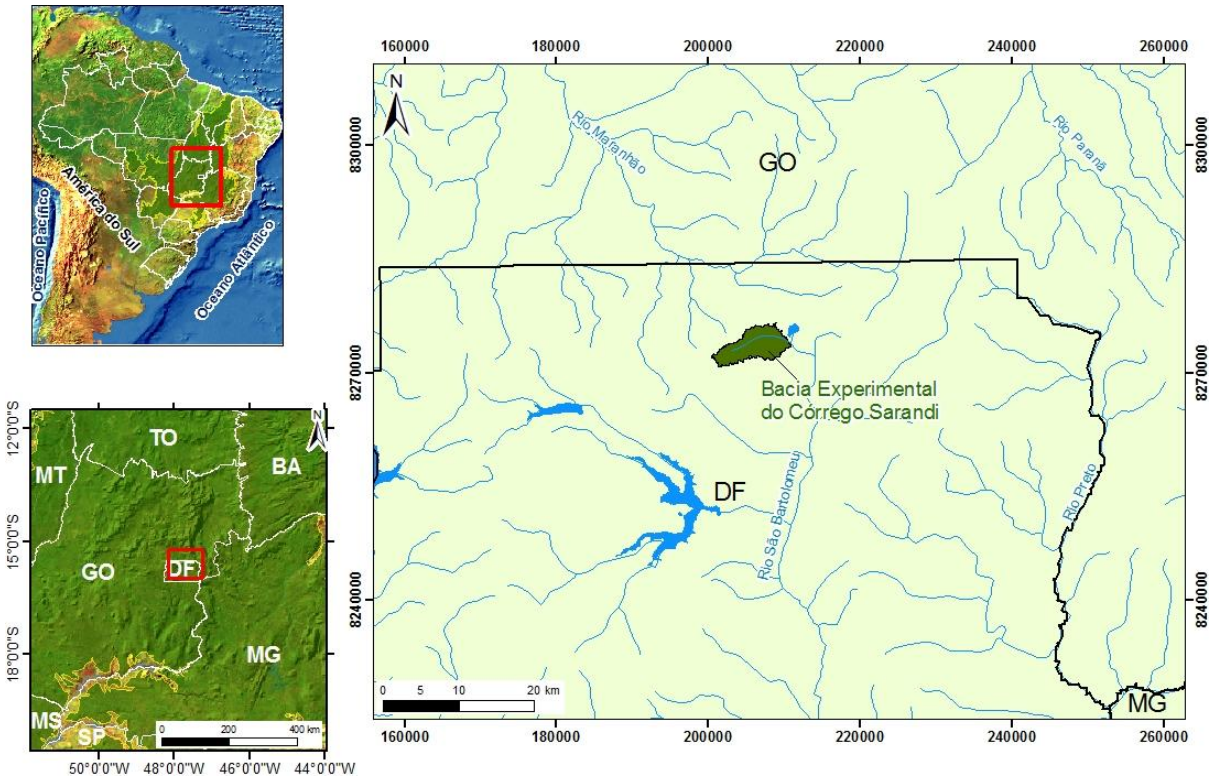

Figura 1: Detalhe da área da bacia experimental do Córrego do Sarandi (direita); sua posição relativa à América do Sul (superior esquerda) e ao Distrito Federal (inferior esquerda).

Foram realizadas coletas de solo em áreas de vegetação nativa: cerrado *sentido restrito* sobre Latossolo Vermelho (CsrLV) e Latossolo Vermelho Amarelo (CsrLVA), cerradão sobre Latossolo Vermelho (Cerradão), mata de galeria sobre Gleissolo Melânico (MG) e em áreas de pastagem: pastagem com capim *brachiaria* abandonada há 15 anos sobre Latossolo Vermelho (PstLV) e pastagem também com capim *brachiaria* em uso há 10 anos sobre Gleissolo Melânico (PstGM).

A escolha dos pontos de coleta foi baseada na topossequência da bacia experimental do córrego Sarandi. As áreas de CsrLV e PstLV estão na porção mais elevada da bacia (chapada), o CsrLVA está localizado em uma frente de recuo erosivo, enquanto o Cerradão está numa rampa de colúvio. A MG e a PstGM ficam na região mais baixa da bacia, próximo ao curso d'água (Figura 2).

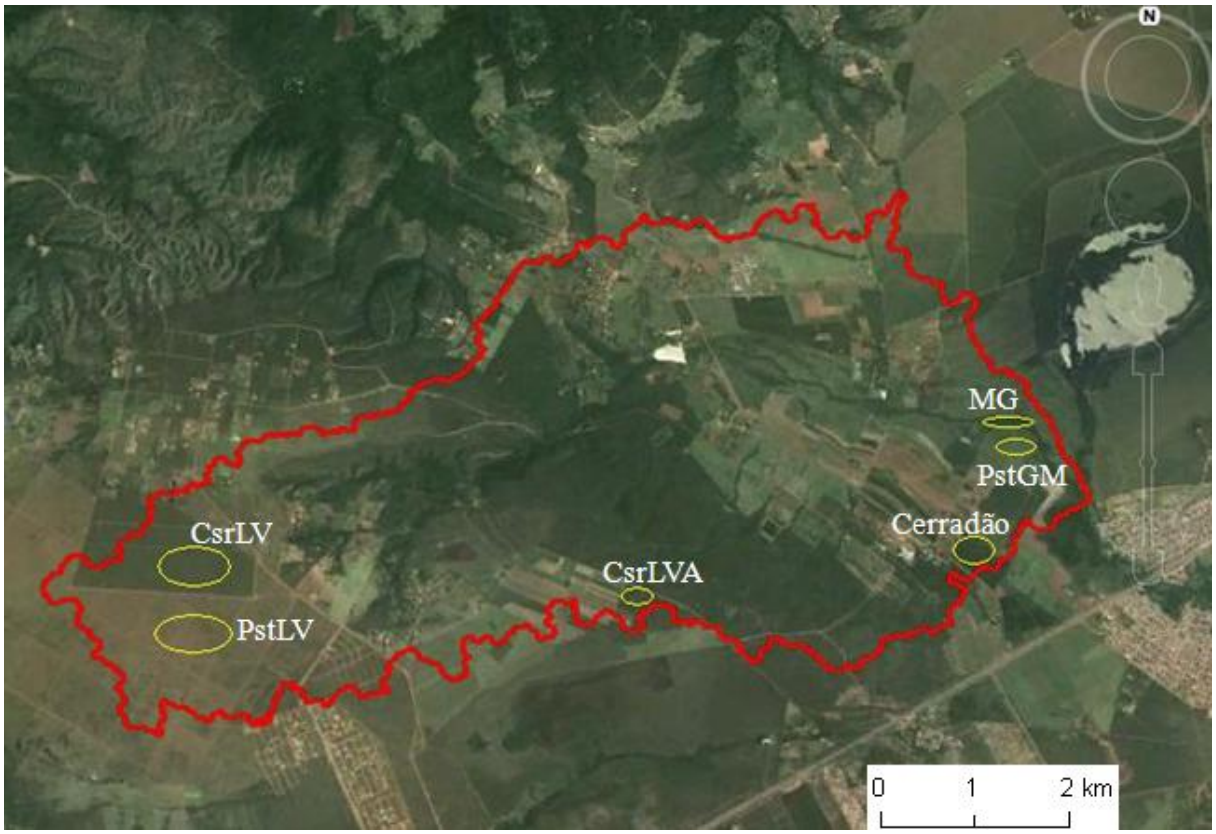

Figura 2: Localização dos pontos de coleta, inseridas no limite da bacia do córrego Sarandi. CsrLV: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em Latossolo Vermelho; PstGM: Pastagem sobre Gleissolo; MG: Mata de galeria.

4.2 Coleta e análises do solo

As coletas foram realizadas entre julho e setembro de 2012. Em cada área foram coletadas amostras compostas de solo, formadas por três amostras simples, porém nas áreas de Gleissolo foram utilizadas apenas duas amostras, devido a uma diferença no ponto marcado que influenciaria os valores dos índices de vegetação, em oito intervalos de profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm), utilizando um trado de tipo holandês.

As amostras foram secas ao ar, destorroadas em peneira com malha de 2 mm. Após o preparo das amostras, foram analisadas a textura do solo, a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e o teor de matéria orgânica do solo (MOS). A textura foi calculada através do método da pipeta para solos normais, descrito pela EMBRAPA (1997). Para a MOS utilizou-se o método volumétrico, que é uma modificação do Walkley-Black. Todos estes métodos foram

descritos por Silva (2009). O teor de carbono orgânico utilizado corresponde a 58% do valor total de MOS, método também indicado por Silva (2009).

4.3 Correção atmosférica do sensor Landsat

Foi utilizada a cena 221/071 referente ao dia 10 de setembro de 2011, do satélite LANDSAT 05, obtida gratuitamente da página do INPE (www.inpe.br), em números digitais (ND). Esse satélite só disponibiliza imagens até 2011, motivo pelo qual essa data foi utilizada neste trabalho. Antes de iniciar o processo de correção atmosférica a imagem foi convertida para valores de radiância. Para a correção atmosférica utilizou-se o algoritmo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH), que está baseado no código MODTRAN (ADLER-GOLDEN, 1999; BERK et al., 2002; MATTHEW et al., 2002). Nas configurações desse algoritmo foi indicada a altitude média de 1000 metros, sem o modelo de aerossol Kaufmann-Tanré, visibilidade de 100 km e modelo de multiespalhamento ISAACS.

4.4Índices de Vegetação

Após a correção atmosférica foram gerados os índices de vegetação abaixo:

O Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) é um índice de vegetação onde é possível observar uma correspondência qualitativa de suas variações com os padrões de crescimento da vegetação (HUETE et al., 1997), utilizando a seguinte formulação (ROUSE et al., 1973):

$$NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V) \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde, ρ_{IVP} é o valor da reflectância no infravermelho próximo e ρ_V é a reflectância na faixa do vermelho;

O Soil Ajusted Vegetation Index (SAVI) foi desenvolvido para modelar de forma mais precisa a transferência de radiância do infravermelho próximo em dosséis incompletos visando remover o ruído de fundo (HUETE, 1988):

$$SAVI = (1+L)\ (\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V + L) \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde, ρ_{IVP} e ρ_V correspondem às reflectânicas do infravermelho próximo, vermelho, respectivamente, e o L é o fator de ajuste, sendo utilizado o valor 0,5;

O NDWI evidencia o conteúdo de água na estrutura interna da folha, sendo expresso pela seguinte equação (GAO, 1996):

$$NDWI = (\rho_{IVP} - \rho_{IVC}) / (\rho_{IVP} + \rho_{IVC}) \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que, ρ_{IVP} é o valor da refletância no infravermelho próximo e ρ_{IVC} é o valor da refletância no infravermelho médio.

Todos os índices de vegetação foram gerados no programa ENVI 4.7. Para a confecção dos mapas foi utilizado o programa ArcGis 9.3.

4.5 Análises estatísticas

Os dados de carbono passaram por uma análise descritiva para geração dos gráficos, foram obtidas médias simples para cada tipo de uso da terra, também utilizados na composição dos gráficos, a fim de comparar as diferenças entre os valores de Carbono entre as áreas naturais e as antropizadas, além dos diferentes tipos de solo.

Foi realizado um teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) para avaliar se os dados de Carbono são paramétricos ou não-paramétricos no programa Statistica 7. Após confirmar a normalidade dos dados, foi aplicada, no mesmo programa, uma análise de variância ANOVA, que avaliou a significância das diferenças encontradas nos valores de C entre os diferentes intervalos de profundidade do solo e os tipos de uso da terra. Diferenças a 5% foram consideradas significativas.

Os valores de C e os índices de vegetação gerados passaram por uma regressão múltipla no programa Statistica 7, com o intuito de verificar o nível de correlação entre eles.

5. Resultados

5.1 Aspectos físico-químicos do solo

Os teores de argila variaram de 26,0%, no intervalo 0-5 cm de profundidade em PstGM, a 74% de 40-60 cm PstLV. Ao considerar todas as áreas estudadas, o percentual médio de argila no solo foi de 54,33%.

A matéria orgânica do solo (MOS) teve seus menores valores nas camadas mais profundas do solo e os maiores nas superficiais. O mínimo encontrado foi de 0,35% na camada mais profunda da PstGMe o máximo 9,11% na camada superficial da MG.

Os valores médios de CTC foram de 9,27$cmol_c dm^{-3}$, tendo uma grande variação entre o menor valor, observado no intervalo 80-100 cm no CsrLV (2,60$cmol_c dm^{-3}$) e o maior, encontrado entre 0-5 cm da MG (30,32$cmol_c dm^{-3}$).

Tabela 2: Valores médios de Argila, Matéria Orgânica do Solo (MOS) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) nos intervalos de profundidade de até 100 cm, em diferentes fitofisionomias, localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi.

Profundidade	**cm**	**0 - 5**	**5 - 10**	**10 - 20**	**20 - 30**	**30 - 40**	**40 - 60**	**60 - 80**	**80 - 100**	
Argila	**(%)**	62,33	62,00	65,67	67,33	68,00	70,33	71,33	71,33	
MOS	**(%)**	3,69	3,44	3,08	2,64	2,23	1,89	1,77	1,51	CsrLV
CTC	**$cmol_c\ dm^{-3}$**	6,63	5,97	5,23	4,48	3,78	3,34	3,01	2,60	
Argila	**(%)**	57,33	61,00	62,00	64,00	65,00	67,00	70,00	71,33	
MOS	**(%)**	3,39	3,27	2,81	2,41	1,92	1,50	1,27	1,00	CsrLVA
CTC	**$cmol_c\ dm^{-3}$**	6,68	7,15	6,31	5,04	4,24	3,67	3,11	2,69	
Argila	**(%)**	47,67	53,67	54,67	57,00	56,00	59,00	59,00	58,67	
MOS	**(%)**	7,30	4,57	3,65	2,98	2,42	2,12	1,74	1,58	Cerradão
CTC	**$cmol_c\ dm^{-3}$**	16,93	11,98	11,02	10,05	10,29	8,92	8,81	8,72	
Argila	**(%)**	27,33	29,67	31,33	28,00	40,67	40,00	43,33	46,33	
MOS	**(%)**	9,10	6,22	4,90	4,40	3,75	2,69	2,60	2,39	MG
CTC	**$cmol_c\ dm^{-3}$**	30,32	20,68	20,19	18,35	14,59	9,37	10,37	12,12	
Argila	**(%)**	63,67	69,67	68,67	72,00	73,67	74,00	72,33	72,33	
MOS	**(%)**	2,80	2,69	2,47	2,15	1,77	1,69	1,58	1,25	PstLV
CTC	**$cmol_c\ dm^{-3}$**	6,01	5,51	4,78	3,95	3,64	3,40	3,20	2,71	
Argila	**(%)**	21,00	22,33	28,67	31,67	41,00	37,67	39,00	33,67	
MOS	**(%)**	9,47	9,45	12,20	8,53	7,24	7,05	2,76	1,09	PstGM
CTC	**$cmol_c\ dm^{-3}$**	14,76	13,97	16,28	18,48	20,06	18,99	14,39	10,96	

CsrLV: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em Latossolo Vermelho; PstGM: Pastagem sobre Gleissolo; MG: Mata de galeria.

Os teores de argila no solo não apresentaram relação com a matéria orgânica, assim como os valores de pH não se relacionam com a concentração de carbono na bacia experimental córrego Sarandi. Já entre os valores de H+Al com o percentual de carbono orgânico no solo, foi observado uma correlação positiva e significativa ($p < 0,05$).

5.2 Carbono orgânico no solo

Em geral, as maiores diferenças no percentual de C no solo entre os diferentes tipos fisionômicos foram encontrados nos intervalos entre 0-20 cm. Apesar das variações entre os tipos de uso do solo, em todas as áreas estudadas os maiores valores foram encontrados nos intervalos de profundidades superficiais, decrescendo com a profundidade. Os valores de C foram maiores nas áreas de MG, PstGM e Cerradão até 60 cm de profundidade, quando a PstGM passou a apresentar valores muito baixos (Figura 3).

Até 10 cm de profundidade, as diferenças são significativas em todos os pontos, exceto no Cerradão. De 10 a 20 cm as diferenças são significativas apenas em CsrLVA e em PstLV. No intervalo de 20 a 30 cm apresentam diferenças significativas a MG e a PstLV. De 30 a 40 cm, MG, PstLV e CsrLVA apresentam diferenças. De 40 até 60 cm nenhuma área apresentou diferença significativa, enquanto de 60 a 80 cm, CsrLVA e MG apresentam diferenças significativas e de 80 a 100 cm, apenas a MG tem diferença significativa em relação às outras áreas ($p < 0,05$).

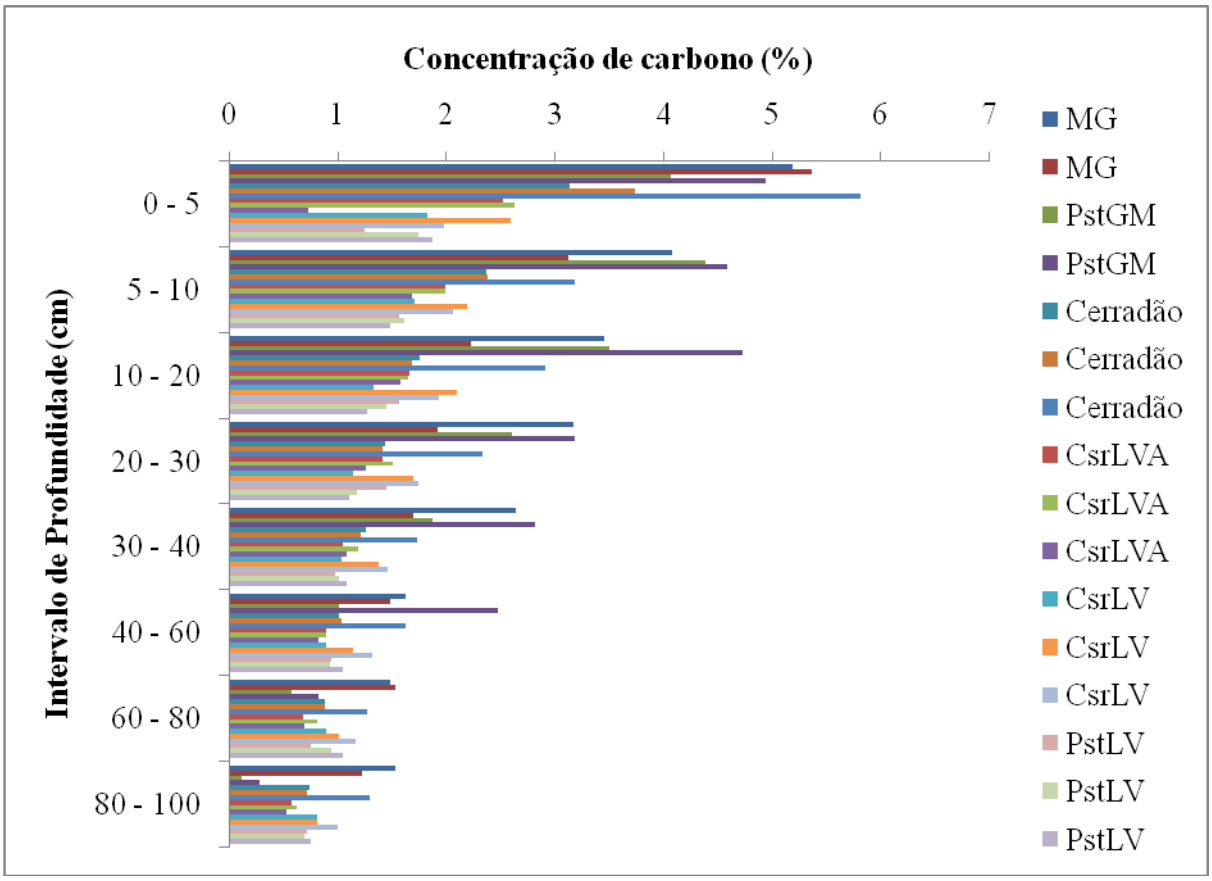

Figura 3: Concentração de carbono por intervalo de profundidade até 100 cm, em diferentes fitofisionomias, localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi. CsrLV: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em Latossolo Vermelho; PstGM: Pastagem sobre Gleissolo; MG: Mata de galeria.

Nas áreas de vegetação natural, as médias de concentração de C em todos os intervalos de profundidade do solo (até 100 cm) foram maiores em áreas de mata de galeria, seguido das áreas de cerradão. As áreas de cerrado *sentido restrito* obtiveram médias intermediárias, sendo que as áreas sobre LV tem maior percentual de C que as áreas localizadas em LVA, onde foram encontradas as menores médias de C nas áreas de vegetação natural da bacia experimental do córrego Sarandi (Figura 4). Todas as fitofisionomias apresentaram diferenças significativas relacionadas à concentração de carbono orgânico encontrado no solo ($p < 0,05$), de acordo com a análise de variância.

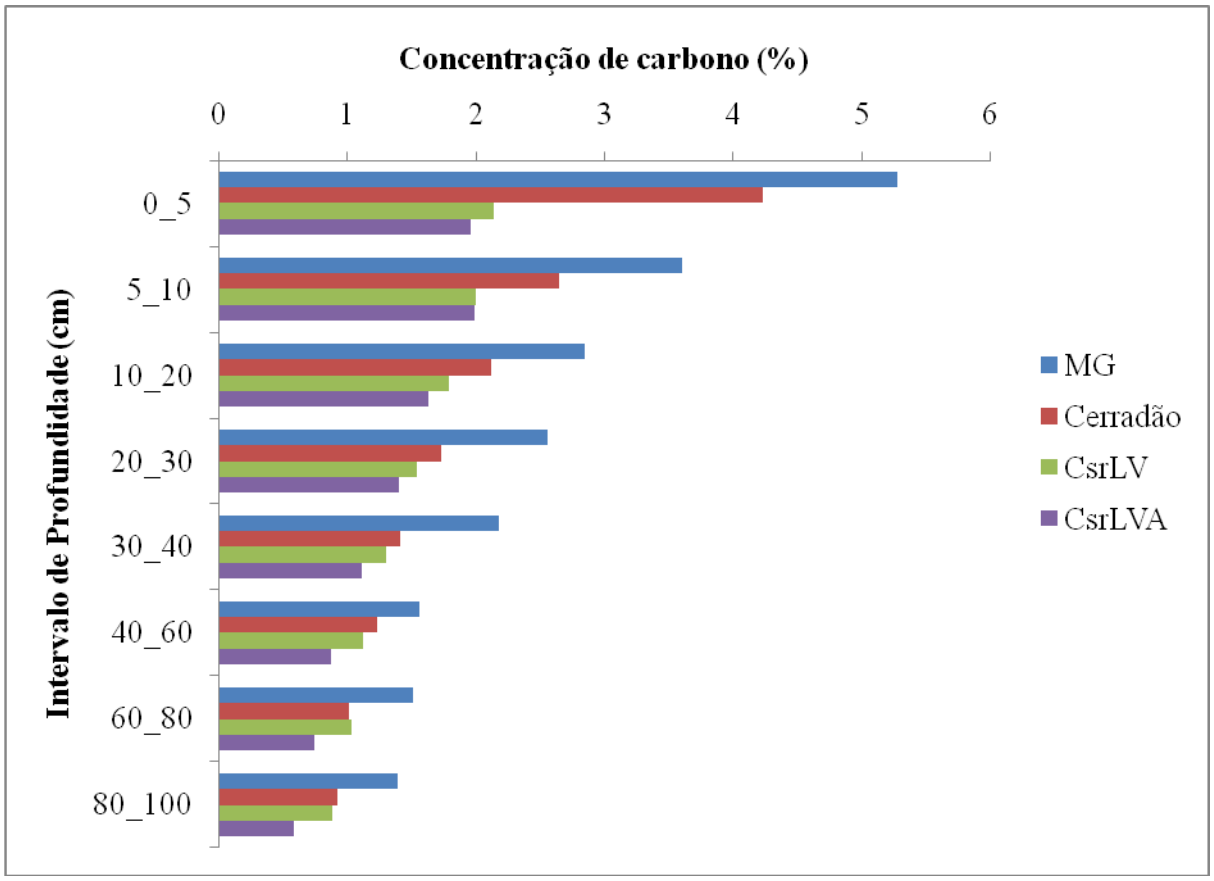

Figura 4: Concentração de carbono por intervalo de profundidade até 100 cm em áreas nativas de diferentes fitofisionomias, localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi. CsrLV: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em Latossolo Vermelho; MG: Mata de galeria.

As áreas em Latossolo Vermelho mantêm o padrão de decréscimo do percentual de C de acordo com o aumento da profundidade do solo. As áreas ocupadas por CsrLV apresentaram maior percentual de C em comparação às áreas de PstLV, em todos os intervalos de profundidade, sendo que as maiores diferenças entre as áreas ocorrem nas camadas mais superficiais do solo. (Figura 5). Houve diferença significativa apenas no intervalo de 5-10 cm de profundidade, segundo a análise de variância ($p < 0,05$).

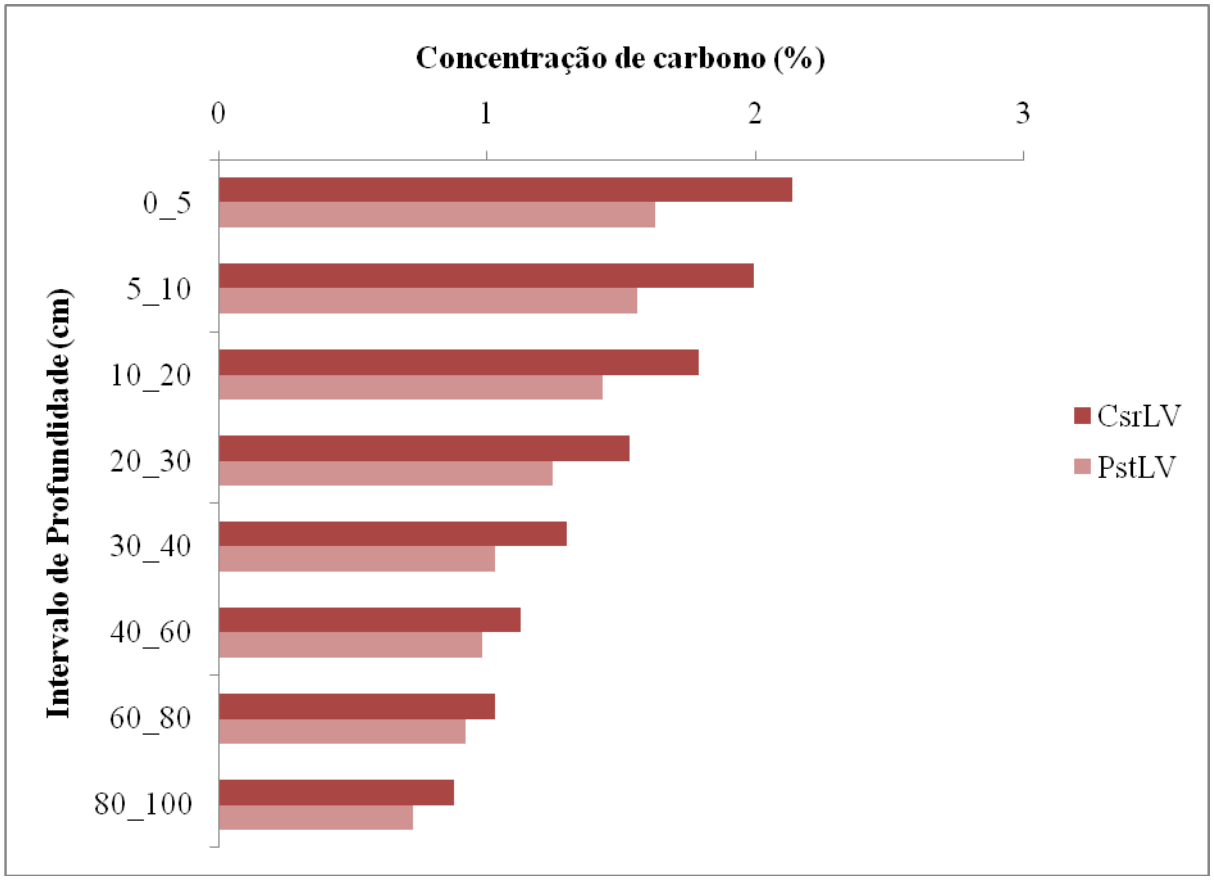

Figura 5: Concentração de carbono por intervalo de profundidade até 100 cm, em áreas de Latossolo Vermelho, localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi. CsrLV: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho.

Diferentemente do LV, a vegetação natural (MG) apresenta menor percentual de C no solo de 5 a 60 cm, comparando com a PstGM. Apenas nas profundidades 0-5 cm e 60-100 cm, a vegetação natural tem valor mais elevado que a área modificada (Figura 6). Há diferenças significativas entre o teor de carbono orgânico no Gleissolo apenas de 60 a 100 cm de profundidade ($p < 0,05$).

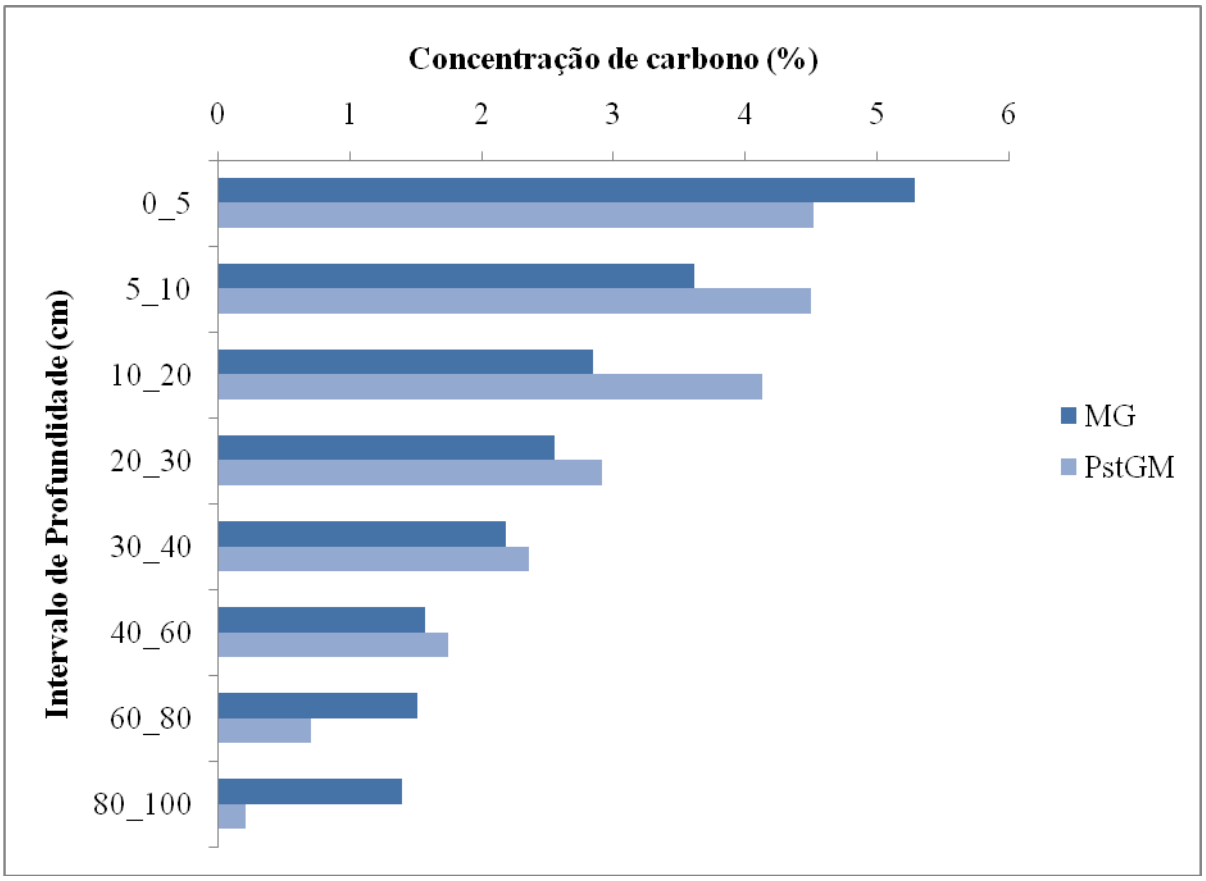

Figura 6: Concentração de carbono por intervalo de profundidade até 100 cm, em áreas de Gleissolo Melânico, localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi. MG: Mata de galeria; PstGM: Pastagem sobre Gleissolo.

5.3 Índices de Vegetação

O mapa de composição colorida utiliza as bandas 3, 4 e 5 do Landsat 5, destacando a fisionomia florestal em vermelho, a savânica em verde e a campestre ou solo exposto em tons mais claros (Figura 7).

Os mapas de NDVI, o SAVI e o NDWI são apresentados em escala de cinza, cujos maiores valores estão em coloração clara, enquanto os menores são as partes mais escuras da figura. As áreas não classificadas da imagem correspondem a reservatório de água ou a outras áreas que apresentaram valores que modificariam a confecção e visualização dos mapas, caso fossem mantidos (Figura 7).

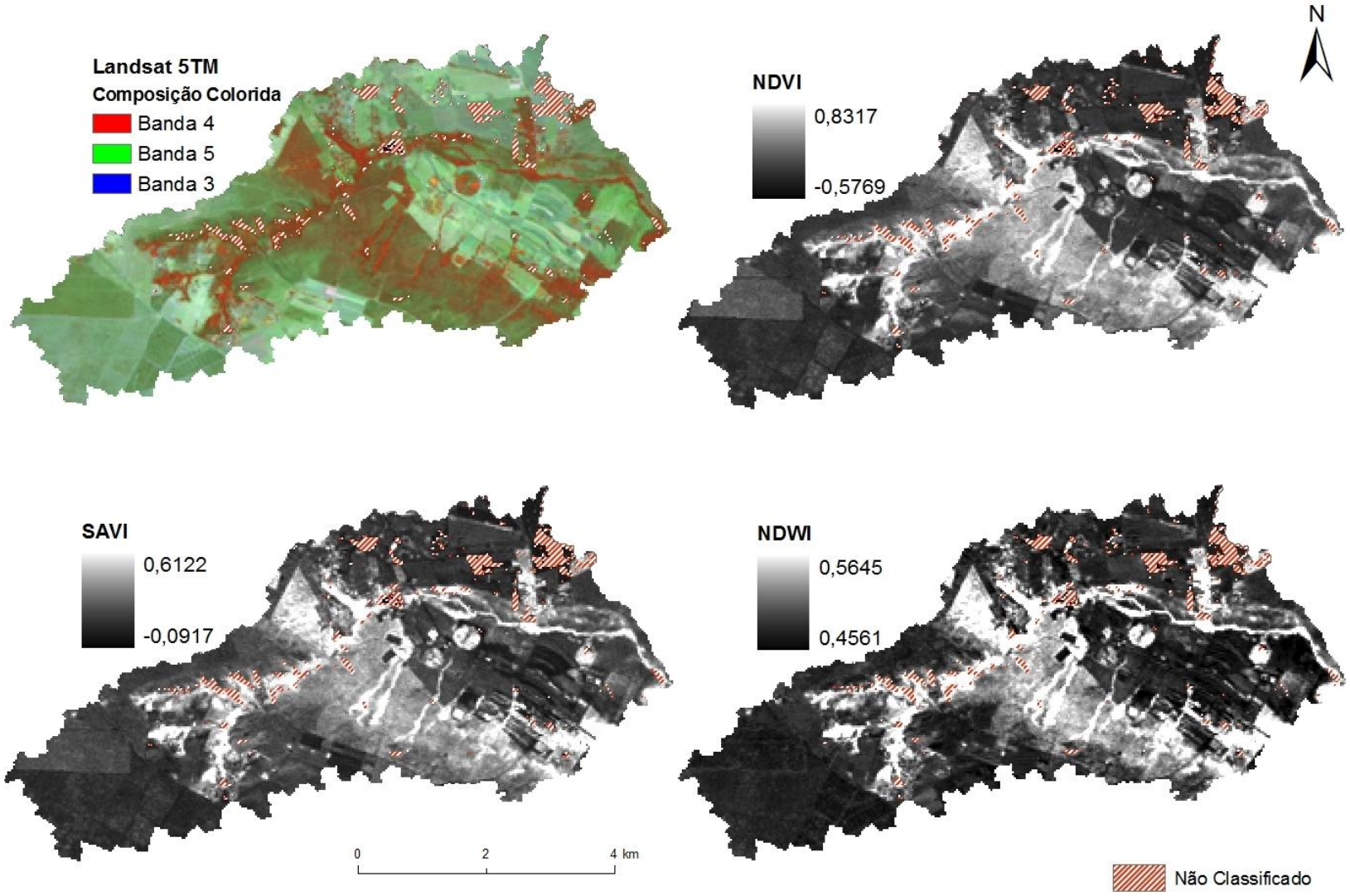

Figura 7: Mapas da bacia experimental do córrego Sarandi gerados através da composição colorida (superior esquerda) e dos Índices de Vegetação: NDVI (superior direita); SAVI (inferior esquerda); e NDWI (inferior direita).

Os índices de vegetação geraram valores que foram relacionados com o percentual de carbono orgânico no solo encontrado em cada ponto de coleta (Tabela 3).

Tabela 3: Concentração de carbono no solo até 100 cm de profundidade em cada ponto de coleta, localizado na bacia experimental do córrego Sarandi, e seus respectivos valores de NDVI, SAVI e NDWI.

Pontos	C(%)	NDVI	SAVI	NDWI
MG	23,23	0,7223	0,4578	0,3512
MG	18,60	0,7229	0,4223	0,2898
PstGM	23,88	0,3024	0,1759	-0,2485
PstGM	18,17	0,3070	0,1761	-0,2247
Cerradão	12,60	0,6728	0,3990	0,2650
Cerradão	13,07	0,6728	0,3990	0,2962
Cerradão	20,21	0,7309	0,4504	0,3717
CsrLVA	10,82	0,1743	0,1264	-0,1492
CsrLVA	11,33	0,1841	0,1319	-0,1531
CsrLVA	8,40	0,1598	0,1148	-0,1501
CsrLV	9,68	0,3739	0,2078	-0,1619
CsrLV	12,97	0,3110	0,1733	-0,2083
CsrLV	12,68	0,3317	0,1806	-0,1788
PstLV	9,23	0,2709	0,1724	-0,1161
PstLV	9,60	0,2208	0,1408	-0,1784
PstLV	9,70	0,2422	0,1529	-0,1749

CsrLV: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado *sentido restrito* em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em Latossolo Vermelho; PstGM: Pastagem sobre Gleissolo; MG: Mata de galeria.

Os valores encontrados através dos índices de vegetação passaram por uma regressão múltipla, de onde foi possível gerar a seguinte equação:

$$C = -29{,}6474655 - 145{,}6187519*NDVI + 412{,}2212394*SAVI - 82{,}3615325*NDWI \quad \text{Eq. (4)}$$

Foi observado um valor correlação obteve relativamente elevado, com um R^2 ajustado próximo de 0,7 (Tabela 4) em uma análise considerada significativa ($p < 0{,}05$).

Tabela 4: Análise de regressão múltipla entre os índices de vegetação e o percentual de carbono orgânico do solo da bacia experimental do córrego Sarandi.

	R Múltiplo	R^2 Múltiplo	R^2 Ajustado	p
C (%)	0, 870805	0, 758302	0, 697878	0, 000520

Através da fórmula apresentada, foi possível gerar um novo mapa com valores estimados do teor de carbono orgânico no solo da bacia do Sarandi. As áreas mais claras têm maior percentual de carbono orgânico, enquanto as mais escuras apresentam menores valores desse elemento no solo (Figura 8).

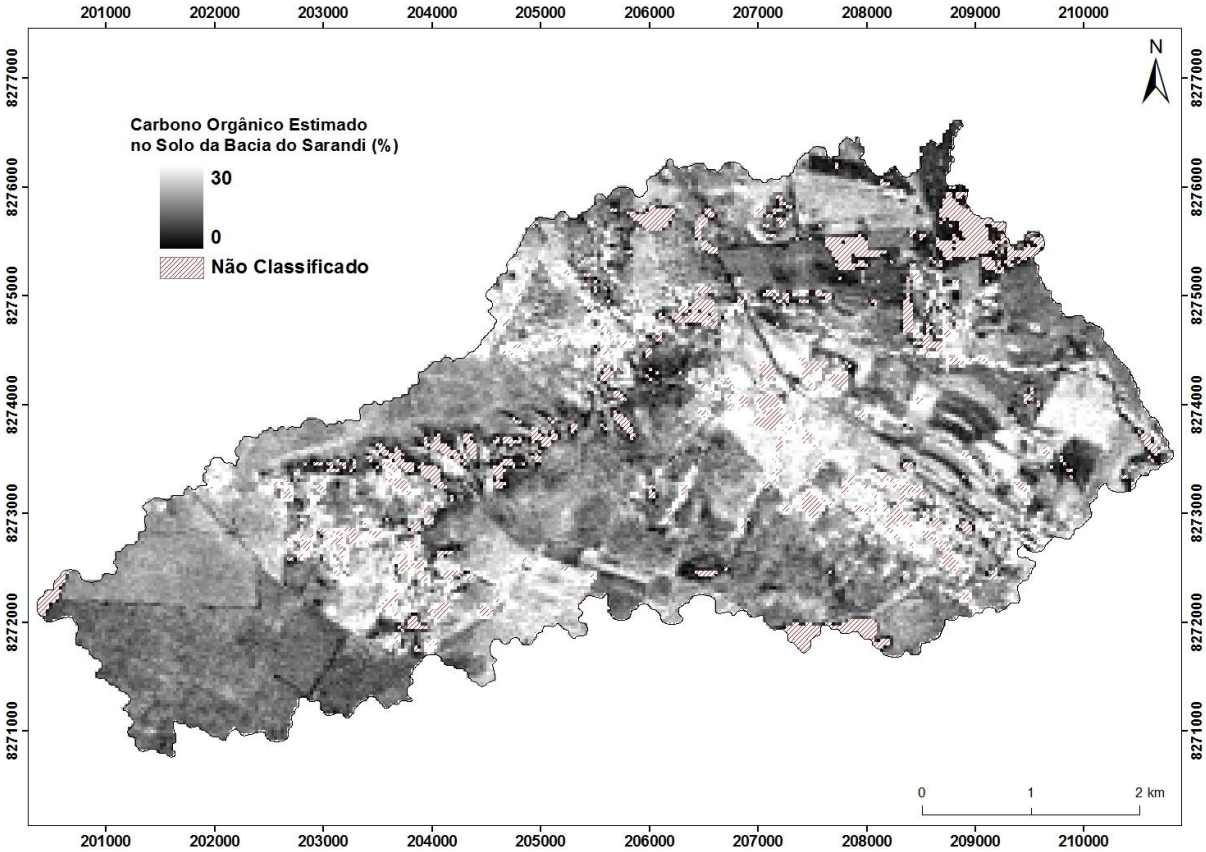

Figura 8: Mapa gerado através dos valores estimados da concentração de carbono orgânico no solo até 100 cm de profundidade na bacia experimental do córrego Sarandi.

6. Discussão

6.1 Aspectos físico-químicos do solo

Os solos da bacia experimental do Sarandi possuem elevados teores de argila, sendo que sua textura varia entre argilosa a muito argilosa tanto em Latossolo Vermelho quanto em Latossolo Vermelho Amarelo. Nos pontos de Gleissolo a textura varia de média a argilosa.

A matéria orgânica do solo em fisionomia savânica apresentouvalores semelhantes aos encontrados nos trabalhos de Lopes & Cox (1977), que variaram de 1,5% a 3% em uma área do Brasil Central, e um pouco abaixo dos 4,5% encontrados no intervalo de 0-5 cm por Araújo et al. (2007) na Fazenda Água Limpa, da Universidade de Brasília, no Distrito Federal.

Os valores obtidos nas fitofisionomias florestais são maiores que os encontrados por Oliveira et al. (2001), onde encontraram 6% de carbono entre 0 e 5 cm em áreas de cerradão e 7,3% entre 0 e 5 cm em mata de galeria, na área da Embrapa Cerrados em Planaltina-DF, que está localizada na bacia experimental do córrego Sarandi.

Os teores de argila no solo não apresentaram relação com a matéria orgânica, contrariando os resultados obtidos por Moreno & Schiavini (2001) e, consequentemente, com a concentração de C encontrada no solo.

Os valores de CTC encontrados no solo da bacia do córrego Sarandi são considerados baixos, exceto nas áreas de fitofisionomia florestal (Cerradão e Mata de Galeria). Isto pode estar relacionado ao fato da CTC estar relacionada à matéria orgânica, que possui maiores valores nesse tipo de vegetação (PEREIRA et al., 2013). Seus valores estão próximos aos observados por Araújo et al. (2007), tanto nas áreas naturais, quanto na pastagem.

6.2 Carbono orgânico no solo

No Cerrado, a fisionomia florestal tende a reter mais carbono no solo que a fisionomia savânica. Assim como nos trabalhos de Lardy et al. (2002) e Silva (2007), a mata de galeria e o cerradão apresentaram valores de C maiores que as áreas de cerrado *sentido restrito.*

Contrariando os trabalhos de Lardy et al. (2002), onde o estoque de carbono na pastagem é de 16,1 $kg.m^{-2}$, enquanto em cerrado *sentido restrito* é de14,3$kg.m^{-2}$ até 100 cm de profundidade,e de D'Andrea et al. (2004), que apresentou na pastagem 6,9$kg.m^{-2}$ e na área natural 6,1 $kg.m^{-2}$ até 40 cm, o CsrLV apresenta percentuais de C maiores em todos os intervalos de profundidadeem comparação a PstLV. Entretanto, é importante ressaltar que a PstLV está degradada e não é utilizada há 15 anos, o que reduz a quantidade de resíduos gerados no local, e, por consequência, os valores de matéria orgânica e de carbono (OLIVEIRA et al., 2004).

Na pastagem manejada adequadamente e em uso há 10 anos, a MG apresenta menor percentual de C no solo de 5 a 60 cm, comparando com a PstGM. Isso pode ser explicado por conta das altas taxas fotossintéticas das gramíneas, que permitem que elas depositem uma elevada quantidade de matéria orgânica, que se decompõe e incorpora o carbono no solo (MONTERO, 2008). Apenas nas profundidades 0-5 cm e 60-100 cm, a vegetação natural tem valor mais elevado que a área modificada. Os motivos para que isso ocorra estão relacionados ao grande aporte de resíduos gerados pela MG e à facilidade de decomposição da matéria orgânica gerada pelo gado na pastagem que tem alto teor de carbono prontamente disponível para a vegetação (ALVES et al., 2008). A diferença do sistema radicular das gramíneas e das espécies arbóreas do Cerrado pode explicar os maiores valores de carbono na MG nas camadas mais profundas do perfil (HARIDASAN, 1998).

6.3 Relação entre carbonono solo e os índices de vegetação

Existe uma relação direta entre o carbono orgânico no solo e os índices de vegetação da bacia experimental do Sarandi. Muitos trabalhos demonstram que existe uma alta correlação entre NDVI e SAVI com o carbono presente na biomassa, como o de Watzlawick et al. (2009) em floresta com araucárias e o de Bolfe et al. (2011) em Sistemas Agroflorestais.

Existem inúmeros estudos que indicam uma alta correlação entre os valores de carbono da biomassa e os índices de vegetação, como o de Rosendo (2005). Com base na bibliografia apresentada e nos valores observados no presente trabalho, torna-se possível estimar valores aproximados de carbono orgânico no solo do Cerrado através do uso de geotecnologia aplicada a análise da cobertura vegetal. Portanto, a chamada transferência de função pode facilitar a compreensão do estoque e da dinâmica do carbono, por meio de técnicas mais acessíveis (ARAGÃO & SHIMABUKURO, 2004).

7. Conclusão

O Carbono orgânico acumulou mais nas camadas mais superficiais do solo (0-20 cm de profundidade), sendo que as áreas de fisionomia florestal (mata de galeria e cerradão) apresentaram uma capacidade em reter mais carbono que a fisionomia savânica (cerrado *sentido restrito*). O Latossolo Vermelho armazenou mais carbono que o Latossolo Vermelho Amarelo, enquanto o Gleissolo acumulou mais carbono quando comparado com os dois Latossolos.

A transformação da vegetação natural tanto de fisionomia savânica como florestal em pastagem alterou significativamente a dinâmica de carbono no solo na bacia experimental do Sarandi, DF. A pastagem em uso, sobre Gleissolo, apresentou uma maior concentração de carbono ao longo do perfil de 100 cm de profundidade quando comparada com pastagem degradada há 15 anos, em LV. A pastagem em uso apresentou, inclusive, maiores concentrações de C do que a área florestal de referência, no intervalo entre 5 e 60 cm de profundidade.

A relação direta entre o carbono orgânico no solo e os índices de vegetação encontrados para a bacia experimental do Sarandi sugeriu que há uma alta correlação entre NDVI, SAVI e NDWI com o carbono presente na biomassa aérea, como já demonstrada por diversos autores. Com isso, pode-se afirmar que a concentração de carbono do solo refletiu a biomassa vegetal presente na área.

Através da relação entre o carbono orgânico e os índices de vegetação, foi possível gerar uma equação, que obteve um elevado coeficiente de determinação (R^2), de maneira que o modelo consegue explicar muito bem os valores observados, para estimar a concentração de carbono no solo da bacia do córrego Sarandi: $C = -29{,}6474655 - 145{,}6187519*NDVI + 412{,}2212394*SAVI - 82{,}3615325*NDWI$.

8. Considerações Finais

A bacia experimental do córrego Sarandi tem boa representatividade da porção central do Cerrado, por estar numa posição central do bioma e por possuir diferentes fitofisionomias e diversos tipos de usos da terra (NEVES et al., 2013). Portanto, as relações aqui encontradas podem servir de embasamento para trabalhos que envolvam a dinâmica de carbono em solos do Cerrado.

Considerando que o Brasil possui uma área muito grande utilizada como pastagens, é importante que se aplique um manejo adequado a essas áreas, já que uma pastagem em bom estado pode funcionar como um ótimo sumidouro de carbono, diminuindo a concentração deste elemento na atmosfera.

Os Índices de Vegetação são índices de fácil obtenção e apresentam uma alta correlação com a concentração de carbono encontrada no solo das áreas tanto de fisionomia savânica como florestal. Desta forma, é possível estimar valores aproximados de carbono no solo de áreas de Cerrado em sua porção central através da obtenção desses índices, reduzindo tempo e esforço para coletas e análises de solo e facilitando futuras pesquisas nessa área.

Essa metodologia (função de transferência) mostrou-se viável para avaliar a dinâmica de carbono tanto de áreas naturais como antropizadas na região de Cerrado em sua porção central, que por sua vez, reflete o manejo aplicado na área. Desta forma, a função de transferência pode subsidiar o manejo de ecossistemas.

9. Referências

AB'SABER, A. N.; COSTA-JUNIOR, M. **Contribuição ao estudo do sudoeste goiano**. Boletim Paulista de Geografia, n.4 p. 3-26, 1950.

ADLER-GOLDEN, S. M.; MATTHEW, M. W.; BERNSTEIN, L. S.; LEVINE, R. Y.; BERK, A.; RICHTSMEIER, S. C.; ACHARVA, P. K.; ANDERSON, G. P.; FELDE, G.; GARDNER, J.; HOKE, M.; JEONG, L. S.; PUKALL, B.; MELLO, J.; RATKOWSKI, A.; BURKE, H. H. **Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4**. SPIE Proc. Imaging Spectrometry, v. 3753, p. 61-69, 1999.

ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. **Dinâmica do carbono em solos sob pastagens.** In: SANTOS, G. A.;SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO. F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª Ed. p. 561-569. Metrópole: Porto Alegre, 2008**.**

ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data.** US geological Survey Professional Paper 964, Washington, DC. 1976.

ARAGÃO, L. E. C.; SHIMABUKURO, Y. E. **Perspectivas para o estudo da biogeoquímica do carbono em macro-escala integrando diferentes técnicas: Modelagem ecológica, sensoriamento remoto e SIG.** Relatório Técnico. 97 p.INPE, São José dos Campos, 2004.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. **Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo.** R. Bras. Ci. Solo, 31:1099-1108, 2007.

BAYER, C.; MIELNICSUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. **Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil.** Soil Tillage Res., 54:101-109, 2000.

BERK, A.G.P.; ADLER-GOLDEN, S. M.; RATKOWSKI, A. J.; FELDE, G. W.; ANDERSON, G. P.; HOKE, M. L.; COOLEY, T.; CHETWYND, J. H.; GARDNER, J. A.; MATTHEW, M. W.; BERNSTEIN, L. S.; ACHARYA, P. K.; MILLER, D.; LEWIS, P. **Exploiting MODTRAN radiation transport atmospheric correction: the FLAASH algorithm.** SPIE Proceeding, Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research, p. 798-803, 2002.

BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, M. C. **Correlação entre o carbono de sistemas agroflorestais e índices de vegetação.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. Anais... p. 1705-1712. Curitiba, INPE, 2011.

BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO G. B.; PINTO, A. S.; RESENDE, J. C.; TAKAHASHI, F. S.; VIEIRA, L. C. et al. **Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems.** Brasília, 2011.

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R.; PAUSTIAN, K. **Carbon sequestration in soils**. Journal Soil Water and Conservation, v.54, p.382-389, 1999.

CECCATO, P.; FLASSE, S.; TARANTOLA, S.; JACQUEMOUD, S.; GRÉGOIRE, J. M. **Detecting vegetation leaf water contend using reflectance in the optical domain.** Remote sensing of Environment, vol. 77, p. 22-33, 2001.

CHEN, D.; HUANG, J.; JACKSON, T. J. **Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near-and shirt-wave infrared bands.** Remote sensing of Environment, vol. 98, 225-236, 2005.

COUTO JUNIOR, A. F.; VASCONCELOS, V.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; SANTANA, O. A.; FREITAS, L. F.; GOMES, R. A. T. **Integração de prâmetros morfométricos e imagem ASTER para a delimitação das fitofisionomias da Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, MG.**Revista Brasileira de Geomorfologia,vol. 11, n.1, p.57-68, 2010.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, L. N.; GUILHERME, L. R. G. **Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fev. 2004.

DeFRIES, R. S.; FOLEY, J. A.; ASNER, G. P. **Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function.** Front Ecol.Environ.; 2(5): 249–257, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. e atual. 212p. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

EMBRAPA. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 15 de maio 2013.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAF, 42 p. 1999.

FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. **Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais.** Embrapa Cerrados, 1198 p. Planaltina-DF, 2008.

FELFILI, J. M.; SILVA JR., M. C. **Diversidade alfa e beta no cerrado sensu stricto, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia**. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Capítulo 7. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

FILHO, M. C. A.; MENESES, P. R.; SANO, E. E**. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite.** Revista Brasileira de Cartografia No 59/02, Agosto, 2007.

FITZSIMMONS, M. J.; PENNOCK, D. J.; THORPE, J. **Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada.** Forest Ecology and Management, v.188, p.349-361, 2003.

FRANÇA, A. M. S. **Função de pedotransferência para estimativas de estoques de carbono em solos de áreas de Campo Limpo Úmido do Distrito Federal.** Tese de Doutorado. 144 p. Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Departamento de Geologia Geral e Aplicada, 2011.

GAO, B. C. **NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space.** Remote Sensing of Environment, Vol. 58: 257-266. 1996.

GOEDERT, W. J. **Região dos cerrados: potencial agrícola e política para o seu desenvolvimento.** Pesq. agropec. bras., Brasília, 24(1): 1-17, 1989.

HARIDASAN, M. **Solos de matas de galeria e nutrição mineral de espéciesarbóreas em condições naturais**. In: RIBEIRO, J. F. (Ed.). Cerrado: matas de galeria. p.19-28. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998.

HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. **Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts.** Journal of Ecology, 91(3):p. 475-484, 2003.

HUETE, A. R. **A soil adjusted vegetation index (SAVI).** Remote Sensing of Environment, 25:295-309. 1988.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; LEEUWEN, W. **A comparison of Vegetation Indices over a global set of TM Images for EOS-MODIS.** Remote Sensing of Environment, 59:440-451. 1997.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.2010. **SIDRA – Banco de Dados Agregados.** Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em 27 de maio de 2013.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2013. Disponível em <http://www.inpe.br/>. Acessado em 17 de março de 2013.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. **Conservation of the Brazilian cerrado**. Conserv. Biol. 19(3):707-713. 2005.

LAL, R. **Soil carbon dynamic in cropland and rangeland**. Environmental Pollution, Massachusetts, v. 116, p. 353-362. 2002.

LARDY, L. M.; BROSSARD, M.; ASSAD, M. L. L.; LAURENT, J. Y. **Carbon and phosphorus stocks of clayey feral sols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil.** Agriculture, Ecosystems and Environment 92: 147-158. 2002.

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. **Quantas espécies há no Brasil?** Megadiversidade. Volume 1, n.1. 2005.

LOPES, A. S.; COX, F. R. **A survey of the soils under cerrado vegetation in Brazil.** Soil Science Society of America Journal. 41:742-747. 1977.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. **Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação.** Bragantia, 69 (4), p. 913-922, 2010.

MACHADO, P. L. O. A. **Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global**. Quim. Nova, Vol. 28, No. 2, 329-334, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2005.

MACHADO, R. B.; NETO, M. B. R.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Conservação Internacional do Brasil, Brasília, 2004.

MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. **Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems.** Soil and Tillage Research, v.103, p.442-450, 2009.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI**. Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília, 2006.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. **Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4.** Revista Multiciência. Mudanças Climáticas. Ed. 8, p. 5-28. Campinas, São Paulo, 2007.

MARTINS, E. S. REATTO, A.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; BLOISE, G. L. F.; CARDOSO, E. A. **Domínios hidrogeológicos da margem direita do Córrego Divisa, Bacia do São Bartolomeu-DF, escala 1:10.000**. Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 68, 17 p. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002.

MATTHEW, M.W.; ADLER-GOLDEN, S.M.; BERK, A. **Atmospheric correction of spectral imagery: Evaluation of the FLAASH algorithm with AVIRIS data.** 31st Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, 2002.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto.** Universidade de Brasília, 266 p., Brasília, 2012.

METZGER, J. P. **O que é ecologia de paisagens?** Biota Neotrópica, Campinas-SP, vol. 1, n. 1/2, 9p. 2001.

MITTERMEIER, R. A. GIL, P. R.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; FONSECA, G. A. B.; SELIGMANN, P. A.; FORD, H. **Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. CEMEX. Conservation International, 2005.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Programa nacional de conservação e uso sustentável do bioma Cerrado.** Instituído pela Portaria MMA Nº 361 de 12 de setembro de 2003.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da biodiversidade.** 1ª Edição, 2006.

MONTERO, I. L. **Carbono em solos do Cerrado: efeitos do uso florestal.** Tese de Doutorado. 130 p. Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, 2008.

MORENO, M. I. C.; SCHIAVINI, I. **Relação entre vegetação e solo em um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga, Uberlândia (MG).** Revista brasileira de Botânica, V.24, n.4 (suplemento), p.537-544. São Paulo, 2001.

MYERS, N. R. A.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature, v.403, p.853-858, 2000.

NEVES, G.; COUTO JUNIOR, A. F.; MARQUES, T. A.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; SENA-SOUZA, J. P. **Avaliação da fragmentação da cobertura natural em uma bacia experimental no Cerrado.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... p. 3062-3067. Foz do Iguaçu, INPE, 2013.

NOBRE, C. **Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país.** Parcerias Estratégicas – n.12, p. 239-251. 2001.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto. Princípios e aplicações**. Ed. Edgard Blücher Ltda. 2ª ed. 308 p. São Paulo, Brasil, 1992.

OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; PEREIRA, P. H. **Canopy cover and organic matter spatial distribution as indicators of soil quality for aquifer recharge**. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Austrália, 2010.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. **Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome.** In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUES, R. J. (ed.). The Cerrados of Brasil: ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press, p. 91-120, 2002.

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. **Carbono da biomassa microbiana em solos de Cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: Avaliação dos métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração.** R. Bras. Ci. Solo, 25:863-871, 2001.

OLIVEIRA, O. C.; OLIVEIRA, I. P.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Chemical and biological indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado.** Agriculture, Ecosystems and Environment, 103, p. 289–300. 2004.

PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. **Estoque de carbono do solo sob cerrado sensu stricto do Distrito Federal, Brasil.** Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas, vol. 1, n. 1, p. 59-65, 2007.

PEREIRA, W. S.; ROSSETE, A. N.; SILVA, I. C. M.; SANTOS, F. P.; MARQUES, E. Q. **Caracterização Físico-quimica do Solo do Parque Municipal do Bacaba.** In: 5º Congresso de Iniciação Científica, 2013, Cáceres/MT. Anais... 5 p. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação-PRPPG, Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT. Cáceres/MT, 2013.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. **Estoques de Carbono e Nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG.** R. Bras. Ci. Solo, 33:1125-1136, 2009.

REATTO, A; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. **Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed).Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p.47-83.1998.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado.** In : SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. (Ed.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, Embrapa-CPAC, p. 87-166. 1998.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; WIT, C. A.; HUGHES, T.; LEEUW, S.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P.; FOLEY, J. A. **A safe operating space for humanity**. Nature, v. 461, p. 472-475. Setembro, 2009.

RODRIGUES, C. P. **Estudo do fluxo de carbono utilizando geotecnologias.** Dissertação de mestrado. 92 p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. **Sistemas de Manejo e Matéria Orgânica do Solo.** In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Dinâmica da Matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares**.** (Ed.). p. 17-42. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, 2006.

ROSENDO, J. S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2005.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. **Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa do Cerrado.** Sociedade & Natureza, ano 24 n. 2, 359-376, maio/agosto. Uberlândia, 2012.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: Third ERTS Symposium, Proceedings, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

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: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2009, Natal. Anais... p. 1199-1206. Natal, INPE, 2009.

SANTIAGO, M. M.; SILVA, H. A.; GALVINCIO, J. D.; OLIVEIRA, T. H. **Análise da Cobertura Vegetal Através dos Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no Entorno da Barragem do Botafogo-PE.** XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. Anais... p. 3003-3009, INPE, 2009.

SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2ª Ed. 651 p. Metrópole: Porto Alegre, 2008**.**

SENA-SOUZA, J. P.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; REATTO, A.; VASCONCELOS, V.; GOMES, M. P.; REIS, A. M.; SILVA, V. P. **Utilização de variáveis morfométricas para a subdivisão de bacia hidrográfica no Cerrado.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... p. 3062-3067. Foz do Iguaçu, INPE, 2013.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 624 p. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2009.

SILVA, J. F.; FARIÑAS, M. R.; FELFILI, J. M.; KLINK, C. A. **Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil.** Journal of Biogeography 33, 536–548, 2006.

SILVA, L. C. R. **Dinâmica de transição e interações entre fitofisionomias florestais e formações vegetacionais abertas do bioma Cerrado**. Dissertação de Mestrado. 168 p. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SUNDERMEIER, A.; REEDER, R.; LAL, R. **Soil Carbon Sequestration – Fundamentals.** Ohio State University Extension Fact Sheet, AEX-510-05, 2005.

SWIFT, R. S. **Sequestration of carbon by soil.** Soil Science, vol. 166, p. 858-871, 2001.

TITO, M. R. **Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais.** ICRAF. 2009.

VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M. **Human Domination of Earth's Ecosystems.** Science, vol. 277, p. 494-499. 1997.

WANG, Z. X.; LIU, C.; HUETE, A. **From AVHRR NDVI to MODIS-EVI: Advances in vegetation index research.** Acta Ecologica Sinica, v.23, n.5, p.979- 988, 2003.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II.**Ciência Florestal, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 169-181. 2009.

XIAO, J.; ZHUANG, Q.; BALDOCCHI, D. D.; LAW, B. E.; RICHARDSON, A.D.; CHEN, J.; OREN, R.; STARR, G.; NOORMETS, A.; MA, S.; VERMA, S. B.; WHARTON, S.; WOFSY, S. C.; BOLSTAD, P. V.; BURNS, S. P.; COOK, D. R.; CURTIS, P. S.; DRAKE, B. G.; FALK, M.; FISCHER, M. L.; FOSTER, D. R.; GU, L.; HADLEY, J. L.; HOLLINGER, D. Y.; KATUL, G. G.; LITVAK, M.; MARTIN, T. A.; MATAMALA, R.; MCNULTY, S.; MEYERS, T. P.; MONSON, R. K.; MUNGER, J. W.; OECHEL, W. C.; U, K. T. P.; SCHMID, H. P.; SCOTT, R. L.; SUN, G.; SUYKER, A. E.; TORN, M. S. **Estimation of net ecosystem carbon exchange for the conterminous United States by combining MODIS and AmeriFlux data.** Agric. Forest Meteorol., 148, p. 1827–1847. 2008.