



VINÍCIUS AUGUSTO MORAIS

**CARBONO NO CERRADO DE MINAS
GERAIS: MODELAGEM E ESTOQUES EM SOLO,
RAÍZES E SERRAPILHEIRA**

LAVRAS – MG

2014

VINÍCIUS AUGUSTO MORAIS

**CARBONO NO CERRADO DE MINAS GERAIS: MODELAGEM E
ESTOQUES EM SOLO, RAÍZES E SERRAPILHEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Florestal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

JOSÉ MÁRCIO DE MELLO

Coorientadores

JOSÉ ROBERTO SOARES SCOLFORO

CARLOS ALBERTO SILVA

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Morais, Vinícius Augusto.

Carbono no cerrado de Minas Gerais : modelagem e estoques em solo, raízes e serrapilheira / Vinícius Augusto Moraes. – Lavras : UFLA, 2014.

117 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: José Marcio de Mello.

Bibliografia.

1. Estoque de carbono. 2. Estatística espacial. 3. Inventário florestal. 4. Mudanças climáticas. 5. Cerrado. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.9285

VINÍCIUS AUGUSTO MORAIS

**CARBONO NO CERRADO DE MINAS GERAIS: MODELAGEM E
ESTOQUES EM SOLO, RAÍZES E SERRAPILHEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Florestal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 04 de agosto de 2014

Dr. Carlos Alberto Silva - UFLA
Dr. Carlos Rogério Mello - UFLA
Dr. Lucas Rezende Gomide - UFLA
Dra. Ivonise Silva Andrade - Inventar

Dr. José Marcio de Mello
Orientador

**LAVRAS – MG
2014**

A Stela e Cecília, pelo companheirismo e amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, pois sem ELES nada seria possível;

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Ciências Florestais (DCF), ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e ao Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal (LEMAF), pela oportunidade concedida para realização do doutorado;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

Aos professores do Departamento de Ciências Florestais, pelos ensinamentos transmitidos e pelos trabalhos desenvolvidos;

Aos estagiários que foram fundamentais na realização deste trabalho, e que ao longo de 4 anos se dedicaram ao árduo trabalho com o solo, raízes e serrapilheira;

Aos colegas de pós graduação que estiveram ao meu lado nesta caminhada.

A Thiza, Kalill, Ana, Elizabeth, Gláucia, Ewerton pelas constantes ajudas com os trabalhos diários do LEMAF.

Ao professor Carlos Alberto Silva pelos diversos conselhos e ensinamentos.

Ao professor José Roberto Soares Scolforo por acreditar em minha capacidade e confiar em meu trabalho, o que foi determinante em minhas escolhas e alcance de meus objetivos.

Ao meu orientador e amigo Professor José Márcio de Mello, pelas conversas, conselhos, ajudas desde a graduação e acima de tudo pela confiança e acreditar em minha capacidade estando sempre disposto ajudar.

À minha família, amigos, e em especial a minha esposa Stela e filha Cecília, pela compreensão e amor.

“se, a princípio, a ideia não é absurda, então não há esperança para ela”

Albert Einstein

RESUMO

Estudos de quantificação de carbono podem servir de base para criação de políticas públicas que auxiliem na manutenção da vegetação em sua forma natural. Em ecossistemas vegetais o carbono encontra-se estocado nas plantas, serrapilheira e solo. O presente trabalho, constituído de três artigos, apresenta valores e mapas dos teores e estoques de Carbono para o Cerrado de Minas Gerais. O primeiro artigo demonstra funções de pedotransferência para estimativa de teores de C no solo, quantifica os teores e estoques e apresenta um mapeamento desses estoques do C no solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm, para o bioma Cerrado como um todo. O artigo 2 trata da quantificação da biomassa, estoques e teores de C da serrapilheira e apresenta o mapa gerado através do interpolador espacial Krigagem. No terceiro artigo estão presentes a quantificação de biomassa, teores e estoques de C das raízes e os mapas de estoque de C, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm e para as espessuras < 5, 5-10 e > 10 mm, para o Cerrado de todo o estado de Minas Gerais.

Palavras-chave: Cerrado *Sensu Stricto*. Estoque de carbono. Mudanças climáticas.

ABSTRACT

Quantification of carbon can serve as a basis for creating public policies that help in maintaining the vegetation in its natural form. Plant ecosystems in the carbon is stored in-plants, litter and soil. This work, consisting of three articles, features values of the concentration and maps values of carbon stocks for the Cerrado of Minas Gerais. The first article presents pedotransfer functions for estimating soil C levels, quantifies the concentrations and stocks and presents a mapping of these stocks in soil C at 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 and 60-100 cm, for the biome Cerrado as a whole. The article 2 quantifies the biomass and carbon stocks and carbon contents in the litter and shows the map generated by spatial Kriging interpolation. The third article addresses the quantification of biomass, concentration and stock of the C of the roots, and maps of the stock of C stock in the layer 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm and thicknesses <5, 5-10 and > 10 mm for the Cerrado throughout the state of Minas Gerais..

Keywords: Cerrado *Sensu Stricto*. Carbon stock. Climate change.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Ciclo do carbono no cerrado (Adaptado de Aduan, Vilela e Klink 2003).....	14
--	----

SUMÁRIO

Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Biomassa e carbono da parte aérea.....	15
2.2 Biomassa e carbono da Serrapilheira.....	17
2.3 Biomassa e carbono das raízes.....	20
2.4 Carbono estocado no solo.....	22
3 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	26
REFERÊNCIAS.....	29
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS.....	36
Artigo 1 - Concentrações e estoques de carbono em solos do Cerrado do estado de Minas Gerais, Brasil.....	36
Artigo 2 - Espacialização dos estoques de carbono da serrapilheira do cerrado no Estado de Minas Gerais.....	77
Artigo 3 - Mapeamento do estoque de carbono em raízes do bioma Cerrado em Minas Gerais.....	99

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o aumento das concentrações de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera tem contribuído de forma expressiva com as mudanças climáticas. Entre os diversos fatores responsáveis por essas mudanças, os desmatamentos contribuem por aproximadamente 25% das emissões anuais de CO₂ atmosférico em todo o globo (PAIVA; FARIA, 2007). Por outro lado, no Brasil, as mudanças do uso da terra e o desmatamento são as principais práticas que contribuem para o fluxo de carbono do solo para a atmosfera, colocando em quarto lugar, atrás dos Estados Unidos, China e Rússia, no *ranking* dos países que mais emitem CO₂ para atmosfera (MATTHEWS et al., 2014). Em Minas Gerais o desmatamento e mudanças do uso do solo respondem por 54% das emissões de gases de efeito estufa (BRASIL, 2010). Por esse motivo, nos últimos anos o estudo do ciclo do carbono torna-se cada vez mais necessário.

Dentre os ecossistemas terrestres, as florestas são os maiores sumidouros de carbono, haja vista, que as plantas e o solo em maior percentual, são grandes sequestradores e armazenadores de carbono (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003; CUNHA et al., 2009; LAL, 2008; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 1999; PAIVA; FARIA, 2007; SILVEIRA et al., 2008). Assim, torna-se de fundamental importância o entendimento de seus ciclos e capacidade de estoque em seus mais diversos compartimentos para quantificação do carbono estocado em diferentes ecossistemas sob diferentes regimes de manejo.

Minas Gerais ainda preserva cerca de 35% de sua área coberta por vegetação nativa, sendo que 62% dessa área corresponde ao bioma Cerrado e os outros 38% à Mata Atlântica. No entanto, pouco se sabe sobre os ciclos do carbono dentro dos biomas citados, o tamanho de seus estoques e a velocidade dos fluxos entre estes estão distantes de ser compreendidos, pois as estimativas

existentes, frequentemente, estão fragmentadas na literatura e disponíveis em publicações de circulação restrita.

Segundo Silveira et al. (2008) diversos trabalhos têm sido realizados visando ao desenvolvimento de metodologias de estimativa dos estoques de carbono nos diversos compartimentos de uma floresta de forma indireta. Porém, tais trabalhos são muito isolados e quase sempre tratam de apenas um compartimento do ecossistema em estudo ou de uma pequena representação de um ecossistema, não estimando o todo.

Assim, torna-se eminente a necessidade de desenvolvimento de metodologias que sejam capazes de estimar com boa precisão os estoques de carbono nos diversos compartimentos de um ecossistema florestal.

O objetivo com as pesquisas realizadas para esta tese foi quantificar a biomassa, os teores e estoques de carbono, presentes nas raízes, serrapilheira e solo de 26 fragmentos de Cerrado situados no estado de Minas Gerais e gerar mapas de distribuição espacial para estoques de carbono das raízes, solo e serrapilheira para o Cerrado de Minas Gerais.

O conteúdo deste material está dividido em duas partes. Na primeira parte é apresentado o referencial teórico e as conclusões gerais alcançadas como um todo. A segunda parte é composta por três artigos. No primeiro artigo trata-se da modelagem e espacialização das concentrações e estoques de carbono no solo do cerrado de Minas Gerais. O segundo aborda a quantificação da biomassa, teor e estoque de carbono na serrapilheira e mapeamento dos estoques de carbono da serrapilheira para o Cerrado do estado de Minas Gerais. No terceiro e último artigo apresenta-se os estoques de biomassa, teor e estoque de carbono e o mapeamento dos estoques de carbono nas raízes, em diferentes profundidades e espessuras de coleta, para o Cerrado do referido estado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Cerrado é o segundo maior bioma encontrado no Brasil, ocupando área de aproximadamente 2.036.758,6 Km² distribuídas por 15 Estados brasileiros, incluindo o Distrito Federal (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2004), o que o faz representar uma fração expressiva dos biomas terrestres (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003).

O clima predominante é o Tropical Sazonal, de inverno seco, com temperatura média anual de 22,5 °C e médias mensais muito variáveis. A precipitação média varia de 1200 a 1800 mm (IBGE, 2004), com chuvas concentradas de setembro a abril do ano seguinte, chovendo mais próximo da Amazônia e menos próximo à Caatinga. No restante do ano, passa por períodos secos, onde praticamente não chove (LIMA, 2011), com a umidade relativa variando entre 10% a 30% (BRASIL, 2009). O bioma também é responsável por abrigar nascentes de oito das doze grandes bacias hidrográficas brasileiras (DURIGAN, 2010; LIMA, 2011),

Mesmo com tamanha importância, o Cerrado já perdeu 48,46% de sua vegetação nativa (IBGE, 2004) e, ainda, vem sofrendo com a alta taxa de desflorestamento (REZENDE et al., 2006; RUFINI et al., 2010).

Em Minas Gerais, o bioma Cerrado ocupa uma área de 122.147Km², considerando as diferentes variações fisionômicas encontradas no estado (campo, campo rupestre, campo cerrado, cerrado *Sensu Stricto*, cerradão e vereda) (CARVALHO et al., 2008).

O cerrado *Sensu Stricto*, fisionomia mais representativa do bioma Cerrado, ocupava originalmente 65% da área geográfica total do bioma no Brasil (MARIMON JÚNIOR; HARIDASAN, 2005). Em Minas Gerais, o cerrado *Sensu Stricto* abrange cerca de 28 % da flora nativa do estado (CARVALHO et al., 2008). Apesar da importância do Cerrado para a manutenção da

biodiversidade e do significativo desmatamento, pouco se sabe sobre o ciclo do carbono nesse bioma.

No Brasil, as mudanças do uso da terra e o desmatamento são as principais práticas que contribuem para o fluxo de carbono do solo para a atmosfera, colocando em quarto lugar, assim como os Estados Unidos, China e Rússia, no *ranking* dos países que mais emitem CO₂ para atmosfera (MATTHEWS et al., 2014). Em Minas Gerais o desmatamento e as mudanças do uso do solo respondem por 54% das emissões de gases de efeito estufa (BRASIL, 2010).

O ciclo do carbono varia em cada ecossistema, e até mesmo dentro do mesmo ecossistema. Na Figura 1, adaptada de Aduan, Vilela e Klink (2003), está representado o esquema do ciclo do carbono em áreas de Cerrado.

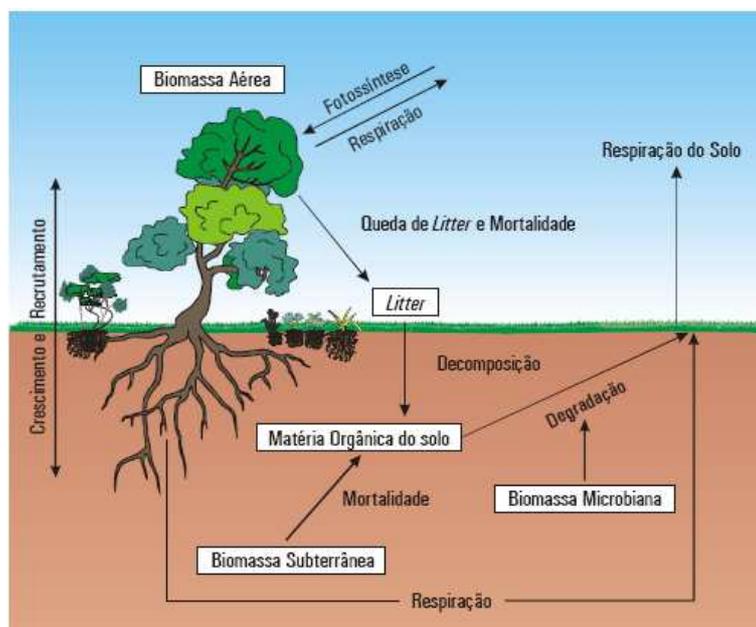


Figura 1 Ciclo do carbono no cerrado
Fonte: Adaptado de Aduan, Vilela e Klink (2003)

Estudos como os de Barbosa et al. (2012), Bayer et al. (2006), Paiva e Faria (2007), Rezende et al. (2006), Ribeiro et al. (2011), Scolforo et al. (2008c) e Vale e Felfili (2005) quantificaram o estoque de carbono em alguns compartimentos de áreas de cerrado. No entanto, reduzidos estudos, como os de Morais et al. (2013a) e Paiva, Rezende e Pereira (2011), realizaram a quantificação do carbono estocado em todas os compartimentos (aérea, serrapilheira, raízes e solos) da área estudada.

Aduan, Vilela e Klink (2003) comentam que pouco se sabe sobre a forma pela qual o carbono é ciclado, a velocidade dos fluxos e a magnitude do estoque de carbono no Cerrado, devido à falta de estimativas pontuais e acuradas. Os poucos dados existentes estão dispersos na literatura científica, e em alguns casos é necessário recorrer a dados publicados para outras savanas neotropicais. No mesmo sentido, Paiva Rezende e Pereira (2011) comentam que ainda são necessários estudos, para melhor compreensão do processo de conversão de biomassa em CO₂ no bioma Cerrado.

Portanto, para que a capacidade de estocagem de carbono no Cerrado seja mais bem entendida é necessário realizar estudos que contemplem o máximo de compartimentos de um ecossistema vegetal.

2.1 Biomassa e carbono da parte aérea

Em Minas Gerais, em um trabalho pioneiro, Scolforo et al. (2008a) estimaram o estoque de carbono presente na biomassa aérea lenhosa, com diâmetro mínimo de 3 cm de toda vegetação nativa para o estado de Minas Gerais. O carbono foi estimado a partir de equações de estoque de carbono geradas após a cubagem rigorosa de 539 plantas de diferentes espécies e classes de diâmetro distribuídas por todo estado de Minas Gerais. Os seguintes valores médios foram gerados por fitofisionomia: Floresta Ombrófila (196,7 MgC ha⁻¹), Floresta Estacional Semidecidual (151,8 MgC ha⁻¹), Floresta Estacional

Decidual (38,1 MgC ha⁻¹), Cerradão (31,8 MgC ha⁻¹), Cerrado *Sensu Stricto* (14,2 MgC ha⁻¹) e Campo Cerrado (5,3 MgC ha⁻¹) (SCOLFORO et al., 2008b, 2008c, 2008e). Na mesma linha científica, Scolforo et al. (2008d) estimaram também os estoques de carbono para floretas plantadas de *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp para todo estado de Minas Gerais.

Morais et al. (2013a) determinaram em 26,3% a contribuição da parte aérea no estoque total de C de um fragmento de cerradão, correspondendo ao estoque médio de 36,78 MgC ha⁻¹.

Aplicando a metodologia de estimativa direta Ribeiro et al. (2011) encontraram quantidades de biomassa aérea variando de 12,89 a 107,36 Mg.ha⁻¹ em uma área de cerrado no Norte do estado de Minas Gerais. A amplitude entre os valores observados demonstra a grande variação dessa fitofisionomia.

Em uma área de cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal Vale e Felfili (2005) determinaram a biomassa em 12,4 Mg.ha⁻¹, foi utilizado um fator de conversão de 0,5 para conversão em estoque de C, o que resultou em 6,2 Mg.ha⁻¹ de carbono estocado na parte aérea. Vale e Felfili (2005), também no Distrito Federal, encontraram 12,38 Mg.ha⁻¹ de biomassa aérea. Aplicando equações alométricas, Abdala et al. (1998) estimaram a biomassa aérea de um cerrado do Distrito Federal em 22,90 Mg.ha⁻¹. Ainda no Distrito Federal, Rezende et al. (2006) obtiveram como estimativas médias de biomassa e carbono os respectivos valores $9,8 \pm 1,1$ Mg.ha⁻¹ e $7,9 \pm 0,54$ Mg.ha⁻¹.

Estudando a distribuição da biomassa nas diferentes fitofisionomias do Cerrado, desde o campo limpo até o cerradão, Castro e Kauffman (1998) verificaram que a biomassa aérea tende a ser maior à medida que a vegetação tende a ser mais densa. Na ocasião o estoque de biomassa passou de 21,9 Mg.ha⁻¹, no campo limpo, para 77,9 Mg.ha⁻¹ no cerradão.

No Maranhão, Imãnas-Encinas e De Paula (2003) analisaram a vegetação de três áreas de cerrado, e estimaram em $31,63 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a quantidade média de biomassa da matriz aérea.

Melo e Durigan (2006) trabalhando com reflorestamento de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, concluíram que o estoque de biomassa é de 60% superior na mata ciliar que em domínio de cerrado, e que há grande variação no incremento de biomassa que não é explicado somente pela idade.

Em povoamentos de Acácia-Negra de diferentes idades Schneider et al. (2005) utilizando metodologia para estimativa do estoque de carbono na biomassa aérea, encontram estoques que variaram de $31,03 \text{ MgC ha}^{-1}$, para povoamentos de 4 anos, a $63,76 \text{ MgC ha}^{-1}$, para povoamentos com 8 anos.

Utilizando o fator de conversão de 0,5 Rocha (2011) estimou, a partir da biomassa, em $19,35 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ o estoque de carbono da matriz aérea de uma floresta estacional localizada no estado de Goiás.

Amaral et al. (2010) concluíram que a biomassa e carbono apresentam forte dependência espacial de distribuição e afirmam que a estatística clássica não é suficiente para explicar o comportamento de tais variáveis, sendo necessário recorrer à estatística espacial para explicar tais eventos.

2.2 Biomassa e carbono da Serrapilheira

A serrapilheira ou serapilheira, aqui tratada como serrapilheira, é definida como a camada de materiais depositados sobre o solo que permanecem até a decomposição por processos físico-químicos e bióticos (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003) e posteriormente incorporados ao solo. Essa camada é formada por folhas, flores, frutos, caules, restos animais e material fecal (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003; BELLOTE; DEDECEK; SILVA, 2008; CARREIRA; RONDON; ZAIDAN, 2006; SILVA et al., 2007).

É uma importante fonte de nutriente aos ecossistemas tropicais (SANFORD, 1986; VITOUSEK, 1986 citado por ADUAN; VILELA; KLINK, 2003; BELLOTE; DEDECEK; SILVA, 2008) e contribui para o acréscimo do conteúdo de matéria orgânica e carbono ao solo (BELLOTE; DEDECEK; SILVA, 2008). Sua decomposição é influenciada pelos efeitos da temperatura e da umidade da camada superior ao solo (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003).

Em geral, a produção de serrapilheira é contínua e em quantidades diferentes, sendo influenciada pela época do ano e fitofisionomia (CARREIRA; RONDON; ZAIDAN, 2006; SILVA et al., 2007, 2009).

Morais et al. (2013a) observaram valores de biomassa de serrapilheira para um cerrado de Minas Gerais, variando de 4,86 a 19,31 Mg.ha⁻¹, teor 43,8 a 47,8 % e estoque de C de 2,28 a 8,9 Mg.ha⁻¹.

Comparando uma área de cerrado com outra de cerrado *sensu stricto* Silva et al. (2007) encontraram produção média de serrapilheira de 1,1 Mg ha⁻¹ para o cerrado e de 0,6 Mg ha⁻¹, para o cerrado *sensu stricto*, os autores comentam, ainda, que existe uma maior produção no período da seca, para ambas fisionomias.

Paiva, Rezende e Pereira (2011) encontraram valores variando de 4,5 a 9,5 Mg.ha⁻¹ de biomassa de serrapilheira, com média de 7,1 Mg.ha⁻¹, teor de carbono variando de 52 a 57,7% e o estoque de 2,3 Mg.ha⁻¹ a 4,8 Mg.ha⁻¹, com média de 3,6 Mg.ha⁻¹, para um fragmento de cerrado do Distrito Federal. Segundo os mesmos autores, quando comparados a outros ecossistemas florestais o cerrado apresenta baixa biomassa de serrapilheira.

Através de coleta de toda camada de serrapilheira em áreas amostrais de 1,0 m², Ribeiro et al. (2011) determinaram em 6,3 Mg.ha⁻¹, a quantidade média de biomassa de serrapilheira depositada sobre o solo de um fragmento de cerrado *sensu stricto* de Minas Gerais.

O IPCC sugere o fator de conversão de 0,37 para transformação de biomassa em estoque de carbono de serrapilheira.

Cunha et al. (2009), trabalhando com florestas Montanas da Mata Atlântica e do Rio de Janeiro encontraram $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono estocado na serrapilheira, para um fragmento de 200 ha, localizado a 900 m de altitude e $3,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ o carbono estocado em um fragmento com área de 10 ha localizado a 600 m de altitude.

Em uma floresta semidecidual Torres et al. (2013) determinaram em $4,54$ a $9,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ o estoque de biomassa e $2,32$ a $4,83 \text{ Mg ha}^{-1}$ o estoque de carbono.

Em floresta ombrófilas os valores de biomassa de serrapilheira encontrados por Caldeira et al. (2008) foram de $4,47$ a $5,28 \text{ Mg ha}^{-1}$. Já Watzlawick et al. (2012) encontraram $8,01 \pm 1,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ e o estoque de carbono de $3,06 \pm 0,69 \text{ Mg ha}^{-1}$. Já na Amazônia, Fearnside (1994) analisou diversos trabalhos e chegou a um valor médio de estoque de carbono na serrapilheira de $10,3 \text{ Mg.ha}^{-1}$.

Aduan, Vilela e Klink (2003) adaptaram valores de Ottmar et al. (2001), para diferentes fisionomias de cerrado, sendo: $0,10$; $0,37$; $0,97$ e $0,97 \text{ Mg ha}^{-1}$, para campo limpo, campo sujo, cerrado *sensu stricto* e cerradão, respectivamente, que sofreram queimadas a mais de um ano antes da coleta dos dados.

Os valores de estoque de carbono na serrapilheira são muito variados e sofrem influência direta da fitofisionomia (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003), pois esta é formada por diferentes espécies arbóreas, as quais estocam diferentes quantidades de carbono em suas folhas, flores, frutos e galhos (SILVA et al., 2009).

Estudos com estoques de carbono em serrapilheira ainda são escassos, como já mencionado, cada ecossistema apresenta diferentes estoques de

carbono, que variam de acordo com a fitofisionomia, nível de antropização e número de plantas.

2.3 Biomassa e carbono das raízes

As raízes são responsáveis por exercer funções vitais nas plantas. São fundamentais na sustentação e responsáveis por captar e translocar água e nutrientes do solo para planta (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003; FREITAS; BARROSO; CARNEIRO, 2008). Além disso, as raízes são uma das principais fontes de matéria orgânica e via de entrada de carbono ao solo.

Normalmente, são divididas em 3 classes de diâmetro, sendo: as grossas (> 10 mm), médias (5,1 a 10 mm) e as raízes finas (< 5 mm). As raízes médias apresentam baixa taxa de regeneração, por outro lado, as finas, com alta taxa de regeneração, são substituídas frequentemente, promovendo maiores áreas de solo exploradas pela planta (FREITAS; BARROSO; CARNEIRO, 2008).

Em épocas secas, as raízes consomem quantidades significativas de carbono, para manter as suas enzimas e as membranas de suas células ativas (FREITAS; BARROSO; CARNEIRO, 2008).

Morais et al. (2013a) encontraram 6,38 Mg ha⁻¹ de biomassa de raízes em um cerradão. Para a mesma área o estoque de carbono variou de 1,12 Mg ha⁻¹ a 34,15 Mg.ha⁻¹. A grande amplitude também foi observada por Watzlawick et al. (2012), que encontraram valores variando de 14,69 ± 10,55 Mg ha⁻¹.

Em uma profundidade de até 200 cm Castro e Kauffmann (1998), encontraram valores de biomassa de raízes de 59,2 Mg ha⁻¹, para cerrado denso; 46,6 Mg ha⁻¹, para cerrado *sensu stricto*; 30,1 Mg ha⁻¹, para campo sujo; e 16,3 Mg ha⁻¹ para campo limpo. Concluíram que 80% da biomassa radicular estão nos primeiros 30 cm de profundidade no campo cerrado e cerrado *sensu stricto*.

Considerando o estoque de carbono abaixo do solo (raízes e solo) Paiva e Faria (2007) e Paiva, Rezende e Pereira (2011) salientam que apenas 7% do

carbono estocado se encontram nas raízes. Os mesmos autores citam valores de 46,63 Mg ha⁻¹ de biomassa de raízes na profundidade até 200 cm; o estoque de carbono para mesma profundidade foi de 22,38 MgC ha⁻¹, para um cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal. No mesmo trabalho, os autores apresentaram valores significativamente diferentes, para estoques de carbono entre raízes finas e grossas, sendo as grossas responsáveis pelo maior estoque de carbono e acúmulo de biomassa, o que também é citado por Barbosa et al. (2012).

Froufe, Rachwal e Seoane (2011) observaram valores de estoque de carbono 0,42 a 0,89 MgC ha⁻¹ para uma capoeira. Jia e Akiyawa (2005), estudando florestas decíduas de clima temperado do Japão, encontraram valores de 19,6 MgC ha⁻¹ para raízes vivas e 1,8 MgC ha⁻¹ para raízes mortas.

Torres et al. (2013) utilizaram uma equação proposta pelo IPCC e estimaram a biomassa de raízes em 16,22 MgC ha⁻¹. Laclau (2003), após um estudo com plantações de *Pinus ponderosa* no Noroeste da Patagônia, realizou ajustes de equações para estimar a biomassa e o estoque de carbono aos 10 e 20 anos, em função do DAP. O autor concluiu que os mesmos podem ser satisfatoriamente preditos apenas com o uso desta variável.

Scolforo et al. (2008a) realizaram ajustes de equações para estimativa do volume de raízes, em duas macrorregiões de cerrado *sensu stricto* de Minas Gerais. O modelo escolhido foi o de Schumacher e Hall logarítmico (variáveis independentes o DAP e Ht). As equações ajustadas apresentaram boas estatísticas de ajustes, porém com valores de erro padrão dos resíduos elevados. No entanto, tal fato é típico de amostras de sistema radicular de árvores nativas, pois existe grande variação nas amostras.

Trabalhando com *Hevea* spp. com 12 anos na Zona da Mata Mineira, Fernandes et al. (2007) ajustaram equações para estimativa de estoque de carbono, a partir da altura total e do DAP. Porém, ao contrário da variável DAP,

a altura não foi significativa para estimar o estoque de carbono em raízes da espécie citada.

2.4 Carbono estocado no solo

O solo, maior e mais complexo sumidouro de carbono existente, é uma camada de material transformado sobre a terra, advindo da mistura de minerais, material orgânico, ar, organismos vivos, e água (GUILHERME; LIMA, 2003). Por apresentar grande heterogeneidade em sua formação apresenta concentrações de carbono muito variadas (LAL, 2008; MARCHIORI JUNIOR; MELO, 1999; MELO; DURIGAN, 2006; NOVAES FILHO et al., 2007; ZHENG et al., 2008), armazenando de duas a três vezes a quantidade de carbono estocada na vegetação (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003; CUNHA et al., 2009; PAIVA; FARIA, 2007).

Nos ecossistemas savânicos Scurlock e Hall (1998 citado por ADUAN; VILELA; KLINK, 2003), citam que cerca de 80% do carbono se encontra estocado no solo e que sua distribuição é bastante irregular. Contudo, pode-se afirmar que em cerrados mais ralos a quantidade de carbono no solo deve ser menor que em cerrados mais densos.

Incorporados pela serrapilheira e raízes, o carbono estocado no solo é resultado de milhares de anos de formação (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003). As raízes finas, por apresentarem alta taxa de ciclagem, são grande fornecedoras de carbono ao solo (FREITAS; BARROSO; CARNEIRO, 2008), pois se decompõem em grandes quantidades durante o período de seca (PAIVA; FARIA, 2007).

Em cerrados, segundo Paiva e Faria (2007), o solo é responsável por armazenar mais de 90% do carbono existente abaixo da serrapilheira. Morais et al. (2013a) determinaram em 64,8% o percentual de contribuição do estoque de carbono total de um fragmento de cerradão em Minas Gerais.

Analisando cinco áreas de cerrado *sensu stricto* de Minas Gerais, Morais et al. (2013b) determinaram os teores de C variando de 0,15% a 1,38%, com média de 51%.

Analisando a distribuição do carbono em profundidade pode-se encontrar algumas diferenças entre os estoques, o que, segundo (LAL, 2008; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 1999; MELO; DURIGAN, 2006; MORAIS et al. 2013b; NOVAES FILHO et al., 2007; PAIVA; FARIA 2007; ZHENG et al., 2008), está ligado ao tipo fisionômico. Paiva e Faria (2007) encontraram maiores valores de estoque de carbono nas profundidades de 20-40 cm em um cerrado *sensu stricto*, no entanto, os mesmos autores citam outros trabalhos nos quais encontraram maiores valores nas profundidades mais superficiais para mata nativa, pastagens e povoamentos de eucalipto. Castro e Kauffman (1998) verificaram maior concentração de carbono nas profundidades iniciais em um cerrado e Morais et al. (2013b) também descrevem as camadas superficiais (0-20 cm) como detentora das maiores concentrações de C.

Os estoques de carbono tendem a apresentar uma distribuição exponencial, sendo maior na superfície e decrescendo com o aumento da profundidade (ARROUAYS; PELISSIER, 1994; BAYER et al., 2006; CORAZZA et al., 1999; FREIXO et al., 2002; JOBBÁGY; JACKSON, 2000; LAL, 2005, 2008; MORAIS et al., 2013b; PAIVA; REZENDE; PEREIRA, 2011; SALTON et al., 2011; SKOPURA et al., 2012; ZINN; LAL; RESCK, 2005).

Zinn et al. (2012) encontraram efeito da classe de solo na distribuição vertical do C, sendo que os Latossolos apresentaram menor teor de C na superfície, mas também com menor decréscimo no perfil, já os Neossolos e Cambissolos mostraram tendências opostas.

Na profundidade de 0-40 cm Fernandes e Fernandes (2008), adaptado de Jantalia et al. (2006), apresentam valores de carbono no solo de cerrado variando

de 81,9 MgC ha⁻¹, e de 24,2 MgC ha⁻¹, para mesma profundidade em solos do cerrado no Pantanal.

A partir da proporção de biomassa de raízes de um cerrado do Distrito Federal, Paiva e Faria (2007) estimaram em 271,23 MgC ha⁻¹ o estoque de carbono até a profundidade de 0-200 cm. Como referência, os autores apresentam valores de 94,41 MgC ha⁻¹ na profundidade de 0-200 cm para o cerrado denso brasileiro.

Melo e Durigan (2006) compararam estimativas de estoque de carbono no solo, em matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil, os autores estimaram valores de 79,7 MgC ha⁻¹, para áreas de florestas; já para áreas nativas de cerrado *sensu stricto*, utilizadas para comparação, obtiveram estimativas de 50 MgC ha⁻¹ de carbono estocado no solo.

Estudando 4 diferentes reflorestamentos (*Pinus elliottii*, *Cunninghamia lanceolata*, *Camellia oleifera* e regeneração natural secundária) implantados no Sul da China, Zheng et al. (2008) concluíram que, naquela ocasião, não existiam diferenças significativas entre os estoques de carbono encontrados no solo.

Em dois fragmentos de Floresta Ombrófila Densa de formação Montana, localizados na Mata Atlântica, região norte do estado do Rio de Janeiro, Cunha et al. (2009), encontraram valores bem aproximados de estoque de carbono no solo, na profundidade 0-80 cm, para os dois fragmentos, sendo de: 134 MgC ha⁻¹, para um fragmento de 200 ha localizado a 900 m de altitude e 130 MgC ha⁻¹, para o segundo fragmento, com área de 10 ha localizado a 600 m de altitude.

Por apresentar grande variabilidade nos valores, que por vezes são tão distintos em pequenas distâncias, alguns autores afirmam que a estatística clássica não é suficiente para explicar as concentrações de carbono no solo (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003; NOVAES FILHO et al., 2007), sendo necessário recorrer a técnicas de estatística espacial.

Nesse sentido, Novaes Filho et al. (2007), estudando solos sob floresta primária na Amazônia meridional, trabalharam a distribuição espacial do carbono e concluíram que o atributo apresenta dependência espacial tanto no horizonte superficial quanto subsuperficial. Suas estimativas foram de $59,74 \pm 10,30 \text{ MgC ha}^{-1}$, para Floresta Ombrófila Densa de formação submontana.

Simbahan et al. (2006), Sun, Minasny e Mcbratney (2012) e Zhang et al. (2013) trabalharam com técnicas geoestatísticas para o mapeamento de propriedades do solo e geraram mapas com alto grau de confiabilidade, tornando as estimativas mais confiáveis.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Diversos trabalhos científicos que abordam a problemática das mudanças climáticas, em especial a quantificação dos estoques de C nos ecossistemas vegetais, são publicados anualmente, no entanto é notável que a dispersão encontrada entre os valores de estoque de C disponíveis são muito variados, mesmo dentro de uma mesma área, o que dificulta a tarefa de descrever esses estoques e apresentar metodologias de estimativas, uma vez que fica impossível tomar valores como referência.

Os diversos trabalhos citados apresentam, na sua maioria, uma análise estatística dos valores encontrados para determinadas áreas, e que nem sempre abordam o ecossistema vegetal como um todo, fechando a base de dados em pequenas ilhas de dados coletados. O que de certa forma, mesmo com grande quantidade de trabalhos publicados, deixa uma lacuna no entendimento sobre os estoques de carbono. Portanto, buscou-se ao longo desta tese, dividida em três artigos, apresentar valores de referência e a distribuição espacial dos estoques de carbono na serrapilheira, raízes e solo do domínio do Cerrado no estado de Minas Gerais, gerando mapas de distribuição da referida variável. O que será de grande valia, uma vez que para grandes áreas é comum utilizar valores *default* que não consideram as diferenças encontradas nestas.

Os solos, tema do primeiro artigo, apresentam os maiores estoques de C, sendo observado que a maior parte do C estocado neste compartimento se encontra nas camadas superficiais e que à medida que se aprofunda no solo os estoques e teores tendem a diminuir. Foi possível realizar o mapeamento dos estoques de C nas profundidades de 0-10cm, 10-20cm, 20-40cm, 40-60cm e 60-100 cm, sendo utilizada a técnica da *krigagem* com regressão.

Os estoques de carbono da serrapilheira apresentaram dependência espacial entre as amostras, o que permitiu a utilização da *krigagem* para geração de mapas para o Cerrado do estado de Minas Gerais.

As raízes foram estudadas nas profundidades semelhantes as do solo e também divididas por espessuras (< 5 mm; 5-10 mm; e >10 mm). A camada superficial e as raízes de maior espessura apresentaram maior estoque de biomassa e carbono. Os teores apresentaram pouca variação, porém foram estatisticamente diferentes em algumas profundidades e espessuras. O estoque de carbono das raízes apresentou dependência espacial entre as amostras, o que possibilitou gerar mapas de estoque de C das raízes nas diferentes profundidades e espessuras para o cerrado de Minas Gerais.

Considerando os resultados obtidos foi concluído que existe dependência espacial para estoques de carbono da serrapilheira, raízes e solo do cerrado de Minas Gerais, sendo possível a geração de mapas utilizando interpoladores estatísticos, os quais servirão como referência para estimativa dos estoques de carbono.

Valores médios e desvio padrão observados de biomassa, teor e estoque de C por compartimento são apresentados para cada fitofisionomia do Cerrado de Minas Gerais na Tabela 1.

Tabela 1 Valores médios de biomassa, teor e estoques de carbono encontrados para os diferentes compartimentos estudados por fitofisionomias do Cerrado de Minas Gerais

Compartimento	Fitofisionomia	Biomassa (Mg/ha)		Teor de C (%)		Estoque de C (Mg/ha)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Solo	Campo Cerrado	-	-	1,5	0,7	28,4	14,6
	Cerrado <i>Sensu</i>						
	<i>Stricto</i>	-	-	1,3	1,2	23,8	17,6
	Cerradão	-	-	1,0	0,6	22,5	10,9
Serrapilheira	Campo Cerrado	6,8	4,1	42,3	5,3	2,9	1,8
	Cerrado <i>Sensu</i>						
	<i>Stricto</i>	8,7	5,6	44,2	3,8	3,9	2,6
	Cerradão	11,2	6,8	40,5	3,8	4,6	2,8
Raízes	Campo Cerrado	3,7	4,7	44,3	2,9	1,7	2,2
	Cerrado <i>Sensu</i>						
	<i>Stricto</i>	2,5	4,1	44,9	3,5	1,1	1,8
	Cerradão	1,5	2,4	44,3	2,5	0,7	1,0

REFERÊNCIAS

- ABDALA, G. C. et al. Above a belowground organic matter and root: shoot ratio in a Cerrado in Central Brazil. **Brasilian Journal of Ecology**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 11-23, 1998.
- ADUAN, E. A.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p.
- AMARAL, L. P. et al. Análise da distribuição espacial de biomassa e carbono arbóreo acima do solo em floresta ombrófila mista. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, p. 103-114, 2010.
- ARROUAYS, D.; PELISSIER, P. Modeling carbon storage profiles in temperate forest humic loamy soils of France. **Soil Science**, Baltimore, v. 157, n. 157, p. 185-192, 1994.
- BARBOSA, R. I. et al. Root biomass, root:shoot ratio and belowground carbon stock in the open savannahs of Roraima, Brazilian Amazonia. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 60, p. 405-416, 2012.
- BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, p. 237-245, 2006.
- BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serrapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 56, p. 31-41, 2008.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: emissões de gases de efeito estufa no setor uso da terra, mudanças do uso da terra**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215990.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2011.
- BRASIL. **O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, 2009. 132 p.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantification of litter and nutrients on an Atlantic Rain Forest. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.

CARREIRA, R. C.; RONDON, J. N.; ZAIDAN, L. B. P. **Produção de serrapilheira em uma área de cerrado de Mogi Guacu, SP**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. 11 p.

CARVALHO, L. M. T. et al. Análises espaciais e estatísticas da flora nativa em Minas Gerais. In: CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. **Monitoramento da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008. p. 25-316.

CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 14, p. 263-283, 1998.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 23, p. 425-432, 1999.

CUNHA, G. M. et al. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas Montana da Mata Atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 1157-1185, 2009.

DURIGAN, G. O futuro do cerrado mediante o código florestal. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 62, n. 4, out. 2010. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252010000400002>. Acesso em: 22 jun. 2012.

FEARNSIDE, P. M. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂: UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1., 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD/FBDS, 1994. p. 95-124.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. 4 p. (Comunicado Técnico, 69).

FERNANDES, T. J. G. et al. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea spaos* 12 anos de idade, na Zona da Mata Mineira. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, p. 657-665, 2007.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, p. 133-142, 2008.

FREIXO, A. A. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo de cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solos**, Campinas, n. 26, p. 424-434, 2002.

FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G.; SEOANE, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestrata para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 143-154, 2011.

GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M. **Recursos naturais renováveis e impacto ambiental**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 69 p.

IMÃNAS-ENCINAS, J.; DE PAULA, J. Análise da vegetação de cerrado no município de Santa Quitéria, Maranhão. **Brasil Florestal**, Brasília, n. 78, p. 33-42, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas e de vegetação**. 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 1 maio 2014.

JANTALIA, C. P. et al. Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo de solo. In: ALVES, B. J. R. et al. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases do efeito estufa**. Porto Alegre: Embrapa Agrobiologia, 2006. p. 35-57.

JIA, S.; AKIYAMA, T. A precise, unified method for estimating carbon storage in cool-temperate deciduous forest ecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 134, p. 70-80, 2005.

JOBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, Ithaca, n. 10, p. 423-436, 2000.

LACLAU, P. Root biomass and carbon storage of ponderosa pine in a northwest Patagonia plantation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 173, p. 353-360, 2003.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v. 363, p. 815-830, 2008.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 220, p. 242-258, 2005.

LIMA, J. E. F. W. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 63, n. 3, jul. 2011.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 257-236, 1999.

MARIMON JÚNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado Sensu Stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 19, p. 913-926, 2005.

MATTHEWS, H. D. et al. National contributions to observed global warming. **Environmental Research Letter**, Philadelphia, v. 9, p. 1-9, 2014.

MELO A. C. G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brazil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 71, p. 149-154, 2006.

MORAIS, V. A. et al. Carbon and biomass stocks in a fragmente of cerradão in Minas Gerais state, Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 237-245, abr./jun. 2013a.

MORAIS, V. A. et al. Modelagem do teor de carbono orgânico de fragmentos de cerrado de Januária e Bonito de Minas, Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 343-354, out./dez. 2013b.

NOVAES FILHO, J. P. et al. Distribuição espacial de carbono em solo sob floresta primária na Amazônia Meridional. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, p. 83-92, 2007.

PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. Estoque de carbono do solo sob Cerrado *Sensu Stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Tropic – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 1, p. 59-65, 2007.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado *Sensu Stricto* do Distrito Federal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 527-538, 2011.

REZENDE, A. V. et al. Comparison of mathematical models to volume, biomass and carbon stock estimation of the woody vegetation of a Cerrado *Sensu Stricto* in Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 71, p. 65-76, 2006.

RIBEIRO, S. C. et al. Above- and belowground biomass in a Brazilian cerrado. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, n. 3, p. 491-499, 2011.

ROCHA, C. C. C. **Estimativa de volume, biomassa e carbono da vegetação lenhosa de floresta estacional no estado de Goiás**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

RUFINI, A. L. et al. Equações volumétricas para o cerrado *Sensu Stricto*, em Minas Gerais. **Cerne**, Lavras v. 16, n. 1, p. 1-11, jan./mar. 2010.

SALTON, J. C. et al. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1349-1356, 2011.

SCHNEIDER, P. R. et al. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de Acácia-Negra (*Acacia mearnsili* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, p. 391-402, 2005.

SCOLFORO, J. R. et al. Equações para estimar o volume de madeira das fisionomias, em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W. **Inventário florestal de Minas Gerais**: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa. Lavras: UFLA, 2008a. p. 1-65, 117-128, 181-194.

SCOLFORO, J. R. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono para o domínio Atlântico em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; SILVA, C. P. C. **Inventário florestal de Minas Gerais**: floresta estacional semidecidual e ombrófila: florística, estrutura, diversidade, similaridade,

distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal. Lavras: UFLA, 2008b. p. 463-629.

SCOLFORO, J. R. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono para o domínio da Caatinga. In: MELLO, J. M.; SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T. **Inventário florestal de Minas Gerais: cerrado: florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal.** Lavras: UFLA, 2008c. p. 157-208.

SCOLFORO, J. R. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. **Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento dos reflorestamentos e tendências da produção em volume, peso de matéria seca e carbono, 2005-2007.** Lavras: UFLA, 2008d. p. 93-145.

SCOLFORO, J. R. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. **Inventário florestal de Minas Gerais: floresta estacional decidual: florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e manejo florestal.** Lavras: UFLA, 2008e. p. 363-438.

SILVA, C. J. et al. Contribuição de folhas na formação de serrapilheira e no retorno de nutrientes em florestas de transição no norte de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, p. 591-600, 2009.

SILVA, C. J. et al. Produção de serrapilheira no cerrado e floresta de transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, p. 543-548, 2007.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, p. 185-206, 2008.

SIMBAHAN, G. C. et al. Fine-resolution mapping of soil organic carbon based on multivariate secondary data. **Geoderma**, Amsterdam, v. 132, p. 471-489, 2006.

SKORUPA, A. L. A. et al. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Campinas, v. 36, n. 1, p. 11-22, 2012.

SUN, W.; MINASNY, B.; Mc BRATNEY, A. Analysis and prediction of soil properties using local regression-kriging. **Geoderma**, Amsterdam, v. 171/172, p. 16-23, 2012.

TORRES, C. M. E. et al. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma Floresta Estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 37, n. 4, p. 647-655, 2013.

VALE, A. T.; FELFILI, J. M. Dry biomass distribution in a cerrado *sensu stricto* site in central Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 661-669, 2005.

WATZLAWICK, L. F. et al. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 353-362, 2012.

ZHANG, S. et al. Spatial interpolation of soil texture using compositional kriging and regression kriging with consideration of the characteristics of compositional data and environment variables. **Journal of Integrative Agriculture**, Beijing, v. 12, n. 9, p. 1673-1683, 2013.

ZHENG, H. et al. Variation of carbon storage by different reforestation types in the hilly red soil region of southern China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 1113-1121, 2008.

ZINN, Y. L. et al. Perfis de carbono orgânico do solo nas regiões Sul e Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais: modelagem em profundidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 36, p. 1395-1406, 2012.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 127, p. 168-173, 2005.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

Artigo 1 - Concentrações e estoques de carbono em solos do Cerrado do estado de Minas Gerais, Brasil

RESUMO

Os solos são os maiores sumidouros de carbono em ecossistemas terrestres. Por outro lado, a quantificação do C estocado no solo é dispendiosa de tempo e recursos financeiros. Objetivou-se modelar a distribuição em profundidade e ajustar funções de pedotransferência para teores de C, além de gerar mapas de estoque de C para o Cerrado de Minas Gerais. Os dados foram coletados em fragmentos de Cerrado no Estado de Minas Gerais nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm. Foram encontrados valores médios de C de 1% para o Cerradão, 1,3 % para o Cerrado *Sensu Stricto* e 1,5% para o Campo Cerrado. A distribuição em profundidade apresentou-se de forma decrescente, sendo maior na superfície do solo. Foi possível ajustar funções de pedotransferência para 5 camadas de solo em também para camada de 0-100 cm. Os estoques de C foram de 10,9 Mg.ha⁻¹ para o Cerradão, 14,6 para o Campo Cerrado e 17,6 Mg.ha⁻¹ para o Cerrado *Sensu Stricto*. Utilizando a metodologia Krigagem com regressão foi possível gerar mapas, com boa precisão, dos estoques para o Cerrado de Minas Gerais.

Palavras-chave: Krigagem com regressão. Mudanças climáticas. Manejo Florestal.

ABSTRACT

Soils are the largest carbon sinks in terrestrial ecosystems. Moreover, the measurement of C stored in the ground is expensive in time and financial resources. Aimed to model the depth distribution and adjust pedotransfer functions for C content, and generate maps of C stock for the Cerrado of Minas Gerais. Data were collected in fragments of Cerrado in Minas Gerais in the depth of 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 and 60-100 cm. Average values of C 1% for the Savana, 1.3% for cerrado sensu stricto and 1.5% were found Campo Cerrado. The depth distribution presented in decreasing order, being higher at the soil surface. Were adjusted to 5 pedotransfer functions in soil layers also for the 0-100 cm layer. The C stock was 10.9 Mg ha⁻¹ for Savana, the Campo Cerrado 14.6 and 17.6 Mg ha⁻¹ for the Cerrado sensu stricto. Using the Kriging methodology with regression was possible to generate maps with good precision, the stocks for the Cerrado of Minas Gerais.

Keywords: Regression Kriging. Climate Change. Forest Management.

1 Introdução

O Brasil apresenta área de 8.514.877 Km², onde são encontrados 6 diferentes biomas. O Cerrado, segundo maior em área, é encontrado em aproximadamente 24 % do território (IBGE, 2009). Porém, estima-se que mais de 45% dessa área já foi desmatada, e o que resta vem sofrendo grande pressão antrópica. Em Minas Gerais o Cerrado é encontrado em aproximadamente 122.214 Km², apresentando diferentes variações fisionômicas (Carvalho, L. M. T. et al., 2008), que vão desde campo, onde não são encontradas indivíduos arbóreos, até o cerradão, com indivíduos arbóreos de grande porte.

Mesmo com a grande extensão territorial e sua expressiva importância, o cerrado ainda é pouco estudado no que tange pesquisas sobre sua capacidade de sequestro e armazenamento de carbono (Aduan et al., 2003). No cerrado, os solos são responsáveis pelos maiores estoques de carbono (Aduan et al., 2003; Cunha et al., 2009; Lal, 2008; Marchiori Júnior & Melo, 1999; Morais et al., 2013; Paiva & Faria, 2007; Silveira et al., 2008), sendo observado de duas a três vezes mais C do que o encontrado na vegetação (Cerri & Cerri, 2007, Morais et al., 2013b).

A baixa quantidade de estudos reflete a dificuldade de determinação dos estoques de C no solo, por ser dispendiosa de tempo e recursos financeiros, pois utilizam-se técnicas de coleta ainda pouco desenvolvidas, que são desgastantes aos responsáveis pelas coletas, quando realizadas em profundidades abaixo dos 40 cm. Por outro lado, é possível encontrar técnicas que auxiliam na estimativa dos teores e estoques de C. Arrouays & Pelissier (1994), Kay et al. (1997), Morais et al. (2013b), Zinn et al. (2005) ajustaram modelos de regressão para estimativa das concentrações de C no solo e obtiveram sucesso, mostrando ser possível modelar essa variável. Em estudos de propriedades do solo estes modelos são conhecidos como funções de pedotransferência, e são de muita valia na estimativa de variáveis de difícil aquisição utilizando outras de mais fácil determinação, como é o caso do teor de carbono em profundidade, como no caso do Cerrado de Minas Gerais.

Também técnicas que se utilizam da estatística espacial são ferramentas de grande valia para mapeamentos em grandes áreas. Como exemplo, citam-se os trabalhos de Mello et al. (2013), Simbahan et al. (2006), Sun et al. (2012) e Zhang et al. (2013). Estes autores utilizaram a metodologia conhecida como "Krigagem com regressão", que aplica técnicas de ajuste de modelos geográficos e geoestatística para estimativas e mapeamento da distribuição espacial da variável de interesse. Em todos os casos citados os autores concluíram que esta

técnica apresenta bons resultados para geração de mapas com a distribuição espacial da variável de interesse.

Neste sentido, objetivou-se com esse trabalho: a) analisar a distribuição das concentrações de C no perfil do solo, para o cerrado de Minas Gerais; b) ajustar funções de pedotransferência para estimativa das concentrações de C em diferentes profundidades de coleta do solo do cerrado de Minas Gerais; e c) mapear os estoques de C em 5 diferentes profundidades do solo do cerrado de Minas Gerais.

2 Material e Métodos

Caracterização fisiográfica do estado de Minas Gerais

O estado de Minas Gerais possui área de 586.528 Km², com altitude variando de 50 a 2500 m, sendo as maiores altitudes encontradas ao sul do estado (Figura 1), a temperatura anual média varia de 14°C, ao sul a 27°C ao norte (Figura 2b), e a precipitação anual média varia de aproximadamente 700 mm, ao norte a 2.000 mm ao sul do estado (Figura 2d).

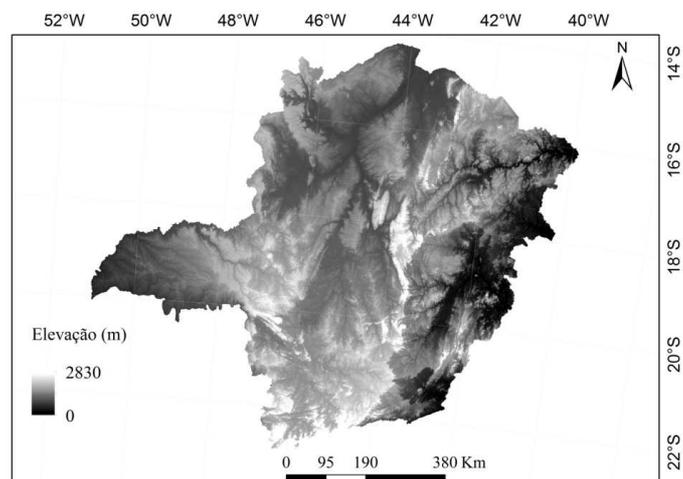


Figura 1 Modelo Digital de Elevação (MDE) para Minas Gerais derivado do NASA-SRTM data.

No estado ainda é possível encontrar aproximadamente 34% de sua área total coberta por vegetação nativa, divididos em dois grandes biomas (Figura 2a). O Cerrado é o principal deles cobrindo 62% desta área (121.821 Km²) (Carvalho et al. 2008), sendo este bioma contemplado neste estudo.

Com clima regulamente sazonal (Figura 2c) , solos em geral bem drenados e ácidos, principalmente Latossolos, Cambissolos, e Neosolos Quartzarênicos, sua vegetação apresenta cobertura do solo variando de 10% (Campo sujo) a 80% (Cerradão), essa com formação de dossel contínuo. O estrato lenhoso, composto por árvores e arbusto tortuosos, varia de 1,5 m a 15 m de altura (Oliveira Filho, et al. 2006).

A fisionomia campo cerrado apresenta baixo número de árvores e arbustos, e maior densidade de estrato herbáceo, esse sendo encontrado com ampla distribuição no estado, portanto, baixos valores de peso de matéria seca, volume e área basal. O Cerrado *Sensu Stricto* apresenta estrato arbóreo arbustivo cobrindo de 10 a 60%, com número de árvores e arbusto, peso de matéria seca, volume de madeira e área basal com valores medianos. Já o Cerradão apresenta dossel fechado, cobrindo até 80% da área, apresenta número de árvores, peso de matéria seca, volume de madeira e área basal com os maiores valores para esse bioma, aproximando-se dos valores para florestas semidecíduais e mata seca. Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios das principais variáveis biométricas dos diferentes tipos fisionômicos em estudo no estado de Minas Gerais.

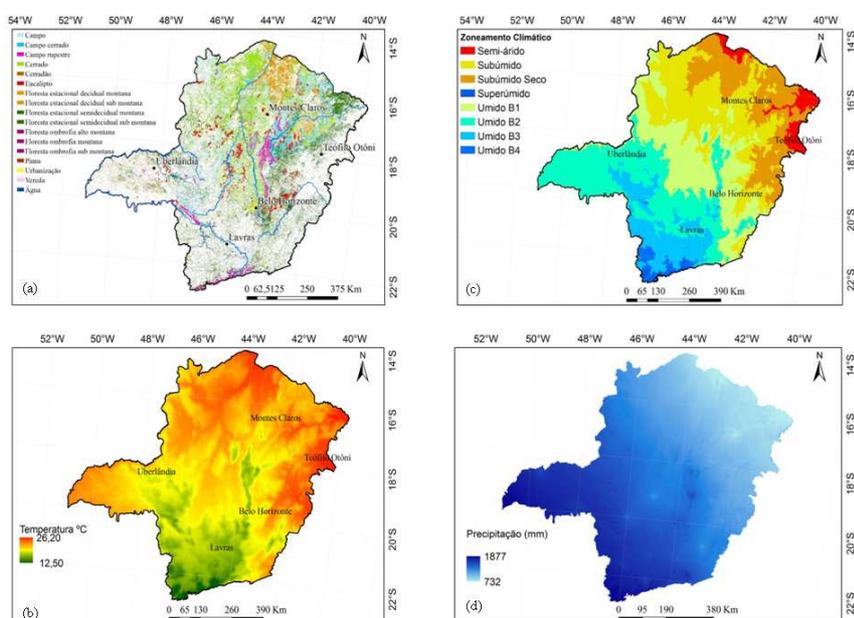


Figura 2 Classificação da vegetação do estado de Minas Gerais (a), classificação climática (b), temperatura anual média (c) e precipitação anual média (d) para o estado de Minas Gerais, adaptados do Inventário Florestal de Minas Gerais e Zoneamento Climático Econômico do Estado de Minas Gerais.

Tabela 1 Valores médios para as principais variáveis biométricas dos tipos fisionômicos em estudo para o estado de Minas Gerais. N: número de plantas por hectare; G: área basal média (m^2/ha); Dg: diâmetro médio quadrático (cm); H: altura média da plantas (m); Vol: volume médio (m^3/ha); PS: peso de matéria seca (Mg/ha); C: estoque de carbono (Mg/ha) Adaptado do Inventário Florestal da Flora Nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais (Scolforo et al., 2008a).

Tipo fisionômico	N	G	Dg	H	Vol	PS	C
Campo cerrado	370,4	3,5	11,2	4,3	17,7	10,9	5,0
Cerrado Sensu Stricto	1168,9	9,4	10,2	5,1	48,5	29,3	14,3
Cerradão	1626,8	18,3	12,0	7,4	128,9	64,6	35,1

Amostragem

Os dados foram coletados em 26 fragmentos florestais que fazem parte da rede de parcelas permanentes do Inventário Florestal de Minas Gerais (Scolforo et al., 2008b) (Figura 3). Esses fragmentos (Tabela 3) foram selecionados por cobrir as amplitudes de temperatura, altitude, precipitação e diferenças fisionômicas encontradas no cerrado de Minas Gerais (Tabela 2).

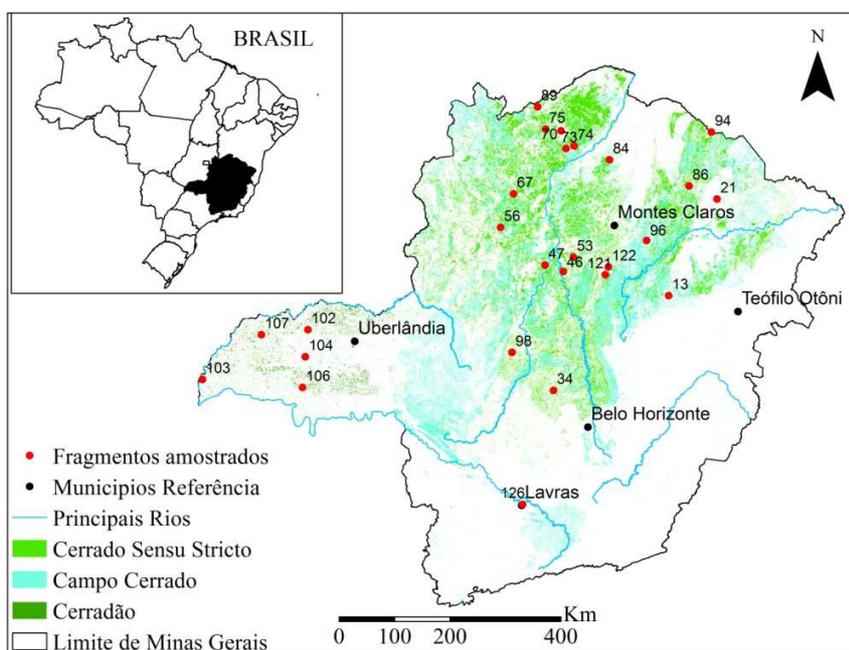


Figura 3 Área de estudo destacando as principais fitofisionomias do Cerrado e fragmentos onde houve coleta de dados (pontos vermelhos vide Tabela 3)

Em cada fragmento selecionado foram sorteados pontos amostrais em 30% das parcelas, totalizando 176 pontos amostrais, e em cada ponto foram efetuadas coletas em 5 diferentes profundidades (0-10; 10- 20; 20-40; 40-60 e 60 - 100 cm), conforme metodologia apresentada em Morais et al. (2013a) e Morais

et al. (2013b). Em cada ponto amostral procedeu-se a coleta de amostras de serrapilheira, raízes e solos nas 5 profundidades. Todo material foi coletado utilizando como referência de área um gabarito de aço com dimensões de 0,5 x 1 m (0,5 m²).

Detalhes do processamento e análise do material coletado estão descritas em Morais et al.(2013a) e Morais et al. (2013b).

Para cada fragmento também foram quantificados: números de árvores por hectare, biomassa de serrapilheira, biomassa de raízes na camada de 0-100 cm, além de análise de micro e macro nutrientes e textura do solo (Tabela 2).

Tabela 2 Média e amplitude de clima, altitude, biomassa de serrapilheira, número de plantas de 176 pontos amostrados, raízes e propriedades do solo, sendo média de 0-100 cm de profundidade de 880 amostras.

Variável	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura anual média (°C)	18,7	22,3	24,2
Precipitação anual média (mm)	850	1215	1802
Altitude (m)	394	709	1000
Densidade (g/cm ³)	0,83	1,3	1,78
Areia (%)	3	56	97
Silte (%)	0	50	76
Argila (%)	0	34	84
CTC pH 7	1,1	5,9	28,9
Número de Plantas por hectare	70	608	1360
Biomassa de Serrapilheira (t ha ⁻¹)	0,04	9,11	42,90
Biomassa de Raízes (t ha ⁻¹)	0,24	6,8	28,5

Distribuição vertical da concentração de carbono no solo

Os dados foram submetidos a análise estatística, gerando informações de média, e desvio padrão para os teores e estoques de C. Posteriormente, os dados de teor de C foram plotados em relação a profundidade de coleta com os valores

médios e desvios padrão. Estes valores foram confrontados com o número de plantas na parcela amostrada, biomassa de serrapilheira e raízes, temperatura, precipitação, altitude de coleta, densidade, textura e propriedades do solo.

Tabela 3 Descrição dos fragmentos amostrados, sendo: LO = longitude, LA = latitude, Área = ha, A = altitude média em metros, Cl. = classificação climática de Thornthwaite, T = temperatura média anual em °C, P.= precipitação média anual em milímetros, Solo = tipo de solo predominante

FRAG.	Site	MUNICÍPIO	FITOFISIONOMIA	LO	LA.	ÁREA (ha)	A (m)	Cl.	T (°C)	P (mm)	Solo
122	BC	Bocaiúva	Cerrado Sensu Stricto	-43,889864	-17,393484	320,6	859	C2-Subúmido	20,8	1192	Latossolo
56	BM	Brasilândia de Minas	Campo Cerrado	-45,860608	-16,942919	236,8	578	C2-Subúmido	22,9	1285	Latossolo
70	BO	Bonito de Minas	Cerrado Sensu Stricto	-44,967976	-15,338316	253,0	588	C1-Subúmido seco	23,6	1073	Latossolo
47	BU	Buritizeiro	Cerrado Sensu Stricto	-45,011723	-17,46707	271,0	551	C2-Subúmido	22,7	1256	Latossolo
121	BV	Bocaiúva	Cerrado Sensu Stricto	-43,884693	-17,402881	223,1	869	C2-Subúmido	20,9	1193	Latossolo
103	CA	Carneirinho	Cerradão	-50,966346	-19,673938	150,3	398	B1-Úmido	23,2	1801	Latossolo
106	CG	Comendador Gomes	Cerradão	-49,152433	-19,696143	89,4	585	B1-Úmido	21,7	1695	Latossolo
102	CN	Canápolis	Cerradão	-49,130591	-18,791085	312,3	725	B1-Úmido	21,5	1633	Latossolo
86	FL	Fruta de Leite	Campo Cerrado	-42,630751	-15,988766	284,5	890	C1-Subúmido seco	21,7	949	Cambissolo
107	GU	Gurinhata	Cerradão	-49,958026	-18,918459	285,0	486	B1-Úmido	22,8	166	Latossolo
96	IB	Itacambira	Cerrado Sensu Stricto	-43,265279	-16,916486	307,3	915	C1-Subúmido seco	20,5	108	Cambissolo
13	ID	Itamarandiba	Cerrado Sensu Stricto	-42,767851	-17,737874	488,2	944	C2-Subúmido	20,4	1089	Latossolo
73	JA	Januária	Cerrado Sensu Stricto	-44,848689	-15,608586	56,7	508	C1-Subúmido seco	24,2	1076	Latossolo
74	JB	Januária	Cerrado Sensu Stricto	-44,826722	-15,597419	74,8	512	C1-Subúmido seco	24,2	1076	Latossolo
89	JC	Januária	Cerrado Sensu Stricto	-45,415147	-14,996287	336,2	758	C1-Subúmido seco	22,6	1076	Latossolo
53	JE	Jequitaiá	Cerrado Sensu Stricto	-44,523472	-17,298247	859,5	560	C1-Subúmido seco	22,7	1200	Latossolo
75	JG	Januária	Cerrado Sensu Stricto	-45,236971	-15,33535	488,3	620	C1-Subúmido seco	23,4	1079	Latossolo
126	LC	Lavras	Cerrado Sensu Stricto	-44,983878	-21,226226	3,8	950	B2-Úmido	18,8	1529	Latossolo
98	MN	Morada Nova de Minas	Cerrado Sensu Stricto	-45,444015	-18,879258	234,4	620	C2-Subúmido	21,8	1375	Latossolo
94	MO	Montezuma	Cerrado Sensu Stricto	-42,351164	-15,102924	201,0	985	C1-Subúmido seco	21,8	867	Latossolo
34	PP	Papagaios	Cerrado Sensu Stricto	-44,633219	-19,405103	355,2	717	B1-Úmido	20,9	1350	Latossolo
104	PR	Prata	Cerrado Sensu Stricto	-49,143428	-19,215066	301,3	619	B1-Úmido	21,8	1658	Latossolo
21	SB	Salinas	Cerrado Sensu Stricto	-42,117867	-16,142252	591,2	845	C1-Subúmido seco	22,6	912	Cambissolo
67	SR	São Romão	Cerrado Sensu Stricto	-45,689511	-16,399172	725,8	515	C1-Subúmido seco	23,5	1216	Neossolo Flúvico
84	VA	Varzelândia	Cerrado Sensu Stricto	-44,070123	-15,715382	240,9	823	C1-Subúmido seco	22,3	1042	Latossolo
46	VP	Várzea da Palma	Cerrado Sensu Stricto	-44,677282	-17,537579	677,1	512	C1-Subúmido seco	22,9	1233	Gleissolo

Foram calculados fatores de concentração relacionando o percentual de C na camada de 0-20 cm em relação à camada 20-100 cm, a fim de identificar diferenças entre os teores na camada superficial e mais profundas.

Funções de Pedotransferência

Os ajustes das funções de pedotransferência foram realizados por camada de coleta do solo e também na camada de 0-100 cm. As variáveis independentes selecionadas para o ajuste foram densidade do solo, CTC a pH 7 e concentração de argila, por serem as variáveis que mais se correlacionaram com a concentração de C. Na camada de 0-100 cm, a profundidade foi adicionada como variável independente.

Para cada camada foram ajustadas 4 funções de pedotransferência, sendo uma completa, considerando todas as variáveis independentes, e as outras 3 com apenas uma variável independente cada. Na camada de 0-100 cm de profundidade foi utilizada em todos os ajustes.

Mapeamento dos estoques de C no solo

Modelos geográficos

Modelos lineares multivariados para estimativa dos estoques de carbono foram ajustados para as diferentes camadas de coleta de solo em função da latitude (LA), longitude (LO) e altitude (A). Através do modelo linear multivariado selecionado foi feita a estimativa do carbono estocado nas diferentes profundidades.

Para ajuste dos modelos lineares multivariados foram utilizados os dados de Altitude (A, em metros acima do nível do mar), adquiridos do NASA-SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Esses valores foram utilizados para todos os pontos de coleta de material considerando o Modelo Digital Elevação (MDE) (Figura 1), com grid de células de 0,1 Km, para validação e criação dos mapas de distribuição dos estoques de carbono. A Latitude e Longitude, coletados em campo com uso de um GPS (Global Position System) no formato

de coordenadas geográficas. De posse da base de dados, os modelos lineares multivariados foram ajustado, em função da Latitude (LA) e Longitude (LO) (em graus decimais negativos) e altitude (A) (em metros).

Para ajuste dos modelos foram utilizadas as técnicas de construção de modelos Backward, Stepwise e Forward através do software R 3.0.0. Este procedimento admite a avaliação estatística, individualmente, de todos os indicadores que podem ter influência sobre a variável dependente, por meio do teste AIC. Assim é possível avaliar a contribuição de cada variável independente do modelo, e por meio de sua significância estatística e coeficiente parcial de determinação (R^2 parcial). Para evitar multicolinearidade, o procedimento "Step" seleciona apenas as variáveis significativas dadas pelo teste "t" de Student, rejeitando aquelas variáveis não significativas ou redundantes de acordo com uma tolerância específica (5% para este estudo) (Ferreira, 2008).

Este procedimento de ajuste tem sido aplicado em diversas áreas do conhecimento em ciências naturais, tais como: Angulo-Martinez et al. (2009), Mello et al. (2013), Sun et al. (2012) e Zhang S. et al. (2013) para modelos de precipitação média anual, erosividade da chuva e propriedades do solo, respectivamente. O modelo geral testado inicialmente foi

$$\text{Estoque de C} = \beta_0 + \beta_1 * A + \beta_2 * LA + \beta_3 * LO + \beta_4 * A^2 + \beta_5 * LA^2 + \beta_6 * LO^2 + \beta_7 * A * LA + \beta_8 * A * LO + \beta_9 * LA * LO$$

onde $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{15}$, são os coeficientes estimados para regressão e A, LA e LO são as variáveis geográficas de entrada e suas combinações, que geraram outras variáveis, como A*LA, LA*LO, etc, seguindo o critério para modelos multivariados apresentados em Ferreira (2008). Após rodar os ajustes, os modelos foram selecionados com números diferentes de variáveis independentes para cada camada de coleta.

Validação das Funções de Pedotransferência e dos Modelos Geográficos

A adequação dos ajustes das funções de pedotransferência e dos modelos lineares multivariados foram avaliadas pelo coeficiente de

determinação ajustado (R^2 ajustado), média do erro médio absoluto percentual (EMA), erro percentual médio (E, %) e gráfico de valores ajustados em relação aos observados. Os gráficos foram construídos utilizando 20% da base de dados que foram separadas exclusivamente para validação dos modelos.

Erro médio absoluto e erro percentual médio foram calculados utilizando as seguintes equações.

$$EMA(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{|O_i - P_i|}{O_i} \right)}{n} \times 100$$

$$E(\%) = \frac{\pi \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - P_i)}{O_i}}{n} * 100$$

sendo O_i e P_i os valores das concentrações ou estoques de C no solo observados e preditos, considerando a camada de 0-100 cm, respectivamente, e n corresponde ao número de amostras.

Uma base de dados geográficos foi criada para o estado de Minas Gerais com células de 0,01Km². Usando uma matriz de algoritmos no ArcGis (ESRI, 2004), combinando com os modelos geográficos ajustados neste trabalho foi possível estimar o estoque de C para cada célula, e, conseqüentemente, a geração de mapas raster. Os modelos foram aplicados utilizando os valores de LA, LO e A do Modelo Digital de Elevação (MDE) de cada célula.

Assim, mapas iniciais dos estoques de C foram gerados utilizando os modelos geográficos. Estes mapas foram detalhados utilizando a distribuição espacial dos resíduos gerados pelos modelos (Hengl et al. (2007), Simbahan et al. 2006, Sun et al. 2012, Zhang S. et al. 2013) a qual foi desenvolvida com base em krigagem ordinária. Esta abordagem visa melhorar a qualidade inicial das

estimativas dos estoques de C que pode não gerar uma distribuição espacial suficientemente detalhada desta variável. Este procedimento de mapeamento é conhecido como "regression-kriging" e consiste na combinação de modelos geográficos, que, neste caso, relacionam os estoques de C com variáveis geográficas e topográficas, e uma abordagem geoestatística aplicada aos resíduos (Ahmed e De Marsily, 1987; Lark e Beckett, 1998). A continuidade espacial dos resíduos foi avaliada utilizando o semivariograma e ajustando os modelos teóricos Exponencial, Esférico e Gaussiano, sendo escolhido o modelo que apresentou o melhor ajuste aos dados de validação. Um mapa de krigagem ordinária dos resíduos foi gerado utilizando os dados de validação e ajuste. É imprescindível que os resíduos apresentem distribuição tendendo a normal para aplicação deste procedimento.

Após a criação dos mapas finais foi realizado a soma dos mapas por camada para geração de uma mapa final de 0-100 cm de profundidade.

Os mapas de distribuição dos estoques de C e demais mapas auxiliares foram criados utilizando o ArcGis (ESRI, 2004).

Resultados e Discussão

Distribuição vertical do teor de carbono no solo

A Figura 4 apresenta a distribuição vertical da concentração de C. Os valores variaram de 0,04%, na camada mais profunda, a 6,4% na camada superficial. A amplitude entre os valores mínimos e máximos em cada camada de coleta diminuiu a medida que se aprofundou no solo. Na camada superficial, os valores variaram de 0,3% a 6,4%, (desvio padrão 1,5), enquanto na camada mais profunda, de 0,04% a 2,5% (desvio padrão de 0,6).

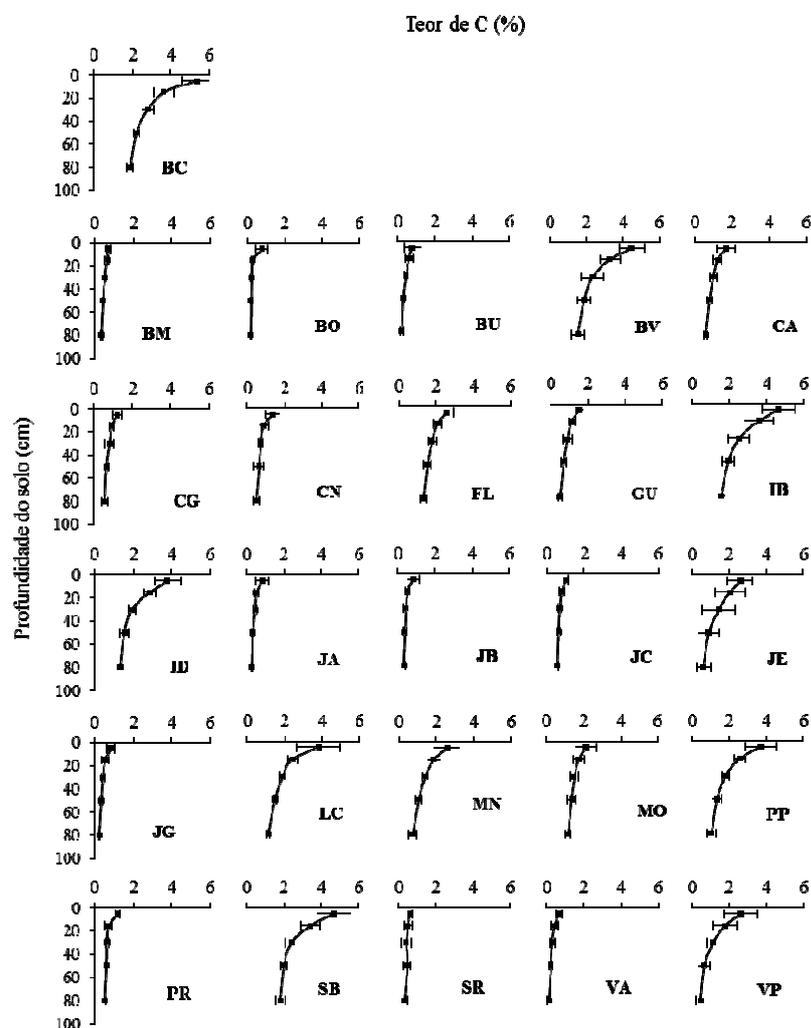


Figura 4 Distribuição vertical do teor de C (média e desvio padrão) nas diferentes áreas amostradas no cerrado de Minas Gerais

Os Latossolos predominaram em 81% das áreas e o clima subúmido seco em 50%. Com exceção do fragmento 67 (Neossolo) todas as demais seguiram mesma tendência quanto a concentração de C em profundidade, ou seja, uma curva exponencial. Esta área também foi a que apresentou menores

valores de C na camada superficial. O fragmento 56 apresentou concentração um pouco superior na camada superficial, porém, abaixo dos 10 cm de profundidade, seus valores foram semelhantes aos do 67. Em 50% das áreas a concentração de C na camada mais profunda foi inferior a 0,5% e em apenas 15% das áreas a concentração foi superior a 4% na camada 0-10 cm.

Os valores observados refletem os apresentados por Freixo et al. (2002), Bayer et al. (2006), Moraes et al. (2013b), Paiva et al. (2011), Skopura et al. (2012) e Zinn et al. (2005), que também observaram grande amplitude e maiores concentrações de C nas camadas superficiais, neste sentido Corazza et al. (1999); Lal (2005 e 2008) e Salton et al. (2011) comentam que a diferença entre acúmulo de resíduos sobre o solo e a quantidade de raízes finas na camada superficial pode explicar a grande amplitude observada nos teores de C no solo e os maiores teores de C nas camadas superficiais.

As áreas com maiores temperaturas e menores precipitações tenderam a apresentar menores valores na concentração de C. Essas áreas estão no norte e nordeste do estado, onde estão concentrados os maiores remanescentes de Cerrado (Figuras 2 a, b, c, d), o que também foi observado em Skopura et al. (2013) e corrobora com Jobbágy e Jackson (2000), que apontam relação da concentração de C com o clima.

Zinn et al. (2012) encontraram efeito da classe de solo na distribuição vertical do C, sendo que os Latossolos apresentaram menor teor de C na superfície, mas também com menor decréscimo no perfil. Os Neossolos e os Cambissolos mostraram tendência oposta, o que foi verificado em dois fragmentos de Cambissolos (96 e 21).

A distribuição vertical seguiu a tendência de curva exponencial apresentada por diversos autores (Arrouays e Pelissier 1994; Jobbágy e Jackson 2000; Salton et al. 2011; Sheikh et al. 2009; Zinn et al., 2012), tornando passível

a modelagem do C como função da profundidade (Morais et al., 2013; Zinn et al., 2005).

A relação entre o teor de C na camada 0-20/20-100 cm variou de 1,46 a 3,37, com média de 2,23. Com 61,5% das áreas apresentando 2 vezes mais C na camada superficial, e 11,5% apresentando 3 vezes mais (Figura 5). A análise deste fator de concentração é importante por apontar as áreas onde deve-se ter mais atenção aos estoques de C. Uma vez que, nos cenários de aumento de temperatura do planeta que se relacionam com aceleração da decomposição da matéria orgânica do solo, esses fragmentos com maiores relações podem se tornar mais vulneráveis em relação a perda de C do solo. Assim, aquelas áreas com valores mais próximos de 1 para essa relação teriam mais eficiência em manterem seus teores de C equilibrados.

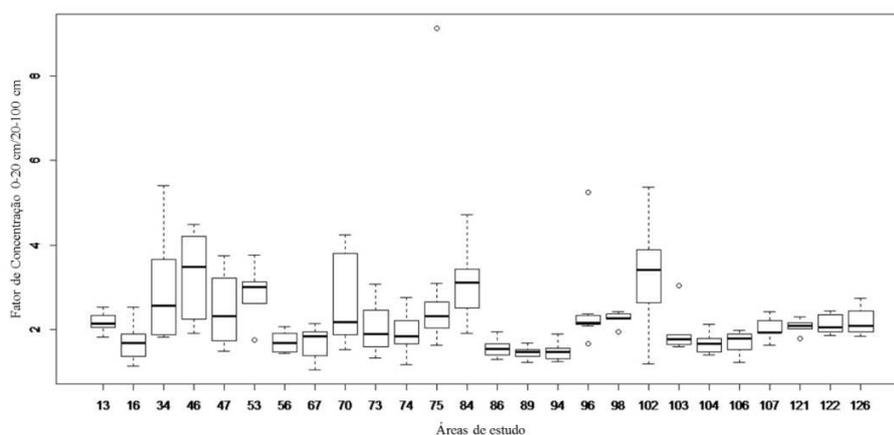


Figura 5 Box plot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95%) do fator de concentração de C na camada 0-20/20-100 cm para as 26 áreas de cerrado amostradas.

A complexa relação entre os condicionantes da concentração de C no solo são afetados por diversos fatores (Jobbágy e Jackson 2000; Lal 2005), sendo esta uma complexa interação entre clima, espécies arbóreas, tipo de solo e aporte de biomassa de serrapilheira e raízes (Lal 2005; Leifeld et al., 2005).

A longitude, altitude, concentração de argila e biomassa de serrapilheira apresentaram correlação significativa com o teor de C, sendo essa positiva. Oposto à temperatura, densidade do solo e areia que se correlacionaram negativamente. Estas tendências são amplamente discutidas nos trabalhos de (Alvarez e Lavado, 1998; Baritz et al., 2010; Berhongaray et al., 2013; Corazza et al., 1999, Jobbágy e Jackson, 2000; Lal, 2005; Morais et al., 2013b; Salton et al., 2001; Sheikh et al. 2009; Zhao e Zhou, 2006; Zinn et al., 2005). A latitude, número de plantas e biomassa de raízes não apresentaram correlação significativa com o teor de C (Tabela 4). Por outro lado, Morais et al. (2013) encontraram correlação significativa entre a biomassa de raízes e teor de C na camada de 0-100 cm.

Modelagem da concentração de C em profundidade

Para todas as camadas em estudo a correlação entre as variáveis independentes e a concentração de C foram significativas. A densidade apresentou correlação negativa e argila e CTC positiva. Nas três primeiras camadas a argila apresentou maior correlação. Já nas camadas mais profundas a correlação da densidade com a profundidade aumentou. Na camada de 0-100 cm a maior correlação da concentração de carbono foi verificada com CTC. Na camada de 0-100 cm a profundidade apresentou correlação negativa com o teor de C (Tabela 5). Tendências também apresentadas nos trabalhos de Bayer et al. (2006), Jobbágy e Jackson (2000) e Zinn et al. (2005).

Tabela 4 Coeficientes de correlação de Pearson entre teor de C e variáveis climáticas, latitude, longitude, propriedades do solo, número de plantas e biomassa de raízes e serrapilheira para camada de 0-100 cm. Teor: teor de C no solo, Long: longitude em graus decimais, Lat: latitude em graus decimais, T: temperatura, PP: precipitação média anual, Alt: altitude da área amostral, Estoque: estoque de C no solo, Densidade: densidade do solo, N: número de plantas por hectare, Serrap: biomassa de serrapilheira, Raiz: biomassa de raízes (unidades semelhantes as da Tabela1).

	Teor	LO	LA	T	PP	A	Estoque	Densidade	Areia	Silte	Argila	N	Serrap	Raízes	CTC
Teor	1	0,47	ns	-0,58	-0,11	0,68	0,89	-0,91	-0,88	ns	0,86	ns	0,49	ns	0,84

Tabela 5 Coeficientes de correlação de Pearson entre concentração de C e variáveis geográficas e propriedades do solo.

Camada de coleta	Latitude	Longitude	Altitude	Densidade	Argila	CTC	Profundidade
0-10	-0,30*	0,37*	0,58*	-0,74*	0,77*	0,76*	-
10-20	-0,26*	0,47*	0,64*	-0,73*	0,83*	0,76*	-
20-40	-0,22*	0,49*	0,67*	-0,81*	0,82*	0,69*	-
40-60	-0,16*	0,52*	0,71*	-0,86*	0,80*	0,56*	-
60-100	-0,16*	0,52*	0,71*	-0,86*	0,80*	0,56*	-
0-100	-0,20*	0,38*	0,53*	-0,70*	0,62*	0,72*	-0,41*

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Os ajustes das funções completas foram os melhores em todas as profundidades, apresentando maiores valores de R^2 ajustado, menores erros e também melhor validação gráfica. No entanto, quando a profundidade foi adicionada como variável independente a função estimou valores negativos, fato observado também nas funções que combinaram argila, profundidade, densidade e profundidade. Somente na combinação CTC e profundidade a função não estimou valores negativos. As estimativas negativas foram observadas para valores de concentração de C abaixo de 0,5 % (Tabela 6 e Figura 5).

Até a camada de 20-40 cm, as funções que tem como variável independente somente a argila apresentaram melhores ajuste entre aquelas com somente uma variável independente. A partir dessa profundidade os melhores ajustes foram observados utilizando como variável independente a densidade, que estimou valores negativos para as camadas superiores a 40 cm de profundidade, camadas essas que apresentaram menores correlações entre concentração de C e densidade do solo. As funções que tiveram a CTC como variável independente apresentaram os piores ajustes, com altos valores de erro e análise gráfica apresentando tendências (Tabela 6 e Figura 5).

Zinn et al. (2005), obtiveram bons ajustes para estimativa da concentração de C em função da argila + silte e profundidade do solo. Porém, trabalhos com funções de pedotransferência para estimativa das concentrações de C em solos de cerrado não são recorrentes. Por outro lado, Tomasella e Hodnett (2004) desenvolveram uma série de funções de pedotransferência para estimativa de diferentes propriedades de solos tropicais, e concluíram que as mesmas também se aplicam com segurança para solos temperados. Portanto, acredita-se que o inverso também seja verdadeiro, podendo se destacar os trabalhos de Arrouays e Pelissier (1994), Kay et al. (1997) e McBratney et al. (2010) que ajustaram funções de pedotransferência.

Tabela 6 Valores dos coeficientes ajustados e estatísticas de ajuste das funções de pedotransferência para estimativa da concentração do C no solo por camada e de 0-100 cm de profundidade no cerrado de Minas Gerais

Profundidade	Modelo	Intercepto	Argila	Densidade	CTC ph7	Profundidade	R ²	R ² aj	MAE	%
0-10	1	2,16530	0,01816	-1,19572	0,13006	-	0,71	0,71	34,03	17,62
	2	0,93588	0,04271	-	-	-	0,58	0,58	47,95	26,77
	3	7,12230	-	-4,01600	-	-	0,53	0,53	52,55	29,88
	4	0,38447	-	-	0,24541	-	0,58	0,57	43,07	26,12
10-20	1	1,57918	0,01860	-0,94301	0,08875	-	0,78	0,77	34,77	17,29
	2	0,49486	0,03440	-	-	-	0,68	0,68	47,96	27,36
	3	4,94420	-	-2,77240	-	-	0,46	0,46	68,75	43,82
	4	0,29678	-	-	0,20026	-	0,56	0,56	50,96	32,94
20-40	1	1,74095	0,01173	-0,98296	0,05775	-	0,74	0,74	36,38	19,14
	2	0,37386	0,02286	-	-	-	0,65	0,64	47,92	27,28
	3	4,41110	-	-2,48440	-	-	0,61	0,6	58,01	31,97
	4	0,36919	-	-	0,13859	-	0,41	0,4	63,7	41,13
40-60	1	2,88943	0,00348	-1,70438	0,03456	-	0,75	0,75	43,61	21,73
	2	0,31381	0,01781	-	-	-	0,61	0,61	50,8	29,12
	3	3,89710	-	-2,25540	-	-	0,71	0,71	52,95	26,89
	4	0,44724	-	-	0,09417	-	0,27	0,26	79,22	52,81
60-100	1	2,96848	-0,00212	-1,77309	0,05517	-	0,69	0,68	53,46	28,82
	2	0,31682	0,01329	-	-	-	0,47	0,47	62,96	-32,92

	3	3,10800	-	-1,77460	-	-	0,63	0,62	57,82	32,99
	4	0,40612	-	-	0,10093	-	0,25	0,25	88,44	61,02
0-100	1	3,07511	0,00576	-1,60948	0,10306	-0,01202	0,73	0,72	49,36	12,78
	2	1,14036	0,02634	-	-	-0,01904	0,59	0,59	66,17	23,82
	3	5,80119	-	-3,04370	-	-0,01479	0,63	0,62	65,11	22,29
	4	0,59340	-	-	0,18935	-0,00931	0,58	0,58	63,52	36,54

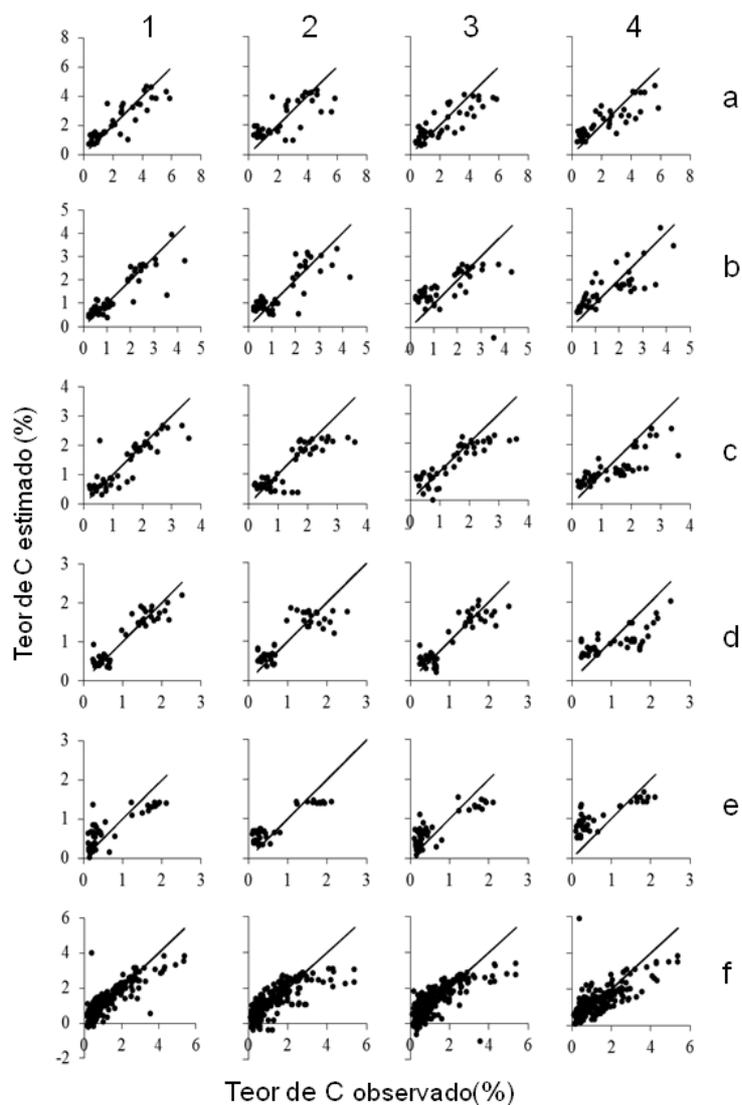


Figura 5 Validação das funções de pedotransferência para estimativa da concentração de C, sendo completa (1), somente argila (2), densidade (3), CTC (4), nas camadas 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-40 cm (c), 40-60 cm (d), 60-100 cm (e) e 0-100 cm (f)

Mapeamento dos estoques de C

Modelos geográficos

O coeficiente de correlação linear de Person entre o estoque de C e LA, LO e A para as diferentes camadas são apresentados na Tabela 5. Este teste estatístico é fundamental na definição das variáveis a serem utilizadas no ajuste dos modelos multivariados, pois possibilita entendimento de como os valores variam geograficamente. Tanto para latitude quanto para longitude, os coeficientes foram significativos em todas as profundidades. A longitude apresentou maior correlação com estoque de C, sendo que o coeficiente tendeu a aumentar com aumento da profundidade do solo. Com o aumento da longitude nota-se aumento dos estoques de C.

Latitude também ajuda a explicar os estoques de C, porém com menor peso nos modelos. A correlação negativa aponta diminuição nos estoques de C com aumento na latitude. A explicação para tal fato é devido ao aumento das temperaturas (Figura 4) e diminuição da precipitação (Figura 5) no sentido sul para norte do estado, influenciando diretamente no carbono estocado (Jobbágy e Jackson 2000, Lal 2005 e Salton et al. 2011).

A altitude apresentou os maiores coeficientes, e estes também tenderam a aumentar com aumento da profundidade do solo. O aumento da altitude se correlaciona com a diminuição da temperatura, diminuindo os estoques de C (Corazza et al. (1999), Jobbágy e Jackson (2000) e Lal (2005)), por diminuir a taxa de decomposição da matéria orgânica (Stevenson, 1994).

A precisão estatística dos modelos é apresentada na Tabela 7. Estas estatísticas foram obtidas utilizando somente os dados de validação. Estes dados foram separados da base original através de um sorteio aleatório, para cada camada, pois assim não se tem tendência nas escolhas dos dados de validação.

Com exceção da primeira camada, todas as demais apresentaram coeficientes de determinação ajustados (AdjstR^2) acima de 0,73, indicando que

os modelos podem ser utilizados com segurança para fins de previsão. Morais et al. (2013a) também observaram valores de AdjstR^2 menores na camada de 0-10 cm, e concluíram que tal fato se deve à complexa interação dos fatores edafoclimáticos e formação e distribuição de espécies florestal, e aporte de biomassa sobre o solo, que variam muito de uma área para outra. Zhang Y. et al. (2013) ajustaram modelos multivariados para predição de quantidade areia, silte e argila e obtiveram R^2 de 0,173; 0,115 e 0,136, respectivamente, e os modelos foram utilizados com segurança.

Com relação ao erro médio absoluto (%), os modelos apresentaram valores variando de 28,82 % a 43,09 % (Tabela 7), considerando a complexidade na modelagem dos estoques de carbono em grandes áreas, esses valores podem ser considerados satisfatórios, uma vez que os estoques de C são uma complexa interação de fatores edafoclimáticos (Lal (2005), Leifeld et al. (2005), Salton et al. (2011) e Sheikh et al. (2009)).

Outra característica importante na análise de ajustes de modelos multivariados é a distribuição dos resíduos, que subsidia a análise de homocedasticidade dos modelos. O teste de Shapiro-Wilk (Tabela 7) mostrou que os resíduos se distribuíram normalmente em todas as camadas, não apontando nenhuma tendência.

Tabela 7 Bias (%), mean absolute error (MAE, %), adjusted coefficient of determination (AdjR2) and Shapiro-Wilk (SW) test for normality applied to the residuals generated by carbon stock multivariate models.

Camada	Método	T (%)	MAE (%)	R ² ajust.	Teste de Shapiro Wilk (W;p)
0-10	Stepwise	23.58	43.09	0.477	0.964; 0.177
10-20	Stepwise	13.20	33.46	0.732	0.981; 0.329
20-40	Stepwise	13.92	31.05	0.731	0.944; 0.034 ^a
40-60	Stepwise	12.06	28.82	0.795	0.975; 0.461
60-100	Stepwise	13.15	31.73	0.767	0.926; 0.012 ^a

^a Significativo a 5% de probabilidade;.

Complementando a análise dos modelos, a Figura 6 apresenta os valores estimados em relação aos observados. Quanto mais próximo esses valores ficam da linha central melhor é o ajuste, ou seja, o modelo apresenta uma boa precisão. Mesmo apresentando valores de erro mais elevados é possível notar que os resíduos se anulam entre as superestimativas e subestimativas não apresentando tendências, o que é desejado em modelos de regressão, e gerando resíduos distribuídos normalmente, o que já foi verificado no teste Shapiro-Wilk.

A Tabela 8 apresenta os resultados dos modelos multivariados selecionados para cada profundidade do solo, mostrando os coeficientes estimados e também o teste “t” de Student para cada variável. A quantidade de coeficientes estimados variou de 6, na profundidade de 0-10 cm a 12 nas camadas 10-20 cm e 20-40 cm. Em todos os modelos não houve nenhum coeficiente não significativo e a maior parte deles apresentou alta significância estatística tornando os modelos muito confiáveis.

Tabela 8 Ajuste dos modelos para as profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 com coeficientes estimados pela regressão a significância estatística (Student “t” test) dos coeficientes estimados.

Coeficiente estimado para regressão	Variável	0-10	10-20	20-40	40-60	60-100
b1	intercepto	785,9 ^b	-3842,0 ^c	6819,0 ^c	1517 ^d	6679,0 ^d
b2	A	-	0,1489 ^b	-	0,04444 ^d	-5,946 ^d
b3	LA	-128,6 ^d	-340,4 ^c	-312,3 ^a	-	-
b4	LO	81,67 ^d	-100,9 ^c	359,3 ^d	59,31 ^d	286,70 ^d
b5	A ²	0,000005999 ^d	-	-0,0001454 ^d	-	-
b6	LA ²	-	-4,80 ^d	-32,07 ^d	-0,601 ^d	-
b7	LO ²	1,403 ^d	-0,482 ^d	4,66 ^d	0,5558 ^d	3,008 ^d
b8	A*LA	-	0,01086 ^c	-0,02047 ^d	0,0006644 ^c	-
b9	A*LO	-	-	-	-	-0,2655 ^d
b10	LA*LO	-2,767 ^d	-7,061 ^c	-7,443 ^b	-	-
b11	A ² *LA	-	-0,0000042 ^b	-0,00000823 ^d	-	-0,00000798 ^c
b12	A ² *LO	-	0,00000202 ^b	-	0,0000002888 ^d	0,000004029 ^c
b13	A*LA ²	-	-	-0,001152 ^d	-	-0,0005278 ^d
b14	A*LO ²	-	0,000037 ^b	-	-	-0,002828 ^d
b15	LA ² *LO ²	-	0,002187 ^c	-0,01165 ^d	-	-
b16	LA ² *LO	-	-	-1,261 ^d	-0,01547 ^d	-0,007702 ^d

^a Significativo a 10%; ^b Significativo a 5%; ^c Significativo a 1%; ^d Significativo a 0,1%.

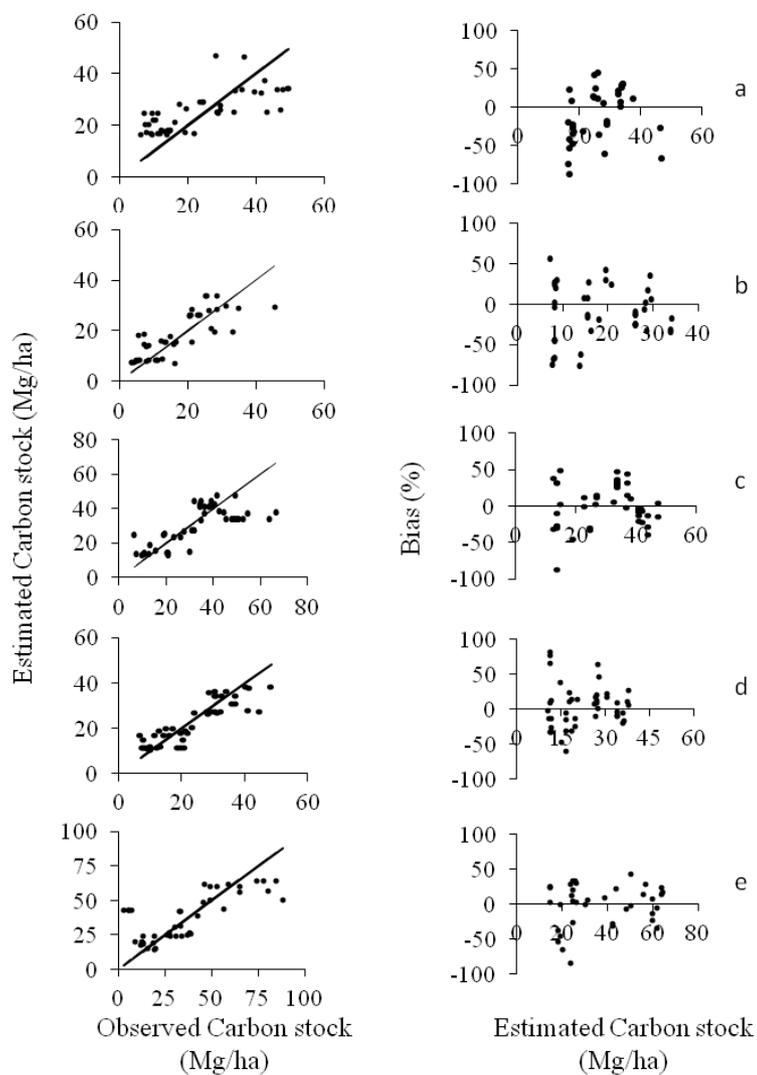


Figura 6 Gráficos de validação e ajuste dos modelos de regressão geográficos para camada 0-10 cm (a), camada 10-20 cm (b), camada 20-40 cm (c), camada 40-60 cm (d), camada 60-100 cm (e) e dispersão dos resíduos

Os modelos selecionados foram utilizados para geração dos mapas de estoque de carbono no Cerrado de Minas Gerais. É possível observar que existe uma tendência clara na distribuição dos estoques de C nas 5 profundidades (Figura 7).

A Figura 8 ilustra os semivariogramas experimentais e teóricos para os resíduos derivados dos modelos multivariados para estimativa dos estoques de C para o cerrado de Minas Gerais em diferentes profundidades de solo. Em todos os casos, o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou ao semivariograma experimental, mostrando clara dependência espacial dos resíduos. A dependência espacial variou entre as diferentes profundidades de solo, sendo o menor alcance observado para profundidade de 0-10 cm e o maior na camada de 40-60 cm (Tabela 9). Estes valores são compatíveis com a dimensão do estado de Minas Gerais, uma vez que a maior distância entre os pontos extremos da área de cerrado do estado é de 1000000 m. O baixo valor de efeito pepita em conjunto com a contribuição, proporcionou forte grau de dependência espacial, exceto na profundidade 10-20 cm, onde essa foi média. Portanto, foi possível a construção dos mapas de krigagem ordinária para os resíduos, e posteriormente somá-los aos mapas de estoque de C (Figura 7) para o cerrado de Minas Gerais. Nos mapas da Figura 8.2 pode-se observar um equilíbrio entre as superestimativas e subestimativas na área de abrangência do cerrado de Minas Gerais, demonstrando, uma vez mais, que os resíduos não apresentam tendência. Salienta-se que os valores positivos dos mapas de resíduos correspondem as subestimativas (valor observado – valor estimado) e os valores negativos a superestimativas.

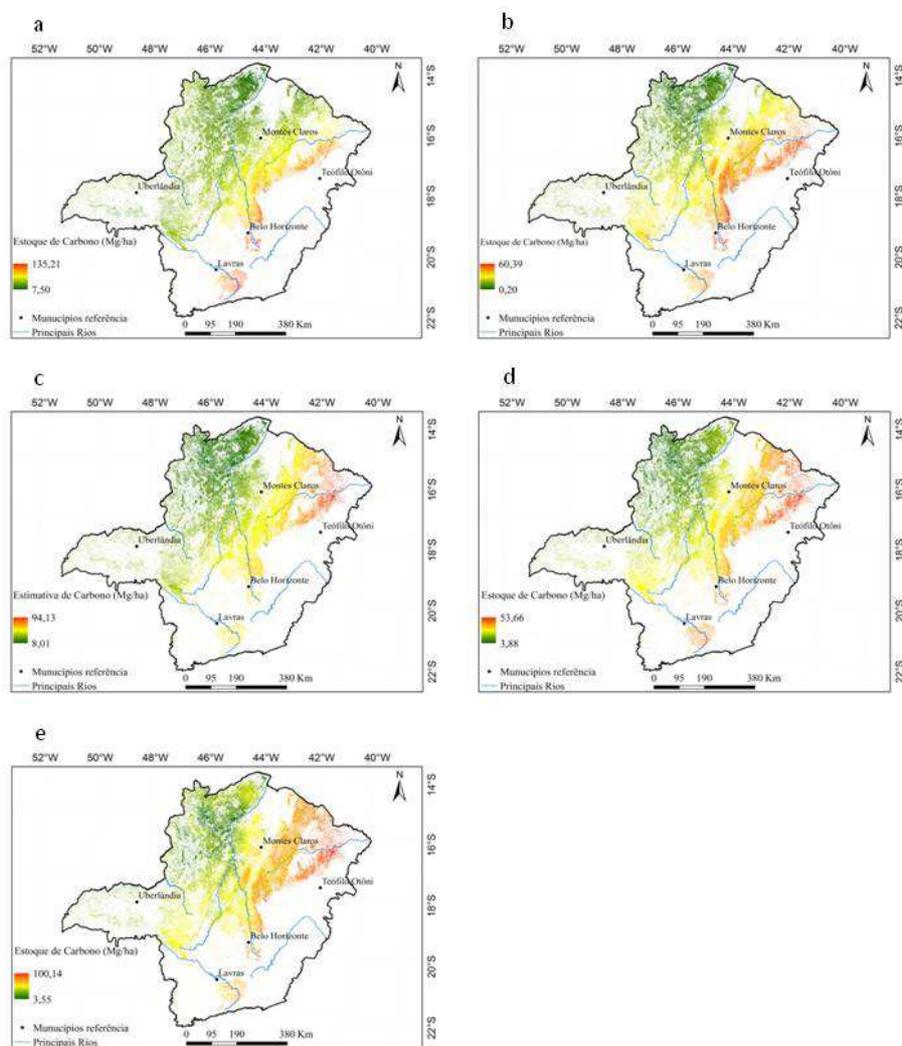


Figura 7 Estoque de Carbono para o cerrado de Minas Gerais utilizando modelos multivariados, para as profundidades 0-10 (a), 10-20 (b), 20-40 (c), 40-60 (d) e 60-100 (e)

Tabela 9 Modelo de semivariograma para as diferentes profundidades de solo e parâmetros correspondentes.

Profundidade do solo	Efeito pepita	Contribuição	Alcance (m)	Grau de Dependência espacial
0-10	0,00	148,39	59647,38	100
10-20	3,55	10,16	299573,20	74,11
20-40	8,00	94,02	282828,73	92,16
40-60	2,00	32,09	424101,47	94,13
60-100	10,01	126,96	310340,16	92,69

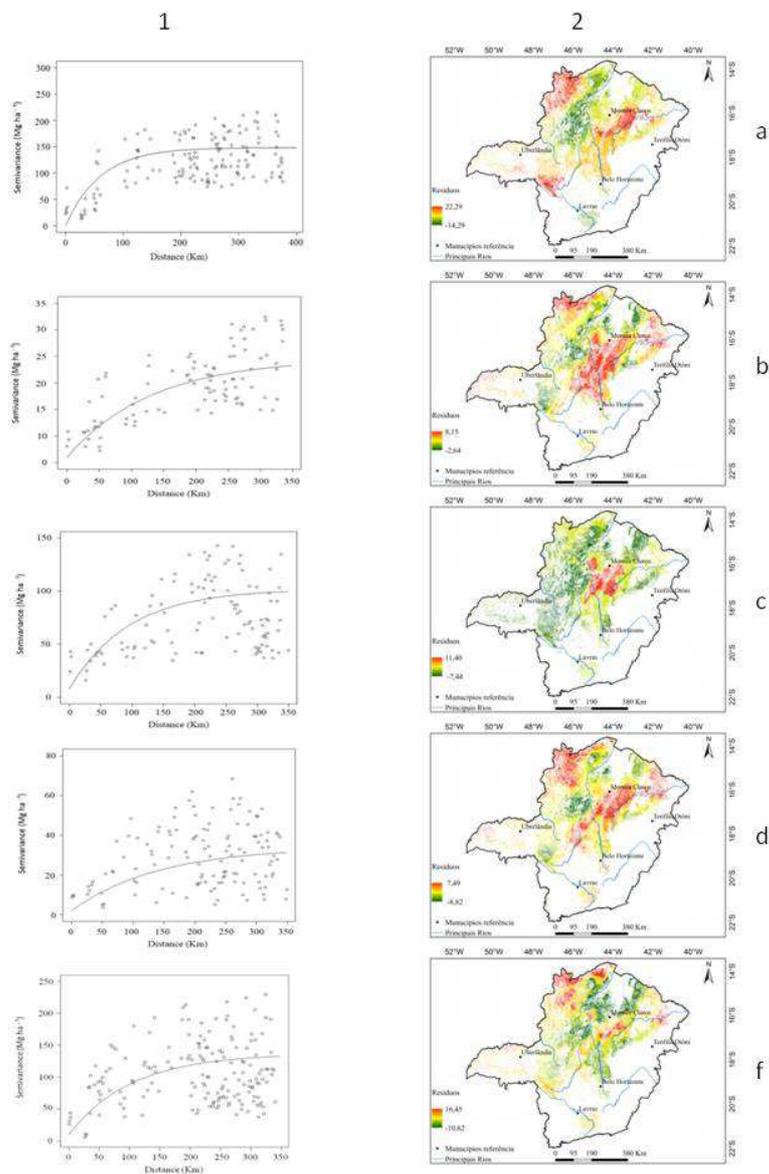


Figura 8 Semivariograma unidirecional teórico e experimental (1) e mapa de krigagem ordinária dos resíduos (2) advindos do modelo multivariado ajustado para as profundidades 0-10 (a), 10-20 (b), 20-40 (c), 40-60 (d), 60-100 (f).

Dando sequência a metodologia proposta (Hengl et al. 2007, Simbahan et al. 2006), os mapas de estoque de C derivados dos modelos geográficos foram então melhorados, realizando a soma dos resíduos (Figura 8 - 2a, 2b, 2c, 2d, 2f). Como resultado obteve-se os mapas de estoques de C para as diferentes profundidades do solo (Figura 9), sendo que estes são mais detalhados que os mapas advindos somente do modelo geográfico, pois é a junção de modelos geográficos com as técnicas geoestatística capaz de descrever com mais detalhes a variabilidade espacial da variável em estudo (Mello et al. 2013, Simbahan et al. 2006, Sun et al. 2012 e Zhang S. et al. 2013).

Os mapas de estoque de C apresentaram mesma tendência de distribuição espacial nas diferentes profundidades de coleta, demonstrando claramente que os mapas apresentam robustez na apresentação dos dados.

Os estoques de C são uma complexa interação de fatores. Segundo Stevenson (1994) o aumento na precipitação implica em maiores estoques de C pela maior disponibilidade de água e maior produção de biomassa. O aumento da temperatura implica em menor estoque de C em razão da elevação da taxa de decomposição (Corazza et al. 1999, Lal 2005 e Salton et al. 2011) e o aumento da altitude implica em menor armazenamento de C em razão das menores temperaturas. No entanto, há que se considerar que áreas com baixa índice de precipitação e temperatura elevada tendem a diminuir a taxa de decomposição pela falta de água e áreas com baixas temperaturas e elevado índice de precipitação também podem apresentar menores taxas de decomposição, devido as baixas temperaturas. Sheikh et al. (2009) salientam que regiões frias com clima semiárido estocam mais C e Leifeld et al. (2005) suspeitam que baixas temperaturas combinados com elevadas altitudes também afetam os estoques de C no solo.

Observando os mapas gerados nota-se que, em todas as profundidades de solo, os maiores estoques de C ocorreram em locais com maiores altitudes,

baixos índices de precipitação e elevada temperatura. Esses locais sofrem influência de grandes afloramentos rochosos, como a Serra da Mantiqueira, ao sul do estado, e Serra do Espinhaço, no nordeste do estado. Na profundidade de 0-10 cm o mapa final de estoque de C apresentou uma região ao norte do estado com maiores estoques, destoando dos demais. Este fato pode ser explicado pela grande variação encontrada nos estoques de C da camada mais superficial, pois esta sofre grande influência de variados fatores, que ainda não são bem explicados.

A região do Triângulo Mineiro, representado pelo município de Uberlândia, apresentou estoques abaixo do valor médio. Esta região é caracterizada por alto índice de precipitação com temperaturas acima da média do estado. Esse fato contribui para elevada taxa de decomposição, ocasionando menores estoques, como já mencionado.

As regiões com os menores estoques são as áreas de vegetação menos exuberante, baixos índices de precipitação e temperaturas mais elevadas, portanto, tendem mesmo a apresentar baixos estoques de C.

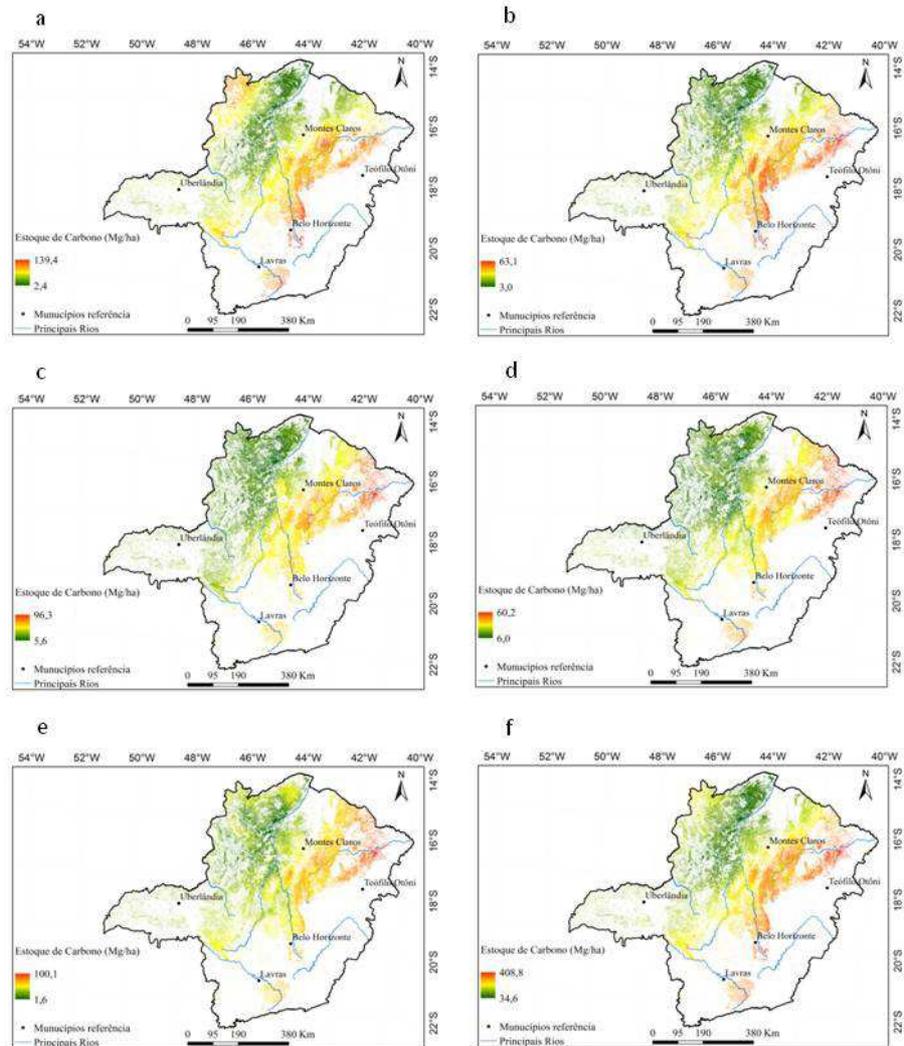


Figura 9 Estoque de Carbono para o cerrado de Minas Gerais utilizando krigagem com regressão, para as profundidades 0-10 (a), 10-20 (b), 20-40 (c), 40-60 (d), 60-100 (e) e 0-100 cm (f)

Conclusões

O teor de C no solo apresentou mesma tendência encontrada em solo sob outros tipo vegetacionais, decaindo com aumento da profundidade.

Foi possível ajustar equações matemáticas (Funções de pedotransferência) para as 5 profundidades de coleta e também na profundidade de 0-100 cm.

Os mapas de estoque de C gerados apresentaram resultados satisfatórios.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos coordenadores do Inventário florestal de Minas Gerais, pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo 308592/2011-5), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (Processo CAG - APQ-00291-11) e à Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo concessão de bolsa de Doutorado ao 1º autor. Especial agradecimento a toda equipe de alunos e estagiários do DCF/LEMAF e demais profissionais que, em campo e no laboratório, contribuíram para coleta de amostras e geração de dados utilizados neste estudo.

Referências

ADUAN, E. A.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p.

AHMED, S.; De MARSILY, G. Comparison of geostatistical methods for estimating transmissivity using data on transmissivity and specific capacity. **Water Resources Research**, v. 23, p. 1717-1737, 1987.

ALVAREZ, R.; LAVADO, R.S. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Charco soils, Argentina. **Geoderma**, v. 83, p. 127-141, 1998.

ANGULO-MARTINEZ, M.; LÓPEZ-VICENTE, M.; VICENTE-SERRANO, S.M.; BERGUERIA, S. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). **Hidrology and Earth System Science**, v.13, p. 1907-1920, 2009.

ARROUAYS, D.; PELISSIER, P. Modeling carbon storage profiles in temperate forest humic loamy soils of France. *Soil Science*, Baltimore, v. 157, n. 157, p. 185-192, 1994.

BARITZ, R.; SEUFERT, G.; MONTANARELLA, L.; RANST, E.V. Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, p. 262-277, 2010.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, n. 86, p. 237-245, 2006.

BERHONGARAY, G.; ALVAREZ, R.; De PAEPE, J.; CARIDE, C.; CANTET, R. Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas. **Geoderma**, v. 192, p. 97-110, 2013.

CARVALHO, L. G. et al. **Zoneamento ecológico-econômico do estado de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico**. Lavras: UFLA, 2008. p. 89-101.

CARVALHO, L. M. T. et al. Análises espaciais e estatísticas da flora nativa em Minas Gerais. In: CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. **Monitoramento da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008. p. 25-316.

CERRI, C. C. ; CERRI, C.E.P. Agricultura e aquecimento global. Boletim Informativo - SBCPD, v. 32, p. 40-44, 2007.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, n. 23, p. 425-432, 1999.

CUNHA, G. M. et al. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas Montana da Mata Atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 1157-1185, 2009.

Environmental System Research Institute. ArcGIS 9: Getting Started with ArcGIS, Redlands, 265 p. , 2004.

FERREIRA, D.F. Estatística Multivariada. Editora UFLA, Lavras, 661 p., 2008.

HENGL, T.; HEUVELINK, G. M.B.; ROSSITER, D. G. About regression-kriging: from equations to case studies. **Computers & Geosciences**, v. 33, p. 1301-1315, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa de biomas e de vegetação.. 2004. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 01 mai. 2014.

INVENTÁRIO FLORESTAL DE MINAS GERAIS (IFMG). Inventário florestal da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais. 2005. Disponível em: < <http://www.inventarioflorestal.mg.gov.br/>>. Acesso em 05 jan. 2014.

JOBBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, Ithaca, n. 10, p. 423-436, 2000.

KAY, B.D.; SILVA, A. P. da.; BALDOCK J. A. Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: Predictions using pedotransfer functions. *Canadian Journal Soil Science*, Ottawa, n. 77, p. 655-667, 1997.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 220, p. 242-258, 2005.

- LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v. 363, p. 815-830, 2008.
- LARK, R.M.; BECKETT, P.H.T. A geostatistical descriptor of the spatial distribution of soil classes and its use in predicting the purity of possible soil map units. **Geoderma**, v. 83, p. 243-267, 1998.
- LEIFELD, J.; BASSIN, J.; FUHRER, J. Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v. 105, p. 255-266, 2005.
- MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 257-236, 1999.
- McBRATNEY, A. B.; MINASNY, B.; TRANTER, G. Necessary meta-data for pedotransfer functions. *Geoderma*, Amsterdam, v. 160, p. 627-629, 2010.
- MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; BESKOW, S.; NORTON, L.D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. **Geoderma**, 202-203, p. 88-102, 2013.
- MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S.; SILVA, C. A.; MELLO, J. M.; GOMIDE, L. R.; OLIVEIRA, A. D. Carbon and biomass stocks in a fragment of cerrado in Minas Gerais state, Brazil. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 237-245, abr./jun. 2013a.
- MORAIS, V. A.; SILVA, C. A.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; ARAUJO, E. J. G. ASSIS, E. A. Modelagem do teor de carbono orgânico de fragmentos de cerrado de Januária e Bonito de Minas, Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 343-354, out/dez. 2013b.
- OLIVEIRA FILHO, A. T. et al. **Definição e delimitação de domínios e subdomínios das paisagens naturais do estado de Minas Gerais**. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.(Ed.). Mapeamento e Inventário da Flora e dos Reflorestamentos de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 2006. cap. 1, p.21-35.
- PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. Estoque de carbono do solo sob Cerrado *Sensu Stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Tropic – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 1, p. 59-65, 2007.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 46, p. 1349-1356, 2011.

SCOLFORO, J. R. et al. **Volumetria, peso de matéria seca e carbono**. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D.; CERRADO: Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal. Lavras: Editora UFLA, 2008a, p. 361-438.

SCOLFORO, J. R. et al. **Amostragem e caracterização dos fragmentos inventariados**. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D.; CERRADO: Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal. Lavras: Editora UFLA, 2008b, p. 1-78.

SHEIKH, M.; KUMAR, M.; BUSSMANN, R. W. Altitudinal variation in soil organic carbon stock in coniferous subtropical and broadleaf temperate forests in Garhwal Himalaya. *Carbon balance and management, United Kingdom*, v. 4, n. 6, p. 1-6, 2009.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, p. 185-206, 2008.

SIMBAHAN, G.C.; DOBERMANN, A.; GOOVAERTS, P.; PING, J.; HADDIX, M.L. Fine-resolution mapping of soil organic carbon based on multivariate secondary data. **Geoderma**, 132, p. 471-489, 2006.

SUN, W.; MINASNY, B.; McBRATNEY, A. Analysis and prediction of soil properties using local regression-kriging. **Geoderma**, 171-172, p. 16-23, 2012.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. Pedotransfer functions for tropical soils. *Developments in Soil Science*, Amsterdam, v. 30, p. 415- 429, 2004.

ZHANG, S.; SHEN, C.; CHEN, X.; YE, X.; YE, H.; LAI, S. Spatial interpolation of soil texture using compositional kriging and regression kriging with consideration of the characteristics of compositional data and environment variables. **Journal of Integrative Agriculture**, v12, n. 9, p. 1673-1683, 2013.

ZHANG, Y.; GU, F.; LIU, S.; LIU, Y.; LI, C. Variations of carbon stock with forest types in subalpine region of southwestern China, **Forest Ecology and Management**, v. 300, p. 88-95, 2013.

ZHAO, M.; ZHOU, G.; Carbon storage of forest vegetation in China and its relationship with climatic factors. **Climatic Change**, v. 74, p. 175-189, 2006.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*, Amsterdam, v. 127, p. 168-173, 2005.

ZONEAMENTO CLIMÁTICO E ECONÔMICO DE MINAS GERAIS (ZEE-MG). Componentes Geofísicos e bióticos. 2006. Disponível em: <<http://www.zee.mg.gov.br/>> Acesso em 02 fev. 2014.

Artigo 2 - Espacialização dos estoques de carbono da serrapilheira do cerrado no Estado de Minas Gerais

RESUMO

A serrapilheira corresponde a camada de matéria morta, em decomposição, presente sobre o solo. Esta camada é de grande importância na ciclagem de nutrientes e aporte de matéria orgânica sobre o solo. A mesma também é responsável por estocar carbono. Objetivou-se quantificar a biomassa, teor e estoque de carbono e mapear o estoque de C da serrapilheira do Cerrado de Minas Gerais. Os dados foram coletados em 176 fragmentos de Cerrado no Estado. Foi realizado o estudo variográfico e para o mapeamento utilizou-se a Krigagem. O estoque médio de biomassa foi de 6,8 Mg.ha⁻¹ para o Campo Cerrado, 8,7 Mg.ha⁻¹ para o Cerrado *Sensu Stricto* e 11,2 para o Cerrado. Os teores de C foram 40,5; 42,3 e 44,2% para Cerradão, Campo Cerrado e Cerrado *Sensu Stricto*, respectivamente. Os estoques de C de 1,8; 2,6 e 2,8 Mg.ha⁻¹ para campo Cerrado, Cerrado *SS* e Cerradão, respectivamente. O mapa de estoque de C gerado apresentou boa precisão.

Palavras-chave: Sumidouro de Carbono. Krigagem. Concentração de carbono.

ABSTRACT

Litter layer corresponds to dead matter decomposing present on the ground. This layer is of great importance in nutrient cycling and input of organic matter to the soil. The same is also responsible for storing carbon. This study aimed to quantify the biomass and carbon content and map the C stock of litter in the Cerrado of Minas Gerais. Data were collected on 176 fragments of Cerrado in the State. Variographic the study was conducted and the mapping used the Kriging. The average stock biomass was 6.8 Mg ha⁻¹ for Campo Cerrado, 8.7 Mg ha⁻¹ for the Cerrado sensu stricto and 11.2 for the Cerrado. The C content was 40.5; 42.3 and 44.2% for Savana, Campo Cerrado and Cerrado Sensu stricto, respectively. C stocks of 1.8; 2.6 and 2.8 Mg ha⁻¹ for Cerrado, Cerrado SS and Savana field, respectively. The map of C stocks generated showed good accuracy.

Keywords: Sink Carbon. Kriging. Carbon concentration.

1 Introdução

Nas últimas décadas, o aumento das concentrações de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera tem contribuído de forma expressiva com as ameaças de mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global. Os desmatamentos são responsáveis por cerca de 25% das emissões anuais de CO₂ atmosférico em todo o globo (PAIVA e FARIA, 2007). Por outro lado, no Brasil, as mudanças do uso da terra e o desmatamento são as principais práticas que contribuem para o fluxo de carbono do solo para a atmosfera, colocando em quarto lugar, junto com Estados Unidos, China e Rússia, no ranking dos países que mais emitem CO₂ para atmosfera (MATTHEWS et al., 2014). Em Minas

Gerais, o desmatamento e mudanças do uso no solo respondem por 54% das emissões de gases de efeito estufa (BRASIL, 2011).

Minas Gerais ainda preserva cerca de 35% de sua área coberta por vegetação nativa, sendo que 62% dessa área corresponde ao Cerrado e os outros 38% à Mata Atlântica. O Cerrado, objeto de estudo deste trabalho, ocupa uma área de 122.147 Km², considerando as diferentes variações fisionômicas, e vem sofrendo grande pressão antrópica (REZENDE et al., 2006; RUFINI et al., 2010). Todavia, para que se possa amenizar o desflorestamento do cerrado, é preciso o desenvolvimento de projetos que visem tornar a manutenção da vegetação mais vantajosa que o desmatamento, o que pode ser alcançado com as políticas de comercialização de créditos de carbono. Porém, para tanto, é fundamental conhecer os estoques de carbono existentes nos diferentes compartimentos dessa vegetação. Assim, torna-se eminente a necessidade de desenvolvimento de metodologias de estimativas que sejam capazes de estimar com precisão os estoques de carbono nos diversos compartimentos de um ecossistema florestal.

Neste ponto, a geoestatística e os interpoladores espaciais, como krigagem e inverso do quadrado da distância, são ferramentas que se prestam bem a esse processo de quantificação. Tais métodos são muito empregados em estudos meteorológicos, de propriedades do solo, hidrológicos, dentre outros. Assim, é possível gerar mapas de distribuição espacial da característica de interesse, cobrindo partes não amostradas com informações interpoladas das partes amostradas.

Um dos compartimentos presente em ecossistemas vegetal é a serrapilheira, que pode ser definida como a camada de materiais depositada sobre o solo que ali permanecem até serem fragmentados e decompostos pelos processos físico-químicos e bióticos (ADUAN et al., 2003), podendo ser constituída por folhas, flores, frutos, caules, restos animais e material fecal

(ADUAN et al., 2003; BELLOTE et al., 2008; SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2009). Em florestas tropicais, em geral, a produção de serrapilheira é contínua (CARREIRA et al., 2006), em quantidades diferentes e a época do ano e a fitofisionomia influenciam diretamente na quantidade de serrapilheira depositada sobre o solo (SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2009).

Neste sentido, objetivou-se: (a) quantificar a biomassa, teores e estoques de carbono da serrapilheira do Cerrado de Minas Gerais; (b) testar a existência de dependência espacial do estoque de C da serrapilheira; e (c) gerar mapas de estoque de carbono para o Cerrado de Minas Gerais.

Material e Métodos

Descrição da área de estudo

A área do estado de Minas Gerais é de 586.528 Km², a altitude varia de 50 a 2500 m, a temperatura anual média varia de 14°C, ao sul a, 27°C ao norte, e a precipitação anual média varia de 700 mm, ao norte, a 2.000 mm ao sul do estado (Carvalho L. G et al., 2008).

No estado ainda é possível encontrar aproximadamente 34% de sua área total coberta por vegetação nativa, divididos em dois grandes biomas. O Cerrado é o principal deles cobrindo 62% desta área (121.821 Km²) (Carvalho, L. M. T et al., 2008), sendo esta a área de estudo deste trabalho.

Com clima regulamente sazonal, solos em geral bem drenados e ácidos, principalmente Latossolos, Cambissolos e Neosolos Quartzarênicos, a vegetação do Cerrado apresenta cobertura do solo variando de 10% (Campo sujo) a 80% (Cerradão), essa com formação de dossel contínuo. O estrato lenhoso, composto por árvores e arbusto tortuosos, varia de 1,5 m a 15 m de altura (OLIVEIRA FILHO, et al. 2006).

A fisionomia campo cerrado apresenta baixo número de árvores e arbustos, e maior densidade de estrato herbáceo, esse sendo encontrado com

ampla distribuição no Estado, portanto baixos valores de peso de matéria seca, volume e área basal (Tabela 1). O Cerrado *Sensu Stricto* apresenta estrato arbóreo arbustivo cobrindo de 10 a 60%, com números de árvores e arbusto, peso de matéria seca, volume de madeira e área basal com valores medianos. Já o Cerradão apresenta dossel fechado, cobrindo até 80% da área, apresenta número de árvores, peso de matéria seca, volume de madeira e área basal com os maiores valores para esse bioma, aproximando-se dos valores para florestas.

Tabela 1 Valores médios para as principais variáveis biométricas dos tipos fisionômicos em estudo para o Estado de Minas Gerais. (Adaptado de Scolforo et al., 2008a)

Tipo fisionômico	N	G	Dg	H	Vol	PS	C
Campo cerrado	370,4	3,5	11,2	4,3	17,7	10,9	5,0
Cerrado <i>Sensu Stricto</i>	1168,9	9,4	10,2	5,1	48,5	29,3	14,3
Cerradão	1626,8	18,3	12,0	7,4	128,9	64,6	35,1

N: número de plantas por hectare; G: área basal média (m²/ha); Dg: diâmetro médio quadrático (cm); H: altura média da plantas (m); Vol: volume médio (m³/ha); PS: peso de matéria seca (Mg/ha); C: estoque de carbono da parte aérea (Mg/ha)

Amostragem

Os dados foram coletados em 26 fragmentos de cerrado que fazem parte da rede de parcelas permanentes do Inventário Florestal de Minas Gerais (Scolforo et al., 2008b) (Figura 1). Esses fragmentos foram selecionados buscando-se cobrir as amplitudes de temperatura, altitude, precipitação e diferenças fisionômicas encontradas no Cerrado de Minas Gerais (Tabela 2).

Em cada fragmento selecionado foram sorteados pontos amostrais em 30% das parcelas, totalizando 196 pontos amostrais, conforme metodologia apresentada em Moraes et al. (2013) e Moraes et al. (2013b). Em cada ponto amostral procedeu-se à coleta de amostras de serrapilheira. Todo material foi coletado utilizando como referência de área um gabarito de aço com dimensões de 0,5 x 1 m (0,5 m²).

Detalhes do processamento e análise do material coletado estão descritas em Morais et al. (2013a) e Morais et al. (2013b).

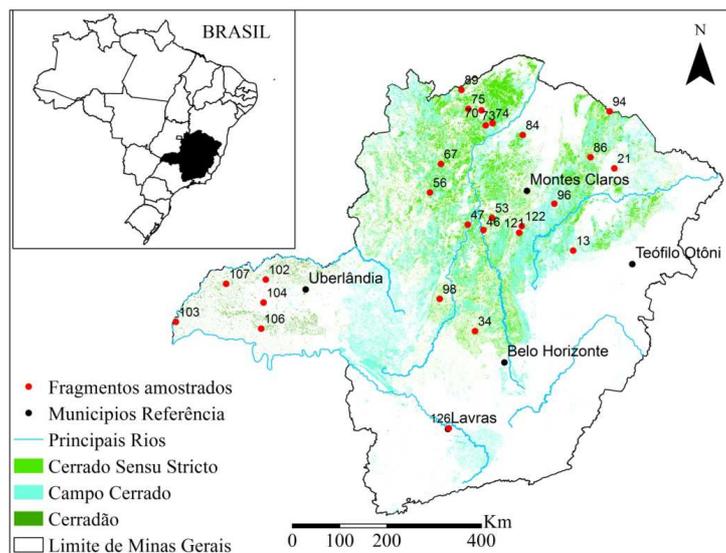


Figura 1 Área de estudo com fragmentos analisados

Tabela 2 Descrição dos fragmentos amostrados, sendo: Long.= longitude, Lat. = latitude, Área = ha, Alt. = altitude média em metros, Ind. Umid. = índice de umidade de Thornthwaite, T. = temperatura média anual em °C, PP. = precipitação média anual em milímetros, Solo = tipo de solo predominante

FRAG.	Site	MUNICÍPIO	FITOFISIONOMIA	LO	LA.	ÁREA (ha)	ALT. (m)	I.U.	T (°C)	P (mm)	Solo
122	BC	Bocaiúva	Cerrado Sensu Stricto	-43,889864	-17,393484	320,62	859	C2-Subúmido	20,8	1192	Latossolo
56	BM	Brasilândia de Minas	Campo Cerrado	-45,860608	-16,942919	236,85	578	C2-Subúmido	22,9	1285	Latossolo
70	BO	Bonito de Minas	Cerrado Sensu Stricto	-44,967976	-15,338316	253,05	588	C1-Subúmido seco	23,6	1073	Latossolo
47	BU	Buritizeiro	Cerrado Sensu Stricto	-45,011723	-17,46707	271,04	551	C2-Subúmido	22,7	1256	Latossolo
121	BV	Bocaiúva	Cerrado Sensu Stricto	-43,884693	-17,402881	223,12	869	C2-Subúmido	20,9	1193	Latossolo
103	CA	Carneirinho	Cerradão	-50,966346	-19,673938	150,32	398	B1-Úmido	23,2	1801	Latossolo
106	CG	Comendador Gomes	Cerradão	-49,152433	-19,696143	89,40	585	B1-Úmido	21,7	1695	Latossolo
102	CN	Canápolis	Cerradão	-49,130591	-18,791085	312,32	725	B1-Úmido	21,5	1633	Latossolo
86	FL	Fruta de Leite	Campo Cerrado	-42,630751	-15,988766	284,55	890	C1-Subúmido seco	21,7	949	Cambissolo
107	GU	Gurinhata	Cerradão	-49,958026	-18,918459	285,09	486	B1-Úmido	22,8	166	Latossolo
96	IB	Itacambira	Cerrado Sensu Stricto	-43,265279	-16,916486	307,30	915	C1-Subúmido seco	20,5	108	Cambissolo
13	ID	Itamarandiba	Cerrado Sensu Stricto	-42,767851	-17,737874	488,26	944	C2-Subúmido	20,4	1089	Latossolo
73	JA	Januária	Cerrado Sensu Stricto	-44,848689	-15,608586	56,79	508	C1-Subúmido seco	24,2	1076	Latossolo
74	JB	Januária	Cerrado Sensu Stricto	-44,826722	-15,597419	74,82	512	C1-Subúmido seco	24,2	1076	Latossolo
89	JC	Januária	Cerrado Sensu Stricto	-45,415147	-14,996287	336,2	758	C1-Subúmido seco	22,6	1076	Latossolo
53	JE	Jequitaiá	Cerrado Sensu Stricto	-44,523472	-17,298247	859,54	560	C1-Subúmido seco	22,7	1200	Latossolo
75	JG	Januária	Cerrado Sensu Stricto	-45,236971	-15,33535	488,32	620	C1-Subúmido seco	23,4	1079	Latossolo
126	LC	Lavras	Cerrado Sensu Stricto	-44,983878	-21,226226	3,89	950	B2-Úmido	18,8	1529	Latossolo
98	MN	Morada Nova de Minas	Cerrado Sensu Stricto	-45,444015	-18,879258	234,48	620	C2-Subúmido	21,8	1375	Latossolo
94	MO	Montezuma	Cerrado Sensu Stricto	-42,351164	-15,102924	201,07	985	C1-Subúmido seco	21,8	867	Latossolo
34	PP	Papagaios	Cerrado Sensu Stricto	-44,633219	-19,405103	355,23	717	B1-Úmido	20,9	1350	Latossolo
104	PR	Prata	Cerrado Sensu Stricto	-49,143428	-19,215066	301,38	619	B1-Úmido	21,8	1658	Latossolo
21	SB	Salinas	Cerrado Sensu Stricto	-42,117867	-16,142252	591,25	845	C1-Subúmido seco	22,6	912	Cambissolo
67	SR	São Romão	Cerrado Sensu Stricto	-45,689511	-16,399172	725,81	515	C1-Subúmido seco	23,5	1216	Neossolo Flúvico
84	VA	Varzelândia	Cerrado Sensu Stricto	-44,070123	-15,715382	240,97	823	C1-Subúmido seco	22,3	1042	Latossolo
46	VP	Várzea da Palma	Cerrado Sensu Stricto	-44,677282	-17,537579	677,13	512	C1-Subúmido seco	22,9	1233	Gleissolo

Análise estatística

Os dados de biomassa, teor e estoque de C foram submetidos a análise estatística, gerando informações de média, e desvio padrão para os teores e estoques de C para cada fragmento e também para o conjunto dos fragmentos. Posteriormente, foram gerados gráficos Box plot para cada uma das variáveis em questão para cada fragmento, assim foi possível entender melhor como se dá a dispersão dos dados, pois o gráfico apresenta as informações dos percentis 5, 25, 50, 75 e 95%, e também aqueles dados fora desse intervalo.

Mapeamento do carbono estocado na serrapilheira

Para mapeamento do C estocado na serrapilheira foi empregou-se a geoestatística, utilizada para gerar modelos espaciais, e posteriormente utilizá-los na geração de mapas de krigagem. Nesta metodologia, foram testados os modelos exponencial, gaussiano e esférico. Os semivariogramas e os ajustes dos modelos foram realizados utilizando o pacote geoR do software R Core Team (2013). Após a realização dos ajustes foi selecionado o melhor modelo através da validação cruzada. Para tanto, adotou-se as estatísticas erro médio reduzido, sendo preferível aquele que apresentar valor mais próximo de 0 para essa estatística, e o desvio padrão dos erros reduzidos, sendo essa o mais próximo de 1, e também o índice de dependência espacial, segundo Cambardella (1994). Posteriormente, o mapa de Krigagem foi gerado no ArcGis (ESRI, 2004) utilizando-se o modelo espacial selecionado.

Os mapas de interpolação foram gerados em formato raster com grade de 100 x 100 metros, ou seja, 10.000 m² (1 hecatre) de área para cada pixel. Adotou-se esta medida para se ter mapas com unidades de área iguais e hectare ser a unidade mais usual. Dessa forma foi possível gerar mapas de estoque de carbono da serrapilheira do Cerrado do Estado de Minas Gerais

Para validação preditiva do mapa interpolado, foi separado 20% dos dados coletados em campo. A partir das coordenadas destes dados, foram subtraídos os valores estimados nos mapas interpolados e os mesmos confrontados com os valores observados, gerando-se os erros. Os erros foram comparados através de gráficos dos valores ajustados em relação aos observado (1:1).

Resultados e Discussão

Análise estatística

Analisando o conjunto formado por todos os fragmentos observa-se que biomassa de serrapilheira variou de 0,04 a 32,45, com média de 8,73 Mg.ha⁻¹. O fragmento com menor valor para essa variável foi o 13, classificado como cerrado *Sensu Stricto*, já o com maior valor foi o 107 (Cerradão). Os teores de carbono observados também variaram bastante, sendo o menor valor 28,99 e o maior 51,99, com média de 43,27 %. O fragmento 56 (Campo Cerrado) apresentou a menor média; já o 94 (Cerrado *Sensu Stricto*) apresentou a maior. Como o estoque de C é a ponderação da biomassa e do teor, esse também foi muito variado. O valor mínimo encontrado foi 0,02 e o máximo 13,94, com média de 3,78 Mg.ha⁻¹. O menor valor foi o do fragmento 47 (Cerrado *Sensu Stricto*) e o maior foi do 106 (Cerradão) (Tabela 3).

A grande variação dos valores encontrados ocorre pelo fato de o analisar o conjunto como um todo. Pois, analisando a Figura 2 A, B, C, é possível observar que dentro dos fragmentos existem variações, porém, em poucos as variações são tão grandes quanto as observadas para o conjunto. Outro ponto importante é que nenhum fragmento apresentou valores mínimos ou máximos para todas as variáveis em estudo. Em todos os casos, foram fragmentos diferentes que apresentaram os valores extremos (Tabela 3).

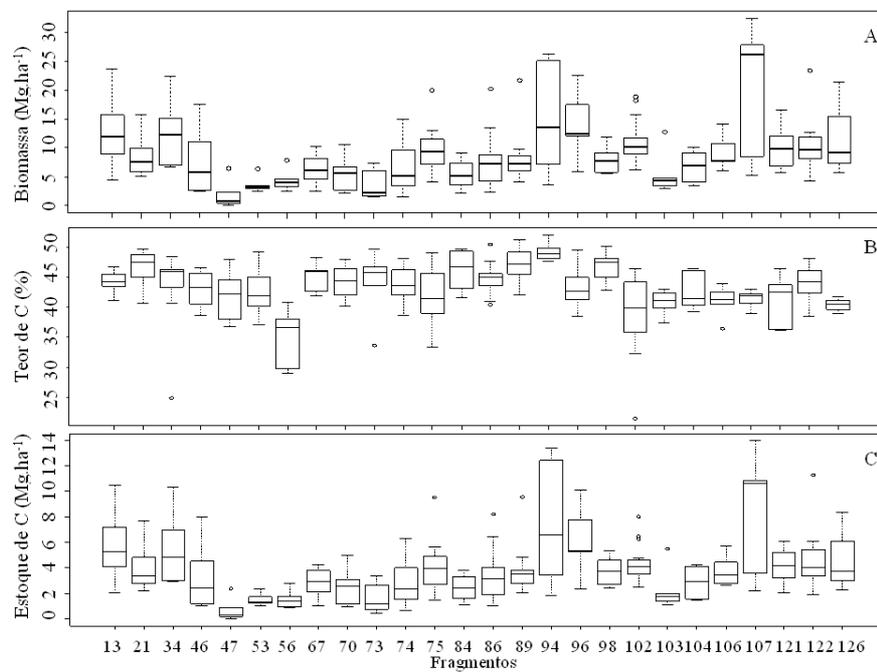


Figura 2 Box plot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95%) da biomassa (A), teor (B) e estoque de carbono (C) para fragmentos de Cerrado de Minas Gerais

Tabela 3 - Estatística descritiva para biomassa, teor e estoque de carbono para os diferentes fragmentos de Cerrado no estado de Minas Gerais.

Fragmento	Biomassa (Mg.ha ⁻¹)			Teor de C (%)			Estoque de C (Mg.ha ⁻¹)		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
13	4,38	12,88	23,67	41,12	44,11	46,70	2,05	5,65	10,43
21	5,06	8,34	15,79	40,68	46,46	49,59	2,22	3,90	7,68
34	6,62	12,79	22,43	40,59	45,50	48,47	2,96	5,81	10,30
46	2,49	7,61	17,57	38,58	42,96	46,44	1,03	3,27	8,02
47	0,04	1,80	6,43	36,83	41,97	47,94	0,02	0,69	2,37
53	2,47	3,62	6,35	37,01	42,51	49,13	1,04	1,51	2,35
56	2,46	4,39	7,85	28,99	35,10	40,78	0,93	1,54	2,78
67	2,49	6,32	10,18	41,93	44,98	48,29	1,06	2,84	4,27
70	2,18	5,35	10,63	40,14	44,19	47,87	0,97	2,40	4,99
73	1,46	3,77	7,39	33,66	43,89	49,67	0,49	1,69	3,38
74	1,50	6,58	15,00	38,53	43,73	48,13	0,64	2,84	6,29
75	4,09	9,42	20,00	33,31	41,44	49,05	1,43	3,96	9,51
84	2,19	5,45	9,22	41,50	46,16	49,60	1,09	2,45	3,83
86	2,35	7,60	20,24	40,42	44,79	50,40	0,99	3,39	8,18
89	4,02	8,15	21,75	42,08	47,13	51,22	2,06	3,80	9,55
94	3,64	15,21	26,27	47,56	49,14	51,99	1,83	7,51	13,43
96	6,00	14,35	22,64	38,42	43,24	49,44	2,39	6,27	10,06
98	5,63	8,07	11,97	42,85	46,70	50,05	2,47	3,77	5,39
102	6,22	10,86	18,91	32,20	40,16	46,37	2,50	4,35	8,01

103	2,92	5,62	12,73	37,33	40,73	42,96	1,09	2,34	5,47
104	3,43	6,74	10,12	39,16	42,45	46,43	1,44	2,86	4,22
106	6,15	9,29	14,05	36,43	40,91	43,91	2,61	3,79	5,68
107	5,23	20,04	32,45	39,01	41,34	42,95	2,21	8,24	13,94
121	5,73	10,19	16,69	36,22	41,23	46,43	2,08	4,15	6,04
122	4,29	11,08	23,48	38,50	43,94	48,01	1,91	4,97	11,27
126	5,72	11,37	21,39	38,85	40,34	41,72	2,31	4,54	8,31
Média	3,80	8,73	16,35	38,53	43,27	47,44	1,61	3,79	7,14
Máximo	6,62	20,04	32,45	47,56	49,14	51,99	2,96	8,24	13,94
Mínimo	0,04	1,80	6,35	28,99	35,10	40,78	0,02	0,69	2,35
Desvio Padrão	1,78	4,11	6,87	3,76	2,85	2,91	0,76	1,82	3,28

Os dados médios observados por fitofisionomia, compreendem valores apresentados em outros trabalhos (Tabela 4). No entanto, a grande amplitude, característica também mencionada por Aduan et al. (2003) e Watzlawick et al. (2012), mesmo dentro de um único fragmento (Morais et al. 2013a), dificulta a comparação com outros trabalhos, uma vez que esses também são escassos e os disponíveis, quase sempre, empregam diferentes metodologias de coleta e análise dos dados (Caldeira *et al.*, 2008; Watzlawick *et al.*, 2012). Esta característica se dá pelo processo de formação da serrapilheira, que é uma complexa interação de fatores edafoclimáticos, fauna do solo, material de origem entre outros.

Tabela 4 Números publicados para biomassa, teor e estoque de C do Brasil para o Cerrado e outras fitofisionomias encontradas em Minas Gerais.(número entre parênteses são os desvios)

Estado	Fitofisionomia	Serrapilheira			Referência
		Biomassa	Teor	Estoque	
DF	Cerrado	4,54 - 9,47	52,02-52,79	2,32 - 4,83	Paiva et al. 2011
MG	Semidecidual	11,57 (\pm 4,14)	-	5,82 (\pm 2,10)	Torres et al. 2013
MG	Cerradão	4,86 - 19,31	43,80 - 47,80	2,28 - 8,88	Morais et al. 2013a
SP	Capoeiras	-	-	5,27 - 7,25	Froufe et al. 2011
MG	Cerrado	6,32	-	-	Ribeiro et al. 2011
SC	Ombrofila	4,47-5,28	-	-	Caldeira et al. 2008
PR	Ombrofila	8,01 (\pm 1,75)	-	3,06 (\pm 0,69)	Watzlawick et al. 2012
RS	Decidual	19,93	-	-	Vieira et al. 2010
Todos	IPCC	-	37	-	IPCC 2006
MG	Campo Cerrado	6,76 (\pm 4,11)	42,26 (\pm 5,33)	2,91 (\pm 1,83)	Para este estudo
MG	Cerrado <i>Sensu Stricto</i>	8,73 (\pm 5,57)	44,19 (\pm 3,84)	3,88 (\pm 2,58)	Para este estudo
MG	Cerradão	11,22 (\pm 6,77)	40,54 (\pm 3,77)	4,55 (\pm 2,80)	Para este estudo

Mapeamento do carbono estocado na serrapilheira

Após análise variográfica constatou-se que seria possível ajustar os modelos espaciais. Assim, foram ajustados os modelos exponencial, esférico e gaussiano (Figura 3). Os três modelos apresentaram bons ajustes, comprovando existir uma função estrutural, com semivariância de comportamento modelável. Os parâmetros dos modelos ajustados são apresentados na Tabela 5.

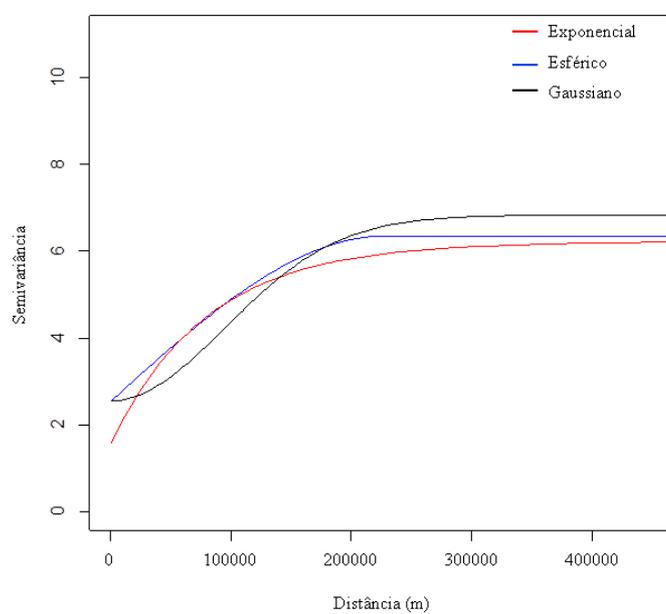


Figura 3 Semivariograma com os três modelos ajustados para o estoque de C na serrapilheira do Cerrado do Estado de Minas Gerais

Tabela 5 Parâmetros dos modelos geoestatísticos ajustados para o estoque de C na serrapilheira do Cerrado do estado de Minas Gerais, sendo efeito pepita (τ^2), variação estruturada (σ^2), patamar ($\tau^2+\sigma^2$), erro médio reduzido (EMR), desvio padrão do erro médio reduzido (DP) e índice de dependência espacial (DE)

Modelo	τ^2	σ^2	$\tau^2+\sigma^2$	EMR	DP	DE
Exponencial	1,57	4,65	6,22	-0,000443	1,7067	74,8
Esférico	2,54	3,81	6,35	0,000174	1,3574	60,0
Gaussiano	2,55	4,27	6,82	0,001583	1,3738	62,6

Com base nas 3 estatísticas para seleção do modelo observou-se uma divergência, pois o modelo que apresentou menor erro médio reduzido e desvio padrão do erro médio reduzido mais próximo de 1, características de modelos que apresentam bons ajustes, apresentou o menor índice de dependência espacial, segundo Cambardella (1994). No entanto, mesmo com menor índice de dependência, optou-se por esse modelo para realizar o processo de krigagem, pois apresentou melhores valores para outras características analisadas.

A superfície de krigagem gerada utilizando os parâmetros do modelo esférico (Tabela 5) é apresentada na Figura 4. A região do município de Montes Claros e as proximidades de Uberlândia apresentaram maiores valores. A primeira apresenta remanescentes de florestas decíduas e transições, portanto, acredita-se que essa região tenha mais espécies que tendem a perder mais folhas durante a estação seca. Assim, a serrapilheira apresenta maior aporte de biomassa e, conseqüentemente, maior estoque de C. Já a região de Uberlândia apresenta os remanescentes de Cerradão (Figura 5), fitofisionomias com maior número de árvores e essas de maior porte, portanto também responsável por maior aporte de biomassa.

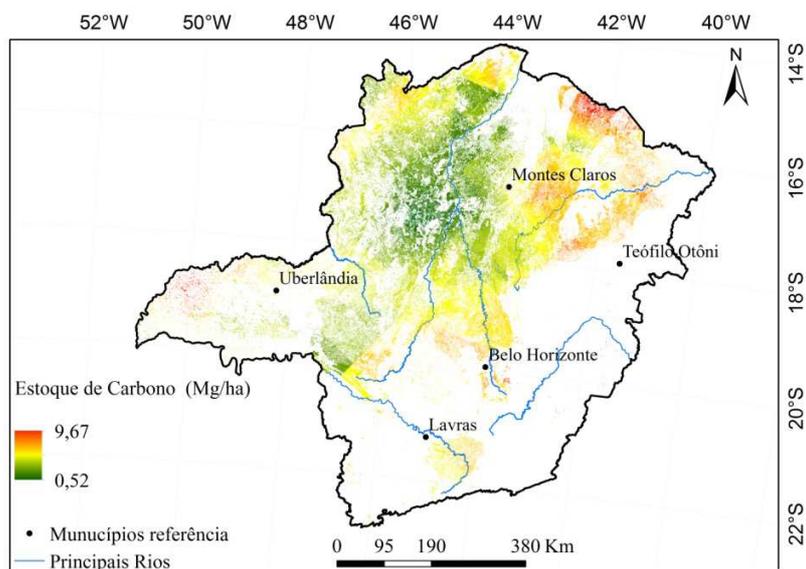


Figura 4 Mapa de interpolação do estoque de C na serrapilheira, utilizando o procedimento da krigagem, para o Cerrado do estado de Minas Gerais

As regiões com menores estoques (área verde no mapa) correspondem a fitofisionomia Campo Cerrado. Estas são descritas como áreas com baixa ocorrência de árvores, portanto, com menor aporte de biomassa de serrapilheira (Figura 4).

A validação da interpolação mostrou não existir tendência na superfície interpolada (Figura 6).

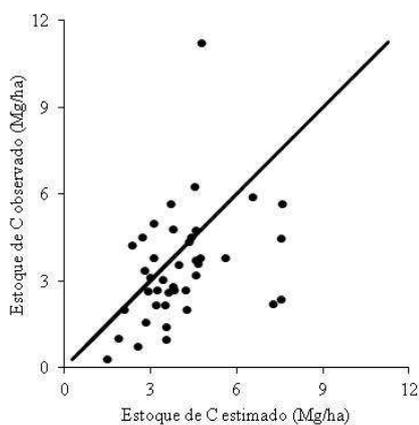


Figura 6 Validação dos mapas de krigagem (a) e da interpolação pelo inverso do quadrado da distância (b)

Conclusões

A biomassa, teor e estoque de C na serrapilheira apresentou grande variação quando analisados em conjunto, no entanto, esta variação é menor quando se analisa fragmento a fragmento.

Os estoques de carbono da serrapilheira apresentaram dependência espacial, com melhor ajuste para o modelo esférico.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos coordenadores do Inventário florestal de Minas Gerais, pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (Processo CAG - APQ-00291-11) e à Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo concessão de bolsa de Doutorado ao 1º

autor. Especial agradecimento a toda equipe de alunos e estagiários do DCF/LEMAF e demais profissionais que, em campo e no laboratório, contribuíram para coleta de amostras e geração de dados utilizados neste estudo.

Referências

ADUAN, E. A.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p.

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. da. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serrapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 56: 31-41, 2008.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: emissões de gases de efeito estufa no setor uso da terra, mudanças do uso da terra**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215990.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2011.

CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT., S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantification of litter and nutrientes on an Atlantic Rain Forest. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29, n. 1, p. 53-68, 2008.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CARREIRA, R. C.; RONDON, J. N.; ZAIDAN, L. B. P. **Produção de serrapilheira em uma área de cerrado de Mogi Guacu, SP**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. 11 p.

CARVALHO, L. G. et al. **Zoneamento ecológico-econômico do estado de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico**. Lavras: UFLA, 2008. p. 89-101.

CARVALHO, L. M. T. et al. Análises espaciais e estatísticas da flora nativa em Minas Gerais. In: CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. **Monitoramento da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008. p. 25-316.

Environmental Systems Research Institute, 2004. ArcGIS 9: Getting Started with ArcGIS, Redlands (265 pp.).

FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G; SEOANE, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestrata para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 143-154, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: agriculture, forestry and other land use**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. v.4.

MATTHEWS, H. D.; GRAHAM, T.L.; KEVERIAN, S.; LAMONTAGNE, C.; SETO, D.; SMITH, T. National contributions to observed global warming. **Environmental Research Letter**, 9, 1-9, 2014.

MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S.; SILVA, C. A.; MELLO, J. M.; GOMIDE, L. R.; OLIVEIRA, A. D. Carbon and biomass stocks in a fragmente of cerrado in Minas Gerais state, Brazil. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 237-245, abr./jun. 2013a.

MORAIS, V. A.; SILVA, C. A.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; ARAUJO, E. J. G. ASSIS, E. A. Modelagem do teor de carbono orgânico de fragmentos de cerrado de Januária e Bonito de Minas, Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 343-354, out/dez. 2013b.

OLIVEIRA FILHO, A. T. et al. **Definição e delimitação de domínios e subdomínios das paisagens naturais do estado de Minas Gerais**. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.(Ed.). Mapeamento e Inventário da Flora e dos Reflorestamentos de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 2006. cap. 1, p.21-35.

PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. de. Estoque de carbono do solo sob Cerrado *Sensu Stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Tropica – Ciências Agrárias e Biológicas**, 01: 59-65, 2007.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S.; Estoque de carbono em cerrado Sensu Stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v.35, n. 3, p. 527-538, 2011.

R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

REZENDE, A. V.; VALE, A. T do.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparison of mathematical models to volume, biomass and carbon stock estimation of the woody vegetation of a Cerrado Sensu Stricto in Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, v. 71, p. 65-76, 2006.

RIBEIRO, S. C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; KLEINN, C.; GASPAR, R. O. Above-and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 491-499, 2011.

RUFINI, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, J. M. de. Equações volumétricas para o cerrado Sensu Stricto em Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2010.

SCOLFORO, J. R. et al. **Volumetria, peso de matéria seca e carbono**. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D.; CERRADO: Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal. Lavras: Editora UFLA, 2008a, p. 361-438.

SCOLFORO, J. R. et al. **Amostragem e caracterização dos fragmentos inventariados**. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D.; CERRADO: Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal. Lavras: Editora UFLA, 2008b, p. 1-78.

SILVA, C. J. da; LOBO, F. de A.; BLEICH, M. E.; SANCHES, L. Contribuição de folhas na formação de serrapilheira e no retorno de nutrientes em florestas de transição no norte de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, 39: 591-600, 2009.

SILVA, C. J. da; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. de A.; NOGUEIRA, J. de S. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazônica**, 37: 543-548, 2007.

TORRES, C. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SANTOS, R. D.; CASTRO NETO, F.; Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma Floresta Estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v.37, n. 4, p. 647-655, 2013.

VIEIRA, M.; CALDATO, S. L.; ROSA, S. F.; KANIESKI, M. R.; ARALDI, D. B.; SANTOS, S. R.; SCHUMACHER, M. V. Nutrientes na serrapilheira em um fragmento de Floresta Estacional decidual, Itaara, RS. **Ciência Florestal**, v.20, n. 4, p. 611-619, 2010.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIEIRE, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, Paraná. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p.353-362, 2012.

Artigo 3 - Mapeamento do estoque de carbono em raízes do bioma Cerrado em Minas Gerais

RESUMO

As raízes, além de responsáveis pela sustentação e absorção de água e nutrientes para as plantas, desempenham importante papel no armazenamento de carbono. No entanto, não são comuns estudos de quantificação dos estoques de C nas raízes. Objetivou-se quantificar a biomassa, teores e estoques de C nas raízes e gerar mapas de estoques para o Cerrado de Minas Gerais. As raízes foram coletadas em fragmentos de Cerrado nas profundidades de 0-10,10-20,20-40,40-60 e 60-100 cm e em cada camada foram divididas nas espessuras < 5mm, 5 a 10 mm e > 10 mm. Sem considerar a profundidade de coleta e a espessura das raízes a biomassa média variou de 1,5 a 3,7 Mg.ha⁻¹ e o estoque médio de C de 1 a 2,2 Mg.ha⁻¹ para Cerradão e Campo Cerrado, respectivamente. Os teores de C foram de 44,3 para Cerradão e Campo Cerrado e 44,9 para Cerrado *Sensu Stricto*. Na espessura da raiz mais fina o teor de C aumentou com a profundidade de coleta, nas demais espessuras não houve tendência. Nas camadas 0-10 e 10-20 cm as raízes < 5 mm apresentaram teor menor que as demais espessuras. O mapa de estoque de C para o Cerrado de Minas Gerais gerado apresentou boa precisão.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Krigagem. Efeito estufa.

ABSTRACT

Roots, and responsible for supporting and absorption water and nutrients to the plants, play an important role in carbon storage. However, are not common Quantification of C stocks in roots. This study aimed to quantify the biomass concentrations and stocks of C in roots and generate maps of inventories for the Cerrado of Minas Gerais. The roots were collected in cerrado fragments at depths of 60-100 cm and 0-10,10-20,20-40,40-60 and each layer were divided in thicknesses <5 mm, 5-10 mm and > 10 mm . Without considering the depth of the collection and average root mean biomass ranged from 1.5 to 3.7 Mg ha⁻¹ and the average stock of C 1 to 2.2 Mg ha⁻¹ for Campo Cerrado and Savana , respectively. The levels of C were 44.3 for Savana and Campo Cerrado and Cerrado *Sensu stricto* to 44.9. The thickness of the thinner root C content increased with depth of collection, in other thicknesses no trend. In the layers 0-10 and 10-20 cm roots <5 mm had lower than other thicknesses content. The map of C stock for the Cerrado of Minas Gerais generated showed good accuracy.

Keywords: Climate change. Kriging. Greenhouse.

1 Introdução

Não é novidade a importância da vegetação, qualquer que seja, na participação das mitigações do efeito estufa, tão discutido atualmente por pesquisadores de todo globo. Por outro lado, essa mesma vegetação também pode ser grande vilã no lançamento de gases de efeito estufa na atmosfera, sendo o CO₂ o principal deles. Isto se dá, principalmente, pelo uso de fogo e mudanças no uso da terra. No mundo, 25% das emissões do referido gás são advindas do

desmatamento. No Brasil, na contramão dos países industrializados, 77% das emissões são geradas por desmatamentos e mudanças do uso da terra, sendo 51,5% correspondente ao Bioma Amazônia, 16,8% do Cerrado e 8,1% de outros biomas (Brasil, 2010). Com estes números o país aparece em quarto lugar no ranking de maiores emissores de CO₂ (Matthews et al. 2014). E em Minas Gerais esse percentual é de 54% (Brasil, 2010).

No estado de Minas Gerais o domínio Cerrado representa mais de 60% da área com vegetação remanescente, no entanto, tal domínio já perdeu grande parte de sua área natural e vêm sofrendo constantes ameaças antrópicas. Diversos estudos têm sido apresentados tratando da distribuição de espécies, volumetria, espécies potenciais para geração de renda e quantificação de carbono da parte aérea para o Cerrado. Por outro lado, estudos de quantificação de carbono abaixo do solo são escassos, por se tratar de metodologias com elevados valores financeiros para realização dos trabalhos de campo que são de difícil aplicação. Os poucos estudos encontrados relatando valores de C abaixo do solo focam mais a questão dos solos. Entretanto, alguns estudos sugerem que para tal domínio existem grandes quantidades de carbono estocado na biomassa de raízes (Monkany et al. 2005, Paiva et al., 2011). E acredita-se que a distribuição da biomassa de raízes esteja ligada a disponibilidade de água e nutrientes no solo. Mas, tipo fisionômico, fogo e ação antrópica também podem afetar esta variável (Aduan et al. 2003; Castro e Kauffman, 1998; Delitti et al. 2001).

A dificuldade de geração de valores de referência para estoques de C nas raízes contribui para falta de informação para grandes áreas. No entanto, com aplicação de métodos geoestatísticos é possível gerar valores de referência com boa precisão, o que já foi comprovado com estudos com outras variáveis, tais como propriedades do solo. Assim, objetivou-se neste estudo: (a) quantificar a biomassa, teores e estoques de carbono em diferentes profundidades e

espessuras das raízes do Cerrado do estado de Minas Gerais, e (b) mapear os estoques de carbono em diferentes profundidades e espessuras de raízes para o Cerrado do estado de Minas Gerais.

2 Material e métodos

Descrição da área de estudo

O estado de Minas Gerais compreende área de 586.528 Km², com altitude variando de 50 a 2500 m, sendo as maiores altitudes encontradas ao sul do estado, a temperatura anual média varia de 14°C, ao sul a, 27°C ao norte, e a precipitação anual média varia de 700 mm, ao norte, a 2.000 mm ao sul do estado (Carvalho L. G et al., 2008).

No estado ainda é possível encontrar aproximadamente 34% de sua área total coberta por vegetação nativa, divididos em dois grande biomas. O Cerrado é o principal deles cobrindo 62% desta área (121.821 Km²) (Carvalho, L. M. T et al., 2008), sendo esta área de estudo.

Com clima regularmente sazonal, solos em geral bem drenados e ácidos, principalmente latossolos, cambissolos, e neossolos quartzarênicos, sua vegetação apresenta cobertura do solo variando de 10% (Campo sujo) a 80% (Cerradão), essa com formação de dossel contínuo. O estrato lenhoso, composto por árvores e arbusto tortuosos, varia de 1,5 m a 15 m de altura (Oliveira Filho, et al. 2006).

A fisionomia campo cerrado apresenta baixo número de árvores e arbustos, e maior densidade de estrato herbáceo, esse sendo encontrado com ampla distribuição no estado, portanto baixos valores de peso de matéria seca, volume e área basal. O Cerrado *Sensu Stricto* apresenta estrato arbóreo arbustivo cobrindo de 10 a 60%, com números de árvores e arbusto, peso de matéria seca, volume de madeira e área basal com valores medianos. Já o Cerradão apresenta dossel fechado, cobrindo até 80% da área, apresenta número de árvores, peso de matéria seca, volume de madeira e área basal com os maiores valores para esse

bioma, aproximando-se dos valores para florestas. A Tabela 1 apresenta os valores médios das principais variáveis biométricas dos diferentes tipos fisionômicos em estudo no estado de Minas Gerais.

Tabela 1 Valores médios para as principais variáveis biométricas dos tipos fisionômicos em estudo para o estado de Minas Gerais. Adaptado do Inventário Florestal da Flora Nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais (Scolforo et al., 2008a).

Tipo fisionômico	N	G	Dg	H	Vol	PS	C
Campo cerrado	370,4	3,5	11,2	4,3	17,7	10,9	5,0
Cerrado <i>Sensu Stricto</i>	1168,9	9,4	10,2	5,1	48,5	29,3	14,3
Cerradão	1626,8	18,3	12,0	7,4	128,9	64,6	35,1

N: número de plantas por hectare; G: área basal média (m²/ha); Dg: diâmetro médio quadrático (cm); H: altura média das plantas (m); Vol: volume médio (m³/ha); PS: peso de matéria seca (Mg/ha); C: estoque de carbono da parte aérea (Mg/ha)

Amostragem

Os dados foram coletados em 26 fragmentos de cerrado que fazem parte da rede de parcelas permanentes do Inventário Florestal de Minas Gerais (Scolforo et al., 2008b) (Figura 1). Esses fragmentos foram selecionados buscando-se cobrir as amplitudes de temperatura, altitude, precipitação e diferenças fisionômicas encontradas no Cerrado de Minas Gerais (Tabela 1).

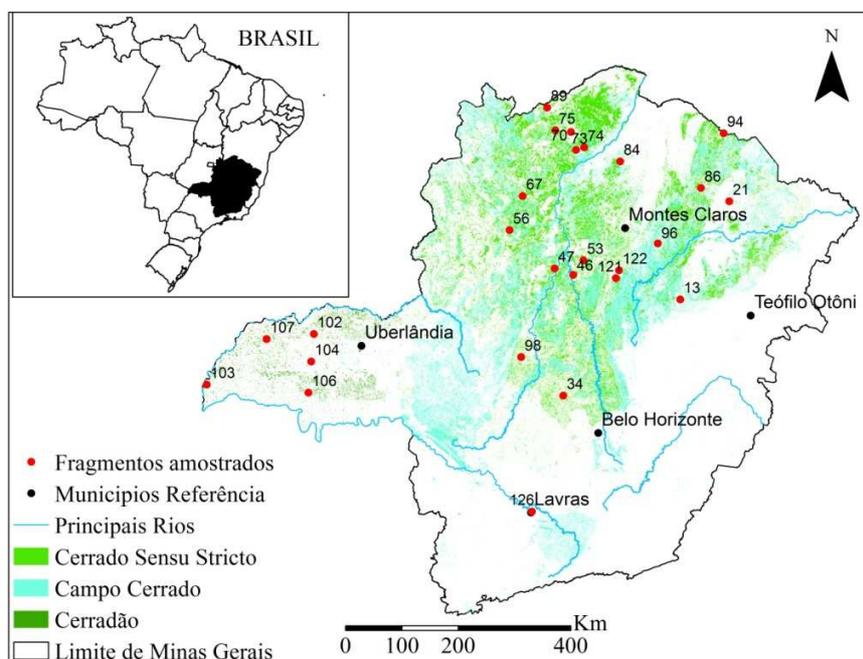


Figura 1 Área de estudo com fragmentos analisados

Em cada fragmento selecionado foram sorteados pontos amostrais em 30% das parcelas, totalizando 227 pontos amostrais, conforme metodologia apresentada em Moraes et al. (2013) e Moraes et al. (2013b). Em cada ponto amostral, procedeu-se a coleta de amostras de raízes em 5 diferentes profundidades, sendo: 0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm e 60-100 cm. Em cada uma das camadas, as raízes ainda foram separadas por espessura, sendo: raízes finas (< 5 mm); raízes médias (5-10 mm) e raízes grossas (> 10 mm). Todo material foi coletado utilizando como referência de área um gabarito de aço com dimensões de 0,5 x 1 m (0,5 m²).

O material coletado foi lavado, seco em estufa na temperatura $\pm 75^\circ\text{C}$ até atingirem peso constante, quantificado o peso seco e trituradas. Após estes passos foram enviadas para análise quanto ao teor de carbono.

Análise estatística

Os dados de biomassa, teor e estoque de C foram submetidos à análise estatística, gerando informações de média e desvio padrão para biomassa, teores e estoques de C para cada fragmento e também para o conjunto dos fragmentos. Posteriormente, foram gerados gráficos de barras para cada um das variáveis em questão, distinguindo profundidade de coleta e espessuras das raízes, assim foi possível entender melhor como se dá dispersão dos dados.

Mapeamento do carbono estocado nas raízes

Em todos os pontos de coleta, além do material coletado, foram obtidas as coordenadas UTM. Com base nas informações de estoque de carbono e coordenadas UTM de cada ponto, foi possível efetuar o estudo variográfico, a fim de detectar possível dependência espacial do carbono entre as amostras.

A primeira etapa do estudo variográfico foi à análise exploratória dos dados de carbono nas raízes, com intuito de averiguar a existência de dados discrepantes e possíveis tendências, que possam comprometer a análise geoestatística. Após a análise exploratória dos dados partiu-se para o estudo variográfico propriamente dito. Este estudo tem como base a Teoria das Variáveis Regionalizadas (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978). As funções desta teoria nos permite construir o gráfico de semivariograma, o qual relaciona a semivariância com as distâncias.

Para cada profundidade de coleta, sem distinção da espessura das raízes, gerou-se um semivariograma experimental. Também foi gerado o semivariograma experimental para cada espessura, sem distinção da profundidade de coleta. Posteriormente, foram ajustados os modelos espaciais pelo Método dos Mínimos Quadrados ordinários. Os ajustes geraram parâmetros de modelo espacial, efeito pepita (τ^2), contribuição (σ^2) e alcance (\emptyset). Os modelos com os parâmetros são os responsáveis por toda a qualidade da estimativa no processo de krigagem. Portanto, a qualidade dos ajustes é fundamental na etapa de krigagem.

Com as informações dos totais de carbono por parcela nas referentes profundidades e espessuras de raízes, mais o modelo espacial, foram efetuadas as estimativas em cada ponto não amostrado. O processo de krigagem foi efetuado para todo estado de Minas Gerais. Após ter estimado todos os pontos do Estado, foi realizado um filtro selecionando apenas as áreas cuja vegetação é classificada como bioma Cerrado.

3 - Resultados e Discussão

Estatística descritiva

No geral, sem considerar as diferentes profundidades e espessuras, a biomassa de raízes variaram de 0,02 Mg.ha⁻¹ a 73,42 Mg.ha⁻¹, com média de 2,51 Mg.ha⁻¹. Esses valores corroboram com os observados por Morais et al. (2013a) (6,38 Mg.ha⁻¹), Ribeiro *et al.* (2011) (37,5 Mg.ha⁻¹), Watzlawick *et al.* (2012) (40,44 e 37,5 Mg.ha⁻¹) e Torres et al. (2013) (16,22 Mg.ha⁻¹) estimado com base em uma equação proposta pelo IPCC (2006). O teor de C variou de 23,6% a 55,24%, com média de 44,75%. Os estoques de C variaram de 0,01 Mg.ha⁻¹ a 34,15 Mg.ha⁻¹, com média de 2,04 Mg.ha⁻¹. Morais *et al.* (2013a) observaram estoques de carbono de 7,30 ($\pm 2,25$ Mg.ha⁻¹) para cerrado em Minas Gerais. Froufe et al. (2011) observaram valores de estoque de C variando de 0,42 a 0,89 Mg.ha⁻¹ para uma capoeira, já para floresta ombrofila Watzlawick *et al.* (2012) encontraram 14,69 ($\pm 10,55$ Mg.ha⁻¹) e Paiva et al. (2011) para cerrado encontraram 15,89 ($\pm 0,85$ Mg.ha⁻¹).

Analisando a Figura 2a nota-se que as camadas superficiais (0-10 e 10-20 cm) apresentaram os maiores estoques de biomassa, e conseqüentemente também maiores estoques de C, nas 3 espessuras de raízes analisadas (Figura 2c), exceto para as raízes maiores que 10 mm de diâmetro, que apresentam maior estoque e biomassa na camada 20 a 40 cm. Como esperado, as raízes grossas (> 10 mm) estocam a maior parte do C, pois sua biomassa é muito

superior as demais espessuras (Barbosa et al., 2012; Paiva e Faria 2007; Paiva et al., 2011), sendo que a medida que se aprofunda no solo essa diferença tende a aumentar (Figura 2c). Estas raízes exploram em profundidade maiores em busca de água e nutrientes. Essa relação é acentuada em solos pouco férteis e com baixa disponibilidade de água. Observa-se que estas camadas estocaram juntas 43% do C da camada de 0-100 cm devido à maior quantidade de biomassa, pois, de acordo com a análise de variância, seguida pelo Teste de Scott-Knott, as médias de teor de C nestas camadas são inferiores às demais (Figura 2b). Segundo Castro e Kauffmann (1998), analisando a biomassa de raízes até 200 cm de profundidade em cerrados, concluíram que 80% da biomassa radicular se encontra nos 30 primeiros cm, resultados similares aos encontrados no presente estudo.

Nas duas camadas superficiais foi verificada diferença significativa entre os teores de C nas raízes finas (< 5mm), sendo menores que nas demais espessuras. Nas camadas a partir de 20 cm não houve diferença significativa (Figura 2b).

Analisando a biomassa e o estoque de C por espessura de raízes nas diferentes profundidades (Figuras 2a e 2c), nota-se que nas 3 espessuras analisadas, em camadas mais profundas os estoques de biomassa e C decrescem, exceto na camada de 10-20 cm para espessura de raízes > 10 mm. Cabe ressaltar que na análise das figuras citadas deve-se atentar para a diferença entre as espessuras das camadas, que aumentam a medida que se aprofunda no solo. Observa-se que a espessura de raízes de 5 a 10 mm apresenta sempre menores valores, isso se dá pela limitada amplitude da classe e também pela mesma sofrer poucas mudanças ao longo do tempo de vida da planta, com baixa taxa de regeneração, ao contrário das raízes finas que apresentam alta taxa de regeneração e são encontradas em grandes quantidades (Freitas et al. 2008).

Nas raízes finas o teor de C foi significativamente menor na camada de 0-10 cm e na camada de 10-20 cm. Nas demais camadas foram maiores e semelhantes entre elas, apresentando uma clara tendência. Nas raízes médias o teor foi estatisticamente diferente na primeira profundidade e 40-60 cm, e maior nas demais camadas, não tendo uma tendência clara, o que foi notado também nas de maior espessura (Figura 2e). No entanto ficou claro que, a primeira camada sempre apresenta menores teores de C que as demais, o que foi comprovado realizando uma análise de variância para o todo, sem distinção da espessura das raízes.

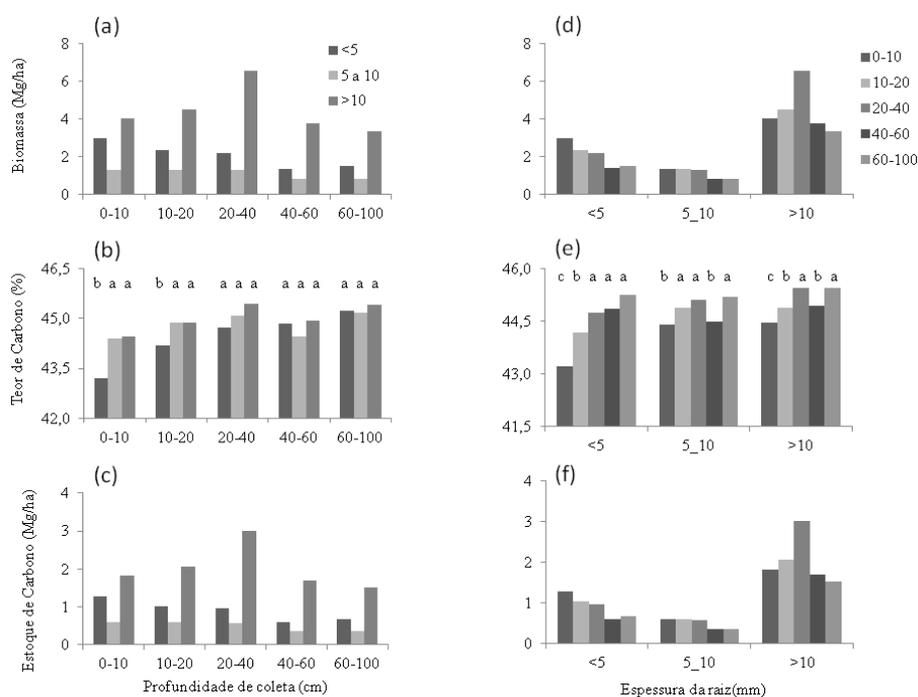


Figura 2 Gráficos dos estoques de biomassa por espessura nas diferentes profundidades (a) e profundidade nas diferentes espessuras (d), teor de C por

espessura nas diferentes profundidades (b) e profundidade nas diferentes espessuras (e), onde letras diferentes representam diferenças entre as médias nos teores de C, e estoque de C por espessura nas diferentes profundidades (c) e profundidade nas diferentes espessuras (f) para raízes do cerrado de Minas Gerais.

Mapeamento

Com os dados médios de cada parcela referente aos estoques de carbono, foi possível conhecer a distribuição espacial, por profundidade e também por espessura das raízes, para o cerrado do estado de Minas Gerais. A análise variográfica mostrou que o estoque de C é estruturado espacialmente nas diferentes profundidades (Figura 3) e espessuras (Figura 4) analisadas. O modelo Gaussiano foi utilizado para caracterizar a continuidade espacial do carbono nas camadas de 20-40 e 60-100cm. Para as demais camadas, o modelo selecionado foi o exponencial. Para as 3 espessuras avaliadas, o modelo selecionado foi o Gaussiano. Pelas figuras 3 e 4 é possível verificar que a estrutura de continuidade espacial variou nas diferentes profundidades avaliadas. Os parâmetros dos modelos ajustados podem ser observados na Tabela 1.

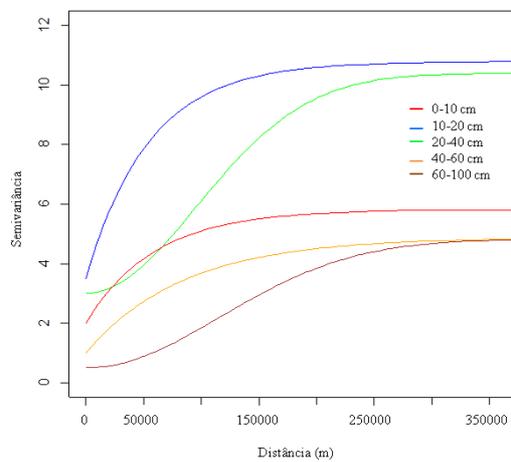


Figura 3 Semivariograma ajustado para estoque de carbono nas raízes, sem considerar espessura das raízes, para as profundidades 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm, para o Cerrado do Estado de Minas Gerais

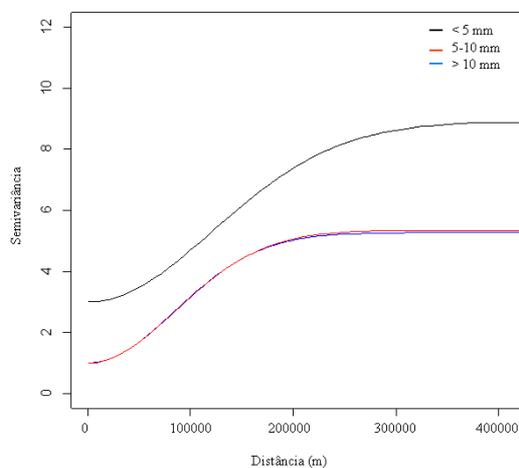


Figura 4 Semivariograma ajustado para estoque de carbono nas raízes nas espessuras < 5, 5-10 e > 5 mm, sem considerar a profundidade de coleta, para o Cerrado do estado de Minas Gerais

Tabela 1 Parâmetros estimados por profundidade e espessura avaliados, sendo efeito pepita (τ^2), variação estruturada (δ^2) e patamar ($\tau^2+\delta^2$) para estoque de carbono nas raízes

Profundidade (cm)	τ^2	σ^2	$\tau^2+\sigma^2$	Modelo
0-10	2,0	3,8126	5,8126	Exponencial
10-20	3,5	7,2829	10,7829	Exponencial
20-40	3,0	7,3967	10,3967	Gaussiano
40-60	1,0	3,8752	4,8752	Exponencial
60-100	0,5	4,0621	4,5621	Gaussiano
Espessura (mm)	τ^2	σ^2	$\tau^2+\sigma^2$	Modelo
< 5	3,0	5,9025	8,9025	Gaussiano
5-10	1,0	4,3373	5,3373	Gaussiano
>10	1,0	4,3373	5,3373	Gaussiano

Em todas as profundidades de coleta e espessura das raízes coletadas a distribuição espacial seguiu uma mesma tendência (Figura 5). As diferenças entre os tipos de cerrado (Figura 6a) parece exercer alguma influência nos estoques de C, uma vez que as áreas com aqueles tipos que apresentam vegetação mais exuberante, Cerradão, apresentaram menores estoques de C. Como foi observado que os teores de C não apresentaram muita variação, pode-se afirmar que a biomassa de raízes é a responsável por essa diferença nos estoques.

Os locais onde se encontram os menores estoques e o Cerradão são regiões com climas mais amenos (Figura 6b), apresentando temperaturas anuais medianas (Figura 6c) e maiores precipitações anuais médias (Figura 6d). O que justifica menor quantidade de biomassa de raízes, pois com maior disponibilidade de águas não são necessárias grandes quantidades de raízes explorando o solo, e também em áreas com vegetação mais exuberante há maior

disponibilidade de nutrientes, justificando também menor necessidades de grandes quantidades de raízes.

As áreas com os maiores estoques de C são observadas onde são se tem as maiores temperaturas (Figura 6c) e menores precipitações (Figura 6d). Essas áreas apresentam as vegetações menos exuberantes, justamente pela característica climática da região. Pois, nessas áreas as plantas necessitam de grandes quantidades de raízes para maior área de solo explorada na busca de nutrientes e água.

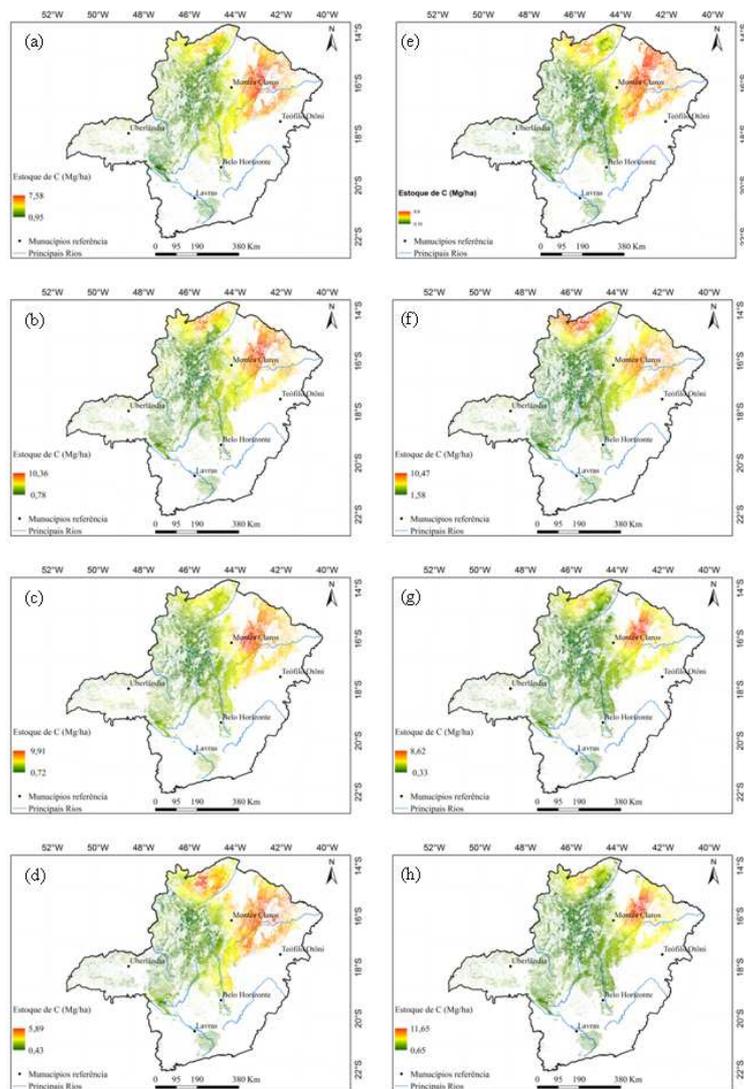


Figura 5 Distribuição espacial, utilizando a Krigagem, do estoque de carbono nas raízes nas profundidades 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-40 cm (c), 40-60 cm (d), 60-100 cm (e) indiferente da espessura, e menores que 5 mm (f), de 5 a 10 mm (g) e maiores que 10 cm (h) na profundidade de 0-100 cm, para o Cerrado de Minas Gerais

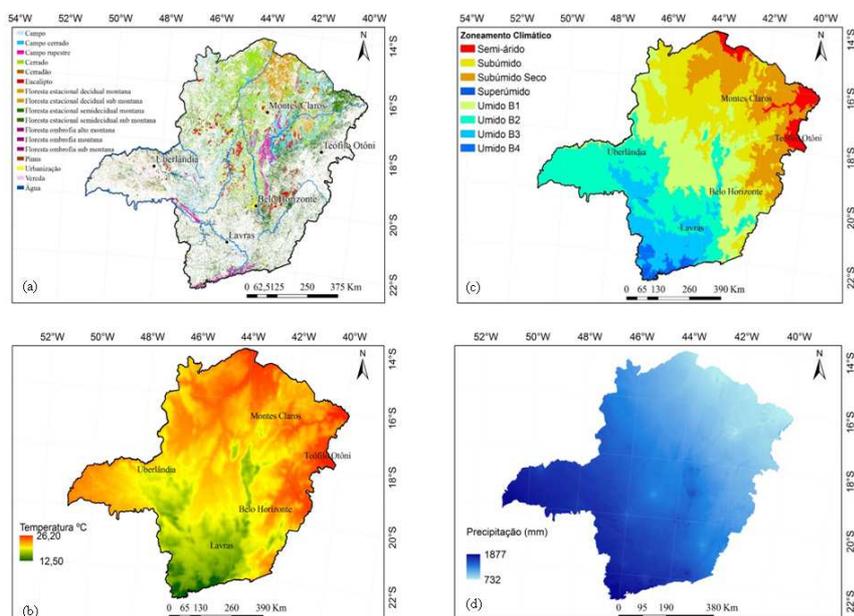


Figura 6 Classificação da vegetação do estado de Minas Gerais (a), classificação climática (b), temperatura anual média (c) e precipitação anual média (d) para o estado de Minas Gerais, adaptados do Inventário Florestal de Minas Gerais e Zonamento Climático Econômico do Estado de Minas Gerais.

Conclusões

As raízes das plantas arbóreas do cerrado estocaram, em média, aproximadamente 19,94 Mg/ha, independente da profundidade e da espessura das mesmas. O teor de carbono das raízes do cerrado é aproximadamente 45,02 %. O comportamento do teor de carbono tendeu a aumentar com o aumento da profundidade do solo.

A variável estoque de carbono em raízes do cerrado apresentou-se estruturadas espacialmente, independente da profundidade e da espessura. Esta

condição permitiu especializar o estoque de carbono no estado de Minas Gerais por meio do interpolador de krigagem.

Independente da profundidade e da espessura das raízes, a distribuição do estoque de carbono apresentou comportamento similar nas áreas do Bioma Cerrado. Nas áreas mais ao norte e nordeste do estado, há maior estoque de carbono nas raízes das plantas. Nestes locais as raízes se desenvolvem mais a fim de “buscar” nutrientes e água para sua manutenção fisiológica.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos coordenadores do Inventário florestal de Minas Gerais, pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (Processo CAG - APQ-00291-11) e à Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo concessão de bolsa de Doutorado ao 1º autor. Especial agradecimento a toda equipe de alunos e estagiários do DCF/LEMAF e demais profissionais que, em campo e no laboratório, contribuíram para coleta de amostras e geração de dados utilizados neste estudo.

Referência

ADUAN, E. A.; VILELA, M. de F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres** – o caso do cerrado brasileiro. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p.

BARBOSA, R.I.; SANTOS, J.R.S.; CUNHA, M.S.; PIMENTEL, T.P.; FEARNESIDE, P.M. Root biomass, root:shoot ratio and belowground carbon stock in the open savannahs of Roraima, Brazilian Amazonia. **Australian Journal of Botany**, v.60, p.405-416, 2012.

BRASIL. MCTI. Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor de Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas. Relatórios de Referência: Uso da Terra e Florestas 2º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília, DF: MCTI, 2010.

CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 14, p. 263-283, 1998.

CARVALHO, L. G. et al. **Zoneamento ecológico-econômico do estado de Minas Gerais**: componentes geofísico e biótico. Lavras: UFLA, 2008. p. 89-101.

CARVALHO, L. M. T. et al. Análises espaciais e estatísticas da flora nativa em Minas Gerais. In: CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. **Monitoramento da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008. p. 25-316.

CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 14, p. 263-283, 1998.

DelittiWBC, Pausas JG, Burger DM(2001) Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannas (Brazilian Cerrados) with different fire histories. **Annals of Forest Science** 58, 713–721.

FREITAS, T. A. S, de; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. de A. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, 18: 133-142, 2008.

FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G; SEOANE, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestrata para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 143-154, 2011.

JOURNAL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic, 1978. 600 p.

MATTHEWS, H. D.; GRAHAM, T.L.; KEVERIAN, S.; LAMONTAGNE, C.; SETO, D.; SMITH, T. National contributions to observed global warming. **Environmental Research Letter**, 9, 1-9, 2014.

MONKANY, K.; RAISON, R. J.; PROKUSHKIN, A. S. Critical analysis of root: shoot in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, Oxford, v. 12, p. 84-96, 2005.

MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S.; SILVA, C. A.; MELLO, J. M.; GOMIDE, L. R.; OLIVEIRA, A. D. Carbon and biomass stocks in a fragmente of cerrado in Minas Gerais state, Brazil. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 237-245, abr./jun. 2013a.

MORAIS, V. A.; SILVA, C. A.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; ARAUJO, E. J. G. ASSIS, E. A. Modelagem do teor de carbono orgânico de fragmentos de cerrado de Januária e Bonito de Minas, Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 343-354, out/dez. 2013b.

OLIVEIRA FILHO, A. T. et al. **Definição e delimitação de domínios e subdomínios das paisagens naturais do estado de Minas Gerais**. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.(Ed.). Mapeamento e Inventário da Flora e dos Reflorestamentos de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 2006. cap. 1, p.21-35.

PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. Estoque de carbono do solo sob Cerrado *Sensu Stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Tropicã – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 1, p. 59-65, 2007.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S.; Estoque de carbono em cerrado *Sensu Stricto* do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v.35, n. 3, p. 527-538, 2011.

RIBEIRO, S. C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; KLEINN, C.; GASPAR, R. O. Above-and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 491-499, 2011.

SCOLFORO, J. R. et al. **Volumetria, peso de matéria seca e carbono**. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D.; CERRADO: Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal. Lavras: Editora UFLA, 2008a, p. 361-438.

SCOLFORO, J. R. et al. **Amostragem e caracterização dos fragmentos inventariados**. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D.; CERRADO: Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição

Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal. Lavras: Editora UFLA, 2008b, p. 1-78.

TORRES, C. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SANTOS, R. D.; CASTRO NETO, F.; Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma Floresta Estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v.37, n. 4, p. 647-655, 2013.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIEIRE, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, Paraná. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p.353-362, 2012.