

Desempenho de um interpolador espacial na estimativa do estoque de Carbono para cinco fragmentos do Cerrado Sensu Stricto de Minas Gerais

Vinícius Augusto Morais¹
Paula Carolina Gomides Vitor²
José Roberto Soares Scolforo³
Lays Fernanda de Oliveira⁴
Henrique Ferraço Scolforo⁵

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais,
Caixa Postal 3037, 37.200-000 – Lavras, Minas Gerais, Brasil.

e-mail: vemorais@bol.com.br; paulinhagvitor@hotmail.com; jscolforo@ufla.br;
lays_nanda@hotmail.com; henriquescolforo@hotmail.com

Abstract: The present study aimed to evaluate the gain in estimating carbon stocks in litter and soil for five fragments of cerrado sensu stricto located in sub-bacia9 (SF 9) São Francisco River, through stratification using the Inverse spatial interpolator the square of the distance. Therefore, we sampled five fragments belonging to countenance Cerrado Sensu stricto, with two located in the city of Januária and Bonito de Minas. To obtain estimates of the carbon stock of litter and soils in the study areas were analyzed data obtained from plots of 10 x 100 m (0.1 ha), which comprises the network of plots established for the Forest Inventory of Mines general. The carbon present in soil and litter samples were quantified by weighing up the value of dry biomass of each sample by its carbon content determined in the laboratory. Subsequently, the value was extrapolated for 1 h affording thus the stock Carbon Mg ha⁻¹. For analysis of the spatial distribution of carbon in each fragment, maps were constructed using the spatial interpolator inverse square of the distance (IQD). It was found in this study that the areas of cerrado sensu stricto show high variability in carbon stock in different fragments. The method for estimation of carbon stocks by spatial interpolation using the IQD resulted in better estimates of carbon stored in the fragment, since this distributes values into classes in different areas comprising each fragment.

Palavras-chave: IQD; carbono stock; remote sensing.

1. Introdução

As plantas estocam carbono tanto na biomassa acima quanto abaixo do solo. Silveira et al. (2008) definem biomassa como a massa de matéria, viva ou morta, de origem biológica. A biomassa florestal estoca diferentes quantidades de carbono, que são controlados pelo volume de biomassa. Assim, uma estimativa acurada da mesma é fundamental no entendimento do papel das florestas no ciclo do carbono (SILVEIRA et al., 2008). Para Aduan et al.(2003) a grande heterogeneidade fitofisionômica da vegetação e os diferentes métodos de amostragem justificam a grande diferença entre os valores de estoques de carbono encontrados na literatura.

Uma das principais fitofisionomias do Brasil, representando uma fração expressiva dos biomas terrestres do planeta, é o Cerrado (ADUAN et al., 2003), sendo o segundo maior bioma brasileiro, ocupando cerca de 25% do território nacional (BRASIL, 2010). A fitofisionomia cerrado *sensu stricto* ocupa 70% do Bioma Cerrado, tendo sua paisagem composta por um estrato herbáceo dominado principalmente por gramíneas, e um estrato de árvores e arbustos tortuosos, com ramificações irregulares e retorcidas, variando em cobertura de 10 a 60 % (EITEN,1994).

Pode-se fazer uso de mapas de distribuição espacial, que são gerados a partir de modelagem matemática por métodos de interpolação de dados, para estimar a quantidade de carbono de determinado fragmento, auxiliando no estudo da biomassa no mesmo, pois tais métodos reduzem a heterogeneidade na distribuição dos dados. Porém, os resultados obtidos quando são gerados os mapas podem ser diferentes, dependendo do método de interpolação que será usado utilizado (Tieppo et al.,2007).

Dentre os diversos métodos disponíveis para espacialização de dados, os mais utilizados são o Inverso do Quadrado da Distância (IQD) e a Krigagem (KG). O método do IQD estima a variável de interesse atribuindo maior peso a pontos mais próximos. Já o método da Krigagem atribui pesos para minimizar a variância das estimativas (Reis, M. H. dos. 2005).

O objetivo do trabalho em questão foi de avaliar o ganho na estimativa de estoque de carbono de solo e serrapilheira para cinco fragmentos de cerrado *Sensu Stricto* localizados na sub-bacia9 (SF 9) do rio São Francisco, através da estratificação com o uso do interpolador espacial Inverso do Quadrado da Distância.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

Os cinco fragmentos estudados estão localizados na região norte do estado de Minas Gerais, na bacia do Rio São Francisco, sub-bacia 9 (SCOLFORO et al., 2008). Eles pertencem a fitofisionomia Cerrado Sensu Stricto. O clima predominante na sub-bacia, conforme a classificação climática de Thornthwaite, é o C1- subúmido seco, o qual é caracterizado por índices de umidade (Iu) variando entre $-33,3 \leq Iu < 0$, precipitação anual acumulada entre 850 e 1100 mm e temperatura média anual variando de 21 a 25°C (CARVALHO et al., 2008). O solo predominante é o latossolo, um solo profundo, bastante envelhecido, com baixa fertilidade natural e, geralmente, boa propriedade física (CURI et al., 2008).

No total foram amostrados cinco fragmentos: quatro deles localizados no município de Januária (2, 3, 4 e 5) e um no município Bonito de Minas (1).

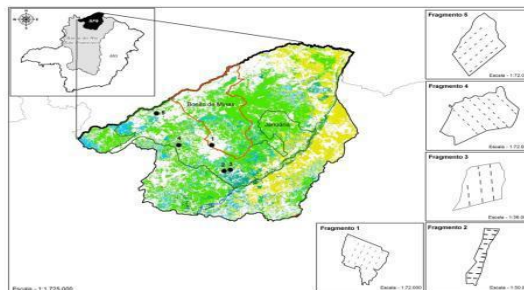


Figura 1 - Mapa da localização da área de estudo.

2.2 Análise dos dados

Para a obtenção das estimativas de estoque de carbono nas áreas de estudo foram analisados dados advindos de um total de 106 parcelas de 10 x 100 m (0,1 ha) que compõem a rede de parcelas estabelecidas para o Inventário Florestal de Minas Gerais (SCOLFORO et al., 2008). O número de parcelas alocadas em cada fragmento variou conforme a área total e a forma do mesmo. Após a realização do inventário florestal, foram sorteadas 30% das parcelas alocadas em cada fragmento (6 parcelas no fragmento 1; 5 parcelas no fragmento 2; 4 parcelas no fragmento 3; 10 parcelas no fragmento 4; e 7 parcelas no fragmento 5) totalizando 32 parcelas para a determinação do teor e estoque de carbono na serrapilheira e solo.

A serrapilheira foi amostrada utilizando-se um gabarito de aço com área de 0,5 m² (0,5 x 1 m); toda a serrapilheira presente nessa área foi coletada. Já para os solos foram avaliadas ocorrências de diferença no teor em cada camada de coleta (0 a 10 cm; 10 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm e 60 a 100 cm). Para detectar diferenças entre as médias de cada fragmento, as mesmas foram submetidas ao teste Scott e Knott ao nível de 5% de significância. Foi utilizado

este teste por ser considerado um teste mais poderoso, além de ser robusto à violação de normalidade (BORGES e FERREIRA, 2003).

Para fins de análise da distribuição espacial do carbono em cada fragmento, foram construídos mapas utilizando o interpolador do inverso do quadrado da distância (IQD) no programa ArcGis 9.3 (ESRI 2008), que é um interpolador determinístico univariado de médias ponderadas, ou seja, quanto mais distante um ponto observado estiver do estimado, menor será sua influência sobre o valor de inferência. Este método é considerado de acurácia satisfatória quando comparado a krigagem, podendo, em alguns casos, apresentar resultados semelhantes (SOUZA et al., 2010).

Os estoques de carbono de cada matriz foram interpolados em número de classes iguais, sendo 9 classes para matriz serrapilheira e 6 classes para matriz solo. O intervalo de classes variou de acordo com o fragmento, porém as mesmas foram divididas sempre em intervalos iguais entre os valores mínimos e máximos de cada fragmento. O estoque de carbono presente nas amostras raízes foi quantificado ponderando-se o valor da biomassa seca de cada amostra pelo seu teor de carbono determinado em laboratório. Posteriormente, o valor encontrado foi extrapolado para 1 ha obtendo-se, assim, obteve-se o estoque de Carbono em Mg ha^{-1} .

3. Resultados e Discussões

3.1 Interpolação dos dados para serrapilheira

O estoque de carbono na serrapilheira do fragmento 1 foi dividido em classes iguais de $0,38 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figura 2), as três classes intermediárias (4, 5 e 6) representaram a maior área do fragmento com 51,9%, seguida pelas 3 primeiras classes (46,2%), e posteriormente, seguida pelas 3 classes superiores (7, 8 e 9) com 0,2% da área total do fragmento. A classe 4 foi responsável pela maior representatividade em área (46,2%), a classe 3, que compreende a média de estoque de C na serrapilheira para o fragmento, representou 23,5% da área total do fragmento.

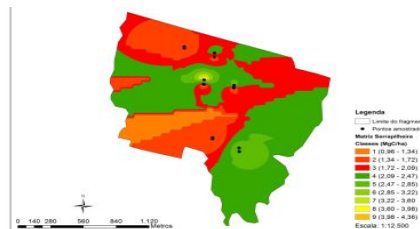


Figura 2 - Interpolação pelo inverso do quadrado da distância do estoque de carbono na serrapilheira para o fragmento 1.

Com menor amplitude entre os valores máximo e mínimo o fragmento 2 foi dividido em classes iguais de $0,32 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figura 3). As 3 classes intermediárias (4, 5 e 6) são as mais frequentes no fragmento (57,7%), seguida pelas 3 classes iniciais (1, 2 e 3) com 38,2% e as 3 maiores classes (7, 8 e 9), representando 4,1% da área total do fragmento. A classe 4 foi a mais representativa com 23,9%, a média do estoque de carbono na serrapilheira para o fragmento está na classe 3, que representou 17,3% da área total do fragmento.

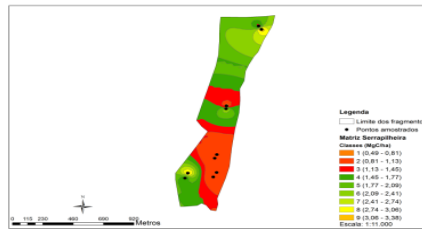


Figura 3 - Interpolação pelo inverso do quadrado da distância do estoque de carbono na serrapilheira para o fragmento 2.

Para o fragmento 3 as classe foram divididas em intervalos iguais de $0,52 \text{ MgC.ha}^{-1}$ (Figura 4), sendo que as 3 classes intermediarias (4, 5 e 6), foram responsáveis pela maior representatividade em área total (82,1%), seguida pelas 3 classe iniciais (1, 2 e 3) com 14,9% e as 3 classes superiores com 3,0%, sendo que a classe 6 foi a com maior representatividade (29,4%), e a classe 5, que compreende a média do estoque de carbono na serrapilheira, representou 26,9% da área total do fragmento.

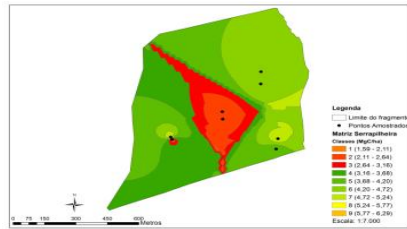


Figura 4 - Interpolação pelo inverso do quadrado da distância do estoque de carbono na serrapilheira para o fragmento 3.

O fragmento 4 apresentou maior amplitude entre os valores máximo e mínimo, no entanto, apenas 7 classes, com intervalos iguais de $0,90 \text{ MgC.ha}^{-1}$ (Figura 5) foram interpoladas dentro dos limites do fragmento. Portanto, não existe representatividade da classe 1 e da classe 9 para esse fragmento. As duas classes iniciais (2 e 3) obtiveram a maior representatividade com 83,9% da área do fragmento, seguida pelas 3 classes intermediárias (4, 5 e 6) com 15,3% e as duas ultimas classes (7 e 8) foram as menos representativas, com apenas 0,8% da área total do fragmento. A classe (3) que compreende o valor médio de estoque de carbono na serrapilheira para o fragmento, foi a mais representativa com 68,6% da área total do fragmento.

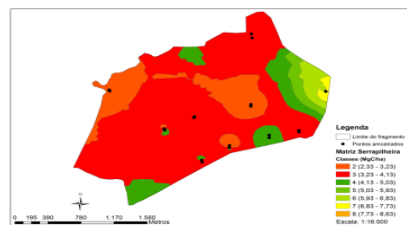


Figura 5 - Interpolação pelo inverso do quadrado da distância do estoque de carbono na serrapilheira para o fragmento 4.

Os valores das classes do fragmento 5 foram divididos em intervalos iguais de $0,83 \text{ MgC.ha}^{-1}$ (Figura 6), sendo que as três primeiras classes (1, 2 e 3) representaram 78,1% da área total do fragmento, seguida pelas 3 classes intermediárias (20,8%) e a 3 classes superiores com apenas 1,1%. A classe 2, que compreende a média do estoque de carbono na serrapilheira para o fragmento, foi a mais representativa com 44,8% da área total do fragmento.

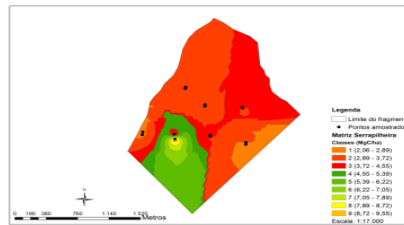


Figura 6 - Interpolação pelo inverso do quadrado da distância do estoque de carbono na serrapilheira para o fragmento 5.

Em todos os fragmento as 6 classes iniciais, foram responsáveis por mais de 95% de representatividade em área total. Neste caso, os valores máximos são pouco representativos, o que levaria a problemas com inferência a partir da média, pois somente os fragmentos 4 e 5 estavam na classe de maior representatividade.

3.2 Interpolação dos dados para o solo

Para o fragmento 1 os dados de estoque de carbono no solo foram divididos em classes iguais de $4,55 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 7). As classes intermediárias (3 e 4) foram as com maior representatividade em área total (47,6%), seguidas pela duas classes iniciais (45,6%) e as duas classes superiores (6,8%). A classe 3, classe que compreende o valor do estoque médio de carbono no solo para o fragmento, obteve a maior representatividade com 34,2% da área total.

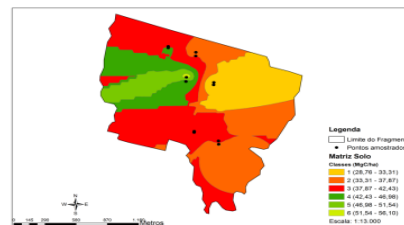


Figura 7 - Interpolação pelo inverso do quadrado da distância do estoque de carbono no solo para o fragmento 1.

O fragmento 2 teve suas classes divididas em valores iguais de $4,40 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 8). As classes com maior representatividade foram as duas classes superiores (5 e 6) com 41% da área, seguidas pelas iniciais (38,6%) e as classes intermediárias representaram 20,4% da área total do fragmento. A classe 4 foi a que obteve maior representatividade (36,2%) e a classe 3, que compreende a média do estoque de carbono no solo para o fragmento, foi a com menor representatividade, com apenas 2,3% da área total do fragmento.

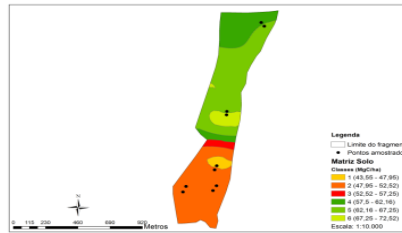


Figura 8 - Interpolação pelo inverso do quadrado da distância do estoque de carbono no solo para o fragmento 2.

Para o fragmento 3, com menor amplitude entre os valores mínimo e máximo, as classes foram divididas em $3,36 \text{ MgC.ha}^{-1}$ (Figura 9). As classes 3 e 4 obtiveram maior representatividade com 57,5% da área total do fragmento, seguidas pelas classes 1 e 2 (30,4%) e por fim as classes 5 e 6 ocupando 12,1% da área total do fragmento. A classe 3 foi a com maior representatividade (43%) e a classe 4, que compreende a média do estoque de carbono no solo para o fragmento, ocupou 14,5% da área total do fragmento.

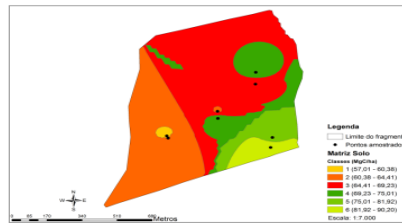


Figura 9 - Interpolação pelo inverso do quadrado da distância do estoque de carbono no solo para o fragmento 3.

O fragmento 4 apresentou a maior amplitude entre os valores máximo e mínimo, assim os valores de estoque de carbono no solo foram divididos em classes iguais de $4,73 \text{ MgC.ha}^{-1}$ (Figura 10). As classes 2 e 3 representaram a maior área do fragmento com 87,4%, seguidas pelas classes 1 e 2 (9,5%) e as classes 5 e 6 representaram apenas 3,1% da área total do fragmento. A classe 3, que compreende a média geral do estoque de carbono no solo para o fragmento, foi a mais representativa com 64,7% da área total do fragmento.

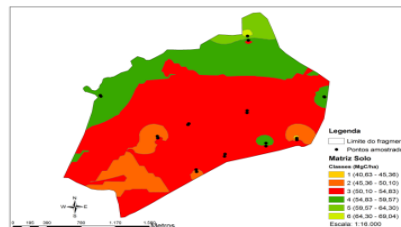


Figura 10 - Interpolação pelo inverso do quadrado da distância do estoque de carbono no solo para o fragmento 4.

Para o fragmento 5 os dados de estoque de carbono no solo foram divididos em classes iguais de $3,64 \text{ MgC.ha}^{-1}$ (Figura 11). As classes com maior representatividade (69%) foram as 3 e 4, seguidas pelas classes 5 e 6 com 24,3%, e as classes 1 e 2 representaram apenas 6,7% da área total do fragmento. A classe 4, que compreende a média geral do estoque de carbono no solo para o fragmento, foi a mais representativa com 52% da área total do fragmento.



Figura 11- Interpolação pelo inverso do quadrado da distância do estoque de carbono no solo para o fragmento 5.

Com exceção do fragmento 3, as classes intermediárias (3 e 4) foram as mais representativas. Já analisando as 4 primeiras classes, em todos os fragmentos as mesmas são as mais representativas, como no mínimo 59% de área total de cada fragmento.

Nos fragmentos 2 e 3 as médias não se encontraram na classe com maior representatividade, sendo que no fragmento 2 a média está compreendida pela classe de menor representatividade

4. Conclusão

Constatou-se com o presente estudo que as áreas de cerrado *sensu stricto* apresentam alta variabilidade quanto ao estoque de carbono nas diferentes matrizes. Os fragmentos apresentaram maiores estoques de carbono no solo, se comparados à serapilheira.

O uso do de interpolação espacial utilizando IQD para estimativa dos estoques de carbono nas diferentes matrizes mostrou-se bastante satisfatório, uma vez que o mesmo distribui os valores em classes que compreendem diferentes áreas em cada fragmento, resultando em melhores estimativas do carbono estocado em cada matriz para cada fragmento. Este método poderá ser uma ótima ferramenta para predição de carbono nas diferentes fitofisionomias encontradas em Minas Gerais, quando for possível agregar mais dados sobre os estoques dessas áreas.

Problemas com inferências a partir de médias podem ocorrer quando se tem grande amplitude entre os valores mínimo e máximo, porém, neste estudo, o uso do IQD visa reduzir os erros de estimativa no caso da utilização da média como referência. A estratificação pelo uso do IQD com a redução da grande variabilidade dos dados trouxe um valor médio para cada fragmento mais preciso, ou seja, é uma ferramenta de grande valor para a estimativa do estoque de carbono.

5. Agradecimentos

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

6. Referências Bibliográficas

ADUAN, E. A.; et al. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres** – o caso do cerrado brasileiro. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p.

BRASIL - **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 e - Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215990.pdf .

BORGES, L. C. et al. **Poder e taxas de erro tipo I dos testes Tukey, Scott Knott e Student-Newman-Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos.** Ver. Mat. Estat., São Paulo, 21(1): 67-83, 2003.

CARVALHO, L. G.; et al. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais: Componentes Geofísico e Biótico.** Lavras: UFLA, 2008, p. 89-101.

CURI, N. et al. Solos, geologia, relevo e mineração. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais: Componentes Geofísico e Biótico.** Lavras: UFLA, 2008, p.73-88.

EITEN, G. 1994. **Vegetação do Cerrado.** In Cerrado: caracterização, ocupação e perspectiva. Brasília: UNB; SEMATEC. p. 1-65.

ESRI 2008. **Arc GIS Desktop:** Release 9.3, CA: Environmental Systems Research Institute.

REIS M. H. dos. et al. **Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril de 2005, INPE, p. 229-236.

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, 2008, p. 1-78.

SILVEIRA, P. et al. O Estado da Arte na Estimativa de Biomassa e Carbono em Formações Florestais. **Revista Floresta.** v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SOUZA, G. S. de et al. **Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo.** Scientia Agraria, Curitiba, v.11, n.1, p. 73-81, jan/feb. 2010.

TIEPPO, R. C. et al. **Avaliação de diferentes interpoladores na geração de mapas temáticos da produtividade de soja em agricultura de precisão.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4., 2007. Viçosa: UFV/CNPMS/SBEA, 2007. p. 1-4.