

Relação entre resposta espectral, biomassa e estoque de carbono em ocorrências de Cerrado na porção mineira da bacia do rio Pardo: estudo preliminar

Ronaldo Medeiros dos Santos ¹
Vinícius Orlandi Barbosa Lima ¹
Talita Moreira Câmara ²
Marcelo Rossi Vicente ¹
Cecília Cristina Almeida Mendes ²
Diana Marques Silva ²
Gesiane Simara Barbosa ²

¹ Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – IFNMG, Campus Salinas
Faz. Varginha, Km 02, rodovia MG 404. CEP. 39560-000 - Salinas - MG, Brasil
ronaldo.medeiros@ifnmg.edu.br, vinicius.orlandi@ifnmg.edu.br,
marcelo.vicente@ifnmg.edu.br

² Graduando em Engenharia Florestal do IFNMG, Campus Salinas
Faz. Varginha, Km 02, rodovia MG 404. CEP. 39560-000 - Salinas - MG, Brasil
eng.florestaltmc@hotmail.com, ceci.almeid@gmail.com, dianamarquessilva@hotmail.com,
gesianesimarab@gmail.com

Abstract. Biomass and carbon stocks quantifications in natural plant cover is a key element in researches about nutrient cycling and the role of forests in the climate. In Brazil, not all formations were properly studied, as the “Cerrado” and its existing forms in the northern region of Minas Gerais, and the forest measurements traditional methods do contribute hardly anything, for being expensive and have a limited spatial application. As a solution, the utilization of remote sensing associated with traditional methods have been obtaining success and making itself as a promising alternative. Therefore, the objective of the present work was to evaluate the relationship between spectral response, biomass and carbon stock in “Cerrado” formations in the northern region of Rio Pardo watershed. The methodology consisted in forest inventory and measurement campaigns for estimating biomass and carbon stock, digital processing of orbital images and computer spreadsheets, for the generation of vegetation index and the building of models of the variables factors involved according to NDVI. It was noted strong relation between NDVI and biomass and carbon stocks, the adjustment of the tested models was considered satisfactory, with R^2 of 0.8168 for biomass and 0.8215 for carbon. It was observed that most parts of the studied area was with low stocks of the studied variables, showing the environmental problems of the region and indicating the generation of carbon credits opportunities through forestry projects.

Palavras-chave: remote sensing, NDVI, primary productivity, forest measurement, sensoriamento remoto, NDVI, produtividade primária, mensuração florestal.

1. Introdução

Pesquisas das últimas décadas indicam que a temperatura média do planeta sofreu uma elevação da ordem de 0,6°C no século XX. A causa desse aquecimento é atribuída à intensificação do efeito estufa, ocasionada, por sua vez, pelo aumento das emissões antrópicas de alguns compostos químicos, dentre os quais figura como principal o dióxido de carbono - CO₂ (Scarpinella, 2002). Segundo Silva (2007) e Juras (2009), as consequências econômicas, sociais e ambientais desse processo são alarmantes, passando pela regressão das calotas polares e aumento do nível dos oceanos, maior incidência de eventos climáticos extremos, como secas e inundações, deslocamento de populações, escassez de alimentos, extinção de espécies e proliferação de vetores e de doenças, dentre outras.

Diante de tal cenário, iniciaram-se discussões globais acerca do problema e de como enfrentá-lo. O marco principal dessas discussões é a Conferência das Partes nº 3 – COP 3, da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas, ocorrida em Kyoto, no Japão, em 1997. O resultado da referida conferência foi a proposição de um protocolo, por

meio do qual os países signatários assumiriam responsabilidades e compromissos, no sentido de reduzir ou compensar as emissões dos chamados Gases de Efeito Estufa - GEE's.

Alguns desses compromissos são passíveis de compensações financeiras, como projetos de florestamento e reflorestamento de áreas originalmente cobertas por florestas, com espécies nativas do local. No entanto, para que esse tipo de projeto tenha efetividade no seqüestro de carbono e na captação de recursos financeiros, é necessário o conhecimento do estoque atual de biomassa e de carbono, assim como também é necessário estimar a dinâmica e o potencial total de seqüestro de carbono da iniciativa a ser proposta (Kuntschik, 2004).

A quantificação da biomassa e do carbono estocados nas partes aéreas da vegetação é tradicionalmente efetuada por meio de métodos destrutivos ou via aplicação de modelos alométricos. No entanto, tais métodos têm como desvantagem o fato de serem considerados onerosos e de demandarem grandes esforços para a sua aplicação, sobretudo quando se deseja estudar áreas de grande envergadura espacial (Cassol, 2013). Nesse sentido, uma promissora alternativa metodológica consiste na proposição de modelos empíricos e estatísticos, que relacionam estimativas amostrais de campo à resposta espectral e/ou índices derivados de imagens orbitais, como os índices de vegetação. Tais abordagens, inclusive, têm sido estimuladas no âmbito de ações globais de estudos sobre o clima e aquecimento global (Celes et al., 2013).

Segundo Cassol (2013), a aplicação do sensoriamento remoto na obtenção de estimativas de biomassa e carbono pode resultar em menor custo e consumo de tempo, e apresenta vantagens em relação aos métodos tradicionais, no que diz respeito a estudos de natureza espacial. O princípio no qual se baseia a aplicabilidade da referida ferramenta ao objeto em questão está no fato de que características relacionadas à composição, volume e estrutura da vegetação são passíveis de detecção em imagens de satélite (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). Como essas características resultam em comportamentos espectrais distintos, podem ser relacionadas a estimativas de campo, obtidas por amostragem, gerando modelos práticos e utilizáveis tanto para outras localidades, quanto para outros períodos de tempo. Celes *et al.* (2013), Matos e Kirchner (2008), e Bolfe *et al.* (2009) comprovaram tal afirmação, ao encontrar alta correlação entre estoque de biomassa e índices de vegetação derivados de imagens de satélite.

Embora estudos de quantificação de biomassa sejam relativamente comuns, e executados há décadas, poucas áreas, em termos de superfície e de biomas, foram estudadas até o presente momento. É o caso do Cerrado brasileiro, especialmente as suas variações que ocorrem na porção norte do Estado de Minas Gerais, como na bacia do rio Pardo. Trata-se de uma região onde áreas naturais do referido bioma se encontram sob pressão e sob diferentes estados ou níveis de antropização (Oliveira et al., 2014; Salis et al., 2014), motivo pelo qual estudos dessa natureza contribuiriam, em muito, ao diagnóstico ambiental e à compreensão da dinâmica de uma série de processos, como degradação ambiental, regeneração florestal e seqüestro de carbono atmosférico por florestas.

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a relação entre resposta espectral, biomassa e estoque de carbono em formações de cerrado na porção mineira da bacia do rio Pardo.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo abrangeu a porção mineira da bacia do Rio Pardo, localizada na região norte do Estado de Minas Gerais, conforme ilustrado na Figura 1. Compreende uma superfície de aproximadamente 12.700 km², situada entre os paralelos 15° e 16° de latitude sul e entre os meridianos 41° e 43° a oeste de Greenwich.

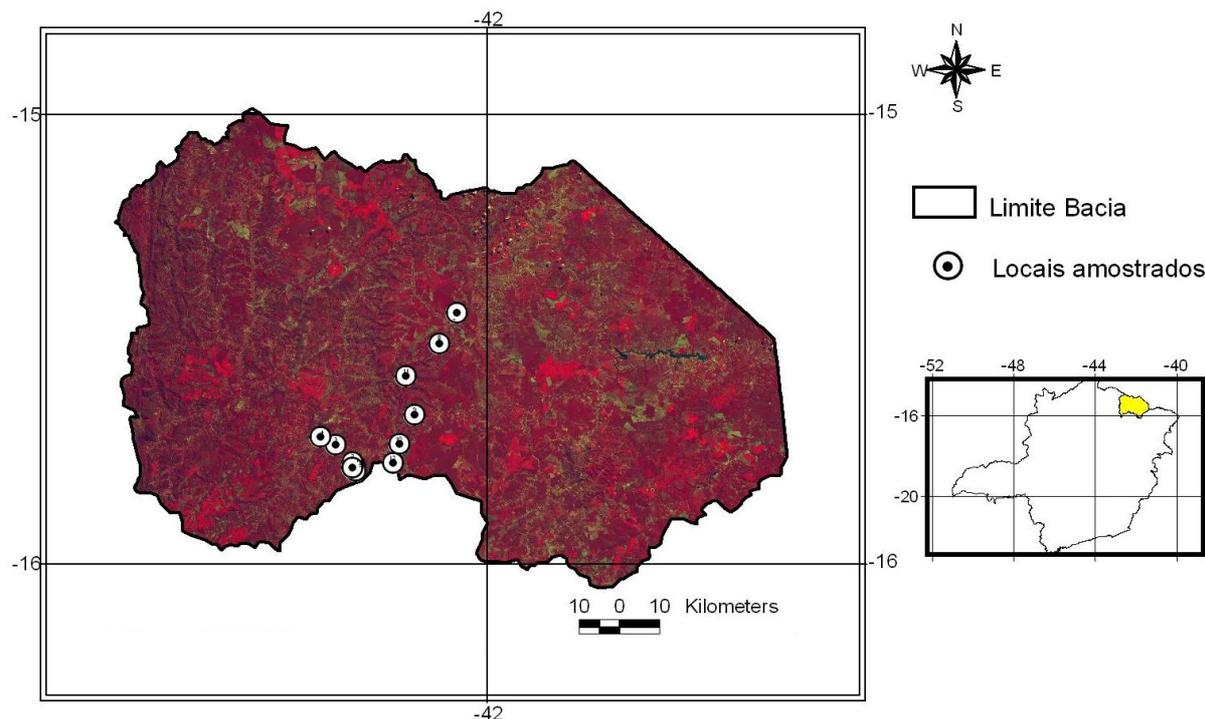


Figura 1. Localização da área de estudos e das parcelas experimentais.

O clima na região é de transição entre Cerrado e Caatinga, variando de sub-úmido a semi-árido, classificado majoritariamente, segundo Köppen, como sendo Aw, de inverno seco e verão chuvoso. A cobertura vegetal natural é típica de cerrado, com ocorrência de fitofisionomias de transição caatinga/cerrado, florestas subcaducifólias e caducifólias, caatinga hiperxerófila e formações rupestres (Toledo *et al.*, 2009). Com relação aos solos, a classe predominante é a dos latossolos vermelho-amarelos, com pequenas ocorrências de cambissolos, podzólicos vermelho-amarelos, solos aluviais e solos litólicos (Amaral *et al.*, 2004).

O material consistiu em uma cena multiespectral do satélite LANDSAT-8, com resolução espacial de 30 metros, um receptor GNSS do tipo “navegação” e equipamentos de mensuração florestal de campo (fita métrica e hipsômetro). Para o processamento dos dados, foram utilizados os softwares IDRISI, versão Andes (licença gratuita) e o Microsoft Excel 2003. A metodologia compreendeu campanhas de inventário e mensuração florestal, para a estimativa do estoque de biomassa e carbono em ocorrências de cerrado na área de estudos, e processamento digital de imagens orbitais e de planilhas eletrônicas, para a geração de índices de vegetação e construção de modelos para a estimativa das variáveis em questão. Nos itens que se seguem, encontram-se detalhados os referidos passos metodológicos.

2.1. Estimativa do Estoque de Biomassa Vegetal Aérea e de Carbono

Nessa etapa, foram realizadas incursões a campo para a execução de um inventário florestal. Ao longo da área de estudos, foram lançadas 12 parcelas amostrais, distribuídas espacialmente e alocadas de modo aleatório, contemplando três principais classes de estoque de biomassa e carbono (quatro parcelas por classe): (1) cerrado degradado em estágio inicial de regeneração; (2) cerrado degradado em estado intermediário de regeneração; e (3) cerrado conservado ou em estado final de regeneração. Em cada parcela, foram tomadas medidas de diâmetro e altura. Nas parcelas referentes às classes “2” e “3” os diâmetros foram medidos à altura de 1,30m (DAP), enquanto que nas parcelas de classe “1”, o diâmetro foi medido à 0,30 m do solo, contemplando todos os indivíduos lenhosos com diâmetro superior a 3 cm. As parcelas de campo foram georreferenciadas, utilizando-se um receptor GNSS.

Em escritório, o processamento dos dados alométricos foi realizado utilizando-se o software Excel. A partir dos dados de diâmetro e altura, foram estimados os estoques de biomassa e carbono, em toneladas/hectare, aplicando-se modelos gerados a partir de estimativas médias obtidas para as diversas fitofisionomias do bioma Cerrado no inventário florestal de Minas Gerais, de Scolforo et al. (2008), apresentados por meio das equações 1 e 2, respectivamente.

$$\text{Ln(PS)} = -10,1024202605 + 2,4038079403 * \text{Ln(DAP)} + 0,479410187 * \text{Ln(H)} \quad (1)$$

$$\text{Ln(C)} = -10,4348254429 + 2,3336448412 * \text{Ln(DAP)} + 0,3837314228 * \text{Ln(H)} \quad (2)$$

onde: PS = peso seco/biomassa (toneladas); C = carbono (toneladas); DAP = diâmetro a altura do peito (m); H = altura total (m).

2.2. Geração de Modelos “biomassa e carbono x resposta espectral”

A primeira parte dessa etapa compreendeu a seleção de imagens de satélite, com vistas à geração de índices de vegetação. Foram utilizadas cenas do Landsat 8 – TM, com resolução espacial de 30 metros, com mínima cobertura de nuvens e datas de captura coincidente à dos trabalhos de campo. Como a área de estudo encontra-se dividida entre duas cenas Landsat, foi necessário confeccionar um mosaico, utilizando as imagens parciais e o software Idrisi. A operação foi executada para cada banda e a partir dos canais vermelho e infravermelho próximo, foi gerado um mapa de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, conforme equação apresentada em Ponzoni e Shimabukuro (2007).

As estimativas amostrais georreferenciadas de biomassa e carbono foram então “cruzadas” espacialmente com a informação espectral expressa por meio do NDVI. Neste caso, considerou-se o NDVI médio do *pixel* coincidente à localização da parcela de campo e dos oito *pixels* vizinhos, a fim de se evitar erros advindos da acurácia espacial da imagem e das coordenadas rastreadas das parcelas. A partir dessa interseção espacial, foram construídas as séries dicotômicas “Biomassa (massa/unidade de área)” x “NDVI” e “Carbono (massa/unidade de área)” x “NDVI”, a partir das quais foram testados ajustes de modelos, nos quais Biomassa e Carbono foram definidos como variável dependente do NDVI. Este procedimento foi executado com o auxílio do software Excel 2010.

3. Resultados e Discussão

A partir dos dados alométricos medidos em campo no trabalho de inventário florestal e das equações apresentadas na seção anterior, foram obtidos os valores médios de Biomassa e Carbono para cada classe de Cerrado considerada no presente trabalho (Tabela 1).

Tabela 1. Estimativa de biomassa e carbono por classe Cerrado na bacia do Rio Pardo/MG.

Classe de Cerrado	Biomassa(T/ha)	Carbono(T/ha)
1	1.0567	0.6433
2	12.6648	6.7561
3	62.6133	30.7709

Os valores médios de biomassa e estoque de carbono situaram-se dentro das faixas encontradas por Scolforo et al. (2008), para o Cerrado Stricto Sensu no inventário florestal de Minas Gerais. A produtividade encontrada para a classe 3 ficou acima da média estadual e se aproximou dos fragmentos de maior estoque, representando remanescentes conservados em estado avançado de regeneração florestal. A classe 1 apresentou média inferior aos campos cerrados, apresentando indivíduos mais jovens, o que pode estar associado à intervenções

recentes nas áreas amostradas desta classe. Na Figura 2, encontra-se ilustrado o aspecto geral, *in situ*, das três classes amostradas.



Figura 2. Formações de Cerrado amostradas em campo (da esquerda para a direita: Classe 1 – regeneração inicial; Classe 2 – regeneração intermediária; Classe 3 – regeneração final).

Das 12 áreas amostradas, 8 foram utilizadas na geração dos modelos de estoques de biomassa e carbono em função do NDVI, pois em algumas parcelas Classe 1 e Classe 2, a resposta espectral da formação vegetal estudada foi afetada por outros tipos de vegetação não arbórea. O resultado encontra-se apresentado na Figura 3.

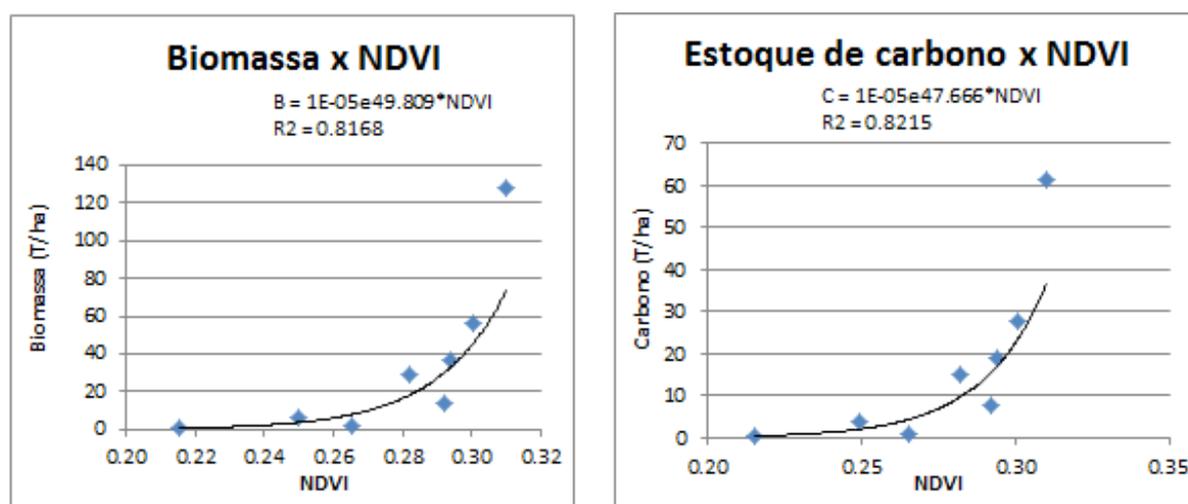


Figura 3. Relação entre NDVI e estoques de biomassa e carbono em formações de cerrado na porção mineira da bacia do Rio Pardo.

O modelo exponencial foi o que apresentou a melhor aderência estatística, mostrando que os estoques de biomassa e carbono aumentam, com o crescimento do NDVI. Os coeficientes de determinação (R^2) de 81,68% e 82,15%, do modelo de biomassa e carbono, respectivamente, foram considerados satisfatórios, uma vez que, segundo Draper e Smith (1998), quanto mais próximos de 1 ou -1, melhor o ajuste do modelo aos dados experimentais. Os modelos ajustados foram aplicados ao mapeamento da distribuição espacial das variáveis em estudo, cujo resultado se encontra apresentado nas figuras 4 e 5.

Analisando-se os mapas de biomassa e carbono, percebe-se que a maior parte das formações de cerrado da bacia encontra-se com baixos estoques, entre zero e 25 toneladas/hectare e entre zero e 15 toneladas/hectare, respectivamente. Tal resultado está em concordância com as observações efetuadas em incursões à área, por meio do que se identificou uma forte predominância de áreas altamente degradadas e em estágio inicial de regeneração, em locais, segundo Scolforo et al. (2008), cobertos originalmente com Cerrado

Strictu Sensu. Observou-se também que essas mesmas áreas são originárias de atividades agropastoris e/ou silviculturais encerradas.

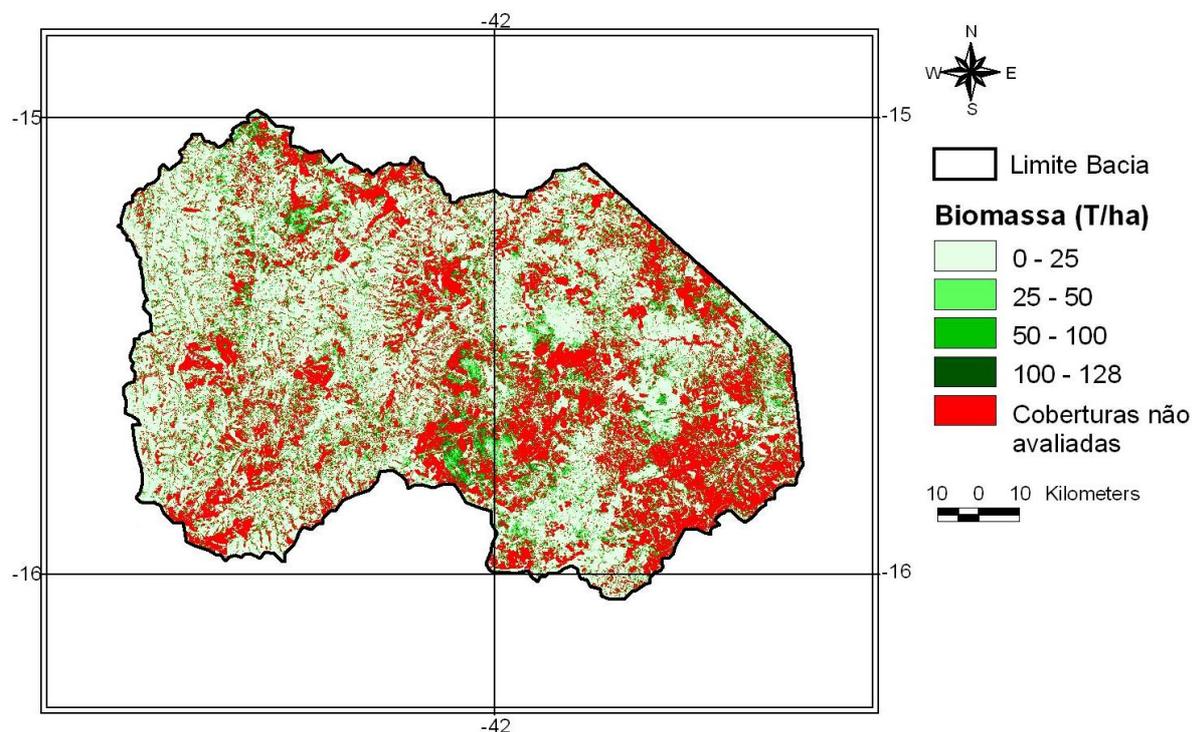


Figura 4. Distribuição espacial do estoque de biomassa na porção mineira da bacia do Rio Pardo-MG

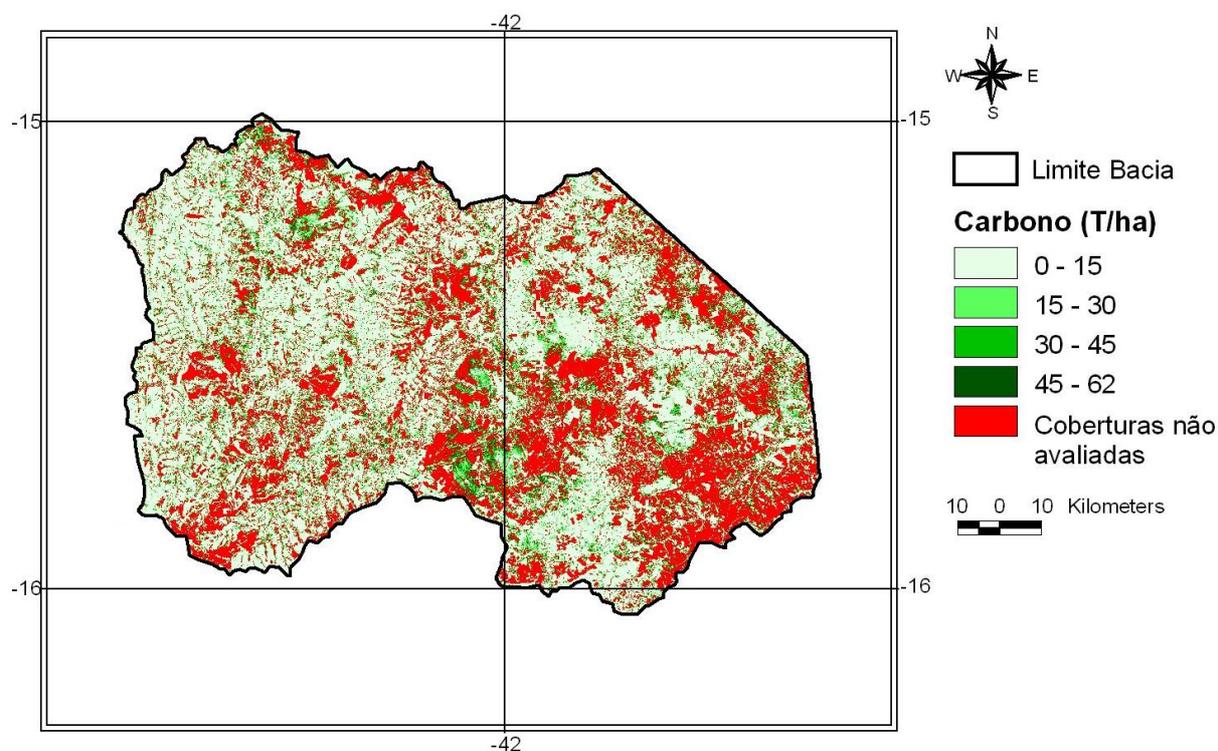


Figura5. Distribuição espacial do estoque de carbono na porção mineira da bacia do Rio Pardo-MG

4. Conclusões

A partir dos resultados alcançados com a metodologia proposta, pode-se concluir que:

- as classes pré-definidas de formações de cerrado apresentaram estoques de biomassa e carbono condizentes ao observado em campo durante a execução do inventário florestal, com a Classe 1 apresentando os menores valores, seguida pelas classes 2 e 3;
- observou-se uma forte relação direta entre o NDVI e os estoques de biomassa e carbono, com coeficientes de determinação de 0,8168 e 0,8215, respectivamente. Por esse motivo, os modelos preliminares de biomassa e carbono em função da resposta espectral foram considerados satisfatórios;
- a maior parte da bacia se encontra com baixos estoques de carbono e, por isso, em nível crítico de degradação. A predominância de áreas críticas requer a adoção de medidas conservacionistas, uma vez que o problema interfere em outros processos, como na produtividade hídrica da bacia. Por outro lado, trata-se uma oportunidade de geração de renda via geração de créditos de carbono com projetos florestais;
- o estudo será aprofundado, com a execução de novas campanhas de inventário florestal e a proposição/avaliação de modelos com outros índices de vegetação, como o NRVI e o SAVI – exemplos de índices que tentam eliminar a reflectância do solo, no caso de coberturas vegetais esparsas, como o Cerrado.

Agradecimentos

À FAPEMIG e ao IFNMG, pelo apoio financeiro e logístico.

Referências Bibliográficas

Amaral, F. C. S.; Santos, H. G.; Áglio, M. L. D.; Duarte, M. N.; Pereira, N. R.; Oliveira, R. P.; Júnior, W. C. **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento N° 63. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2004, 95p.

Bolfe, E. L.; Ferreira, M. C.; Batistella, M. Avaliação da correlação entre índices de vegetação e biomassa epígea de sistemas agroflorestais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14. 2009. Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 2603-2610. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.13.14/doc/2603-2610.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2016.

Cassol, H. L. **Estimativa de biomassa e estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista com uso de dados ópticos de sensores remotos**. 2013. 143P. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

Celes, C. H. S.; Shimabukuro, Y. E.; Campos, M. A. A.; Higuchi, N. Estimativa de biomassa em uma floresta tropical no município de Maués – AM, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, no 65/3, p. 541 – 554, 2013.

Draper, N.R.; Smith, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York.:J.Wiley, 1998. 706p.

Juras, I. A. G. M. **Créditos de carbono**. Brasília: Consultoria Legislativa – Estudo. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2009. 10p. Disponível em <<http://camara.gov.br>>. Acesso em: 21 fev. 2012.

Kuntschik, G. **Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar**. 2004. 154P. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

Matos, F. D. A.; Kirchner, F. F. Estimativa de biomassa da Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme na Amazônia Central com o satélite IKONOS II. **Floresta**, v. 38, no 1, p. 157 – 171, 2008.

Oliveira, I. A.; Vicente, M. R.; Santos, R. M.; Sousa, R. E. G.; Chaves, I. L. S.; Cruz, L. P.; Lima, V. O. B.; Júnior, W. P. S. Mapeamento detalhado do uso/cobertura da terra para a bacia do Rio Pardo, Minas Gerais. In: III Seminário de Iniciação Científica e III Mostra de Trabalhos Científicos do IFNMG, 2014b. Januária. **Anais...** 3p.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2007. 127 p.

Salis, H. H. C.; Santos, R. M.; Morelli, M. C. M.; Cardoso, R. L. R.; Chagas, F. M. F.; Mendes, V. J. P.; Vicente, M. R.; Lima, V. O. B. Avaliação econômica de conflitos de uso da terra na bacia do rio Pardo: estudo de caso para uma sub-bacia localizada no Município de São João do Paraíso – MG. In: III Seminário de Iniciação Científica e III Mostra de Trabalhos Científicos do IFNMG, 2014. Januária. **Anais...** 3p.

Scarpinella, G. D. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. 2002. 182p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

Scolforo, J. R. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. In: Scolforo, J. R.; Mello, J. M.; Oliveira, A. D. (Ed.). **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, 2008. cap. 8, p. 361-438.

Silva, R. F. **Projeção do estoque de carbono e análise da geração de créditos em povoamentos de eucalipto**. 2007. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

Toledo, L. O.; Anjos, L. H. C.; Couto, W. H.; Correia, J. R.; Pereira, M. G.; Correia, M. E. F. Análise multivariada de atributos pedológicos e fitossociológicos aplicada na caracterização de ambientes de cerrado no norte de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 957 – 968, 2009.