

Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto

Leonardo Tullio
(Organizador)



Atena
Editora

Ano 2018

LEONARDO TULLIO

(Organizador)

Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
A642	Aplicações e princípios do sensoriamento remoto [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento remoto; v. 1) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-85107-54-3 DOI 10.22533/at.ed.543180210 1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo. CDD 621.3678
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Aplicações e princípios de Sensoriamento Remoto” aborda em seu primeiro Volume uma apresentação de 21 capítulos, no qual os autores tratam as mais recentes e inovadoras pesquisas voltadas para a área de Sensoriamento Remoto em suas diversas aplicações no meio urbano e rural.

O uso de imagens de satélite através do Sensoriamento Remoto está cada vez mais sendo utilizada para o planejamento e tomada de decisão rápida, visto que, a era tecnológica permite rapidez e confiança nos resultados. Contudo, sua utilização está na dependência de fatores de interação entre ambiente e sensor, que afetam nos produtos finais. Assim, sua qualidade depende de quatro tipos de resolução: temporal; espacial; espectral e radiométrica, que se referem a condição do satélite, isso deve ser levado em consideração no tipo de análise e o que pretende -se analisar.

Em contrapartida, a aquisição de imagens a nível terrestre já é possível com a utilização dos VANTES (Veículo Aéreo não Tripulado), porém fatores afetam seu movimento e resultam em imagens com pouca qualidade, estando diretamente na dependência do tipo de sensores acoplados. A análise por modelos e técnicas computacionais permite melhores e mais confiáveis resultados, que podem expressar a real condição. Porém, índices para comparação de variáveis ainda são desconhecidos e necessitam de trabalhos mais específicos para a geração de mapas interativos e virtuais.

Assim, o Sensoriamento Remoto é atualmente a área que mais cresce, visto a possibilidade da interação e tomada de decisão por meio de imagens e programas computacionais, tornando uma grande ferramenta em diversas áreas de atuação.

Por fim, espero que esta obra atenda a demanda por conhecimento técnico de qualidade e que novas pesquisas utilize-a de norte para traçar novos rumos para o Sensoriamento Remoto Aplicado.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A DINÂMICA DE FOCOS DE CALOR NO ESTADO DO ACRE ENTRE OS ANOS DE 2004 E 2010	
<i>Juliana de Oliveira Tostes</i>	
<i>Márcio Rocha Francelino</i>	
<i>José Francisco de Oliveira Júnior</i>	
<i>Gustavo Bastos Lyra</i>	
CAPÍTULO 2	13
ADEQUAÇÃO DE BANCO DE DADOS E UTILIZAÇÃO DE ATRIBUTO DE HIERARQUIA NA GERAÇÃO DE ROTAS ÓTIMAS PARA O ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO FLORESTAL	
<i>Júlia Vaz Tostes Miluzzi de Oliveira</i>	
<i>Pedro Sepulveda Neto</i>	
<i>Charles Marques de Souza</i>	
<i>Fausto Weimar Acerbi Junior</i>	
CAPÍTULO 3	25
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE GERAÇÃO DE MDT APLICADO AO PARQUE AMBIENTAL VITÓRIO PIASSA - PR	
<i>Gabriel Roldo Gomes</i>	
<i>João Henrique Ferrarini</i>	
<i>Marcelle Luisa Calegari</i>	
<i>Danielli Batistella</i>	
<i>Priscila da Silva Victorino</i>	
CAPÍTULO 4	34
ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUAS IMPLICAÇÕES COM O ZONEAMENTO DO SOLO URBANO NA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBUÍ, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP.	
<i>Paulo Roberto Belisário</i>	
<i>Maiara Resende Ribeiro</i>	
<i>Mario Valério Filho</i>	
CAPÍTULO 5	44
ANÁLISE DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (RMG), NO PERÍODO DE 1986 A 2016	
<i>Joelson de Souza Passos</i>	
<i>Jepherson Correia Sales</i>	
<i>Gabriella Santos Arruda de Lima</i>	
CAPÍTULO 6	57
ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA ÁREA URBANA DE UM TRECHO DO RECIFE E REGIÃO METROPOLITANA ATRAVÉS DE ORTOFOTOCARTAS ANTIGAS E IMAGEM DO GOOGLE EARTH	
<i>Leonardo Carlos Barbosa</i>	
<i>Luiz Carlos Barbosa da Silva</i>	
<i>Laízy de Santana Azevedo</i>	
CAPÍTULO 7	66
ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DE PARTE DE BAIRRO NOVO – OLINDA ENTRE 1986 A 2014 UTILIZANDO ORTOFOTOCARTA E ORTOFOTOS	
<i>Júlio César Albuquerque Simões Belo</i>	
<i>Mirelly de Oliveira Farias</i>	
<i>Carlos Alberto Borba Schuler</i>	

CAPÍTULO 8 75

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA DE DUNAS AO LONGO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO NORTE RS VIA DADOS TM LANDSAT 5

Jean Marcel de Almeida Espinoza
Deivid Cristian Leal Alves
João Augusto de Carvalho Ferreira
Jefferson Rodrigues dos Santos
André Bilibio Westphalen
Miguel da Guia Albuquerque

CAPÍTULO 9 83

ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DA CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT-8 (OLI)

Rodrigo Moura Pereira
Dayanna Teodoro Quirino
Derblai Casaroli
Lucas Melo Vellame
Delvio Sandri

CAPÍTULO 10 98

ESTUDO DO DESFLORESTAMENTO E QUALIDADE AMBIENTAL A PARTIR DO USO DE TECNOLOGIAS EM SENSORIAMENTO REMOTO

Roberta Monique da Silva Santos
Stiffanny Alexa Saraiva Bezerra
Álefe Lopes Viana
Nelson Felipe de Albuquerque Lins Neto
José Roselito Carmelo da Silva

CAPÍTULO 11 115

EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SISTEMA ESTUARINO DA BAÍA DE VITÓRIA - SEBV E IMPLICAÇÕES PARA O GRADIENTE FLÚVIO-ESTUARINO.

Fernando Jakes Teubner Junior
Gilberto Fonseca Barroso

CAPÍTULO 12 131

ÊXODO RURAL E ESTADO DA VEGETAÇÃO NATIVA: DESENVOLVIMENTO DE UM INDICADOR SOCIOECONÔMICO E VALIDAÇÃO COM IMAGENS DE SATÉLITE NO MUNICÍPIO DE CANGUÇU - RS, BRASIL

Jefferson Rodrigues dos Santos
Júlia Borges Telmo
Lucas Munhoz Caseiro
Jean Marcel de Almeida Espinosa
João Augusto de Carvalho Ferreira

CAPÍTULO 13 142

FRAGILIDADE AMBIENTAL DE UMA MICROBACIA, VISANDO O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Sérgio Campos
Marcelo Campos
Thyellenn Lopes de Souza
Mateus Campos Leme
Mikael Timóteo Rodrigues

CAPÍTULO 14 152

IMAGEM DE REFLECTÂNCIA DE SUPERFÍCIE USGS COMO REFERÊNCIA PARA COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

Patricia Michele Pereira Trindade
Dejanina Luderitz Saldanha

<i>Waterloo Pereira Filho</i>	
CAPÍTULO 15	163
INFERÊNCIA DA PROFUNDIDADE DA ZONA EUFÓTICA E DO COEFICIENTE VERTICAL DE ATENUAÇÃO DE LUZ NA ÁGUA DA REPRESA MAUÁ, RIO TIBAGI/PR, A PARTIR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS LANDSAT-8/OLI	
<i>Adriana Castreghini de Freitas Pereira</i>	
<i>Paulo Henrique Marques de Castro</i>	
CAPÍTULO 16	174
MODELAGEM DE CORREDORES ÓTIMOS PARA INSTALAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS FERROVIÁRIOS COM O SOFTWARE LIVRE DINÂMICA EGO A PARTIR DE PRODUTOS GRATUITOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	
<i>Felipe Ramos Nabuco de Araújo</i>	
<i>Jefferson William Lopes Almeida</i>	
<i>Ítalo Sousa de Sena</i>	
<i>Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega</i>	
CAPÍTULO 17	187
PLANEJAMENTO DE UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA EM PROJETO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA	
<i>Daniel de Almeida Papa</i>	
<i>Evandro Orfanó Figueiredo</i>	
<i>Alexandre Pansini Camargo</i>	
<i>Luiz Carlos Estraviz Rodriguez</i>	
CAPÍTULO 18	199
RELAÇÃO ENTRE RESPOSTA ESPECTRAL, BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO EM OCORRÊNCIAS DE CERRADO NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA DO RIO PARDO: ESTUDO PRELIMINAR	
<i>Ronaldo Medeiros dos Santos</i>	
<i>Vinícius Orlandi Barbosa Lima</i>	
<i>Marcelo Rossi Vicente</i>	
<i>Talita Moreira Câmara</i>	
<i>Cecília Cristina Almeida Mendes</i>	
<i>Diana Marques Silva</i>	
<i>Gesiane Simara Barbosa</i>	
CAPÍTULO 19	209
SENSORIAMENTO REMOTO NA CULTURA DO ALGODÃO	
<i>Ziany Neiva Brandão</i>	
<i>João Henrique Zonta</i>	
<i>Luciano Shozo Shiratsuchi</i>	
CAPÍTULO 20	225
TEMPERATURA DE BRILHO POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT-8 NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL TIETÊ NO ESTADO DE SÃO PAULO	
<i>Adriana Fantinati Conceição</i>	
<i>Denivaldo Ferreira de Souza</i>	
<i>Pedro Enrico Salamim Fonseca Spanghero</i>	
<i>Lindon Fonseca Matias</i>	
CAPÍTULO 21	235
UTILIZAÇÃO DE IMAGENS CCD-CBERS-2B NA ANÁLISE DOS ALINHAMENTOS GEOLÓGICOS DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA BORBOREMA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE	
<i>Paulo Sérgio de Rezende Nascimento</i>	
SOBRE O ORGANIZADOR	248

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

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
IFNMG, Campus Salinas
Salinas – Minas Gerais

Vinicius Orlandi Barbosa Lima

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
IFNMG, Campus Salinas
Salinas – Minas Gerais

Marcelo Rossi Vicente

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
IFNMG, Campus Salinas
Salinas – Minas Gerais

Talita Moreira Câmara

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
IFNMG, Campus Salinas
Salinas – Minas Gerais

Cecília Cristina Almeida Mendes

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
IFNMG, Campus Salinas
Salinas – Minas Gerais

Diana Marques Silva

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
IFNMG, Campus Salinas
Salinas – Minas Gerais

Gesiane Simara Barbosa

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
IFNMG, Campus Salinas
Salinas – Minas Gerais

naturais é um elemento chave em estudos de ciclagem de nutrientes e do papel das florestas no clima. No Brasil, nem todas as formações foram devidamente estudadas, e os métodos tradicionais de mensuração florestal não contribuem nesse sentido. Como solução, a utilização do sensoriamento remoto aliado aos métodos tradicionais tem obtido sucesso e se apresenta como uma promissora alternativa. 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. A metodologia compreendeu campanhas de inventário e mensuração florestal, para a estimação do estoque de biomassa e carbono, e processamento digital de imagens orbitais e de planilhas eletrônicas, para a geração de índices de vegetação e construção de modelos das variáveis em questão em função do NDVI. Foi observada uma forte relação entre o NDVI e os estoques de biomassa e carbono e o ajuste dos modelos testados foi considerado satisfatório, com R^2 de 0,8168 para biomassa e de 0,8215 para carbono. Observou-se que a maior parte da área de estudos se encontra com baixos estoques das variáveis estudadas, revelando os problemas ambientais da região e apontando oportunidades em geração de créditos de carbono via projetos florestais.

PALAVRAS-CHAVE: sensoriamento remoto,

RESUMO: A quantificação dos estoques de biomassa e carbono em coberturas vegetais

NDVI, produtividade primária, mensuração florestal.

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.

KEYWORDS: remote sensing, NDVI, primary productivity, forest measurement.

1 | INTRODUÇÃO

Pesquisas das últimas décadas indicam que a temperatura média do planeta sofreu uma elevação da ordem de $0,6^{\circ}\text{C}$ 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 - CO_2 (SCARPINELLA, 2002). Segundo Silva (2007) e Juras (2009), as conseqüências 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.

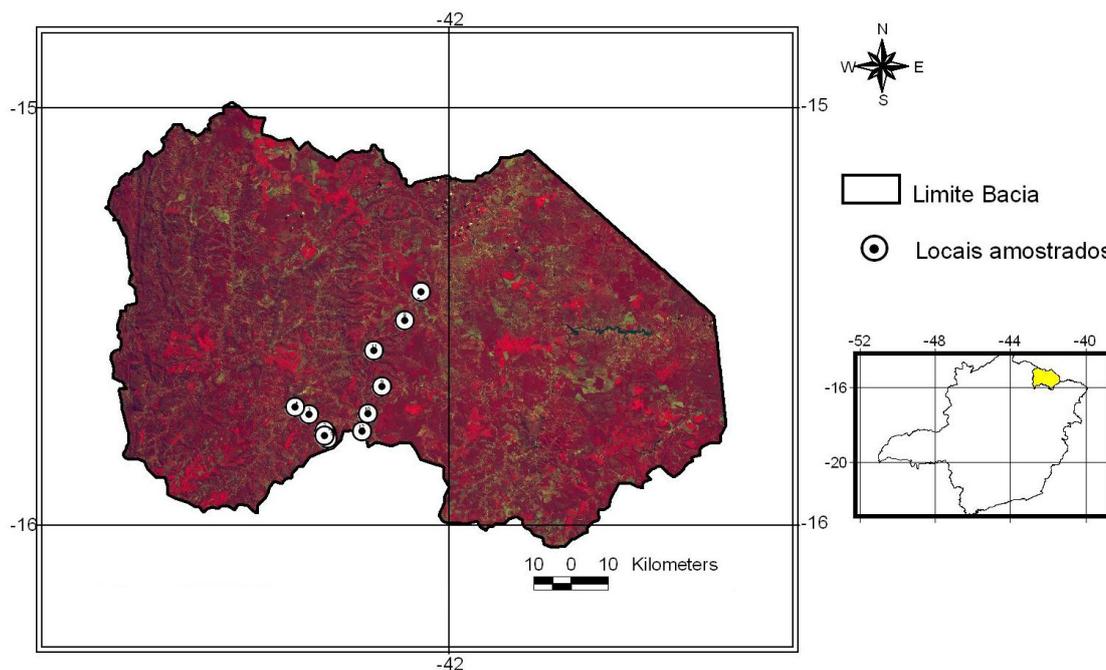


Figura 1. Localização da área de estudos e das parcelas experimentais.

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.

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

$$\ln(C) = -10,4348254429 + 2,3336448412 * \ln(DAP) + 0,3837314228 * \ln(H) \quad (2)$$

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).

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

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

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.

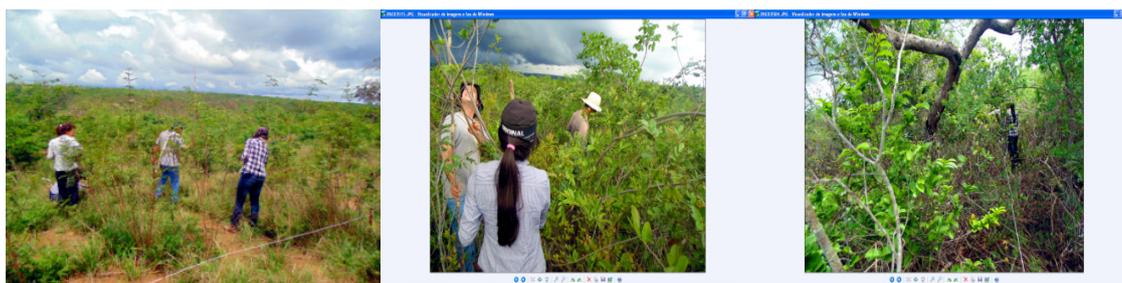


Figura 2. Formações de Cerrado amostradas em campo (da esquerda para a direita: Classe 1 – regeneração inicial; Classe 2 – regeneração intermediária; Classe 3 – regeneração final).

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.

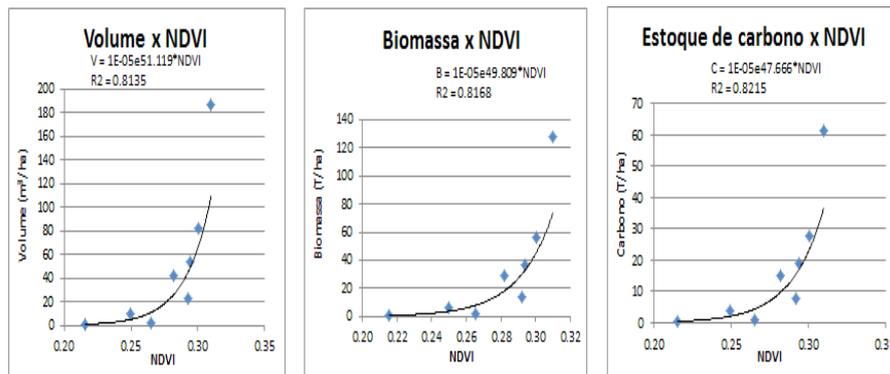


Figura 3. Relação entre NDVI e estoques de biomassa e carbono em formações de cerrado na porção mineira da bacia do Rio Pardo.

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.

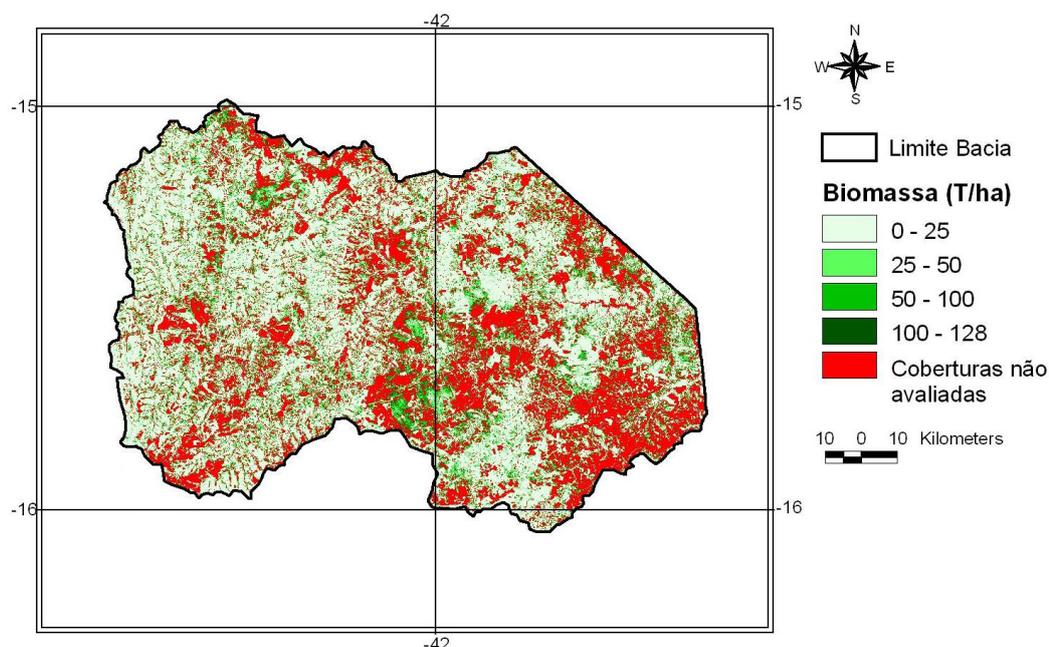


Figura 4. Distribuição espacial do estoque de biomassa na porção mineira da bacia do Rio Pardo-MG

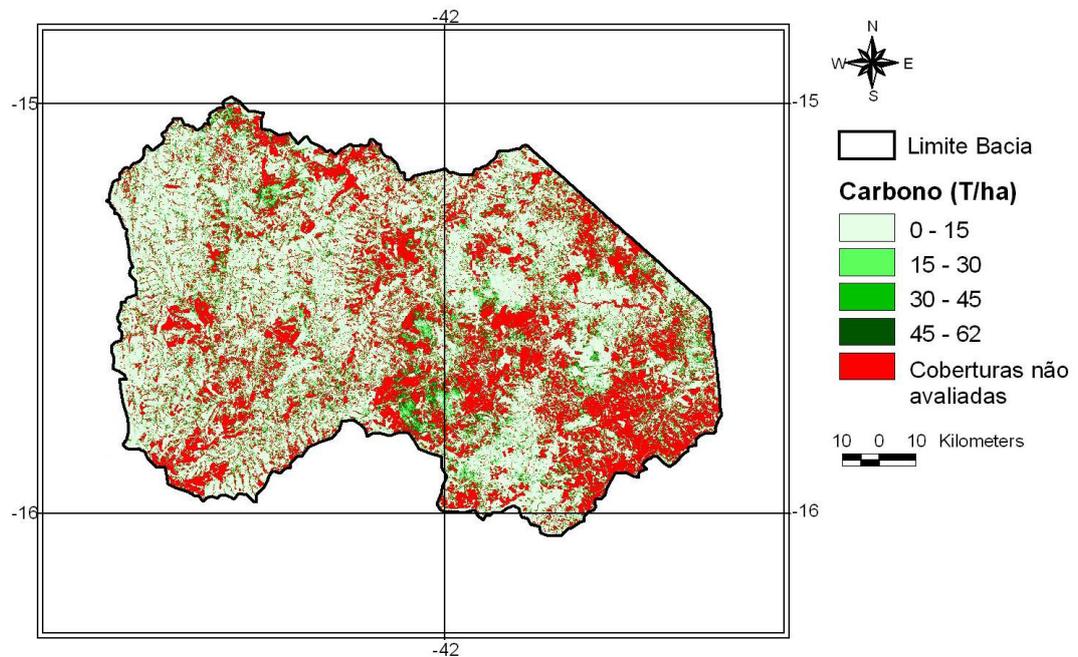


Figura5. Distribuição espacial do estoque de carbono na porção mineira da bacia do Rio Pardo-MG

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.

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 re-

quer 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.

5 | AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

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://mart.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.

SOBRE O ORGANIZADOR

Leonardo Tullio Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais- CESCAGE/2009), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/2016). Atualmente, é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia – Geotecnologias, com ênfase em Topografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-54-3



9 788585 107543