

## Discussão da Relação dos Índices de Vegetação com a Biomassa e o Carbono do Solo Considerando Dados Orbitais

José Maria Filippini Alba<sup>1</sup>  
Leandro Fernandes da Silva<sup>2</sup>  
Rute Daniela Chaves<sup>3</sup>

Índices de vegetação são funções matemáticas que envolvem duas ou mais bandas do espectro eletromagnético, geralmente estabelecidas por meio de sensores proximais ou remotos, que permitem mapear a distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal. A banda vermelha (600-700 nm), pela intensa absorção de radiação, e a banda do infravermelho próximo (750-1350 nm), pela reflexão extrema pelas plantas, são as mais utilizadas. Existem diversas formulações de índices de vegetação (LEBLON, 2014; SEBEM, 2005; SÃO PAULO, 2009), cujas informações podem ser calibradas para relacionar com biomassa aérea (ANDRADE et al., 2013; BOLFE, 2010), sendo a conversão para carbono direta, via fator de conversão. Já a relação do carbono do solo com os índices de vegetação apresenta maior complexidade (SANTOS, 2013).

Segundo McBratney et al. (2003), o modelo SCORPAN permite avaliar uma classe ou atributo

do solo mediante uma equação complexa, envolvendo alguma característica do próprio solo (S), o clima (C), os organismos vivos relacionados com microrganismos, macrofauna e vegetação (O), o relevo (R), o material parental (P), o tempo (A, de "age", idade em inglês) e a posição geográfica (N). O processo é conhecido como mapeamento digital de solos, sendo caracterizado pelos autores como uma sobreposição de níveis de informação envolvendo pedologia (informações pretéritas), modelo digital de elevação, dados climáticos, mapa geológico e imagens de sensoriamento remoto. Uma aplicação do tipo foi apresentada por Mendonça-Santos et al. (2007) para mapear o estoque de carbono superficial no solo no Estado do Rio de Janeiro, porém, sem envolver dados de sensoriamento remoto.

Este comunicado tem como objetivo discutir de maneira preliminar a relação dos índices de vegetação com a biomassa e principalmente com

<sup>1</sup> Bacharel em Química, D.Sc. em Georreferenciamento, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>2</sup> Acadêmico de Engenharia Geológica/Ufpel, bolsista CNPq/IC, Pelotas, RS.

<sup>3</sup> Acadêmica de Geotecnologias/Ufpel, estagiária da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

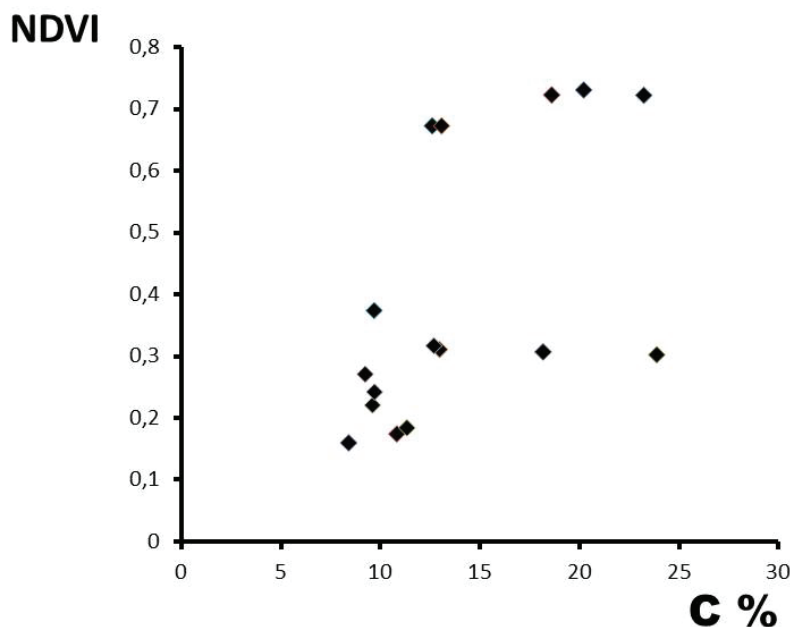
o carbono do solo, considerando uma revisão bibliográfica específica, trabalhos pretéritos desenvolvidos na Embrapa Clima Temperado e imagens de sensoriamento remoto (Landsat), de maneira a estabelecer uma abordagem inicial no contexto do projeto componente "Classificação e Especialização do Estoque de Carbono de Florestas Naturais e Plantadas por meio de Sensoriamento Remoto" (GeoSaltus), liderado pela Embrapa Monitoramento por Satélite, no contexto do Macroprograma 1, "Dinâmica da Emissão de Gases do Efeito Estufa e dos Estoques de Carbono em Florestas Brasileiras Naturais e Plantadas" (Saltus), sob liderança da Embrapa Florestas.

### Processamento de dados de referência

Santos (2013) discute a relação entre o Carbono do solo e diversos índices biofísicos, inclusive o NDVI, estabelecendo uma relação linear multivariada para modelar essa variável. Foram consideradas amostras de solo em profundidade de até 1 m (julho a setembro de 2011) e dados do satélite Landsat 5 de setembro de 2011 da bacia

hidrográfica do córrego Sarandi, Planaltina, DF. O coeficiente de correlação de Pearson do teor de Carbono no solo com o NDVI da cobertura vegetal foi de 0,56, indicando correlação positiva, mas o diagrama de dispersão (Figura 1) sugere saturação do NDVI para teor de Carbono acima de 12%, conforme modelo não linear.

Na tentativa de conferir esse resultado, considerou-se o conteúdo de carbono das amostras do horizonte superficial (A, A1, A/C, etc.) dos perfis de solo levantados, de forma pretérita, nos municípios de Cristal, Encruzilhada do Sul, Uruguaiana e na região de Frederico Wetsphalen (Figura 2), conforme detalhado por Cunha et al. (2005, 2006, 2008 e 2009), informação sistematizada segundo base de dados no contexto regional (FILIPPINI-ALBA; BORK, 2012). A data do levantamento não foi especificada pelos autores. O conteúdo de carbono foi transformado do teor de matéria orgânica, determinado por oxidação com dicromato de potássio em meio ácido. Processaram-se as amostras coletadas em profundidades variando em 0-10 a 0-25 cm, com predominância do intervalo 0 – 20 cm.



	C %	NDVI
Intervalo	8,4 - 23,9	0,2 - 0,7
Média	14	0,4
DP	5,1	0,22

**Figura 1:** Diagrama de dispersão C vs. NDVI e estatísticas das variáveis consideradas para 16 amostras de solo levantados em julho – setembro de 2012 e imagem Landsat 5, cena 221/071 de 10 de setembro de 2011, na bacia do córrego Sarandi, Planaltina, DF. Fonte: Santos (2013, p. 36).

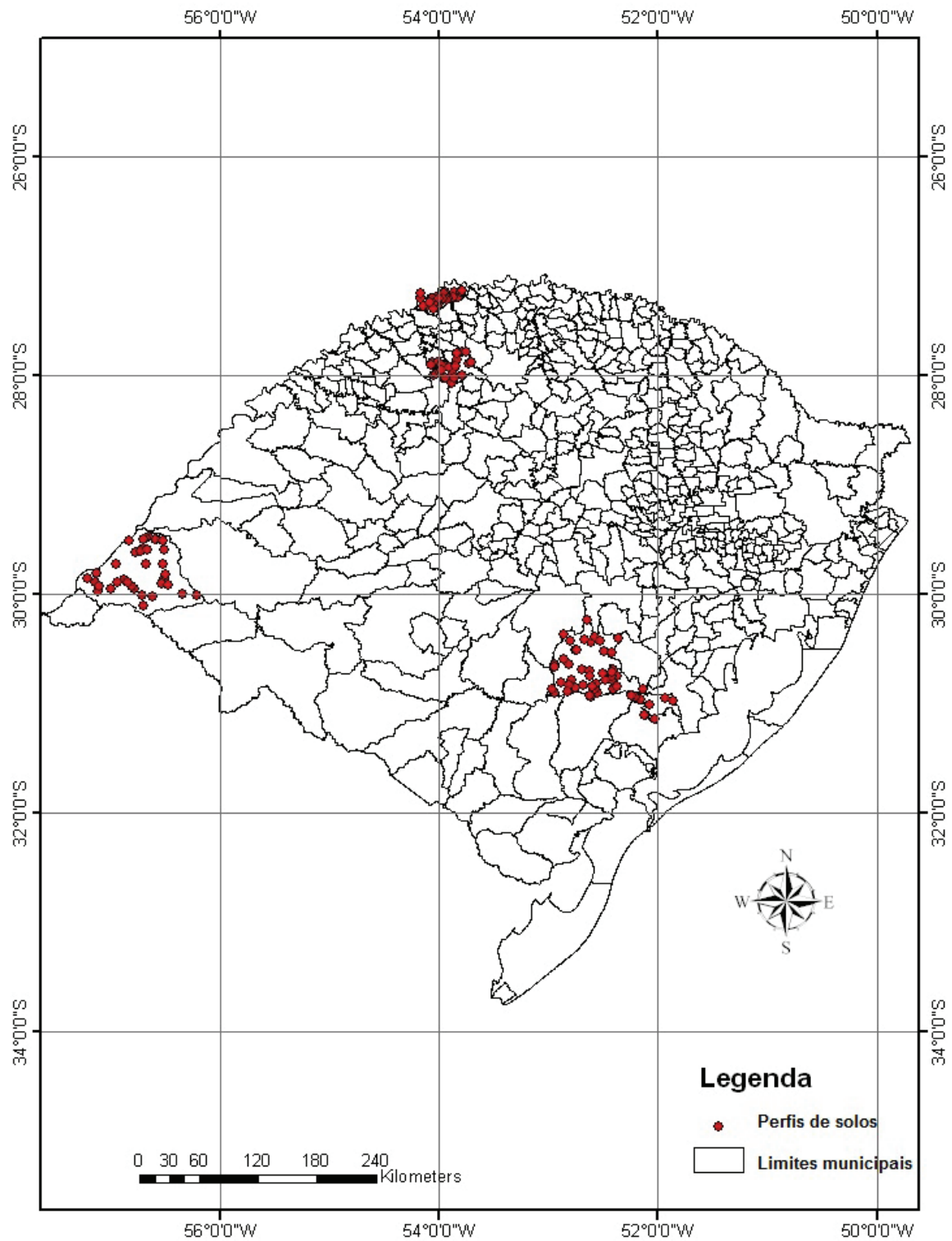


Figura 2: Localização dos perfis de solo de levantamento pretéritos considerados neste trabalho. Fonte: Cunha et al. (2005, 2006, 2008 e 2009).

Para extrair os dados espectrais se consideraram imagens Landsat 7 das seguintes órbitas-ponto: 223-81, 223-82, 224-81 e 225-81, de 24/11/2013, 26/12/2013, 17/12/2013 e 24/12/2013 respectivamente; todas elas registradas para coordenadas UTM no sistema WGS84, Zona 21. A extração considerou um quadrado de 5 pixels de lado e o valor máximo de NDVI, índice de vegetação de diferença normalizada (LEBLON, 2014):

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) - 1$$

Sendo R = reflectância (aproximação pelo DN) da banda vermelha; NIR = reflectância da banda do infravermelho próximo.

Não se efetuaram maiores correções nos dados, mas se testaram também o ARVI e o EVI, índices de vegetação semelhantes, mas que corrigem pela banda azul e pelo efeito do solo no segundo caso (BOLFE, 2010; SEBEM, 2005). O NDVI apresentou a correlação mais significativa, com coeficiente de Pearson igual a - 0,79, depois de eliminadas 27% das amostras afastadas do comportamento linear, conforme o diagrama de dispersão com "teor de Carbono no solo" (Figura 3). Foram considerados 63 perfis no total e eliminadas 17 amostras, sendo que a maior parte das amostras corresponde a áreas de agricultura e pastagens.

O gráfico expressa uma correlação negativa entre o NDVI e o teor de Carbono do solo (g.kg<sup>-1</sup>), cuja expressão matemática pode ser deduzida por um modelo de regressão:

$$\langle C_{solo} \rangle = 43 - 49 \langle NDVI \rangle$$

Sendo  $\langle C_{solo} \rangle$  o "teor de C no solo" expresso em g.kg<sup>-1</sup>, e  $\langle NDVI \rangle$  os valores de NDVI extraídos das imagens orbitais.

Imagens Landsat 8 foram utilizadas em datas semelhantes aos efeitos de comparação. Para visualização, as imagens foram ajustadas para composição colorida de resposta semelhante, ou seja, as cores azul, verde e vermelha foram atribuídas às bandas 3, 4 e 1 e 2, 5 e 4 para a plataforma Landsat 7 e Landsat 8, respectivamente. Em ambos os casos isso significa que foram usadas as bandas azul, NIR e vermelha na sequência de cores antes mencionada.

### Resultados potenciais

O erro do método foi calculado considerando a variabilidade do gráfico de dispersão para valor de NDVI de 0,5, devido à máxima dispersão (Figura 3).

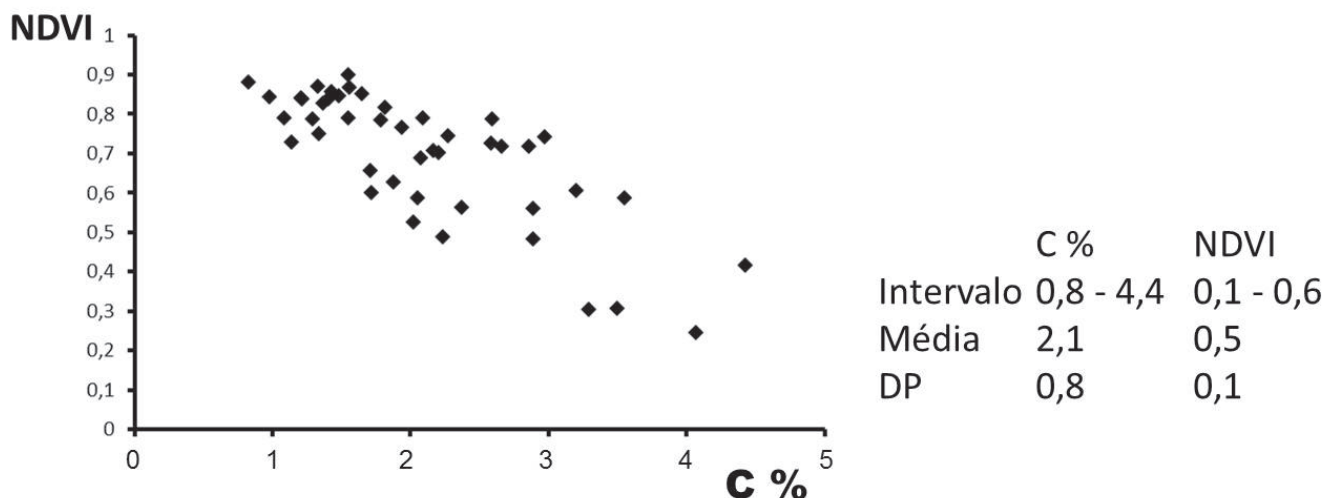


Figura 3: Diagrama de dispersão NDVI vs. "Teor de C no solo" e estatísticas para ambas as variáveis, considerando 46 perfis de solo de levantamentos pretéritos. Fonte: Cunha et al. (2005, 2006, 2008 e 2009).



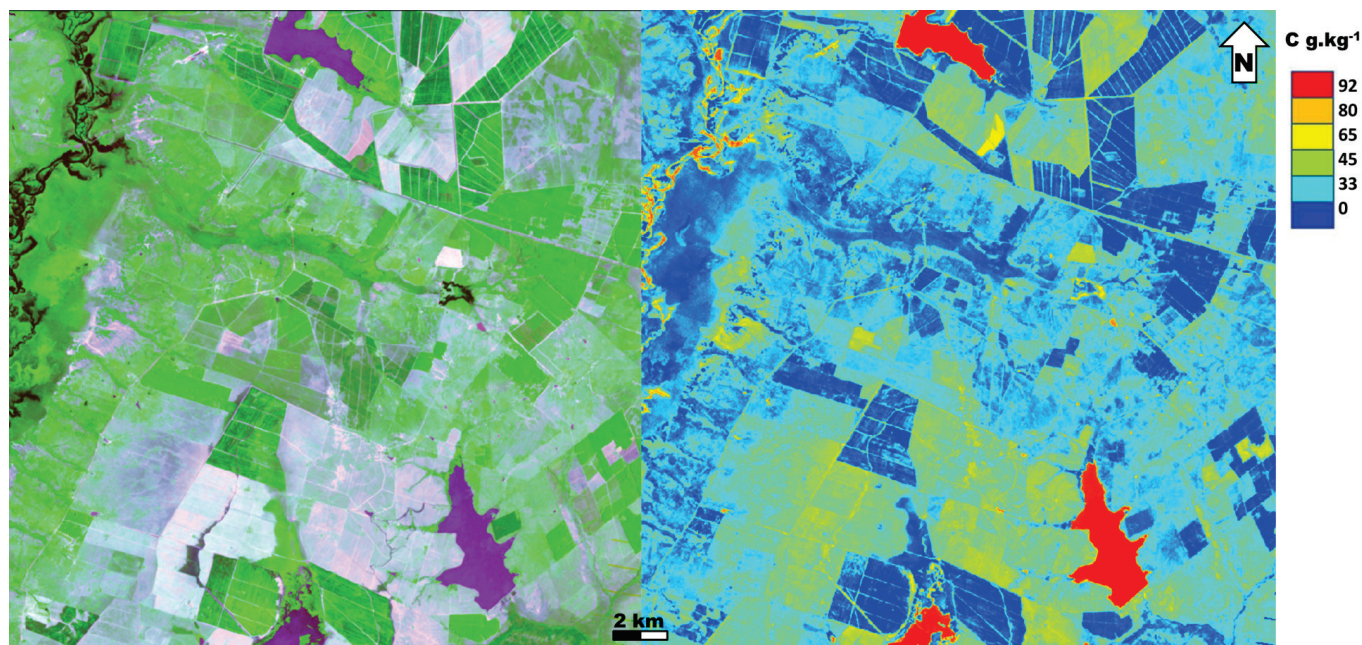
Nessa situação, o valor de “teor de Carbono no solo” varia de 2% a 3,5%, ou seja, amplitude 1,5% e média 2,8%. Expressando a metade da amplitude como percentual da média, se obtém erro relativo de 27%.

A correlação negativa entre o NDVI e o “teor de Carbono no solo” parece associada ao ciclo de desenvolvimento vegetal, com diminuição do NDVI por desidratação das folhas ou queda, com incorporação de Carbono ao solo e aumento do NDVI na primavera pelo reverdecimento das plantas e diminuição do teor de Carbono do solo relacionado a uma maior atividade microbiana (aumento de temperatura e precipitações). De forma diferente, a correlação da biomassa aérea com o NDVI é positiva e diretamente proporcional (ANDRADE et al., 2013; BOLFE, 2010; SÃO PAULO, 2009).

Na imagem, as cores verdes coincidem com áreas de pastagem e principalmente agricultura (Figura 4, esquerda), sendo que os corpos d’água ocorrem em tons escuros, como preto e roxo, cor derivada

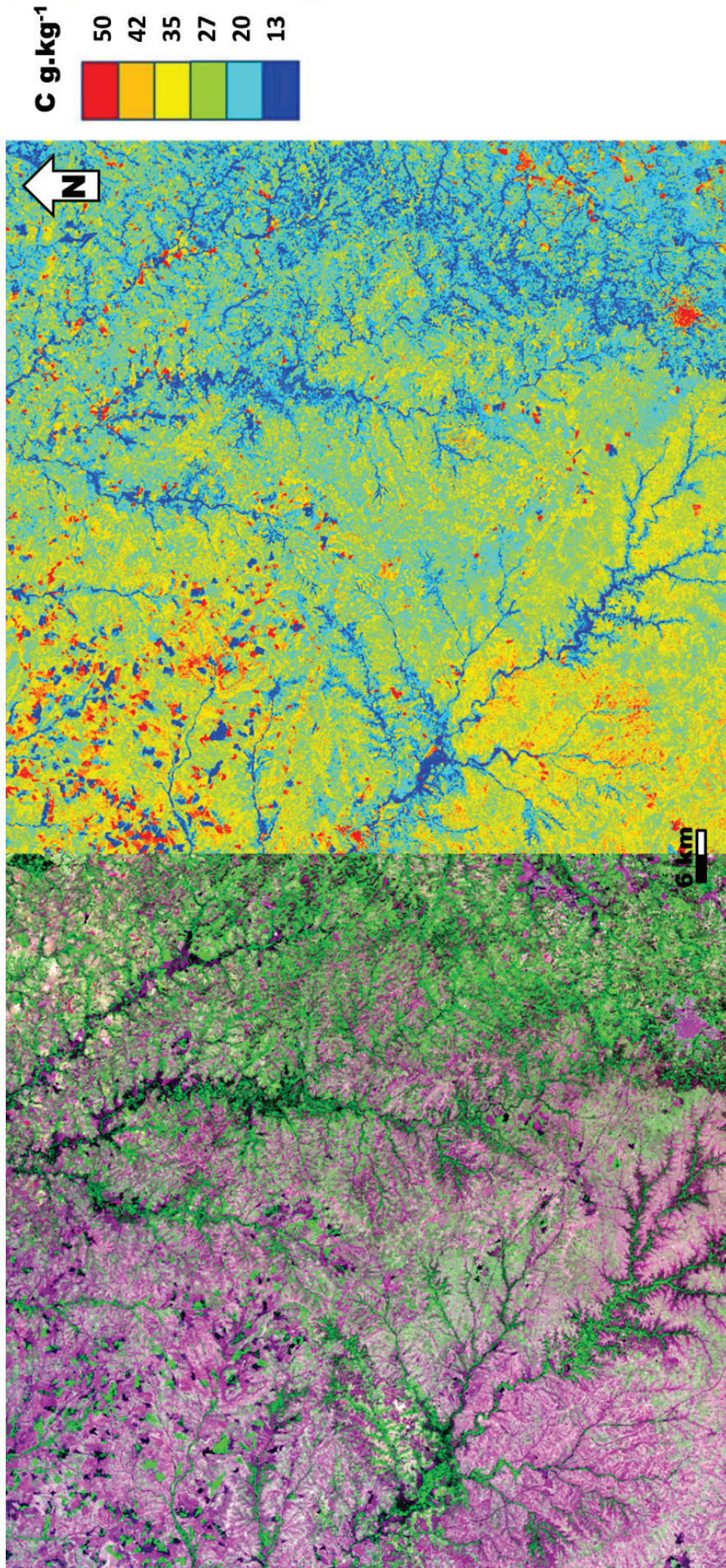
da ocorrência de sedimentos nessas águas. Os tons pálidos, cinzento-lilás, correspondem aos solos com ausência ou pouca cobertura vegetal. Ao transformar para teor de C no solo, obteve-se uma variação de 0 a 92 g.kg<sup>-1</sup> (Figura 4, direita). As lagoas destacam na imagem induzindo altos teores de C; as áreas em cor amarelo-esverdeada, com teores moderados de C no solo, coincidem com solos com cobertura vegetal escassa ou ausente e as áreas com boa cobertura vegetal, de NDVI alto, se associaram com tons azuis, de baixo C no solo.

Resultado semelhante se obteve para a imagem Landsat 8, que apresentou maior ocorrência de vegetação arbórea (Figura 5). No entanto, possivelmente em função de escala, os teores de C no solo apresentaram distribuição mais homogênea, destacando os tons amarelo-esverdeados relacionados com baixo NDVI, devido a solos com cobertura vegetal ausente ou escassa. Nas áreas de florestas, o conteúdo de C resulta moderado a baixo.



**Figura 4:** Composição colorida (banda 3 no vermelho, banda 4 no verde e banda 1 no azul) com contraste equalizado de imagem temática Landsat 7 correspondente a um setor da cena 225-81 de 24 dez. 2013 (esquerda) e representação do teor de C no solo via modelo de regressão aplicado sobre a mesma imagem (direita).





**Figura 5:** Composição colorida (banda 4 no vermelho, banda 5 no verde e banda 2 no azul) com contraste equalizado, para a imagem temática Landsat 8 correspondente a um setor da cena 224-81 de 25 dez. 2013 (esquerda) e representação do teor de C no solo via modelo de regressão aplicado sobre a mesma imagem (direita).



## Considerações finais

As informações apresentadas sugerem que o Carbono associado à biomassa aérea e ao solo pode ser monitorado por meio da calibração de imagens aéreas ou orbitais com dados *in situ*. No entanto, especialmente no caso do solo, a relação deverá ser estudada com maior detalhe considerando os seguintes tópicos:

- (1) A influência da temporalidade dos dados.
- (2) Os diagramas de dispersão considerados para a relação NDVI vs. “teor de Carbono no solo” mostraram padrões de correlação diferentes: (1) linear com inclinação negativa; (2) logarítmica.
- (3) Para ajustar o modelo serão consideradas outras variáveis, conforme sugerido pelo modelo SCORPAN (McBRATNEY et al., 2003), como altitude ou variáveis biofísicas.
- (4) A correção dos dados orbitais para valores de refletância pura, pela retirada da influência do solo ou outra forma de ajuste, contribuirá com o aprimoramento do modelo.
- (5) Avaliar resultados em outros biomas.

## Referências

- ANDRADE, D. D. de; FERREIRA, M. C.; BOLFE, E. L. Estimativa e mapeamento de carbono em fragmentos florestais da APA Fernão Dias (MG) com uso de dados orbitais do sensor TM-Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 15., 2013, Vitória. Anais... Vitória: UFES, 2013. 10 p.
- BOLFE, E. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais**. 2010. 232 f. Tese (Doutorado em Análise Ambiental Dinâmica Territorial) - UNICAMP, Campinas, 2010.
- CUNHA, N. G. da; DUARTE, L. R.; MENDES, R. G.; PINTO, L. F. S.; SILVA, J. B. da; SCHUMACHER, R. L. **Estudo de solos do Município de Encruzilhada do Sul, RS**. Pelotas: Embrapa, 2005. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 45).
- CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. da C.; KOESTER, E.; COSTA, F. A. da; COUTO, H. S.; SCHUMACHER, R. L.; MENDES, R. M.; SILVA, J. B. da.; DUARTE, L. R. **Estudo de solos do Município de Uruguiana, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 67).
- CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. da C.; KOESTER, E.; COSTA, F. A. da; TERRES, V. C.; SILVA, J. B. da; BARCELLOS JÚNIOR, J. T. **Estudo dos solos dos municípios do Alto Uruguai, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 88).
- CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. da C.; SEVERO, C. R. S. **Estudo de solos do Município de Cristal, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. (Embrapa Clima Temperado, Circular Técnica, 53).
- FILIPPINI-ALBA, J. M.; BORK, C. K. **Base de dados de solos dos municípios sul-rio-grandenses: consistência dos dados**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 6 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 293).
- LEBLON, B. Soil and vegetation optical properties. In: FORESMAN, W. T.; SERPI, T. **Applications in remote sensing**. Baltimore: University of Maryland, 2014. 7 p. Disponível em: <<http://www.r-s-c-c.org/rscv/volume4/Leblon/leblon.htm>>. Acesso em: 27 nov. 2014.
- McBRATNEY, A. B.; MENDONÇA SANTOS, M. L.; MINASMY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3 – 52, 2003.
- MENDONÇA-SANTOS, M. de L.; SANTOS, H. G. dos; DART, R. de O.; PARES, J. G. **Modelagem e mapeamento digital de estoque de carbono orgânico na camada superficial dos solos (0-10 cm) do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 120). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/>

item/79309/1/BPD-bpd120-2007-modelagem-mapeamento-rj.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2014.

SANTOS, F. **Teor de carbono orgânico do solo e aspectos biofísicos da cobertura vegetal da bacia do córrego Sarandi**. 2013. 49 f. Monografia - Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental, Universidade de Brasília, Planaltina, DF.

SEBEM, E. **Aportaciones de la teledetección en el desarrollo de un sistema metodológico para la evaluación de los efectos del cambio climático**

**sobre la producción de las explotaciones agrárias**. 2005. 382 f. Tese (Doutorado) - Universidade Politécnica, Madri.

SÃO PAULO. Secretaria do Estado do Meio Ambiente - SMA. **Estimativa da densidade de biomassa potencial com uso de SIG no Estado de São Paulo**. São Paulo: SMA, 2009. 28 p. (SMA. Cadernos da Mata Ciliar, 2). Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/mataciliar/>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

### Comunicado Técnico, 329

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Clima Temperado**

**Endereço:** BR 392, Km 78, Caixa Postal 403  
Pelotas, RS - CEP 96010-971

**Fone:** (53)3275-8100

[www.embrapa.br/clima-temperado](http://www.embrapa.br/clima-temperado)

[www.embrapa.br/fale-conosco](http://www.embrapa.br/fale-conosco)



**1ª edição**

1ª impressão (2016): 50 exemplares

### Comitê de Publicações

**Presidente:** Ana Cristina Richter Krolow

**Vice-presidente:** Enio Egon Sosinski Junior

**Secretária:** Bárbara Chevallier Cosenza

**Membros:** Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando Jackson, Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon

### Expediente

**Revisão do texto:** Eduardo Freitas de Souza

**Normalização bibliográfica:** Marilaine Schaun Pelufê

**Editoração eletrônica:** Jaqueline Jardim (estagiária)