

Estimativa da biomassa aérea de um fragmento de floresta estacional semidecidual por meio de imagens de satélite IKONOS II

Antonio Santana Ferraz¹
Vicente Paulo Soares¹
Carlos Pedro Boechat Soares¹
Carlos Antônio Soares Álvares Ribeiro¹
Hélio Garcia Leite¹
José Marinaldo Gleriani¹
Elias Silva¹
Joel Gripp Júnior¹

¹Universidade Federal de Viçosa - UFV
36570-000 Avenida P. H. Rolfs, s/n - Viçosa - MG, Brasil
{ferraz, vicente, csoares, cribeiro, hglete, gleriani, eshamir, jgripp}@ufv.br

Abstract. Estimates of biomass in forested areas can be obtained using direct (allometric equations) and indirect (high resolution remote sensing imagery) methods. This study aimed to estimate the above ground biomass of a natural forest fragment, classified as Forest Semideciduous Montana, located in the municipality of Viçosa, State of Minas Gerais, Brazil, on the campus of the Federal University of Viçosa (UFV). Based on data from forest inventory conducted in 15 sample plots of 1,000 m² (20 m × 50 m) spread over the study area were obtained estimates of stocks of biomass from allometric equations, which were related to digital variables (reflectance in the four multispectral bands and in 12 transformed vegetation indices images), extracted from the 4 meters spatial resolution images of IKONOS II, using artificial neural networks (ANN). The main results indicate that the use of the four spectral bands of IKONOS II, as input variables, are sufficient to estimate biomass stocks for the study area, with their residual varying in the range of $\pm 1,3\%$. For the conditions of this study, the neural network technique has proved to be excellent for estimating above ground biomass from the digital data extracted from high resolution sensors aboard orbital platforms.

Palavras-chave: remote sensing, neural network, natural forest, vegetatin index, sensoriamento remoto, redes neurais, floresta natural, índice de vegetação.

1. Introdução

Na área florestal, o conhecimento da biomassa tem demonstrado ser de grande importância para diferentes áreas, incluindo avaliação da regeneração natural de matas ciliares; subsídios aos estudos relacionados à conservação de recursos naturais; estudos relacionados à quantificação da ciclagem de nutrientes, entre outros (Watzlawick, 2003; Almeida *et al.* 2006; Silveira, 2010).

Os estudos de quantificação de biomassa em campo são trabalhosos, demorados e muito onerosos, podendo ser realizados por meio de métodos diretos e indiretos. Pelo método direto, todas as árvores são cortadas e seus componentes separados e pesados. Estas porções são pesadas no campo (componentes maiores) ou no laboratório (componentes menores), (Higuchi e Carvalho Júnior, 1994; Watzlawick, 2003).

Segundo Smogyi *et al.* (2006), as estimativas de biomassa para grandes áreas florestais têm sido obtidas de forma indireta, com base em informações originárias de inventário florestal. Equações de biomassa são utilizadas para transformar dados de altura, diâmetro e volume em estimativas de biomassa.

Nos últimos anos, com a disponibilidade de imagens de alta resolução, provenientes de sensores remotos e os avanços nas técnicas de processamento digital destas imagens, o sensoriamento remoto tem sido utilizado para estudos relacionados à estimativa de biomassa florestal, com base na associação do conteúdo de biomassa aos valores de

radiância/reflectância, obtidos com a utilização de imagens de satélite (Watzlawick *et al.*, 2009)

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para estimar biomassa em florestas naturais, normalmente heterogêneas, com grande diversidade florística, fisionômica e fenológica, reveste-se de grande complexidade, uma vez que há pouca disponibilidade de dados quantitativos de biomassa coletados em nível de campo (Souza; Ponzoni, 1998).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo estimar a biomassa aérea de um fragmento de floresta natural, a partir de imagens do satélite IKONOS II, utilizando redes neurais artificiais.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Caracterização da Área de Estudo

O trabalho foi realizado em um fragmento florestal de mata nativa, classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana, localizado no município de Viçosa, MG, no *campus* da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Este fragmento está inserido em uma área denominada de “Mata da Silvicultura”, com cerca de 17 hectares, adquirida pela UFV em 1936 e, desde então, é protegida contra cortes e extração de madeira (Flores, 1993).

O clima da região de Viçosa está classificado, segundo Köppen, como sendo Cwb, com verões chuvosos e invernos secos (Romanovski, 2001). A topografia na área de estudos é acidentada, com relevo fortemente ondulado e com altitudes variando de 650 a 750 metros.

2.2 Inventário da Biomassa Aérea

Amaro (2010) realizou um inventário florestal temporário (período de janeiro a abril de 2008) em 15 unidades amostrais, com área de 1.000 m² (dimensões de 20 x 50 m), distribuídas por todo o fragmento estudado. Nestas unidades foram encontrados 2.026 indivíduos vivos, correspondendo a 2.265 fustes de 198 espécies arbóreas, distribuídas em 46 famílias.

Em cada unidade amostral todos os indivíduos com dap $\geq$ 5 cm (arbóreos e não arbóreos), bem como aqueles com dap $<$ 5 cm e altura do fuste maiores ou menores que 1,3 m foram medidos com trena. Além dos diâmetros, foram obtidas com o hipsômetro digital Vertex IV a altura dos fustes (hf) (início da copa) e a altura total (ht). A biomassa estocada no fuste de cada árvore-amostra foi determinada multiplicando-se os volumes de madeira e de casca pelas suas respectivas densidades.

De posse dos estoques de biomassa e das medidas de diâmetro (dap) e alturas (fuste e total) das árvores-amostra, foram avaliados alguns modelos de regressão e as melhores equações foram utilizadas para estimar o estoque de biomassa dos indivíduos presentes nas parcelas do inventário. Os resultados obtidos por Amaro (2010), a partir das equações que se ajustaram melhor aos dados observados, são apresentados na Tabela 1.

2.3 Estimativas da biomassa a partir das imagens IKONOS II

As imagens digitais utilizadas nesta pesquisa foram adquiridas para utilização no projeto denominado *Plano de Segurança da Água*, realizado no município de Viçosa, no ano de 2008, cobrindo a bacia do Ribeirão São Bartolomeu, onde está inserida a área de estudo.

Para obtenção da localização das unidades amostrais na imagem IKONOS II, foi efetuado um levantamento topográfico de precisão da posição de algumas árvores, em cada uma das parcelas, com a utilização de uma estação total Topcon GTS-102n.

O levantamento foi apoiado em pontos implantados na área e previamente ocupados com um receptor GPS ProMark2 (posicionamento estático com tempo de ocupação de no mínimo 30 minutos). As coordenadas geodésicas destes pontos de apoio foram obtidas a partir do processamento, no *software* Ashtech Solutions, dos arquivos coletados nos pontos com receptor ProMark2, utilizando-se como base o ponto da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), situada no *campus* da UFV.

A Figura 1 mostra a localização e distribuição das parcelas no fragmento estudado.

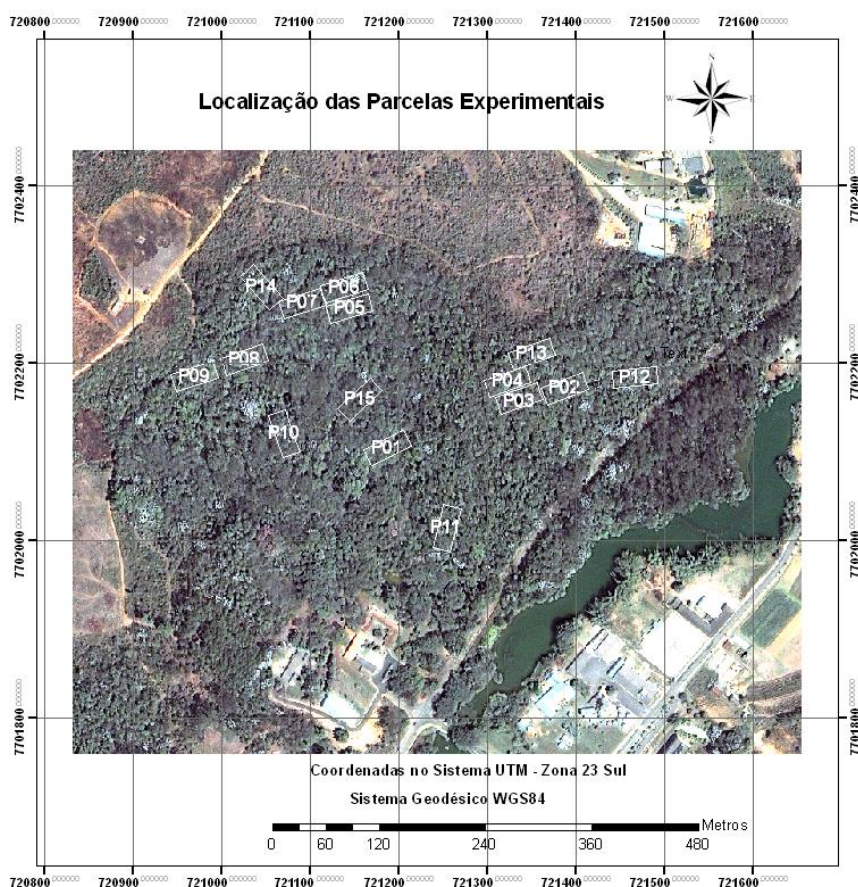


Figura 1 - Localização e distribuição das parcelas no fragmento estudado.

2.3.1 Conversão dos números digitais em refletância planetária

A conversão dos números digitais em refletância planetária baseou-se nas equações fornecidas por Taylor (2009). Inicialmente, os números digitais originais das bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem IKONOS, foram convertidos em radiância espectral e posteriormente, em refletância planetária.

2.3.2 Utilização de redes neurais

Foram consideradas como variáveis dependentes os dados de biomassa arbórea obtidos por meio do inventário florestal e, como independentes, as variáveis digitais, obtidas a partir da imagem do satélite IKONOS II (refletância nas quatro bandas, e as imagens índices de vegetação RVI, NDVI, TVI, SAVI, MSAVI, EVI, ARVI, GEMI, TCap1, TCap2, TCap3 e TCap4).

A Tabela 1 mostra as estimativas da variável dependente biomassa aérea em (t ha^{-1}) obtidas a partir do inventário florestal e a Tabela 2 apresenta as variáveis independentes de onde foram extraídos os valores digitais, necessários para alimentar o algoritmo da rede neural.

Tabela 1. Estimativas de biomassa aérea a partir do inventário florestal

Parcelas	Variáveis dependentes
	Biomassa (t ha^{-1})
1	254,49
2	152,60
3	137,24
4	112,56
5	161,85
6	214,21
7	418,49
8	194,29
9	176,97
10	230,21
11	225,00
12	206,36
13	179,46
14	149,23
15	303,60

Tabela 2. Variáveis independentes

Variável	Descrição
Banda1	Reflectância planetária na banda espectral 1 (azul)
Banda2	Reflectância planetária na banda espectral 2 (verde)
Banda3	Reflectância planetária na banda espectral 3 (vermelho)
Banda4	Reflectância planetária na banda espectral 4 (IV próximo)
RVI	Índice de vegetação da razão
NDVI	Índice de vegetação da diferença normalizada
TVI	Índice de vegetação transformado
SAVI	Índice de vegetação ajustado ao solo
MSAVI	índice de vegetação ajustado para a interferência do solo
EVI	Índice de vegetação melhorado
ARVI	Índice de vegetação com resistência atmosférica
GEMI	Índice global de monitoramento ambiental
TCap1	Imagem transformada <i>Tasseled Cap</i> para a banda 1
TCap2	Imagem transformada <i>Tasseled Cap</i> para a banda 2
TCap3	Imagem transformada <i>Tasseled Cap</i> para a banda 3
TCap4	Imagem transformada <i>Tasseled Cap</i> para a banda 4

Os valores médios da reflectância nas parcelas experimentais, nas quatro bandas espectrais da imagem do satélite IKONOS II, foram calculados pelo *software* ERDAS. Para este procedimento foram utilizados polígonos AOI (*area of interest*), obtidos a

partir das informações coletadas na fase do levantamento topográfico, referentes aos limites de cada uma das parcelas da área de estudo. Com os valores médios da reflectância foram calculados os valores dos índices de vegetação, utilizados na pesquisa, para cada uma das parcelas.

Nas Tabelas 3 e 4, respectivamente, são apresentados os valores das refletâncias médias nas quatro bandas e os valores médios dos índices de vegetação para as duas primeiras parcelas.

Tabela 3. Valores médios da reflectância nas parcelas experimentais

Parcelas	Reflectância Planetária (Média das Parcelas)			
	Banda1 (MS1)	Banda2 (MS2)	Banda3 (MS3)	Banda4 (MS4)
1	0,170	0,153	0,140	0,355
2	0,175	0,157	0,146	0,398

Tabela 4. Valores médios dos índices de vegetação nas parcelas experimentais

Parcelas	Índices de Vegetação											
	RVI	NDVI	TVI	SAVI	MSAVI	EVI	ARVI	GEMI	TCap1	TCap2	TCap3	TCap4
1	2,536	0,434	0,967	0,324	0,306	0,584	0,527	0,634	0,413	0,138	-0,079	-0,046
2	2,726	0,463	0,981	0,362	0,348	0,655	0,546	0,675	0,444	0,168	-0,083	-0,049

Neste estudo, o treinamento das redes foi do tipo supervisionado, ou seja, a saída desejada foi fornecida à rede que comparou o erro (diferença entre saída desejada e calculada) com a saída calculada. O erro foi informado à rede, que modificou seus parâmetros, a fim de minimizar o erro global e obter uma melhor solução. As redes foram treinadas para estimação dos valores de biomassa aérea a partir de dois valores de variáveis de entradas diferentes, sendo:

- somente os valores das reflectâncias médias das parcelas experimentais nas quatro bandas espectrais (Banda1, Banda2, Banda3 e Banda4);
- valores médios das reflectâncias nas quatro bandas e nas imagens índices RVI, NDVI, TVI, SAVI, MSAVI, EVI, ARVI, GEMI, TCap1, TCap2, TCap3 e TCap4 .

Foram treinadas 100 redes do tipo *Perceptrons* de Múltiplas Camadas (MLP), para cada combinação de valores de entrada. Das 100 RNA treinadas, selecionou-se apenas a melhor rede, em função do coeficiente de correlação entre valores observados e valores estimados pela RNA. A definição da arquitetura das redes, ou seja, número de neurônios por camada e número de camadas, foi otimizada pela ferramenta *Intelligent Problem Solver* (IPS), do *software* Statistica 10 (STATSOFT, Inc., 2011).

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para as estimativas da variável dependente Biomassa aérea com o uso da técnica de redes neurais artificiais para as situações analisadas são apresentados nas Tabelas 5 a 7.

Tabela 5. Configurações das redes neurais artificiais testadas

Entradas	Número de Neurônios na Camada Oculta	Número de Neurônios na Saída	Função de Ativação da Camada Oculta	Função de Ativação da Camada de Saída
1	12	6	Tangente hiperbólica	Identidade
2	12	6	Tangente hiperbólica	Identidade
3	10	6	Tangente hiperbólica	Identidade

Tabela 6. Estimativas de biomassa: inventário florestal e estimado por RNA com as quatro bandas espectrais como variáveis de entrada.

Parcelas	Estoque de Biomassa das Parcelas (t ha ⁻¹)		Resíduos	
	Inventário	Bandas	(t ha ⁻¹)	(%)
1	254,49	255,44	0,95	0,37
2	152,60	150,65	-1,95	-1,28
3	137,24	138,91	1,67	1,22
4	112,56	112,93	0,37	0,33
5	161,85	161,84	-0,01	-0,01
6	214,21	214,57	0,36	0,17
7	418,49	417,32	-1,17	-0,28
8	194,29	193,96	-0,33	-0,17
9	176,97	177,05	0,08	0,05
10	230,21	230,36	0,15	0,07
11	225,00	224,98	-0,02	-0,01
12	206,36	205,10	-1,26	-0,61
13	179,46	179,64	0,18	0,10
14	149,23	149,47	0,24	0,16
15	303,60	304,16	0,56	0,18

Tabela 7. Estimativas de biomassa: inventário florestal e estimado por RNA com as bandas espectrais e imagens índices de vegetação como variáveis de entrada

Parcelas	Estoque de Biomassa das Parcelas (t ha ⁻¹)		Resíduos	
	Inventário	Bandas e Índices	(t ha ⁻¹)	(%)
1	254,49	254,48	-0,01	0,00
2	152,60	152,62	0,02	0,01
3	137,24	137,25	0,01	0,01
4	112,56	112,51	-0,05	-0,04
5	161,85	161,86	0,01	0,01
6	214,21	214,21	0,00	0,00
7	418,49	418,49	0,00	0,00
8	194,29	194,27	-0,02	-0,01
9	176,97	176,96	-0,01	-0,01
10	230,21	230,21	0,00	0,00
11	225,00	224,98	-0,02	-0,01
12	206,36	206,40	0,04	0,02
13	179,46	179,43	-0,03	-0,02
14	149,23	149,29	0,06	0,04
15	303,60	303,60	0,00	0,00

Pelas análises das informações constantes da Tabela 6, verifica-se que os resíduos das estimativas de biomassa obtidos pela análise das redes neurais encontram-se na faixa de $\pm 1,3\%$, indicando que apenas as bandas 1, 2, 3 e 4 podem ser utilizadas como variáveis de entrada, uma vez que se mostraram eficientes para estimar a biomassa aérea, embora os resíduos tenham sido ainda menores quando foram utilizadas todas as variáveis para alimentar a rede, o que pode ser comprovado pelas informações constantes na Tabela 7.

Schoeninger et al. (2008) usaram redes neurais artificiais para estimar biomassa em uma floresta ombrófila densa, estado de Santa Catarina, a partir das quatro bandas do sensor IKONOS. A arquitetura da rede que apresentou o melhor desempenho nas estimativas (12 neurônios na camada de entrada e quatro na camada de saída para o limiar de 0,01), foi testada em cinco parcelas de verificação. Os resultados mostraram que as diferenças entre a biomassa estimada pelo inventário e a estimada pela rede apresentaram erros que variaram de 1,05 a 8,18% e um erro porcentual médio de 3,73%.

4. Conclusões

A técnica das redes neurais artificiais apresentou um excelente desempenho nas estimativas dos estoques de biomassa aérea, com os resíduos variando faixa de $\pm 1,3\%$, quando se utilizou apenas as bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor IKONOS II. Por outro lado, ao se utilizar todas as variáveis de entrada (4 bandas e as imagens índices de vegetação), o resultado foi ligeiramente superior, comparado à apenas as 4 bandas individuais.

5. Referências Bibliográficas

Almeida, A. C.; Barros, P. L. C.; Monteiro, J. H. A.; Rocha, B. R. P. Estimativa de biomassa arbórea: uma comparação entre métodos estatísticos e redes neurais. Belém-PA, AGRENER, 2006. 6 p.

Amaro, M. A. **Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual no município de Viçosa-MG.** 2010. 168 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2010.

Flores, E. J. M. **Potencial produtivo e alternativas de manejo sustentável de um fragmento de Mata Atlântica secundária, município de Viçosa, Minas Gerais.** 1993. 165 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

Higuchi, N.; Carvalho Júnior, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Seminário Emissão X Seqüestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil. Rio de Janeiro, 1994, **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 125-145.

Romanovski, Z. **Morfologia e aspectos hidrológicos da microbacia Rua Nova, Viçosa-MG, para fins de manejo.** 2001. 99 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

Schoeninger, E. R.; Koehler, H. S.; Botelho, M. F.; Watzlawick, L. C.; Oliveira, P. C. Uso de Redes Neurais artificiais para mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de uma floresta ombrófila densa. **Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 4, n. 2, p. 175-195, 2008.

Silveira, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 789-800, 2010.

Somogyi, Z.; Cienciala, E.; Makipaa, R.; Muukkonen, P.; Lehtonen, A.; Weiss, P. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. **European Journal of Forest Research**, 2006.

Souza, C. L.; Ponzoni, F. J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/Landsat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de *Pinus spp.* In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 9., 1988, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998, p. 1549-1560.

Taylor, M. IKONOS planetary reflectance and mean solar exoatmospheric irradiance. GeoEye – IKONOS Planetary Reflectance. QSOL Rev. 2, 2009. 3 p.

Watzlawick, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II**. 2003. 120 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

Watzlawick, L. F.; Kirchner, F. F.; Sanguetta, C.R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 169-181, 2009.