

Análise da Biomassa Epígea Obtida por Sensoriamento Remoto: um estudo de caso no Projeto de Irrigação Jaíba – Minas Gerais

Gabriel Alves Veloso¹
Manuel Eduardo Ferreira¹
Bernardo Barbosa da Silva²

¹Universidade Federal de Goiás - UFG
Instituto de Estudos Socioambientais - IESA
Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento - LAPIG
Campus Samambaia, 74001-970, Goiânia - GO, Brasil
gabrielveloso.geo@gmail.com, mferreira.geo@gmail.com

²Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/ Deptº de Meteorologia
Rua Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó CEP 58.109-900 – Campina Grande - PB, Brasil
bbdasilva.ufpe@gmail.com

Abstract: This study aims to estimate the biomass through the use of remote sensing in the irrigated perimeter of the project Jaíba - MG, and compare it with the method of mapping biomass defined by Baccini et al. (2012). The study area is located in north of Minas Gerais, between UTM 671572 and 694429 E and 8249910 and 8272242 N. The satellite data was performed by the use of Landsat 5 - TM imagery, orbit/point 219/70, from January to September (without the presence of clouds) for the year 2011. The estimate of biomass was obtained throughout the parameterization of heat fluxes based on spectral analysis of satellite images using the algorithm SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land); it aims to estimate evapotranspiration, combined with the CASA model (Carnegie Ames Stanford Approach), which computes the photosynthetically active radiation absorbed by vegetation - APAR, and that along the surface data, produce the biomass estimate. The biomass data showed significant variation over the period analyzed, with values in the range 0-365 ton/ha, related to the seasonality of local climate variation and the variation of incident solar radiation. The biomass data from Baccini et al. (2012), which applied altimetry and optical methodology for estimating the biomass accumulated in the year 2012, was not well representative for the study area, due to the low spatial resolution, also without temporal variation.

Palavras-chave: Biomass, SEBAL, CASA, Irrigation Project Jaíba, Biomassa, SEBAL, CASA, Projeto de Irrigação Jaíba.

1. Introdução

O uso das Geotecnologias tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, nas diversas áreas do conhecimento. Nas Ciências Exatas e da Terra, por exemplo, esta apresenta uma grande importância no mapeamento do uso da terra, nos aspectos da geologia, geomorfologia e hidrografia, nos impactos ambientais, dentre outras análises de cunho espacial. Como esperado, as Geotecnologias tornaram-se fundamentais para os estudos e gerenciamento dos recursos naturais, ao agregar um conjunto de técnicas e dados de ordem cartográfica. O Sensoriamento Remoto (SR) se destaca dentre estas técnicas, em escalas espacial e temporal variáveis, o que possibilita uma melhor caracterização do meio ambiente.

No que diz respeito às contribuições do sensoriamento remoto para questões ambientais, vale ressaltar que, diante da crescente notoriedade que as discussões relacionadas às mudanças climáticas têm adquirido nas últimas décadas, metodologias que aplicam imagens orbitais para a identificação de alterações na superfície são de suma importância. As alterações no ciclo do carbono e sua concentração na atmosfera vêm sendo tema de discussões na comunidade científica, no qual os principais fatores que contribuem para estas alterações é a queima de combustíveis fósseis principalmente nos países desenvolvidos e as queimadas e mudanças no uso da terra nos países em desenvolvimento (ARAGÃO, 2004). Em seu último relatório, o IPCC apresentou estimativas de desflorestamento e mudanças no uso do solo, que

contribuíram para a emissão de 180 (100; 206) Pg C, entre os anos de 1750 e 2011, sendo este considerado a segunda maior fonte emissora de gases de efeito estufa - GEE de origem antrópica (IPCC, 2013). No entanto, essas estimativas ainda são cercadas de muitas dúvidas, as quais são atribuídas à insuficiência de informações concretas sobre o estoque de carbono presente nas florestas, sendo de suma importância o desenvolvimento de modelos para a estimativa da biomassa acima do solo, uma das principais fontes de incertezas dos estoques de carbono (GUSSON, 2014).

Nos últimos anos foram desenvolvidos métodos para quantificação do carbono em sistemas florestais por meio de imagens orbitais. Estudos como os de Baccini et al. (2012), avaliado neste artigo, estimam a biomassa Pan-Tropical para grandes áreas do globo. No caso, o mapa de biomassa produzido por estes autores utiliza imagens de 2007 e 2008 do MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua, produto NBAR, com resolução espacial de 500 metros. O tratamento das imagens passou por um processo de composição e mosaico, no qual foram selecionados valores de pixels que não apresentavam influência de nuvens. Estes dados espectrais do MODIS foram calibrados com mais de 2000 pontos de biomassa estimados pelo satélite ICESAT LIDAR (sensor Glas – pontos de laser para medir a altimetria no solo). Estas estimativas foram derivadas de inventários de campo para identificar a estrutura da vegetação dentro dos pontos LIDAR (para algumas amostras inventariadas em campo). Depois de calibrados com o LIDAR, este produto foi utilizado para calibrar as imagens MODIS, gerando o mapa de biomassa Pan-Tropical.

Outra metodologia utilizada para a estimativa da biomassa acima do solo é com imagens RADAR interferométrico, metodologia esta que se demonstra promissora. No entanto, estimativas de biomassa ao longo de grandes períodos de tempo e em escalas regionais não são empregadas com sensores ativos, devido aos altos custos envolvidos, sendo as imagens ópticas com melhor solução.

Dessa forma, nos últimos anos, vem sendo desenvolvidas metodologias que estimam a biomassa Epígea através dos parâmetros espectrais das imagens e com poucos dados de superfície. Na literatura, a quantificação da biomassa Epígea por sensoriamento remoto óptico sugere o uso do modelo da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação – APAR proposto por Monteith (1972), baseado na radiação solar e no desenvolvimento das folhas, podendo ser aplicado conjuntamente com dados de sensores remotos. Além disso, se faz necessário a estimativa do uso da eficiente da luz proposto, que sugerem o uso da fração evaporativa.

Bastiaanssen e Ali (2003) adaptaram a plataforma de parametrização dos fluxos de calor baseado na análise espectral de imagens de satélites, SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), voltado para a estimativa da fração evaporativa - FE, combinado ao modelo CASA (*Carnegie Ames Stanford Approach*), que calcula a APAR, e que, juntamente com dados de superfície, finaliza a estimativa da biomassa (BRADRÃO et al., 2007). Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo estimar a biomassa Epígea em áreas irrigadas e em áreas circunvizinhas do projeto Jaíba, no ano de 2011, com base nas imagens obtidas pelo satélite Landsat 5 - TM mediante aplicação dos algoritmos SEBAL/CASA, comparando os resultados com os dados obtidos pelo mapeamento da biomassa de Baccini et al. (2012).

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo encontra-se localizada na região norte de Minas Gerais, mais especificamente na região conhecida como Mata do Jaíba, nos municípios de Jaíba e Matias Cardoso, margem direita do rio São Francisco e esquerda do Verde Grande, entre as coordenadas UTM 595204 e 626309 E e 8308401 e 8341257 N. O projeto Jaíba tem como objetivo o desenvolvimento agrícola regional, por meio da construção de uma infraestrutura

de lotes agrícolas e a disponibilização de linhas de crédito para os produtores. A sua criação resultou na materialização de um pólo de produção agrícola, e tem fomentado o crescimento econômico e social da região, criando novos sistemas de produção e comercialização (REZENDE, 2002).

O clima do perímetro é classificado como tropical quente do subtipo semiárido, com período seco igual ou superior a seis meses; o índice de umidade relativa atinge 60%, sendo os meses mais úmidos dezembro e janeiro, e os mais secos agosto e setembro (FREITAS et al., 2008). O regime pluviométrico anual apresenta variações, sendo que os menores índices são inferiores aos 800 mm. Freitas et al. (2008), analisando os dados climatológicos da região de 1996 a 2006, apontam uma precipitação média anual de 858,7 mm, concentradas principalmente entre os períodos de novembro e março, com índices baixos para abril e setembro. A temperatura média anual é de 26,6°C, sendo junho o mês mais frio, com média de 24,5°C, e outubro o mês mais quente, com média de 28,9°C. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), a cobertura vegetal no município de Jaíba é composta principalmente pela Floresta Estacional decidual e semidecidual, típica do clima quente e semiárido, tendo o domínio de vegetação caducifólia (perda das folhas na estação seca), com características xerofíticas, isto é, espécies adaptadas para regiões semiáridas, apresentando estratos como gramíneas, arbustos e árvores, entremeados com cactáceas e bromeliáceas.

2.1 Processamento digital das imagens

Como mencionado, este trabalho visa a estimativa da biomassa Epígea em áreas irrigadas do projeto Jaíba no ano de 2011, com o auxílio das imagens do satélite Landsat 5 - TM, e alguns dados de superfície. As imagens Landsat foram adquiridas no portal de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), correspondente à órbita 219 ponto 70, nos dias 31 de janeiro, dia seqüencial do ano 31 (DJ 31), 21 de abril (DJ 111), 24 de junho (DJ 175), 10 de julho (DJ 191) e 12 de setembro (DJ 255), todas referentes ao ano de 2011. Os dias citados foram escolhidos por não apresentar coberturas com nuvens sobre a área de estudo durante a passagem do satélite Landsat 5 TM no referido ano – 2011.

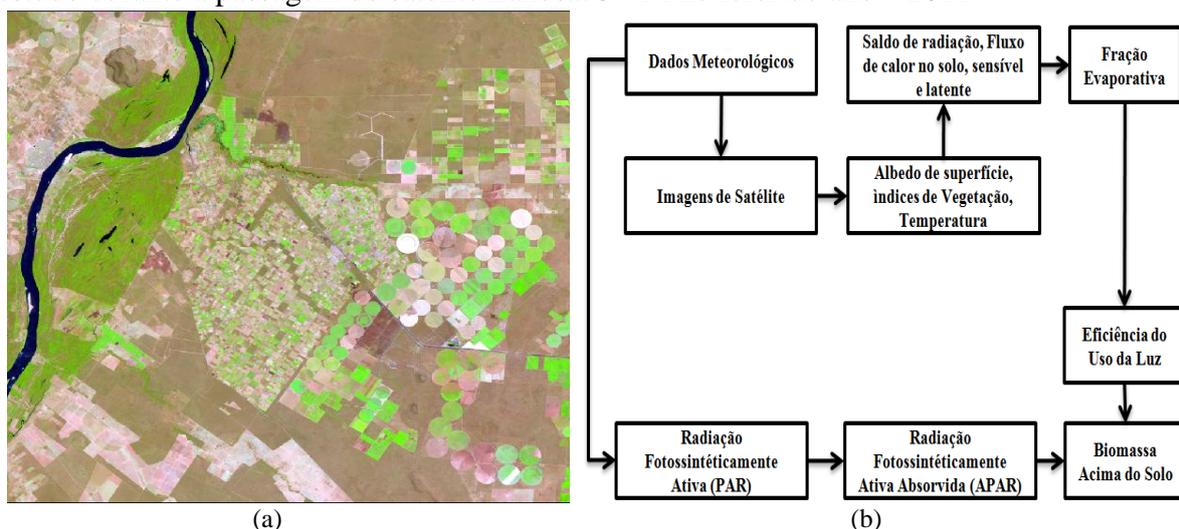


Figura 1 – (a) Imagem do satélite Landsat 5 TM da área de estudo na composição 5R 4G 3B; (b) fluxograma do algoritmo SEBAL acoplado ao CASA.

Além das imagens, foram utilizados os dados climatológicos da estação meteorológica automática de Mocaminho - MG, localizada no Projeto de Irrigação do Jaíba, sob a responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O processamento digital das imagens de satélite foi executado no software ERDAS (versão 9.2) e as operações

matemáticas intra e inter-bandas espectrais desenvolvidas na ferramenta Model Maker. Para a comparação com os dados de biomassa obtidos com as imagens Landsat 5 – TM, foi utilizado o mapa de biomassa de Baccini et al. (2012), disponibilizado no portal de dados do Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento (LAPIG), da Universidade Federal de Goiás.

Para a obtenção da biomassa Epígea por meio do acoplamento do algoritmo CASA no SEBAL, foram utilizados os seguintes dados meteorológicos: temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento e pressão atmosférica. No algoritmo SEBAL utilizou-se a equação do balanço de energia para a estimativa do fluxo de calor latente (LE) como resíduo dos demais componentes (Fluxo de calor no Solo (G), fluxo de calor sensível (H) e o saldo de radiação (Rn)), conforme equação:

$$LE = Rn - H - G \quad (01)$$

De posse dos componentes do balanço de energia, foi estimada a fração evaporativa, com base na equação:

$$FE = \frac{LE}{(Rn - G)} \quad (02)$$

Detalhes da estimativa dos componentes do balanço de radiação e balanço de energia podem ser obtidos no trabalho de Silva et al. (2013). A fração evaporativa foi utilizada para a estimativa da biomassa, por meio da metodologia proposta por Bastiaanssen e Ali (2003), sendo estimada primeiramente a Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR, em W/m^2), a qual pode ser aferida pela radiação solar global diária, conforme equação:

$$PAR = 0,48 \times R_{solar \ 24 \ horas} \ (W/m^2) \quad (03)$$

Por sua vez, sabe-se que somente uma parte da radiação fotossinteticamente ativa é absorvida pela vegetação - APAR, encontrando-se no intervalo do espectro de luz visível entre 0,4 e 0,7 μm . Esta pode ser estimada em função do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), conforme equação:

$$APAR = PAR \times (-0,161 + 1,257 \ NDVI) \ (g/MJ) \quad (04)$$

Em seguida, foram realizados os cálculos dos escalonares de temperatura T1 e T2, dados pelas seguintes equações (Field et al., 1995):

$$T_1 = 0,8 + 0,02 T_{opt} - 0,0005 T_{opt}^2 \quad (05)$$

$$T_2 = \frac{1}{1 + \exp(0,2 T_{opt} - 10 - T_{dia})} \cdot \frac{1}{1 + \exp[0,3(-T_{opt} - 10 + T_{dia})]} \quad (06)$$

Onde T_{opt} é a temperatura média do ar ($^{\circ}C$) do mês de máximo NDVI e T_{dia} é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}C$). A eficiência do uso da luz - ϵ ($g \ MJ^{-1}$), pode ser quantificada pelo modelo de Field et al (1995), modificada por Bastiaanssen e Ali (2003), conforme equação 7.

$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot T1 \cdot T2 \cdot FE \quad (07)$$

Onde ε' representa a eficiência máxima de uso da luz pela vegetação (considerada na pesquisa igual a 2,5 g MJ⁻¹). Com a determinação da ε , obteve-se a biomassa Epígea em k.g/m², com base na equação:

$$\text{Biomassa} = \text{APAR} \cdot \varepsilon' \cdot T1 \cdot T2 \cdot FE \quad (08)$$

3. Resultados e Discussão

Os dados complementares das imagens do Landsat 5 - TM para a estimativa da biomassa Epígea estão representados na Tabela 1. Observa-se que a radiação fotossinteticamente ativa – PAR manteve-se entre 7,05 e 14,61 MJ m² dia⁻¹, apresentando significativa variação nos dias analisados. Os parâmetros T1 e T2, que refletem a contribuição da temperatura na eficiência de uso da luz pelas plantas, situaram entre 0,953 e 0,988, sendo este último relacionado à imagem do mês de janeiro, que apresentou os maiores valores de NDVI. Na Figura 2 estão apresentados os mapas temáticos da biomassa Epígea (ton/ha) para os dias analisados, com variação entre valores 0 a 365 ton/ha. Como observado na Figura 2, às áreas na cor vermelha correspondem aos valores iguais à zero, caracterizando superfícies, em sua grande maioria, que contem água. No mapa do dia 31 de janeiro (DJ 31) foram obtidos os maiores valores de biomassa Epígea, com predominância da classe de 301 a 365 ton/ha, correspondendo a 48,3% da cena, sendo este resultado associado a altos valores de NDVI, saldo de radiação e da fração evaporativa. Além disso, este dia corresponde ao período da estação de verão, caracterizada por boa disponibilidade hídrica e o maior valor de radiação fotossinteticamente ativa (14, 61 MJ m²dia⁻¹) do período analisado. Sabe-se que a vegetação verde tem alta absorção da radiação eletromagnética na faixa do comprimento de onda do vermelho, por causa da clorofila nas folhas verdes, e alta refletância na faixa do infravermelho próximo.

Tabela 1 - Data das imagens do sensor TM (Data), Hora local (Hora), ângulo de elevação do sol (E), cosseno de Z, quadrado da distância Terra-Sol e seu valor médio (d_r), radiação fotossinteticamente ativa – RFA, valores de T1 e T2, referentes aos dias selecionados para a pesquisa no Jarba para o ano de 2011.

Data	Hora	E	cos Z	d _r	RFA MJ m ²	T1	T2
31/jan	09:51:54	56,88	0,8375	1,0284	14,61	0,988	0,949
21/abr	09:51:58	49,81	0,7640	0,9890	10,34	0,988	0,956
24/jun	09:51:13	41,01	0,6563	0,9673	8,91	0,988	0,984
10/jul	09:51:08	41,33	0,6605	0,9674	7,05	0,988	0,985
12/set	09:50:54	54,35	0,8126	0,9895	10,72	0,988	0,953

Na imagem do DJ 111 (21 de abril) os valores de biomassa apresentaram redução. Essa tendência de redução dos valores de biomassa continuou no decorrer do período analisado, sendo observados os menos valores no DJ 191 (10 de julho), com variação entre 0 e 180 ton/ha. Este padrão de redução dos valores de biomassa está associado à diminuição da radiação solar incidente, apresentando para este dia o menor valor dos dias analisados (7,05 MJ m²dia⁻¹), constatando uma redução de mais de 50% da radiação solar incidente em relação ao DJ 31. Ademais, a deciduidade da vegetação nativa, sobretudo da floresta estacional decidual que perde suas folhas neste período do ano, tem significativo impacto para a redução dos valores da biomassa. Dessa forma, a dinâmica que a estação de estiagem imprime à vegetação é um fator importante, pois a vegetação com estresse hídrico tende a absorver

menos radiação solar, aumentando sua refletância na faixa do visível, enquanto absorve mais radiação na faixa do infravermelho, com menor acúmulo de biomassa.

No mapa do dia 12 de setembro (DJ 255) observa-se um aumento nos valores de biomassa em relação aos dias anteriores, como também foi observado um aumento da radiação solar incidente. Nota-se nos mapas de biomassa ao longo do período analisado que as áreas de agricultura irrigadas tiveram valores maiores que as áreas naturais no período seco, apresentando um certo potencial para o seqüestro de carbono, se bem manejadas. Para validação dos dados de biomassa estimados pelas imagens do sensor TM, foi utilizado o mapa de biomassa de Baccini et al (2012). Uma particularidade deste produto é a sua baixa resolução espacial, no qual em áreas onde o uso do solo é mais intenso, diferentes classes podem ser englobadas em um mesmo pixel; além disso, o mesmo emprega dados de re-análise (filtragem de nuvens, eliminação de ruídos, etc., na forma de novos *compositings*), o que pode provocar algumas incompatibilidades. Outro detalhe importante, inerente a este produto (estático), é que o mesmo não traz a variação da biomassa ao longo de uma série temporal, fator importante para o entendimento da relação vegetação-atmosfera (BRITO et al., 2013).

Na área de estudo, a biomassa estimada por Baccini et al. (2012) teve variação na ordem de 0 a 191 (ton/ha), sendo constatada uma confusão entre as classes de agricultura irrigada e pastagem. Para melhor análise da biomassa Epígea, foram recortadas áreas homogêneas de floresta estacional decidual (FED), floresta estacional semidecidual (FEDS), agricultura irrigada, áreas de solo exposto, pastagem e vegetação rala. As três últimas classes foram analisadas em conjunto, devido ao elevado grau de confusão espectral. Assim, os valores médios de biomassa obtidos com os dados Landsat 5 - TM (Tabela 2) foram comparados com os valores de biomassa obtidos do mapa de Baccini et al. (2012), para as mesmas áreas (Tabela 3).

Observa-se que a classe de Floresta estacional semidecidual apresentou os maiores valores de biomassa para os dias analisados, com variação entre 131,12 a 306,61 (ton/ha), seguida da classe de agricultura irrigada com variação de 125,19 a 245,24 (ton/ha). Estas áreas, apesar de apresentarem boa disponibilidade hídrica durante todo do ano, apresentaram significativa variação, podendo este fator ser explicado pela sazonalidade do clima local, sobretudo da variação da radiação solar incidente. A área de Floresta Estacional Decidual (FED) apresentou significativa variação de biomassa no período analisado, na ordem de 83,92 a 321,13 (ton/ha), sendo este padrão ligado à dinâmica da sazonalidade climática da região e à deciduidade da vegetação nativa.

Tabela 2 – Biomassa Epíge (ton/ha) estimada pela metodologia do algoritmo SEBAL/CASA para o ano de 2011.

Dias	Agricultura Irrigada	FED	FEDS	Pastagem/Vegetação rala/Solo Exposto
31	245,24	321,13	306,61	85,27
111	191,57	207,97	197,88	81,03
175	153,96	126,11	156,28	16,58
191	125,19	83,92	131,12	18,55
255	110,26	67,45	156,27	16,46

As áreas de solo exposto, pastagem e vegetação rala apresentaram os menores valores de biomassa, sendo de 16,46 a 85,27 (ton/ha). Nota-se um padrão nos maiores e menores valores de biomassa no período de estudo, sendo esses relacionados com a sazonalidade climática e a quantidade de radiação solar incidente.

Os valores de biomassa do mapa de Baccini et al. (2012), na Tabela 3, apresentaram-se pouco representativos para a área de estudo, devido à baixa resolução espacial, onde diferentes classes de uso do solo foram agrupadas em um mesmo pixel. Na área de agricultura irrigada observou-se o valor de 54 (ton/ha), sendo este o mais discrepante entre os dados obtidos pelas imagens Landsat 5 TM.

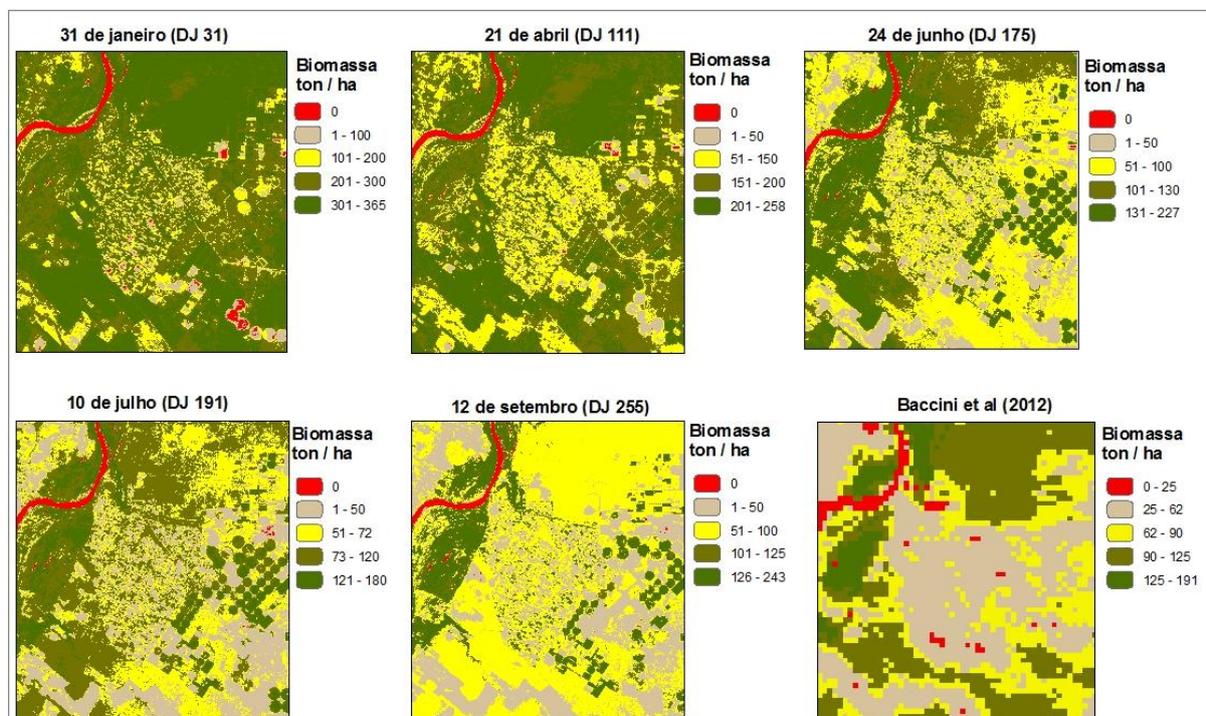


Figura 2 – Mapas de biomassa da cena analisada do ano de 2011, em comparação com o mapa de Baccini et al. (2012).

Tabela 3 – Biomassa (ton/ha) Baccini et al (2012).

Agricultura Irrigada	FED	FEDS	Pastagem/Vegetação rala/Solo Exposto
54	100	153	47

As áreas mais homogêneas de floresta estacional decidual e semidecidual, com valores de 153 e 100 (ton/ha), respectivamente, apresentaram semelhanças com os dados Landsat 5 - TM do dia 175; no entanto, demonstra discrepância com as outras datas. O dado da amostra de pastagem, vegetação rala e solo exposto, do mapeamento de Baccini et al (2012) se apresentaram significativa diferença dos dados obtidos pelas imagens Landsat 5 TM.

4. Conclusão

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que a biomassa Epígea na área analisada apresentou significativa variação ao longo do período estudado, sendo a dinâmica climática um fator importante na variação da biomassa, sobretudo a variação da radiação solar incidente. Os dados de biomassa de Baccini et al. (2012) apresentaram-se pouco representativos para a área de estudo, devido à baixa resolução espacial da imagem e à variação espaço-temporal da biomassa na área de estudo. Por fim, recomenda-se que para estudos futuros a validação dos dados obtidos pela metodologia SEBAL/CASA, sobretudo nas áreas de floresta estacional decidual no período seco, onde esta perde suas folhas no período de estiagem, apresentando baixos valores de NDVI.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor, e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela disponibilidade dos dados da estação meteorológica automática de Mocambinho (MG). Agradecemos também à FAPEG (Universal 05/2012, 201210267000966) pelo apoio à manutenção da plataforma LAPIG-Maps/gestão do banco de dados geográfico.

6. Referências

- Aragão, L. E. O. C. **Modelagem dos Padrões Temporal e Espacial da produtividade Primária Bruta Na Região do Tapajós: Uma Análise Multi-Escala**. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2004
- Brandão, Z. N; Bezzera, M. V. C; Silva, B. B; **Uso do NDVI para a determinação da biomassa na chapada do Araripe**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 75-81
- Brito, J.I.B; Sousa, R.N. Estimativa da Absorção de Carbono pela Vegetação da Caatinga. In: Silva, B.B. da (Org). **Aplicações Ambientais Brasileiras de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Campina Grande – PB: Editora EDUFCEG, 2013. cap. 5, p.83-100.
- Freitas *et al.* **Geologia e Hidrogeologia de Jaíba, Verdelândia e Varzelândia, Norte de Minas Gerais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geologia) Universidade Federal de Minas Gerais – MG, 2008.
- Gusson, E. **Avaliação de método para a quantificação de biomassa e carbono em florestas nativas e restauradas de mata atlântica**. 2014. 112p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, São Paulo.2014.
- IBGE. Manual técnico de uso da terra. **Manuais técnicos em geociências**, Rio de Janeiro, 2006. ISSN 0103-9598. 91 p
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2013: The physical science basis**. Stockholm, Sept. 2013. Report – Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report (AR5).
- Silva, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. A. determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.2, p.201-211, 2005
- Silva, et al. Determinação por Sensoriamento Remoto da Produtividade Primária Bruta do Perímetro Irrigado São Gonçalo – PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**,v.28, n.1, p.57 – 64, 2013
- Rezende, J.F.R. **Gestão de Informações utilizando a Tecnologia de Geoprocessamento para o Projeto Jaíba – Etapa II**. Trabalho de conclusão de curso (Especialista em Geoprocessamento). Universidade Federal de Minas Gerais – MG, 2002.