

Avaliação da correlação entre índices de vegetação e biomassa epígea de sistemas agroflorestais

Édson Luis Bolfe^{1,2}
Marcos César Ferreira²
Mateus Batistella³

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/CPATC
Caixa Postal 44 - 49025-040 - Aracaju - SE, Brasil
bolfe@cpatc.embrapa.br

² Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/IG
Caixa Postal 6152 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
{macferre; bolfe}@ige.unicamp.br

³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/CNPM
Av. Soldado Passarinho, 303 - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil
mb@cnpm.embrapa.br

Abstract. The agroforestry systems (SAF) are an important strategy of land use, directed to the environment services, in special, to the carbon storage for the biomass. This paper presents activities developed with objective of aboveground biomass estimation (AGB) and the carbon storage (CS), existing in SAF in the Tomé-Açu, Pará, Brazil. The agroforestry data had been gotten by carried through inventory in 63 parcels show of 10x10 m. A tax of 9027 was inventoried plants/ha, with DAP \geq 2,5 cm, pertaining the 20 families and 29 species. Considering it inherent joined variability to the structural, species information and of the vegetative period of training of the observed plants, the SAF had been divided in four hierarchic classes: SAF-1, SAF-2, SAF-3 and SAF-4. For the estimate of the AGB, the indirect method, based was used in allometric equations, for different class (DAP \geq 20 cm, DAP<20 cm) and for palms. The AGB of the SAF was 153,21 Mg ha⁻¹ (25,32 for SAF 1; 125,58 for SAF 2; 155,38 for SAF 3 and 306,54 for SAF 4). The carbon contained average was 74,30 Mg C ha⁻¹ (12,28 for SAF 1; 60,91 for SAF 2; 75,36 for SAF 3 and 148,67 for SAF 4). The esteem values of AGB and CS for each class of SAF had been correlated the three vegetation index (NDVI, SAVI and PVI), having significant correlation with these index, indicating the possibility of the use of these pointers in the survey and the monitoring of the biomass and carbon in the region.

Palavras-chave: family agriculture, carbon, MDL, remote sensing, agricultura familiar, carbono, MDL, sensoriamento remoto.

1. Introdução

A elevação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera se tornou um grave problema ambiental, devido às implicações no clima médio do planeta. As evidências obtidas por meio de observações em todos os continentes e na maior parte dos oceanos mostram que muitos sistemas naturais estão sendo afetados pelas mudanças climáticas regionais, principalmente pela elevação da temperatura (IPCC, 2007). Após evidências de estudos observacionais e de modelagem sobre as mudanças climáticas de origem antrópica, decorrentes de alterações do uso e cobertura da terra dentro na região amazônica, Nobre et al. (2007, p. 24) relatam que “tais alterações estão ligadas diretamente ao desmatamento de sistemas florestais para transformação em sistemas agrícolas e/ou pastagem, o que implica em transferência de carbono (na forma de dióxido de carbono) da biosfera para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global, o qual por sua vez acaba atuando sobre a região amazônica”.

Atualmente, se almeja encontrar sistemas de produção eficazes para o seqüestro e o armazenamento de C na biomassa e no solo, em especial, nos sistemas cujos principais componentes florísticos são arbóreos. Montagnini e Nair (2004) destacam a busca por sistemas e métodos de baixo custo para seqüestrar carbono, está emergindo como um dos principais objetivos da política internacional no contexto das mudanças globais do clima. Essa demanda

tem sido intensificada a partir do último relatório do IPCC (2007), onde é destacado que as atividades agrícolas de mitigação relacionadas às florestas podem reduzir de forma considerável as emissões por fontes e aumentar as remoções de CO₂ com baixos custos.

No Brasil, em especial na Amazônia, os SAF estão sendo amplamente estudados e difundidos nos últimos anos, com ênfase na agricultura familiar (Luizão et al., 2006; Kato et al., 2006). Estes sistemas produtivos permitem a recuperação de áreas degradadas, a produção de cultivos diversificados (alimentares e biocombustíveis) e a geração de serviços ambientais (infiltração d'água, aumento da matéria orgânica, elevação da biodiversidade), que se constituem em importantes sistemas de fixação de C na biomassa vegetal e no solo.

A estimativa de biomassa de sistemas envolvendo componentes florestais permite gerar informações sobre o estoque de nutrientes existentes na vegetação, os quais são de elevada relevância no uso dos recursos naturais de forma sustentável, assim como, nas questões relacionados ao clima, onde a biomassa é utilizada para se estimar o estoque de carbono na vegetação e a quantidade de CO₂ que é liberado à atmosfera devido à adoção de diferentes usos da terra (Fearnside, 1996; Brown, 1997; Lu et al., 2005; IPCC, 2007).

O maior desafio na mensuração e monitoramento de C em SAF em relação aos monocultivos, se deve à elevada dispersão das áreas e a diferentes sistemas de manejo aplicados. Desta forma, existe dificuldade em gerar metodologias e processos de extrapolação para áreas geograficamente mais abrangentes. Alguns estudos (Winrock, 1997; Albrecht e Kandji, 2003; Icrat, 2004; Santos et al., 2004; Montagnini e Nair, 2004) têm sido realizados com objetivo de estimar o carbono fixado em SAF; porém, estes são baseados exclusivamente em métodos “destrutivos”, necessitando-se obter amostras “*in-loco*” das plantas e de avaliações laboratoriais, havendo elevado custo-benefício e de baixa expressão geopolítica, quando da certificação de serviços ambientais envolvendo Mecanismos de Desenvolvimento Limpo - MDL.

Dessa forma, é imprescindível o desenvolvimento de processos mais eficazes para se estimar o C fixado na biomassa epígea, os quais deverão ser formatados com base nas características intrínsecas ao local de estudo, mas ao mesmo tempo, passíveis de extrapolações. Os trabalhos realizados por meio de quantificação indireta baseados em processos não-destrutivos, que envolvem equações alométricas e informações espectrais de imagens de satélite, estão em fase inicial, e se constituem em um dos principais desafios técnico-científicos nos modelos de estimativas de fluxo de C (Overman et al., 1994; Houghton, 1999; Foddy et al., 2003; Lu et al., 2005; IPCC, 2007).

Nesse sentido, este estudo visa contribuir com as pesquisas envolvendo a estimativa de biomassa epígea e o carbono de SAF's na Amazônia, a partir da análise realizada em agroflorestas existentes em Tomé-Açu, Pará e sua correlação com índices de vegetação.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A pesquisa foi realizada em áreas de produtores rurais localizadas no distrito de Quatro Bocas, no município de Tomé-Açu, Pará (2°25'00" de latitude S e 48°09'09" de longitude W). Tomé-Açu faz parte da Mesorregião Nordeste Paraense e à Microrregião (IBGE, 2008). Segundo Rodrigues (2001), o relevo é caracterizado por compartimento topográfico bastante simples, tais como, baixos platôs aplainados, terraços e várzeas. Os solos são representados pelos latossolos amarelo distrófico textura argilosa média, os solos concrecionários lateríticos, indiscriminados distróficos textura indiscriminada, os gleys pouco-úmidos entróficos e distróficos e, os aluviais eutróficos distróficos, em associação. A vegetação original representativa é a Floresta Ombrófila, Floresta Densa dos Baixos Platôs, a Densa de Platôs, atualmente bastante alteradas, ensejando o surgimento das florestas secundárias ou capoeiras. O clima é mesotérmico e úmido – *Ami*, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média é 25°C com precipitação total anual em torno de 2.250mm.

2.2 Coleta e análise de Dados em Campo

Com apoio de imagem do satélite Landsat TM-5 de 2005, áreas potenciais para os levantamentos de campo foram selecionadas. Os proprietários dos lotes foram entrevistados, tomando-se informações sobre o histórico do uso da terra e os arranjos produtivos implantados. No total, inventariou-se 21 unidades amostrais, constituídas por três parcelas cada, totalizando 63 parcelas amostrais, constituídas de quadrados de 10x10 m. Foi medido o diâmetro à altura do peito (DAP) e estimada a altura total (H) para os indivíduos com DAP superior a 2,5 cm. As coordenadas geográficas das parcelas foram locadas através de sistema de posicionamento global (GPS). Informações sobre as características do sub-bosque, topografia, cobertura de copa também foram coletadas. Para as análises estrutural e florística dos SAF's, adotou-se recomendações propostas por Brower *et al.* (1998). Análises estatísticas descritivas foram realizadas analisar os dados coletados e validar o sistema de classificação proposto.

2.3 Estimativa da Biomassa Epígea e do Carbono

Os dados obtidos por análise estrutural e florística foram armazenados em banco de dados geográficos. Foram utilizados quatro modelos alométricos desenvolvidos para a região amazônica, com o objetivo de se estimar a biomassa epígea individual da vegetação (kg/ind.). As Equações 1 e 2 (Higuchi *et al.*, 1998) foram utilizadas para se estimar a biomassa de indivíduos com DAP inferior a 20 cm, e DAP igual ou superior a 20 cm, respectivamente. A Equação 3 (Saldarriaga *et al.*, 1988) foi aplicada para a estimativa da biomassa epígea de palmeiras.

$$Exp(BE1) = Exp(-1,754 + 2,655 \ln(DAP)) * 0,6 \quad (1)$$

$$Exp(BE2) = Exp(-0,151 + 2,170 \ln(DAP)) * 0,6 \quad (2)$$

$$Exp(BE3) = Exp(-6,3798 - 0,877 * \ln(1/DAP^2)) + 2,151 * \ln(H) \quad (3)$$

onde ln é o logarítmico natural; DAP é o diâmetro a altura do peito (cm); H é a altura total (m).

Para se estimar o estoque de carbono (EC) contido na EBE (Mg ha⁻¹), para o diferentes sistemas classificados (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4), os valores de EBE obtidos para cada indivíduo foram calculados para as diferentes parcelas amostrais e estimadas por ha. Posteriormente, multiplicou-se a EBE pelo fator 0,485 em uma vez que a biomassa epígea seca acima do solo contem aproximadamente entre 45 e 50 % de carbono, conforme indicado por, Higuchi *et al.* (1998) e IPCC (2007), conforme Equação 4.

$$EC = EBE * 0,485 \quad (4)$$

onde EBE é a estimativa da biomassa epígea e 0,485 o fator de conversão para carbono.

2.4 Pré-processamento das Imagens Orbitais

Esta etapa foi realizada visando minimizar alterações detectadas na imagem, incluindo a atenuação de distorções geométricas e radiométricas (Chuvieco, 1996), elevando assim as possibilidades de extração de informações sobre a vegetação. As imagens utilizadas foram retificadas geometricamente a partir da Projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*, Zona 22S, SAD 69), baseada em pontos de controle obtidos em carta topográfica na escala 1:100.000. A reamostragem foi efetuada por meio do interpolador “vizinho mais próximo”, sendo que o erro médio quadrático situou-se em torno de 0,5 pixel para a imagem TM. Realizou-se ainda a correção radiométrica, técnica que modifica os números digitais (ND) com o objetivo de caracterizar as imagens no caso de uma recepção ideal, englobando as distorções provocadas pela atmosfera e a conversão de ND da imagem em parâmetros físicos – radiância e reflectância (Chuvieco, 1996). Os efeitos atmosféricos foram corrigidos utilizando-se do modelo de subtração de objeto escuro (DOS). Para estes processos, foram empregados coeficientes de calibração do sensor TM e demais parâmetros conforme NASA (2008).

2.5 Aplicação dos Índices de Vegetação

Foram obtidas três imagens sínteses, uma para cada um dos seguintes índices: a) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), desenvolvido por Rouse et al. (1973); b) Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), desenvolvido por Huete (1988); e c) Índice de Vegetação Perpendicular 2 (PVI2) proposto por Bannari et al. (1996), conforme descritos nas Equações 5, 6 e 7.

$$NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V) \quad (5)$$

$$SAVI = [(\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)] \times (1 + L) \quad (6)$$

$$PVI2 = [(\rho_{IVP} - a) * (\rho_V + b)] / \sqrt{1 + a^2} \quad (7)$$

onde ρ_{IVP} = reflectância na faixa do infravermelho próximo; ρ_V = reflectância na faixa do vermelho; L = fator de ajuste do solo; a e b são, são respectivamente, a declividade e o intercepto da linha do solo, que possui a banda do infravermelho próximo como variável dependente.

2.6 Regressão entre os dos Dados de Campo e as Variáveis Espectrais

Os dados obtidos em campo, sobre as unidades amostrais, foram registrados em coordenadas geográficas obtidas por sistema de posicionamento global por satélite (GPS). As bandas espectrais sofreram retificação geométrica e correção radiométrica. Para cada parcela amostral, classificadas como SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4, foi calculada a EBE e o EC ($Mg\ ha^{-1}$). Todas as informações foram tabuladas em banco de dados de um sistema de informação geográfica. Assim, utilizando-se do EBE/EC como variável dependente e os índices de vegetação (NDVI, SAVI e PVI) como variáveis independentes, modelos de regressão múltipla foram utilizados para estabelecer a dependência entre EBE/EC e estes índices.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise Estrutural e Florística dos SAF

Nos SAF estudados, foram inventariados 9.027 indivíduos/ha com DAP superior a 2,5 cm, pertencentes a 29 espécies. A partir da análise estatística das informações estruturais e florísticas das espécies observadas em campo, as características dos SAF foram diferenciadas, definindo-se uma proposta de divisão baseada nas quatro classificações agrofloretais estabelecidas (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) para a região (Tabela 1). O SAF 1 é caracterizado pela área basal média de até $5\ m^2/ha$, cobertura de copa média de até 35 % e a altura média dos indivíduos de até 3 m. O SAF 2 se caracteriza por apresentar área basal média entre 5 e $10\ m^2/ha$, cobertura de copa entre 35 e 50 % e a altura média dos indivíduos entre 3 e 4,5 m. O SAF 3 tem área basal entre 10 e $30\ m^2/ha$, cobertura de copa entre 50 e 70 % e a altura média entre 4,5 e 6 m. Os SAFs com área basal superior a $30\ m^2/ha$, cobertura de copa acima de 70 % e a altura média acima de 6 m, foram definidos como SAF 4.

Tabela 1. Dados florísticos e estruturais por classe de SAF. Abundância (N), cobertura de copa (C), área basal (G), diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (H) – média e desvio padrão.

| Dados/Parâmetros | Classificações Agrofloretais Propostas | | | |
|------------------|--|-------|-------|-------|
| | SAF 1 | SAF 2 | SAF 3 | SAF 4 |
| Nº de Espécies | 4 | 12 | 14 | 17 |
| N (nj/ha) | 1042 | 2322 | 1878 | 1980 |
| C (%) | 33 | 39 | 63 | 74 |
| G (m^2/ha) | 1,6 | 6,2 | 21,3 | 44,1 |
| DAP média (cm) | 3,9 | 5,5 | 10,2 | 12,5 |
| DAP (s) | 2,0 | 2,3 | 6,4 | 11,3 |
| H média (m) | 2,6 | 3,1 | 5,3 | 6,4 |
| H (s) | 1,1 | 0,9 | 2,7 | 4,6 |

3.2 Estimativa da Biomassa Epígea e do Carbono

Os dados obtidos pela análise estrutural e florística dos SAF, armazenados em banco de dados geográficos, foram inseridos nas equações alométricas com o objetivo de se estimar a biomassa epígea individual da vegetação, total por hectare, para cada unidade amostral (Tabela 2), e AA biomassa média por tipo de SAF (Tabela 3). A EBES total média foi de 153,21 Mg ha⁻¹ e o EC contido na EBE total média das quatro classes de SAF foi de 74,30 Mg C ha⁻¹.

Tabela 2. Unidades amostrais, localização, biomassa epígea (EBE) e estoque de carbono (EC).

| Unidade Amostrai | Coord. UTM (mE) | Coord. UTM (mN) | Classe SAF | EBE (Mg ha ⁻¹) | EC (Mg ha ⁻¹) |
|------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------------------|---------------------------|
| 1 | 803651 | 9729360 | 2 | 124,24 | 60,26 |
| 2 | 801741 | 9724638 | 3 | 159,38 | 77,30 |
| 3 | 803065 | 9721204 | 4 | 295,92 | 143,52 |
| 4 | 802860 | 9722568 | 3 | 171,21 | 83,04 |
| 5 | 801670 | 9725482 | 1 | 19,39 | 9,40 |
| 6 | 802374 | 9724850 | 2 | 111,35 | 54,00 |
| 7 | 802154 | 9725526 | 3 | 157,74 | 76,50 |
| 8 | 798240 | 9728490 | 4 | 287,54 | 139,46 |
| 9 | 798572 | 9728278 | 2 | 110,63 | 53,66 |
| 10 | 798229 | 9728928 | 2 | 134,85 | 65,40 |
| 11 | 798235 | 9729160 | 3 | 153,12 | 74,26 |
| 12 | 797249 | 9728634 | 3 | 150,38 | 72,93 |
| 13 | 797353 | 9728436 | 4 | 300,89 | 145,93 |
| 14 | 806689 | 9734208 | 3 | 140,44 | 68,11 |
| 15 | 794213 | 9708172 | 1 | 25,96 | 12,59 |
| 16 | 794384 | 9716484 | 2 | 149,40 | 72,46 |
| 17 | 794889 | 9716130 | 4 | 301,78 | 146,36 |
| 18 | 793815 | 9716756 | 4 | 346,57 | 168,09 |
| 19 | 793000 | 9717154 | 1 | 23,36 | 11,33 |
| 20 | 800372 | 9726280 | 1 | 32,57 | 15,80 |
| 21 | 802408 | 9730200 | 2 | 123,02 | 59,66 |

Tabela 3. Dados estimados para os quatro sistemas agroflorestais propostos para Tomé-Açu, PA. Biomassa epígea (EBE), estoque de carbono (EC) e média dos SAF's (MS).

| Dados Estimados | Classificações Agroflorestais Propostas | | | | |
|-------------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| | SAF 1 | SAF 2 | SAF 3 | SAF 4 | MS |
| Biomassa Epígea (EBE) | 25,32 | 125,58 | 155,38 | 306,54 | 153,21 |
| Estoque de Carbono (EC) | 12,28 | 60,91 | 75,36 | 148,67 | 74,30 |

Os valores de EC observados estão dentro das médias estimadas por Albrecht e Kandji (2003), os quais realizaram um completo estudo sobre o seqüestro de carbono em SAFs tropicais. Estes autores relatam que o potencial de seqüestro de C pela vegetação de SAF para a América do Sul é estimado entre 39 a 102 MgC ha⁻¹, e, a média para a região tropical é de 95 Mg C ha⁻¹. O EC médio encontrado neste estudo (74,30 Mg C ha⁻¹), representa, em cerca de 33 % do citado por Dixon (1995), para sistemas antrópicos (228 Mg C ha⁻¹). Quando se analisa o potencial de seqüestro de C pela vegetação dos SAF estudados, destaca-se o valor de EC encontrado no SAF 4 (148,67 Mg C ha⁻¹), o qual representa 65 % do carbono observado para sistemas antrópicos - incluído o retido no solo - constituindo-se assim, em importante alternativa para fixar e acumular carbono.

3.3 Regressão entre Dados de Campo e as Variáveis Espectrais

A composição colorida baseada em três bandas espectrais do TM Landsat 5, da área de estudo e os índices de vegetação gerados, estão apresentados na Figura 1.

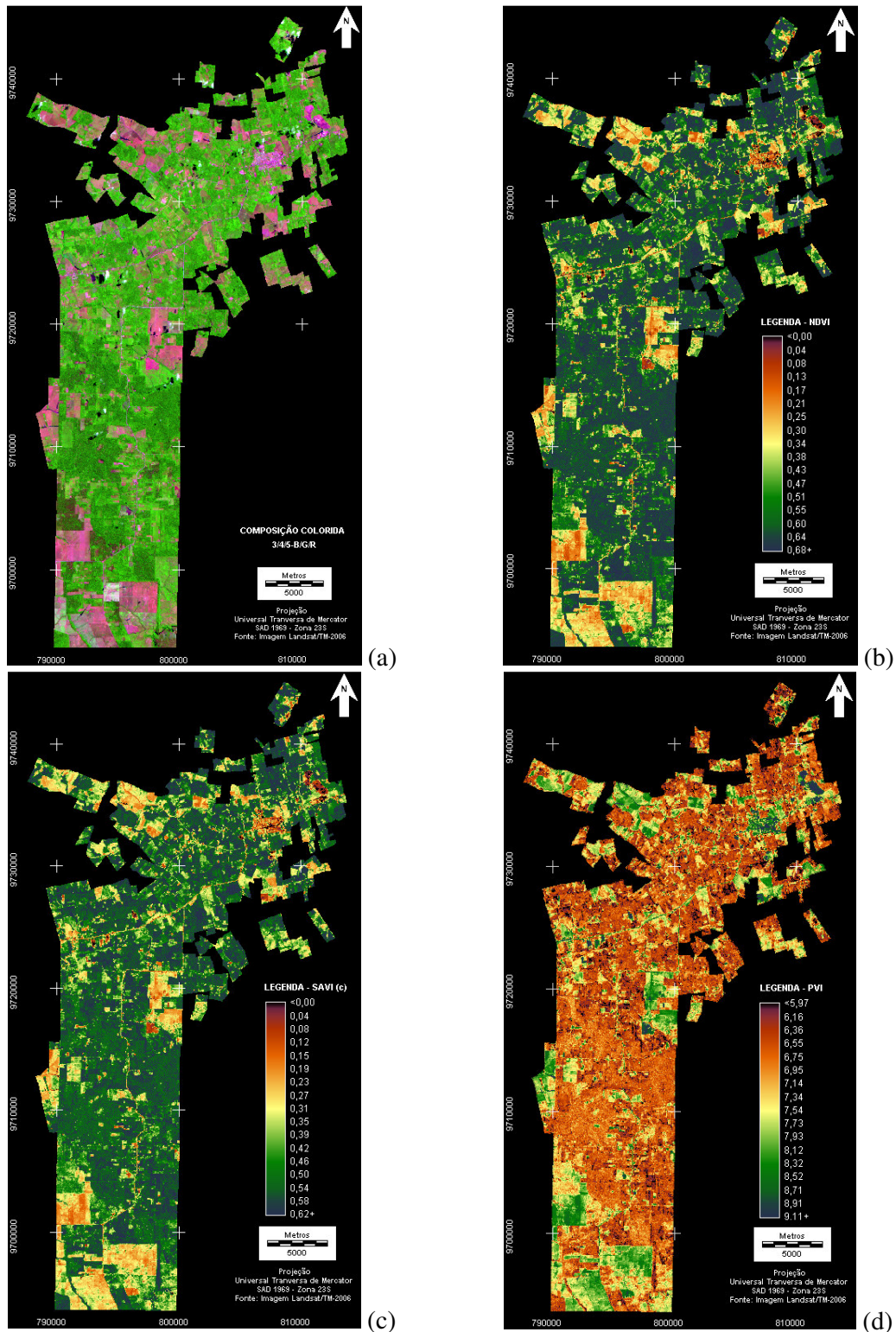


Figura 1. (a) composição colorida (3/4/5 – B/G/R-TM Landsat 5), b) NDVI, (c) SAVI e (d) PVI2.

Os dados obtidos pela extração das informações em cada categoria de SAF (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4), nos diferentes índices de vegetação aplicados (NDVI, SAVI e PVI), assim como, os coeficientes de regressão obtidos em modelos de regressão entre EBE/EC e os índices de vegetação, são apresentados na Tabela 4. Pela análise dos coeficientes de regressão (R) entre a biomassa epígea/carbono e cada índice de vegetação, observa-se que todos foram positivos, com R variando de 0,622 a 0,638, cujos valores são significativos ao nível $p=99\%$. Lu et al. encontrou coeficientes de correlação entre 0,551 e 0,865 em estudo que buscava correlacionar diferentes índices de vegetação e texturas, para florestas densas e secundárias na região amazônica.

Tabela 4. Valores dos coeficientes de regressão (R) entre os diferentes índices de vegetação (IV); tipo de SAF, Mínimo, Máximo, Média, Desvio Padrão e nível de significância da regressão (α).

| IV | SAF | IV _{min} | IV _{máx} | IV _{med} | Desvio Padrão do IV | R | Nível de significância (α) |
|------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------|-------------------------------------|
| NDVI | SAF 1 | 0,067 | 0,588 | 0,364 | 0,091 | 0,632 | 0,01 |
| | SAF 2 | 0,360 | 0,680 | 0,594 | 0,066 | | |
| | SAF 3 | 0,486 | 0,663 | 0,624 | 0,034 | | |
| | SAF 4 | 0,462 | 0,657 | 0,632 | 0,035 | | |
| SAVI | SAF 1 | 0,093 | 0,614 | 0,408 | 0,126 | 0,638 | 0,01 |
| | SAF 2 | 0,203 | 0,620 | 0,431 | 0,094 | | |
| | SAF 3 | 0,382 | 0,495 | 0,471 | 0,048 | | |
| | SAF 4 | 0,340 | 0,471 | 0,479 | 0,051 | | |
| PVI2 | SAF 1 | 5,593 | 7,909 | 5,893 | 0,392 | 0,622 | 0,01 |
| | SAF 2 | 6,884 | 9,101 | 6,997 | 0,368 | | |
| | SAF 3 | 7,551 | 8,983 | 7,100 | 0,227 | | |
| | SAF 4 | 7,193 | 8,621 | 7,007 | 0,250 | | |

4. Conclusões

Os parâmetros de percentual de cobertura de copa, área basal e altura média, evidenciam os intervalos da classificação proposta (SAF 1, 2, 3, 4) para os SAF da região, e possibilitam a discriminação entre tais sistemas, apesar da complexidade dos seus arranjos produtivos.

Os índices de vegetação testados (NDVI, SAVI e PVI2), possuem correlação positiva com a biomassa epígea e o carbono fixado nos diferentes sistemas agroflorestais na região de estudo.

Os SAF da região de Tomé-Açu são importantes acumuladores de C em sua vegetação, podendo contribuir significativamente no processo de seqüestro de CO₂ e a conseqüente redução do efeito estufa, indicando possibilidades de sustentabilidade ambiental. Sugerimos que novos estudos utilizando outros índices de vegetação sejam desenvolvidos, buscando-se confirmar e ampliar os valores de correlação entre estes e outros IV e cada um dos SAFs classificados.

Referências Bibliográficas

- Albrecht, A.; Kandji, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 99, n. 1, p. 15-27, 2003.
- Bannari, A.; Huete, A.R.; Morin, D. Effets de la Couleur et de la Brillance du Sol Sur les Indices de Végétation. **International Journal of Remote Sensing**. v.17, n.10, p.1885-1906. 1996.
- Brower, J.E.; Zar, J.H.; Van Ende, C.N. **Field and Laboratory Methods for General Ecology**. V.4 th WCB/McGraw, New York. 273p. 1998.
- Brown, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests**. Rome: FAO, 1997.
- Chuvieco, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones. Rialp, 1996. 568p.

- Dixon, R.K. SAF's y gases invernadores. **Agrofloresteria en las Américas**. v.2, n.7, p.22-27, 1995.
- Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**. v. 80, p. 21-34.
- Foddy, G. M.; Boyd, D. S.; Cluter, M. E. J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**. v. 85, p. 463-474, 2003.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**. v.28, n.2, p.153-165.
- Houghton, R. A. **Balancing the global carbon cycle with terrestrial ecosystems**. In: ZEPP, R. (Ed.). The role of non-living organic matter in the earth's carbon cycle. New York: John Wiley e Sons. 1999.
- Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, Ney York, v. 25, p. 295-309, 1988.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Municípios**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12. mar. de 2008.
- International center for research in agroforestry (ICRAF). Agroforestry defined. In: International center for research in agroforestry. 2004. Disponível em: <<http://www.ciesin.org/ic/icraf>> Acesso em: 03. set. 2007.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) **Climate Change. Summary for policymakers**.2007.
- Kato, O. R.; Kato, M. S. A.; Carvalho, C. J. R.; Figueiredo, R. de O.; Camarão, A.; Sá, T. D. de A.; Denich, M.; Vielhauer, K. Uso de agroflorestas no manejo de florestas secundárias. In: Gama-Rodrigues, A. C. et al. (Org.). CBSAF. VI. 2006. **Anais...** Campos dos Goytacazes: UENF, 2006, p. 119-138.
- Lu, D.; Batistella, M. e Moran, E. Satellite estimation of aboveground biomass and impacts of forest stand structure. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v.71, n.8, p.967-974, 2005.
- Luizão, F. J.; Tapia-Coral, S.; Gallardo-Ordinola, J.; Silva, G. C.; Luizão, R. C. C.; Trujillo-Cabrera, L.; Wandelli, E.; Fernandes, E. C. M. Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. In: CBSAF. VI. 2006. **Anais...** Campos dos Goytacazes:UENF, 2006, p.87-100.
- Montagnini, F.; Nair, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**. v.61, p. 281-295, 2004.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). **Landsat**. Science data users handbook. Disponível em: <<http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>>. Acesso em: 21.ago. 2008.
- Nobre, C. A.; Sampaio, G.; Salazar, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**. v.59, n.3, p.22-27. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br>>. Acesso em: 27. ago. 2007.
- Overman, J. P. M.; Witte, H. J. L.; Saldarriaga, J. G. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon Basin. **Journal of Tropical Ecology**. v.10, p. 207-218, 1994.
- Rodrigues, T. E. **Zoneamento agroecológico do Município de Tomé-Açu, Pará**. Belém: Embrapa, 2001. 81p.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W.; Harlan, J.C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA Final Report. Greenbelt, MD: NASA. 371 p. 1973.
- Saldarriaga, J.G., D.C. West, M.L. Tharp, C. UHL Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **Journal of Ecology**. v.76, p.938-958. 1988.
- Santos, S. R. M.; Miranda, I. S.; Tourinho, M. M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cameté, Pará. **Acta Amazonica**. v.34, n.1, p.1-8, 2004.
- International Institute for Agricultural Development (WINROCK). **A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects**. California: California University, 1997. 87 p.