

Aplicação dos índices de vegetação NDVI, PRI, e CO2flux na caracterização da cobertura vegetativa da área de proteção ambiental Raimundo Irineu Serra.

Julio Roberto da Rocha Almeida¹
Karla da Silva Rocha²

¹ Universidade Federal do Acre - UFAC
Distrito industrial - CEP: 69.920-900 Rio Branco-AC, Brasil
julio.151094@gmail.com

² Laboratório de Geoprocessamento - LAGEOP
Distrito industrial - CEP: 69.920-900 Rio Branco-AC, Brasil
rochakarla@uol.com.br

Resumo. As elevadas concentrações de gases causadores de efeito estufa (GEE) na atmosfera geram cada vez mais a necessidade de se estudar sobre o estoque e o fluxo de carbono. Neste sentido, o presente trabalho objetivou fazer uso de geotecnologias para avaliar as correlações entre os índices espectrais (NDVI, PRI e CO2 Flux), visando encontrar correlações entre estoque, sequestro de carbono e uso da terra em uma Área de Proteção Ambiental no município de Rio Branco - Acre. Para a pesquisa fez-se uso de imagens do Satélite Sentinel 2-A, sensor MSI, do ano de 2017, a escolha teve como critério o período com menor cobertura de nuvens. Os resultados obtidos para os índices NDVI, PRI e CO2 Flux quando correlacionados com informações de uso e ocupação do terra mostram que muito embora vários tipos de vegetação contribuam para o estoque de carbono a maior concentração de carbono foi encontrada em áreas de floresta de elevada densidade mostrando a importância da preservação das áreas de proteção. O monitoramento da cobertura florestal com sensoriamento remoto e SIG, por meio do uso de índices de vegetação, mostraram-se ser eficientes ferramentas para avaliação da dinâmica de uso da terra e seus efeitos no estoque e fluxo de carbono, mostrando-se ainda ser eficiente na caracterização da cobertura vegetativa e contribuindo com a preservação e o desenvolvimento sustentável tanto da área de estudo localizada no bioma Amazônico como para outras áreas de proteção localizada no bioma pantaneiro.

Palavras-chave: fluxo de carbono, índices espectrais, áreas de proteção

Abstract. The high concentrations of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere have increasingly generated a need for more studies on carbon stock and flux. Therefore, this paper aimed to make use of geotechnologies to evaluate the correlations between the spectral indices (NDVI, PRI and CO₂ Flux), to find correlations between stock, carbon sequestration and land use in an Environmental Protection Area in the municipality of Rio Branco - Acre. For the analysis, was used a satellite image of the Sentinel 2-A, MSI sensor of the year 2017. The satellite image selection criterion was the period with the lowest cloud coverage. The results obtained for the NDVI, PRI and Flux CO₂ indices when correlated with land use and land cover information showed that although several types of vegetation contribute to the carbon stock, the highest carbon concentration was found in areas of high density forest showing the importance of preserving protected areas. The monitoring of the forest cover with remote sensing and GIS, through the use of vegetation indexes, proved to be efficient tools to evaluate the dynamics of land use and land cover and its effects on carbon stock and flow. It also showed to be efficient tools in the characterization of the vegetative cover contributing thus, to the preservation and sustainable development of both the study area located in the Amazon biome and other protection areas located in the pantaneiro biome.

Keywords: carbon stock and flux, spectral indices, greenhouse gases.

1. Introdução

Por muito tempo a poluição do ar não foi levada em consideração por parte da sociedade, sendo tratada como um assunto pouco prioritário. Entretanto, nas últimas décadas, nos deparamos com as consequências causadas pelo aumento significativo das emissões de gases na atmosfera, o que vem gerando mudanças climáticas significativas, principalmente em relação à temperatura média da Terra (Flizikowski, 2012).

Os gases de efeito-estufa provenientes das ações humanas são apontados como os principais causadores das mudanças climáticas em todo o planeta. O efeito-estufa e o aquecimento global ocorrem em consequência da alta concentração de gases causadores desses fenômenos, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), procedentes das ações antrópicas. O Dióxido de Carbono (CO₂) é o gás mais abundante e está presente em todos os lugares do universo (INPE, 2012).

Ações de redução dos gases de efeito estufa, estão direcionando pesquisas em relação à minimização do aquecimento global tanto considerando sua forma natural quanto por meios ações antrópicas. Neste sentido, se torna cada vez mais pertinente o desenvolvimento de novas metodologias para mensuração e valoração das coberturas vegetais. Neste contexto, as geotecnologias exercem um papel primordial para monitoramento tanto da cobertura vegetal como para monitoramento dos gases de efeito estufa (Andrade et al., 2013).

A demanda por métodos que quantifiquem o estoque de CO₂ em ambientes florestais vem crescendo exponencialmente. Diversos estudos vêm sendo orientados na mensuração do estoque de carbono tanto em florestas plantadas, quanto em florestas nativas tropicais (Gorgens et al., 2005). As florestas plantadas ou nativas realizam diversos processos ambientais, e um desses processos em destaque atualmente, é o sequestro e estoque de Carbono (Ribeiro, 2009), sendo atualmente considerado um importante índice para a manutenção de bons níveis de CO₂. Estes índices, são importantes pra estimar as variáveis biofísicas e parâmetros agronômicos e florestais, tais como: (índice de área foliar, biomassa, clorofila ou estimativa da produtividade da cultura). Também pode ser utilizado como um bom estimador a refletância espectral de dosséis que também são correlacionados com sequestro e estoque de Carbono (Wink, 2009).

Desta forma, levando-se em consideração a importância do sequestro de carbono por parte das florestas e a importância das florestas como mecanismos de desenvolvimento limpo que reduzem emissão de gases foi que decidiu-se fazer uso das tecnologias de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informação Geográfica (SIG) a fim de avaliar o fluxo de carbono a partir de índices de vegetação em uma área de proteção ambiental localizada no município de Rio Branco, estado do Acre.

2. Objetivo

Geral: Avaliar as correlações entre índices espectrais, visando encontrar relações de estoque e sequestro de carbono, correlacionando índices de vegetação (NDVI) e parâmetros obtidos no fluxo de CO₂ utilizando as técnicas de SIG e SR.

Específicos:

- Produzir mapas de uso e cobertura da terra para APA Irineu Serra utilizando imagens do satélite Sentinel;
- Quantificar os índices de vegetação (NDVI, PRI e CO₂ Flux);
- Correlacionar os índices de vegetação e cobertura da terra com Fluxo de Carbono.

3. Material e Métodos

3.1. Área de Estudo

A Área de Proteção Ambiental Raimundo Irineu Serra (APARIS), se localiza no estado do Acre, município de Rio Branco, conforme pode ser visto no mapa abaixo (**Figura 1**). A área em questão de acordo com o Sistema de Unidades de Conservação (SNUC) é uma unidade de conservação que tem como tipologias florestais predominantes Floresta Aberta com Bambu e Áreas Antropizadas. Apresenta um solo predominantemente do tipo Luvissole. E sua principal forma de acesso se dá pela Estrada Raimundo Irineu Serra.

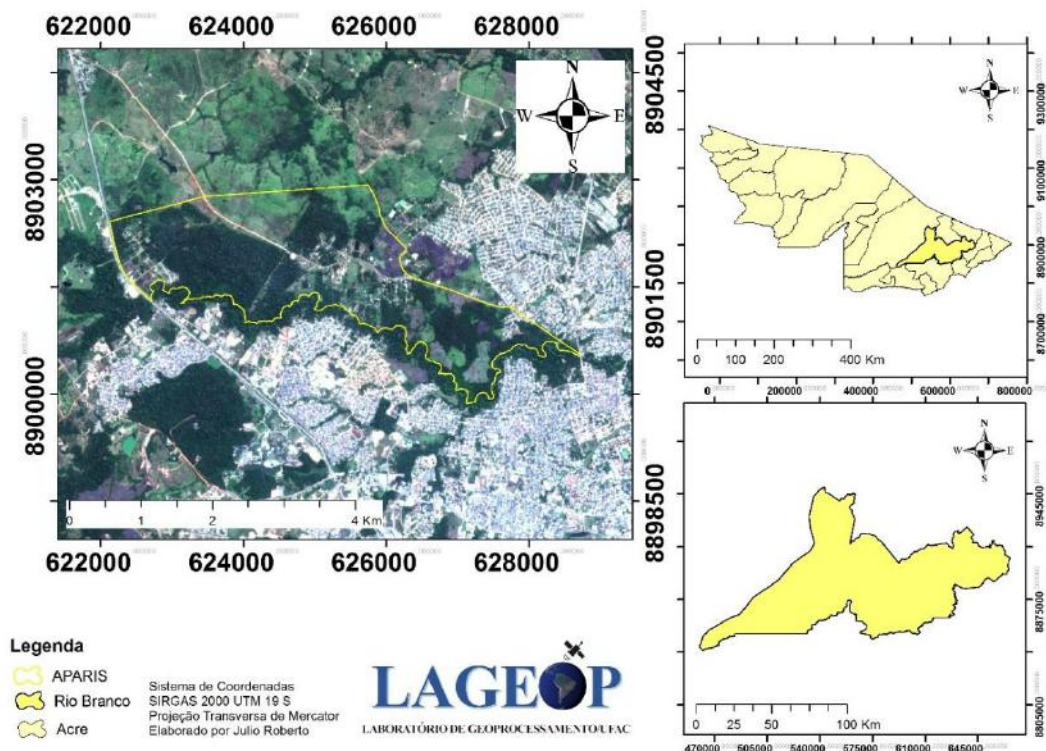


Figura 1. Localização da Área de Estudo.

3.2. Aquisição e Manipulação da Imagem

A primeira etapa consistiu na escolha das imagens do satélite Sentinel. Foi selecionada a cena L1C_T19LFK do sensor MSI do Sentinel 2-A, presentes no catálogo de imagens do Copernicus obtidas a partir do *site*: <https://scihub.copernicus.eu/>, sendo a mesma ortorretificada e corrigida por ruídos atmosféricos. A escolha da imagem teve como critério, o período com menor

cobertura de nuvens. Neste sentido, a cena escolhida foi referente ao dia 31/07/2017. Após a escolha das cenas, foram realizadas várias composições de bandas RGB. Assim, foram geradas as seguintes composições: a) RGB 483, b) RGB 432, c) RGB 843 e d) RGB 765, que podem ser visualizadas na **Figura 2**. Para este trabalho optou-se por trabalhar com duas composições, a RGB 432 (cor verdadeira), e a RGB 483 (falsa cor).

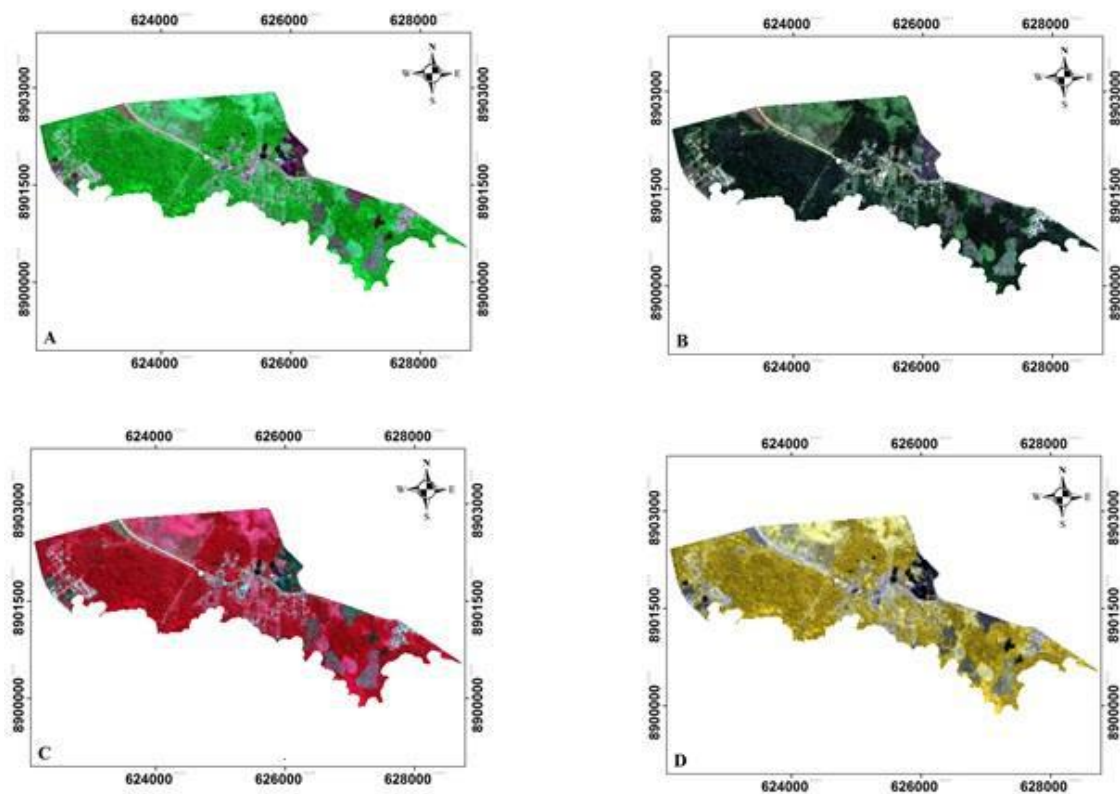


Figura 2. A) Composição colorida RGB 483; B) Composição colorida RGB 432; C) Composição colorida RGB 843; e D) Composição colorida RGB 765.

Após esse processamento, fazendo uso da composição RGB 483 realizou-se a classificação quanto ao uso e cobertura da terra na APARIS utilizando-se do *software* ENVI 4.5. Primeiramente coletou-se amostras de quatro classes diferentes (vegetação, pastagem, áreas urbanizadas (estradas/edificações) e recursos hídricos), conforme pode ser visualizado na (**Figura 3**). Na sequência, após a coleta das amostras foi realizado a classificação supervisionada pelo método de verossimilhança. Para a validação da classificação utilizou-se da ferramenta “matriz de confusão”, onde obteve-se resultados de acurácia de 96% e coeficiente Kappa 0,94. Nesta etapa de processamento de dados, utilizou-se dados vetoriais da área de estudo provenientes do Zoneamento Ecológico – Econômico do Acre (ZEE, 2012), sendo a projeção dos dados convertida de SAD 69 para SIRGAS 2000 utilizando-se o *software* ArcGis 10.6.

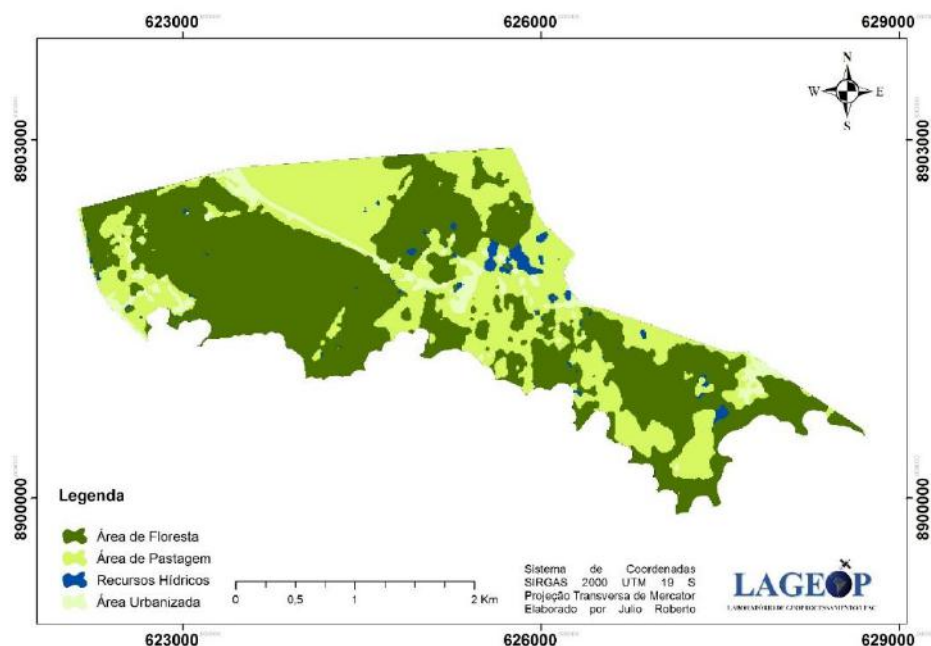


Figura 3. Mapa de Uso e Ocupação do Solo em 2017.

3.3. Geração dos Índices de Vegetação

3.3.1. NDVI

Para a geração do NDVI foi utilizada a composição RGB 483 (falsa cor), onde são relacionadas as bandas 8 e 4, que são as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente. O NDVI é definido “como um índice de vegetação capaz de determinar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área” (Melo et al., 2011). Os valores mais altos desse índice se relacionam com coberturas vegetais mais densas e vigorosas, enquanto os menores valores se referem à vegetação alterada ou áreas desnudas (Viganó et al., 2011). Os valores de NDVI variam entre -1 e +1, (quanto mais próximo de um maior a densidade de cobertura vegetal). Rochas e solos sem vegetação apresentam valores próximos à zero, enquanto que a água apresenta valores negativos (Holben, 1986; Justice et al., 1985 apud Espig et al., 2006).

3.3.2. PRI

Para a geração do PRI foi utilizada a composição RGB 432 (cor verdadeira), onde se correlacionam as bandas 3 e 2, verde e azul, respectivamente. Índice de Reflectância Fotoquímica é sensível às mudanças nos pigmentos carotenoides (principalmente a xantofila) na folhagem. Tais pigmentos são indicativos da eficiência do uso da luz fotossintética ou da taxa de dióxido de carbono armazenada pela folhagem por unidade de energia absorvida. Esse índice é usado em estudos de estresse e de produtividade da vegetação. Os valores variam entre -1 e 1, e valores comuns para vegetação sadia ficam entre -0,2 e 0,2 (GAMON et al., 1992).

Salienta-se, porém, que os dados de PRI devem ser reescalados para valores positivos, gerando um novo índice, o sPRI. Assim, o sequestro florestal de carbono depende da integração desses dois índices (NDVI e sPRI), que geram um novo índice: o CO2flux (Baptista, 2003; Baptista, 2004).

3.3.3. CO2 Flux

O CO2 Flux é a integração do índice de reflectância fotoquímica, ou PRI, que representa a eficiência do uso da luz na fotossíntese, com o NDVI (Rahman et al., 2000), que representa o vigor da vegetação fotossinteticamente ativa, o que tornaria possível integrar as feições de absorção decorrentes do sequestro de carbono. A esse índice integrado, Baptista (2003) chamou de CO2 Flux.

4. Resultados e Discussões

4.1. NDVI

O Mapa do índice de vegetação NDVI (**Figura 4**) nos mostra os valores obtidos para a Área de Proteção Ambiental Raimundo Irineu Serra no ano de 2017. Estes valores nos mostram que quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação, enquanto que o valor 0 (zero) ou próximo de 0 (zero) indica superfície não vegetada ou com pouca vegetação respectivamente. Assim, pode-se observar que na APARIS os valores do NDVI gerados variam de -0,21 a 0,76. Isto implica dizer que a maior parte da área em estudo apresentou elevada densidade vegetal (0,55 – 0,76), fato este que pode ser verificado através do mapa de uso e ocupação do solo (**Figura 3**) onde nota-se amplo predomínio de floresta densa. Observou-se também que os valores menores ou próximos de 0 (-0,21 – 0,24) representam apenas pequenos fragmentos e a grande maioria localizados em área urbanizada (valores negativos) e área de pastagem mais degradada. Com relação aos valores intermediários (0,24 – 0,55) pode-se notar através da Figura 2-B e da Figura 3 a predominância de pastagem, pastagem menos degradada e que possivelmente já iniciou o processo sucessão ecológica, tendo em vista que os resultados para área com pastagem estão no intervalo entre 0 e 0,55.

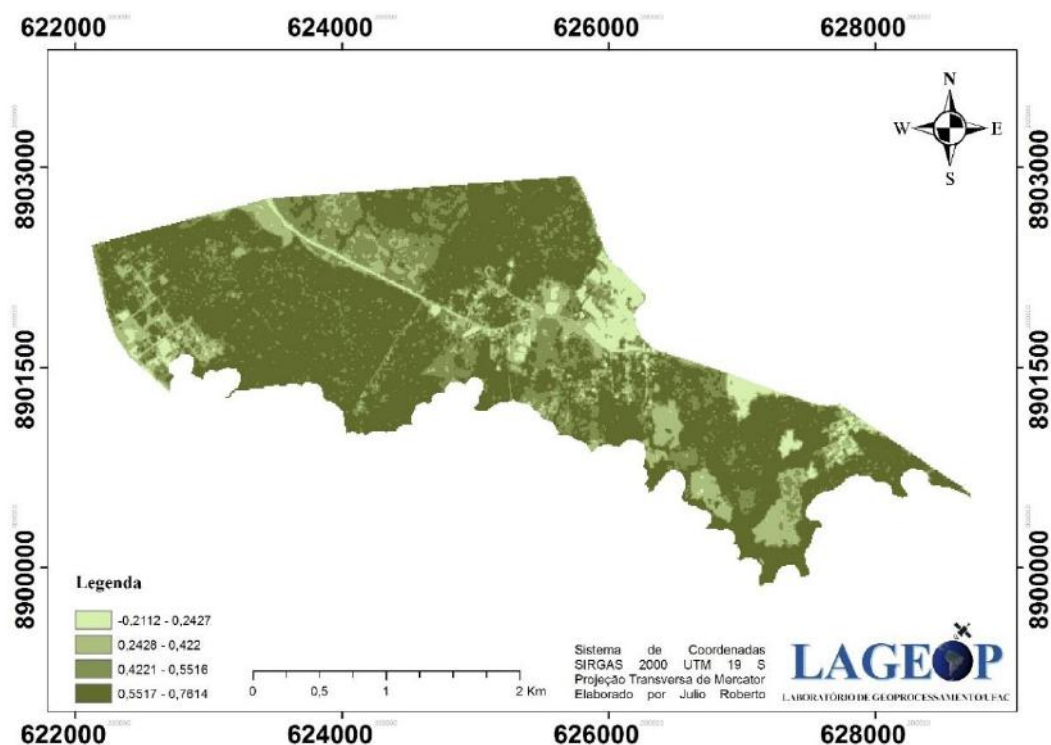


Figura 4. Índice da Diferença Normalizada (NDVI) para o ano de 2017.

4.2. PRI

No mapa do PRI (**Figura 5**), podemos verificar que os valores obtidos variam entre $-0,12$ e $0,14$. Grande parte da região da APARIS apresentou resultados próximos ao do valor máximo obtido ($0,070 - 0,14$). Este valor de acordo com a literatura indica uma vegetação saudável. Isto pode ser também observado quando analisamos a figura acima (**Figura 4**), onde os maiores valores de NDVI encontrados demonstraram maior densidade vegetal em regiões análogas aos maiores valores do PRI, ou seja, a capacidade fotossintética está diretamente ligada a uma cobertura florestal mais densa, da mesma forma as regiões que apresentaram os maiores índices de NDVI e PRI são classificadas de acordo com o mapa de uso e ocupação do solo (**Figura 3**) como áreas com presença de floresta. Já os menores valores ($-0,12 - 0,032$) representam áreas urbanizadas (valores negativos) e áreas ainda em estágio inicial do processo de sucessão, onde a capacidade fotossintética é nula e reduzida, respectivamente.

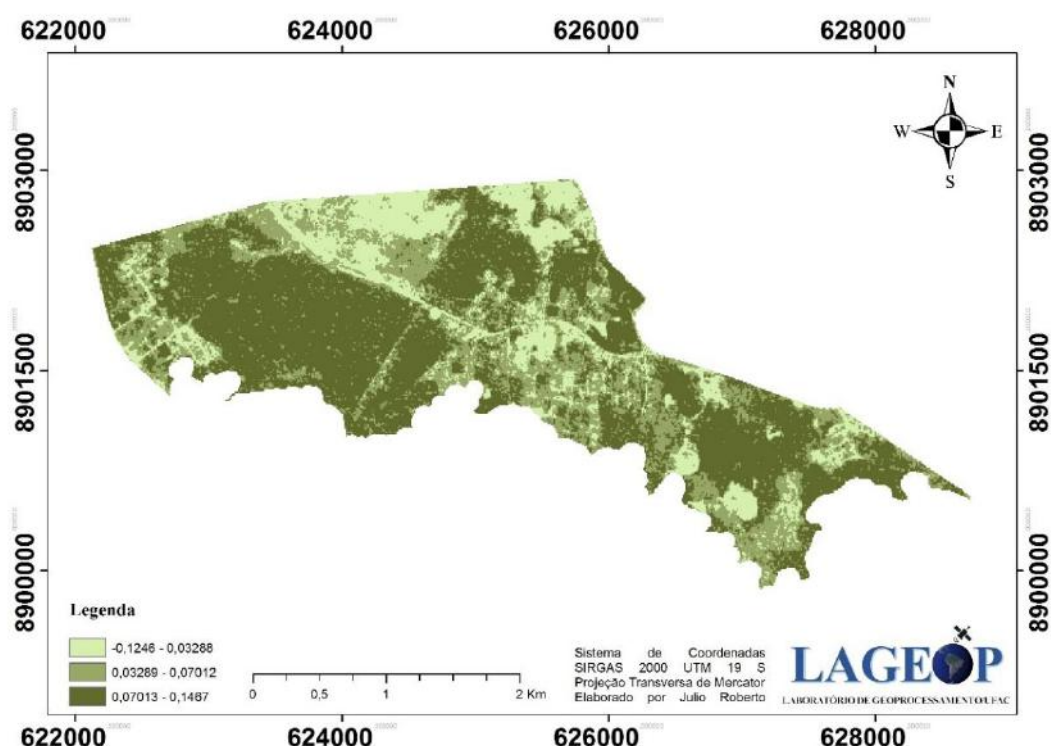


Figura 5. Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI) para o ano de 2017.

4.3. Fluxo de CO₂

Na **Figura 6**, são apresentados os valores de Fluxo de CO₂ para a APARIS no ano de 2017, a partir dela podemos verificar que os valores variaram entre $-0,10$ e $0,49$, onde os menores resultados obtidos ($-0,10 - 0,17$) se caracterizaram por serem áreas urbanizadas (valores negativos) e áreas de pastagem mais degradadas, onde o solo aparenta estar mais exposto, já os valores intermediários ($0,17 - 0,27$) são áreas de pastagem, porém menos degradadas, já os maiores valores de fluxo de CO₂ ($0,27 - 0,39$) são apresentados nas áreas em que a cobertura florestal é mais densa, fato que pode ser comprovado a partir das análises dos mapas de Uso e Ocupação do Solo (**Figura 3**) e NDVI (**Figura 4**), ou seja, a maior concentração de estoque de carbono está nas áreas em que a vegetação se apresenta saudável. Vale ressaltar ainda que como a data da imagem utilizada para a geração dos índices de vegetação foi do período mais seco do ano é possível que os valores de fluxo de CO₂ possam ser ainda maiores na APARIS tendo em vista que uma maior disponibilidade de recursos hídricos propicia condições mais adequadas para a formação de uma floresta mais vigorosa.

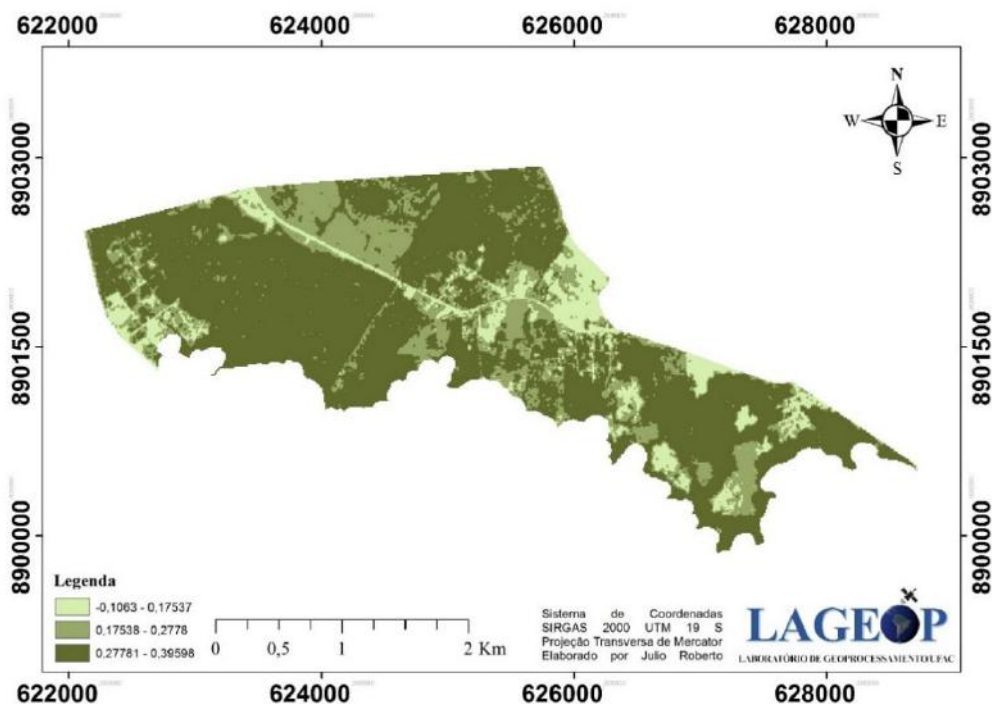


Figura 6. Fluxo de CO₂ para o ano de 2017.

4.4. Correlação entre os índices (NDVI, PRI, CO₂ Flux)

Na **Figura 7** podemos verificar a correlação entre os índices de vegetação (NDVI e PRI), o resultado nos mostra que quanto maiores forem os valores de NDVI maiores serão os valores de PRI, o que indica um comportamento de acordo com o esperado para uma área de proteção ambiental, tendo em vista que a atividade fotossintética será maior em áreas de cobertura florestal mais densa e sadia, uma vez que uma cobertura vegetal sadia apresentara maior capacidade fotossintética. Na **Figura 8** podemos verificar a relação entre o NDVI e CO₂ Flux. O resultado nos mostra que quanto maior os valores de NDVI maior será a quantidade de carbono estocado nas árvores (CO₂ Flux), mostrando que a fisiologia das árvores da APARIS, proporcina uma eficiência do uso da luz na fotossíntese ou seja, um vigor da vegetação fotossinteticamente ativa, levando assim, a absorção de CO₂ e outros gases do efeito estufa decorrentes do sequestro de carbono, resultado este importante para preservação e o desenvolvimento sustentável tanto da área de estudo localizada no bioma Amazônico como para outras áreas de proteção localizada no bioma pantaneiro.

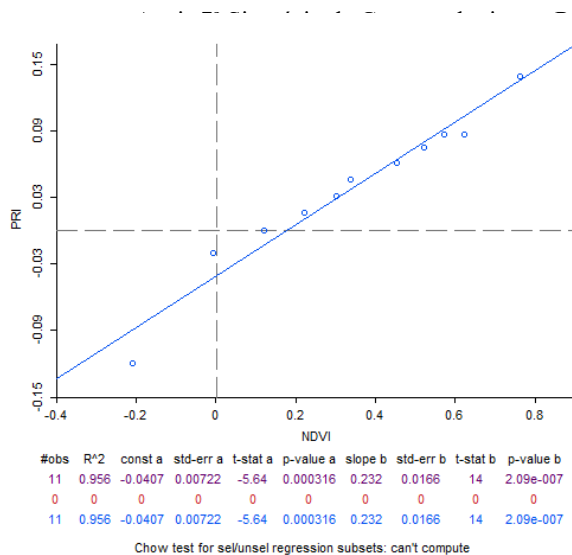


Figura 7. Correlação entre os índices NDVI e PRI.

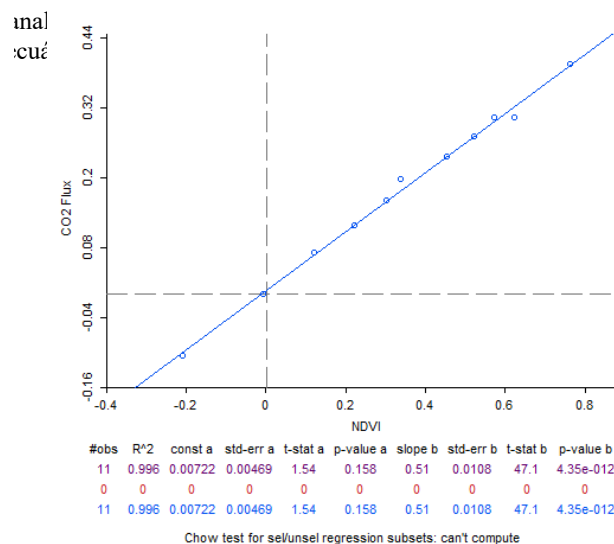


Figura 8. Correlação entre os índices NDVI e CO2 Flux.

5. Conclusões

O monitoramento da cobertura florestal com o sensoriamento remoto, por meio dos seus índices de vegetação, vem se aperfeiçoando e constantemente sendo aplicado na avaliação da vegetação mostrando-se uma ferramenta eficiente na caracterização da cobertura vegetativa, preservação e o desenvolvimento sustentável tanto da área de estudo localizada no bioma Amazônico como para outras áreas de proteção localizada no bioma pantaneiro.

Foi possível concluir a partir dos índices de vegetação gerados que a floresta na APARIS tem elevada importância na estocagem de carbono, fato este que pode ser verificado através dos resultados obtidos com o NDVI, PRI e CO2 Flux. Isto mesmo considerando que a área estudada possui uma razoável urbanização no seu entorno e é cortada por uma estrada com tráfego elevado.

A Área de proteção Ambiental Irineu Serra (APARIS) é uma área de proteção ambiental localizada próxima ao perímetro urbano, o que torna este estudo de grande importância também para avaliar a quantidade de gases do efeito estufa e seu impacto na qualidade do ar, tornando assim este trabalho de grande importância para construção de políticas públicas e para sociedade local.

6. Referências

ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico - Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico – Econômico do Estado do Acre Fase II – Documento Síntese – Escala 1:250.000**. Rio Branco. SEMA, 2007. 356p.

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*. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física aplicada: Uso e ocupação da terra e as mudanças das paisagens. Vitória (ES), 8 a 12 de julho de 2013. UFES

Baptista, G. M. M. Validação da Modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados Aviris e Hyperion. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 1037-1044. Disponível em: http://mar.te.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/09.07.21.45/doc/10_002.pdf. Acesso em: 15 set. 2017.

Baptista, G.M.M. Mapeamento do Sequestro de Carbono e de Domos Urbanos de CO2 em Ambientes Tropicais, por meio de Sensoriamento Remoto Hiperespectral. **Geografia** (Rio Claro), v. 29, p. 189-202, 2004.

Espig, S. A.; Soares, J. V.; Santos, J. R. Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semiárido brasileiro. In: Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicadas a Engenharia Florestal, 7., 2006. **Anais...** Curitiba: INPE, 2006 p. 219-226. Disponível em: Acesso em: 15 set. 2017.

Fernandes, D.H.F.; Soares, V.P.; Oliveira, F.S.; Ribeiro, C.A.A.S.; Gleriani, J.M. Uso de imagens ALOS para estimar parâmetros biofísicos em plantações de eucaliptos. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1674 1674.

Ferraz, A.S.; Soares, V.P.; Soares, C.P.B.; Ribeiro, C.A.A.S.; Binoti, D.H.B.; Leite, H.G. Estimativa do estoque de biomassa em um fragmento florestal usando imagens orbitais. **Revista Floresta e Ambiente**. 2014 jul./set.; 21(3):286-296. ISSN 2179-8087 (online). Viçosa, MG.

FLIZIKOWSKI, L.C. **Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais: um estudo de caso**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Gamon, J. A.; Penuelas, J.; Field, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, v.41, n.1, p.35-44, 1992.

Gorgens, E. B; Oliveira, M. L. R; Leite, H. G; Brum Neto, M. S. Metodologia para monitoramento do estoque de carbono: Revisão e estudo de caso. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 2, p. 169-175, 2005.

Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). **Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p. ISBN: 978-85-17-00064-5.

Intergovernmental Panel On Climate Change, IP IPCC. 2007. **Mudança do Clima 2007: a base das Ciências Físicas**. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Website: <http://www.ipcc.ch> **Anais...** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE 4031

Melo, E. T.; Sales, M. C. L.; Oliveira, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/raega/article/viewArticle/24919>>. Acesso em: 15 set. 2017.

Rahman, A.F.; Gamon, J.A.; Fuentes, D.A.; Roberts, D.; Prentiss, D.; Qiu, H. 2000. **Modeling CO2 flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery**. AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, Califórnia.

Ribeiro, S.C.; Jacovine, L.A.G.; Soares, C.P.B.; Martins, S.V.; Souza, A.L.S.; Nardelli, A.M.B. **Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de Carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.33, n.5, p.917-926, 2009.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **In...** 3rd ERTS Symposium, NASA. 1973.

Viganó, H. A; Borges, E. F.; Franca-Rocha, W. J. S.. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. Artigos, p. 1828-1834. On-line. ISBN 978-85-17-000056-0. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1364.pdf>>. Acesso em 15 set. 2017.