

Índices de Vegetação para estimativa de estoque de carbono e biomassa na cultura do *Eucalyptus sp.*

Caroline Lourenço Manzato¹
Beatriz Lourenço Manzato¹
Bárbara Castro²
Flávia Luize Pereira de Souza²
Anderson Antônio da Conceição Sartori¹

Núcleo de Estudos e Pesquisas em Geotecnologias – NEPGEO

¹ Programa de Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Sagrado Coração - USC

Caixa Postal 511 – 17011-160 - Bauru - SP, Brasil

{carolinemanzato@hotmail.com, beatrizmanzato@hotmail.com, sartori80@gmail.com}

² Engenharia Agrônômica, Universidade do Sagrado Coração - USC

Caixa Postal 511 – 17011-160 - Bauru - SP, Brasil

{barbaraoscastro@gmail.com, flavialuizesouza@hotmail.com}

Abstract. The vegetation indices (IVs) were used as a tool to estimate the sequestration and carbon stock. The images of the scene used in this research were in an area planted with forest *Eucalyptus sp.*, Located in the boundaries of the municipalities of Avaí, Reginópolis and Bauru in the state of São Paulo. The objective of this research was to estimate biomass and carbon stock, based on vegetation indexes (NDVI, IAF, SAVI and CO₂ Flux) in the *Eucalyptus sp.* It was possible to verify that in the areas where the species of the culture had the age of 5 years, the assimilation of Carbon was greater, when compared with the age of 6 years, both located in the same area of study.

Palavras-chave: geotechnologies, remote sensing, orbital images, geotecnologias, sensoriamento remoto, imagens orbitais.

1.Introdução

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 quanto sua forma natural quanto por meios antrópicos e sendo cada vez mais pertinente o desenvolvimento de novas metodologias para mensuração e valoração das coberturas vegetais, principalmente na área das geotecnologias (Andrade et al., 2013).

As florestas realizam diversos processos ambientais, um deles em desatque seria o sequestro e estoque de Carbono (Ribeiro, 2009), sendo um importante índice para a manutenção de bons níveis de CO₂. Para estimar as variáveis biofísicas e parâmetros agrônômicos (índice de área foliar, biomassa, clorofila ou estimativa da produtividade da cultura), utiliza-se como um bom estimador a refletância espectral de dosséis e também são correlacionados com sequestro e estoque de Carbono (Wink, 2009).

Segundo Ferraz et al. (2014) afirmaram que para se estimar a biomassa florestal é necessário utilizar índices de vegetação e variáveis obtidas através de imagens de sensoriamento remoto, procedimento mais acessível no levantamento de informações

em locais de difícil acesso e seu custo é mais vantajoso se comparado com métodos tradicionais.

Nas aplicações de sensoriamento remoto, os pesquisadores desenvolveram os índices de vegetação para monitorar e quantificar as condições e distribuições espaciais das vegetações, usando os dados digitais de reflectância espectral da radiação eletromagnética. Os índices de vegetação são obtidos das várias combinações matemáticas das reflectâncias em várias faixas espectrais da radiação eletromagnética (Liu, 2006).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi estimar a biomassa e o estoque de carbono, com base nos índices de vegetação (NDVI, IAF, SAVI e CO₂ Flux) na cultura de *Eucalyptus sp.*

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Descrição da Área de Estudo

A área de estudo localiza-se nas divisas dos municípios de Avaí, Reginópolis e Bauru no estado de São Paulo. A área total corresponde a 663,43 ha. O município de Avaí localiza-se a uma latitude 22°08'48" sul e a uma longitude 49°19'59" oeste, estando a uma altitude de 481 metros com um clima variável e os rios Batalha, Jacutinga, Batalhinha e Anhumas fazem parte de sua hidrografia. Reginópolis localiza-se a 21°53'17" de latitude sul e 49°13'31" de longitude oeste, a uma altitude de 391 metros. Bauru encontra-se a 22° 18' 53" de latitude sul e 49° 03' 38" de longitude oeste, a uma altitude de 526 metros.

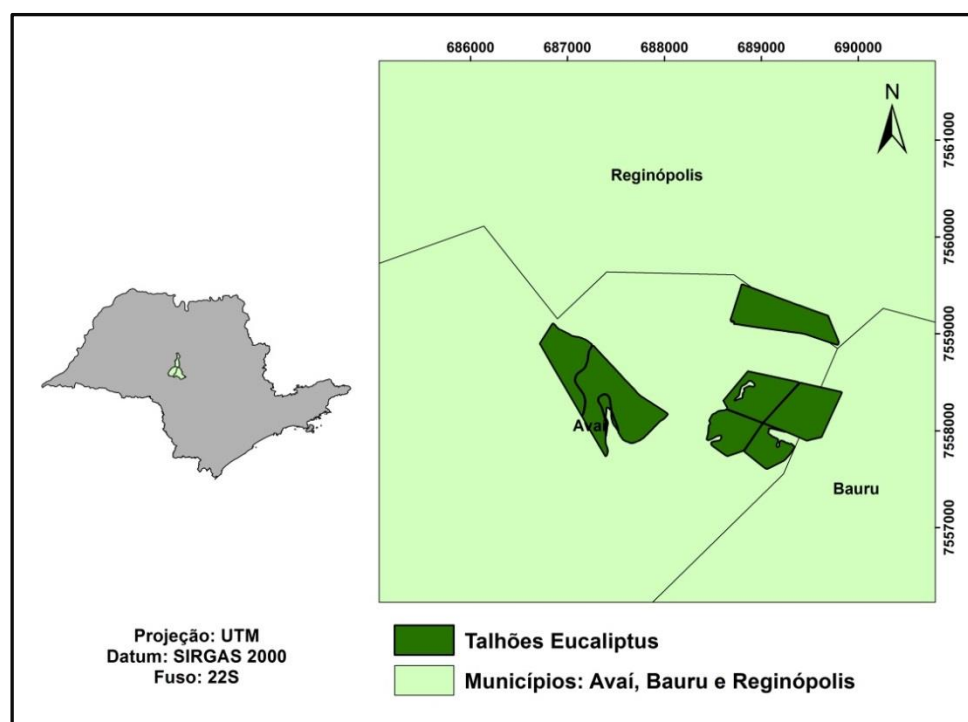


Figura 1. Localização da área de estudo (talhões de *Eucalyptus sp.*) no município de Avaí-SP.

2.3 Características Espectrais das Imagens

Este estudo utilizou cenas do satélite Landsat-8 com resolução radiométrica de 16 bits, resolução temporal 16 dias, projeção da imagem UTM, datum WGS 84, (projeção

cilíndrica) sendo necessário projetá-las para o hemisfério Sul. O tamanho aproximado da cena Landsat-8 é de 170 km ao norte-sul por 183 km de leste a oeste. A cena foi adquirida de forma gratuita no portal GLOVIS: The USGS Global Visualization Viewer. Nas cenas obtidas foi preciso realizar a correção atmosférica.

2.4 Pré Processamento das Imagens - Correção Atmosférica

Neste estudo as bandas dos instrumentos OLI e TIRS (números digitais) foram convertidas para o topo da atmosfera (TOA), em radiância espectral, usando os elementos de brilho redimensionado fornecidos no arquivo de metadados, registrado na Equação 1.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

onde:

L_{λ} =TOA radiância espectral ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$);

M_L =banda específica fator redimensionado multiplicador a partir dos metadados Radiância_Mult_Banda_ L , onde L é o número da banda;

A_L =banda específica fator escalonado aditivo a partir de metadados da Radiância_Add_Banda_ L , onde L é o número da banda;

Q_{cal} =produto quantificado e calibrado padrão em valores de pixel (ND).

A banda OLI também foi convertida para TOA reflectância planetária através dos coeficientes de reflectância redimensionado fornecidos no (arquivo MTL). Para converter valores digitais OLI para reflectância TOA, foi usada a Equação 2:

$$\rho_{\lambda'} = M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho} \quad (2)$$

onde:

$\rho_{\lambda'}$ = TOA reflectância planetária, sem correção para o ângulo solar ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$);

M_{ρ} =banda específica do fator multiplicador redimensionando da reflectância_Mult_Banda_ ρ , onde ρ é o número da banda;

A_{ρ} = banda específica do fator aditivo redimensionando da reflectância_Add_Band_ ρ , onde ρ é o número da banda;

Q_{cal} = Produto padrão quantificado e calibrado dos valores dos pixels (DN).

2.5 Índices de Vegetação

Parâmetros biofísicos são importantes, pois conseguem descrever com sucesso florestas nativas ou plantadas por meio de dados de sensoriamento remoto advindos de sensores radar e/ou ópticos (Fernandes et al., 2011). Os índices de vegetação foram desenvolvidos por cientistas com o objetivo de monitorar e quantificar as condições e atribuições espaciais das vegetações, usando os dados digitais de reflectância espectrais da radiação eletromagnética. Esses índices são obtidos das várias combinações matemáticas das reflectâncias em várias faixas espectrais da radiação eletromagnética (Liu, 2006). Neste estudo utilizou-se os seguintes índices:

2.5.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (Normalized Difference Vegetation)

Esse índice tem sido um dos mais utilizados índices de vegetação. Ele baseia-se na alta absorção da clorofila que é constatada na região espectral do vermelho e na alta reflectância esclarecida pela estrutura interna das folhas na região do infravermelho próximo. O valor de NDVI varia entre -1 e 1. Geralmente em vegetações saudáveis, o

índice apresenta valores em torno de 0,2 e 0,8 (Rouse et al., 1973). O NDVI é expresso pela Equação 3.

$$NDVI = (IV - V) / (IV + V) \times 100 \quad (3)$$

Onde: IV é o fluxo radiante refletido no infravermelho próximo e V o fluxo radiante refletido no vermelho da região do visível.

2.5.2 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.

Para determinação do fluxo de CO₂, Equação 6, estudos recentes salientam a possibilidade da utilização da integração do índice espectral NDVI e do PRI. O índice espectral PRI pode ser correlacionado com as taxas de fotossíntese e o NDVI com o sequestro de carbono. Essa integração mede a eficiência do processo de sequestro de carbono, descrito pela Equação 4.

$$CO_{2flux} = (NDVI \times sPRI) \quad (4)$$

Para que a vegetação sequestre o carbono, é preciso que haja uma integração entre os índices NDVI e PRI (Rahman et al, 2000). O índice CO₂ flux consegue medir essa integração resultando na razão entre os índices (NDVI e PRI). O NDVI representa a diferença da reflectância entre a feição de absorção do vermelho e o aumento de albedo que ocorre nos espectros de vegetação após o início do infravermelho próximo. Já o PRI expressa a diferença entre a feição de absorção no azul e o pico de reflectância do verde.

2.5.3 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)

O índice foi proposto por Huete (1988) e foi uma adaptação do NDVI possuindo a propriedade de minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, o fator L na Equação 5 do NDVI.

$$SAVI = \frac{(1+L_s)(\rho_{ivp} - \rho_v)}{(L_s + \rho_{ivp} + \rho_v)} \quad (5)$$

Sendo: L_s uma constante denominada de fator de ajuste do índice SAVI.

Para este estudo foi considerado para a constante L_s 0.25, pois se trata de uma vegetação densa, como cita Marcussi et al. 2010.

2.6 Índice de Área Foliar (IAF)

O IAF é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem (Allen et al., 2002). O índice de área foliar (IAF), expresso na Equação 6, é um parâmetro biofísico que pode ser utilizado como medida de crescimento das plantas nos modelos agrônômicos.

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69-SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (6)$$

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta os Índices de Vegetação (IVs) dos talhões de *Eucalyptus sp.* com 5 e 6 anos de idade, obtidos do satélite Landsat 8, referente ao mês de março de 2016.

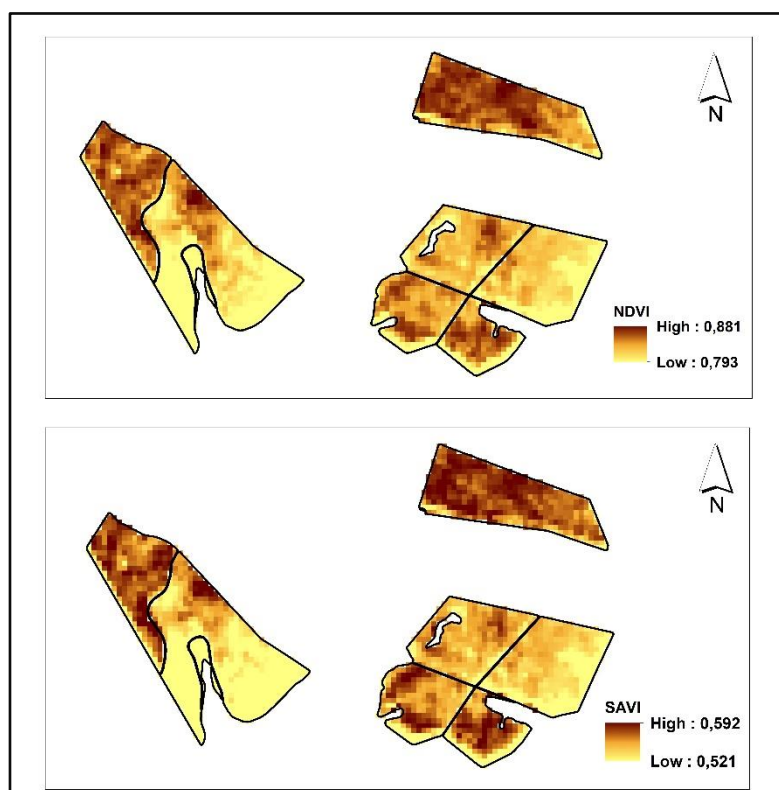


Figura 2. Índices de vegetação (NDVI e SAVI) obtidos na cultura do *Eucalyptus sp.*

De acordo com os valores encontrados nos índices de vegetação NDVI e SAVI, foi possível perceber que estes apresentam valores em torno de 0,8, o que segundo Rouse et al. (1973) classifica como sendo um valor que expressa uma vegetação saudável. Melo et al. (2015) definem ainda que quanto maior o valor deste índice, mais densa é sua biomassa. Como pôde ser observado neste estudo, as áreas que possuem valores mais altos apresentam uma vegetação mais exuberante, conseqüentemente conseguem armazenar maior quantidade de CO₂.

A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar que a idade da cultura de *Eucalyptus sp.* influencia nos valores dos índices de vegetação (IVs). Os talhões de *Eucalyptus sp.* com idade de 5 anos foram os que apresentaram os maiores valores de densidade de fitomassa foliar em tons de marrom escuro apresentado na Figura 2 em relação aos talhões com idade de 6 anos.

Analisando os valores encontrados no índice de vegetação SAVI e considerando que Alvarenga e Moraes (2014) relataram que onde os valores encontrados neste índice variam em uma escala de negativo-positivo e as áreas que possuem presença de vegetação, o valor é positivo e áreas sem vegetação, corpos d'água e nuvens, geralmente o valor é negativo. É possível afirmar que a área de estudo apresentou valores positivos

por se tratar de um local com vegetação bem homogênea, levando em consideração que se trata de talhões com copas em pleno vigor.

Outro índice utilizado foi o Índice de Área Foliar (IAF), o que pode ser observado na Figura 3.

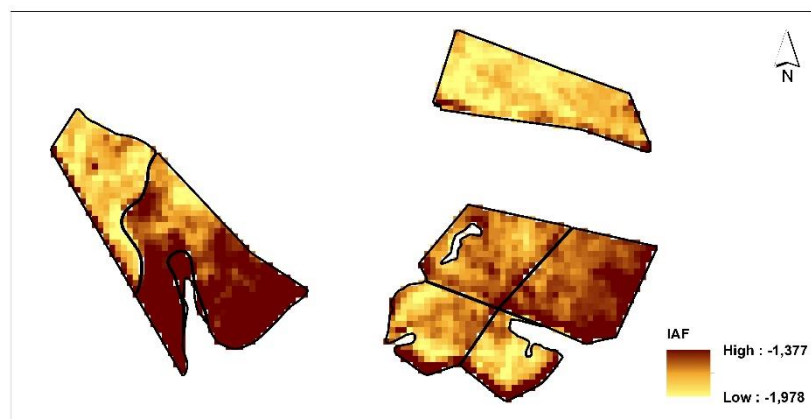


Figura 3. Índice de Vegetação IAF obtido na cultura de *Eucalyptus sp.*

Levando em consideração o que foi dito por Müller et al. (2005) que o IAF expressa a disponibilidade de superfície assimiladora de CO₂ e da radiação fotossinteticamente ativa e de perdas de água (transpiração) da população de plantas, e o que Lucchesi (1987) discute que quando há um aumento do Índice de Área Foliar (IAF), consequentemente há um aumento na capacidade da planta em aproveitar a energia solar para a realização da fotossíntese, sendo assim um parâmetro para avaliar a produtividade.

Através dessas afirmações e os resultados encontrados neste índice é possível verificar que nas áreas onde esses valores são maiores, encontram-se os talhões que conseguem se desenvolver melhor em comparação aos talhões com idade de 6 anos e por conseguirem absorver mais energia solar, conseguem armazenar maior quantidade de Carbono em sua biomassa, podendo chegar a uma conclusão de que nessas áreas há um maior estoque de CO₂, por nesses talhões as espécies conseguirem se desenvolver melhor por aproveitar melhor a energia solar.

O Índice de vegetação CO₂ Flux expresso na Figura 4, segundo Polonio (2015) mede a eficiência do processo de sequestro de carbono. Considerando essa afirmação e analisando os dados obtidos neste índice, foi possível verificar que as áreas correspondentes a idade de 5 anos, possuem maior taxa de CO₂, podemos verificar que nessas áreas a idade é um fator que influencia diretamente na taxa em que a planta mais absorve Carbono.

Através da obtenção desses índices de vegetação (IVs) foi possível avaliar a condição da floresta em termos de eficiência em seu processo de sequestro e estoque de Carbono. Esses índices podem ser utilizados para diversos fins, assim como Novas et al. (2008) demonstraram em seu trabalho que as imagens geradas pelos índices NDVI, SAVI e IAF possuem aplicação no monitoramento de cobertura vegetal em bacias hidrográficas.

Outra aplicação desses índices se dá pelo fato de se pensar em processos que reduzam ou sequestram Carbono da atmosfera sendo um deles o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo criado pelo Protocolo de Kyoto.

O mercado de Carbono também pode ser beneficiado pelo processo de sequestro e armazenamento de Carbono pelas espécies florestais.

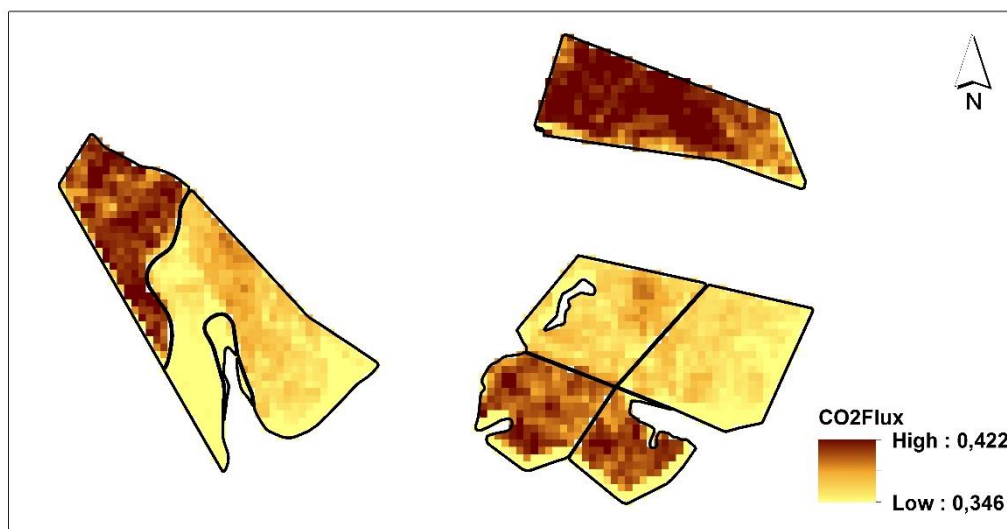


Figura 4. Índice de Vegetação CO₂ Flux obtido na cultura de *Eucalyptus sp.*

4. Conclusões

A partir da geração dos Índices de Vegetação (IVs) NDVI, SAVI, IAF e CO₂ Flux foi possível avaliar a quantidade de Carbono estocado na biomassa em talhões de *Eucalyptus sp.* de 5 e 6 anos de idade, podendo verificar que em áreas com ponto ideal de corte 5 anos são as que mais conseguem assimilar Carbono.

Para uma aproximação melhor de resultados na utilização do CO₂ Flux e do PRI, há necessidade de considerar uma combinação de modelos e de outros métodos de classificação das imagens. Além disso, experimentos de campo combinando torres com medições de CO₂ Flux são importantes.

Agradecimentos

A todos que contribuíram para que essa pesquisa se tornasse possível, em especial a empresa Lwarcel, que contribuí com alguns dados sobre a cultura de *Eucalyptus sp.*

Referências Bibliográficas

Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)** – Advanced Training and Users Manual –Idaho Implementation, version 1.0, 2002.

Alvarenga, A.S.; Moraes, M.F. **Utilização de imagens LANDSAT – 8 para caracterização da cobertura vegetal: Processamento digital de imagens LANDSAT – 8 para obtenção dos índices de vegetação NDVI e SAVI visando a caracterização da cobertura vegetal no município de Nova Lima – MG.** Disponível em: < <http://mundogeo.com/blog/2014/06/10/>>. Acesso em: 15.nov.2016.

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.

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. 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.

Liu, W.T.H. Aplicações de sensoriamento remoto. 1. ed. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. 908 p. Lucchesi, A.A. **Fatores da produção vegetal**. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-11.

Marcussi, A.B.; Bueno, C.R.P.; Migueloni, D.P.; Arraes, C.L. **Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica**. CAMINHOS DE GEOGRAFIA - revista on line. ISSN 1678-6343. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Uberlândia v. 11, n. 35 Set/2010 p. 41 – 53.

Melo, E.T. et al. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil**, 25 a 29 de abril de 2015, INPE41212011. P. 520-53 Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR.

Müller, A.G. et al. estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. Santa Maria: **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v.13 n.1,p.65-71,2005.

Novas, M.F.B.; Cruz, P.P.N. da; Silva, R.; Pace, F.T. di. **Análise da variação dos índices de vegetação estimados por sensoriamento remoto em dois períodos ao sul da Bacia do rio Traipu-AL**. II Simpósio Brasileiro de Ciências e Tecnologia da Geoinformação Recife - PE, 8 - 11 de setembro de 2008.

Polonio, V.D. **Índices de vegetação na mensuração do estoque de carbono em áreas com cana-de-açúcar**. 2015. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” da Faculdade de Ciências Agrônômicas Câmpus de Botucatu. Botucatu, 2015.

Rahman, A.F. et al. **Modeling CO2 flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery**. AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, Califórnia. 2000.

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. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In 3rd ERTS Symposium, NASA. 1973.

Wink, C. **Estoque de Carbono em plantações de *Eucalyptus sp.* implantados em campo nativo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Silvicultura). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.