

ANÁLISES DE SÉRIES TEMPORAIS EM IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT PARA VERIFICAÇÃO DO IMPACTO NA COBERTURA DA TERRA, OCASIONADAS PELAS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO NA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA

B. D. S. Kuhnen, C. V. Bortolato, C. A. O. Vieira, G. S. Cardozo, L. Mondini, V. L. Pedroso

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Comissão IV – Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens

RESUMO

A extração do carvão mineral, o despejo de águas residuais urbanas e industriais acelera a degradação dos recursos hídricos. Aliado a isso, outra questão preocupante é a mudança do curso natural de rios juntamente com o desmatamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) para dar lugar à produção agrícola, onde áreas com alta declividade também estão sendo urbanizadas. O objetivo deste artigo é realizar análises de séries temporais em imagens do satélite Landsat 7, sensor ETM+, para derivar índices de cobertura vegetal na Bacia Carbonífera, com vistas a verificação do impacto na cobertura da terra ou nas mudanças ocasionadas pelas atividades de mineração. A metodologia adotada foi desenvolvida na ferramenta *Google Earth Engine*, utilizando-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), obtido através da razão entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, na região do visível. Resultados preliminares - a partir das análises de mudanças na cobertura vegetal da superfície da terra, indicam grande tendência na degradação ambiental que esta unidade territorial vem sofrendo, principalmente as ocasionadas pelas atividades de mineração.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Bacia Hidrográfica, NDVI, Região Carbonífera.

ABSTRACT

The mineral coal extraction and the urban and industrial waste dumping water accelerate the water resources degradation. Nevertheless, another worrying issue is the alteration of natural rivers course, along with deforestation of Áreas de Preservação Permanente (APP) to give place to agricultural production, where occur urbanization process of areas with high declivity. The objective of this study is to perform time series analysis on Landsat 7 satellite images from the sensor ETM+, to derive indexes of vegetation coverage at the Drainage Basin of Carboniferous River, in order to verify the impact or modification on land cover, caused by mining activities. The methodology adopted was developed in the Google Earth Engine platform, using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), obtained by the ratio between the bands of the near infrared and the red visible band in the electromagnetic spectrum. The preliminary results, based on the analysis of changes on land cover, indicate a great tendency in the environmental degradation that this territorial unit has been suffered, mainly those caused by the mining activities.

Keywords: Remote Sensing, Drainage Basin, NDVI, Carboniferous Region.

1- INTRODUÇÃO

A maior disponibilidade de acesso aos dados imageados através do sensoriamento remoto, a melhora dos sensores, assim como o desenvolvimento de novas tecnologias de processamento têm contribuído para o aumento do uso destes produtos para analisar os recursos naturais e estimar parâmetros estruturais da vegetação, através de dados espectrais.

O uso de geotecnologias para o estudo e avaliações ambientais teve grandes contribuições do

desenvolvimento do uso de ferramentas de processamento digital de imagens orbitais e suborbitais. Um dos indicadores de qualidade ambiental mais utilizados atualmente é a cobertura vegetal em bacias hidrográficas.

Uma região onde toda a água precipitada naturalmente seja encaminhada para um único ponto de controle (saída) é denominada bacia hidrográfica. As bacias hidrográficas são elementos essenciais para o gerenciamento e planejamento ambiental, uma vez que são diretamente ligadas a disponibilidade e qualidade

da água, onde a ocupação do solo e a cobertura vegetal são importantes indicadores das condições ambientais das mesmas, com a vegetação atuando na proteção do solo, reduzindo a ocorrência de erosões, transporte de sedimentos e assoreamento dos recursos hídricos. Devido às dimensões continentais do Brasil e as condições de relevo que prevalecem, o número de bacias hidrográficas é considerável, contribuindo para a importância de um estudo aprofundado de tais condições de cobertura vegetal.

O estudo dos índices de cobertura vegetal, neste interim, se posiciona como uma ferramenta fundamental para a análise ambiental de qualidade, contribuindo para a compreensão dos processos hidrológicos, gestão e planejamento de recursos naturais e diagnóstico da dinâmica do ambiente.

No estado de Santa Catarina, principalmente no seu extremo sul, a exploração de carvão mineral possui importante fator histórico, econômico e cultural. Segundo Belolli et al. (2002), a exploração do carvão teve origem em 1861, sem grandes proporções devido à forte concorrência com a oferta de carvão internacional. Nascimento (2003) relata que após a Proclamação da República em 1889 e aos eventos da Primeira Guerra Mundial (1914-1918), que dificultaram as importações de carvão, a exploração do carvão catarinense cresceu em importância e volume, se expandindo além do município de Lauro Muller, partindo para Urussanga e Criciúma.

De acordo com Colossi (2005), apesar do desenvolvimento do extremo sul catarinense proporcionado pela indústria carbonífera, a exploração desordenada dos recursos naturais colocou a fauna e flora locais em colapso, com grandes áreas exploradas indevidamente e incorreto manuseio dos resíduos da mineração. A paisagem regional sofreu uma radical transformação, com poluição dos cursos d'água e extensas áreas foram cobertas por depósitos de rejeito.

Diante desse contexto e devido a importância da preservação dos recursos hídricos, juntamente com a cobertura vegetal pertencente a essa região, este trabalho tem como objetivo analisar o índice de cobertura vegetal da Bacia Carbonífera, com auxílio da plataforma *Google Earth Engine*, através de análise de séries temporais de imagens orbitais Landsat ETM+, (entre os anos 2000 e 2016) verificando quanto da cobertura vegetal do solo se manteve intacta, quanto houve de ganho e quais as perdas em termos vegetação. A relevância da área de estudo é dada pelo fato da mesma interceptar parte das bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão e abrange 17 municípios do sul do estado.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sensoriamento remoto é o método de obtenção de imagens da superfície da Terra por sensores que estão a certa distância dos alvos. Sendo assim, este método consiste em adquirir a imagem da superfície sem que haja contato físico entre o sensor e

o objeto. As técnicas do sensoriamento remoto permitem observar o planeta em uma escala global e periódica, analisando possíveis mudanças na dinâmica da cobertura da Terra. No processo de captura da imagem, levam-se em considerações as medições quantitativas das interações de radiação eletromagnética com os objetos terrestres (Almeida e Meneses, 2012).

Segundo Moreira (2005), os sensores detectam e registram a radiação eletromagnética, em uma determinada faixa do espectro eletromagnético, para que as informações obtidas sejam analisadas e passíveis de interpretação, para futuras análises da superfície terrestre.

O registro da radiação eletromagnética gerada pelo Sol e capturado pelos sensores é expresso em termos de comprimento de ondas divididas em faixas ou regiões cujo reflexão e/ou emissão, variam conforme natureza e características de cada alvo na superfície terrestre. No caso da vegetação, a área ao ser irradiada, produz como resultante três frações. Uma fração da radiação é absorvida pelas folhas das copas das árvores, uma segunda fração é transmitida através das folhas e a terceira é refletida pelas folhas. Segundo Moreira (2003), estes três componentes preservam o princípio da conservação da termodinâmica onde o somatório entre o fluxo de energia incidente é proporcional ao somatório entre as frações de energias absorvidas, transmitidas e refletidas.

Em um paralelo a termodinâmica, no sensoriamento remoto o fluxo incidente pode ser normalizado conforme a equação através de razões adimensionais denominadas refletância, absortância e transmitância, determinando propriedades radiométricas dos alvos analisados.

2.1 Níveis de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Para o estudo dos impactos ambientais na área proposta, foi utilizado o índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), obtidas através de imagens orbitais do Sensor TM Landsat.

O NDVI pode ser obtido através da razão entre a diferença das refletâncias das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho visível (RED), conforme expresso na Equação (1):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

Andrade (2011) sugere que o NDVI pode estimar onde a vegetação é verde, densa e uniforme. E, ainda apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetais, permitindo as vezes o mapeamento das drenagens e de galerias dos cursos de água, em regiões com pouca cobertura vegetal. Em algumas situações é possível identificar, a morfologia do terreno, como também discriminar culturas de pinus e eucaliptos, áreas agrícolas, áreas de vegetação queimadas, feições geológicas e estruturais (Andrade, 2011).

2.2 Google Earth Engine

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma computacional baseada em nuvem de dados com alta capacidade de processamento e facilidade de acesso público. As suas vantagens são, além da gratuidade, o seu banco de dados na escala de *petabytes* com informações geo-espaciais e dados tabulados em escala planetária e sua interface para programação e implementação de algoritmos pelo usuário (Goldblatt et al., 2016). No catálogo de dados disponíveis no GEE encontra-se vários produtos como ASTER, MODIS, LANDSAT, NOAA, entre outros (Ganem, 2017). É também uma plataforma em tempo real, com enorme capacidade de processamento de dados geoespaciais, facilitando o compartilhamento entre usuários e a integração da comunidade mundial (Gorelick, 2013).

O GEE pode ser acessado através do endereço eletrônico <https://earthengine.google.com/>, bastando o usuário dispor de uma conta GMAIL.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender o objetivo do estudo, que compreende analisar a cobertura vegetal dessa bacia hidrográfica, foram utilizadas imagens do satélite *Landsat 7*, sensor *ETM+*, disponíveis na plataforma GEE, cuja pesquisa levou em consideração todas as imagens da Bacia Carbonífera para os períodos e anos selecionados que possuíam visibilidade adequada (sem incidência de nuvens). As imagens utilizadas no estudo estão referenciadas na projeção WGS84 e fuso 22S. A Tab. 1 apresenta as informações referentes às imagens utilizadas.

TABELA 1 - IMAGENS UTILIZADAS NO ESTUDO

	Satélite	Sensor	Bandas	Comprimento de onda (µm)	Resolução espacial	Resolução Radiométrica
20/03/2000	Landsat 7	ETM+	3 e 4	0,64 - 0,67 0,76 - 0,90	30 m	11 bits
26/03/2008	Landsat 7	ETM+	3 e 4	0,64 - 0,67 0,76 - 0,90	30 m	11 bits
29/02/2016	Landsat 7	ETM+	3 e 4	0,64 - 0,67 0,76 - 0,90	30 m	11 bits

A Bacia selecionada para esta pesquisa possui uma área territorial de 195 km², situada no estado de Santa Catarina e está inserida no território dos municípios de Cocal do Sul, Criciúma, Forquilha, Içara, Lauro Muller, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Orleans, Siderópolis, Treviso, Urussanga, Maracajá, Capivari de Baixo, Jaguaruna, Laguna, Pedras Grandes, São Ludgero, Treze de Maio, Tubarão, conforme Fig. 1.

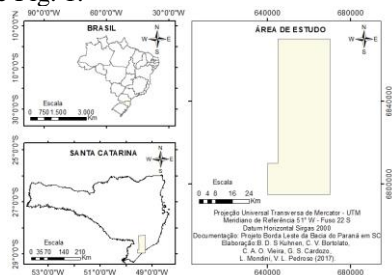


Fig. 1 - Localização da área de estudo

Na plataforma GEE, inseriu-se o polígono da área de estudo por meio da função *fusion table*, disponível no Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná em SC, com as seguintes linhas de programação.

ee.FeatureCollection('ft:1iVBkVd8wQImHFCYykVm9Ugf88ZJ5_G0zS2ftqxZm');

A partir da área de estudo, definiu-se dentro do período determinado, a imagem mais conveniente e com menor cobertura de nuvens, onde recortou-se o polígono, através dos códigos de programação a seguir:

// definindo o período
var inicio = ee.Date("2016-01-01");
var fim = ee.Date("2016-03-31");
// data collection filtrado sem nuvem e no período
var cidade = ee.ImageCollection('LEDAPS/LE7_L1T_SR').filterBounds(fromFT).filterDate(inicio,fim);
// definir o número de imagens
var num = cidade.size();
print("Número de Imagens: ", num);
// selecionar a melhor imagem
var melhor = ee.Image(cidade.first());
print("Primeira melhor imagem: ",melhor);
// Recortando a área de estudo
var area = melhor.clip(fromFT);

Realizados estes procedimentos prévios, passou-se ao cálculo do NDVI, aplicando uma máscara para os locais sem presença de vegetação (NDVI < 0,4), criando uma imagem binária, para exportação.

// Calculando NDVI
var NIR = area.select("B4");
var RED = area.select("B3");
var NDVI = NIR.subtract(RED).divide(NIR.add(RED));
// Visualizando NDVI
var paleta = ['FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B718', '74A901', '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201', '004C00', '023B01', '012E01', '011D01', '011301'];
Map.addLayer(NDVI, {min: -1, max: 1, palette: paleta}, 'Landsat NDVI');
// Cria uma imagem binária utilizando operadores
var bare = NDVI.gte(0.4).and(NDVI.lt(1));
Map.centerObject(bare,10);
Map.addLayer(bare.updateMask(bare), {}, 'Binary');

// Exportar imagem
Export.image.toDrive({
 image: bare,
 description: 'NDVI_2016_Bin',
 scale: 30,
 region: fromFT,
});

No software ERDAS IMAGINE 2010, foi realizada a comparação entre os índices de vegetação, relacionando as perdas, permanência e aumento de cobertura vegetal, para os anos de 2000 e 2008, também para os anos de 2008 e 2016 e, por último, no intervalo entre os anos 2000 e 2016.

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens utilizadas nesse estudo representam uma série temporal, que cobrem um período de 16 anos de transformação na paisagem. Neste contexto, a análise comparativa dos índices de vegetação permitiu observar as diferenças ocorridas neste intervalo de tempo para a região de estudo.

Para o intervalo entre os anos de 2000 e 2008 (Fig. 2), foi observado um grande número de pixels da imagem dentro com cor preta, indicando área de vegetação que se manteve incólume. As áreas apontadas em vermelho, indicaram áreas com perda de vegetação acima de 10% e as áreas em verde indicando áreas de acréscimo da vegetação (ganho) acima de 10%.

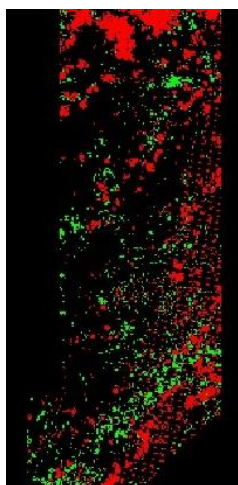


Fig. 2 - Comparação do NDVI entre os anos de 2008 e 2000.

Observa-se quantitativamente na Tab. 2, que realmente houve uma redução de vegetação em área de 25.431,93 ha entre os anos de 2000 a 2008, sendo que este crescimento de perda de cobertura vegetal, quase dobrou para o período entre 2008 e 2016 (Tab. 3).

TABELA 2 - ESTIMATIVA DE ÁREAS-2008 E 2000

NDVI 2008 e 2000	
Classe	Área (ha)
Perda	25.431,93
Permanência	189.813,51
Aumento	10.069,65
Total	225.315,09

Já, se relacionada a recuperação da vegetação (aumento de cobertura vegetal), foi observada uma diferença de 7.340,22 ha entre os mesmos intervalos (2000/2008 e 2008/2016), indicando um aumento de 72,89%. Este resultado, aponta para um déficit de 17% (32.160,15 ha) de solo sem a devida recomposição vegetal. Isso confirma o fato desta região tratar-se de

uma área sensível aos impactos da indústria carbonífera.

Para o intervalo de tempo entre os anos de 2008 a 2016 (Fig. 3), foi observada uma maior perda de vegetação, ainda que apresente alguma regeneração em áreas onde antes estavam sem cobertura.

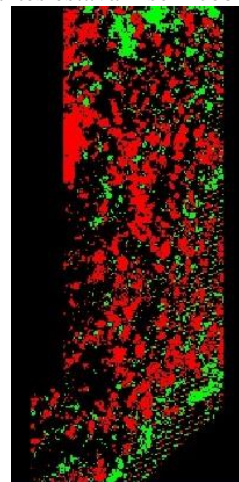


Fig. 3 - Comparação do NDVI entre os anos de 2016 e 2008.

É perceptível também, que as maiores perdas de vegetação aconteceram na direção à jusante da bacia, cuja geomorfologia aponta como locais de baixa declividade. Ainda realizada a análise geomorfológica da Bacia Carbonífera os maiores índices de vegetação (sem perda) se concentraram nas áreas de maior altitude, pois são áreas que, dadas suas características apresentam classes de declividade elevada dificultando o aproveitamento para culturas agrícolas e pastoris.

TABELA 3 - ESTIMATIVA DE ÁREAS-2016 E 2008

NDVI 2016 e 2008	
Classe	Área (ha)
Perda	50.251,86
Permanência	157.653,36
Aumento	17.409,87
Total	225.315,09

Por último, foi realizada uma comparação da cobertura vegetal para todo o intervalo de 16 anos, onde foram observados pontos de elevada perda de cobertura da vegetação, sendo que para a bacia como um todo foram perdidos 56.274,57 ha, com um total de 8.070,30 ha em áreas que aumentaram sua cobertura vegetal e uma permanência de 160.970,22 ha como pode ser visto na Tab. 4. Estes fatores contribuem para a ideia de que houve uma continuidade das perdas e degradações da vegetação nesta região, independente da redução da exploração carbonífera.

A imagem apresentada na Fig. 4 mostra, de maneira alarmante, o impacto ambiental ocasionado pela perda de vegetação na região mencionada.

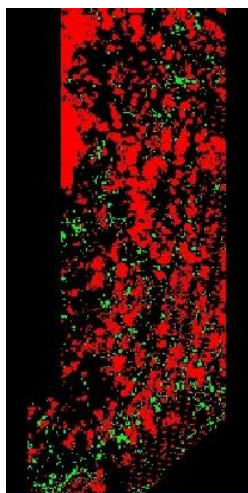


Fig. 4 - Comparação do NDVI entre os anos de 2016 e 2000.

De fato, houveram significativas reduções de áreas com cobertura vegetal em função da expansão das ocupações, evidentemente representadas pelo aumento de áreas desmatadas e urbanizadas, assim como a aplicação de áreas para o cultivo e para as atividades de pecuária.

TABELA 4 - ESTIMATIVA DE ÁREAS-2016 E 2000

NDVI 2016 e 2000	
Classe	Área (ha)
Perda	56.274,57
Permanência	160.970,22
Aumento	8.070,3
Total	225315,09

5- CONCLUSÕES

O índice NDVI é uma ferramenta de importante aplicação para o controle da ocupação do solo no que tange a cobertura vegetal. Através desse índice é possível realizar estudos que indiquem perdas e aumento de vegetação e inclusive indicar quanto da mesma se manteve como original.

O Google Earth Engine, ainda que seja uma ferramenta relativamente nova, possibilita que se realizem estudos multitemporal.

Quanto ao estudo, em si, foi possível observar que na região, tão impactada pelo processo de extração de carvão mineral, o saldo foi realmente alarmante, sendo ao longo destes 16 anos caracterizado por um déficit da recomposição vegetal. Através das imagens obtidas, fica também aparente que as áreas que se mantiveram incólumes foram as que não permitiram exploração, nem do ramo carbonífero, nem da agropecuária ou da indústria. Percebe-se, portanto, que apesar da redução na exploração do carvão, não houveram (do ponto de vista do crescimento

vegetacional) ganhos ambientais verdadeiros que pudessem indicar um desenvolvimento sustentável.

Para validar este ponto, seria importante que, em trabalhos futuros fossem pesquisados quanto da área ocupada anteriormente pela atividade carbonífera hoje encontra-se urbanizada, com uso industrial ou agrícola e quanto foi recomposto por vegetação e o quanto se mantém sem cobertura vegetal, possibilitando assim um diagnóstico verdadeiro dos prejuízos reais provocados pela indústria carbonífera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, T. e P. R. Meneses, 2012. Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto, CNPq, Brasília - DF, 266 páginas.

Andrade, L. N., 2011. Redes Neurais Artificiais Aplicadas na Identificação Automática de Áreas Cafeeiras em Imagens de Satélite, UFMG, Belo Horizonte - MG, 87 páginas.

Belolli, M.; J. Quadros e A. Guidi, 2002. A História do Carvão em Santa Catarina: 1790-1950, Siesesc, Criciúma - SC, 297 páginas.

Belolli, M.; J. Quadros e A. Guidi, 2010. A História do Carvão em Santa Catarina: 1950-2000, Meg, Criciúma - SC, 315 páginas.

Colossi, G. E., 2005. O Processo de Apropriação do Espaço Urbano em Loteamentos Populares: Um Estudo de Caso no Loteamento Cidade dos Mineiros - Criciúma/SC, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma - SC, 243 páginas.

Ganem, K. A., 2017. Classificação da Cobertura do Solo na Caatinga a Partir de Imagens do Landsat-8 e da Ferramenta Google Earth Engine: Uma Comparação Entre Dados Com e Sem Correção Atmosférica, UNB, Brasília - DF, 202 páginas.

Goldblatt, R.; W. You; G. Hanson e A. K. Khandelwal, 2016. Detecting The Boundaries of Urban Areas in India: A Dataset For Pixel-Based Image Classification in Google Earth Engine. Remote Sens, 8, 634, 28 páginas.

Gorelick, N., 2013. Google Earth Engine. Geophysical Research Abstracts, Vol. 15.

Moreira, M. A., 2011. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação, 4ª edição, UFV, Viçosa - MG, 320 páginas.

Nascimento, D., 2003. Região e Poder: A Formação da Região Carbonífera de Santa Catarina (1880-1930), em Anais do XXII Simpósio Nacional de História: História, Acontecimento e Narrativa, João Pessoa - PB, Brasil, 5 páginas.