

MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO DO MUNICÍPIO DE SABOEIRO (CE) ATRAVÉS DE PROCESSAMENTO NA NUVEM NO GEE

Adinan Marzulo Maia Martins ¹

Pedro Mateus Silva Lourenço ²

Diego Vicente Sperle da Silva ³

Carla Bernadete Madureira Cruz ⁴

66

Resumo. Este trabalho tem por objetivo criar e comparar dois mapas de uso e cobertura do solo para o município de Saboeiro (CE). O primeiro gerado a partir da média de imagens dos anos 1987, 1989 e 1991, nos períodos secos; e o segundo referente aos anos 2018, 2020 e 2021. Em ambos os casos o processamento foi realizado na plataforma Google Earth Engine (GEE). O primeiro mapeamento apresentou exatidão global de 92,45% e índice Kappa de 90,92%, enquanto que o segundo mapeamento obteve 94,89% e 93,84% para os mesmos índices, respectivamente. A classe “Formação Campestre/Agropecuária” teve perdas expressivas, que foram corroboradas com os dados do Censo Agropecuário que apresentam a mesma tendência. Observou-se ainda perda da classe “Vegetação de Alta Densidade” e aumento das classes “Solo Exposto” e “Vegetação de Baixa Densidade”, que podem ser o resultado da pressão antrópica sobre as áreas naturais.

Palavras-chave: degradação; secas; el-niño; agricultura; semiárido.

MAPPING OF THE USE AND LAND COVER OF THE MUNICIPALITY OF SABOEIRO (CE) THROUGH CLOUD PROCESSING IN GEE

Abstract. This work aims to create and compare two maps of land use and land cover for the municipality of Saboeiro (CE). The first generated from the average of images of the years 1987, 1989 and 1991, in the dry periods; and the second referring to the years 2018, 2020 and 2021. In both cases the processing was performed on the

¹Laboratório ESPAÇO, UFRJ, adinanmaia@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-9031-7153> .

²Laboratório ESPAÇO, UFRJ, pedromateusrj@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-9007-3005> .

³Laboratório ESPAÇO, UFRJ, diegovsperle@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0003-0036-0463> .

⁴Laboratório ESPAÇO, UFRJ, carlamad@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-3903-3147> .

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

Google Earth Engine (GEE) platform. The first mapping presented global accuracy of 92.45% and Kappa index of 90.92%, while the second mapping obtained 94.89% and 93.84% for the same indexes, respectively. The class "Rural/Agricultural Formation" had significant losses, which were corroborated with the data of the Agricultural Census that show the same trend. It was also observed loss of the class "High Density Vegetation" and increased classes "Exposed Soil" and "Low Density Vegetation", which may be the result of anthropogenic pressure on natural areas.

Keywords: degradation; droughts; el-niño; agriculture; semi-arid.

MAPEO DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO DE LA MUNICIPALIDAD DE SABOEIRO (CE) MEDIANTE PROCESAMIENTO EN LA NUBE EN EL GEE

Resumen. Este trabajo tiene por objetivo crear y comparar dos mapas de uso y cobertura del suelo para el municipio de Saboeiro (CE). El primero generado a partir de la media de imágenes de los años 1987, 1989 y 1991, en los períodos secos; y el segundo referente a los años 2018, 2020 y 2021. En ambos casos el procesamiento se realizó en la plataforma Google Earth Engine (GEE). El primer mapeo presentó exactitud global de 92,45% e índice Kappa de 90,92%, mientras que el segundo mapeo obtuvo 94,89% y 93,84% para los mismos índices, respectivamente. La clase "Formación Campestre/Agropecuaria" tuvo pérdidas expresivas, que fueron corroboradas con los datos del Censo Agropecuario que presentan la misma tendencia. Se observó también pérdida de la clase "Vegetación de Alta Densidad" y aumento de las clases "Suelo Expuesto" y "Vegetación de Baja Densidad", que pueden ser el resultado de la presión antrópica sobre las áreas naturales.

Palabras clave: degradación; sequías; el-niño; agricultura; semiárido.

Introdução

Um dos grandes desafios para o mapeamento do uso e cobertura do solo no semiárido brasileiro é a variabilidade climática regional. Neste contexto, soluções desta natureza ganharam um aliado importante para suprimir as suas demandas: o BIG EO DATA (CHI et al., 2016). O processamento digital em nuvem na plataforma Google Earth Engine (GEE) apresenta a capacidade de manipular e processar uma grande quantidade de dados de extensas áreas sem a necessidade de processamento local, contribuindo para a construção de mosaicos e, conseqüentemente, para uma melhor compreensão do semiárido nordestino e de suas características paisagísticas bem variáveis.

É importante destacar a dificuldade de interpretação das imagens de orbitais em função da alta sazonalidade regional do bioma caatinga em função das condições climáticas. A vegetação desta região perde folhas no período seco e recupera sua folhagem no período úmido, sendo uma resposta evolutiva para a sazonalidade na disponibilidade hídrica. Esta característica pode dificultar a interpretação da vegetação de caatinga por sensores remotos, já que a copa das árvores e arbustos chegam a ficar completamente sem folhas nos períodos secos. Além disso, outro fator que pode dificultar o processo de interpretação de imagens de orbitais na região semiárida nordestina é a nebulosidade oriunda da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). As nuvens da ZCIT quando deslocadas ao continente sulamericano podem acarretar em perdas de dados de sensores ópticos, dificultando assim, o mapeamento digital e o monitoramento das áreas no semiárido nordestino.

A caatinga, por ser um dos biomas mais vulneráveis em relação à mudança no clima (OYAMA e NOBRE, 2003), a pressão exercida pelo homem em função das atividades econômicas regionais, como a pecuária e a agricultura extensiva, podem levar os solos a perdas produtivas (GIONGO, 2011), que poderão induzir a mais núcleos de desertificação (NOBRE, 2011). Além disso, o bioma caatinga é um dos que menos recebem atenção da comunidade científica (GANEM et al., 2020).

A agricultura no contexto do estado do Ceará (CE) apresentou perdas de produtividade consideráveis em diversas lavouras, como milho, feijão e mandioca, no período de 1994

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

a 2014 (SOUSA,2016). Essa perda pode estar relacionada às reduções da precipitação local em função do aumento da ocorrência dos eventos de secas extremas (IPCC,2021). Neste sentido, Melo (1999) diz que nesses últimos dois séculos registrou-se os maiores números de ocorrência de secas, o que pode indicar uma influência das mudanças climáticas na frequência e magnitude das secas.

Considerando a complexidade da geração de mapeamentos da cobertura e uso do solo em áreas sujeitas a variações frente às questões climáticas, este trabalho busca contribuir com o mapeamento temporal do município de Saboeiro(CE) através da integração de diferentes datas em processamentos na nuvem. A referência mais antiga foi gerada pela integração dos dados de imagens de 1987, 1989 e 1991, enquanto a referência mais recente foi gerada a partir de imagens de 2018, 2020 e 2021. Os dois mapas foram gerados através do classificador Random Forest, baseado em aprendizado de máquina. Uma análise espaço-temporal do período possibilitará identificar algumas dinâmicas na paisagem do semiárido, sejam elas de origem antrópica, natural ou uma combinação de ambas. Destaca-se o uso dos dados censitários de agropecuária (1980 - 2018) na interpretação das mudanças ocorridas.

Metodologia

A área de estudo é definida pelo limite territorial do município de Saboeiro (IBGE,2021) presente no estado do Ceará (Figura 1). A escolha do município é explicada por sua presença na região Central de Inhamuns, onde há um déficit hídrico em função da baixa ocorrência de chuvas (LEMOS et al., 2020).

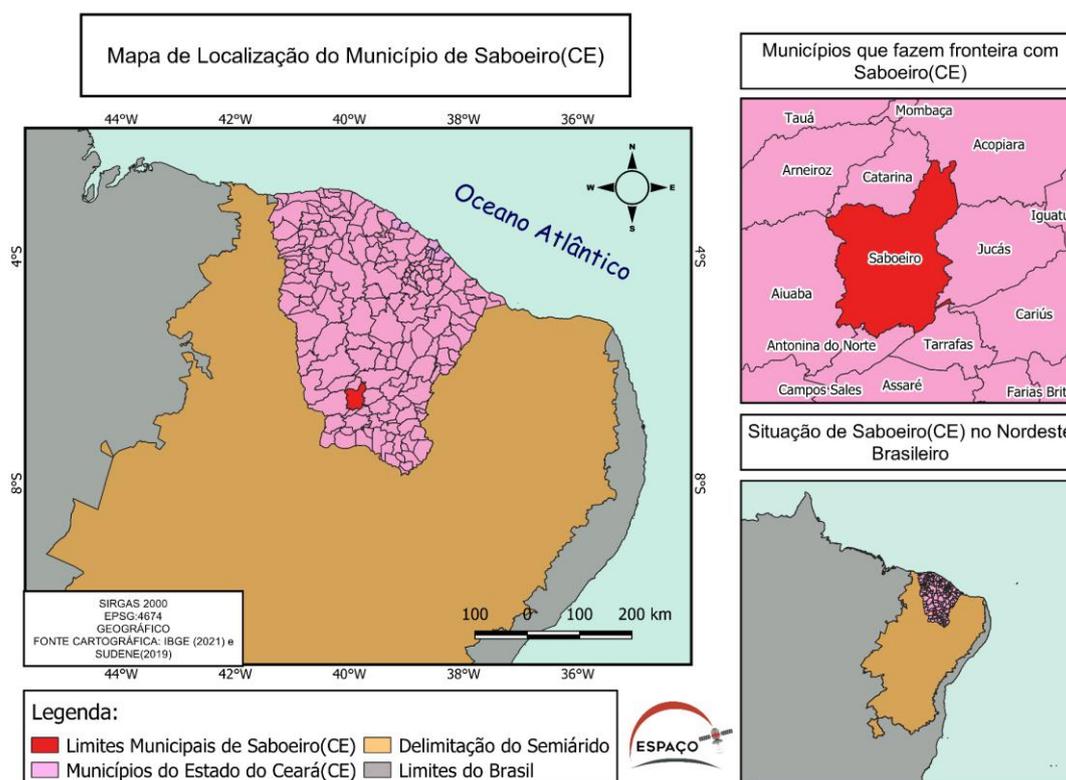


Figura 1: Mapa de Localização de Saboeiro (CE). Fonte: Elaborado por autores.

Para o processamento de dados incluiu-se os limites territoriais de Saboeiro na plataforma GEE, sendo selecionadas as imagens do satélite Landsat-5 do sensor Thematic Mapper e do satélite Landsat-8 do sensor OLI. Para a seleção da faixa temporal a ser estudada foram adotados dois critérios: (i) Anos onde não houve a ocorrência de El-Niño (Tabela 1) (ii) Identificação das estações secas.

TABELA 1: EL NIÑO-OSCILAÇÃO DO SUL.

1982
1993
1997
2001 - 2002
2005
2007 - 2008
2010

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

2012 - 2017

Fonte: Adaptado de Costa (2012), Melo (2016) e Marengo et al.(2017).

Como o El Niño é associado às quedas nos índices pluviométricos e a seca prolongada no semiárido nordestino (COSTA,2012) pode dificultar a elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo devido às suas modificações paisagísticas naturais devido a esse fenômeno climático. Além disso, Formigoni (2011) relacionou os meses secos de baixa precipitação com os valores baixos do índice Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), possibilitando a identificação dos meses mais secos. Por isso, o segundo critério foi criado a partir de um gráfico em série em temporal de NDVI (Figura 2) para a identificação dos meses secos no estado do Ceará através de um redutor de média. O decréscimo do NDVI começa no mês de junho, onde chega em seu auge dos valores mínimos em julho, agosto, setembro, outubro e novembro, e após isso, os valores de NDVI retornam a crescer pelo retorno da estação úmida.

71

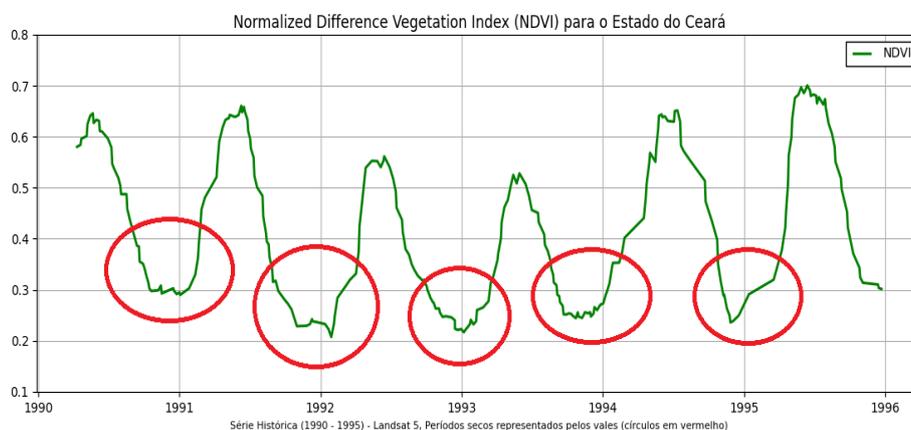


Figura 2: Tendências do NDVI para o Ceará (CE). Fonte: Elaborado por autores.

Neste trabalho foram separados dois pacotes de imagens a fim de apoiar a geração dos dois mapeamentos referentes aos períodos secos, com a menor interferência atmosférica causada pela presença de nuvens. No primeiro pacote foram selecionadas

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

6 cenas imagens dos anos 1987, 1989 e 1991 do sensor TM do Landsat-5. O mesmo procedimento foi aplicado para a geração do segundo pacote de imagens, utilizando anos mais recentes: 2018, 2020 e 2021, do sensor OLI do Landsat-8 (Tabela 2). Cada cena foi cortada para os limites municipais de Saboeiro (CE).

TABELA 2: IMAGENS LANDSAT 5 E 8 UTILIZADAS PARA A CLASSIFICAÇÃO

PACOTE DE IMAGENS 1 (LANDSAT-5)	PACOTE DE IMAGENS 2 (LANDSAT-8)
LANDSAT/LT05/C02/T1_L2/LT05_217065_1_9870811	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_217065_20180917
LANDSAT/LT05/C02/T1_L2/LT05_217065_1_9870912	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_217064_20181003
LANDSAT/LT05/C02/T1_L2/LT05_217065_1_9890917	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_217064_20200906
LANDSAT/LT05/C02/T1_L2/LT05_217065_1_9910705	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_217065_20201008
LANDSAT/LT05/C02/T1_L2/LT05_217064_1_9910806	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_217065_20210808
LANDSAT/LT05/C02/T1_L2/LT05_217064_1_9910822	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_217065_20210824

Fonte: Plataforma Google Earth Engine.

Foram criados diversos índices espectrais (Tabela 3) importantes para a geração do modelo de classificação supervisionada. Diversos cálculos estatísticos (variância, desvio padrão, máximo, mínimo, mediana e média) através de redutores na plataforma GEE contribuíram para a distinção das classes.

TABELA 3: ÍNDICES ESPECTRAIS E SUAS APLICAÇÕES PRINCIPAIS

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	Vegetação	$\frac{(1 + 0.5) \times (NIR - RED)}{(NIR + RED + 0.5)}$
NDWI (Normalized Difference Water Index)	Corpos Hídricos	$\frac{(GREEN - SWIR1)}{(GREEN + SWIR1)}$
HALL COVER	Biomassa	$(-RED \times 0.017 - NIR \times 0.007 - SWIR2 \times 0.079 + 5.22)$

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

CAI (Cellulose Absorption Index)	Agricultura e Vegetação	$\frac{SWIR2}{SWIR1}$
EVI2 (Enhanced Vegetation Index - 2)	Vegetação	$\frac{(2.5 \times ((NIR - RED))}{(NIR + 2.4 \times RED + 1))}$
GCVI (Green Chlorophyll Vegetation Index)	Vegetação e Agricultura	$\frac{NIR}{(GREEN - 1)}$
PRI (Photochemical Reflectance Index)	Vegetação e Carbono	$\frac{(BLUE - GREEN)}{(BLUE + GREEN)}$
NMDI (Normalized Difference Moisture Index)	Vegetação	$\frac{(NIR - (SWIR1 - SWIR2))}{(NIR + (SWIR1 - SWIR2))}$
NDBI (Normalized Difference Built-Up Index)	Áreas Antropizadas	$\frac{(SWIR1 - NIR)}{(SWIR1 + NIR)}$
MBI (Modified Bare Soil Index)	Solo Exposto	$\frac{(SWIR1 - SWIR2 - NIR)}{(SWIR1 + SWIR2 + NIR)} + 0.5$

Fonte: Adaptado de SILVA (2021), NGUYEN (2021), plataforma INDEX DataBase e U.S.

Geological Survey.

Para o cálculo desses índices espectrais foram utilizadas as bandas 'BLUE', 'GREEN', 'RED', 'NIR', 'SWIR-1' e 'SWIR-2' dos sensores dos satélites Landsat-5 e Landsat-8. Depois disso, foram efetuados o cálculo de média para cada pacote de imagens gerando duas imagens para as faixas temporais de interesse. Além disso, foram adicionados em formato de bandas, as variáveis estatísticas

A partir disso, foram criadas duas imagens confeccionadas a partir de médias das cenas de cada faixa temporal estudada. Além disso, foram acrescentadas aos dois produtos gerados os cálculos estatísticos em formatos de bandas, se tornando variáveis importantes para a modelagem da classificação.

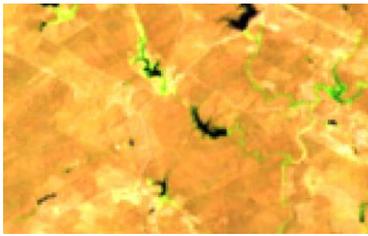
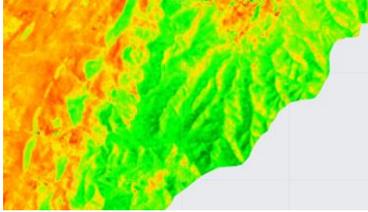
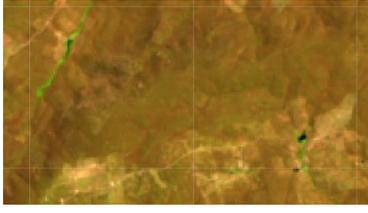
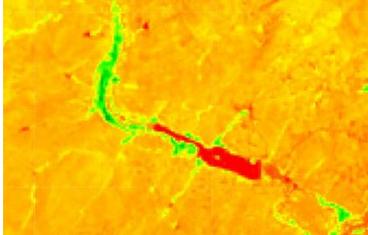
Foram também utilizados os cálculos de derivadas geomorfológicas prontas através dos algoritmos Terrain Analysis in Google Earth Engine elaborados por Safanelli et al (2020) a partir do Modelo Digital de Elevação SRTM de resolução espacial de 30 metros. Tais algoritmos fornecem variáveis como: 'Elevation' (Elevação), 'Slope' (Declividade),

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

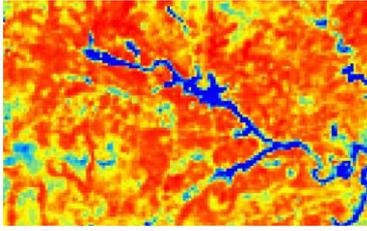
'Aspect' (Aspecto), 'Hillshade' (Sombra), 'Northness' (Quantidade de inclinação voltada para o Norte), 'Eastness' (Quantidade de inclinação voltada para o Leste), 'HorizontalCurvature' (Curvatura Horizontal), 'VerticalCurvature' (Curvatura Vertical), 'MeanCurvature' (Curvatura Média), 'GaussianCurvature' (Curvatura Gaussiana), 'MinimalCurvature' (Curvatura Mínima), 'MaximalCurvature' (Curvatura Máxima) e 'ShapeIndex' (Índice de Formas). Essas variáveis geomorfológicas foram incluídas no sistema na forma de matrizes e foram utilizadas para o modelo de classificação.

No processo de treinamento, foram selecionadas amostras das 6 classes definidas para o mapeamento (Tabela 4). Definiu-se que a quantidade de amostras seria de 75-100 para áreas maiores que 500km², seguindo a recomendação de Congalton (1991).

TABELA 4: CHAVE DE INTERPRETAÇÃO E SEUS CRITÉRIOS

<p>CORPOS HÍDRICOS (80 amostras)</p>		<p>Imagem sintética de média, composição falsa cor: SWIR -1 (Red), NIR (Green) e Red (BLUE). Qualquer corpo hídrico (Lago, Rio, Barragem e etc). São representados por tons mais escuros na imagem.</p>
<p>VEGETAÇÃO DE ALTA DENSIDADE (90 amostras)</p>		<p>Imagem sintética de média com o índice de vegetação SAVI. Vegetação em tons de verdes e mais escuros. Foram paletizados 5 cores (Vermelho, Laranja, Amarelo, Verde Claro e Verde) dos valores mínimos para os máximos.</p>
<p>VEGETAÇÃO DE BAIXA DENSIDADE (95 amostras)</p>		<p>Imagem sintética de média, composição falsa cor: SWIR -1 (Red), NIR (Green) e Red (BLUE). Coloração em ocre com tons esverdeados.</p>
<p>MATA CILIAR (90 amostras)</p>		<p>Imagem sintética de média com o índice de vegetação SAVI. Tons de verdes mais claros podendo em algumas ocasiões apresentar tons de verdes mais escuros. Apresenta proximidade com os rios.</p>

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

<p>SOLO EXPOSTO (90 amostras)</p>		<p>Imagem sintética de média com o índice NDBI. São representados pelos valores mais altos de NDBI, em cores mais vermelhas. Paletizado em 5 cores (Azul, Azul Claro, Amarelo, Laranja e Vermelho) do valor 0.1 até os valores máximos de NDBI.</p>
<p>FORMAÇÃO CAMPESTRE/AGROPECUÁRIA (95 amostras)</p>		<p>Imagem sintética de média, composição falsa cor: SWIR -1 (Red), NIR (Green) e Red (BLUE). Representado por formatos retangulares (atividade antrópica) e por tons mais claros.</p>

Fonte: Google Earth Engine, imagens a partir do Landsat-5 e 8.

O classificador supervisionado utilizado foi o Random Forest, representado pela função `ee.Classifier.smileRandomForest` disponível em ambiente GEE. Esse classificador consiste na combinação de preditores de árvores, de modo que cada árvore depende dos valores de um vetor aleatório amostrado independentemente e com a mesma distribuição para todas as árvores da floresta (BREIMAN, 2001). Como parâmetro dessa função foi atribuído o valor de 250 árvores geradas.

A avaliação da exatidão das imagens geradas com o classificador Random Forest foi feita a partir da matriz de confusão gerada pelo algoritmo API `ConfusionMatrix` em ambiente GEE. Isso permitiu a colocação dos dados em uma tabela cruzada entre as classes das amostras e as classes mapeadas. A matriz de confusão gerada permitiu também o cálculo automatizado em ambiente GEE do índice Kappa e da Exatidão Global dos dois mapas gerados.

As imagens classificadas foram exportadas para o software QGIS 3.16.3, onde foram gerados os layouts finais dos dois mapas. As imagens classificadas foram vetorizadas no software ArcGis 10.8 com a finalidade de cálculos de áreas e tratamentos estatísticos para fins de comparação entre os produtos gerados. Foi utilizado também a função

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

‘Combine’ para a geração de um mapa de detecção de mudanças entre os mapas de uso e cobertura gerados.

Resultados

Os dois mapas sintéticos gerados mostraram mudanças significativas no uso e cobertura do solo em Saboeiro (CE). Mostraram ainda a predominância da classe “Vegetação de Baixa Densidade”, mas com diferenças expressivas quando comparamos os dois mapas (Figura 3). O mapa sintético mais recente (2018-2021) apresentou um predomínio de 52,28% (Tabela 5) dessa classe, enquanto que o mapa mais antigo (1987-1991) apresentou uma redução para 40,25%.

Além disso, outra classe que sofreu modificações expressivas em sua composição é a classe “Formação Campestre/Agropecuária”, que onde passou de 34,65% para o mapa mais antigo para 17,64% para o mapa mais recente. Grande parte da agricultura está localizada próxima às margens do rio Jaguaribe onde apresenta um padrão bem definido de espinha de peixe nos dois mapas gerados.

Mapas de Uso e Cobertura do Solo para o Município de Saboeiro(CE) no período seco

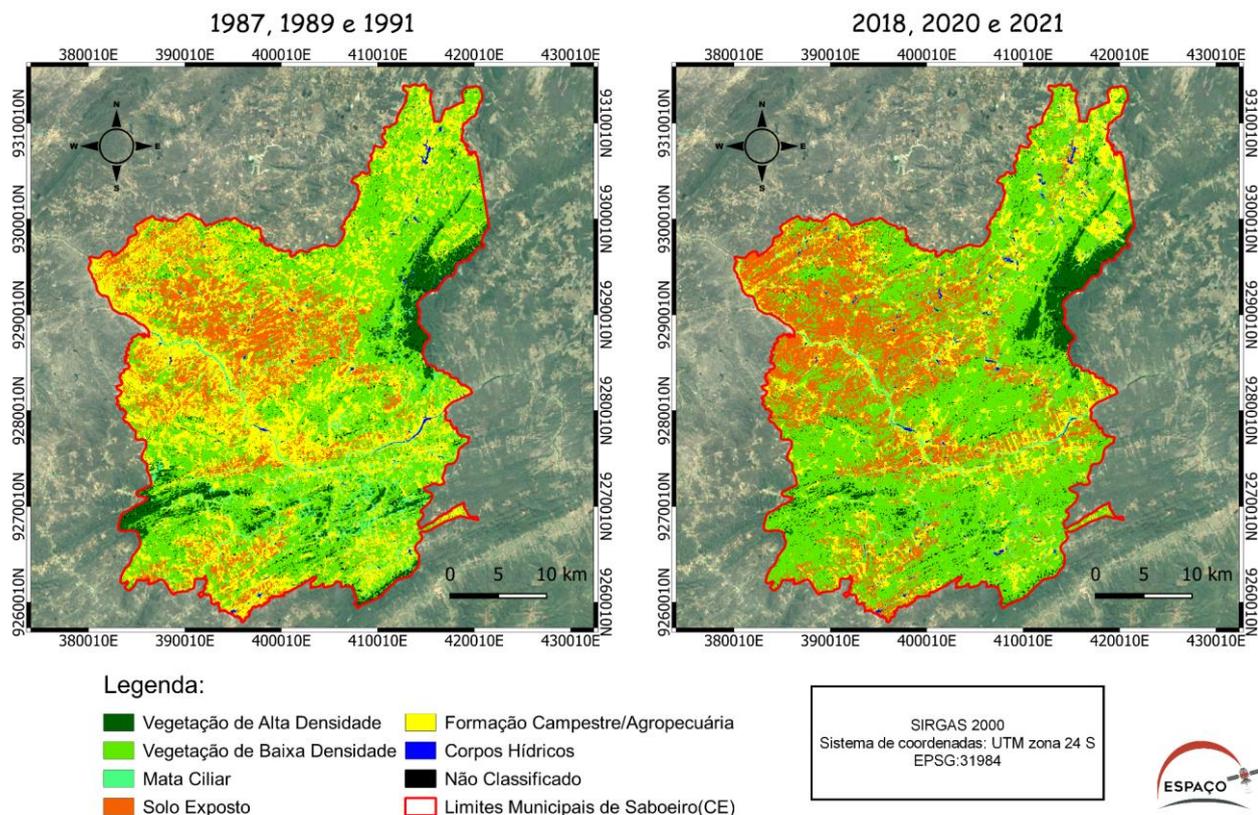


Figura 3: Mapas sintéticos de Saboeiro (CE) gerados a partir das estações secas (1987 - 1991 e 2018 - 2021). Fonte: Elaborado por Autores com dados do Landsat-5 e 8.

É importante dizer também, que esse município sofreu com perdas importantes no ramo produtivo na agricultura. Isso fica bem demarcado quando analisamos o gráfico da série temporal para a variável área colhida considerando os dados do Censo Agropecuário (1980 - 2018) (Figura 4).

Além disso, a classe “Vegetação de Alta Densidade” teve perdas ao vermos os dois produtos gerados. No mapa mais antigo a área é distribuída em 5,87% e no mapa mais recente passou a ser 4,24%. Na porção sudoeste e central do município é notória a perda dessa classe no mapeamento mais recente. Em contrapartida, na porção nordeste do município, sob o ponto de vista qualitativo há uma concentração maior dessa classe.

A classe “Solo Exposto” teve um aumento quando comparamos os dois mapas, passando de 14,07% para 21,36%, onde em ambos os mapas vemos as concentrações da classe MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

nas porções central, leste e sul. Esse ganho vem acompanhada da tomada de diversas áreas por parte da classe “Vegetação de Baixa Densidade”, também ocorrido com as mudanças na classe “Formação Campestre/Agropecuária”.

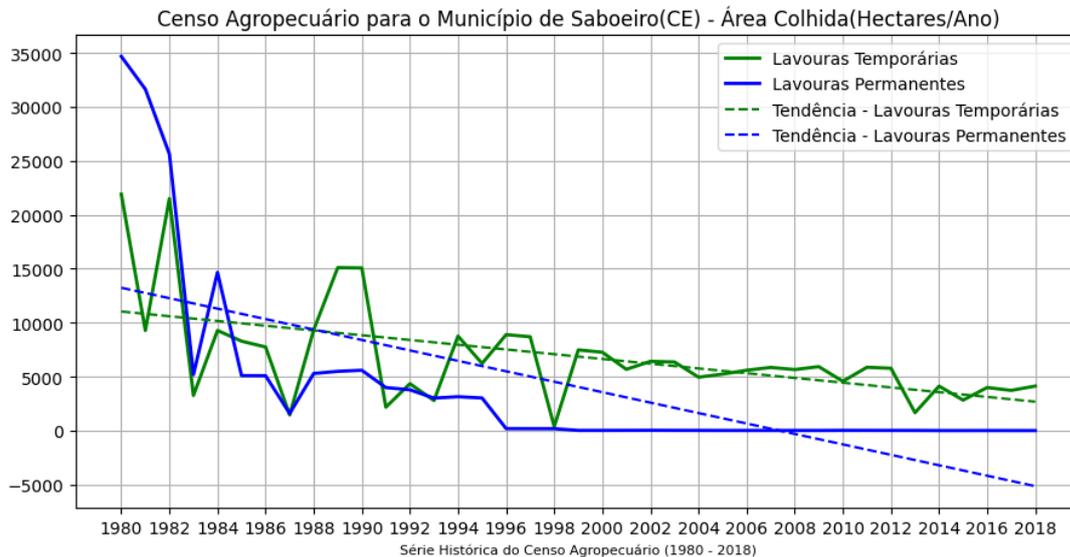


Figura 4: Gráfico do Censo Agropecuário para Área Colhida(1980-2018). Fonte: SIDRA.

É importante mencionar que essa mudança pode ser associada também com as perdas produtivas na agricultura, e também, é a fase pelo qual os agricultores passam a arar a terra o que aumenta a ocorrência de solos expostos nesses períodos.

A classe “Mata Ciliar” também teve perdas ao compararmos as duas faixas temporais, retraindo de 4,50% para 3,58%. Importante ressaltar que a metodologia presente neste trabalho conseguiu delimitar a vegetação às margens do rio Jaguaribe e diversos rios tributários. Contudo, a classe “Corpos Hídricos” não teve uma variação muito expressiva quando comparamos as duas datas.

TABELA 5: DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DAS CLASSES (%)

CLASSES	1987,1989 e 1991 (%)	2018,2020 e 2021 (%)	Variação (%)	Deteção de Mudanças (%)
Corpos Hídricos	0,64%	0,97%	+0,33%	1,35%
Vegetação de Alta Densidade	5,87%	4,24%	-1,63%	2,75%
Vegetação de Baixa Densidade	40,25%	52,28%	+12,03%	48,10%
Mata Ciliar	4,50 %	3,48%	-1,02%	3,93%
Solo Exposto	14,07%	21,36%	+7,29%	27,20%
Formação Campestre/Agropecuária	34,65%	17,64%	-17,01%	16,63%

Fonte: Elaborado por autores.

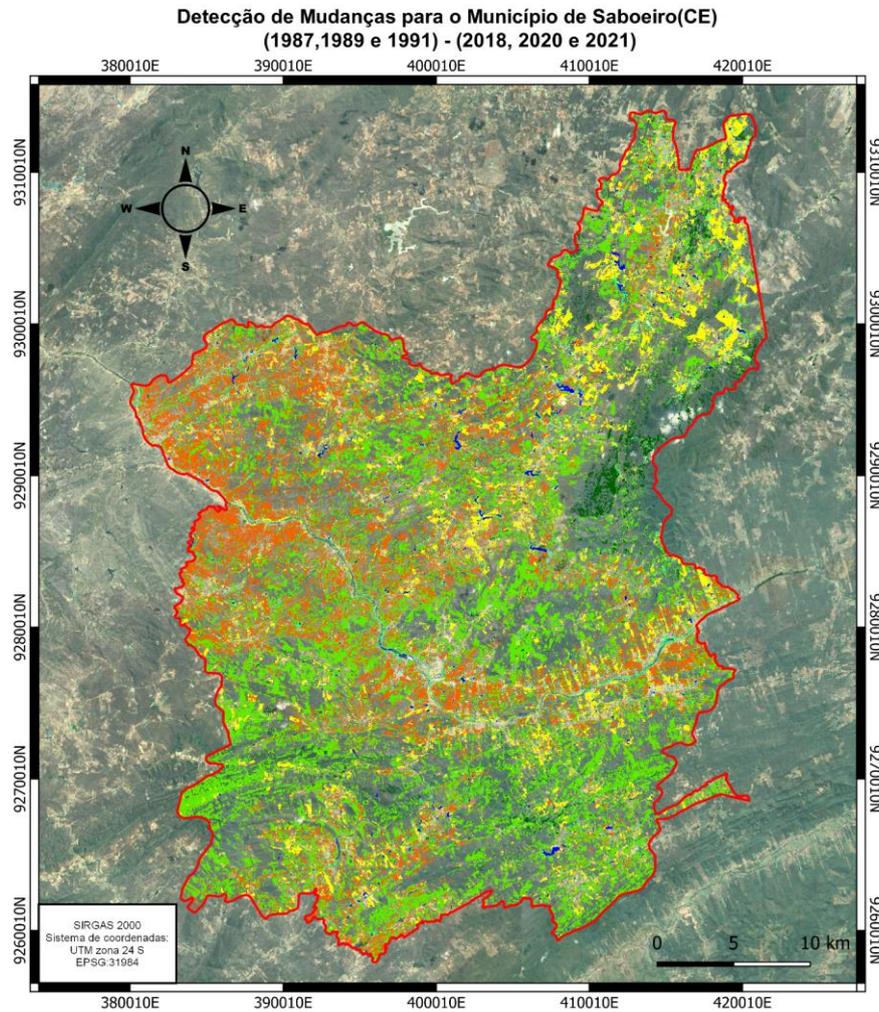
Por fim, a exatidão global e o índice Kappa apresentaram resultados satisfatórios nos dois mapeamentos. O primeiro mapa sintético de uso e cobertura do solo (1987, 1989 e 1991) apresentou 92,45% e 90,92% respectivamente, enquanto que o segundo mapa sintético de uso e cobertura do solo (2018, 2020 e 2021) apresentou 94,89% e 93,84% para os dois índices.

O mapa de detecção de mudanças no município de Saboeiro (CE) mostra mudanças profundas no decorrer das faixas temporais (Figura 6). A classe “Vegetação de Baixa Densidade” foi a que mais mudou de classe (Tabela 5) distribuída em praticamente todo o mapa, com concentrações notórias nas porções Sudoeste, Sudeste e Central. A classe “Solo Exposto” mudou também de forma considerável, onde a sua concentração se dá nas proximidades do rio Jaguaribe e na porção leste do município.

É notório também a expansão da classe “Formação Campestre/Agropecuária” na porção nordeste, se apossando de áreas que eram da classe “Vegetação de Alta Densidade”, e também, na porção norte do município.

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

As mudanças de classes de “Corpos Hídricos”, “Vegetação de Alta Densidade” e “Mata Ciliar” foram pouco significativas ao compararmos com as demais classes.



Legenda:

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| Vegetação de Alta Densidade | Formação Campestre/Agropecuária |
| Vegetação de Baixa Densidade | Corpos Hídricos |
| Mata Ciliar | Limites Municipais de Saboeiro(CE) |
| Solo Exposto | |



Figura 5: Deteccção de Mudanças no Município de Saboeiro (CE). Fonte: Elaborado por autores.

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

Conclusões

Os dois mapas sintéticos de uso e cobertura para os dois períodos analisados mostraram modificações importantes no município de Saboeiro (CE). Destaca-se também, que a possibilidade de tratar um volume maior de dados, incluindo a sua seleção e processamento, tem sido bastante beneficiada com métodos adaptados ao contexto do BIG EO DATA. Isto passa a ser uma alternativa relevante para o mapeamento de áreas que sofram bastante com grande variabilidade climática, o que muitas das vezes pode se tornar um empecilho para o sensoriamento remoto.

Foram evidentes as perdas em diversos componentes naturais na superfície de suma importância para o clima regional na área de estudo. O acréscimo das classes “Solo Exposto” e da “Vegetação de Baixa Densidade” em detrimento das perdas das classes de “Vegetação de Alta Densidade” sinalizam uma possível degradação de terras no município estudado.

Além disso, o aumento dos eventos extremos de secas (IPCC,2021) pode contribuir para a intensificação de fenômenos de degradação com possíveis aumentos das ocorrências de núcleos de desertificação na região. As perdas referentes à classe “Formação Campestre/Agropecuária” refletem o que o gráfico da série temporal de área colhida dos dados do Censo Agropecuário mostrou que houve a tomada dessas áreas sendo descritas pelas ocorrências de solos expostos e a vegetação de baixa densidade.

Essas perdas podem ter origens diversas, o que precisa ser avaliado com cautela. Embora seja possível dizer, a priori, que é uma perda ocasionada por inúmeros motivos. Um deles é o resultado da última grande seca na região - no período de 2012 - 2017 - como é pontuado por Marengo et al. (2017). O aumento da classe “Vegetação de Baixa Densidade” sobre as vegetações mais densas é um indicativo de perda de vegetação. É necessária uma avaliação detalhada, principalmente em campo, para identificar as possíveis causas, que podem ser inúmeras. É possível listar de forma ilustrativa algumas destas causas, sem almejar atribuí-las ao padrão observado neste trabalho, entre elas estão a degradação de solos, aridização, desertificação, desmatamento e mudanças climáticas. Outra interpretação para o aumento dessas classes pode ser a seca extrema

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

e longa que ocorreu entre 2012 a 2017, uma vez que essas áreas podem não ter tido tempo suficiente para a sua recuperação.

Acredita-se que este trabalho inicial apresentou bons resultados para a exatidão global e o índice Kappa em um mapeamento complexo pelas condicionantes climáticas típicas de uma região semiárida, condição de inserção de Saboeiro (CE). Os próximos passos indicam a necessidade de uma validação mais ajustada às condições reais da área e a realização de uma análise cruzada dos mapas.

Referências Bibliográficas

- AMANI, Meisam; GHORBANIAN, Arsalan; AHMADI, Seyed Ali; KAKOOEI, Mohammad; MOGHIMI, Armin; MIRMAZLOUMI, S. Mohammad; MOGHADDAM, Sayyed Hamed Alizadeh; MAHDAVI, Sahel; GHAREMANLOO, Masoud; PARSIAN, Saeid; WU, Qiusheng; BRISCO, Brian. Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, [s. l.], v. 13, p. 5326-5350, 2020. DOI 10.1109/JSTARS.2020.3021052. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9184118/authors>.
- CHI, Mingmin; PLAZA, Antonio; BENEDIKTSSON, Jón Atli; SUN, Zhongyi; SHEN, Jinsheng; ZHU, Yangyong. Big Data for Remote Sensing: Challenges and Opportunities. *Proceedings of the IEEE*, [s. l.], 13 set. 2016. DOI 10.1109/JPROC.2016.2598228. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7565634/authors#authors>.
- CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, n. 1, p. 35–46, 1991
- COSTA, José de Araújo. O FENÔMENO EL NIÑO E AS SECAS NO NORDESTE DO BRASIL. **Revista Científica do IFAL**, [s. l.], v. 1, ed. 4, jan./jul. 2012.
- FORMIGONI, Mileide de Holanda; XAVIER, Alexandre Cândido; LIMA, Julião Soares de Souza. ANÁLISE TEMPORAL DA VEGETAÇÃO NA REGIÃO DO NORDESTE ATRAVÉS DE DADOS EVI DO MODIS: MULTI-TEMPORAL ANALYSIS OF NORTHEAST VEGETATION BY MEANS OF MODIS-EVI DATA. **Ciência Florestal**. v. 21, ed. 1, p. 1-8. Santa Maria, RS, 2011.
- GANEM, Khalil Ali; DUTRA, Andeise Cerqueira; OLIVEIRA, Marcell Terra de; FREITAS, Ramon Morais de; GRECCHI, Rosana Cristina; VIEIRA, Rita Marcia da Silva Pinto; ARAI, Egidio; SILVA, Fabrício Brito; SAMPAIO, Cláudia Bloisi Vaz; DUARTE, Valdete; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. Mapeamento da Vegetação da Caatinga a partir de Dados Ópticos de Observação da Terra – Oportunidades e Desafios. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s. l.], v. 72, p. 829–854, 30 dez. 2020. DOI <https://doi.org/10.14393/rbcv72nespecial50anos-56543>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/56543>. Acesso em: 23 jul. 2022.
- GIONGO, Vanderlise. Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Mudanças Climáticas e Sustentabilidade. In: **DESERTIFICAÇÃO e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: Instituto Nacional do
- MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

Semiárido, 2011. cap. Balanço de carbono no semiárido brasileiro: Perspectivas e desafios, p. 115-130. ISBN 978-85-64265-02-8.

INDEX DataBase: **A database for remote sensing indices**. [S. l.], 2011. Disponível em: <https://www.indexdatabase.de/>. Acesso em: 1 jul. 2022.

IPCC. Summary for Policymakers. **Sixth Assessment Report**, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

LEMOS, José de Jesus Sousa; BEZERRA, Filomena Nádia Rodrigues; FILHO, João da Costa; GURJÃO, Natália de Oliveira. AGRICULTURA FAMILIAR NO CEARÁ: EVIDÊNCIAS A PARTIR DO CENSO AGROPECUÁRIO DE 2017: Family Agriculture in Ceará: evidence from the 2017 agricultural census. **Rev.Econ.NE**. v. 51, p. 93-112. Fortaleza, CE, 2020.

MELO, Josemir Camilo de. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. Raízes: **Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, [s. l.], v. 162, ed. 20, p. 13-21, Novembro 1999. DOI <https://doi.org/10.37370/raizes.1999.v.162>. Disponível em: <http://raizes.revistas.ufcg.edu.br/index.php/raizes/article/view/162>.

NGUYEN, Can; CHIDTHAISONG, Amnat; DIEM, Phan Kieu; HUO, Lian-Zhi. A Modified Bare Soil Index to Identify Bare Land Features during Agricultural Fallow-Period in Southeast Asia Using Landsat 8. **Land** **2021**, [s. l.], v. 10, 25 fev. 2021. DOI <https://doi.org/10.3390/land10030231>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/3/231#>. Acesso em: 15 jul. 2022.

NOBRE, Paulo. **Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro**. Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro, Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, p. 25-35, 2011. ISBN: 978-85-64265-02-8.

Normalized Difference Moisture Index | **U.S. Geological Survey**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/normalized-difference-moisture-index>. Acesso em: 23 jul. 2022.

OYAMA, Marcos Daisuke; NOBRE, Carlos Afonso. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letters**, [s. l.], v. 30, 5 dez. 2003. DOI <https://doi.org/10.1029/2003GL018600>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2003GL018600>.

RODRIGUES, Natalicio Melo. **Todas as 130 secas registradas no espaço geográfico do semiárido do Nordeste do Brasil**. Acesso em Fevereiro de 2021. Disponível em: <http://natalgeo.blogspot.com.br/2016/02/todas-as-128-secas-registradas-no.html>. Publicado em 22 de setembro de 2016.

SAFANELLI, José Lucas; POPPIEL, Raul Roberto; RUIZ, Luis Fernando Chimelo; BONFATTI,

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*

Benito R.; MELLO, Felipe Alcantara de Oliveira; RIZZO, Rodnei; DEMATTÊ, José A. M. Terrain Analysis in Google Earth Engine: A Method Adapted for High-Performance Global-Scale Analysis. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [s. l.], 17 jun. 2020. DOI <https://doi.org/10.3390/ijgi9060400>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/9/6/400>.

SILVA, Angela Gabrielly Pires; CREMON, Édipo Henrique; BOGGIONE, Giovanni de Araújo; ALVES, Fabio Corrêa. INTEGRAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS ÓPTICAS E SAR COM PROCESSAMENTO EM NUVEM NO MAPEAMENTO DA COBERTURA DA TERRA NO CERRADO. **Revista Geoaraguaia**, Barra do Garças, MT, v. 11, p. 85-106, Agosto 2021. ISSN:2236-9716.

Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Ibge.gov.br. **Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos**. [S. l.], N/D. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SOUSA, Marina Rocha de. IMPACTO DA SECA NAS PERDAS PRODUTIVAS DAS PRINCIPAIS LAVOURAS DE SEQUEIRO DO ESTADO CEARÁ. Orientadora: Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima. 2016. 37 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Programa de Graduação do curso de Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2016.

Data de Submissão: 10/11/2022

Data da Avaliação: 12/06/2023

MARTINS; LOURENÇO; da SILVA; CRUZ, *Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Saboeiro (CE) através de processamento na nuvem do GEE*