

# ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA CAJUCULTURA NO SEMIÁRIDO POTIGUAR: UM ESTUDO DO MUNICÍPIO DE SERRA DO MEL-RN

*Spatio-temporal analysis of cashew farming in the Semi-arid Potiguar: a study of the municipality of Serra do Mel-RN*

**Camila Saiury Pereira Silva**

Mestre em Ciências Naturais – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

[camilasaiury@hotmail.com](mailto:camilasaiury@hotmail.com)

**Kátia Alves Arraes**

Mestre em Ciências da Computação – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

[katia.arraes@inpe.br](mailto:katia.arraes@inpe.br)

**Leandro Magno Santos da Motta Filho**

Graduando em Bacharelado de Tecnologia da Informação – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

[leandro.filho@inpe.br](mailto:leandro.filho@inpe.br)

**Antônio Helton da Silva Barbosa**

Mestre em Ciências Naturais – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

[helton\\_asb@hotmail.com](mailto:helton_asb@hotmail.com)

**Melquisedec Medeiros Moreira**

Doutor em Geotecnia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

[melquisedec.moreira@inpe.br](mailto:melquisedec.moreira@inpe.br)

Recebido: 02.08.2022

Aceito: 19.12.2022

## Resumo

A cajucultura no Nordeste brasileiro tem significativa importância econômica e social. Tradicionalmente cultivados em regime de sequeiro, ou seja, sem irrigação, os pomares de cajueiros atravessaram um período bastante crítico nos últimos anos devido à baixa pluviosidade, resultante da última seca severa associada à ocorrência de pragas e doenças que causaram danos à produtividade da castanha de caju. Principal produto econômico da cajucultura. Dada a sua relevância econômica, este estudo teve por finalidade avaliar a distribuição espacial e temporal do uso e ocupação do solo do município de Serra do Mel, localizado no estado do Rio Grande do Norte, tendo como objetivo compreender a dinâmica da cajucultura em 2015, um ano de chuvas abaixo da média e, em 2020, mostrando o cenário atual dessa atividade agrícola. Em nossa pesquisa utilizamos duas imagens do sensor OLI, do satélite Landsat 8, ambas da estação seca, onde foram aplicados os índices espectrais de NDVI, SAVI e BSI, além da inclusão de bandas auxiliares de elevação e declividade visando o refinamento da classificação supervisionada baseada no método de aprendizagem de máquina Random Forest, na plataforma de processamento em nuvem do Google Earth Engine. Desse modo, esta pesquisa identificou que houve redução de áreas cultivadas e, em menor proporção, de áreas de vegetação nativa. Em contrapartida, houve o crescimento de

áreas de solo exposto. Concluimos que é necessário desenvolver medidas que minimizem os efeitos de secas prolongadas. Nesse sentido, esperamos que este trabalho possa servir de subsídio ao planejamento e gestão territorial do município.

**Palavras-chave:** Mapeamento; Google Earth Engine; Random Forest; NDVI; Agricultura.

### Abstract

Cashew farming in Northeast Brazil has significant economic and social importance. Traditionally cultivated under a rainfed regime, that is, without irrigation, cashew orchards have gone through a very critical period in recent years due to low rainfall resulting from the last severe drought associated with the occurrence of pests and diseases that caused damage to the productivity of cashew nuts. Main economic product of cashew farming. Given its economic relevance, this study aimed to evaluate the spatial and temporal distribution of land use and occupation in the municipality of Serra do Mel, located in the state of Rio Grande do Norte, to understand the dynamics of cashew farming in 2015, a year of below-average rainfall and, in 2020, showing the current scenario of this agricultural activity. In our research, we used two images from the OLI sensor, from the Landsat 8 satellite, both from the dry season, where the spectral indices of NDVI, SAVI and BSI were applied, in addition to the inclusion of auxiliary elevation and slope bands aiming at the refinement of the supervised classification based on in the Random Forest machine learning method, on the Google Earth Engine cloud processing platform. Thus, this research identified a reduction in cultivated areas and, to a lesser extent, in areas of native vegetation. On the other hand, there was an increase in areas of exposed soil. Therefore, we conclude that it is necessary to develop measures to minimise prolonged droughts' effects. In this sense, we hope this work can serve as a subsidy for the planning and territorial management of the municipality.

**Keywords:** Mapping; Google Earth Engine; Random Forest; NDVI; Agriculture.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A atividade da cajucultura no Nordeste tem significativa importância econômica e social. Diferentemente de outras atividades que giram em torno da fruticultura irrigada como manga, uva, acerola etc., a cajucultura é desenvolvida em grande parte por pequenos produtores, em regime de sequeiro (não irrigado) e que muitas vezes está associada à agricultura familiar.

O cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) é uma planta tropical, pertencente à família Anacardiaceae, originária do Brasil (SILVA-LUZ; PIRANI, 2015). Apesar de dispersos em quase todo o território nacional, o cultivo comercial de cajueiros tem sua concentração geográfica na região nordeste do país, com destaque para os estados produtores do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí.

Basicamente, existem dois tipos principais de cajueiros: o comum, popularmente chamado de gigante, implantado comercialmente no Nordeste na década de 1970 por

meio de programas governamentais; e o anão precoce, como o próprio nome sugere é de pequeno porte, seu desenvolvimento ocorre de forma precoce ou rápida em comparação ao cajueiro comum e é altamente produtivo.

De acordo com dados da Produção Agrícola Municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2020, o Nordeste brasileiro produziu um montante de 139.078 toneladas da amêndoa de castanha de caju, o principal produto da cajucultura, em uma área plantada de 424.915 hectares (IBGE, 2021). Ainda segundo os dados do IBGE, estima-se que o município de Serra do Mel, recorte espacial do nosso estudo, foi responsável por 4,03% da produção nordestina no referido ano.

O município de Serra do Mel, localizado no Estado do Rio Grande do Norte, mais especificamente no Oeste Potiguar, é o maior produtor de castanha de caju do estado. Sua economia é baseada, principalmente, na cadeia produtiva da castanha de caju e isso inclui o cultivo, a produção, o beneficiamento e a comercialização da amêndoa.

A ligação de Serra do Mel com a atividade econômica da cajucultura tem suas origens desde a criação do município. Nesse contexto, Serra do Mel originou-se de um projeto de colonização e reforma agrária, realizado pelo então governo estadual em 1972, no qual dividiu o território do município em 22 vilas rurais e uma vila administrativa. Cada vila rural, ou também chamada de agrovila, foi subdividida em lotes (em média 50 hectares) e partilhada entre várias famílias para desenvolverem atividades agrícolas, em especial, a cajucultura.

No tocante a cajucultura, as condições edafoclimáticas propícias para o desenvolvimento dos pomares de cajueiros somado aos incentivos promovidos pelo Estado, o cooperativismo e o auxílio técnico de entidades públicas fizeram com que o município se tornasse o maior produtor de castanha de caju do Rio Grande do Norte.

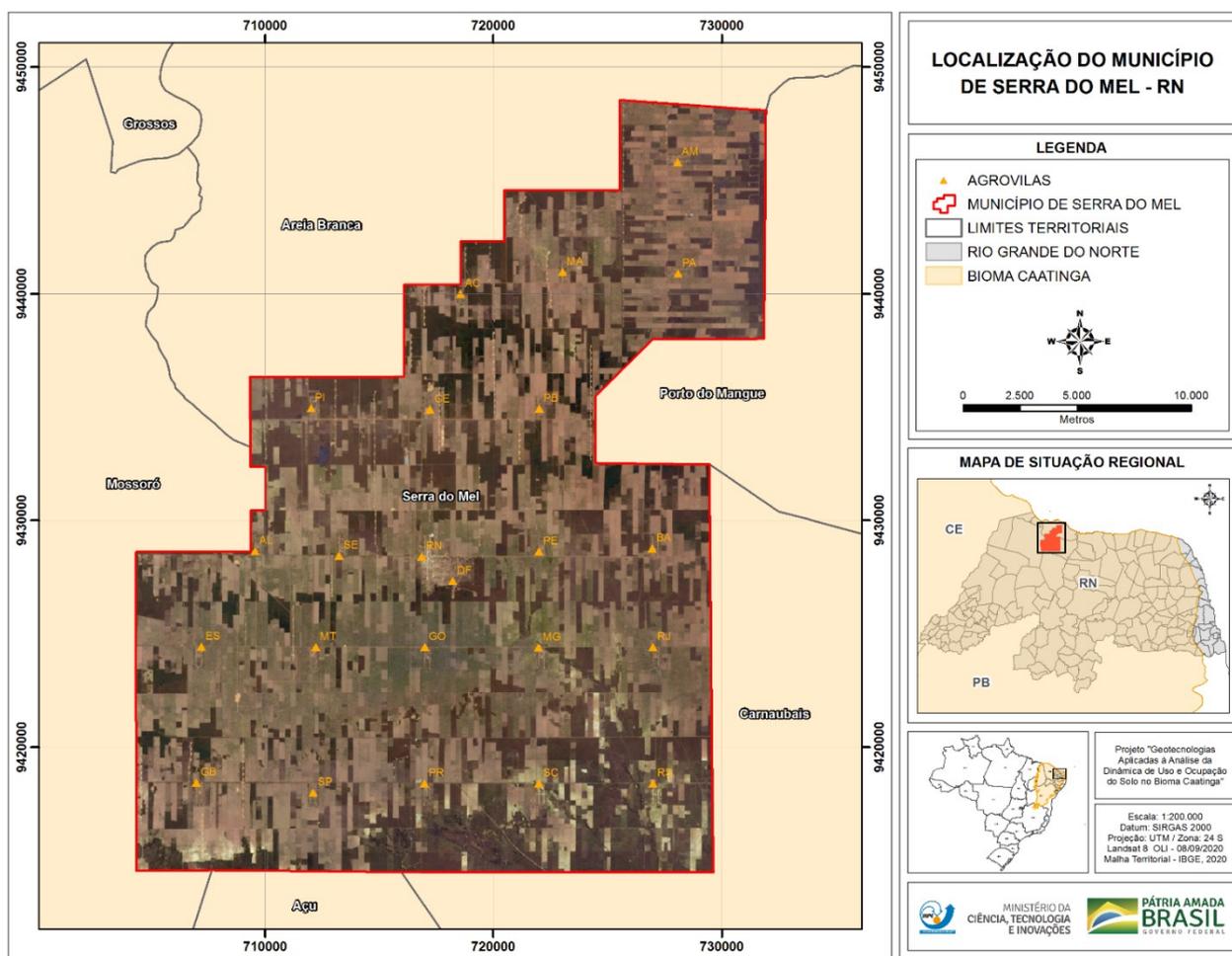
Tradicionalmente no Nordeste, os cajueiros são cultivados em regime de sequeiro e, por isso, a cajucultura não irrigada está muito suscetível às condições climáticas da região. Sob esse aspecto, a cajucultura nordestina atravessou um período bastante crítico nos últimos anos devido às baixas precipitações (BRAINER; VIDAL, 2020). A última seca severa que afligiu o nordeste brasileiro (CUNHA *et al.*, 2019), associado à ocorrência de pragas e doenças provocaram a perda de áreas cultivadas. Em Serra do Mel esse cenário chegou ao ápice em 2015, no qual notificou-se o corte de vários cajueiros mortos pela falta d'água (BARBOSA; CARVALHO, 2015).

Partindo desses pressupostos, o objetivo desta pesquisa foi analisar a distribuição espacial e temporal do uso e ocupação do solo do município de Serra do Mel, visando

compreender a dinâmica da cajucultura em 2015, um ano considerado muito seco em relação à precipitação, e 2020 evidenciando o atual cenário desta atividade agrícola.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Serra do Mel, estado do Rio Grande do Norte, situado na mesorregião do Oeste Potiguar. Serra do Mel possui uma área de aproximadamente 620 km<sup>2</sup> (62 mil hectares), limitando-se com os municípios de Areia Branca, Porto do Mangue, Carnaubais, Assú e Mossoró. A Figura 1 apresenta o mapa de localização do município de Serra do Mel.



**Figura 1** -- Mapa de localização do município de Serra do Mel, no Estado do Rio Grande do Norte.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.

Geograficamente, o município de Serra do Mel está localizado em uma área onde o sertão e o litoral se encontram. Da parte mais ao norte do município em direção ao mar são apenas 5 km de distância, o que contribui para influências da zona costeira sobre o

município, como, por exemplo, o fator de influência climática de maritimidade. Por isso, verifica-se uma variação nos fatores ambientais dentro do próprio limite territorial do município.

Sendo assim, de modo geral, podemos dizer que Serra do Mel está a uma altitude média de 215 metros acima do nível do mar. O clima se caracteriza como muito quente e semiárido, com temperaturas variando entre 21°C a 32°C. A precipitação média anual, em anos normais, gira em torno de 551,7 mm a 885 mm, e o período chuvoso se estende de fevereiro a maio. Quanto ao tipo de solo predomina-se o Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico, sendo bastante drenado, de relevo plano e com fertilidade que varia de média a alta (IDEMA, 2008).

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o mapeamento e análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo do município de Serra do Mel utilizou-se a plataforma de processamento de dados em nuvem Code Editor do Google Earth Engine (GEE). A metodologia empregada consistiu na classificação supervisionada baseada em *pixel*. A Figura 2, apresenta as etapas e os procedimentos metodológicos deste trabalho.

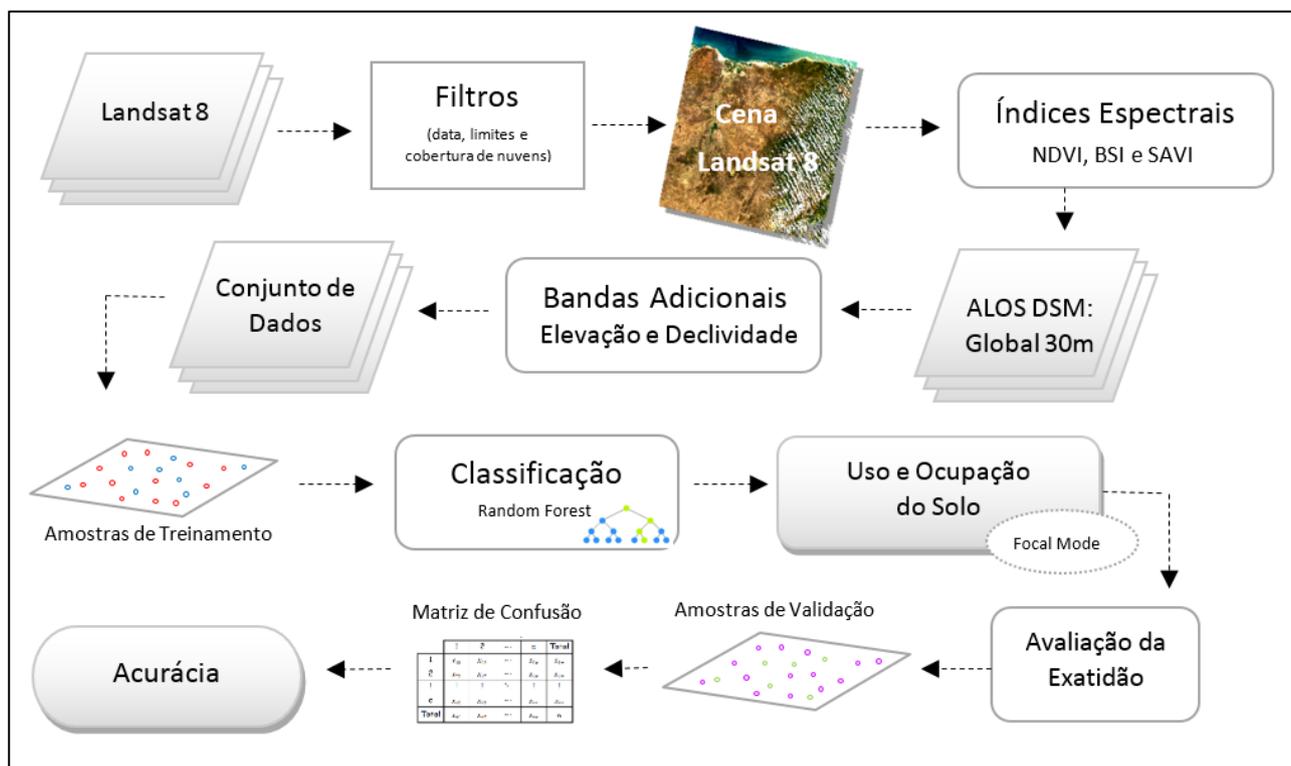


Figura 2 - Fluxograma simplificado das etapas utilizadas neste trabalho.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Na sequência, do conjunto de dados de imagens de reflectância de superfície do sensor OLI do satélite Landsat 8, *Level 2, Collection 2, Tier 1* foram selecionadas duas imagens do período mais seco do ano, considerando que no período de estiagem é mais fácil distinguir a vegetação nativa das áreas cultivadas. Além disso, no período de estiagem a quantidade de nuvens sobre a região é reduzida, contribuindo para maior qualidade da classificação do uso e ocupação do solo. Dessa maneira, foram escolhidas a cena (LANDSAT/LC08/C02/T1\_L2/LC08\_215064\_20150810) datada de 10 de agosto de 2015 e a cena (LANDSAT/LC08/C02/T1\_L2/LC08\_215064\_20200908) datada de 08 de setembro de 2020.

### 3.1. Índices espectrais de vegetação

Os índices espectrais são importantes ferramentas do sensoriamento remoto para detecção de aspectos de interesse, como a vegetação. Os índices são provenientes de operações matemáticas entre bandas espectrais com o intuito de destacar e/ou realçar alguma característica ou parâmetro. Nesta pesquisa utilizamos os índices espectrais de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) e *Bare Soil Index* (BSI) que auxiliaram no processo de classificação agregando informações, tanto no que se refere à análise visual para coleta de amostras de treinamento, quanto no fornecimento de dados ao classificador *Random Forest*.

Proposto por Rouse *et al.* (1973) o NDVI, um dos índices mais utilizados, permite diferenciar a vegetação de outros tipos de cobertura da terra por meio da assinatura espectral. O algoritmo calcula a diferença normalizada entre as bandas do vermelho e infravermelho por meio da Equação 1. A normalização gera resultados que variam no intervalo de -1 a 1.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Valores próximo a 1 indicam uma vegetação sadia, vigorosa e bem suprida do ponto de vista hídrico. Já valores próximos a 0 ou valores negativos indicam a presença de estruturas não vegetadas, como: solos descobertos, superfícies de água, áreas edificadas, dentre outros. É importante destacar que deve-se levar em consideração as particularidades de cada região estudada, como, por exemplo, a estação do ano e o tipo de vegetação estudada (nativa ou plantada), para que se possa compreender os reais valores gerados pelo NDVI (BARBOSA, CARVALHO; CAMACHO, 2017).

O SAVI foi desenvolvido por Huete (1988) na tentativa de otimizar o NDVI. Incluindo um fator L, o SAVI minimiza a influência do brilho do solo no índice espectral de vegetação. O valor atribuído a este fator varia com base na densidade da vegetação observada. Sendo assim, atribui-se o valor 1,00 ao fator L quando a cobertura vegetal é muito baixa; 0,50 quando a cobertura vegetal for intermediária e 0,25 quando existir uma alta densidade da vegetação. Neste trabalho, consideramos que a cobertura vegetal é do tipo intermediária, por isso utilizamos o fator L igual a 0,50. O SAVI é expresso pela Equação 2:

$$SAVI = \frac{((1 + L) \cdot (NIR - RED))}{(NIR + RED + L)} \quad (2)$$

O BSI combina bandas espectrais de azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de onda curta para capturar as variações do solo. O BSI é usado, principalmente, para destacar a diferença entre terras agrícolas e não agrícolas, devido à sua capacidade de identificar o solo descoberto, bem como áreas em pousio (POLYKRETIS; GRILLAKIS; ALEXAKIS, 2020). O BSI é calculado por meio da Equação 3:

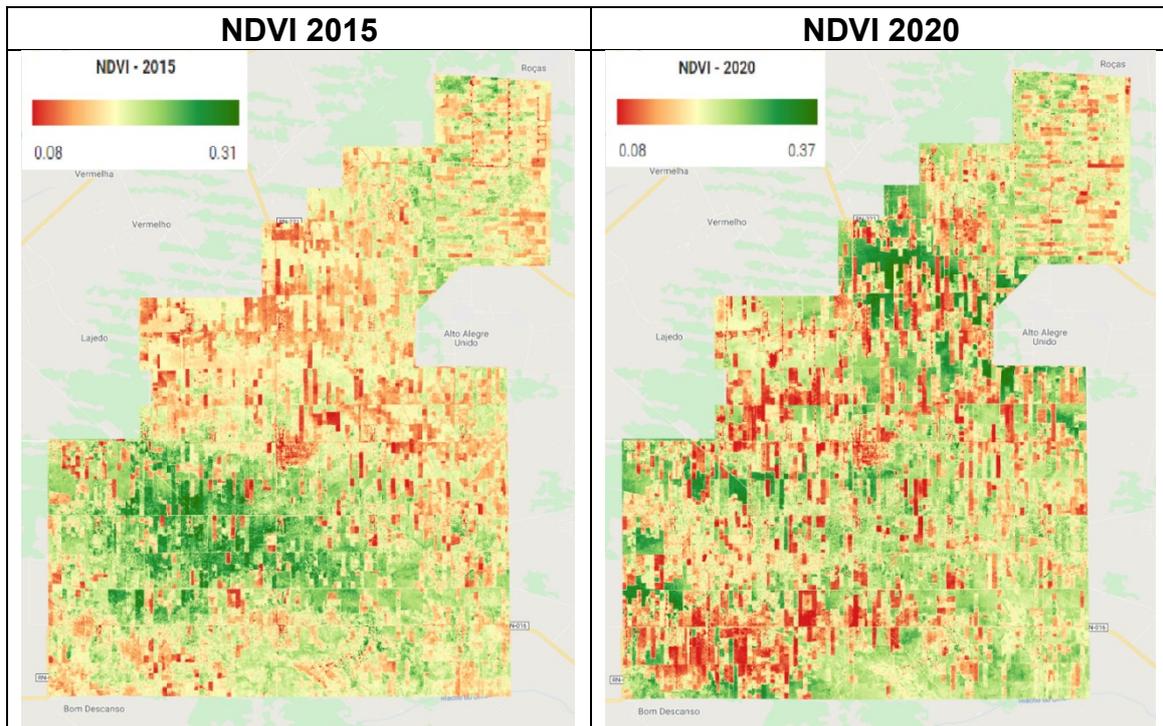
$$BSI = \frac{((RED + SWIR) - (NIR + BLUE))}{((RED + SWIR) + (NIR + BLUE))} \quad (3)$$

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam, respectivamente, os valores obtidos com a aplicação dos índices espectrais de NDVI, SAVI e BSI no município de Serra do Mel nos anos de 2015 e 2020.

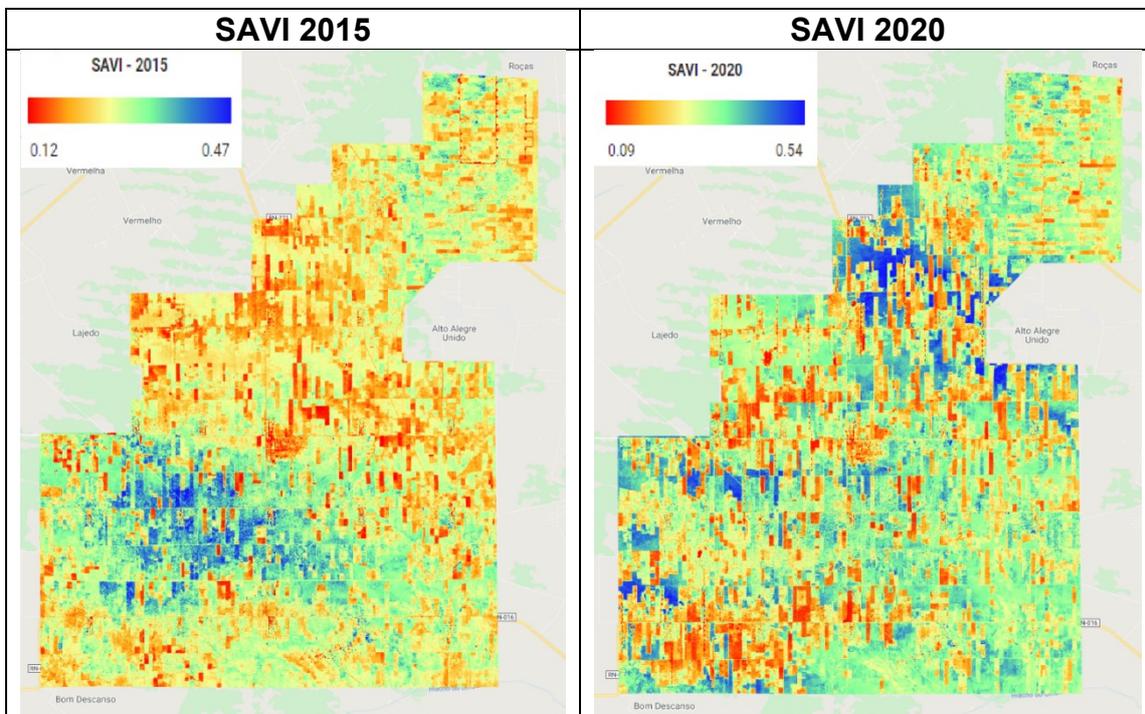
De acordo com a Figura 3 observa-se que apesar dos anos estudados terem apresentado volume de precipitações diferenciadas, por se tratar de imagens do período de estiagem os valores de mínimo e máximo do NDVI variaram pouco. No entanto, a distribuição espacial destes valores divergiu de um período para outro.

Quanto ao SAVI, verificou-se que os valores de mínimo e máximo, na Figura 4, apresentaram uma amplitude maior que o NDVI, justamente por sua capacidade em minimizar o efeito da presença de solo em meio à vegetação.

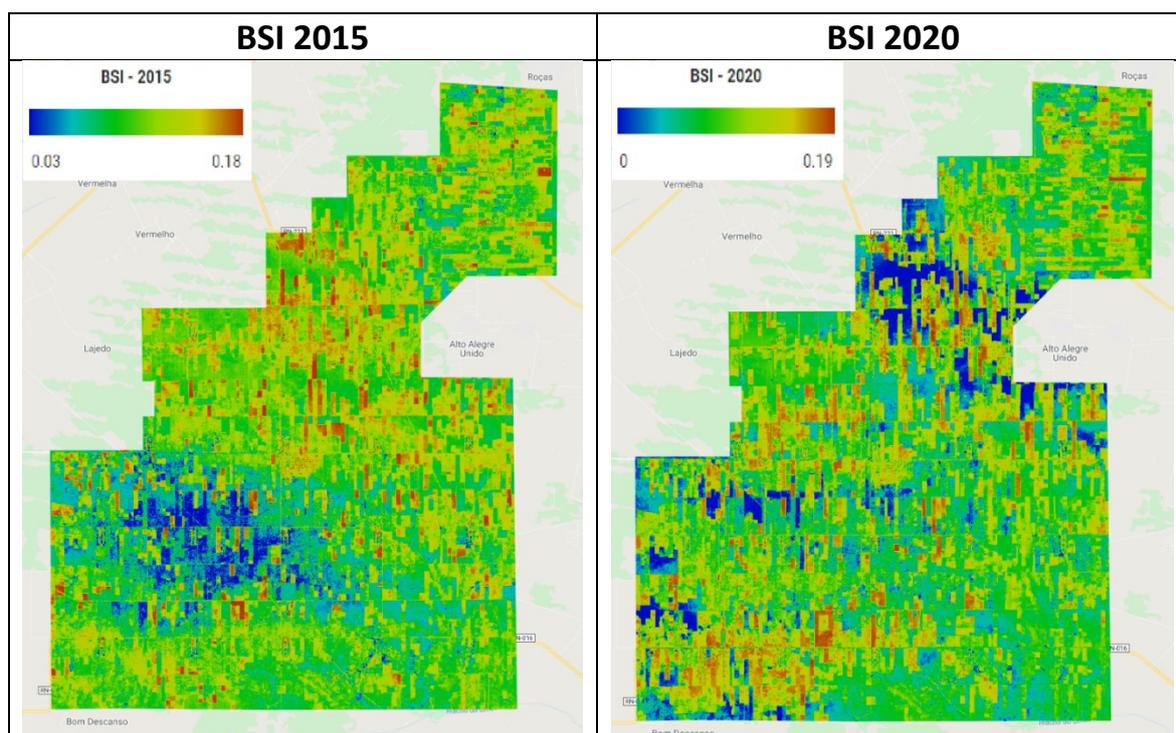
Na Figura 5, com base no BSI é possível diferenciar áreas de lavoura de outras classes de uso do solo, sobretudo por seu desempenho em identificar o solo descoberto. Dessa maneira, o BSI contribuiu, especialmente, para auxiliar na identificação de áreas de uso agrícola com cultivo de cajueiros.



**Figura 3 - NDVI do município de Serra do Mel em 2015 e 2020.**  
**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.



**Figura 4 - SAVI do município de Serra do Mel em 2015 e 2020.**  
**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.



**Figura 5** - BSI do município de Serra do Mel em 2015 e 2020.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.

A Tabela 1 apresenta os valores de mínimo e máximo para os índices espectrais de NDVI, SAVI e BSI nos dois períodos analisados.

**Tabela 1:** Valores de mínimo e máximo para os índices espectrais de NDVI, SAVI e BSI em 2015 e 2020.

Índice Espectral	2015		2020	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	0.08	0.31	0.08	0.37
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	0.12	0.47	0.09	0.54
Bare Soil Index (BSI)	0.03	0.18	0.00	0.19

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.

Analisando os valores apresentados pelos índices espectrais podemos observar que em 2015, período com estresse hídrico, os maiores valores de NDVI e SAVI e menores de BSI (relação inversa ao NDVI) se concentraram na porção sudoeste do município, realçando áreas com cultivos de cajueiros. Coincidentemente, esta porção sudoeste do município apresenta as maiores altitudes. Deste modo, precisamos considerar que vários fatores ambientais e sociais podem ter tido influência sobre a espacialização destes resultados, tais como: altitude, precipitações concentradas, capacidade de retenção de umidade no solo ou até mesmo o manejo das lavouras pelos agricultores de cada vila.

Ao compararmos os mesmos índices espectrais em 2020, ano este com precipitações acima da média, o comportamento foi diferenciado. Podemos observar que a distribuição dos maiores valores de NDVI e SAVI e menores de BSI estão espacialmente difusos. Isto é, encontram-se distribuídos espacialmente pelo município, ressaltando, principalmente, áreas de vegetação nativa.

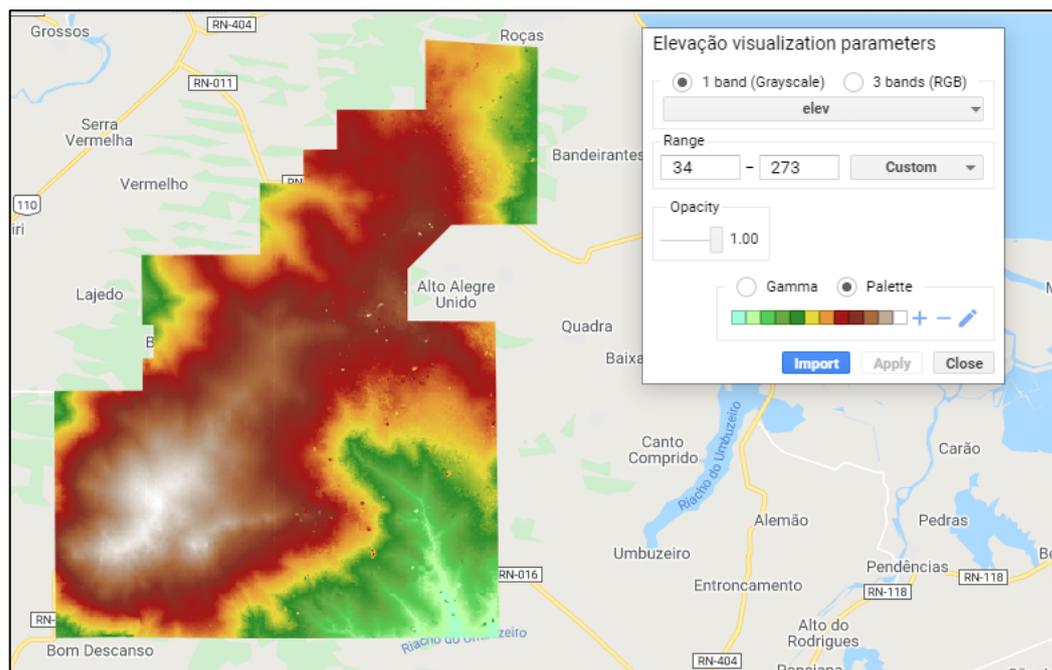
Além disso, nos dois períodos analisados, os menores valores de NDVI e SAVI e maiores de BSI caracterizaram áreas desprovidas de vegetação como ruas, edificações, parques de energia eólica e solo exposto.

Poelking *et al.* (2007) ao estudarem a dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico com NDVI esclarecem alguns pontos importantes quando analisamos índices de vegetação. Para os autores a vegetação tem reflectância baixa na região da luz visível, devido a clorofila que absorve a radiação solar para permitir a fotossíntese, e alta na do infravermelho próximo, pois o tecido das folhas tem baixa absorção desses comprimentos de onda. Já a cobertura vegetal com estresse hídrico tende a absorver menos radiação solar, aumentando sua reflectância no espectro visível e a absorver mais no infravermelho próximo. Assim, a diferença entre as reflectâncias nesses comprimentos de onda tende a decrescer quanto maior for o nível de estresse hídrico da cobertura vegetal (POELKING *et al.*, 2007).

### **3.2. Bandas auxiliares de elevação e declividade**

Observamos a necessidade de incluir mais informações a fim de auxiliar o classificador *Random Forest* a identificar corretamente as classes desejadas, sobretudo na distinção entre as classes de vegetação nativa e de áreas cultivadas. Sendo assim, visando aprimorar a classificação incluímos dados de elevação e de declividade como bandas auxiliares na identificação das classes de uso e ocupação do solo em Serra do Mel.

A Figura 6 apresenta a variação de elevação observada em Serra do Mel a partir de dados do satélite Alos (JAXA/ALOS/AW3D30/V2\_2), com resolução espacial de 30m. A altitude mínima foi de 34 metros com as tonalidades esverdeadas até a altitude máxima de 273 metros com tonalidades do amarronzado ao branco.



**Figura 6** - Elevação do município de Serra do Mel-RN.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Verificou-se que o município apresenta uma pequena variação de altitude, mesmo assim considerou-se que as informações de declividade e elevação contribuíram para melhorar a classificação do uso do solo, auxiliando na distinção entre as classes no terreno, proporcionando uma redução do efeito “sal e pimenta” por toda a imagem classificada.

### 3.3. Classificação do uso e ocupação do solo

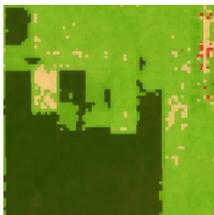
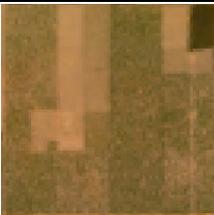
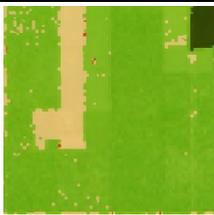
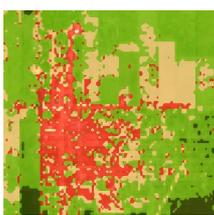
O processo para classificação do uso e ocupação do solo nas duas cenas analisadas se deu por meio da classificação supervisionada baseada em pixel, utilizando o método de aprendizagem de máquina *Random Forest* com 50 árvores de decisão. Adotamos 50 árvores de decisão considerando a aplicação de testes estatísticos e análise dos resultados da classificação do ponto de vista qualitativo (análise visual) e quantitativo (acurácia).

Foram utilizadas quatro classes temáticas para distinguir os diferentes usos identificados na área de estudo: solo exposto, vegetação nativa, área cultivada e área urbana. O Quadro 1 apresenta as chaves de identificação das classes mapeadas.

Para cada classe temática foram utilizadas em média 60 amostras de treinamento e 100 amostras de validação do tipo ponto. Geralmente na literatura utiliza-se a base de

70% de amostras de treinamento para 30% de amostras de validação. Entretanto, a média de pontos adotada neste trabalho foi produto da realização de testes exaustivos com diferentes conjuntos de pontos amostrais até encontrarmos um resultado que melhor representasse as classificações em Serra do Mel. Observa-se que para cada área de estudo existirão particularidades e necessidades de utilização de pontos amostrais em quantidades diferenciadas. Utilizou-se, também, o Google Earth Pro como ferramenta auxiliar na verificação das amostras de treinamento e validação considerando as imagens de altíssima resolução disponibilizadas pela Google.

**Quadro 1:** Chave de identificação das classes mapeadas.

Classe Temática	Landsat 8 - OLI	Google Earth Pro	Classificação	Descrição Sucinta
Solo Exposto Legenda: Amarelo Cor: fff189 ID: 0				Áreas de solo descoberto. Áreas de uso agrícolas sem cobertura vegetal.
Vegetação Nativa Legenda: Verde Escuro Cor: 205200 ID: 1				Vegetação nativa composta pelos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo. As árvores e/ou arbustos que apresentam uma alta densidade de suas copas impedindo a visualização do solo. As árvores e/ou arbustos apresentam-se espaçados, sendo possível a visualização do solo e/ou vegetação do estrato herbáceo.
Área Cultivada Legenda: Verde Claro Cor: 65e900 ID: 2				Áreas agrícolas com presença de vegetação antrópica cultivada. Em grande medida esta classe compreende o cultivo permanente de cajueiros comuns e/ou anões.
Área Urbana Legenda: Vermelho Cor: ff0000 ID: 3				Área central com aglomeração de edificações. Área urbanizada.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.

Durante o processo de classificação do ano de 2015, devido às condições de estiagem prolongada, foi necessário subdividir a coleta de amostras de vegetação em duas subclasses: vegetação aberta e vegetação densa. Compreendeu-se como vegetação aberta as árvores e/ou arbustos nativos que se apresentam espaçados, sendo possível a visualização do solo e/ou vegetação do estrato herbáceo. Já a vegetação densa é composta pelos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo que apresentam alta densidade de suas copas impedindo a visualização do solo. Esse procedimento foi importante para conseguirmos mapear adequadamente a classe temática de vegetação, considerando a existência de diferentes densidades na área de estudo.

Após a classificação final da imagem aplicou-se a operação morfológica *Focal Mode* com o objetivo de atenuar o efeito “sal e pimenta” gerado pela classificação. Além disso, essa função deixa os contornos das classes mais suavizadas e, conseqüentemente, mais naturais.

### 3.4. Avaliação da precisão da classificação

A avaliação da exatidão da classificação de Serra do Mel foi realizada a partir do cruzamento de informações geradas pela classificação juntamente com as amostras de validação distribuídas por toda a área de estudo. Dessa maneira, avaliou-se a matriz de confusão, bem como foram geradas as métricas do coeficiente Kappa e exatidão global para as duas imagens analisadas.

Conforme a Tabela 2, a acurácia global para a classificação de 2015 foi de 0.970 e o coeficiente Kappa 0.957. Em 2020, a acurácia global apresentou 0.948 de confiança e coeficiente Kappa 0.924. Cabe salientar a importância da correlação entre a análise qualitativa (amostras de treinamento) com a análise quantitativa (amostras de validação) de modo a obter-se uma avaliação satisfatória da classificação do uso e ocupação do solo.

**Tabela 2:** Acurácia da classificação.

<b>Acurácia</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
Acurácia Global	0.970	0.948
Coeficiente Kappa	0.957	0.924

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.

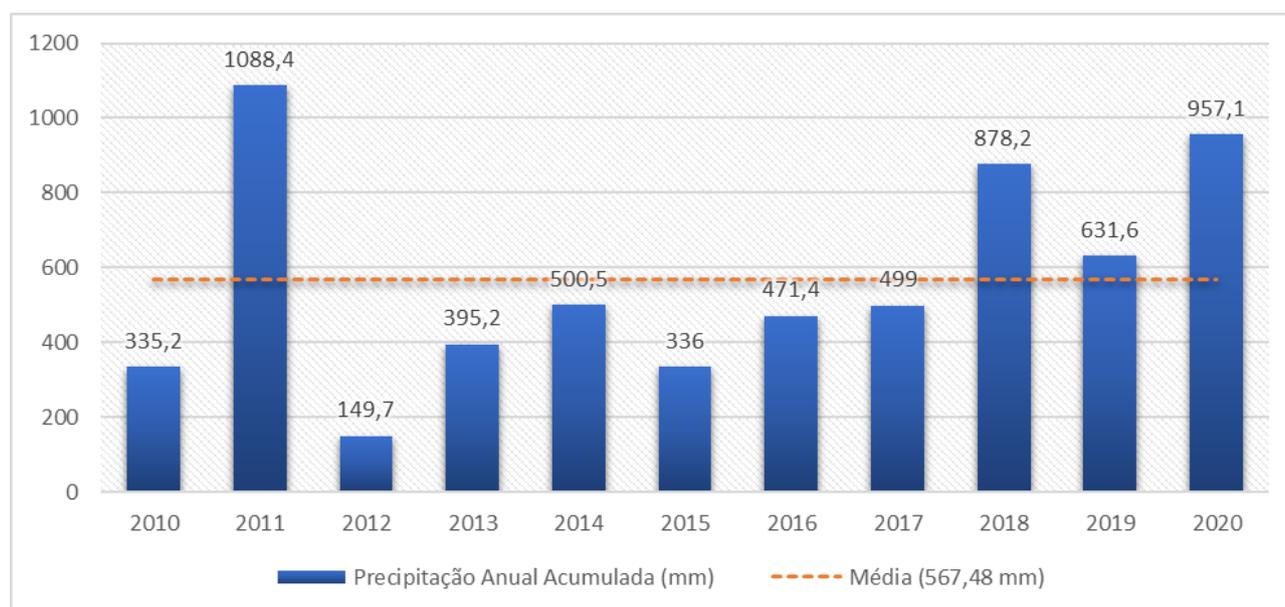
Os códigos utilizados neste trabalho podem ser acessados por meio dos endereços: classificação datada de agosto de 2015 - <https://code.earthengine.google.com/cd8c195>

[fea28efc787c1405dda5aa113](https://code.earthengine.google.com/dafa28bd773ba27db0399606bfa7c22d) e de setembro de 2020 - <https://code.earthengine.google.com/dafa28bd773ba27db0399606bfa7c22d>.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise da precipitação pluviométrica

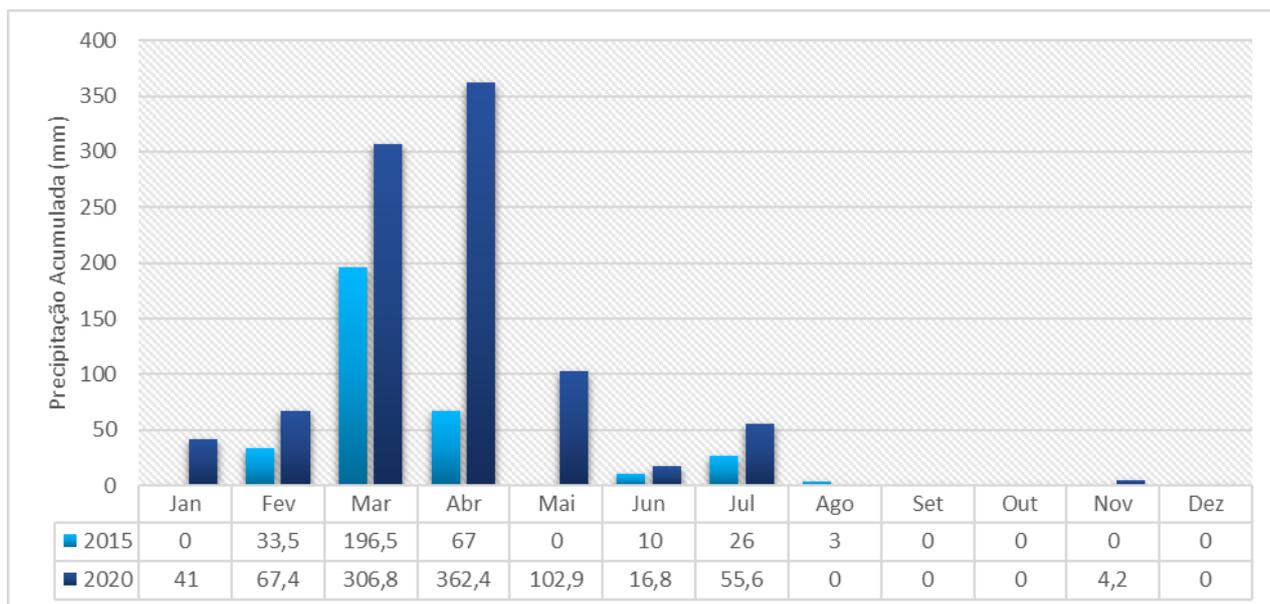
De acordo com os dados pluviométricos do município de Serra do Mel (Gráfico 1), disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), observamos durante o período de 2012 a 2017 houve precipitações abaixo da média. Em contrapartida, nos anos subsequentes de 2018 a 2020 as precipitações voltaram à normalidade.



**Gráfico 1** - Precipitação anual acumulada (mm) no município de Serra do Mel entre os anos de 2010 a 2020. **Fonte:** EMPARN, 2021. Organizado pelos autores.

Cultivos em regime de sequeiro, ou seja, que não é irrigado, possuem total dependência das precipitações pluviométricas locais. Grandes períodos de seca, como o que ocorrera nos cinco anos mencionados podem trazer sérios prejuízos no processo produtivo, tais como a redução da produtividade e/ou até mesmo a perda das áreas cultivadas.

Analisando, especificamente, os índices pluviométricos mensais dos anos de 2015 e 2020, verificou-se que em ambos os casos, as precipitações concentraram-se no primeiro semestre do ano. Distinguindo-se, claramente, o período chuvoso do período de estiagem (Gráfico 2).



**Gráfico 2** - Precipitação mensal acumulada (mm) no município de Serra do Mel nos anos de 2015 e 2020.  
**Fonte:** EMPARN, 2021. Organizado pelos autores.

Também observou-se que, em 2015 houve uma precipitação anual acumulada de 336 mm o que caracterizou um ano muito seco de acordo com a escala estabelecida pela EMPARN (2021). Já em 2020, o cenário foi diferente, com índice pluviométrico superior ao ano de 2015, totalizando uma precipitação acumulada de 957,10 mm, o que caracterizou um ano chuvoso conforme a mesma escala de análise.

#### 4.2. Análise do uso e ocupação do solo

Na perspectiva de compreender a dinâmica de uso e ocupação do solo do município de Serra do Mel, foi realizado o mapeamento com duas imagens do período de estiagem: a primeira datada de agosto de 2015 representando o período marcado pela seca severa com precipitações abaixo da média; e a cena de setembro de 2020, terceiro ano seguido com precipitações normais. As Figuras 7 e 8 apresentam a espacialização do uso e ocupação do solo em Serra do Mel nos anos de 2015 e 2020, respectivamente. Ambas as figuras indicam a distribuição das classes analisadas: áreas cultivadas, vegetação nativa, solo exposto e área urbana.

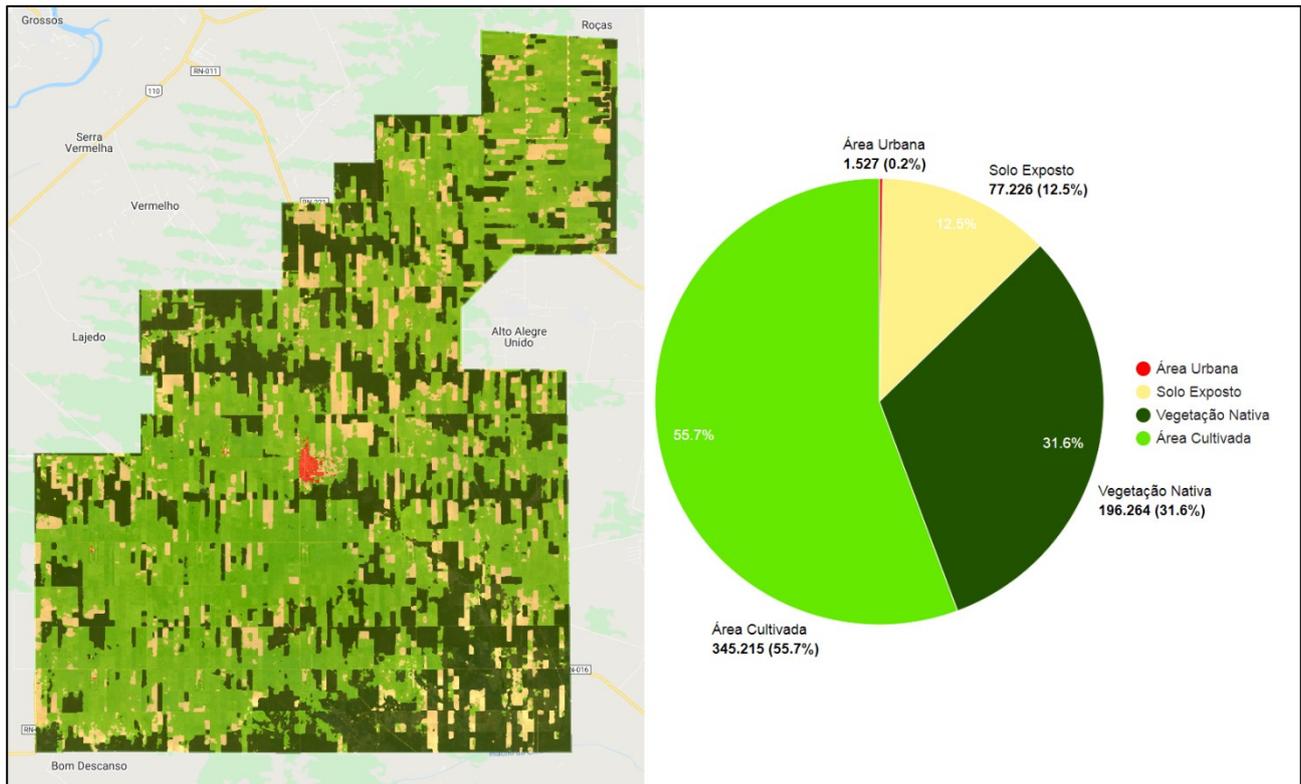


Figura 7 - Espacialização do uso e ocupação do solo do município de Serra do Mel – RN em 2015.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2022.

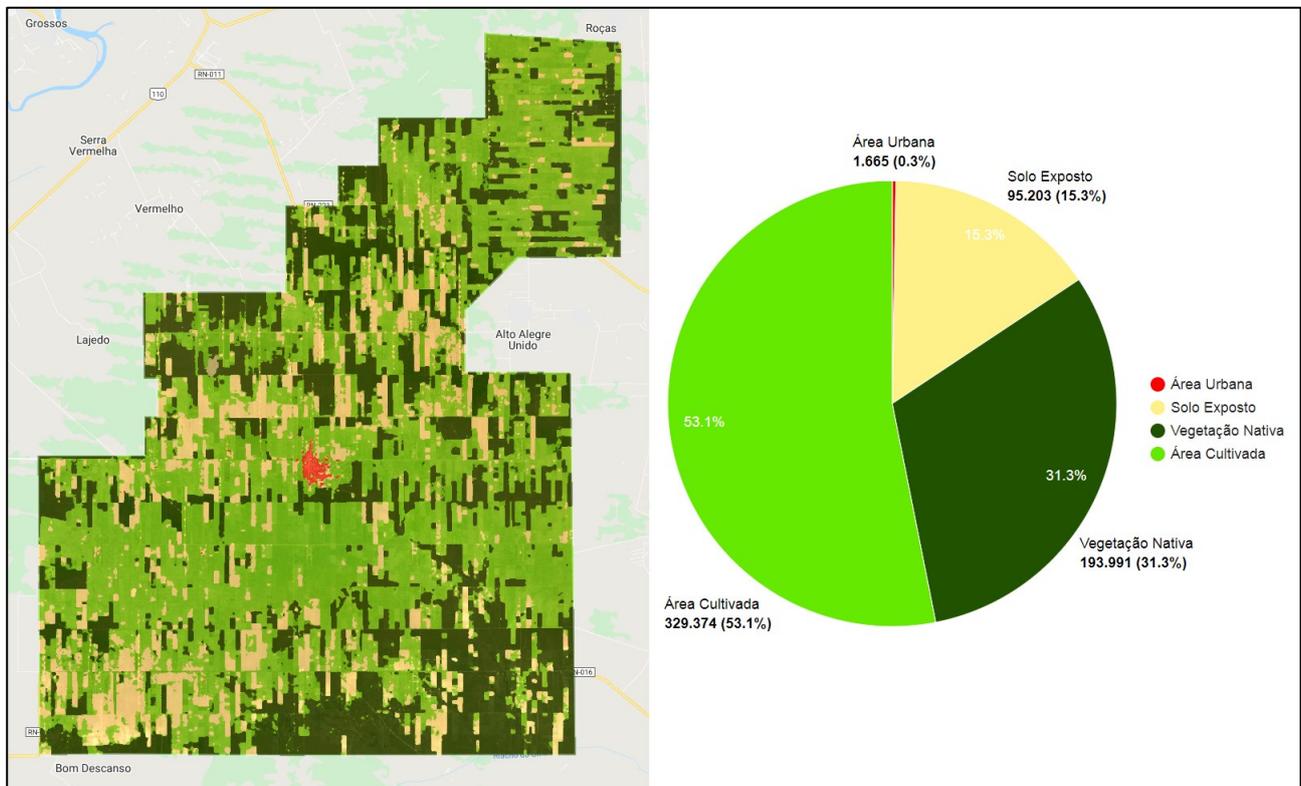


Figura 8 - Espacialização do uso e ocupação do solo do município de Serra do Mel – RN em 2020.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2022.

A Tabela 3 apresenta os valores em quilômetros quadrado e o percentual de áreas de cada uma das classes de uso e ocupação do solo mapeadas no município de Serra do Mel. Observou-se que a maior parte da área de estudo está sendo explorada pelas atividades agrícolas com cultivos permanentes de cajueiros.

**Tabela 3:-** Extensão territorial (Km<sup>2</sup>) e percentual de cada classe temática entre 2015 e 2020, Serra do Mel, Rio Grande do Norte.

Classes Temáticas	Área				Alterações Observadas 2020-2015
	2015 (km <sup>2</sup> )	2015 (%)	2020 (km <sup>2</sup> )	2020 (%)	
Área Cultivada	345,215	55,7	329,374	53,1	-15,841
Vegetação Nativa	196,264	31,6	193,991	31,3	-2,273
Solo Exposto	77,226	12,5	95,203	15,3	17,977
Área Urbana	1,527	0,2	1,665	0,3	0,138
Total	620,232	100	620,233	100	-

**Fonte:** Resultados da pesquisa, 2022.

No ano de 2015 predominava, no município de Serra do Mel, as áreas cultivadas com 55,7% da superfície do município; em seguida as áreas de vegetação nativa (Caatinga) ocupando 31,6% do território; a classe de solo exposto representando 12,5% da área estudada; e área urbana com um percentual de 0,2%.

Com relação ao ano de 2020, a classe de área cultivada sofreu uma redução de 2,6% de sua área, que passou de 55,7% em 2015 para 53,1% em 2020. Enquanto isso, a classe de solo exposto apresentou um acréscimo de 2,8% de sua área, passando de 12,5% em 2015 para 15,3% em 2020. As áreas com vegetação nativa se mantiveram quase que inalteradas, sofrendo uma redução de apenas 0,3% em relação a 2015, isto é, passou de 31,6% para 31,3% do território. No que se refere a área urbana foi observado um sutil acréscimo de 0,1%, ou seja, a área passou de 0,2% em 2015 para 0,3% em 2020.

De um modo geral, os resultados desta pesquisa de classificação do uso e ocupação do solo em Serra do Mel revelaram que de 2015 para 2020 houve redução de áreas cultivadas e, em menor proporção, de áreas de vegetação nativa. Em contrapartida, houve o crescimento de áreas de solo exposto no município.

Segundo Brainer e Vidal (2020), a partir de 2012 houve um período bastante crítico na cajucultura brasileira, em especial no estado do Rio Grande do Norte, cuja seca aliada

à ocorrência de pragas e doenças como a mosca branca, antracnose e oídio, contribuíram para o elevado índice de mortalidade dos cajueiros. Dessa maneira, a estiagem causou a redução de 60,7% das áreas produtoras entre 2012 e 2018 (BRAINER; VIDAL, 2020).

Em Serra do Mel, de acordo com os resultados da pesquisa de Sobrinho Júnior, Morais e Silva (2020) que mapearam o uso do solo do município, no período de 2014 a 2019, relataram que na percepção dos agricultores da região, houve a mortalidade de cajueiros em decorrência da irregularidade e do baixo volume pluviométrico nos anos de 2012 a 2016. Ainda segundo os autores, há relatos dos agricultores sobre podas drásticas das plantas secas e comercialização para minimizar os impactos com as perdas nos cultivos.

Segundo Oliveira *et al.* (2018) Serra do Mel é o município mais prejudicado, pois a cajucultura é sua principal fonte econômica. Os autores apontam que de acordo com os próprios produtores da região o cultivo de caju em Serra do Mel vem, ao longo do tempo, sendo prejudicado por dois fatores em especial: a seca e a mosca branca (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Em entrevista realizada com os agricultores de Serra do Mel, Oliveira *et al.* (2018) descrevem que um dos produtores da vila Piauí relatou que já perdeu mais de 85% dos seus cajueiros; outro produtor da vila Alagoas relatou que a estiagem e a mosca branca já devastaram parte dos seus cajueiros, diminuindo a sua produção em menos da metade.

Nesse sentido, a redução das áreas cultivadas e, conseqüentemente, o crescimento das áreas de solo exposto pode estar associado a mortalidade dos cultivos de cajueiros devido ao prolongado período de estiagem, bem como a ocorrência de pragas e doenças nas lavouras de Serra do Mel.

Nessa perspectiva, o desenvolvimento da atividade de cajucultura em Serra do Mel necessita da adoção de estratégias que minimizem o efeito da estiagem e das pragas nas lavouras. Um desses mecanismos de enfrentamento pode ser o melhoramento genético das plantas, ou seja, a substituição paulatinamente dos cajueiros gigantes por cajueiros anão precoce, variedade essa mais resistentes à seca. Com isso, os produtores podem experimentar um ganho na produtividade da castanha de caju. Além disso, também é preciso considerar a importância dos incentivos com assistência técnica e acesso ao crédito, juntos tais mecanismos de enfrentamento podem potencializar a economia do município.

No que tange a redução da vegetação nativa no período estudado, observamos o crescimento da instalação de vários parques eólicos no município por meio de imagens de

satélite. De acordo com Sobrinho Júnior (2020) a instalação de parques eólicos no município teve início a partir de 2015 e, ao longo dos anos, vem ganhando cada vez mais espaço. Atualmente já são 14 parques eólicos em operação, 11 em construção e 11 autorizados com construção não iniciada (SOBRINHO JÚNIOR, 2020).

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido com intuito de analisar as formas de uso e ocupação do solo do município de Serra do Mel no Rio Grande do Norte, visto que se trata de uma área de grande importância para o cultivo e a produção de castanha de caju no Nordeste brasileiro.

A utilização de técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto em ambiente de programação em nuvem do Google Earth Engine é um avanço técnico-científico para a realização de estudos socioambientais. O processamento em nuvem proporciona mais eficiência ao reduzir consideravelmente o tempo das operações para classificação, além disso, considera-se vantajosa a possibilidade de unir uma equipe de trabalho em um dado projeto por meio do compartilhamento de *scripts*, bem como poder acessá-lo de qualquer parte do mundo com acesso à internet, culminando na integração de pessoas e dados.

Por meio da aplicação de métodos e técnicas foi possível elaborar os mapas temáticos representando os cenários de uso e ocupação do solo, que auxiliaram na compreensão das relações entre a sociedade e a natureza na área do município de Serra do Mel. Desse modo, a caracterização do uso e ocupação do solo foi importante para compreender a dinâmica e as transformações sofridas pelo município durante o intervalo de cinco anos.

Concluiu-se que a utilização dos três índices espectrais (NDVI, SAVI e BSI) aliado às bandas auxiliares de elevação e declividade foram importantes ferramentas para auxiliar no processo de mapeamento do uso e ocupação do solo em Serra do Mel, sobretudo no auxílio à classificação de áreas complexas com necessidade de distinção entre áreas cultivadas e áreas de vegetação nativa.

Em vista do exposto, destaca-se a importância de se estabelecer e executar medidas que minimizem os efeitos negativos de secas prolongadas. Variedades de cajueiros mais resistentes e/ou até mesmo à possibilidade de implantação de mecanismos de irrigação, por meio da captação de água através de poços tubulares

poderia ser uma alternativa à fragilidade do cultivo de caju frente aos eventos climáticos extremos.

Assim sendo, espera-se que este trabalho possa servir de subsídio ao planejamento e gestão territorial do município, visando equacionar o desenvolvimento de atividades agrícolas com a conservação dos recursos naturais. Além disso, este trabalho pode servir como aporte metodológico para aplicação de outros estudos de mapeamento do uso e ocupação do solo utilizando a plataforma de processamento de dados em nuvem do Google Earth Engine.

## AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa do Programa de Capacitação Institucional (PCI) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo fomento à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, A; CARVALHO, F. **Mortos pela seca, cajueiros são cortados e viram lenha no RN**. G1/RN. Disponível em: <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2015/11/mortos-pela-seca-cajueiros-sao-cortados-e-viram-lenha-no-rn.html>. Acesso em: 03 jan. 2022.

BARBOSA, A. H. DA S.; CARVALHO, R. G.; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 128-143, 2017.

BRAINER, M. S. DE C. P.; VIDAL, M. DE F. Cajucultura. **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 5, n. 114, 2020.

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; GARCIA, J. V. C.; BROEDEL, E.; ALVALÁ, R.; RIBEIRO NETO, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, p. 1-20, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE - EMPARN. **Meteorologia**. Precipitação Pluviométrica. Disponível em: <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br/inicio>. Acesso em: 08 nov. 2021.

HUETE, A. R. Af Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 205-309, 1988.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE - IDEMA. Perfil do seu município: Serra do Mel. **IDEMA**, v. 10, p. 1-22, 2008.

OLIVEIRA, A. B. B; SILVA, R. A; SIQUEIRA, E. S; SIQUEIRA FILHO, V. O empreendedorismo rural na cajucultura: um estudo de caso. **Holos**, v. 34, v. 5, 2022.

POELKING, E. L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R. S. D. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 4145-4150.

POLYKRETIS, C.; GRILLAKIS, M. G.; ALEXAKIS, D. D. Exploring the impact of various spectral indices on land cover change detection using change vector analysis: A case study of Crete Island, Greece. **Remote Sens.**, v. 12, p. 319, 2020.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington, 1973. p. 309-317.

SILVA-LUZ, C. L.; PIRANI, J. R. **Anacardiaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB4381>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SOBRINHO JÚNIOR, M. F.; MORAIS, E. R. C. DE.; SILVA, P. C. M. DA. Soil use and occupation of wind farm agricultural areas. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, n. 3, p. 1-12, 2020.

SOBRINHO JÚNIOR, M. F. **Percepção dos impactos socioeconômicos e ambientais dos parques eólicos em áreas agrícolas: estudo de caso do município de Serra do Mel-RN**. 2020. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade) - Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2020.

Recebido: 02.08.2022

Aceito: 19.12.2022