



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO DE TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO

KALYNE RODRIGUES DE SOUSA

MAPEAMENTO DAS ÁREAS POTENCIAIS PARA O PLANTIO DE SOJA NO
MUNICÍPIO DE SANTA FILOMENA-PI

TERESINA-PI

2020

KALYNE RODRIGUES DE SOUSA

MAPEAMENTO DAS ÁREAS POTENCIAIS PARA O PLANTIO DE SOJAS NO MUNICÍPIO
DE SANTA FILOMENA-PI

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Tecnologia em Geoprocessamento do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Esp. Daniel Silva Veras

TERESINA-PI

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Sousa, Kalyne Rodrigues de
S725m Mapeamento das áreas potenciais para o plantio de soja no município de Santa Filomena-PI / Kalyne Rodrigues de Sousa. - 2020.
46 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Geoprocessamento) - Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2020.
Orientador : Prof. Esp. Daniel Silva Veras.

– Soja. 2. Soja - Áreas potenciais. 3. Sensoriamento remoto. 4. Geoprocessamento. I.Título.

CDD - 621.3678

KALYNE RODRIGUES DE SOUSA

MAPEAMENTO DAS ÁREAS POTENCIAIS PARA O PLANTIO DE SOJA NO MUNICÍPIO
DE SANTA FILOMENA-PI

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Tecnologia em Geoprocessamento do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. Campus Teresina Central.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Daniel Silva Veras (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Antônio Joaquim da Silva
Instituição Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Esp. Adriano D'Carlos Batista Oliveira
Instituição Federal do Piauí (IFPI)

Aos meus professores, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho, em primeiro lugar, a Deus por sua imensa bondade e presença constante em minha vida. Sempre serei grata por sua proteção.

Agradeço especialmente aos meus preciosos pais. Mãe, você é exemplo de equilíbrio e determinação, seu afeto, preocupação e carinho são características que levo para toda minha vida. Pai, suas palavras e seu carinho sempre foram essenciais para mim, obrigado pelo carinho e esforço contínuo em tornar tudo isso possível.

Dedico a minha filha Lara Kalyne e meu esposo Markys Daniel, por estarem comigo todos os dias distribuindo amor e carinho. À minha querida irmã, por sempre está ao meu lado me ajudando; a minha amada madrinha pelo enorme carinho; a minha amiga Valéria sempre à disposição atendendo meus pedidos. Agradeço ainda os demais familiares pelo apoio e confiança depositada em mim.

Aos amigos que o curso me deu: Alan Falcão, Débora Abreu, Felipe Pereira, Márcio Fabrício, Grenda Juara e Abílio Neto, sou muito grata por sempre estarem prontos para me ajudar, pelos carinhos, conselhos, pelas risadas e conversas que contribuíram para o meu crescimento profissional. Vocês são essenciais em minha vida.

Ao técnico do laboratório, Felipe Dantas, por atender as minhas solicitações no decorrer do curso e agora no trabalho de conclusão do curso.

Quero deixar meu eterno agradecimento ao meu orientador Daniel Veras, por ter me acolhido na monografia sendo paciente, conselheiro e por compartilhar seus conhecimentos, me fazendo acreditar no meu potencial. Sou muito grata a ele.

A todos, meu eterno agradecimento. Amo cada um!

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

Filipenses 4: 13

RESUMO

A produção de soja está entre as atividades econômicas que, nas últimas décadas, apresentaram crescimentos mais expressivos. No contexto mundial, o Brasil possui significativa participação na oferta e na demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja. Isso tem sido possível pelo estabelecimento e progresso contínuo de uma cadeia produtiva bem estruturada e que desempenha papel fundamental para o crescimento econômico social de várias regiões do País. No Piauí, a cultura de soja aumentou sua área plantada cerca de 3.500 vezes no período compreendido entre as safras 1987/1988 e 2015/2016, partindo de 0,2 mil hectares para cerca de 714 mil hectares. Atualmente as aplicações de sensoriamento remoto e geoprocessamento em análises ambientais têm se mostrado muito eficiente, levando em consideração a facilidade da representação da espacialidade cartográfica do fenômeno analisado e a integração dos dados pelo mapeamento temático. O objetivo do presente trabalho foi realizar o mapeamento das áreas potenciais para o plantio de soja no município de Santa Filomena, através de técnicas de geoprocessamento. Para isso, utilizamos álgebra de mapas para identificar as áreas disponíveis a partir dos mapas de Uso da Terra, Declividade, Pedologia, Apps entre outros. Foram identificados 196.991 hectares de áreas que ainda podem ser exploradas. Os resultados mostraram-se satisfatórios, alcançando os objetivos propostos.

Palavras-chave: Soja. Geoprocessamento. Sensoriamento remoto. Áreas potenciais.

ABSTRACT

The production of soybeans is among the economic activities that, in the last decades, presented more expressive growths. In the world context, Brazil has a significant participation in the supply and demand of products from the soybean agroindustrial complex. This has been possible through the establishment and continuous progress of a well-structured production chain that plays a fundamental role for the socio-economic development of several regions of the country. The soybean crop in the state of Piauí assumed an important scenario, soybean production increased by 3,500 times, with the principle of 0.2 thousand hectares, in the 1987-1988 crop, for an estimated 714 thousand hectares in the 2015-2016 harvest (CONAB, 2018). Currently the applications of remote sensing and geoprocessing in environmental analyzes have been very efficient, considering the ease of representation of the cartographic spatiality of the analyzed phenomenon and the integration of the data by thematic mapping. The objective of this work was to map the potential areas for soybean planting in the municipality of Santa Filomena, using geoprocessing techniques. For this, supervised classification was performed using images of Landsat 8 satellites of the year 2018. The land use mapping of the municipality showed the locations where soybean cultivation is cultivated among other classes. After the generation of all the other maps an area subtraction operation was done, that is, map algebra, where the areas that are still available for agricultural cultivation were identified. The results were satisfactory, reaching the proposed objectives.

Keywords: Soy. Geoprocessing. Remote sensing. Potential areas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1	- Dados das imagens empregadas	28
Quadro 2	- Classe de Uso e Ocupação do Solo	29
Quadro 3	- Classe de Revelo e Declividade existentes	30
Gráfico 1	- Distribuições das classes	34
Mapa 1	- Mapa de localização de Santa Filomena	24
Mapa 2	- Mapa de Uso e Ocupação do solo	33
Mapa 3	- Mapa das áreas agrícolas no município de Santa Filomena- PI.....	35
Mapa 4	- Mapa das áreas de Preservação Permanentes	37
Mapa 5	- Mapa de declividade	38
Mapa 6	- Mapa de Reclassificação em duas classes	39
Mapa 7	- Mapa de Pedologia	40
Mapa 8	- Mapa da reserva legal	41
Mapa 9	- Mapa das Áreas disponível para a produção de soja	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APPS	Áreas de Preservação Permanentes
AM/FM	Automated Mapping/facilities Management
CADD	Computer-Aided Drafting and Design
CEPRO	Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETM +	Enhanced Thematic Mapper Plus
GIS	Geographic Information Systems
GNU	Licença Pública Geral
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICRST-I	Earth Resources Technology Satellite-I
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	Infrared
LIS	Land Information Systems
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	National Aeronautics And Space Administration
OLI	Operational Land Imager
PIB	Produto Interno Bruto
PPL	Produção Primária Líquida
SCP	Semi-Automatic Classification Plugin
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior

SEMAR	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SP	São Paulo
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
USDA	Departamento de Agricultura Americano
USGS	United States Geological Survey
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 CULTURA DA SOJA.....	15
2.2 SOJA NO BRASIL.....	17
2.3 SOJA NO PIAUÍ	19
2.4 AS GEOTECNOLOGIAS.....	20
2.5 APLICAÇÕES DE GEOPROCESSAMENTO PARA O MAPEAMENTO DA AGRICULTURA.....	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 ÁREA DE ESTUDO	26
3.2 METODOLOGIA.....	26
3.3 DADOS ORBITAIS	28
3.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	28
3.5 MAPEAMENTO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	28
3.6 MAPEAMENTO DA DECLIVIDADE.....	29
3.7 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTES (APPS).....	30
3.8 MAPEAMENTO DOS SOLOS.....	31
3.9 MAPEAMENTO DA RESERVA LEGAL.....	31
3.10 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DISPONÍVEIS PARA A PRODUÇÃO DE SOJA.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 MAPA USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	32
4.1.1 MAPA DAS ÁREAS AGRÍCOLAS.....	35
4.2 MAPA DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTES (APPS).....	36
4.3 MAPA DE DECLIVIDADE	38
4.4 MAPA DE PEDOLOGIA.....	40
4.5 MAPA DE RESERVA LEGAL.....	41
4.6 MAPA DAS ÁREAS DISPONÍVEIS PARA A PRODUÇÃO DE SOJA.....	42
6 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A produção de soja está entre as atividades econômicas que, nas últimas décadas, apresentaram crescimentos mais expressivos. Isso pode ser atribuído a diversos fatores, dentre os quais: desenvolvimento e estruturação de um sólido mercado internacional relacionado ao comércio de produtos do complexo agroindustrial da soja; consolidação da oleaginosa como importante fonte de proteína vegetal, especialmente para atender demandas crescentes dos setores ligados à produção de produtos de origem animal; geração e oferta de tecnologias, que viabilizaram a expansão da exploração da soja para diversas regiões do mundo (CONAB, 2018).

No contexto mundial, o Brasil possui significativa participação na oferta e na demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja. Isso tem sido possível pelo estabelecimento e progresso contínuo de uma cadeia produtiva bem estruturada e que desempenha papel fundamental para o crescimento econômico-social de várias regiões do País. Além disso, o Brasil se beneficia de uma vantagem competitiva em relação aos outros países produtores: o escoamento da safra brasileira ocorre na entressafra americana, quando os preços atingem as maiores cotações. Desde então, o país passou a investir em tecnologia para adaptação da cultura às condições brasileiras, processo liderado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CONAB, 2018)

Para destacar a importância do referido complexo para a economia nacional, pode-se utilizar dados estatísticos. O plantio de soja na safra 2017/2018, apresentou um aumento da área plantada de 3,2%, saindo de 33.909,4 mil hectares na safra de 2016/2017 (CONAB, 2018).

Desde o início na safra de 1993-1994, o aumento da produção evoluiu de 0,2 mil toneladas para um volume estimado de 2 milhões de toneladas na safra de 2015-2016. Dois principais fatores que permitiram esta evolução para a produção desse patamar: o primeiro se aplica em toda a expansão da área de produção, que aumentou cerca de 3.500 vezes, sendo o princípio de 0,2 mil hectares, na safra 1987-1988, para a estimativa de 714 mil hectares na safra 2015-2016; e o segundo, porém mais importante se refere aos ganhos significativos de produtividade das lavouras no estado do Piauí, que na safra 1987-1988 rendiam poucos 1.000 quilos de soja por hectare e na safra 2015-2016 com a probabilidade de ganho de 2.886 kg/ha, segundo dados do (CONAB 2015).

Atualmente as aplicações de sensoriamento remoto e geoprocessamento em análises ambientais têm se mostrado muito eficiente, levando em consideração a facilidade da representação da espacialidade cartográfica do fenômeno analisado e a integração dos dados pelo mapeamento temático. Essas tecnologias tornaram-se uma prática imprescindível para os estudos

dessa natureza, pois usufrui de técnicas que podem auxiliar no monitoramento das áreas que já são usadas no cultivo agrícola, como também realizar estudos nas áreas sujeitas a futuras plantações.

O objetivo central deste estudo é realizar o mapeamento de áreas com potencial para serem utilizadas no plantio de soja no município Santa Filomena, utilizando técnicas de geoprocessamento e tendo fatores limitantes os solos, a declividade e a legislação ambiental vigente.

1.1 Objetivos

Geral

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho é necessário atingir alguns objetivos específicos, que são:

- Confeccionar um mosaico das imagens do satélite Landsat 8;
- Delimitar as áreas já ocupadas com culturas agrícolas;
- Delimitar as áreas de Preservação Permanente (APP);
- Delimitar áreas com declividade adequadas para a produção da lavoura;
- Identificar os solos das áreas potenciais para a cultura de soja;
- Delimitar as áreas potenciais ainda disponíveis para plantio de soja.

2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFICA

2.1 Cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tem como centro de origem o continente asiático, mais precisamente, a região correspondente à China Antiga. Há referências bibliográficas, segundo as quais, essa leguminosa constituía-se em base alimentar do povo chinês há mais de 5.000 anos. No início do século o grande produtor e exportador mundial de soja era a China. Sua produção chegava em torno de 2,5 milhões de toneladas e o comércio era bastante reduzido em volume, haja vista que este país consumia boa parte do que produzia (FREITAS, 2011).

Entre as safras de 1987/1988 e 2009/2010, enquanto a área cultivada cresceu 88,6%, a produção mundial foi ampliada em 150,7%. Nesse período, a área passou de 54 milhões de hectares para aproximadamente 102 milhões de hectares na safra 2009/10, já a produção mundial que em 1987/88 foi de 103,67 milhões de toneladas, na safra 2009/10 atingiu a marca de 259,89 milhões de toneladas (HIRAKURI e LAZZAROTTO, 2011).

O grande incremento na produção mundial de soja pode ser atribuído a diversos fatores, dentre os quais merecem destaque: o elevado teor de óleo (ao redor de 20%) e proteínas (em torno de 40%) de excelentes qualidades encontradas no grão; a soja é uma commodity padronizada e uniforme, podendo, portanto, ser produzida e negociada por produtores de diversos países, apresentando alta liquidez e demanda; e sobretudo nas últimas décadas, houve expressivo aumento da oferta de tecnologias de produção, que permitiram ampliar significativamente a área cultivada e a produtividade da oleaginosa (LAZZAROTTO & HIRAKURI, 2011).

O aumento no consumo mundial de soja está principalmente no crescente poder aquisitivo da população nos países em desenvolvimento, o que vem provocando uma mudança no hábito alimentar. Assim, observa-se cada vez mais a troca de cereais por carne bovina, suína e de frango. Tudo isso, resulta numa maior demanda de soja, ingrediente que compõe 70% da ração para esses animais (VENCATO et al., 2010). Não menos significativo é o crescente uso de biocombustíveis fabricados a partir do grão, resultado de um ascendente interesse mundial na produção e no consumo de energia renovável e limpa.

Dentre os fatores que contribuem nos preços do mercado internacional é a guerra entre China e Estados Unidos. O aumento dos preços internacionais depende exclusivamente da resolução da guerra comercial entre Estados Unidos e China, considerando que, na safra

2016/2017, mais de 61% das exportações americanas tiveram como destino à China. Já na safra 2017/2018, esse valor diminuiu para um pouco mais de 49%. Outro fator de possível variação dos preços internacionais é a safra sul-americana -, até o momento a estimativa de produção brasileira passou de 119,28 milhões de toneladas para 115,34 milhões de toneladas, e, a depender do andamento da colheita, esse valor deve reduzir mais ainda. Os problemas de clima seco e quente ocorridos em meados de dezembro de 2018 a produtividade começou a baixar e tem uma forte tendência de redução (USDA, 2019).

A safra 2018/2019 dos Estados Unidos já colhida é estimativa em 117,30 milhões de toneladas. Comparada com a safra 2017/18, houve um decréscimo de produção de um pouco mais de 2,22 milhões de toneladas (-1,86%), motivada pelas reduções de área americana, que na safra 2017/18 era de 36,22 milhões de hectares, que passou a ser estimada em 35,96 milhões de hectares, na safra 2018/19. Seguido pelo Brasil, as expectativas para a temporada 2018/19 mantém a tendência de crescimento da área plantada com a oleaginosa, atingindo 1,9% de crescimento em relação à safra passada, correspondendo ao plantio de 35.821,4 mil hectares. Para a Argentina, o USDA avalia que a safra 2018/19 seja de 57 milhões de toneladas, teve muitos problemas climáticos de poucas chuvas (seca) e temperaturas altas no decorrer da safra 2017/18, por este motivo, a safra em questão, teve uma redução tão alta (USDA, 2019).

Segundo o relatório divulgado no mês de fevereiro de 2019 o Departamento de Agricultura Americano – USDA estimou que a produção mundial de soja para a safra 2018/2019, será de 354,54 milhões de toneladas. Se comparado à safra 2017/2018 houve uma redução de 5,30%. Assim o Brasil passa a ser o maior produtor de soja do mundo, com 33% de toda produção mundial, logo em seguida vêm os Estados Unidos com 32,85% da produção mundial e, posteriormente, a Argentina com 15,80% da produção mundial.

A relação entre os estoques mundiais para safra 2018/2019 estão estimados em 86,70 milhões de toneladas, ou seja, 5,93% menores que o valor estimado para safra 2017/2018 de 92,16 milhões de toneladas. Um dos fatos mais importante deste relatório vem dos estoques de passagem americanos. Para a safra 2018/19, o Usda estima aumento que passará dos 14,43 milhões de toneladas, para 11,29 milhões de toneladas, ou seja, um valor 21,74%, que o da safra 2017/2018.

Hoje, a soja é cultivada, praticamente, em todo território nacional, desde as altas latitudes gaúchas até as baixas latitudes equatoriais tropicais, apresentando em muitas regiões, produtividades médias superiores à média obtida pela soja norte-americana. Esse nível de

produtividade tem sido possível, devido ao uso de cultivares devidamente adaptados à região tropical, que apresenta elevada incidência de luz, temperaturas adequadas e precipitação intensa e relativamente bem distribuída ao longo do ciclo fenológico da soja, além da adequada construção da fertilidade do solo, adubação equilibrada, evolução do sistema de plantio direto e adoção de práticas de manejo que visam a obtenção de alta produtividade. Vale lembrar, que o Brasil apresenta um grande potencial de multiplicar a sua atual produção, tanto pelo aumento da produtividade, quanto pela expansão da área cultivada (USDA, 2019).

As importações de soja mundiais para safra 2018/2019 estão estimadas em 159,54 milhões de toneladas, com um aumento de 5,11 % em relação à safra 2016/17. A China é o maior importador de soja do mundo, responsável por 64,56% de todas as importações mundiais. Em segundo lugar, vem a União Europeia com aproximadamente 9,25% das importações mundiais. O USDA prevê aumento nas importações de grãos de soja deste país, para a safra 2018/2019 e o valor das importações chinesas, estimado para próxima safra é 3,75%, maior que o da safra anterior, passando de 93,50 milhões para 97 milhões na safra 2016/17.

Segundo o USDA o Brasil é o maior exportador de soja em grãos do mundo, responsável por 44,68% de todas as exportações mundiais. Os Estados Unidos vêm em segundo lugar com 38,51% e a Argentina em terceiro lugar com 4,94%. Juntos, estes três países são responsáveis por 88,13% de todas as exportações mundiais.

O USDA estima que na safra 2018/19, o Brasil deva exportar em torno de 72,30 milhões de toneladas; valor menor 1,36% que o estimado na safra 2017/18, estimado em 73,30 milhões de toneladas. Na safra 2018/19, mesmo com uma possível taxação da soja americana em 25%, o Usda estima que os Estados Unidos deverão exportar por volta de 62,32 milhões de toneladas, isto é, um valor 10,90% maior que da safra 2017/2018, e 5,35% maior que da safra 2016/2017.

A China é o maior esmagador de soja do mundo responsável por cerca de 32,55% de todos os esmagamentos mundiais, somados aos esmagamentos dos Estados Unidos, com 17,32% dos esmagamentos mundiais, Argentina com 14,04% e Brasil com 13,78%, juntos, estes países respondem por 77,71% de todos os esmagamentos mundiais. O USDA estima que os esmagamentos chineses, para a safra 2018/2019, tenham uma redução de 3,5 milhão de toneladas, motivada por problemas de peste suína africana e gripe aviária que ocorrem na China, diminuindo o número de suas matrizes, e por consequência, restringindo o uso de farelo de soja e esmagamentos de soja em grãos se comparadas à safra anterior (2017/2018).

O USDA manteve na divulgação de fevereiro de 2019 os esmagamentos para a safra 2018/2019, com uma variação positiva de apenas 950 mil toneladas, entre as safras 2017/18 e 2018/19. Já na Argentina, quanto ao esmagamento ficou em torno de 6,27 milhões de toneladas a mais na safra 2018/2019, incentivada pelo aumento de produção que passou de 37,8 milhões de toneladas, na safra 2017/2018, para 55 milhões de toneladas na safra 2018/2019.

2.2 Soja no Brasil

Em meados no século XX, a soja veio dos Estados Unidos para o Brasil. O professor Gustavo Dutra em 1892, da Escola de Agronomia da Bahia, realizava experimentos onde os mesmos tiveram continuidade no Instituto Agrônomo de Campinas (SP) com estudo mais aprofundamentos e novas adaptações. Posteriormente começou a ser usada no Brasil exclusivamente para forragens e consumo de animais, nessa época ainda distante do uso industrial. Por volta de 1930, imigrantes japoneses vindos para o Brasil trouxeram sementes na bagagem e iniciaram o cultivo no interior de São Paulo. Porém o primeiro registro de cultivo intenso da soja foi na região Sul, no Estado do Rio Grande do Sul, município de Santa Rosa, pela similaridade climática com a origem na região sul dos Estados Unidos (HASSE, 1996; EMBRAPA, 2003).

Em 1914, no estado do Rio Grande do Sul, foi cultivada e estudada pelo Prof. E. Craig, na antiga Escola Superior de Agronomia e Veterinária da Universidade Técnica, precursora da atual Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Nesse Estado, a cultura apresentou evolução mais consistente e, em 1949, cerca de 18 mil toneladas constituíram a primeira exportação brasileira de soja. Por outro lado, o Estado do Paraná, atualmente grande produtor dessa leguminosa, iniciou seu cultivo em 1954, em substituição aos cafezais dizimados por fortes geadas (BLANC et al, 2018).

A soja consolidou-se como cultura no Agronegócio brasileiro a partir dos anos 70, passando de 1,5 milhões de toneladas no ano de 1970 para mais de 15 milhões de toneladas em 1979 (EMBRAPA, 2003). Esse crescimento foi associado a dois fatores, não somente aumento da área cultivada (1,3 para 8,8 milhões de hectares), mas também crescimento de produtividade (1,14 para 1,73 t/ha), devido a novas tecnologias disponibilizadas aos produtores pela pesquisa brasileira. Destaca-se mais de 80% continuava até os anos 80 concentrada nos estados da região Sul. A partir dos anos 90 a produção do centro oeste brasileiro atingiu 20% do montante nacional e em 2000 atingiu mais de 60%. Em especial o Estado de Mato Grosso, líder no Brasil atualmente (EMBRAPA, 2003; IBGE, 2010).

No contexto mundial, o Brasil possui significativa participação na oferta e na demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja. Isso tem sido possível pelo estabelecimento e progresso contínuo de uma cadeia produtiva bem estruturada e que desempenha papel fundamental para o desenvolvimento econômico-social de várias regiões do País. Para destacar a importância do referido complexo para a economia nacional, pode-se utilizar algumas estatísticas básicas. O plantio de soja, na safra 2017/18, apresentou aumento da área plantada de 3,2%, saindo de 33.909,4 mil hectares na safra 2016/17 para 34.991,4 mil hectares, na atual. As vantagens derivadas da agilidade na comercialização da oleaginosa têm estimulado os produtores a apostarem em incrementos no plantio (CONAB, 2018).

A primeira estimativa de 2018 para a safra nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas totalizou 226,1 milhões de toneladas, 6,0% inferior à obtida em 2017 (240,6 milhões de toneladas), redução de 14,5 milhões de toneladas. A estimativa da área a ser colhida foi de 61,2 milhões de hectares, apresentando acréscimo de apenas 0,1% frente à área colhida em 2017. Em relação à informação do 3º Prognóstico da safra 2018, divulgado em janeiro (224,3 milhões de toneladas), a estimativa da produção aumentou 0,8%. O arroz, o milho e a soja são os três principais produtos deste grupo, que, somados, representaram 92,8% da estimativa da produção e responderam por 86,8% da área a ser colhida. Em relação ao ano anterior, houve acréscimo de 2,0% na área da soja e reduções de 7,1% na área do milho e de 3,3% na área de arroz. No que se refere à produção, devem ocorrer decréscimos de 2,2% para a soja, 13,8% para o milho e 5,7% para o arroz (IBGE, 2018).

O Mato Grosso é o estado que lidera a produção nacional, com participação de 27,3%, totalizando 30,7 milhões de toneladas. Houve um incremento de 1,1% na área plantada, totalizando 9,4 milhões de hectares, enquanto o volume a ser colhido, em 2018, apresentou aumento de 11 0,8% em relação ao ano anterior. Seguido pelo Paraná permanecendo o segundo maior produtor com 19,5 milhões de toneladas. A exemplo dos demais estados líderes de produção, a área plantada deve crescer 5,8%, porém, com redução do rendimento médio (7,2%). A produção deve apresentar retração de 1,8% em comparação ao ano anterior (IBGE, 2018).

Segundo a Secretaria de Comércio Exterior (Secex, 2018), O consumo interno deve ter um aumento de aproximadamente 5% estimado 47,28 milhões de toneladas, este aumento está relacionado ao crescimento do uso do biodiesel proveniente da soja e do possível aumento de exportação de farelo de milho e óleo de soja oriundo de uma possível redução das exportações

destas comanditeis na Argentina. A produção de soja no Brasil foi estimada pela Conab em 113 milhões de toneladas, as exportações em 67,50 milhões de toneladas e um consumo de 47,28 milhões de toneladas, gerando um estoque de passagem próximo de apenas 600 mil toneladas.

As exportações Brasileiras de soja para o ano de 2019 foram estimadas em 71,50 milhões de toneladas, levando em consideração uma redução de importação chinesa causada pela peste suína asiática e gripe aviária que ocorrem nesse país, mas também, da quebra de safra no Brasil que até o momento é de aproximadamente 4 milhões de toneladas.

2.3 Soja no Piauí

No Piauí, o primeiro registro oficial do cultivo da soja, como atividade econômica, ocorreu em 1982, com apenas 10 ha de área cultivada, observando-se a partir daí, um crescimento lento e de pequenas dimensões, atingindo 18.075 ha em 1997, o que corresponde, apenas, a 12,28% dos 147.165 ha cultivados em toda região (FROTA e CAMPELO, 1999), dados estes que divergem dos apresentados pela CONAB em seus registros na série histórica da safra de soja. Ocupa a terceira posição entre os maiores produtores de grãos do Nordeste, ficando atrás da Bahia, em primeiro e do Maranhão em segundo (HIRAKURI e LAZZAROTTO, 2014).

Atualmente estima-se um aumento na área de soja na ordem de 2,4% devido à incorporação das áreas ocupadas com milho da safra passada. Calcula-se que neste exercício a área plantada atinja 710,5 mil hectares. O plantio da soja já foi iniciado em todas as regiões produtoras do Sudoeste piauiense e atualmente encontra-se com cerca de 90% da área já plantada. Dessa área, 20% está em germinação, 60% em desenvolvimento vegetativo e 20% em floração. O regime climático deste ano tem sido favorável para um bom início de plantio, com chuvas regulares, bem distribuídas e com boa intensidade (CONAB, 2018).

No contexto econômico do estado, o PIB (Produto Interno Bruto) obteve um aumento significativo nos últimos anos, tendo como maior PIB per capita o município de Baixa Grande do Ribeiro (49.866,93), que é o maior produtor de soja do Piauí, seguido por, Uruçuí (48.817,46), Ribeiro Gonçalves (34.285,13), Santa Filomena (33.063,41) e Bom Jesus (26.497,12), que representam aproximadamente 84% de toda a produção de soja do estado (CEPRO, 2018). Outras cidades que também produzem o grão são: Gilbués, Sebastião Leal, Palmeira do Piauí, Monte Alegre, Antônio Almeida, Alvorada do Gurgueia, Santa Luz, Piracuruca, Brasileira, Manoel Emídio e Corrente. (IBGE, 2006).

2.4 As Geotecnologias

Geoprocessamento pode ser compreendido como uma área do estudo que utiliza geotecnologias para aquisição, armazenamento, manipulação, exibição e distribuição de dados e informações geográficas. As geotecnologias podem ser descritas pelo menos em quatro categorias de técnicas no tratamento das informações espaciais (ROSA E BRITO, 1996 apud Rosa 2005).

- I- Técnicas para coleta de informação espacial (Cartografia, sensoriamento remoto, GNSS, topografia, levantamento de dados alfanuméricos);
- II- Técnicas do armazenamento de informação espacial (bancos de dados – orientado a objetos, relacional, hierárquico, etc.);
- III- Técnicas para tratamento e análise de informação espacial (modelagem de dados, geoestatística, aritmética lógica, funções topológicas, redes, etc.);
- IV- Técnicas para o uso integrado de informações espacial, como os sistemas GIS – *Geographic Information Systems*, *LIS – Land Information Systems*, *AM/FM – Automated Mapping/facilities Management*, *CADD – Computer-Aided Drafting and Design*.

Sensoriamento Remoto é uma ferramenta do geoprocessamento utilizada para obter informações sobre objetos por meio de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos de interesse, seja no espaço aéreo, seja no espaço orbital. Os sensores remotos funcionam como “máquinas fotográficas digitais”, que captam e registram em forma de imagem a energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre (PEREIRA et al., 2016).

Os sensores Landsat foram desenvolvidos pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e receberam inicialmente o nome de *Earth Resources Technology Satellite-I*, (*ERST-I*). Em janeiro de 1975, passaram a se chamar de Landsat.

As imagens do Landsat-8 é que está sendo usada na pesquisa foi desenvolvido através de uma parceria interinstitucional entre a NASA e o USGS em fevereiro de 2013. Possui dois sensores, o *Operational Land Imager - OLI* e o *Thermal Infrared Sensor – TIRS*. As novas cenas Landsat-8, juntamente com as mais de 4 milhões de cenas adquiridas pelas missões Landsat anteriores, estão armazenadas no arquivo Landsat e são distribuídas gratuitamente via internet (ROY et al., 2014).

O sensor OLI opera com nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (1 a 7 e 9), sendo que a banda 8 (pancromática) possui resolução espacial de 15 metros. Já

o sensor TIRS, opera com bandas do infravermelho termal (10 e 11), sendo úteis no fornecimento de temperaturas da superfície terrestre. A resolução radiométrica do sensor OLI é de 12 bits e disponibilizada para usuários em 16 bits e com ortorretificação (ROY et al., 2014).

O sensoriamento remoto e as geotecnologias mostraram-se ferramentas adequadas para o desenvolvimento do estudo, por possuírem plataformas e sensores que fazem processamento digital das imagens fornecendo resultados multi: temporal e espectral, em um espaço de tempo curto. Uma das técnicas é a álgebra de mapas que realiza operações aritméticas, ou seja, subtração, divisão, multiplicação, média entre as camadas. Dispõe de uma linguagem especializada em operações que tem sentido matemático quanto cartográfico e espacial.

Conforme (TOMLIN 1990), definiu como um conjunto de procedimentos de análise espacial em Geoprocessamento que produz novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas. Trabalha com três tipos de operações matemáticas: Operações de vizinhança, zonais e pontuais.

- Vizinhança: é um mapa cujos valores dependem da vizinhança da localização considerada.
- Zonais: o mapa de entrada tem suas regiões definidas, mas as condições são fornecidas por outro mapa. Um exemplo seria: “dado um mapa de solos e um mapa de declividade da mesma região, obtenha a declividade média para cada tipo de solo”
- Pontuais: o valor resultante do mapa depende somente dos valores de entrada.

Em Sensoriamento Remoto, as operações aritméticas entre imagens são operações pontuais, ou seja, o processamento se dá “pixel a pixel”, entre bandas diferentes.

2.5 Aplicações de Geoprocessamento para Mapeamento da Agricultura

Os avanços tecnológicos têm proporcionado identificar mudanças e variações que ocorrem ou possam ocorrer no planeta. Por meio desta ferramenta, é possível obter informações sobre: estimativa de área plantada, produção agrícolas, vigor vegetativo das culturas e produtividade das safras como os utilizados pela Conab e pelo IBGE (2018).

VIANA (2009), usou as técnicas de geoprocessamento na avaliação de áreas potenciais ao plantio da soja no Estado do Rio Grande do Sul (RS), levando em consideração a produtividade, as condições climáticas e de solos. Foi identificar a participação de todas as variáveis que contribuem para o rendimento e, com base nesses resultados, classificar as regiões favoráveis ao

plantio da cultura no Estado. Para isso foram usados dados de produção anual de soja no período de 1993 a 2005; dados de precipitação média acumulada de outubro a março, entre 1993 a 2005; dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) do RS, obtido a partir do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e mapa de classes de solos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Os resultados mostraram que a altitude apresentou o maior grau associação com o rendimento de soja (64,1%), seguida pela precipitação (43,8%) e pela variável tipo de solo (33,4%). Os pesos ficaram em 45,36% para a altitude, 30,99% para a precipitação e 23,65% para os solos. A partir da espacialização dos dados de áreas potenciais para o cultivo da soja foi possível calcular área do Estado do RS correspondente a cada uma das classes. Os valores para as áreas potenciais ficaram em 13,03% para classe Muito Alto, 70,39% Alto, 15,94% Médio, 0,62% Baixo e 0,02% Muito Baixo.

MARTINI (2015), usou como base a integração e análise de diferentes fatores determinantes, compilados em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e manipulados a partir de técnicas de Inferência Booleana. Para localizar e quantificar áreas potencialmente disponíveis para a expansão agrícola no bioma Amazônia, tomando como base áreas florestais nativas legalmente disponíveis e áreas de vegetação secundária e pastagem degradada com potencial produtivo favorável e livre de qualquer conflito de uso. Os resultados revelam que 11,7% (493.103,1 km²) do bioma Amazônia estaria potencialmente disponível para expansão agrícola no ano de 2010. O maior estoque é formado principalmente por áreas florestais (59,4%), seguido por áreas previamente convertidas (40,6%) que juntas correspondem a 75,9% de toda a área cultivada no Brasil no período avaliado. A área destinada ao cultivo da soja, em particular, poderia aumentar em 48%, o que garantiria o equilíbrio entre suprimento e demanda projetado para a próxima década.

SOUZA e ROMUALDO (2009), desenvolveu um estudo usando aplicação de geoprocessamento na análise ambiental, identificando áreas potenciais para o cultivo de eucalipto na Zona da Mata mineira. As análises foram feitas por meio de Inventário Ambiental, modelo digital do ambiente, e Avaliação Ambiental, através do software denominado de Sistema de Análise Geo-Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro – SAGA/UFRJ – que apoiaram na geração dos levantamentos e diagnósticos do potencial ambiental de toda a região. A partir de mapas temáticos da Mata – Geomorfologia, Pedologia (Solos), Uso da Terra e Declividade – foi feito uma avaliação com base na média ponderada, estabelecendo-se pesos (0 – 100%) para os

mapas e notas (0 – 10) para as classes, tendo em vista o potencial para a produção da cultura de Eucalipto.

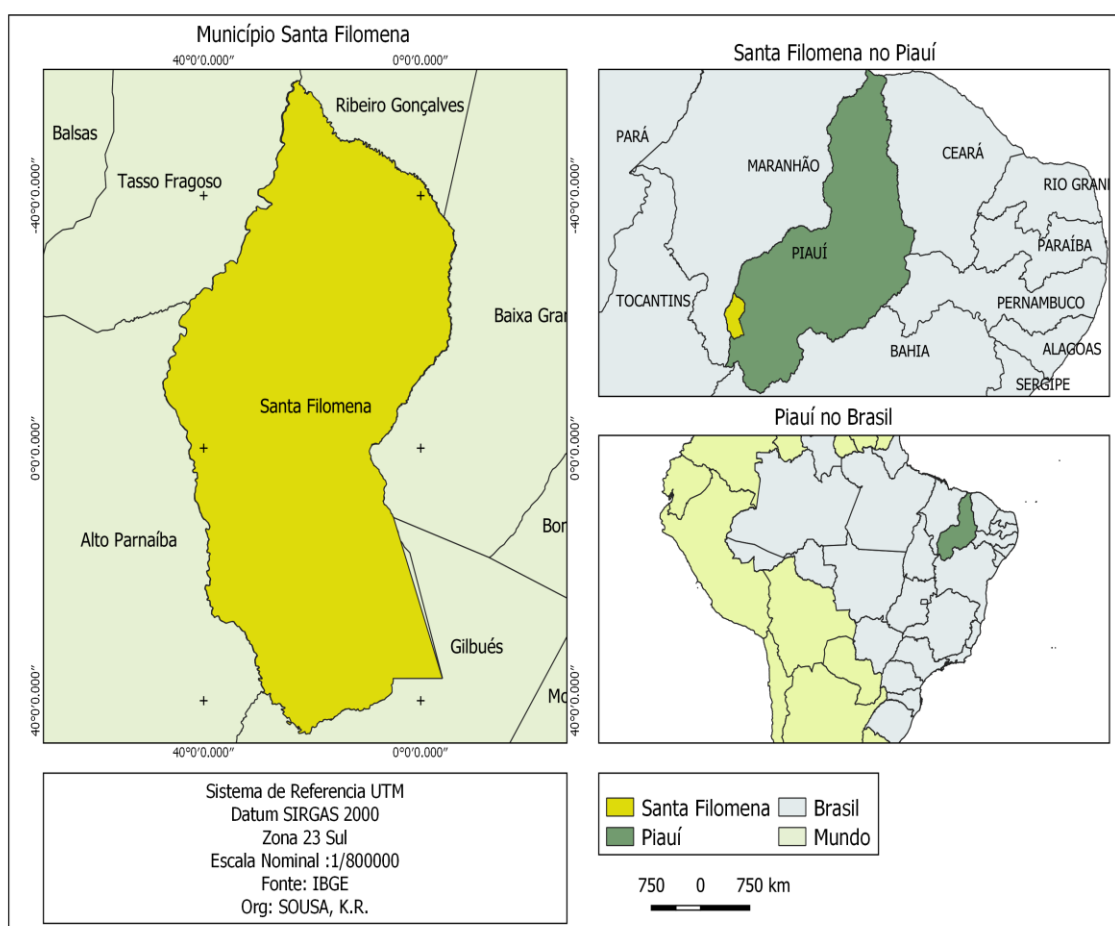
Foram identificadas as áreas potenciais para o cultivo de Eucalipto foram classificadas de baixo a altíssimo potencial. Dentre os extremos, têm-se as áreas de médio potencial e alto potencial. As áreas de baixo potencial aparecem com pouca expressividade, localizada no centro da Mata. As áreas de médio potencial e alto potencial aparecem em expressivas quantidades espalhadas por toda a mata. Porém, há uma grande concentração de áreas de médio potencial na Microrregião de Juiz de Fora (sudeste). Também há 7 concentrações de áreas de alto potencial na porções sudoeste, norte e nordeste da Mata. As áreas de altíssimo potencial para o cultivo de eucalipto, também concentradas na porção norte-nordeste.

3.0 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O município de Santa Filomena, está localizado na microrregião de Alto Parnaíba Piauiense, compreendendo uma área de 5.369 km², tendo limites com os municípios de Ribeiro Gonçalves e do estado do Maranhão a norte, a sul com Gilbués, a oeste com municípios do estado do Maranhão e, a leste com Gilbués, Baixa Grande do Ribeiro e Ribeiro Gonçalves. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 09°06'44" de latitude sul e 45°5'20" de longitude oeste de Greenwich e dista cerca de 925 Km de Teresina, conforme mostra o mapa 1.

Mapa 1. Mapa de Localização de Santa Filomena – PI.



Autora (2020)

Os dados socioeconômicos relativos ao município foram obtidos a partir de pesquisa nos sites do IBGE (www.ibge.gov.br) e do Governo do Estado do Piauí (www.pi.gov.br).

O município foi criado pela Decreto Lei nº 52, de 29/03/1938, sendo desmembrado do município de Paranaguá. A população total, segundo o Censo 2010 do IBGE, é de 6.096 habitantes e uma densidade demográfica de 1,12 hab./km², onde 58,20% das pessoas estão na zona rural. Com relação a educação, 68,70% da população acima de 10 anos de idade é alfabetizada.

A sede do município dispõe de abastecimento de água e esgoto fornecida pela AGESPISA do Piauí S/A e energia elétrica distribuída pela Companhia Energética do Piauí S/A – ELETROBRAS, agência de correios e telégrafos e escola de ensino fundamental. A agricultura praticada no município é baseada na produção sazonal de arroz, feijão, mandioca, milho e soja.

A cidade de Santa Filomena no ano de 2015 tinha um PIB per capita de R\$ 33.063,41. Em 2015, tinha 91.9% do seu orçamento era proveniente de fontes externas (IBGE, 2018), um desse rendimento externo é a plantação de soja na zona rural da cidade. O plantio de soja é uma alternativa para diminuir a pressão sobre a economia já existente, aumentando as formas de rendas no município e viabilizando a produção de madeira para atender às necessidades da sociedade em bases sustentáveis.

As condições climáticas do município de Santa Filomena (com altitude da sede a 277 m acima do nível do mar) apresentam temperaturas médias mínimas de 20°C e máximas de 35°C, com clima quente e semiúmido. A precipitação pluviométrica média anual é definida no Regime Equatorial Continental, com isoietas anuais em torno de 800 a 1200 mm e período chuvoso estendendo-se de novembro - dezembro a abril - maio. O trimestre mais úmido corresponde aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (IBGE, 1977).

Os solos da região, provenientes da alteração de arenitos, siltitos, folhelho, conglomerado, calcário e silexito, são espessos, jovens, com influência do material subjacente, compreendendo latossolos amarelos, alícos ou distróficos, textura média, associados com areias quartzosas e/ou podzólico vermelho-amarelo concrecionario, plântico ou não plântico. A vegetação é de fase cerrado tropical e mata de cocais (Jacomine et al., 1986).

As unidades geológicas que ocorrem no âmbito do município compreendem as coberturas sedimentares da Bacia do Parnaíba, em seguida descritas. A Formação Pedra de Fogo reúne arenito, folhelho, calcário e silexito. Na base desta sequência ocorre a formação Piau, englobando arenito, folhelho, siltito e calcário (CPRM, 2004).

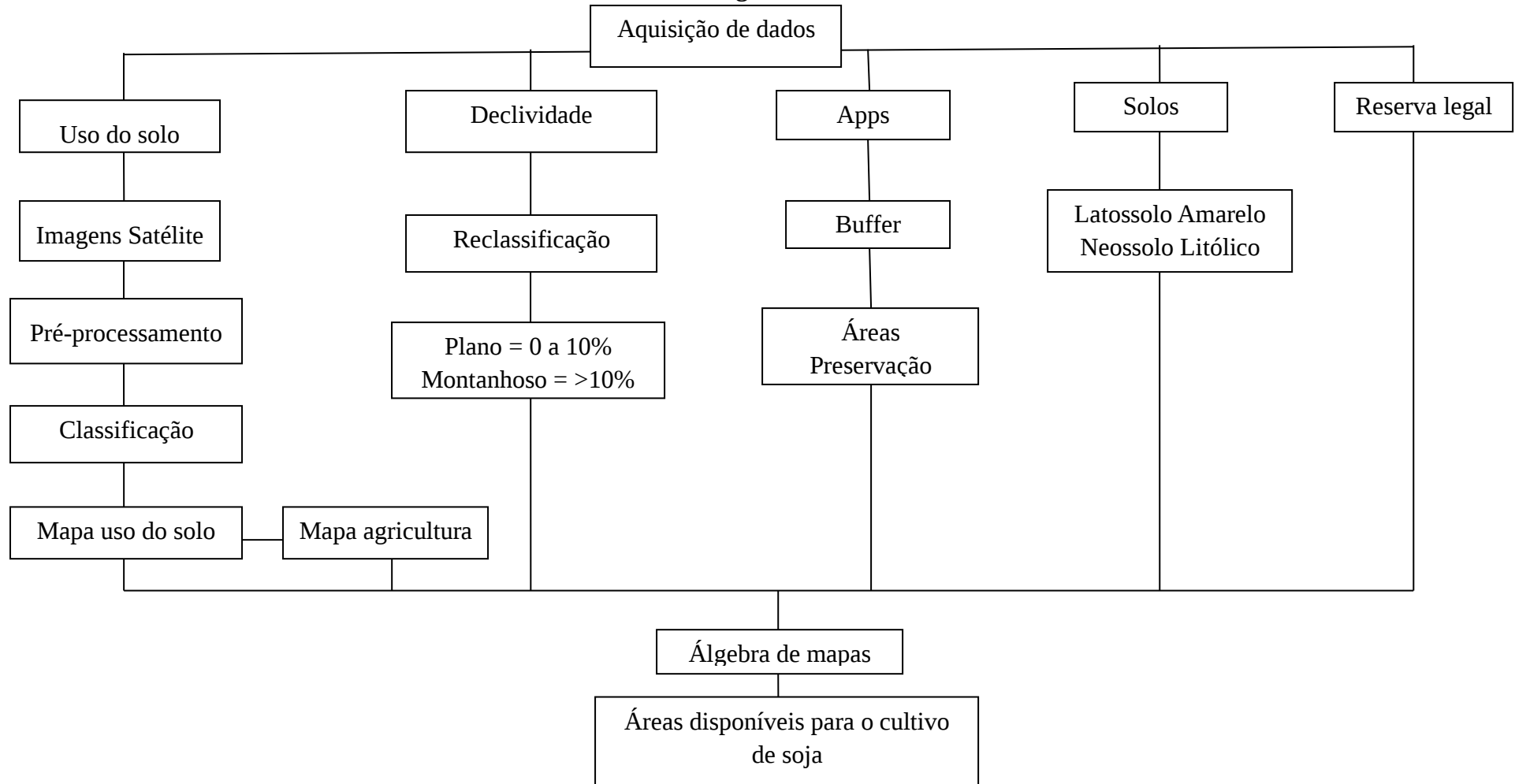
Os principais cursos d'água que drenam os recursos hídricos de Santa Filomena são: os rios Parnaíba, Riachão e Riozinho, além dos riachos do Ouro, Taquara, dos Angicos, Sucuruju e Zelândia (CPRM, 2004).

No município de Santa Filomena distingue-se apenas como domínio hidrogeológico as rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, representadas, da base para o topo, pelas formações Piauí e Pedra de Fogo. A Formação Piauí é constituída de arenitos, com intercalações de siltitos, folhelhos e calcários. Por apresentar-se em cerca de 50% da área do município, constitui-se numa importante opção do ponto de vista hidrogeológico (CPRM, 2004).

3.2 Metodologia

A coleta de dados para a pesquisa foi feita uma seleção da produção científica foram considerados os artigos, dissertações e teses produzidos entre 2014 e 2019 e indexados nas diversas bases de dados com as palavras chaves ou descritores em Geoprocessamento: imagens de satélite, as geotecnologias usadas na agricultura, sensoriamento remoto e suas ferramentas no cultivo de soja. Os artigos incluídos foram os publicados em periódicos nacionais ou internacionais, em que a autoria principal era nas áreas de tecnologia em Geoprocessamento, em português, espanhol ou inglês.

Na parte prática foi feita aquisição dos dados para a criação das camadas como a de uso do solo, através das imagens de satélite Landsat 8; posteriormente a declividade usou o banco de dados (Topodata/INPE); foram feitas as camadas de áreas de preservação permanente (Apps) e de reserva legal identificando as áreas de proteção permanente é também os tipos de solos usando na plantação de soja, veja na figura 01.

Figura: 01

Autora (2020)

3.3 Dados Orbitais

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas três cenas do sensor OLI/landsat-8 na cobertura da área de estudo. Todas essas imagens em formato *GeoTiff* foram adquiridas gratuitamente no site *Earth Explorer do U.S Geological Survey (USGS)*, conforme o quadro 1.

Quadro 1. Dados das imagens empregadas.

Data de passagem	Órbita/Ponto	Bandas	Satélite/sensor	Resolução espacial
24/05/2018	220/66	4/3/2	Landsat 8/OLI	30 m
24/05/2018	221/66	4/3/2	Landsat 8/OLI	30 m
24/05/2018	220/67	4/3/2	Landsat 8/OLI	30 m

Autora (2020)

Essas datas foram selecionadas devido ser o período intermediário entre o fim da safra e o descanso da terra, por apresentar o menor índice de nuvens.

3.4 Processamento Digital de Imagens

Para processamento das imagens foi utilizado o software livre QGIS, versão 3.2.0. O QGIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)*, um Sistema de Informação Geográfica de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU.

As imagens foram ajustadas para a refletância de superfície, como também foi realizado a correção atmosférica antes do início dos processos. Em seguida a imagem foi recortada e salva no formato *GeoTiff*, otimizando processos futuros, depois foi criado um *band set*, ou seja, uma única imagem com todas as 6 bandas, possibilitando a imagem compor com diferentes combinações de bandas.

3.5 Mapeamento de uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo foi realizado pelo processo de classificação de imagens. Esse processo foi executado com auxílio do plugin SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*), uma extensão do QGIS. Adotou-se o método de Classificação Supervisionada. Foi realizada a segmentação que faz o agrupamento de pixels que possuem características semelhantes, ou seja, é calculado usando o método de similaridade para cada par de região adjacente. Esse cálculo trabalha com teste de hipótese que testa a média entre as regiões, em seguida, divide-se a imagem

em um conjunto de sub imagens e então realiza-se a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido (INPE, 2018).

Posteriormente são coletadas amostras na imagem e criadas assinaturas espectrais para cada classe. A partir das assinaturas, é possível classificar a imagem por completo, identificando regiões com as mesmas características (BARROS, PAMBOUKIAN 2017).

A classificação no QGIS fornece, além do arquivo matricial (raster), um arquivo vetorial (shapefile) que permite a quantificação das áreas.

Após processamento, foi possível gerar mapas da mudança do uso do solo para do município de Santa Filomena e realizar a edição vetorial realocando as áreas que foram classificadas erradas pelos algoritmos para suas classes verdadeiras. As classes utilizadas neste processamento foram: agricultura, solo exposto, vegetação, área urbana e outros usos, como mostra o quadro 2.

Quadro 2. Classes de uso e ocupação do solo.

Atributos	Classes	Descrição
1	Agricultura	Apresenta áreas agricultadas com formas, cores e texturas bem definidas e regulares.
2	Solo Exposto	Apresenta solo exposto com pouquíssimo ou nenhum tipo de cobertura vegetal.
3	Área urbana	Apresenta a área da mancha urbana onde fica localizada a cidade no município de Santa Filomena.
4	Vegetação	Apresenta vegetação densa e uniforme com dossel florestal fechado.
5	Nuvens	As áreas brancas na classificação representam as nuvens.

Autora (2020)

3.6 Mapeamento da declividade

A elaboração do mapa de feições geomorfológica do município de Santa Filomena - Piauí foi realizado a partir do processamento das imagens SRTM, estas, por sua vez, foram obtidas no site do banco de dados geomorfológicos do Brasil (Topodata/INPE): (<http://www.dsr.inpe.br/topodata>), as quais estão disponíveis gratuitamente para download. Depois da aquisição das imagens, elas foram reprojetadas para o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 23 Sul e Datum SIRGAS 2000. Logo após foi gerada a declividade

usando o modelo de digital de elevação (MDE), no software Qgis 3.2.0.

O mapa de declividade tem o objetivo de demonstrar as áreas que podem ser usadas para cultivos de soja no município de Santa Filomena em relação à sua inclinação. Áreas com grande inclinação não permitem a utilização de maquinário, característica do tipo de exploração realizado na região. O mapa gerado apresentava a declividade calculada em porcentagem estabelecendo cinco classes, estas variando de plano a fortemente ondulado seguindo a classificação do INCRA (2004), como é apresentado no quadro 3.

Quadro 3. Classe de Relevo e Declividade existentes

Classes de Relevo	Classes de Declividade
Descrição	Em percentual
Plano	0 – 3
Suave Ondulado	3 – 6
Ondulado	6 – 12
Muito Ondulado	12 – 19
Forte Ondulado	19 – 25

Incra (2004)

Conforme EMBARAPA (2007), posteriormente, o mapa foi reclassificado para apenas duas classes: plano (com declividade até 10) e montanhoso (declividade acima de 10%).

3.7 Mapeamento das Áreas de Preservação Permanentes (Apps)

Para a geração das áreas de APPs de nascentes, rio e cursos d'água, foram utilizados os dados de hidrografia do banco de dados da ANA – Agência Nacional de Águas. A camada com as APPs de topo de chapada foi fornecida pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAR). As delimitações das APPs foram realizadas por meio do comando “buffer”, no software Qgis 3.2.0. e seguindo os critérios estabelecidos pela Lei 12,651/12 (Novo Código Florestal) a qual dispõe sobre parâmetros, definições e limites das APPs.

- Delimitação das APPs ao redor das nascentes: foi usado um raio de preservação de 50 metros no entorno das nascentes.

- As áreas de preservação ao longo dos cursos d'água: realizada por meio de raio de preservação de 30 m em cursos d'água com menos de 10 m de largura.
- Delimitação das APPs nos topos de chapadas: usou um raio de preservação nunca menor de 100 metros em projeções horizontais.
- As áreas de preservação ao longo do rio Parnaíba: foi feito uma preservação de 100 metros, sendo 50 metros para cada lado do rio, por possui mais de 50 metros de largura.

3.8 Mapeamento dos solos

O mapa de solo da região foi elaborado com dados fornecidos pela Embrapa (2004), onde os mesmos encontram-se prontos para download. A ferramenta usada para classificação dos tipos de solo foi *categorized* no software Qgis 3.2.0.

3.9 Mapeamento das áreas de reserva legal

Os dados de reserva legal foram obtidos no banco de CAR (Cadastro Ambiental Rural), os quais estão disponíveis gratuitamente para download.
(<http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>).

3.10 Mapeamento das áreas disponíveis para o cultivo de soja

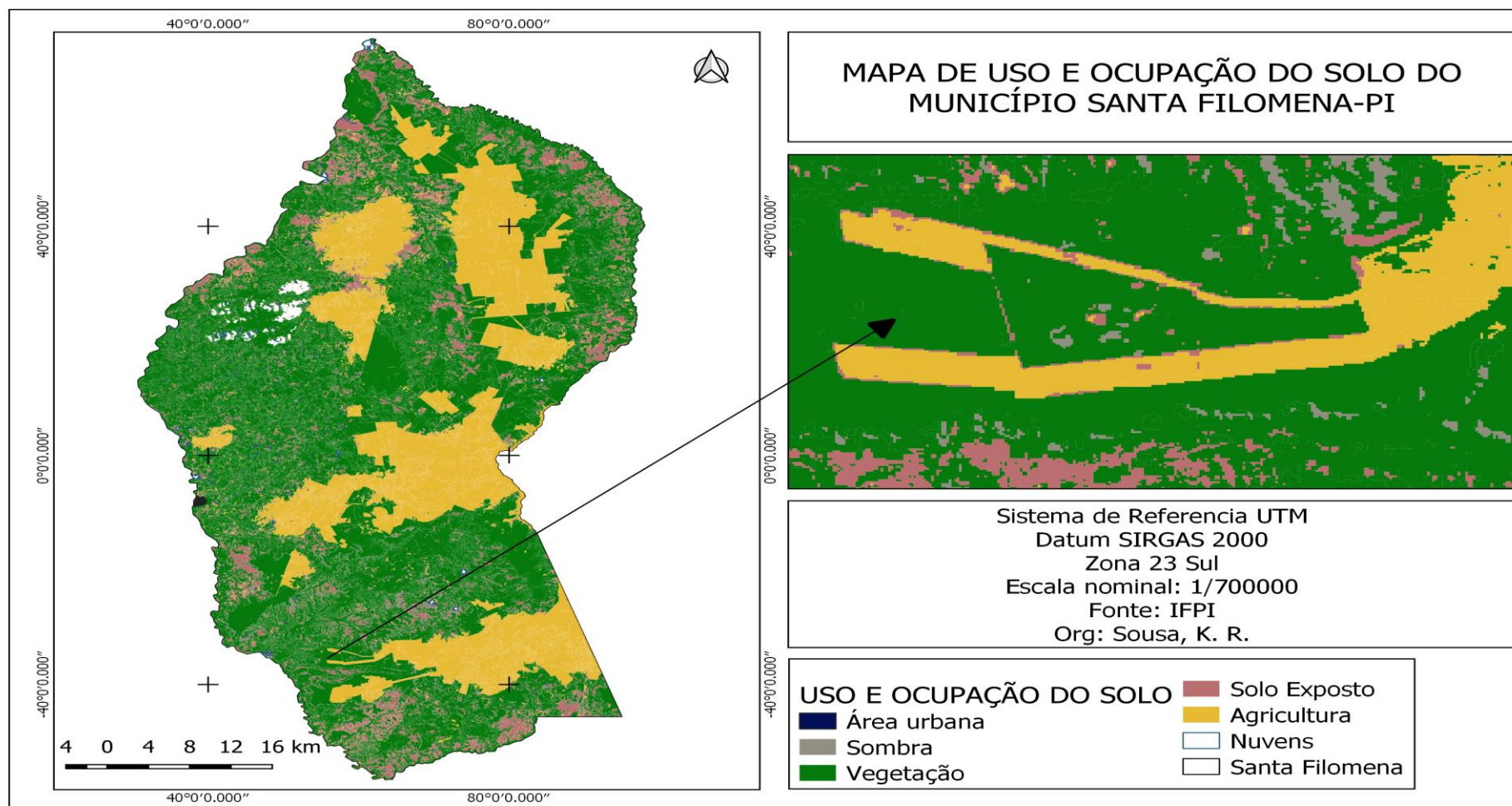
A partir dos mapas gerados na caracterização fisiográfica, é elaborado o mapa final apenas com as áreas potenciais para o cultivo agrícola, por meio do método de álgebra dos mapas, ou seja, a aplicação de operações aritméticas. Foi feita uma operação de subtração das camadas, e gerando uma nova camada onde são levados em consideração os atributos e as feições (plano de entrada), com apenas a área de abrangência da segunda camada (plano de corte). Portanto foram retiradas todas as áreas que já são usadas como cultivo de soja, APPs, classes do solo e reserva legal. Essa operação aritmética ocorreu através da ferramenta Diferença do SAGA 3.2 que está integrado dentro da caixa de ferramenta do software Qgis 3.2.0.

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

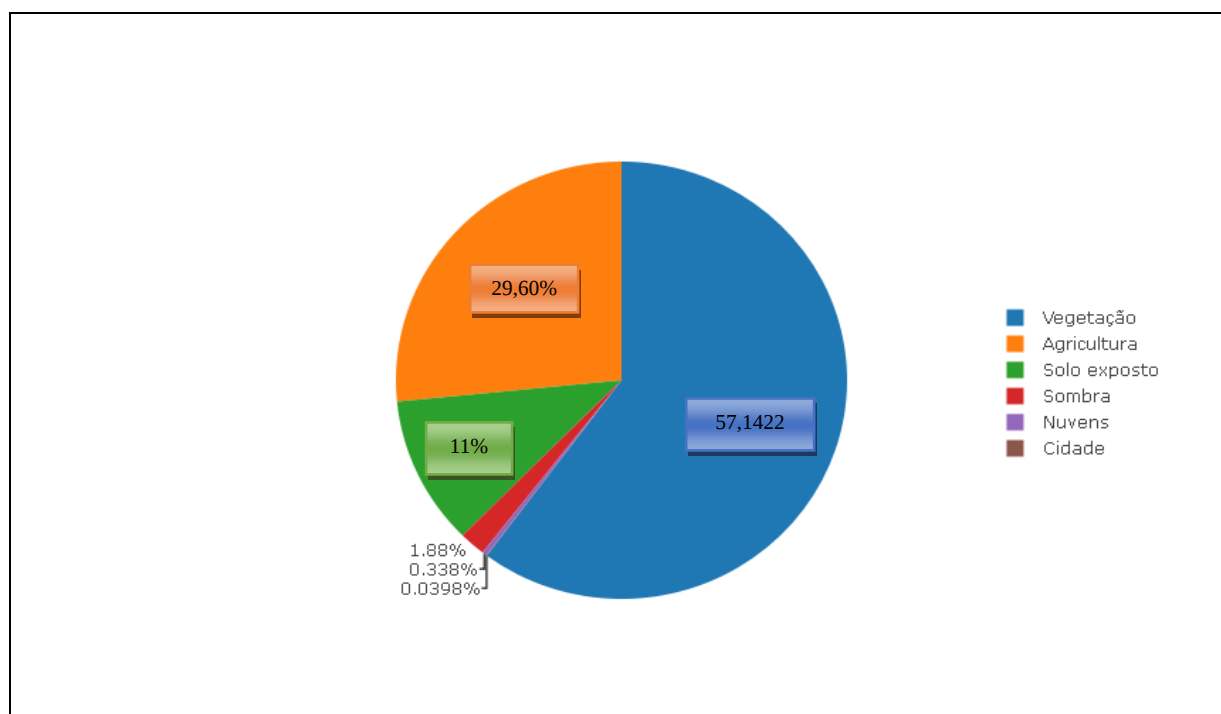
4.1 Mapa uso e ocupação do solo

O mapeamento de uso e ocupação do solo teve resultados satisfatória, na identificação das áreas agrícolas, solo exposto, vegetação dentre outros. Porém, um dos problemas apresentando foi a confusão entre as classes que o software Qgis 3.2.0 ao realizar a classificar, por causa da semelhança espectral dentre elas, principalmente entre áreas de solo exposto e áreas agrícolas. Posteriormente foi feita a correção das classes, um dos procedimentos, mas demorado e trabalhoso que exige do profissional, conhecimento em fotointerpretação e também na área de estudo, veja no mapa2.

Mapa 2 Mapa uso e ocupação do solo



Fonte: IFPI

Gráfico 1: Distribuições das classes

Fonte: Autor

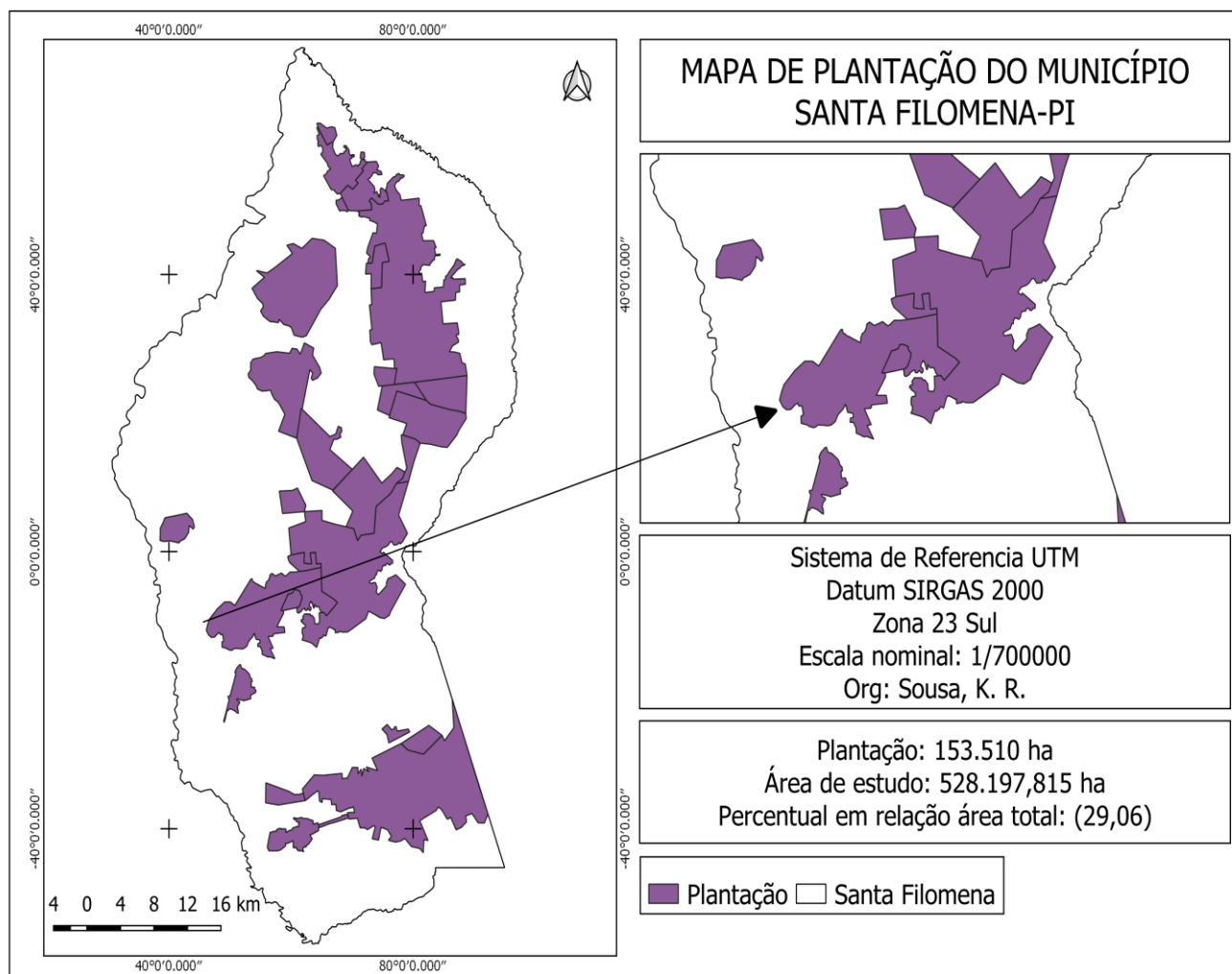
A agricultura é a segunda maior classe do uso e ocupação do solo, ficando apenas atrás da vegetação com 57,1422% da área total do município. Chegando a obter 153.510 ha ou seja 29,60% da área total, onde sua maior concentração é no centro-leste e sul do município.

A classe de solo exposto representa 11% da área de estudo, é encontrado em todo município principalmente nos topos das chapadas. A cidade é localizada do lado oeste do município fazendo divisa com o Estado do Maranhão.

4.1.1 Mapa das áreas agrícolas

Os resultados das áreas de plantação mostraram dados satisfatórios da região, depois da classificação foi possível criar a camada e observar que a produção ocorre, mas ao norte, centro leste e ao sul do município. Possui uma expansão de 153.510 ha de cultivo agrícola, que representa 29,60 % da área total do município, conforme mostra a figura 3.

Mapa 3. Mapa de áreas agrícolas no município de Santa Filomena-PI.



Fonte: Autor

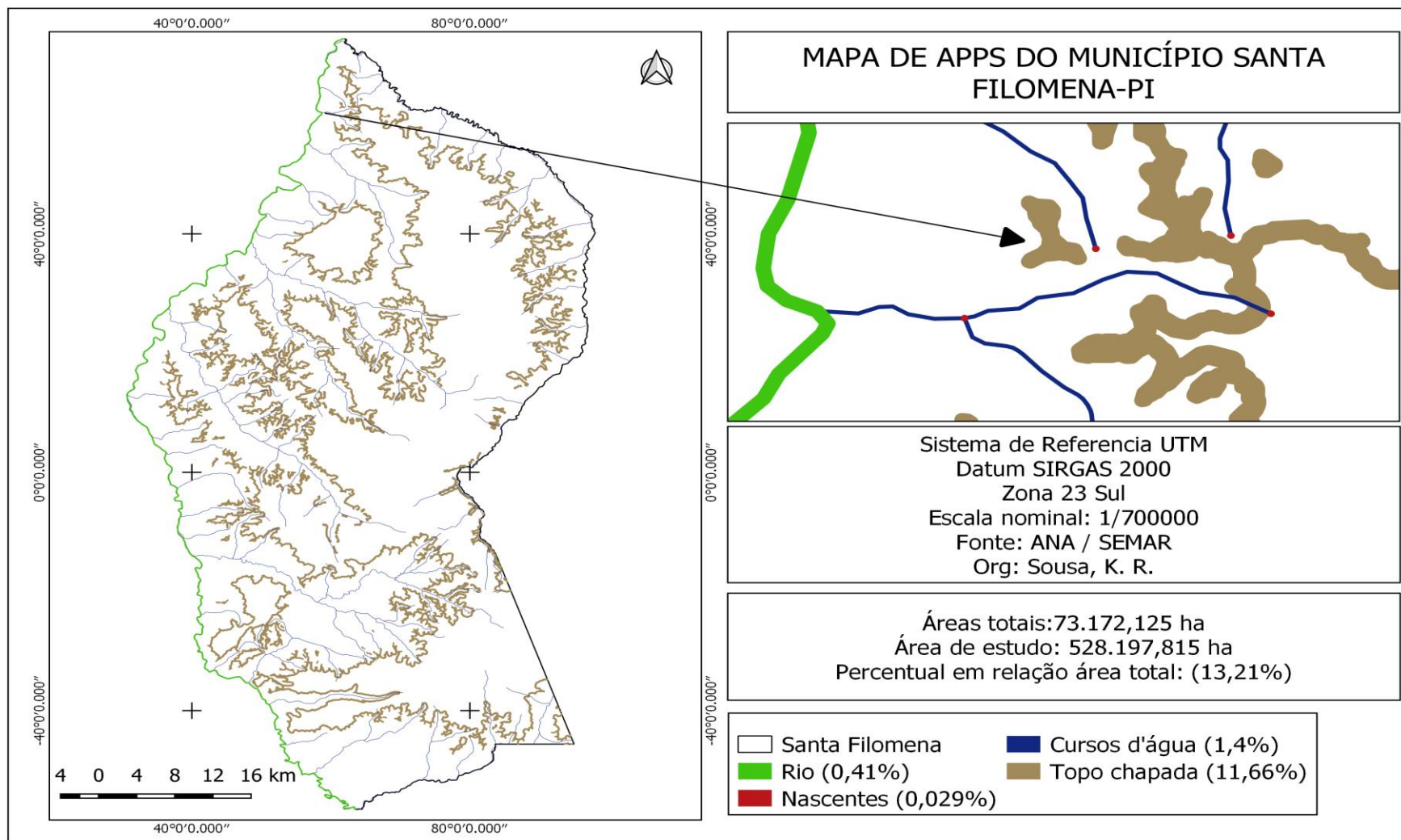
4.2 Mapa das áreas de Preservação Permanentes (Apps)

Os resultados mostraram que as Apps ocuparam uma área total de 13,21% de um total de 528.197,815 ha da área do município, como é apresentada no mapa 4. As áreas ocupadas pelas Apps de nascentes são de 156,045 ha, o que representa 0,029% da área total do município. As áreas do entorno das nascentes são de grande importância no que diz respeito à vida útil dos rios por elas abastecidos, uma vez que sem a proteção adequada em torno delas nota-se um processo de degradação do rio, afirmar (LEITE et al., 2015).

Já as Apps dos cursos d'água corresponderam 7.525,03 ha, ou seja a 1,42% em relação área de estudo. Elas garantem a estabilização das margens, tendo assim uma importância vital no controle da erosão do solo e da qualidade da água, evitando o carreamento direto para o ambiente aquático de sedimentos, nutrientes e produtos químicos provenientes das partes mais altas do terreno (LUPPI et al., 2011).

A categoria Apps de topos de chapada, apresentou a maior extensão com 61.572,3 ha, em relação ao município de 11,02%; as áreas de preservação permanente do rio têm um comprimento de 3.918,8 ha e possui 0,741% em relação área total do município.

Mapa 4: Áreas de Preservação Permanentes

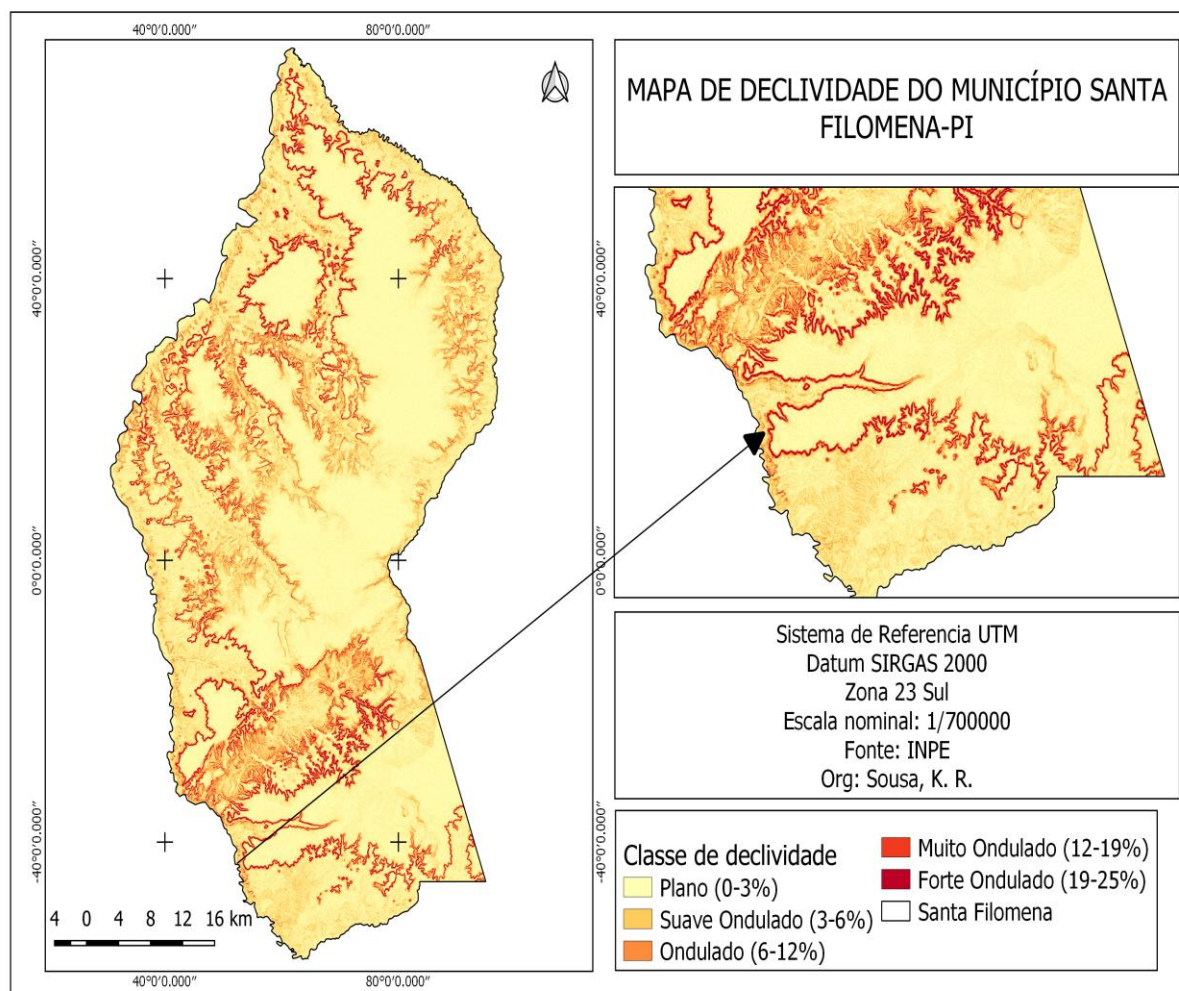


Fonte: ANA/SEMAR

4.3 Mapa de declividade

No mapa de declividade é observado cinco classes de relevo na área de estudo como mostra o mapa 5 definidas segundo os intervalos sugeridos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

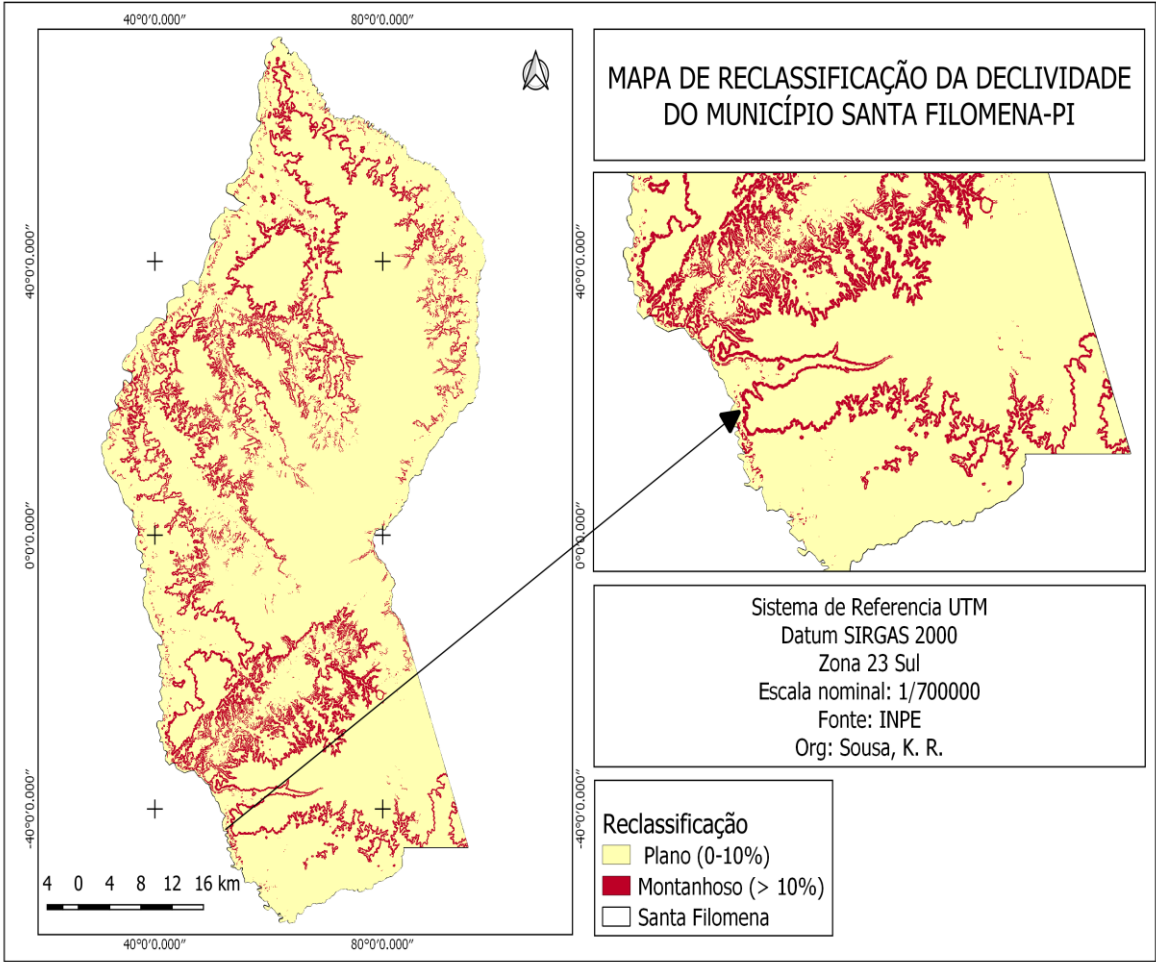
Mapa 5. Mapa de Declividade.



Fonte: Autor

Mas para o cultivo de soja foi feita a reclassificação, ou seja, foi recalculada a área levando em consideração apenas duas classes: o plano (0-10%) e o montanhoso (>10%). Onde são usadas para plantação de soja como é apresentado pelo mapa 6. Isso ocorreu devido ao uso de maquinário pesado que não é usado em locais com percentual de declividades altas, propício a degradação do solo. Nesse caso, as áreas com declividade propícia a cultura agrícola com utilização de maquinário é de 86,51% da área total do município, totalizando 456.892,515 hectares, sendo apenas 13,49% montanhoso.

Mapa 6. Reclassificação em duas classes.

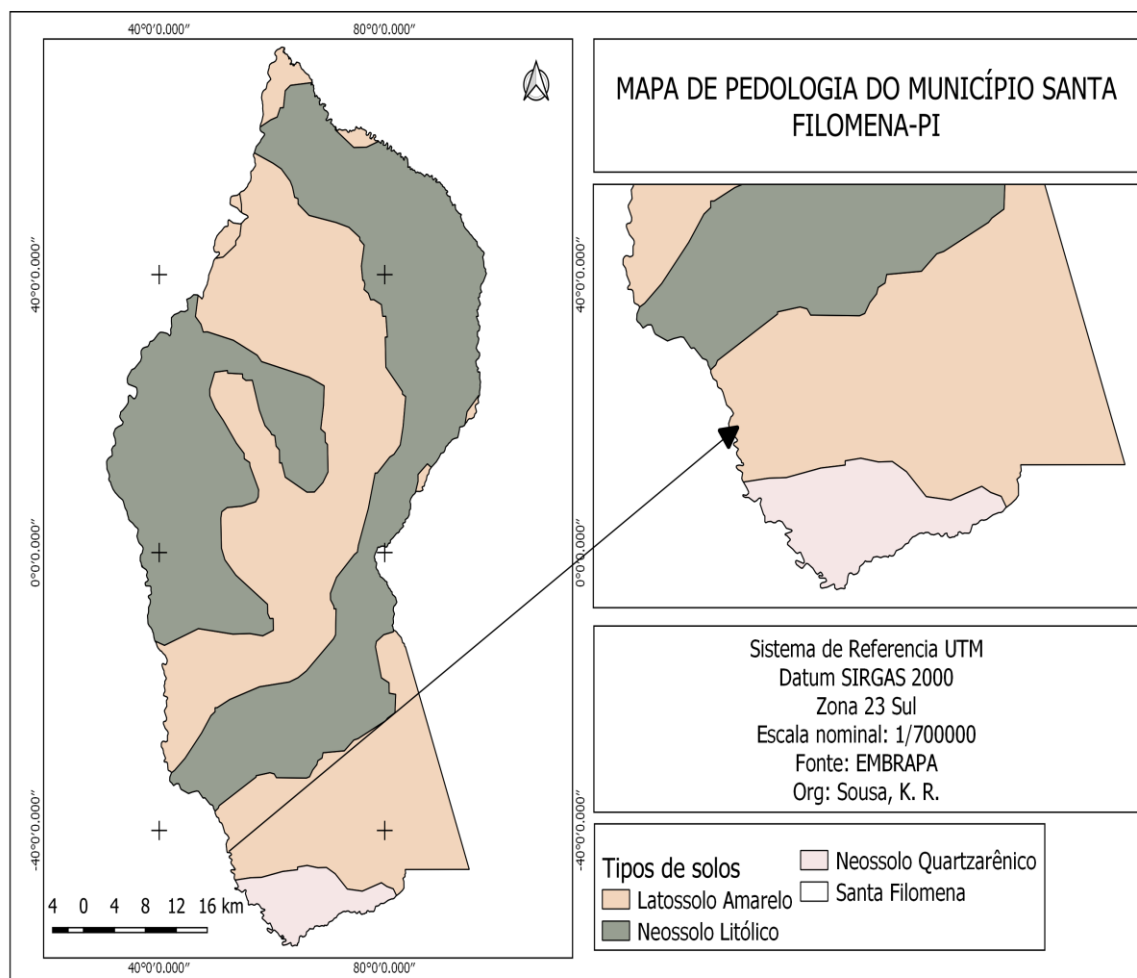


Fonte: Autor

4.4 Mapa de pedologia

A região de estudo apresenta três tipos de solos como mostra o mapa 7.

Mapa 7. Mapa de Pedologia.



Fonte: Autor

O solo Neossolo Litólico, que representa 49,30% da área total do município. Conforme (POELKING et al., 2015), é um solo que, encontra-se nas áreas de maiores declividades, possui uma fertilidade química boa, mas é limitado por apresentar uma pequena espessura do solo e um relevo acidentado.

Outro é solo Latossolo Amarelo, onde são cultivados a produção de soja que possui 47,61% da área de estudo, foi classificado por (CORRÊA et al., 1985), por ter características de um solo muito profundo, intensamente intemperizado, bem drenado e de textura muito argilosa.

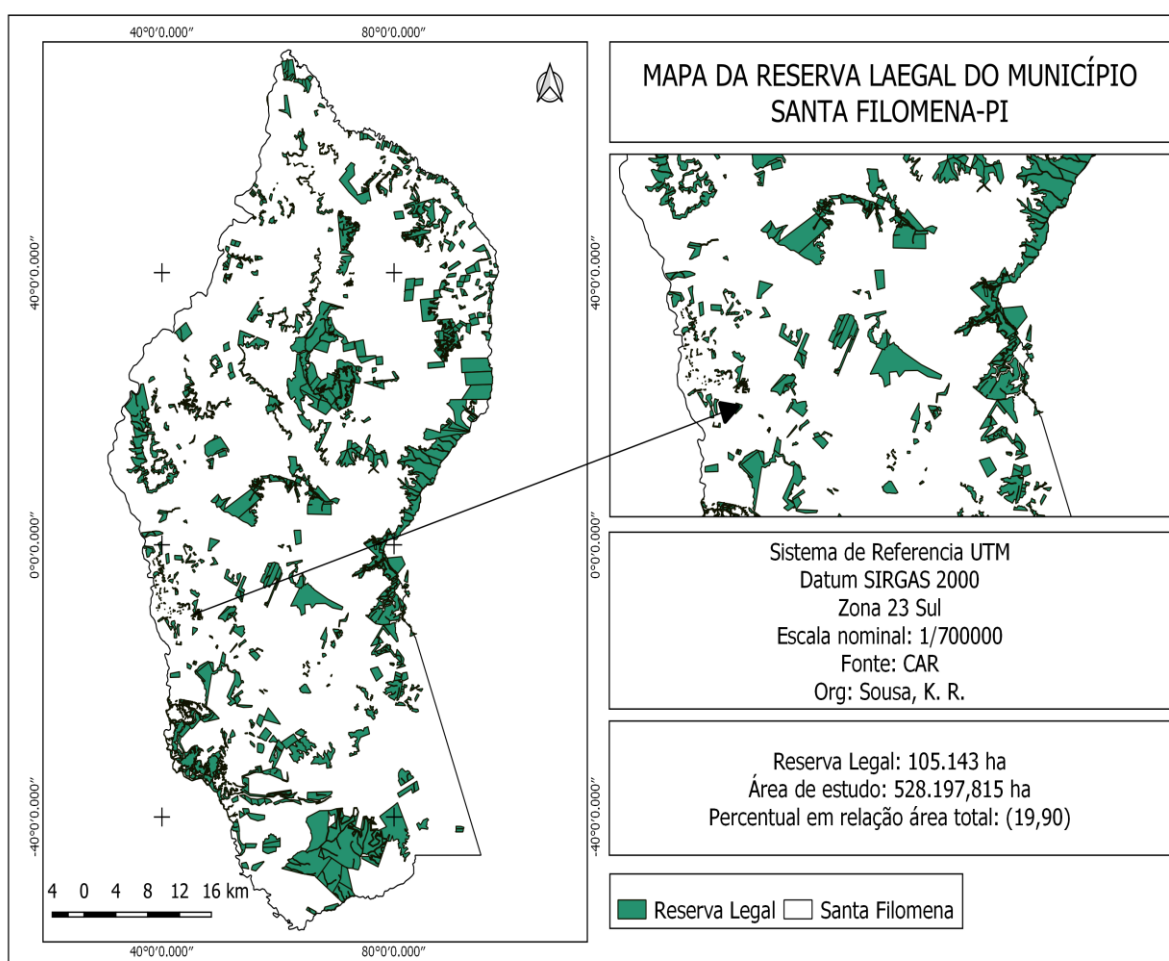
O solo Neossolo Quartzarênico não é usado na produção de soja é tem a menor extensão apenas 3,09% da área total. Apresenta textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; são

essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis menos resistentes ao intemperismo, segundo (EMBRAPA, 2006).

4.5 Mapa da reserva legal

O mapa de reserva legal foi feito com dados fornecidos pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR), com isso foi obtida uma área de 105.143 ha de reserva legal, onde encontra-se espalhada por todo o município de Santa Filomena, já que todo imóvel rural deve manter área com cobertura vegetação nativa como previsto na Lei 12,651/12, com isso representa apenas 19,90 % da área total, como mostra o mapa 8.

Mapa 8. Mapa da reserva legal.



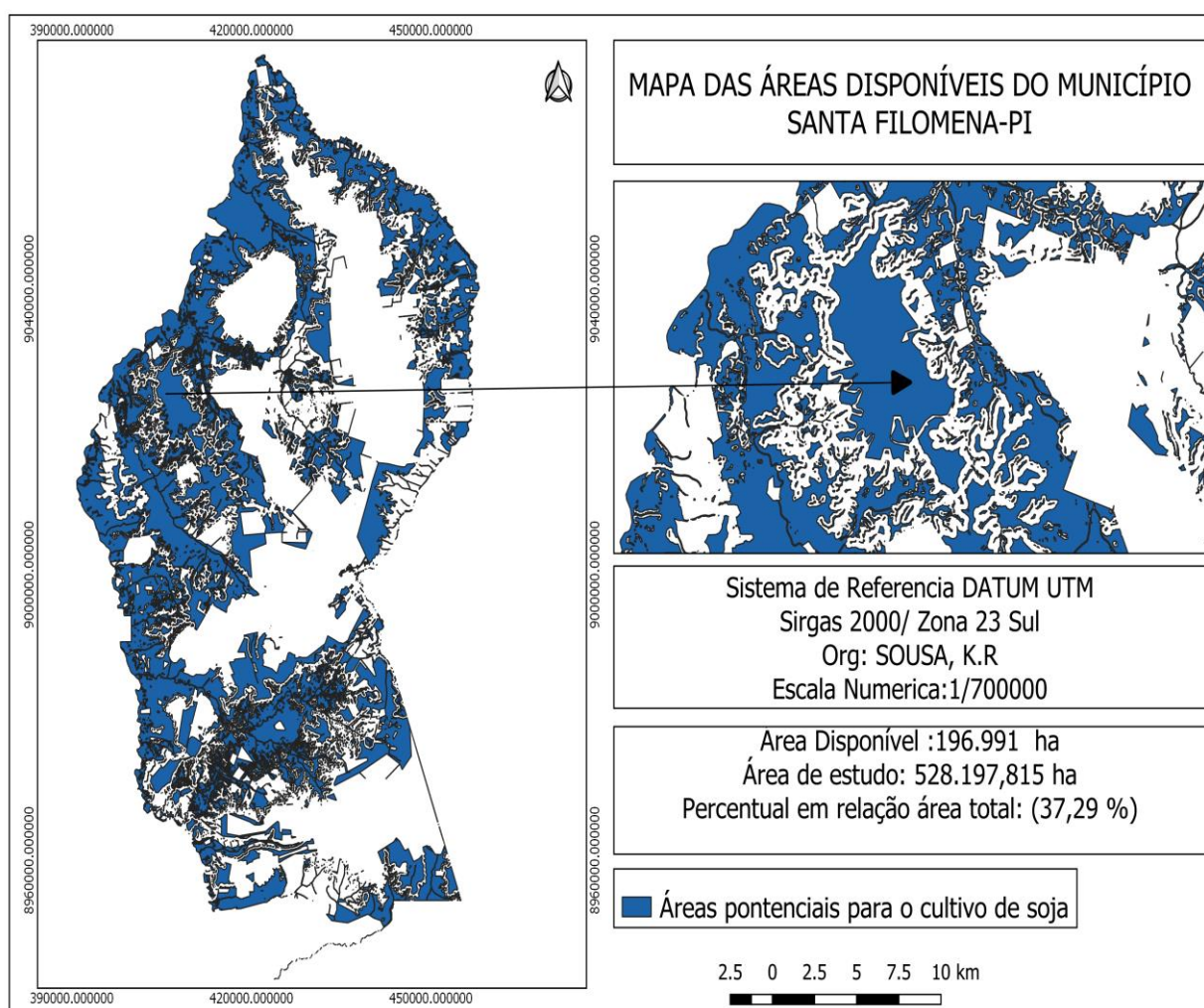
Fonte: Autor

4.6 Mapa das áreas disponíveis para a produção de soja

O mapa de áreas disponíveis para a produção de soja no município de Santa Filomena foi obtido através do processo de subtração da área total do município das camadas referentes apps, agricultura, solos, declividade, entre outros fatores. Após esse processo, foi visto que as terras estão disponíveis por todo o município, mais principalmente na porção oeste próximo as áreas do rio Parnaíba e as áreas de preservação permanente juntamente com a reserva legal e a parte mais explorada é o centro-norte e o norte.

As áreas disponíveis são 196.991 ha apresentados, ou seja, 37,29% que podem ser cultivados a soja em relação área total do município, como mostra o mapa 9.

Mapa 9. Mapa de áreas disponível para a produção de soja.



Fonte: Autor

6.0 CONCLUSÕES

O uso de imagens da série Landsat8 mostrou-se satisfatório para a classificação supervisionada. Foi possível realizar o mapeamento do uso e ocupação do solo do município de Santa Filomena, classificando as áreas de plantações de soja, onde os resultados foram adequados aos objetivos do trabalho. Também foi visto, que as imagens são de fácil acesso e exibem uma boa qualidade em sua cobertura temporal e na resolução espacial, torna-se viável uso dela em várias aplicações no sensoriamento remoto.

Através das ferramentas de geoprocessamento, foi possível realizar a reclassificação do mapa de declividade, demonstrando apenas as duas áreas de interesse que era as áreas planas ($0 > 10\%$) e suave onduladas ($> 10\%$). Também foi usado na classificação do mapa de solo, exibido os tipos, onde é cultivada a soja e o percentual de cada um em relação área total do município.

No que diz respeito a metodologia adotada para delimitação automática das Áreas de Preservação Permanente (Apps) e a reserva legal das áreas potenciais agrícolas mostrou-se uma alternativa eficaz e rápida, relacionando-as às dimensões do município. Em relação ao software Qgis os resultados foram convincentes para todos os processamentos realizados em imagens, como na criação de shapefile e nos buffers das áreas de Apps e como também exibiu com êxito a classificação da declividade e a categorização dos solos.

Nessa pesquisa foi usada uma metodologia simples com resultados rápidos e satisfatórios, que chegou à conclusão se as áreas identificadas são compatíveis para o cultivo de soja ou não, usada apenas duas classes. Mas, em outros trabalhos abordados os autores optaram por trabalhar com a metodologia de lógica fuzzy, que classifica as áreas potenciais com um determinado valor como por exemplo (alto potencial, médio potencial ou baixo potencial), possibilita ainda a construção de várias regras, que facilitam a modelagem dos problemas, tornando-os assim, menos complexos.

Esse método vem gerando novas classes de sistemas e de controladores neurofuzzy, combinando assim os potenciais e as características individuais em sistemas adaptativos e inteligentes (Gomide et.al. 1992). Estes sistemas deverão proporcionar uma importante contribuição para os sistemas de automação e controle do futuro, principalmente em controle de processos.

REFERÊNCIAS

BLANC, Rafael Bairros; JÚNIOR, Cláudio Vaz. Avaliação de produtividade de cultivares de soja em Pinhão-PR. **TECH & CAMPO**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 77-89, 2018.

BRASIL. Lei 12.651/12 de 25 de maio de 2012. Estabelece normas gerais sobre a Proteção da Vegetação Nativa, incluindo Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de Uso Restrito. **Diário Oficial da União**, BRASÍLIA, DF, 25 maio. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em 22 dez 2018.

CEPRO - Fundação centro de pesquisas econômicas e sociais. **Diagnóstico socioeconômico do município de Santa Filomena**. 2018. Disponível em: <<http://www.cepro.pi.gov.br/noticia.php?id=357&pes=SANTA>>. Acesso em: 18 Dez. 2018.

CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: **Diagnóstico do município de Santa Filomena**. Fortaleza: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2004.18p.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas de produção de grãos**. 2015. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/> >. Acesso em :20 Jan 2019.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas de produção de grãos**. 2018. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/> >. Acesso em :15 Jan 2019.

CORRÊA, José Carlos. Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (typic acrorthox) do estado do Amazonas, sob diferentes métodos de preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 12, p. 1381-1387, 1985.

DA SILVA PEREIRA, Ludmily; DE OLIVEIRA SILVA, Débora; PAMBOUKIAN, Sergio Vicente Denser. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, São Paulo, v. 16, n. 1, 2016.

DE OLIVEIRA BARROS, Erika; PAMBOUKIAN, Sergio Vicente Denser. Análise do desastre de mariana através da classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, São Paulo, v. 17, n. 1, 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil**. 2003. Disponível em :<<http://www.cnpso.embrapa.br/producao soja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 23 fev 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção**, 1. ISSN 1679-012 Versão Eletrônica - 3ª edição. Nov./2007. Cultivo do Milho. Disponível em:<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000fckl80cd02wx5eo0a2ndxy9o28e5x.html>. Acesso em: 25 Set 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2010. Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/> >. Acesso em:10 Jan 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2018. Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/> >. Acesso em:10 Mar 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**. 2006. Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/> >. Acesso em:10 Fev 2019.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual de obtenção de terras e perícia judicial**. 2004. Disponível em:< <http://www.incra.gov.br/>>. Acesso em: 22 18 Dez 2018.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Topodata banco de dados Geomofometricos do Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 20 de fev. 2019.

FREITAS, MCM de. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera–Centro Científico Conhecer, Goiânia-GO, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.**

FROTA, Antônio Boris; CAMPELO, GJ de A. Evolução e perspectivas da produção de soja na região Meio-Norte do Brasil. **Embrapa Meio-Norte-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 1999.

Gomide, F.; A. Rocha; P. Albertos (1992-a) **Neurofuzzy Controllers - IFAC - LCA'92**, Viena, Austria.

HASSE, Geraldo; BUENO, Fernando. **O Brasil da Soja. Abrindo Fronteiras, Semeando Cidades**. The Brazil of Soy-Opening Frontiers, Sowing Cities. LPM, 1996.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Evolução e perspectivas de desempenho econômicos associados com a produção de soja nos contextos mundial brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, p. 46, 2010. (Embrapa Soja. Documentos, 319).

LEITE, G. T. D.; CARMINATO, L. P.; PAMBOUKIAN, S. V. D. **Utilização de imagens da shuttle radar topography mission (srtm) para geração de curvas de nível, mapa de declividade e modelagem 3d do terreno**.

LIMA, Francielle do Monte. **Mapeamento das culturas graníferas de verão do Distrito Federal**. 2015.45f. Trabalho parcial de conclusão do curso (Bacharel em Agronomia) - Universidade de Brasília faculdade de agronomia e medicina veterinária (FAV/UNB). BRASÍLIA, 2015.

LUPPI, Alixandre Sanquetta Laporti et al. Utilização de geotecnologia para o mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no município de João Neiva, ES. **Floresta e Ambiente**, Alegre-ES, v. 22, n. 1, p. 13-22, 2015.

MARTINI, Z.D. **Identificação de áreas potencialmente disponíveis para expansão agrícola no bioma amazônia a partir de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento**. 2015. 116 f. Dissertação de (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais – INPE, São José dos Campos 2015.

POELKING, Everton Luís et al. Sistema de informação geográfica aplicado ao levantamento de solos e aptidão agrícola das terras como subsídios para o planejamento ambiental do município de Itaara, RS. **Revista Árvore**, Viçosa-MG v. 39, n. 2, p. 215-223, 2015.

ROY, David P. et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote sensing of Environment**, v. 145, p. 154-172, 2014.

SOUZA, Graziella Martinez; ROMUALDO, Sanderson dos Santos. Inundações Urbanas: A percepção sobre a problemática socioambiental pela comunidade do bairro Jardim Natal–Juiz de Fora (MG). **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Viçosa, v. 6, 2009.

Rosa, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de geografia**, v.16, p.81-90, 2005.

RUDORFF, B. F.; MOREIRA, T. ALVES.; **Sensoriamento remoto aplicado a agricultura**. In: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2002. 20p.

SANTOS, A. T. N. **Mapeamento do nematoide das lesões radiculares no leste maranhense**. 2017.34f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Chapadinha, 2017.

SECEX - Secretaria de Comércio Exterior. **Indicadores e Estatísticas de Comércio Exterior**. Disponível em:< <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

VENCATO, A. Z., et al. Anuário Brasileiro da Soja 2010. Santa Cruz do Sul: Ed. **Gazeta Santa Cruz**, p. 144, 2010.

VIANA, Denilson Ribeiro. **O uso de técnicas de geoprocessamento na avaliação de áreas favoráveis ao plantio da soja no rio grande do sul**. In: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE. São José dos Campos, 42 p. 2009.

WOLLMANN, Lauro Marino; BASTOS, Lia Caetano. Novo código florestal e reserva legal em propriedades rurais do município de Porto Alegre/RS. **Ciência Rural**, v. 45, n. 3, p. 412-417, 2015.