



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL DAS ÁREAS DE CULTIVO  
DE ERVA-MATE NO MUNICÍPIO DE ILÓPOLIS-RS**

Diana Zerbielli

Lajeado, novembro de 2017

Diana Zerbielli

## **MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL DAS ÁREAS DE CULTIVO DE ERVA-MATE NO MUNICÍPIO DE ILÓPOLIS-RS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, submetida ao Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Ms. Rafael Rodrigo Eckhardt

Lajeado, novembro de 2017

Diana Zerbielli

## **MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL DAS ÁREAS DE CULTIVO DE ERVA-MATE NO MUNICÍPIO DE ILÓPOLIS-RS**

A banca examinadora abaixo aprova a monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Ambiental, da Universidade do Vale do Taquari, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental:

Prof. Ms. Rafael Rodrigo Eckhardt – Orientador  
Universidade do Vale do Taquari

Prof.<sup>a</sup> Dr. Elisete Maria de Freitas  
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Lajeado, novembro de 2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a toda a minha família, em especial aos meus pais Anacleto e Adelina, meus irmãos Fábio, Cleber, Aline, Lucas e Daiana e meu namorado Bruno, por todo o incentivo, apoio, ajuda e compreensão.

Aos amigos, em especial a minha dupla inseparável de faculdade Karin Chiesa, por toda ajuda, companheirismo e momentos compartilhados.

Ao meu orientador Professor Ms. Rafael Rodrigo Eckhardt, pelo conhecimento e auxílio repassado na realização deste trabalho.

Agradeço o Sr. Jurandir Marques e Sr.<sup>a</sup> Raquel Tomasini Della Bona, que em nome da Prefeitura Municipal de Ilópolis me disponibilizaram dados e informações necessárias para a realização deste trabalho.

Ao diretor executivo do Ibramate, Sr. Roberto Magnus Ferron, pelos materiais e informações fornecidas.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação e a Deus pela vida.

## RESUMO

O uso de geotecnologias vem apresentando uma crescente utilização no setor de agronegócios, uma vez que suas ferramentas agilizam e contribuem para o conhecimento, monitoramento e planejamento de atividades no meio rural. Neste sentido, o presente estudo tem o objetivo de realizar o mapeamento e análise espacial das áreas de cultivo de erva-mate no município de Ilópolis-RS por meio do uso de geotecnologias. O mapeamento dos ervais foi realizado por classificação supervisionada de uma imagem Rapideye 3A por meio do *software* ArcGIS 10.3 utilizando o algoritmo *Maximum Likelihood Classification* e, também, a partir do *software* Google Earth Pro. A análise espacial das áreas de cultivo de erva-mate foi realizada por meio das ferramentas do *software* ArcGIS 10.3 integrando as áreas de ervais mapeadas a partir do *software* Google Earth Pro com as bases de geologia, geomorfologia, pedologia, declividade, altitude e orientação solar. Através do *software* Google Earth Pro foram mapeados 3.471,26 hectares de ervais plantados a pleno sol e 450,89 hectares de ervais sombreados. Os ervais predominam em áreas formadas pela formação geológica Fácies Caxias (90,17%), UG Planalto dos Campos Gerais (83,54%), em solos do tipo Nitossolo Bruno Alumínico (82,91%), em altitudes que variam de 600 a 795 metros (82,73%) e em terrenos com relevo moderado a forte ondulado (77,67%). Quanto à orientação solar não apresentaram nenhum predomínio. Os procedimentos realizados permitiram alcançar os objetivos propostos, porém não foi possível mapear os ervais em sua totalidade. Espera-se com a realização deste trabalho que se demonstre o potencial do uso de geotecnologias para organização do setor ervateiro na sua busca de valorizar e qualificar a cadeia produtiva da erva-mate, visualizando uma possível indicação geográfica que agregue valor ao produto e possa ser um diferencial frente ao mercado consumidor.

**Palavras-chave:** Geotecnologias. Cadeia produtiva. Setor ervateiro.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de distribuição natural da erva-mate.....	17
Figura 2 – Polos ervateiros do Rio Grande do Sul com identificação de seus respectivos municípios de maior produção .....	24
Figura 3 – Municípios integrantes dos polos ervateiros do Rio Grande do Sul .....	25
Figura 4 – Obtenção de imagens por sensoriamento remoto .....	28
Figura 5 – Níveis de informações em SIG.....	32
Figura 6 – Mapa de localização do município de Ilópolis .....	36
Figura 7 – Mapa das formações geológicas do município de Ilópolis .....	38
Figura 8 – Mapa geomorfológico do município de Ilópolis .....	39
Figura 9 – Mapa de solos do município de Ilópolis.....	40
Figura 10 – Mapa da rede hidrográfica do município de Ilópolis .....	41
Figura 11 – Eralv sombreado localizado na comunidade de Linha São Valentin, no interior do município de Ilópolis-RS.....	50
Figura 12 – Eralv a pleno sol localizado na comunidade de Linha São Valentin, no interior do município de Ilópolis-RS.....	50
Figura 13 – Uso e cobertura do solo do município de Ilópolis-RS.....	52
Figura 14 – Localização das áreas com cultivo de erva-mate no município de Ilópolis-RS.....	53
Figura 15 – Localização dos ervais conforme as formações geológicas no município de Ilópolis-RS.....	55
Figura 16 – Localização dos ervais conforme as unidades geomorfológicas no município de Ilópolis-RS.....	57
Figura 17 – Localização dos ervais conforme o tipo de solo no município de Ilópolis-RS .....	59
Figura 18 – Localização dos ervais conforme as classes de altitude no município de Ilópolis-RS.....	61
Figura 19 – Localização dos ervais conforme as categorias de declividade no município de Ilópolis-RS.....	63
Figura 20 – Localização dos ervais conforme as classes de orientação solar no município de Ilópolis-RS.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de erva-mate brasileira no ano de 2016.....	23
Tabela 2 – Categorias de declividade .....	47
Tabela 3 – Classes de uso e cobertura do solo do município de Ilópolis-RS.....	49
Tabela 4 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de geologia em Ilópolis-RS .....	54
Tabela 5 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de geomorfologia em Ilópolis-RS.....	56
Tabela 6 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de solo em Ilópolis-RS .....	58
Tabela 7 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de altitude em Ilópolis-RS .....	60
Tabela 8 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de declividade em Ilópolis-RS.....	62
Tabela 9 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de orientação solar em Ilópolis-RS.....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPRM	Companhia Brasileira de Recursos Minerais
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
PAM	Produção Agrícola Municipal
PEVS	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1	Objetivo geral .....	14
2.2	Objetivos específicos .....	14
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
3.1	Atividades agrícolas e florestais .....	15
3.2	A cultura de erva-mate .....	16
3.2.1	A produção de erva-mate .....	22
3.3	Geotecnologias .....	26
3.3.1	Geoprocessamento .....	27
3.3.2	Sensoriamento Remoto .....	28
3.3.3	Processamento digital de imagens .....	30
3.3.3.1	Classificação das imagens digitais .....	31
3.3.4	Mapeamento e análise espacial .....	32
3.3.5	Aplicação de geotecnologias em estudos sobre a cultura de erva-mate .. .....	34
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
4.1	Caracterização da área de estudo .....	35
4.1.1	Características físicas.....	37
4.1.1.1	Geologia .....	37
4.1.1.2	Geomorfologia.....	38
4.1.1.3	Pedologia .....	39
4.1.1.4	Hidrografia.....	40
4.1.1.5	Clima .....	41
4.2	Materiais e softwares .....	42
4.3	Procedimentos .....	43

4.3.1	Base de dados.....	43
4.3.2	Mapeamento dos ervais através de classificação supervisionada.....	44
4.3.3	Mapeamento dos ervais através do <i>software</i> Google Earth Pro.....	45
4.3.4	Análise espacial das áreas de cultivo de erva-mate.....	45
4.3.4.1	Geologia.....	45
4.3.4.2	Geomorfologia.....	46
4.3.4.3	Pedologia.....	46
4.3.4.4	Declividade.....	46
4.3.4.5	Altitude.....	47
4.3.4.6	Orientação Solar.....	47
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>49</b>
5.1	Mapeamento dos ervais.....	49
5.2	Análise espacial das áreas de cultivo de erva-mate.....	54
5.2.1	Geologia.....	54
5.2.2	Geomorfologia.....	56
5.2.3	Pedologia.....	58
5.2.4	Altitude.....	60
5.2.5	Declividade.....	62
5.2.6	Orientação Solar.....	64
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola e florestal, assim como a pecuária, são atividades muito importantes para a economia brasileira, uma vez que são responsáveis pela geração de empregos e renda. Dentre os cultivos praticados no Brasil, a produção de erva-mate é uma atividade que se destaca no sul do país, a qual vem apresentando uma crescente inserção no mercado, sendo matéria-prima para diferentes produtos.

A produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) é uma atividade agroflorestal de suma importância para o Brasil, fazendo parte de uma das atividades não-madeireiras que integram o mercado agroflorestal brasileiro (OLIVEIRA; WAQUIL, 2015) e caracterizando o principal produto não-madeireiro que compõe o agronegócio florestal na região sul do Brasil (GOULART; PENTEADO JUNIOR, 2016). Além disso, constitui o principal componente de um dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) mais antigos e importantes da região sul do Brasil, sendo o seu cultivo muito difundido na agricultura familiar (ALEGRE; VILCAHUAMÁN; CORRÊA, 2007).

Segundo Alegre, Vilcahuamán e Corrêa (2007), a erva-mate já foi considerada o principal produto de exportação da região sul do Brasil, mas a partir da década de 1970 teve sua área de ervais nativos significativamente substituída pela expansão e mecanização da produção de grãos. De acordo com Chechi e Schultz (2016), os subsídios e garantias oferecidas pelo governo naquela época incentivaram o plantio de culturas anuais e levaram à erradicação dos ervais nativos de forma generalizada no sul do Brasil. Assim, o sistema produtivo da erva-mate permaneceu em regiões onde o relevo não possibilitava a mecanização e nas mãos de pequenos produtores com emprego da mão-de-obra familiar para a produção.

Seu cultivo continua sendo uma atividade característica da região sul do Brasil, apresentando grande importância econômica, social e ambiental para os municípios onde a espécie florestal ocorre (CHECHI; SCHULTZ, 2016). Representa a principal fonte econômica para muitos agricultores familiares e é responsável pela geração de empregos e renda. De acordo com Pichelli (2016), a economia ervateira brasileira é constituída por, aproximadamente, 700 indústrias beneficiadoras e 150 mil pequenos produtores rurais, gerando cerca de 700 mil empregos.

Do ponto de vista ambiental, o extrativismo da erva-mate pode ser considerado uma das formas de manutenção dos fragmentos florestais que ainda existem da Floresta de Araucária e pela conservação de genótipos de erva-mate (GAIAD, 2010). Além disso, a cultura de erva-mate é uma alternativa de reposição florestal, com alto potencial para proporcionar serviços ambientais através do sequestro de carbono (ALEGRE; VILCAHUAMÁN; CORRÊA, 2007; PALACIOS, 2010).

A produção de erva-mate brasileira é concentrada nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul. O RS é protagonista na produção de erva-mate mas, em função da perda de boa parte dos seus ervais nativos, hoje a produção gaúcha vem perdendo espaço, principalmente para o estado do Paraná que conseguiu preservar grande parte dos seus ervais nativos e se beneficia pela contínua exploração destes (CHECHI; SCHULTZ, 2016), sendo em termos de produção total o maior produtor brasileiro atual (IBGE, 2016).

A crescente demanda em valorizar e qualificar a cadeia produtiva da erva-mate, além de expandir o mercado consumidor, intensificou os estudos sobre a dinâmica do setor ervateiro, melhoramento genético, tecnologias de produção e qualidade dos produtos. Neste sentido, entende-se que a gestão de uma cadeia produtiva depende do conhecimento de toda logística envolvida, dos agentes envolvidos, das áreas de exploração, do potencial de produção, das tecnologias de produção, dentre outros. Para isso, o uso de geotecnologias pode contribuir no conhecimento, monitoramento e planejamento das atividades que integram o mercado ervateiro.

As geotecnologias são um conjunto de tecnologias voltadas a coletar, processar, analisar e fornecer informações que contenham referência geográfica que servem para estudos do espaço geográfico e dão suporte para diversas ações de

planejamento e gestão territorial, sendo assim, um recurso poderoso para ações de monitoramento, planejamento e tomada de decisão. Dentre as geotecnologias existentes destacam-se o sensoriamento remoto, o geoprocessamento, os sistemas de informação geográfica (SIG), a cartografia digital, sistema de posicionamento global (GPS), a topografia, dentre outros (ROSA, 2005).

Neste trabalho, a área de estudo foi o município de Ilópolis, localizado na região alta do Vale do Taquari, com uma população de 4.102 habitantes e extensão territorial de 116,481 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). O município destaca-se pela exploração, processamento e comercialização de erva-mate. Atualmente, é o maior produtor de erva-mate do Rio Grande do Sul com uma produção de 66 mil toneladas anuais de erva-mate cultivada e 560 toneladas anuais de erva-mate nativa (IBGE, 2016). A produção de erva-mate é a atividade econômica mais importante do município, responsável pelo emprego direto e indireto de mais de 50% de sua população.

De acordo com Gaiad (2010), Santin, Benedetti e Reissmann (2015) e Goulart e Penteado Junior (2016), a cadeia produtiva da erva-mate carece de informações básicas, não existindo dados atuais confiáveis sobre a produtividade dos ervais assim como da área total explorada. No que tange à qualidade dos produtos, outros trabalhos apontam que há também uma carência de estudos sobre aspectos qualitativos da erva-mate (ZERBIELLI, 2016), tendo a importância de que a identificação de características originais de produtos, como a indicação geográfica de onde são produzidos pode ser um diferencial frente ao mercado consumidor.

Diante destas considerações e sabendo da importância da cultura de erva-mate para o estado do Rio Grande do Sul, em especial para o município de Ilópolis, o presente trabalho tem como objetivo principal realizar o mapeamento e a análise espacial das áreas com cultivo de erva-mate no município de Ilópolis-RS.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Realizar o mapeamento e a análise espacial das áreas com cultivo de erva-mate no município de Ilópolis-RS.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Mapear a área abrangida por ervais no município;
- Avaliar as características físicas das áreas de cultivo de erva-mate no município;

## **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 Atividades agrícolas e florestais**

A atividade agrícola e florestal, assim como a pecuária, são atividades muito importantes para a economia brasileira, uma vez que são responsáveis pela geração de empregos e renda. Segundo IBGE (2016), há uma contínua expansão de áreas de agricultura e floresta para fins econômicos no Brasil, demonstrando a importância do setor florestal e agrícola para o país.

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que investiga as produções oriundas de cultivos no Brasil através da pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM), no ano de 2016 a área total cultivada com os 63 produtos investigados foi 400 mil hectares a mais em relação a 2015, totalizando 77,2 milhões de hectares. Neste cenário, a área colhida sofreu um decréscimo de 0,7% devido, principalmente, pela falta de chuva em várias regiões produtoras onde as culturas de milho e feijão foram as mais afetadas (IBGE, 2016).

Após o recorde de produção em 2015, as culturas de soja e milho apresentaram um decréscimo de 1,2 e 24,8% em suas produções, respectivamente. Contudo, o valor total da produção agrícola foi 20% maior que em 2015, atingindo o valor de R\$ 317,5 bilhões, onde a soja, o milho e a cana-de-açúcar concentraram mais de 60% do valor de produção nacional (IBGE, 2016).

De acordo com o IBGE (2016), os dados da pesquisa Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS), que investiga produções oriundas do extrativismo vegetal no Brasil, revelam que o setor florestal vem ganhando destaque tanto no cenário econômico nacional quanto no mercado global, principalmente em relação à

produção obtida de florestas plantadas, onde o país apresenta os maiores níveis de produtividade mundiais (IBGE, 2016).

Em 2016, a produção primária florestal superou em 0,8% o ano anterior, atingindo R\$ 18,5 bilhões, onde a silvicultura e a extração vegetal participaram com 76,1% e 23,9%, respectivamente. Na produção extrativa não madeireira de 2016, o grupo de produtos alimentícios alcançou o maior valor da produção, com 71,9% do valor total obtido, dentre os quais destaca-se a erva-mate correspondendo a R\$ 398,8 milhões (IBGE, 2016).

Os produtos oriundos do extrativismo vegetal ganham grande importância pois asseguram a subsistência de muitas famílias e comunidades tradicionais no interior do Brasil, garantindo o movimento de economias locais, além do abastecimento de grandes centros. Na Região Amazônica, o destaque é para a produção de açaí e de castanha-do-pará, além de outras sementes e frutas comuns desta região. Já na Região Nordeste, esses produtos são o babaçu e a piaçava. E, na Região Sul, a erva-mate destaca-se pelo seu valor econômico e cultural.

A produção de erva-mate constitui umas das atividades não-madeireiras que integram o mercado agroflorestal brasileiro (OLIVEIRA; WAQUIL, 2015), sendo o principal produto não-madeireiro que compõe o agronegócio florestal na região sul do Brasil (GOULART; PENTEADO JUNIOR, 2016).

A cultura de erva-mate, objeto deste estudo, é uma atividade agroflorestal de suma importância para o Brasil, especialmente para a região Sul. Constitui o principal componente de um dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) mais antigos e importantes da região sul do Brasil, sendo o seu cultivo muito difundido na agricultura familiar (ALEGRE; VILCAHUAMÁN; CORRÊA, 2007).

### **3.2 A cultura de erva-mate**

A área de distribuição natural da erva-mate abrange os territórios do Brasil, Argentina e Paraguai, compreendendo uma área de aproximadamente 540.000 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 3% do território da América do Sul. Estende-se entre as latitudes 21° e 30°S e longitudes de 48°30'O até 56°10'O, em altitudes que variam de 500 a 1.500 metros. Só no Brasil, ocupa uma área de 450.000 km<sup>2</sup>, o que representa 5% do

território brasileiro. Se distribui naturalmente nos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul e, em áreas reduzidas nos estados de São Paulo e Minas Gerais (OLIVEIRA; ROTTA, 1985). Para Sá et al. (2017), a erva-mate geralmente ocorre em altitudes de 400 a 1.800 metros, porém, adicionalmente na região Sul, a espécie encontra-se em altitudes inferiores a 400 metros.

A área de ocorrência natural da erva-mate compreende a região centro-oeste do Rio Grande do Sul, passando por praticamente todo estado de Santa Catarina. Adentra pela região centro-sul do estado do Paraná, estendendo-se a nordeste para o estado de São Paulo, onde limita-se a uma pequena área localizada na região sudeste. A oeste do Paraná avança em direção a região sul do Mato Grosso do Sul, seguindo até parte da Província de Misiones na Argentina e a região oriental do Paraguai (FIGURA 1) (OLIVEIRA; ROTTA, 1985).

Figura 1 – Área de distribuição natural da erva-mate



Fonte: Oliveira e Rotta (1985).

Ainda, como pode-se observar na Figura 5, existem alguns pontos isolados de ocorrência da espécie a leste de São Paulo, parte sudeste de Minas Gerais e região sul do Rio Grande do Sul, correspondendo a reduzidas manchas de matas com

ocorrência do pinheiro-do-paraná – *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (OLIVEIRA; ROTTA, 1985).

De acordo com Oliveira e Rotta (1985), o clima predominante nas áreas de ocorrência de erva-mate é indicado por Köppen pelo tipo climático Cfb, seguido pelo Cfa, compreendendo climas pluviais temperados, com chuvas regulares, distribuídas ao longo de todo ano, proporcionando um clima sempre úmido, com variação da temperatura do mês mais quente superior ou inferior a 22°C. A precipitação média anual fica em torno de 1.500 mm. Segundo o mesmo autor, quanto ao tipo de solo, a espécie ocorre mais frequentemente em solos com baixo teor de nutrientes trocáveis e alto de alumínio, com preferência por solos medianamente profundos ou profundos. De acordo com Santin, Benedetti e Reissmann (2015), a erva-mate é caracterizada por ocorrer em solos ácidos e que possuem textura franca a argilosa.

Os primeiros registros do uso da erva-mate datam de 1554, quando a erva já era utilizada pelos nativos da América do Sul, antes mesmo da chegada dos colonizadores, sendo consumida de forma moída, como bebida, ou de modo mastigável. Entretanto, foram os jesuítas, no século XVII, os que começaram a orientar os índios na realização de plantios de erva-mate, sendo estes os precursores das práticas de cultivo e manejo da erva-mate, incluindo cultivo sistemático, coleta de sementes, produção de mudas e condução das erveiras (SCHUCHMANN, 2002; GAIAD, 2010). Do século XVII até os dias de hoje, diferentes modelos de ervais surgiram, mas o modelo extrativista, em parte, ainda continua (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015).

Desde o início do século XVII, o extrativismo foi o modelo de manejo de erva-mate realizado mas, a baixa assistência técnica, tornava a condução dos plantios subjetiva, sem um planejamento (MEDRADO et al., 2002). Hoje, há muitas possibilidades para seu cultivo, contudo, ainda não se tem um consenso sobre qual espaçamento e periodicidade entre colheitas se adaptam melhor a cada modelo de erval (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015).

A erva-mate é uma espécie perenifólia que pode chegar a 30 metros de altura. Sua presença natural é característica da Floresta Ombrófila Mista Montana, uma das formações da Floresta Ombrófila Mista, também conhecida por “Floresta de

Araucária”, o que caracteriza sua ocorrência associada aos pinhais de araucária (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015).

Uma das particularidades das plantas de erva-mate é que elas se adaptam tanto sob sombreamento quanto a pleno sol, o que possibilita a opção por diferentes sistemas de produção. De acordo com Santin, Benedetti e Reissmann (2015), a erva-mate tolera sombreamento de média intensidade em qualquer idade, e mais luz na fase adulta, regenerando-se facilmente quando os estratos arbóreo superior, arbustivo e herbáceo são raleados. Contudo, a presença de estômatos apenas na região abaxial das folhas qualifica a erva-mate no grupo de espécies que evitam a sombra e protegem o aparelho fotossintético do excesso de radiação solar, indicando a adaptação das plantas para cultivos a pleno sol.

A qualidade da erva-mate entre os diferentes sistemas de produção ainda gera diversos questionamentos. Atualmente, ainda prevalece a ideia de que, para chimarrão, a erva-mate a pleno sol é mais amarga que a sombreada, contudo já foram realizados experimentos e estudos que constataram características inversas (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015).

Quanto à produtividade, embora a erva-mate naturalmente seja encontrada em seu habitat parcialmente sombreado, cultivos a pleno sol ou com pouco nível de sombra são considerados mais produtivos do que os com alto nível de sombreamento, visto que a presença de altos níveis de sombra limitam o potencial fotossintético da planta, o que, conseqüentemente, reduz o crescimento e a produção de biomassa (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015). Zerbielli (2016) também constatou produtividade menor em áreas com sombreamento.

Os diferentes modelos de ervais que podem ser empregados para exploração da erva-mate são: **nativos**, com plantas que cresceram na mata sem intervenção antrópica; **homogêneos**, com plantações solteiras a pleno sol; **consorciados**, onde o plantação é intercalada com outras espécies florestais, agrícolas e/ou pecuária; **adensados**, onde o plantio é realizado em clareiras já existentes ou criadas a partir do manejo da mata; e, **em transformação**, onde o erval homogêneo é diversificado com cultivo de mais espécies florestais, podendo ser nativas ou exóticas (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015).

O espaçamento entre as plantas depende muito do tipo de erval. Normalmente, nos ervais nativos a densidade de plantas é de até 500 plantas/ha. Em plantios homogêneos, os espaçamentos mais comuns atualmente são de 2,0 m x 2,0 m; 2,0 m x 2,5 m; 2,0 m x 3,0 m; 1,5 m x 2,8 e 1,5 m x 3,0 m entre plantas (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015). Contudo, diferentes espaçamentos são escolhidos pelos agricultores, dependendo do seu modo de conduzir o manejo do erval.

Quanto ao intervalo entre colheitas, hoje o comum é de 12, 18 e 24 meses em cultivos a pleno sol ou adensados. Em ervais nativos, o intervalo é maior podendo ser de 36 a 48 meses, visto que o crescimento dos brotos após a poda é mais lento em ervais com alto nível de sombreamento (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015).

A época recomendada para colheita de erva-mate é entre os meses de maio a setembro, período este em que a planta se encontra com alta proporção de folhas maduras e em baixa atividade fisiológica. O período de dezembro a fevereiro corresponde à safrinha, mas a colheita nesta época é menos praticada, visto que geadas precoces ou insolação excessiva podem danificar o erval, podendo até matar as erveiras. Contudo, a colheita ocorre durante o ano todo, com vistas a manter o mercado abastecido. O aumento das áreas de ervais plantados a pleno sol ou adensados tem contribuído para isso já que favorecem a redução do intervalo entre colheitas (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015).

O modelo de erval dominante em cada estado é variável. No Paraná, aproximadamente, 70% da produção é proveniente de ervais nativos ou adensados (MACCARI JUNIOR et al., 2006). Em Santa Catarina, aproximadamente, 66% da produção provém de ervais nativos, e o restante, de ervais cultivados. Já no Rio Grande do Sul, a maioria das áreas com ervais nativos foram convertidas em áreas de lavouras anuais. Assim, aproximadamente, 60% da produção provém de ervais cultivados e 40% de ervais nativos remanescentes (ROCHA JUNIOR, 2001). Como pode-se observar, os dados quanto ao modelo de erval carecem de informações recentes, sendo possível que boa parte dos ervais tidos como nativos, sejam hoje, ervais de adensamento (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015).

Nos últimos anos, houve um aumento significativo de áreas de ervais cultivadas em sistema de consórcio, especialmente com culturas anuais de inverno (trigo, aveia

e coberturas verdes) e de verão (soja, milho e feijão) (MEDRADO et al., 2000) e com adensamento (GAIAD, 2010). O adensamento, conhecido também como a formação de ervais em sub-bosque de florestas, geralmente é realizado em áreas onde a erva-mate ocorre naturalmente, podendo ser praticado sem causar prejuízos às plantas com potencial madeireiro (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015).

Segundo Alegre, Vilcahuamán e Corrêa (2007), a erva-mate já foi considerada o principal produto de exportação da região sul do Brasil, mas a partir da década de 1970, teve sua área de ervais nativos significativamente substituída pela expansão e mecanização da produção de grãos, principalmente de soja, milho e trigo.

De acordo com Chechi e Schultz (2016), apesar de ainda manter áreas de ervais nativos, a produção de erva-mate brasileira também foi abalada com a modernização agrícola na década de 1970. Segundo os mesmos autores, os subsídios e garantias oferecidas pelo governo incentivando o plantio de culturas anuais, associado à modernização agrícola, levaram a erradicação dos ervais nativos de forma generalizada no sul do Brasil. Assim, o sistema produtivo da erva-mate permaneceu em regiões onde o relevo não possibilitava a mecanização e nas mãos de pequenos produtores com emprego da mão-de-obra familiar para a produção.

O cultivo de erva-mate continua sendo uma atividade característica da região sul do Brasil, apresentando grande importância econômica, social e ambiental para os municípios onde a espécie florestal ocorre. O Rio Grande do Sul é protagonista na produção de erva-mate mas, em função da perda de boa parte dos seus ervais nativos, a produção de erva-mate gaúcha vem perdendo espaço, principalmente para o estado do Paraná que conseguiu preservar grande parte dos seus ervais e se beneficia pela contínua exploração destes (CHECHI; SCHULTZ, 2016).

Além da sua importância socioeconômica, a cultura de erva-mate representa grandes benefícios ambientais. Para Gaiad (2010), o extrativismo da erva-mate é uma das formas de manutenção dos fragmentos da Floresta de Araucária e pela conservação de genótipos de erva-mate. Além disso, a erva-mate é uma alternativa de reposição florestal e possui grande potencial de sequestro de carbono (PALACIOS, 2010). De acordo com Alegre, Vilcahuamán e Corrêa (2007), esse potencial é devido a

característica das plantas de serem uma cultura perene que se mantém em constante crescimento e regeneração da sua biomassa entre os intervalos de colheita.

Alegre, Vilcahuamán e Corrêa (2007) realizaram um estudo nos municípios de Machadinho e Barão do Cotegipe no estado do Rio Grande do Sul a fim de determinar uma equação alométrica para avaliar as reservas de carbono em plantios de erva-mate no sul do Brasil. Os autores chegaram a uma estimativa para o fluxo anual de carbono na biomassa aérea da erva-mate, o qual foi, na média, em 20 tCO<sub>2</sub>/ha./ano, tendo como reserva no solo, mais de 207 tCO<sub>2</sub>/ha., demonstrando um grande potencial de captura de CO<sub>2</sub>. Tendo isso, o cultivo de erva-mate caracteriza também um serviço ambiental e apresenta possibilidades de complemento de renda e sustentabilidade para os agricultores familiares da região sul do Brasil.

### **3.2.1 A produção de erva-mate**

Em termos de produção, o Brasil é maior produtor de erva-mate a nível mundial (HEBERLE; HELM, 2017). Conforme dados do IBGE (2016), o Brasil apresentou produção de 963 mil toneladas de erva-mate verde em folha em 2016, seguido pela Argentina com uma produção de 819 mil toneladas em 2016 (INYM, 2017) e pelo Paraguai com 85 mil toneladas, de acordo com dados de 2013 do Ministério da Agricultura e Pecuária (SEAB, 2014).

O Brasil carece de dados atuais confiáveis a respeito da área destinada ao cultivo e à exploração de erva-mate (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015; GOULART; PENTEADO JUNIOR, 2016), mas, a região sul é, sem dúvidas, a maior produtora, detendo 99,7% da produção nacional. A cultura é praticada em cerca de 470 municípios nos três estados do sul do país e em cerca de 10 municípios no Mato Grosso do Sul (IBGE, 2016).

Os dados sobre a produção de erva-mate brasileira são investigados pelo IBGE, onde enquanto cultura cultivada, a erva-mate é investigada pela pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM) e, enquanto cultura proveniente do extrativismo vegetal, é investigada na pesquisa Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS). Atualmente, a produção brasileira é concentrada nos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul (IBGE, 2016).

Conforme os dados informados na PAM, em 2016 a erva-mate teve uma participação de 0,2% no total do valor da produção nacional. Com 77.325 hectares de área plantada ou destinada à colheita, foram produzidas 616.213 toneladas de erva-mate verde em uma área colhida de 73.647 hectares, resultando em uma produtividade média de 8.367 kg/ha. (IBGE, 2016).

Segundo os dados apresentados na PAM, o Rio Grande do Sul é o principal responsável pela produção de erva-mate cultivada, com 297.141 toneladas ou 48,2% do total. Em segundo está o Paraná com 227.804 toneladas ou 37%, seguido por Santa Catarina com 89.569 toneladas ou 14,5% e Mato Grosso do Sul com 1.699 toneladas ou 0,3% (IBGE, 2016).

De acordo com os dados informados na PEVS, em 2016 foram produzidas 346.953 toneladas de erva-mate nativa, sendo esta produção obtida principalmente do estado do Paraná, com 86,4% do total produzido, seguido por Santa Catarina com 8,3%, Rio Grande do Sul com 5,25% e Mato Grosso do Sul com 0,05% (IBGE, 2016). A Tabela 1 apresenta a produção de erva-mate brasileira no ano de 2016.

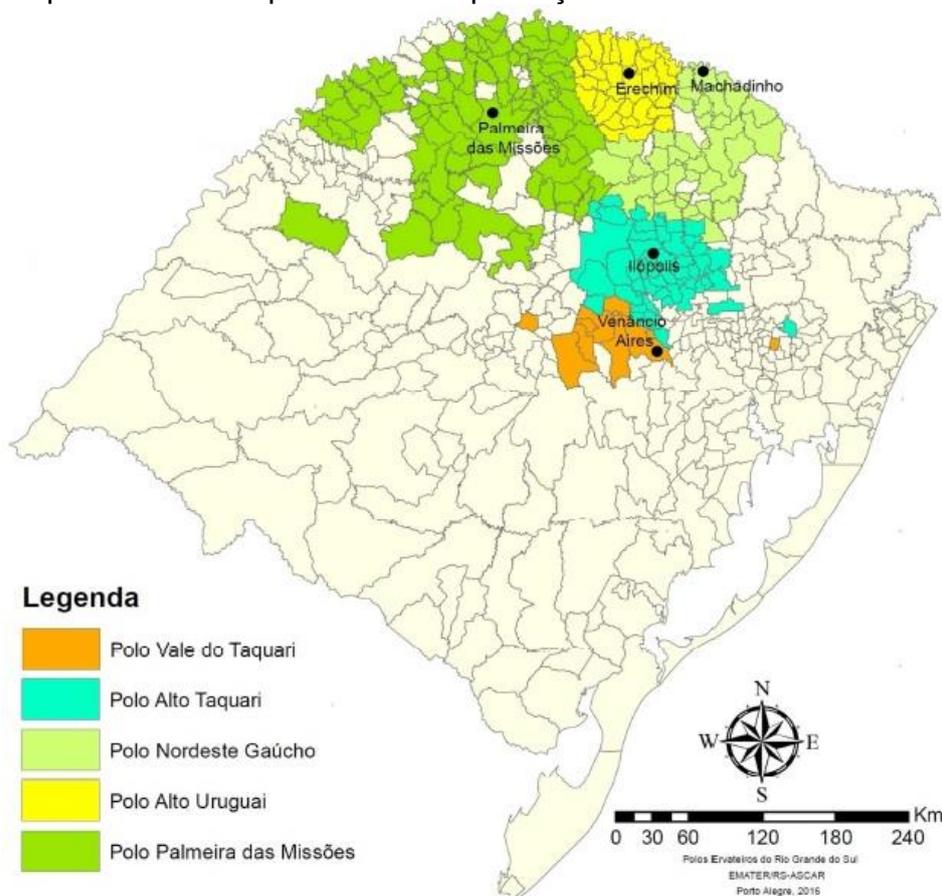
Tabela 1 – Produção de erva-mate brasileira no ano de 2016

Tipo de cultura de erva-mate	Produção de erva-mate (ton.)				
	RS	SC	PR	MS	BRASIL
Cultivada	297.141	89.569	227.804	1.699	616.213
Extrativismo	18.180	28.853	299.735	185	346.953
Total	315.321	118.422	527.539	1.884	963.166

Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

O complexo ervateiro no estado do Rio Grande do Sul é constituído por, aproximadamente, 230 indústrias e 14 mil propriedades rurais (FUNDOMATE, 2016). São cerca de 200 municípios produtores cultivando uma área total de 33.445 hectares (IBGE, 2016). De acordo com Oliveira e Waquil (2015) e Fundomate (2016), a produção ervateira gaúcha é concentrada em cinco polos, situados na metade norte do estado, sendo eles: Planalto e Missões, Alto Uruguai, Nordeste Gaúcho, Vale do Taquari e Alto Taquari (FIGURA 2 e FIGURA 3).

Figura 2 – Polos ervateiros do Rio Grande do Sul com identificação de seus respectivos municípios de maior produção



Fonte: Fundomate (2016).

De acordo com Chechi e Schultz (2016), os municípios produtores localizam-se, principalmente, no norte e noroeste do Estado, onde destaca-se o polo Alto Taquari, responsável por 60,4% da produção gaúcha total (IBGE, 2016).

Entre os municípios integrantes do polo Alto Taquari, destacam-se os municípios de Ilópolis e Arvorezinha, os quais são os maiores produtores de erva-mate cultivada do Estado, responsáveis por 43,2% da produção total gaúcha, com produção de 66.000 e 62.400 toneladas anuais cada, respectivamente (IBGE, 2016).

Figura 3 – Municípios integrantes dos polos ervateiros do Rio Grande do Sul

<b>Polos Ervateiros</b>	<b>Municípios do Polo Ervateiro</b>
<b>Planalto Missões</b>	Novo Barreiro, Palmeira das Missões, São José das Missões, Boa Vista das Missões, São Pedro das Missões, Dois Irmãos das Missões, Erval Seco e Seberí.
<b>Alto Uruguai</b>	Aratiba, Áurea, Campinas do Sul, Erebando, Erechim, Gaurama, Getúlio Vargas, Severiano de Almeida e Viadutos.
<b>Nordeste Gaúcho</b>	Água Santa, Barracão, Cacique Doble, Caseiros, Coxilha, Ibiaçá, Ibiraiaras, Lagoa Vermelha, Machadinho, Maximiliano de Almeida, Paim Filho, Sananduva, Santo Expedito, Santa Cecília do Sul, São José do Ouro, São João de Urtiga, Tapejara, Tupanci do Sul, Capão Bonito do Sul e Vila Lângaro.
<b>Alto Taquari</b>	Anta Gorda, Arvorezinha, Coqueiro Baixo, Doutor Ricardo Fontoura Xavier, Ilópolis, Itapuca, Nova Alvorada, Putinga, Relvado e São José do Herval.
<b>Vale do Taquari</b>	Boqueirão do Leão, Cruzeiro do Sul, Gramado Xavier, Herveiras, Mato Leitão, Santa Clara do Sul, Santa Cruz do Sul, Sério, Sinimbu, Vale do Sol e Venâncio Aires.

Fonte: Rigo et al. (2014).

A erva-mate verde segue para diferentes ramos da indústria, sendo destacado seu uso para produção de erva-mate moída para chimarrão. De acordo com Oliveira e Waquil (2015), apesar do grande potencial de utilização da erva-mate como matéria-prima para outros produtos, as folhas desidratadas da erva-mate são destinadas principalmente à preparação para consumo na forma de chimarrão. Segundo informações não publicadas pelo Instituto Brasileiro da Erva-mate (Ibramate), estima-se que 90% da erva-mate verde seja destinada ao beneficiamento para chimarrão, 7% para tererê e 3% para os demais usos, tais como cosméticos, perfumaria, refrigerantes, energéticos, sucos, gastronomia, medicamentos, dentre outros.

Enquanto matéria-prima para chimarrão, o beneficiamento de erva-mate é realizado pelas indústrias ervateiras. O processamento da erva-mate consiste basicamente na desidratação das folhas, passando através de cilindros metálicos rotativos que realizam as etapas de sapeco e secagem. Ao passar pelo cilindro de sapeco, os ramos de erva-mate passam por um picador mecânico chegando ao cilindro de secagem já picadas. Após a secagem, a erva-mate, então chamada “cancheada”, passa para a etapa de moagem, realizada através de soques ou equipamento denominado de atritor. E, em seguida, segue para empacotamento. Neste processo tem-se que as folhas perdem cerca de 30 a 40% da sua massa, ou seja, com uma arroba (15 kg) de erva-mate verde produz-se, em média, 5 (cinco) quilos de erva-mate moída.

Conforme Chechi e Schultz (2016), as características de mercado são diferentes entre os estados do sul do Brasil. No Rio Grande do Sul, a produção de

erva-mate destina-se principalmente para o mercado interno, com a erva-mate verde moída, enquanto no Paraná e em Santa Catarina, a produção é voltada para atender a fabricação de erva-mate cancheada e envelhecida para exportação, direcionada principalmente ao mercado Uruguaio.

De acordo com dados do Sindimate-RS (2016), o Uruguai é o principal destino da exportação brasileira de erva-mate com 84,4%, seguido pelo Chile (3,8%) e Estados Unidos (3,7%). A nível do Estado, esse percentual é ainda maior, sendo 94,5% da exportação gaúcha destinada ao Uruguai, o qual possui o maior consumo *per capita*, cerca de 9 kg/hab./ano, enquanto no Brasil o consumo é abaixo de 2 kg/hab./ano. No RS o consumo se aproxima ao uruguaio com cerca de 8 kg/hab./ano.

A crescente demanda em valorizar e qualificar a cadeia produtiva da erva-mate, além de expandir o mercado consumidor, intensificou os estudos sobre a dinâmica do setor ervateiro, melhoramento genético, tecnologias de produção e qualidade dos produtos. Neste sentido, entende-se que a gestão de uma cadeia produtiva depende do conhecimento de toda logística envolvida, dos agentes envolvidos, das áreas de exploração, do potencial de produção, das tecnologias de produção, dentre outros. Para isso, o uso de geotecnologias pode contribuir no conhecimento, monitoramento e planejamento das atividades que integram o mercado ervateiro.

### **3.3 Geotecnologias**

As geotecnologias são um conjunto de tecnologias voltadas a coletar, processar, analisar e fornecer informações que contenham referência geográfica (ROSA, 2005). De acordo com o mesmo autor, as geotecnologias são formadas pelas partes de *hardware*, *software* e os usuários, os quais juntos constituem ferramentas importantes para estudos do espaço geográfico, planejamento ambiental, análise do uso e cobertura da terra, projeção de cenários, dentre outros, constituindo um recurso poderoso para ações de monitoramento, planejamento e tomada de decisão.

Conforme Ferreira e Pereira Filho (2009), as geotecnologias agilizam a aquisição de informações e dados para monitoramento e compreensão das mudanças contínuas que ocorrem no espaço geográfico, onde cabem, neste contexto, a análise as mudanças provocadas pelas atividades agrícolas.

Para Gianezini et al. (2012), as geotecnologias vêm apresentando uma crescente utilização na aplicação de estudos voltados ao agronegócio, uma vez que crescem as exigências de práticas sustentáveis e de melhoria da qualidade dos produtos, onde o conhecimento, monitoramento e planejamento das atividades no meio rural se tornam recursos muito importantes.

De acordo com Rosa (2005), dentre as geotecnologias existentes destacam-se o sensoriamento remoto, o geoprocessamento, os sistemas de informação geográfica (SIG), a cartografia digital, sistema de posicionamento global (GPS), a topografia, dentre outros.

### **3.3.1 Geoprocessamento**

O geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar que permite o tratamento de informações geográficas por meio da utilização de técnicas matemáticas e computacionais, com um grande e crescente potencial de aplicação na resolução de problemas e tomada de decisão (CÂMARA; DAVIS, 2001).

De acordo com Moreira (2007), o geoprocessamento pode ser empregado em diversas áreas de conhecimento, sendo útil para a realização dos mais variados estudos sobre o espaço geográfico, como planejamento urbano e rural, meios de transporte, comunicação e energia. Segundo o mesmo autor, as ferramentas computacionais para realizar o geoprocessamento formam um conjunto denominado Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Os SIGs permitem a realização de análises complexas ao integrar diversas fontes de dados e ao criar um banco de dados georreferenciado, além de possibilitar a automatização da produção de documentos cartográficos (CÂMARA; DAVIS, 2001).

De acordo com Hamada e Gonçalves (2007), o geoprocessamento vem sendo muito utilizado por órgãos governamentais, não-governamentais e pelas instituições privadas, com o objetivo principal de integrar os dados espaciais e não espaciais, em estudos e projetos relacionados ao meio ambiente. Segundo os mesmos autores, o geoprocessamento possui caráter multidisciplinar, podendo ser aplicado em diversos estudos, tais como: manejo e conservação dos recursos naturais, gestão das

atividades agrícolas, planejamento do território urbano, gestão das instalações, comércio, administração e saúde pública, dentre outros.

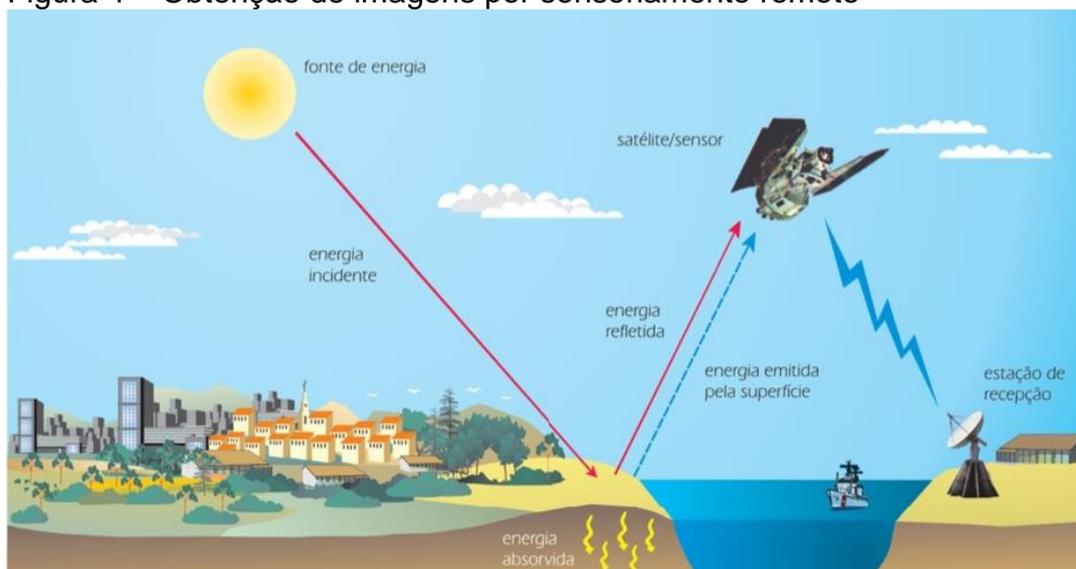
Segundo Moura (2014), o geoprocessamento consiste no processamento de dados georreferenciados e, além de representar o espaço geográfico, significa gerar informações que regem conhecimento e progressos de representação da Terra.

### 3.3.2 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é uma tecnologia que permite a obtenção de informações sobre um objeto (alvo) sem que haja um contato físico com ele, ou seja, é o estudo de objetos à distância. Consiste na utilização de sensores e equipamentos para o processamento e a transmissão dos dados, objetivando estudar o ambiente por meio do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e os elementos componentes do planeta (NOVO, 1993).

De acordo com Florenzano (2011), o sensoriamento remoto é uma técnica que permite a aquisição de imagens ou outros dados da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia emitida ou refletida pela superfície. A Figura 4 ilustra os princípios básicos de funcionamento do sensoriamento remoto.

Figura 4 – Obtenção de imagens por sensoriamento remoto



Fonte: Florenzano (2011).

Conforme pode-se observar na Figura 8, o início do processo depende de uma fonte energética que incida energia sobre o alvo de interesse (água, vegetação,

campo cultivado, cidade, etc.), sendo esta fonte energética, mais habitualmente, a energia do próprio Sol. A radiação solar, em seu trajeto até a Terra, atravessa e interage com a atmosfera e, ao atingir a superfície terrestre, interage com os objetos nela presentes. Então, a radiação refletida ou emitida pela superfície é captada e registrada pelo sensor a bordo de um satélite. Em seguida, esta energia gravada pelo sensor é transmitida para uma estação de recepção, onde as informações fornecidas são processadas e convertidas em imagens digitais. A partir disso, as imagens processadas são visual e digitalmente interpretadas, permitindo integrar e aplicar os dados extraídos quanto aos objetos que foram atingidos em estudos de caracterização e avaliação da área em estudo, a fim de agregar conhecimento acerca da mesma e para sustentar um melhor planejamento e gestão (GARCÍA; BRONDO; PÉREZ, 2012).

A radiação solar que incide sobre a superfície terrestre interage de forma diferente com cada tipo de alvo, em razão do diferente comportamento espectral de cada alvo terrestre (FIGUEIREDO, 2005), permitindo assim estabelecer uma distinção entre eles (GARCÍA; BRONDO; PÉREZ, 2012). Isso é possível porque cada objeto ou feição terrestre apresenta diferentes composições físico-químicas. Esses fatores produzem uma determinada assinatura espectral, própria para cada alvo terrestre, ou seja, cada alvo absorve ou reflete de forma diferente cada uma das faixas do espectro da energia incidente (FIGUEIREDO, 2005).

Atualmente, diversos satélites orbitais cobrem o planeta fornecendo imagens em diferentes resoluções espaciais e bandas espectrais. Cada sistema sensor possui uma capacidade de definição do tamanho do pixel, que representa a menor área imageada, resultando em imagens de alta e média resolução espacial, onde imagens com maior resolução espacial possuem um melhor poder de identificação dos alvos terrestres (FIGUEIREDO, 2005). Imagens de média resolução espacial aplicam-se, em geral, a estudos de sistemas ambientais e de produção, onde temos como exemplo, os satélites *Landsat* e *Sentinel*. Já, imagens de alta resolução espacial aplicam-se, geralmente, a estudos voltados às áreas urbanas, onde temos como exemplo os satélites *RapidEye*, *GeoEye* e *WorldView*.

De acordo com Figueiredo (2005), o sensoriamento remoto pode ser aplicado no campo da agricultura, sendo uma das aplicações o mapeamento de culturas. Para Florenzano (2011), as imagens de sensores remotos apresentam um alto potencial de

aplicação no estudo do uso da terra de ambientes rurais, permitindo identificação do tipo de uso, calcular a área ocupada por cada tipo de uso, obter uma estimativa da área plantada e da produção agrícola, dentre outros. Neste contexto, tem-se que o sensoriamento remoto é uma ferramenta muito útil que pode ser aplicada no presente estudo para mapeamento e análise espacial das áreas com cultivo de erva-mate.

### **3.3.3 Processamento digital de imagens**

O grande volume de informações geradas na aquisição de imagens de satélite, associado aos complexos cálculos envolvidos, demanda expressivos recursos computacionais para armazenar e tratar os dados do sensoriamento remoto. Atualmente, diversos sistemas de processamento digital de imagens estão disponíveis, tais como: SPRING, ENVI, IDRISI, PCI, ER-MAPER, ERDAS, ARCGIS, dentre outros (FIGUEIREDO, 2005).

De acordo com Moreira (2007), os procedimentos computacionais para análise de imagens digitais surgiram basicamente para agilizar as tarefas manuais e possibilitar a introdução de outros tipos de informações e poder cruzá-las com os padrões espectrais contidos nas imagens, de modo a torná-los mais facilmente identificáveis. Segundo o mesmo autor, o processamento digital de imagens consiste em uma série de procedimentos com o objetivo de corrigir e melhorar a qualidade das imagens, de modo que favoreça as interpretações por parte dos analistas e otimize a extração de dados e informações.

As imagens que são recebidas dos satélites em sua forma original, também chamadas de imagens brutas, apresentam deformações decorrentes do processo de aquisição de imagens. Estas distorções podem ser degradações radiométricas em função dos desajustes na calibração dos detectores, erros eventuais na transmissão de dados, influências atmosféricas, distorções geométricas além de, não conter referência espacial na superfície terrestre (FIGUEIREDO, 2005).

De acordo com Figueiredo (2005), a correção destas deformações é muito importante, pois caso não corrigidas, pode haver comprometimento dos resultados e produtos derivados das imagens. Para tal, o georreferenciamento consiste na transformação que corrige e atribui a uma imagem, mapa ou qualquer outra

informação geográfica, um sistema de coordenadas no mundo real em um determinado sistema de referência (DUARTE et al., 2015).

### 3.3.3.1 Classificação das imagens digitais

Conforme Figueiredo (2005), classificação de imagens em sensoriamento remoto, significa associar os *pixels* de uma imagem a uma determinada classe ou grupo de classes. Por exemplo, uma área com apenas cultura de soja determinaria uma classe e, áreas cultivadas poderia determinar um grupo de classes. Segundo o mesmo autor, ao se classificar uma imagem, admite-se que os diferentes objetos ou alvos apresentam características espectrais distintas e que cada ponto corresponde a uma única classe. O autor ainda propõe que os pontos representativos de uma determinada classe devem ter padrões similares de tonalidade, cor e textura.

Para Moreira (2007), a classificação consiste em rotular cada *pixel* da imagem de acordo com a ocupação do solo. Para isso, são utilizados programas apropriados denominados de algoritmos de classificação ou somente classificadores. A classificação pode ser subdividida em supervisionada e não-supervisionada, dependendo do algoritmo de classificação utilizado, envolvendo duas fases diferentes: o treinamento e a classificação propriamente dita.

Na classificação supervisionada, o treinamento consiste na definição de áreas amostrais por parte do analista, requerendo que o mesmo tenha um conhecimento prévio relativo à área imageada. Assim, a partir das amostras, o algoritmo identifica os pontos representativos das classes na imagem. Já a classificação não-supervisionada, se torna útil quando o analista não possui um conhecimento prévio sobre a área de estudo, sendo o próprio algoritmo que define automaticamente as classes da imagem (MOREIRA, 2007).

Dentre os algoritmos de classificação supervisionada, os mais utilizados são a Máxima Verossimilhança (Maxver), o Método do Paralelepípedo e a Distância Euclidiana. E, quanto aos não-supervisionados tem-se o K-Médias e Iseleg, dentre outros (MOREIRA, 2007).

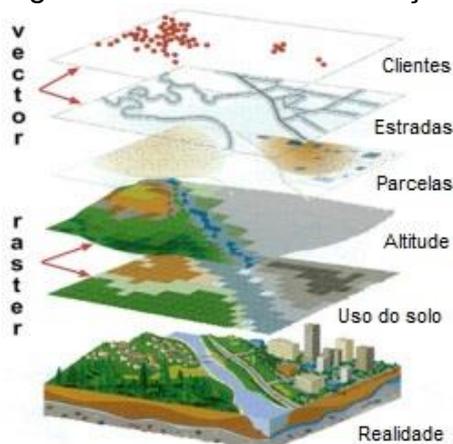
### 3.3.4 Mapeamento e análise espacial

Segundo Santos (2007), o mapeamento consiste em uma série de procedimentos para confecção de cartas ou mapas de qualquer natureza com a finalidade de transmitir de forma objetiva e espacial um conjunto de informações.

De acordo com Câmara et al. (2001), um banco de dados espaciais pode ser entendido como uma maneira organizada de se armazenar dados que possam estar correlacionados, onde todas as informações armazenadas possuem uma localização geográfica na superfície terrestre. Para Moreira (2007), um banco de dados geográficos consiste no armazenamento de um conjunto de arquivos estruturados, com o objetivo de facilitar a visualização de algumas informações que contenham a descrição de determinadas entidades do mundo real. Segundo o mesmo autor, há duas formas de armazenamento de dados no banco de dados geográficos: estrutura *raster* (matricial) e vetor (vetorial) (FIGURA 5).

Para Lang e Blaschke (2009), a seleção e a aplicação de métodos de análise espacial dependem da estrutura de representação dos dados espaciais utilizados, se modelo *raster* ou vetorial. Na estrutura matricial, o espaço é representado por pequenas células em forma de quadrados mínimos, ou seja, é formada por *pixels*. Já na estrutura vetorial, um elemento ou objeto é formado por pontos, linhas e polígonos.

Figura 5 – Níveis de informações em SIG



Fonte: Eckhardt (2015).

De acordo com Moreira (2007), os dados espaciais e não espaciais armazenados em uma base de dados, possibilitam a realização de análises espaciais. A análise geográfica, por sua vez, permite o cruzamento de informações temáticas.

Tomllin, em 1990, definiu um conjunto importante de ferramentas para realização de análises espaciais, denominado Álgebra de Mapas.

Segundo Barbosa (1997), a álgebra de mapas consiste em um conjunto de operadores que são utilizados para manipular campos geográficos tais como imagens, mapas temáticos e modelos numéricos de terreno.

De acordo com Hasenack e Weber (1998), álgebra de mapas é um conjunto de ferramentas que um SIG geralmente apresenta e possibilita a combinação matemática entre planos de mapas. Segundo os mesmos autores, um exemplo disso é a possibilidade de gerar um mapa de erosão potencial do solo com base em fatores de erodibilidade do solo, de gradiente de declividade e de intensidade pluviométrica. Para isso, é necessário a aplicação de várias operações e funções matemáticas que modificam os valores dos dados nos planos de mapas e combinam os fatores matematicamente para obter o resultado final.

Para Sátiro (2013), a álgebra de mapas é, simplificada, uma matemática computacional aplicada a dados cartográficos que é utilizada para realizar análises geográficas através de operadores e funções, que podem ser aritméticos, relacionais, booleanos lógicos ou combinatórios.

Segundo Câmara et al. (2001), os primeiros procedimentos de análise incluem estudos exploratórios e a visualização de informações, geralmente através de mapas. Esses métodos possibilitam descrever a espacialização das variáveis de estudo, identificar situações atípicas e verificar a existência de padrões na distribuição espacial. Segundo o mesmo autor, a aplicação desses procedimentos torna possível estabelecer hipóteses a respeito das observações, de modo a obter a melhor caracterização sobre os dados disponíveis.

De acordo com Lang e Blaschke (2009), técnicas de análise geográfica servem para o estudo de relações espaciais entre entidades dentro de uma ou mais camadas de dados. Segundo esses autores, quando se estuda apenas uma camada de dados, fala-se comumente de análise “horizontal”, já que as relações laterais (vizinhanças) estão no primeiro plano. Em contrário, análise “vertical” designa todas as formas de análise, onde várias camadas de dados são estudadas de forma conjunta, ou seja, são sobrepostas, combinadas ou entrecortadas.

A análise espacial apoiada em SIG tem como objetivo fundamental gerar novas informações, o que é possível através da manipulação e integração com camadas de dados já criados. Essas novas informações geradas servem como suporte em decisões pertinentes às áreas estudadas (LANG; BLASCHKE, 2009).

### **3.3.5 Aplicação de geotecnologias em estudos sobre a cultura de erva-mate**

Oliveira Filho, Gomes e Disperatti (2008), em seu trabalho intitulado “*O geoprocessamento como suporte ao manejo sustentável da erva-mate (Ilex paraguariensis A. ST.-HIL.) em ambiente rural*”, discutiram a elaboração e viabilidade da estruturação de um sistema de informação geográfica (SIG) para servir de suporte ao controle das atividades que envolvem o manejo da erva-mate em ambiente natural, sob dossel. Os autores concluíram que o SIG é uma ferramenta que pode ser aplicada para controle e atualização de dados relativos ao manejo de erva-mate, tanto em áreas pertencentes a empresas florestais quanto em áreas particulares.

Silva (2011), em seu estudo “*Zoneamento pedoambiental da erva mate Ilex paraguariensis para o município de Erechim-RS*”, utilizou técnicas de geoprocessamento para identificar os locais com melhor adequabilidade para implantação de ervais, levantando informações sobre o solo, o ambiente e fatores limitantes à cultura. A aplicação dessa tecnologia tornou possível atingir o objetivo proposto no estudo, assim como Rempel et al. (2003), utilizaram módulos de apoio à decisão em SIG para identificação de áreas aptas ao cultivo de erva-mate no município de Arvorezinha-RS.

Dortzbach et al. (2017) utilizaram geotecnologias para mapear as variações de altitude na Região do Planalto Norte Catarinense em seu estudo “*Altitude como fator na delimitação da indicação geográfica da erva-mate*”, assim como Vieira et al. (2017) também fizeram o uso de geotecnologias para avaliar a geomorfologia da região produtora de erva-mate do Planalto Norte Catarinense em seu trabalho sobre “*O relevo como fator na delimitação da indicação geográfica da erva-mate*”. A aplicação destas tecnologias permitiu aos autores identificar as características das áreas produtoras de erva-mate nesta região.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização da área de estudo

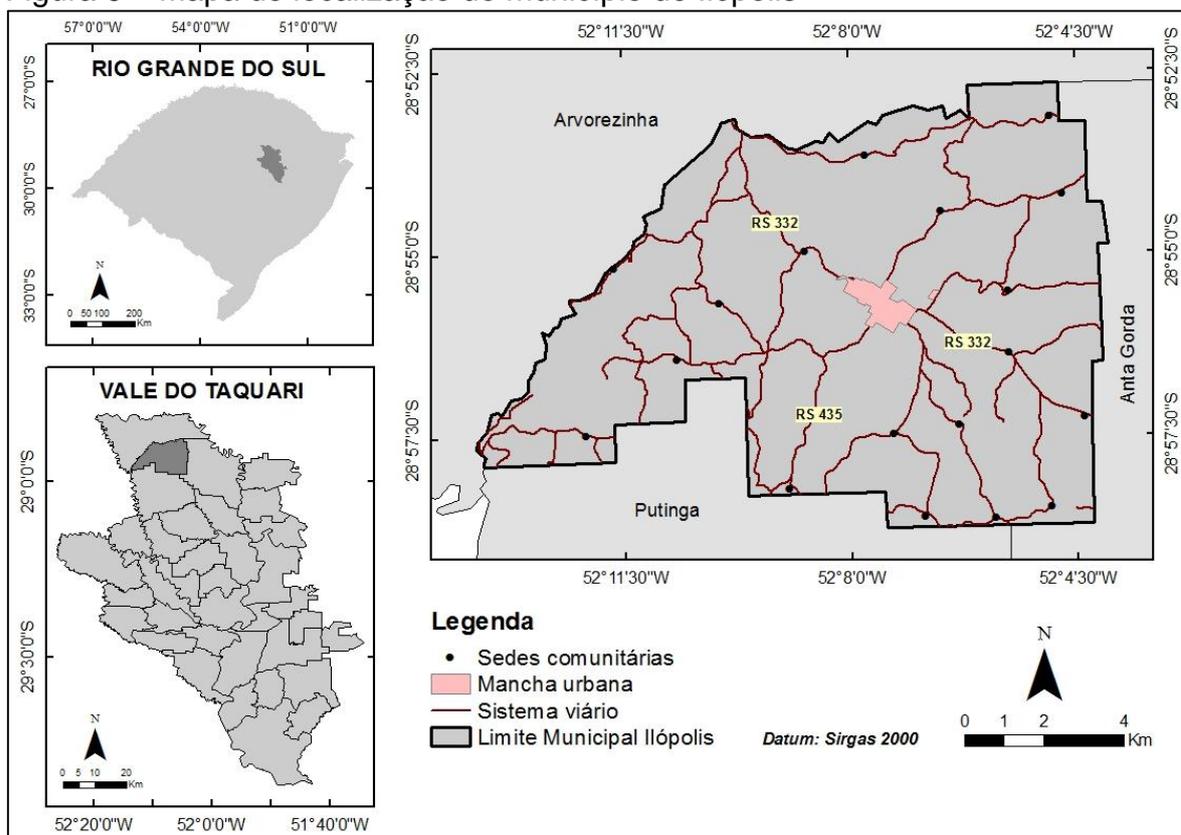
Ilópolis é um município brasileiro localizado no interior do estado do Rio Grande do Sul. Seu nome deriva do nome científico da erva-mate *Ilex paraguariensis*, onde *ilo* do latim significa “erva-mate” e *polis* do grego significa “cidade”, ou seja, cidade da erva-mate. O nome do município foi escolhido pelo Dr. Alfredo Mutzel, engenheiro chefe da então comissão de terras e colonização, em virtude da grande abundância da espécie florestal em seu território (FERRI; TOGNI, 2012).

De acordo com Ferri e Togni (2012), o município localiza-se na encosta superior nordeste do planalto meridional, nas bordaduras da Serra Geral, na região alta do Vale do Taquari. Limita-se com os municípios de Arvorezinha, Putinga e Anta Gorda e fica 189 km distante da capital do estado Porto Alegre. Situa-se a uma latitude 28°55'36”S e a uma longitude 52°07'27”O, estando a uma altitude de 786 metros. Sua população atual é de 4.102 habitantes (IBGE, 2010).

A área territorial do município é de 116,481 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), tendo a zona urbana localizada na parte central do município. A área urbana compreende dois bairros, sendo Bairro Santa Rita e Centro, enquanto a área rural é distribuída em 18 localidades: São João, São Francisco, Terceira, São Valentin, Gramadinho, Cinco Voltas, São José, Borges, Santos Filho, Santo Antônio, Jacó Paniz, São Braz, Usina, Peca, Monte Bérico, São Roque, Santo Antônio e Tunas.

O acesso ao município se dá pelas rodovias estaduais RS 332 e RS 435, as quais se ligam a rodovia federal BR 386. A Figura 6 apresenta um mapa de localização do município no RS.

Figura 6 – Mapa de localização do município de Ilópolis



Fonte: Autora (2017). Base: IBGE (2016) e HASENACK e WEBER (2010).

A economia do município é baseada no setor primário, onde se desenvolvem em grande parte as atividades de cultivo de erva-mate, milho, fumo e pecuária em pequenas propriedades rurais. Já na área urbana, há o desenvolvimento de atividades de comércio, indústrias e serviços. De acordo com dados da Prefeitura Municipal, o setor primário representa 56,26% das atividades, seguido pela indústria (22,89%), comércio (13,72%) e serviços (3,58%). No setor primário a atividade de erva-mate corresponde a 39,27%, seguido por avicultura (19,25%), suinocultura (17,26%), fomicultura (7,91%), bovinocultura leiteira (7,56%) e outros (8,45%).

O município de Ilópolis destaca-se pela exploração, processamento e comercialização de erva-mate. De acordo com IBGE (2016), são estimados 7.300 hectares destinados ao plantio de erva-mate cultivada em seu território. Conforme dados da Prefeitura Municipal de Ilópolis, são 785 propriedades rurais com a presença desta atividade econômica, sendo para boa parte dos agricultores a sua principal fonte de renda familiar.

Ilópolis está inserido no Bioma Mata Atlântica e pertence a Formação Floresta Ombrófila Mista conhecida também como “Floresta de Araucária”. Esta formação é caracterizada pela presença do Pinheiro-do-Paraná ou Araucária (IBGE, 2012). Entre as espécies predominantes nesta formação vegetal, destaca-se a presença da erva-mate, demonstrando a ocorrência da espécie florestal de forma natural em associação aos pinhais de araucária.

O município possui o maior número de indústrias e agroindústrias ervateiras, sendo o complexo ervateiro local composto atualmente por 20 indústrias e 11 agroindústrias, envolvendo, direta ou indiretamente, mais de 50% da população, o que demonstra a importância desta atividade econômica para o município. As indústrias se caracterizam por possuírem o processo completo de beneficiamento de erva-mate, compreendendo os processos de secagem, moagem e empacotamento, enquanto as agroindústrias possuem apenas a moagem e empacotamento da matéria-prima.

Atualmente, Ilópolis é o maior produtor de erva-mate no estado do Rio Grande do Sul, com uma produção de 66 mil toneladas anuais de erva-mate cultivada e 560 toneladas anuais de erva-mate nativa (IBGE, 2016).

#### **4.1.1 Características físicas**

##### **4.1.1.1 Geologia**

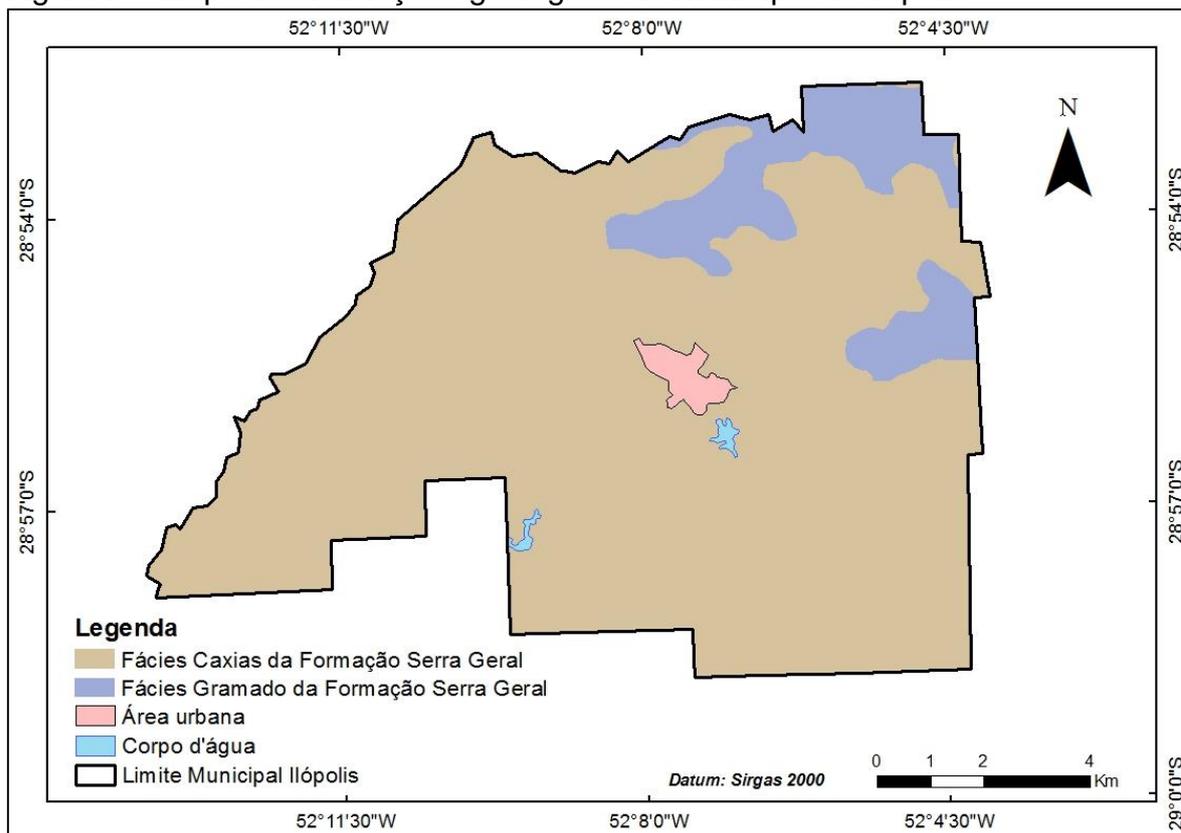
De acordo com o banco de dados de geologia da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), a região de Ilópolis encontra-se na Bacia do Paraná e as rochas pertencem à Formação Serra Geral, tendo duas fácies características: Fácies Gramado e Fácies Caxias (FIGURA 7). Segundo a Companhia Brasileira de Recursos Minerais – CPRM (2008), as Fácies Gramado e Caxias são:

Fácies Gramado: derrames basálticos granulares finos a médios, melanocráticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estruturas de fluxo e *pahoehoe* comuns, intercalações com os arenitos Botucatu.

Fácies Caxias: derrames de composição intermediária a ácida, riolitos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos, textura esferulítica comum (tipo carijó), forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxo e autobrechas frequentes, vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata, fonte das mineralizações da região.

De acordo com Borsatto et al. (2015), os derrames vulcânicos da Fácies Gramado ocorrem na base da Formação Serra Geral e possuem composição básica, enquanto os derrames vulcânicos da Fácies Caxias estão posicionados estratigraficamente acima das rochas básicas, possuem composição ácida e afloram nos topos dos morros mais elevados.

Figura 7 – Mapa das formações geológicas do município de Ilópolis



Fonte: Autora (2017). Base: INDE (2017) e IBGE (2016).

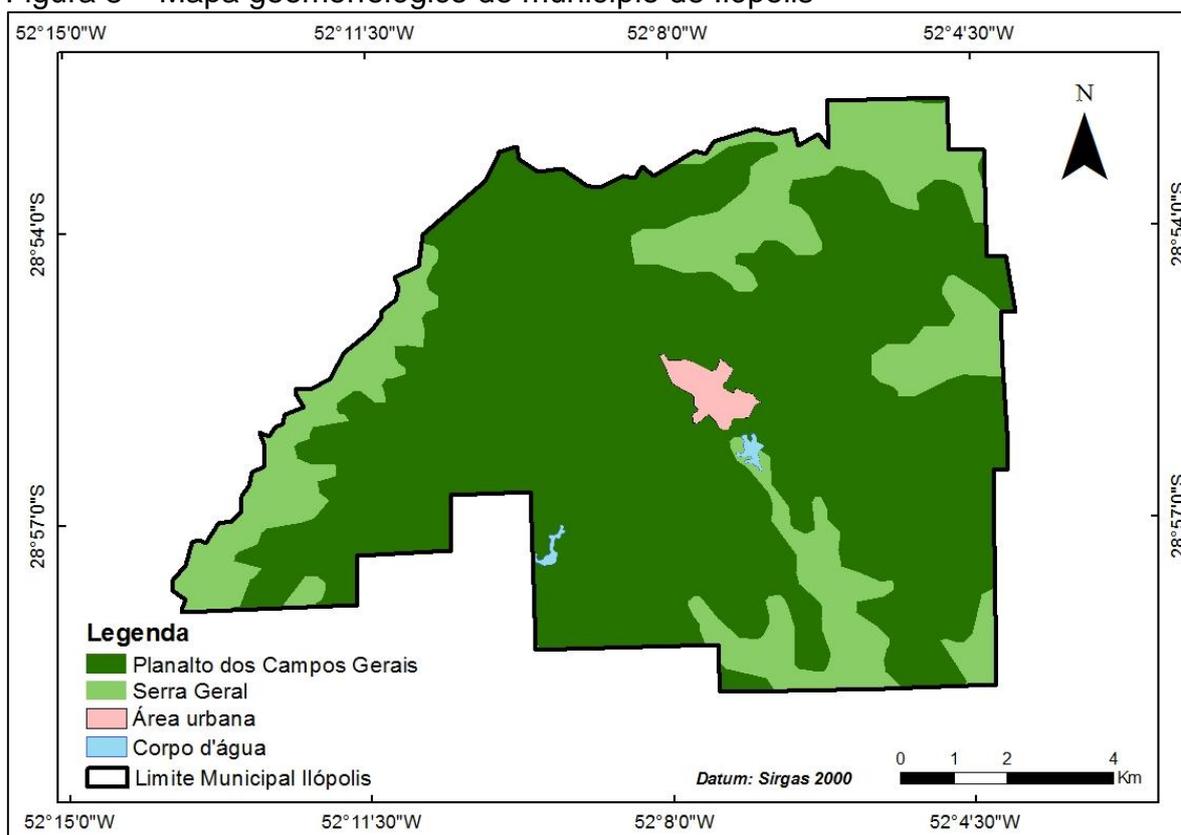
#### 4.1.1.2 Geomorfologia

De acordo com o banco de dados de geomorfologia da INDE (2017), a região de Ilópolis é composta pelas Unidades Geomorfológicas (UG) Planalto dos Campos Gerais e Serra Geral (FIGURA 8).

De acordo com Oliveira et al. (2015), a UG Planalto dos Campos Gerais na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, caracteriza-se por um relevo que varia de plano a ondulado, representada preferencialmente por topos de morros tabulares. Segundo o mesmo autor, nesta UG a altitude varia de 513 a 1.022 metros e apresenta declividades mais baixas, sendo o valor médio de 10,6%.

Já a UG Serra Geral na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, desenvolveu-se sobre rochas efusivas básicas e o relevo apresenta formas bastante abruptas com vales fluviais bem aprofundados, podendo atingir mais de 400 metros de desnível, com a presença de muitos topos de morros angulares ou estreitos. Nesta UG a altitude varia de 160 a 810 metros e apresenta maiores declividades, sendo o valor médio de 27,2% (OLIVEIRA et al., 2015).

Figura 8 – Mapa geomorfológico do município de Ilópolis



Fonte: Autora (2017). Base: INDE (2017) e IBGE (2016).

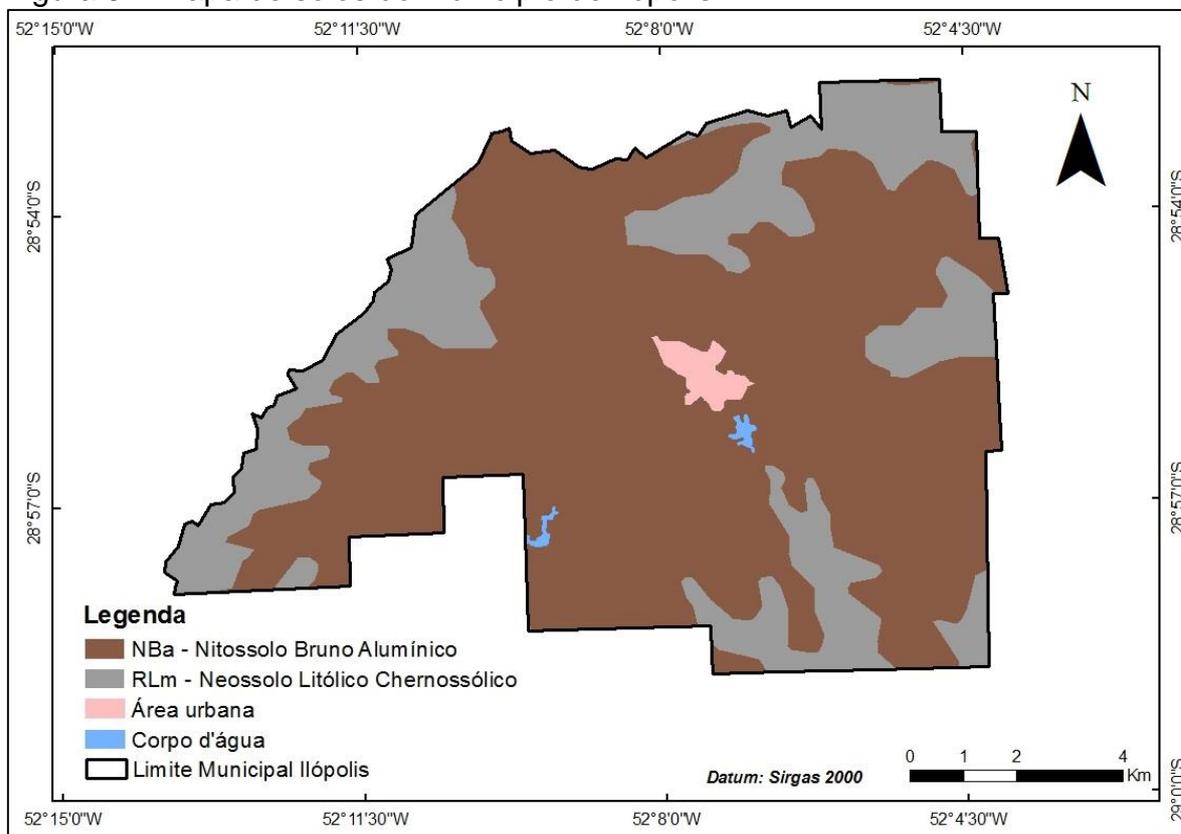
#### 4.1.1.3 Pedologia

Conforme banco de dados de solos da INDE (2017), a região de Ilópolis apresenta-se influenciada por solos do tipo Nitossolo-Bruno-Alumínico (NBa) e Neossolo-Litólico-Chernossólico (RLm) (FIGURA 9).

Os solos Nitossolos são constituídos por material mineral, apresentando textura argilosa ou muito argilosa. “São em geral moderadamente ácidos a ácidos com saturação por bases baixa a alta, com composição caulínítico-oxídica”. Já os

Neossolos associam-se a solos novos e pouco desenvolvidos, formados por material mineral ou material orgânico pouco espesso (IBGE, 2015, p. 308).

Figura 9 – Mapa de solos do município de Ilópolis

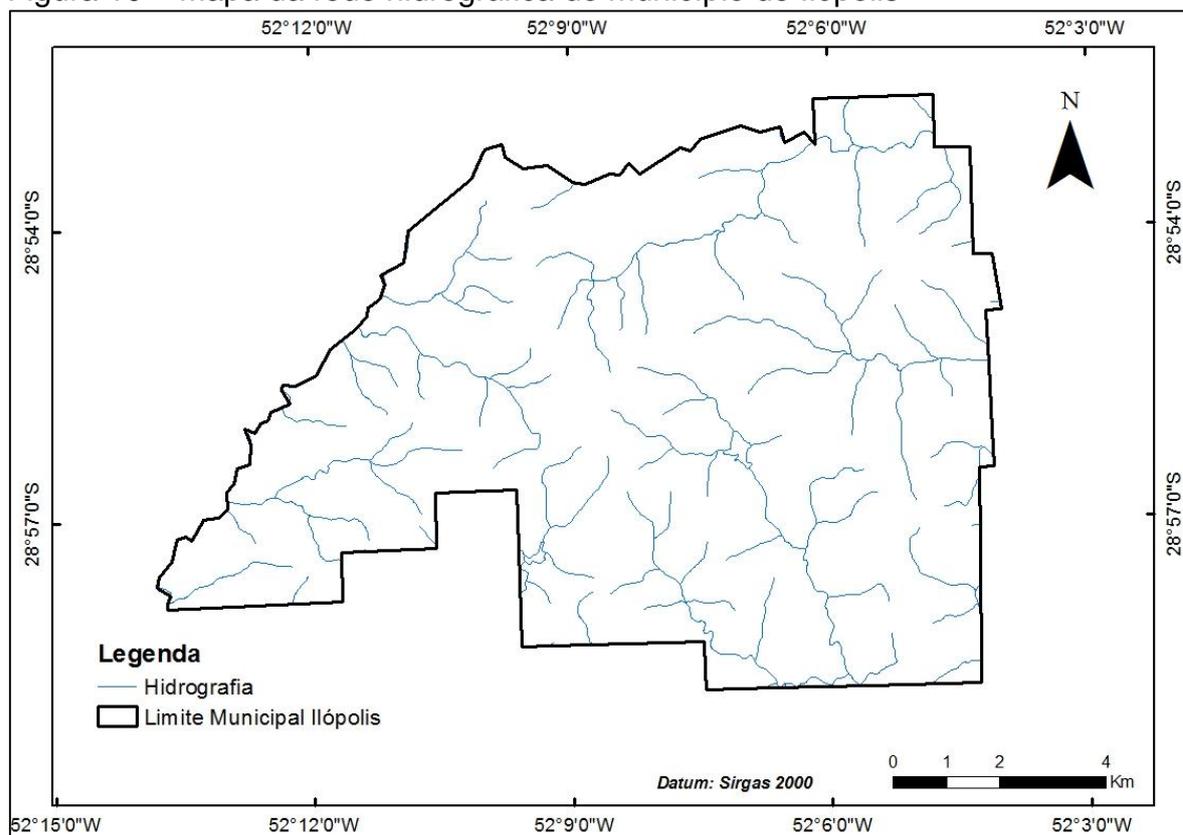


Fonte: Autora (2017). Base: INDE (2017) e IBGE (2016).

#### 4.1.1.4 Hidrografia

O município de Ilópolis pertence à bacia hidrográfica Taquari-Antas. Sua hidrografia local é composta apenas pela ocorrência de arroios dentro de seus limites territoriais (FIGURA 10). A cerca de 1 km do centro da cidade existe uma barragem artificial com uma área aproximada de 178.000 m<sup>2</sup>.

Figura 10 – Mapa da rede hidrográfica do município de Ilópolis



Fonte: Autora (2017). Base: IBGE (2016) e HASENACK e WEBER (2010).

#### 4.1.1.5 Clima

De acordo com Rossatto (2011), o Rio Grande do Sul localiza-se nas zonas de latitudes médias, onde os tipos climáticos são controlados por sistemas tropicais e polares, definindo um clima subtropical úmido. Segundo a mesma autora, o clima do Rio Grande do Sul está subdividido pelos seguintes quatro tipos climáticos:

Subtropical I – Pouco úmido: Subtropical Ia – pouco úmido com inverno frio e verão fresco, e Subtropical Ib – pouco úmido com inverno frio e verão quente;  
 Subtropical II: medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias;  
 Subtropical III: úmido com variação longitudinal das temperaturas médias;  
 Subtropical IV – Muito Úmido: Subtropical IVa – muito úmido com inverno fresco e verão quente, e Subtropical IVb – muito úmido com inverno frio e verão fresco (ROSSATTO, 2011 pg. 192).

Pelo sistema de classificação de Rossatto (2011), a região de Ilópolis enquadra-se no tipo climático Subtropical III, que corresponde a um clima úmido com variação longitudinal das temperaturas médias. As precipitações são influenciadas em grande parte por sistemas frontais que atingem a região em 20-23% dos dias do ano

e a média pluviométrica é de 1700 a 1800 mm ao ano. A temperatura média anual oscila entre 17-20°C, a temperatura média do mês mais frio varia entre 11-14°C e temperatura média do mês mais quente oscila entre 23-26°C.

Pelo sistema de classificação global de Köppen, o município de Ilópolis enquadra-se no clima temperado úmido com verão quente (Cfa), com chuvas bem distribuídas durante o ano e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

## 4.2 Materiais e softwares

Para elaboração do presente trabalho foram utilizados os seguintes dados, *softwares* e equipamentos, elencados abaixo:

Dados:

- Base vetorial dos limites municipais (IBGE, 2016);
- Base vetorial da geologia da Folha SH 22 POA (IBGE, 1986; INDE, 2017);
- Base vetorial dos solos da Folha SH 22 POA (IBGE, 1986; INDE, 2017);
- Base vetorial da geomorfologia da Folha SH 22 POA (IBGE, 1986; INDE, 2017);
- Bases planialtimétricas contínuas, adquiridas da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000, realizada pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFRGS (HASENACK; WEBER, 2010);
- Dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizados no banco de dados da USGS (*United States Geological Survey*) com resolução espacial de 30 metros (USGS, 2014);
- Imagem RapidEye 3A, adquirida pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA), por meio do Contrato MMA nº 30/2012 com a empresa Santiago & Cintra Consultoria, distribuidora oficial das imagens RapidEye, e autorização concedida à Prefeitura Municipal de Ilópolis.

*Softwares:*

- Google Earth Pro;
- ArcGIS 10.3;
- Global Mapper 11;
- Microsoft Office 2013.

Equipamentos:

- *Global positioning system* (GPS);
- Câmera digital.

### **4.3 Procedimentos**

#### **4.3.1 Base de dados**

O uso do solo e o estágio fisionômico das plantas de erva-mate sofrem transformações sazonais, podendo apresentar características espectrais diferenciadas ao longo do ano. Assim, para a escolha da data de aquisição da imagem, optou-se pela data mais recente disponível sem a presença de nuvens. Para tanto, a classificação supervisionada foi realizada a partir de uma imagem do sistema RapidEye, que é composto por uma constelação de cinco satélites. Estes sensores fornecem imagem em cinco diferentes bandas espectrais, sendo elas: azul (1), verde (2), vermelho (3), red-edge (4) e infra vermelho próximo (5). A imagem foi adquirida pelo catálogo de imagens RapidEye do Ministério do Meio Ambiente, com alta resolução espacial, nível 3A ortorretificada com 5 metros, datada em 26/09/2013 e recobrindo todo o município. A imagem adquirida não precisou ser georreferenciada pois a mesma já foi disponibilizada em seu posicionamento espacial correto.

As bases de geologia, geomorfologia e pedologia foram obtidas pelo banco de dados do INDE em arquivos vetoriais, enquanto as bases de altitude, declividade e orientação solar foram obtidas através dos dados do SRTM da região de estudo, disponibilizado no banco de dados da USGS em um arquivo raster.

O limite municipal de Ilópolis foi obtido através da base vetorial dos limites municipais disponibilizados para download no site do IBGE e a malha rodoviária e a hidrografia do município foram obtidos através das bases planialtimétricas contínuas, adquiridas da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul, disponibilizada para download pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFRGS.

### 4.3.2 Mapeamento dos ervais através de classificação supervisionada

As classes temáticas para mapeamento foram definidas levando-se em consideração as características de uso e ocupação do solo do município de estudo. O método supervisionado Maxver requer um conhecimento prévio da área de estudo. Para tanto, percorreu-se o território municipal, tendo suas feições de uso registradas por fotos e pontos de controle terrestre coletados com aparelho GPS de navegação Garmin para fazer o treinamento das amostras para classificação. Assim, foram definidas oito classes de uso e cobertura do solo: mata nativa com araucária, mata nativa sem araucária, floresta exótica, ervais, agricultura (contemplando as demais áreas de lavouras exceto ervais), pastagem (contemplando os campos ou como conhecidos popularmente “potreiros”), água e a mancha urbana foi delimitada manualmente. A separação entre mata nativa com e sem araucária foi pensada visto a ocorrência da erva-mate em associação aos pinhais, sendo assim classificadas as áreas mais prováveis da ocorrência da espécie em sub-bosque.

No *software* ArcGIS 10.3 realizou-se a composição de três bandas espectrais na combinação RGB-453 gerando uma combinação colorida de falsa cor e realizou-se a classificação da imagem por meio do método de classificação supervisionada utilizando o algoritmo *Maximum Likelihood Classification*. O método Maxver leva em consideração a distância e a probabilidade como regra de decisão para classificação (CATTANI et al., 2013) e a qualidade da classificação depende em muito das amostras utilizadas. As amostras foram então selecionadas visando abranger toda a variabilidade de tons correspondentes às determinadas classes.

Após a realização da classificação, utilizou-se a extensão do Filtro Majoritário (*Majority Filter*), que segundo Tagliarini, Rodrigues e Rodrigues (2016), realiza uma “limpeza” dos pixels que, possivelmente, tenham sido classificados equivocadamente pelo algoritmo, minimizando os ruídos, eliminando pontos isolados, classificados diferentemente de grupos vizinhos, e assim, alcançando um grau satisfatório de acurácia na classificação supervisionada. Em seguida, a área ocupada por cada classe de uso do solo foi verificada através da ferramenta *Open Attribute Table*.

A validação da classificação foi realizada visualmente, comparando as áreas classificadas com as áreas mapeadas através do *software* Google Earth Pro.

### 4.3.3 Mapeamento dos ervais através do *software* Google Earth Pro

No *software* Google Earth Pro realizou-se a identificação das áreas com cultivo de erva-mate criando poligonais e diferenciando-as entre áreas com cultivo a pleno sol, considerados os ervais plantados, podendo ser solteiros ou consorciados com culturas anuais e, áreas com sombreamento, considerados os ervais nativos ou nativos adensados. Para melhor identificação dos ervais, também foram realizadas visitas em campo em áreas passíveis de acesso.

Após finalizar o mapeamento das áreas, transformou-se os arquivos das poligonais kml em arquivos do tipo shapefile através do *software* Global Mapper 11, para poder adicioná-las no *software* ArcGIS. Em seguida, no *software* ArcGIS 10.3, adicionou-se as poligonais e computou-se a área abrangida por cada modelo de erval através da ferramenta *Open Attribute Table*.

### 4.3.4 Análise espacial das áreas de cultivo de erva-mate

Após a identificação das áreas com cultivo de erva-mate através do *software* Google Earth Pro, adicionou-se as poligonais no *software* ArcGIS 10.3 e integrou-se as áreas de ervais com as bases de pedologia, geomorfologia, geologia, declividade, altitude e orientação solar, com a finalidade de avaliar as características físicas das áreas de cultivo de erva-mate. Nesta etapa uniu-se as áreas mapeadas, não diferenciando-as entre cultivo a pleno sol e com sombreamento.

#### 4.3.4.1 Geologia

Para elaboração da base de geologia adquiriu-se os dados da região onde está localizado o município de Ilópolis, disponibilizados no banco de dados do INDE. No *software* ArcGIS 10.3 realizou-se a extração da geologia específica da área de estudo. Em seguida, fez-se o recorte da base de geologia pelas áreas dos ervais através da ferramenta *clip*. Após, agrupou-se as poligonais para cada formação geológica através da ferramenta *dissolve*, obtendo a área de ervais para cada formação geológica. Em seguida, a área de ervais para cada formação geológica foi verificada através da ferramenta *Open Attribute Table*. Por fim, tabelou-se os valores encontrados em uma planilha de Excel, onde calculou-se o percentual de área para cada classe.

#### 4.3.4.2 Geomorfologia

Para elaboração da base de geomorfologia adquiriu-se os dados da região onde está localizado o município de Ilópolis, disponibilizados no banco de dados do INDE. No *software* ArcGIS 10.3 realizou-se a extração da geomorfologia específica da área de estudo. Em seguida, fez-se o recorte da base de geomorfologia pelas áreas dos ervais através da ferramenta *clip*. Após, agrupou-se as poligonais para cada unidade geomorfológica através da ferramenta *dissolve*, obtendo a área de ervais para cada unidade geomorfológica. Em seguida, a área de ervais para cada UG foi verificada através da ferramenta *Open Attribute Table*. Por fim, tabelou-se os valores encontrados em uma planilha de Excel, onde calculou-se o percentual de área para cada classe.

#### 4.3.4.3 Pedologia

Para elaboração da base de pedologia adquiriu-se os dados da região onde está localizado o município de Ilópolis, disponibilizados no banco de dados do INDE. No *software* ArcGIS 10.3 realizou-se a extração da pedologia específica da área de estudo. Em seguida, fez-se o recorte da base de pedologia pelas áreas dos ervais através da ferramenta *clip*. Após, agrupou-se as poligonais para cada tipo de solo através da ferramenta *dissolve*, obtendo a área de ervais para cada tipo de solo. Em seguida, a área de ervais para cada tipo de solo foi verificada através da ferramenta *Open Attribute Table*. Por fim, tabelou-se os valores encontrados em uma planilha de Excel, onde calculou-se o percentual de área para cada classe.

#### 4.3.4.4 Declividade

Para elaboração da base de declividade adquiriu-se os dados do SRTM da região onde está localizado o município de Ilópolis, disponibilizados no banco de dados da USGS. O mapa de declividade foi gerado no *software* ArcGIS 10.3 a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT) com a rotina *slope*, posteriormente reclassificado com a função *reclassify* e as classes de declividade estabelecidas conforme a classificação proposta por Ramalho Filho e Beek (1995), apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Categorias de declividade

Nível de declive (%)	Grau de limitação
0 a 3	Plano/praticamente plano
3 a 8	Suave ondulado
8 a 13	Moderadamente ondulado
13 a 20	Ondulado
20 a 45	Forte ondulado
45 a 100	Montanhoso
Acima de 100	Escarpado

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995).

Em seguida, através da ferramenta *raster to polygon* transformou-se o arquivo raster da declividade em um arquivo vetorial, fez-se o recorte da declividade pelos ervaís através da ferramenta *clip* e agrupou-se as classes através da ferramenta *dissolve*, obtendo a área de ervaís para cada categoria de declividade. Em seguida, a área de ervaís para cada categoria foi verificada através da ferramenta *Open Attribute Table*. Por fim, tabelou-se os valores encontrados em uma planilha de Excel, onde calculou-se o percentual de área para cada classe.

#### 4.3.4.5 Altitude

Para elaboração da base de altitude adquiriu-se os dados do SRTM da região onde está localizado o município de Ilópolis, disponibilizados no banco de dados da USGS. O mapa de declividade foi gerado no *software* ArcGIS 10.3 a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT), reclassificado com a função *reclassify* e as classes de altitude estabelecidas conforme as cotas encontradas no município. Em seguida, através da ferramenta *raster to polygon* transformou-se o arquivo raster em um arquivo vetorial, fez-se o recorte da altitude pelos ervaís através da ferramenta *clip* e agrupou-se as classes através da ferramenta *dissolve*, obtendo a área de ervaís para cada classe de altitude. Em seguida, a área de ervaís para cada classe foi verificada através da ferramenta *Open Attribute Table*. Por fim, tabelou-se os valores encontrados em uma planilha de Excel, onde calculou-se o percentual de área para cada classe.

#### 4.3.4.6 Orientação Solar

Para elaboração da base de orientação solar adquiriu-se os dados SRTM da região onde está localizado o município de Ilópolis, disponibilizados no banco de dados da USGS. O mapa de orientação solar foi gerado no *software* ArcGIS 10.3 a

partir do Modelo Digital do Terreno (MDT) com a rotina *aspect*, posteriormente reclassificado com a função *reclassify*. Em seguida, através da ferramenta *raster to polygon* transformou-se o arquivo raster em um arquivo vetorial, fez-se o recorte da orientação solar pelos ervais através da ferramenta *clip* e agrupou-se as classes através da ferramenta *dissolve*, obtendo a área de ervais para cada classe de orientação solar. Em seguida, a área de ervais para cada classe foi verificada através da ferramenta *Open Attribute Table*. Por fim, tabelou-se os valores encontrados em uma planilha de Excel, onde calculou-se o percentual de área para cada classe.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Mapeamento dos ervais

A classificação supervisionada da imagem RapidEye 3A utilizando o método Maxver identificou uma área de 4.241,10 hectares de ervais no município de Ilópolis, o que representa 36,43% do território municipal. A Tabela 3 apresenta as classes de uso e cobertura do solo do município com a sua respectiva área ocupada e percentual correspondente.

Tabela 3 – Classes de uso e cobertura do solo do município de Ilópolis-RS

Classe	Área ocupada (ha.)	Percentual (%)
Mata nativa com araucária	2.697,85	23,17
Mata nativa sem araucária	2.008,17	17,25
Floresta Exótica	596,52	5,12
Ervais	4.241,10	36,43
Agricultura	1.796,54	15,43
Pastagem	118,92	1,02
Água	51,88	0,45
Mancha urbana	131,30	1,13
<b>Total</b>	<b>11.642,28</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autora (2017).

O mapeamento de ervais através deste método sofre algumas limitações. Por ser uma espécie florestal, a assinatura espectral da erva-mate se assemelha à assinatura das demais áreas com vegetação florestal. Avaliando a classificação gerada, percebeu-se que o classificador confundiu áreas de vegetação em estágio inicial com áreas de lavoura de erva-mate. Além disso, por se tratar de uma espécie sem um período específico para colheita, já que a colheita ocorre durante todo o ano, não pode-se escolher uma imagem com data mais apropriada para a classificação. Notou-se também, que a classificação foi afetada pela confusão entre áreas de agricultura de outras culturas com áreas de erva-mate. Neste sentido, quando as

plantas de erva-mate são podadas, há uma maior exposição do solo, causando maior confusão entre áreas de agricultura de outras culturas e ervais.

Pelo *software* Google Earth Pro foram identificados 3.922,15 hectares de ervais, sendo 3.471,26 hectares de ervais com cultivo a pleno sol e 450,89 hectares de ervais sombreados. Os ervais sombreados mapeados localizam-se, em geral, mais próximos a área central do município, enquanto os ervais a pleno sol foram identificados por todo território municipal. As Figuras 11 e 12 apresentam duas áreas de ervais que foram visitadas em propriedades na comunidade de Linha São Valentin.

Figura 11 – Ercal sombreado localizado na comunidade de Linha São Valentin, no interior do município de Ilópolis-RS



Fonte: Autora (2017).

Figura 12 – Ercal a pleno sol localizado na comunidade de Linha São Valentin, no interior do município de Ilópolis-RS



Fonte: Autora (2017).

A Prefeitura Municipal de Ilópolis não dispõe de dados sobre a área e produtividade de erva-mate a nível de comunidade, tendo os dados estimados apenas a nível municipal. Pelo mapeamento realizado observa-se que a localidade com menor área de ervais é a comunidade de Linha Santos Filho, e as localidades com maior área são Linha Borges, Gramadinho, São Francisco e Monte Bérico.

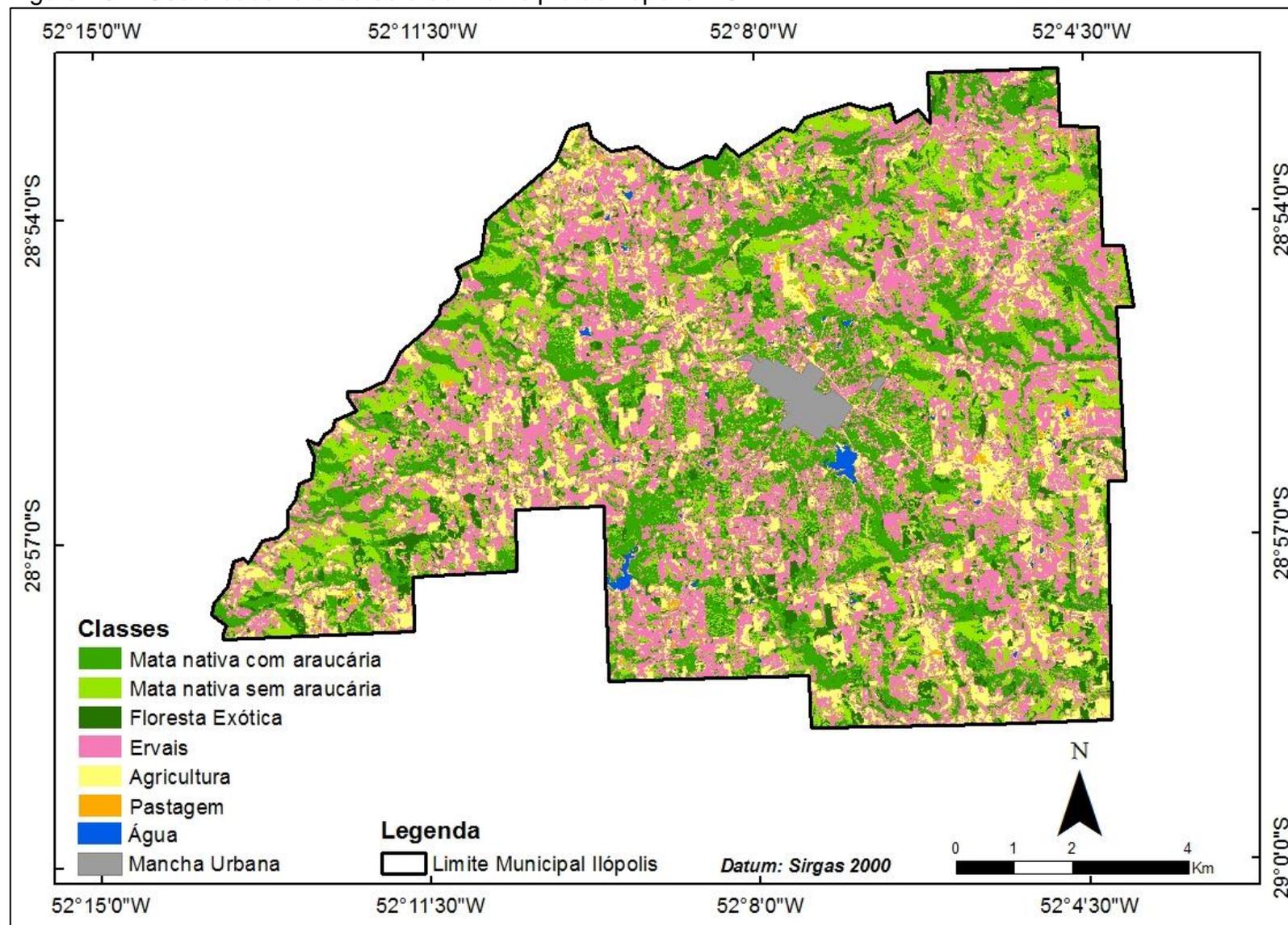
De acordo com IBGE (2016), são estimados 7.300 hectares de área plantada ou destinada à colheita no município. Em relação a essa diferença encontrada, os resultados demonstram que quanto a cultivos a pleno sol, o município certamente não apresenta toda essa área destinada à cultura. Sabe-se que algumas áreas não foram mapeadas devido ao seu desconhecimento e impossibilidade de acesso para verificação, contudo não são áreas significativas que elevem tanto a área abrangida por ervais. Ainda, percebeu-se que algumas áreas que são contadas como de produção do município encontram-se fora do limite municipal. Além disso, não foram consideradas no mapeamento áreas com árvores velhas e esparsas de erva-mate.

A área abrangida por ervais nativos ou nativos adensados é um resultado pouco preciso, visto que são áreas de difícil identificação e mapeamento através dos métodos utilizados, já que encontra-se dentro da mata e não se tornam claramente visíveis, devendo ser adotadas outros métodos que permitam o seu mapeamento. Portanto, pode-se dizer, que há mais áreas de ervais sombreados que não foram mapeadas, porém não é possível estimar quantitativamente. As áreas classificadas pelo método supervisionado como áreas de mata nativa com araucária, são locais prováveis da ocorrência da espécie.

Comparando visualmente as áreas de ervais mapeadas através de classificação supervisionada e as áreas mapeadas através do *software* Google Earth Pro, pode-se dizer que o método Maxver realizou uma boa classificação das áreas de cultivo de erva-mate no município, visto que as áreas mapeadas através do Google foram classificadas em sua maior parte corretamente pelo algoritmo.

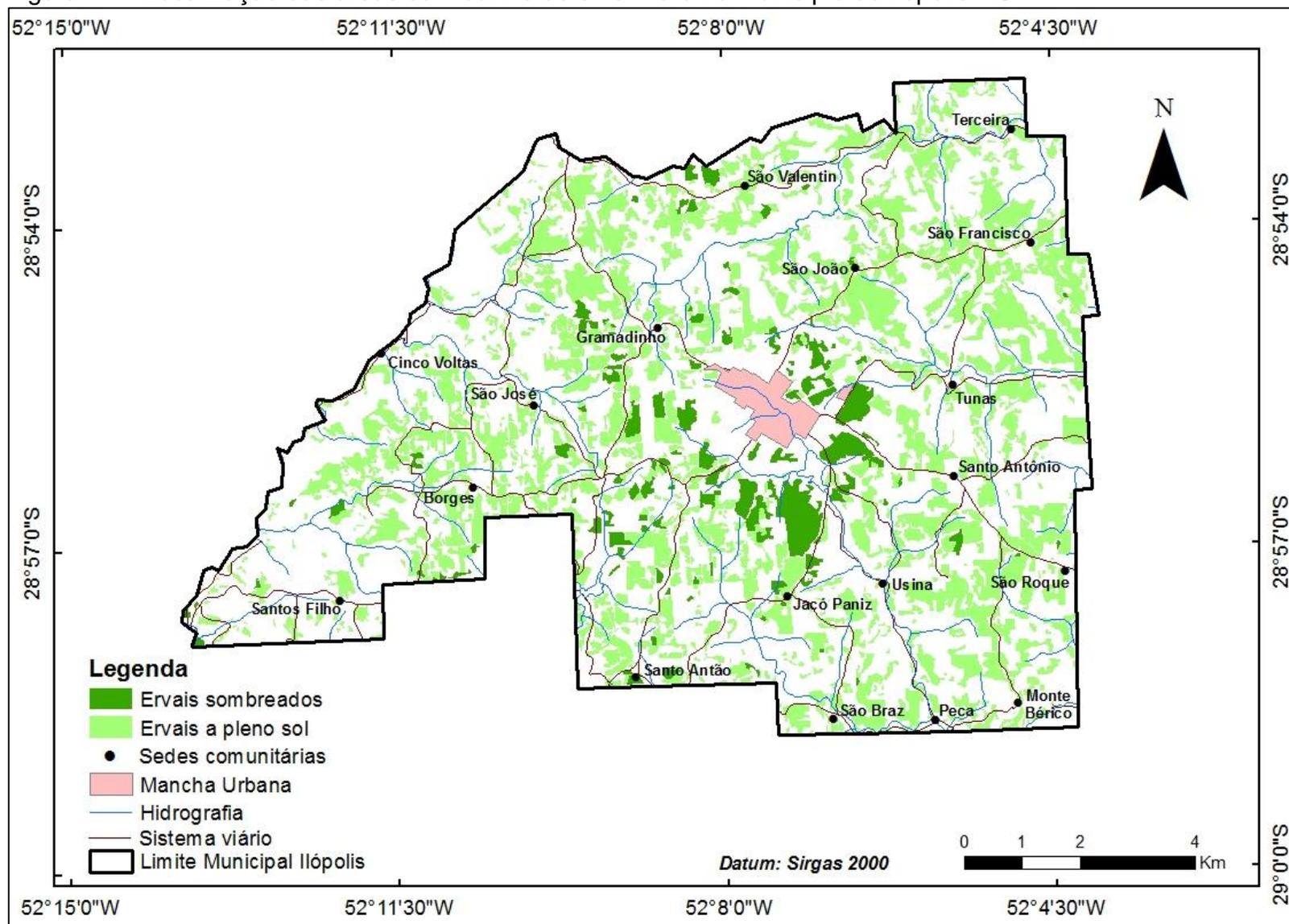
A Figura 13 apresenta as áreas de ervais no mapa de uso e cobertura do solo gerado através de classificação supervisionada, enquanto a Figura 14 apresenta o mapa de localização dos ervais mapeados através do *software* Google Earth Pro.

Figura 13 – Uso e cobertura do solo do município de Ilópolis-RS



Fonte: Autora (2017)

Figura 14 – Localização das áreas com cultivo de erva-mate no município de Ilópolis-RS



Fonte: Autora (2017).

## 5.2 Análise espacial das áreas de cultivo de erva-mate

### 5.2.1 Geologia

A metodologia utilizada apresentou que 89,44% da área territorial de Ilópolis é formada pela formação geológica Fácies Caxias, onde também, está localizada a maior área de ervais, tendo 3.536,45 hectares (90,17%) localizados nesta formação. A formação Fácies Gramado representa 10,56% da área territorial do município, tendo 385,70 hectares (9,83%) de ervais.

A Tabela 4 apresenta as áreas das formações geológicas presentes no município e área de ervais em cada formação, com os seus respectivos percentuais.

Tabela 4 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de geologia em Ilópolis-RS

Formação geológica	Área ocupada no município (ha.)	Percentual (%)	Área ervais (ha.)	Percentual (%)
Fácies Caxias	10.413,37	89,44	3.536,45	90,17
Fácies Gramado	1.228,91	10,56	385,70	9,83
<b>Total</b>	<b>11.642,28</b>	<b>100,00</b>	<b>3.922,15</b>	<b>100,00</b>

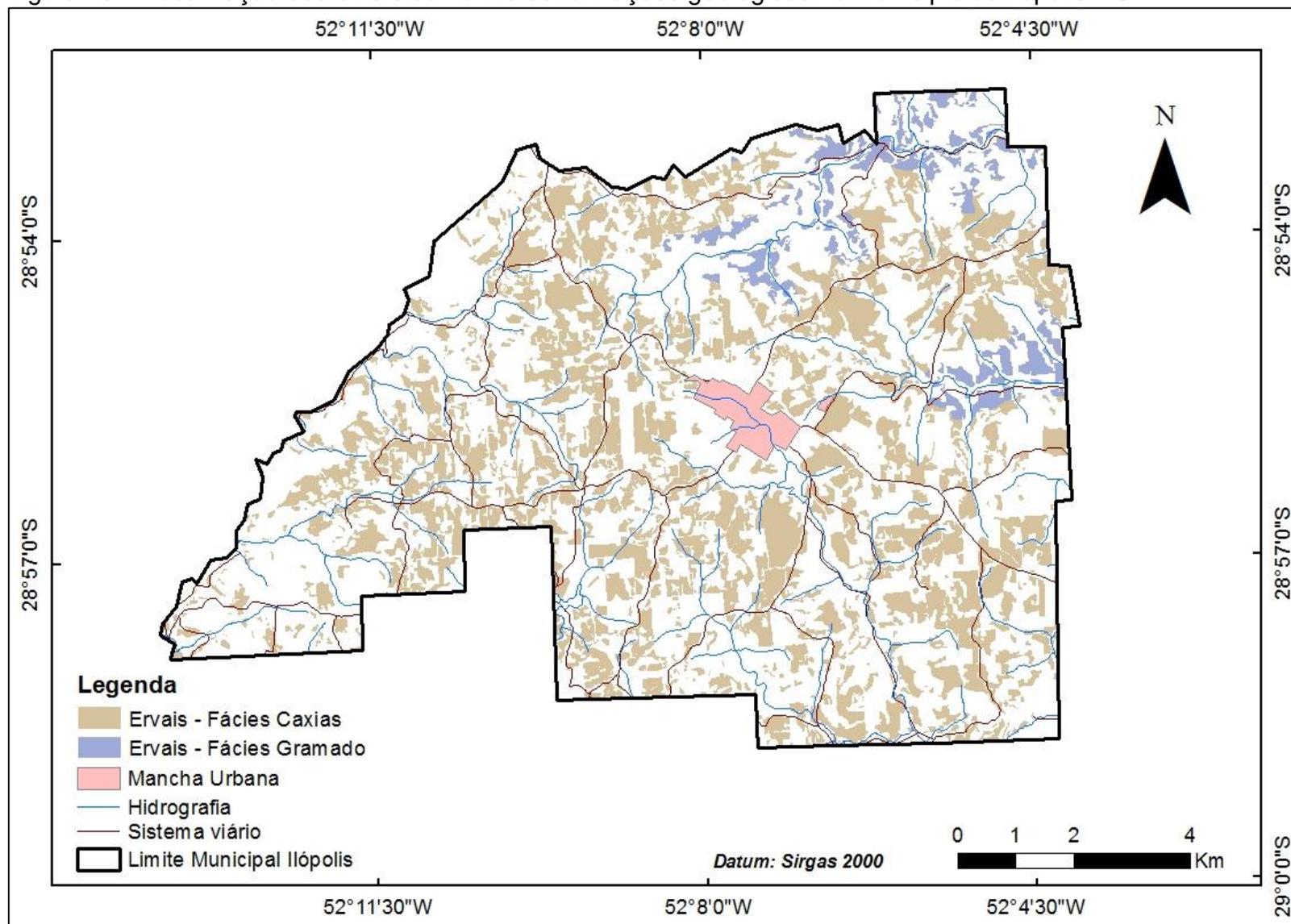
Fonte: Autora (2017).

Quantitativamente, as características geológicas da formação do solo proporcionam a sua composição, o que influencia o desenvolvimento das plantas e sua produção. A erva-mate desenvolve-se preferencialmente em solos ácidos e, neste sentido, as rochas Fácies Gramado possuem composição básica enquanto as rochas da Fácies Caxias possuem composição ácida, demonstrando que a maior área do município possui as características preferencias da erva-mate. Além, disso, a Fácies Caxias constitui o derrame de topo e encontra-se em altitudes mais elevadas, o que também se relaciona com as altitudes onde a erva-mate ocorre naturalmente.

Qualitativamente, as características geológicas da formação do solo podem, por exemplo, proporcionar altas concentrações de metais pesados em determinadas áreas e, dependendo da biodisponibilidade destes elementos no solo, podem ser captados e acumulados nas plantas (MAGRI, 2017).

A Figura 15 apresenta o mapa de localização dos ervais conforme as formações geológicas que compõem o município.

Figura 15 – Localização dos ervais conforme as formações geológicas no município de Ilópolis-RS



Fonte: Autora (2017).

### 5.2.2 Geomorfologia

A metodologia utilizada mostrou que 76,92% da área territorial de Ilópolis é formada pela UG Planalto dos Campos Gerais, onde encontra-se a maior área de ervais, apresentando um percentual de 83,54% ou 3.276,64 hectares localizados nesta unidade. A UG Serra Geral representa 23,08% da área territorial do município, tendo 16,46% ou 645,51 hectares de ervais localizados nesta unidade.

A Tabela 5 apresenta as áreas das unidades geomorfológicas presentes no município e a área de ervais em cada unidade, com os seus respectivos percentuais.

Tabela 5 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de geomorfologia em Ilópolis-RS

<b>Unidade Geomorfológica</b>	<b>Área ocupada no município (ha.)</b>	<b>Percentual (%)</b>	<b>Área ervais (ha.)</b>	<b>Percentual (%)</b>
Planalto dos Campos Gerais	8.954,97	76,92	3.276,64	83,54
Serra Geral	2.687,31	23,08	645,51	16,46
<b>Total</b>	<b>11.642,28</b>	<b>100,00</b>	<b>3.922,15</b>	<b>100,00</b>

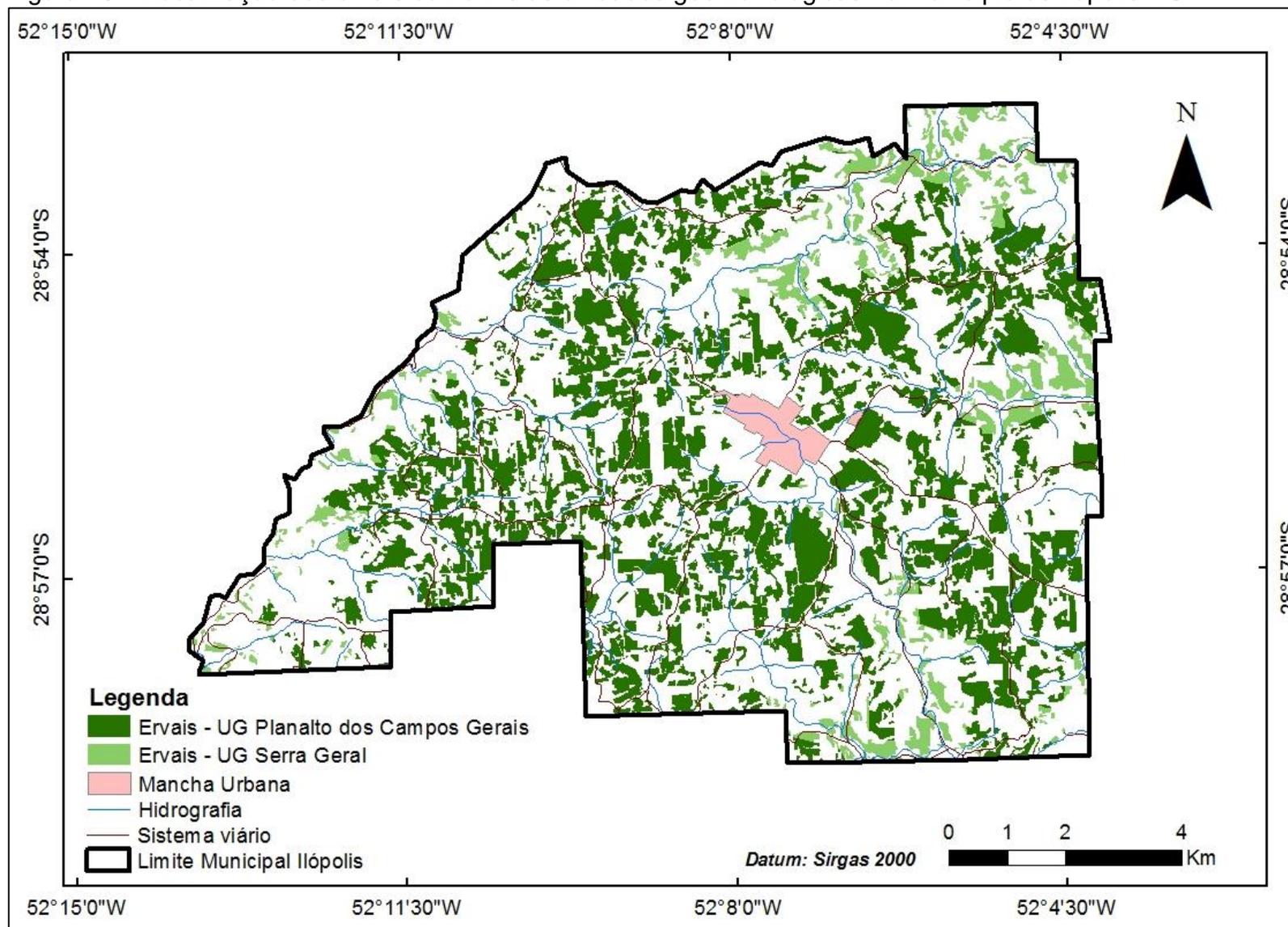
Fonte: Autora (2017).

De acordo com Oliveira et al. (2015), a UG Planalto dos Campos Gerais nesta região caracteriza-se por um relevo que varia de plano a ondulado, possui declividades mais baixas e encontra-se em altitudes mais altas, enquanto a UG Serra Geral caracteriza-se por um relevo que pode apresentar formas bastante abruptas, possui declividades maiores e encontra-se em altitudes mais baixas. Isso demonstra que as características da UG Planalto dos Campos Gerais contribuem para as operações de cultivo e manejo dos ervais, resultando em ganhos de produtividade. Da mesma forma, quando da implantação de um erval, a topografia é avaliada para o plantio das mudas de forma que favoreça as operações de manejo e colheita.

Qualitativamente não há estudos sobre a influência do relevo nas propriedades químicas da erva-mate, mas pode-se relacionar que o relevo também influencia nas condições do solo, quando das características da erva-mate em exigir boa drenagem e não suportar solos compactados e/ou encharcados (BOGNOLA et al., 2017).

A Figura 16 apresenta o mapa de localização dos ervais conforme as unidades geomorfológicas que compõe o município.

Figura 16 – Localização dos ervais conforme as unidades geomorfológicas no município de Ilópolis-RS



Fonte: Autora (2017).

### 5.2.3 Pedologia

Da área territorial de Ilópolis, 74,98% é formada por solo Nitossolo Bruno Alumínico, onde, logo também, encontram-se a maioria dos ervais, tendo 82,91% ou 3.251,99 hectares localizados neste tipo de solo. O solo do tipo Neossolo Litólico Chernossólico representa 25,02% da área territorial, onde existem 670,16 hectares (17,09%) de erva-mate.

A Tabela 6 apresenta os tipos de solo que ocorrem no município e a área de ervais em cada tipo de solo, com os seus respectivos percentuais.

Tabela 6 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de solo em Ilópolis-RS

<b>Tipo de solo</b>	<b>Área ocupada no município (ha.)</b>	<b>Percentual (%)</b>	<b>Área ervais (ha.)</b>	<b>Percentual (%)</b>
Nitossolo Bruno Alumínico	8.729,33	74,98	3.251,99	82,91
Neossolo Litólico Chernossólico	2.912,25	25,02	670,16	17,09
<b>Total</b>	<b>11.642,28</b>	<b>100,00</b>	<b>3.922,15</b>	<b>100,00</b>

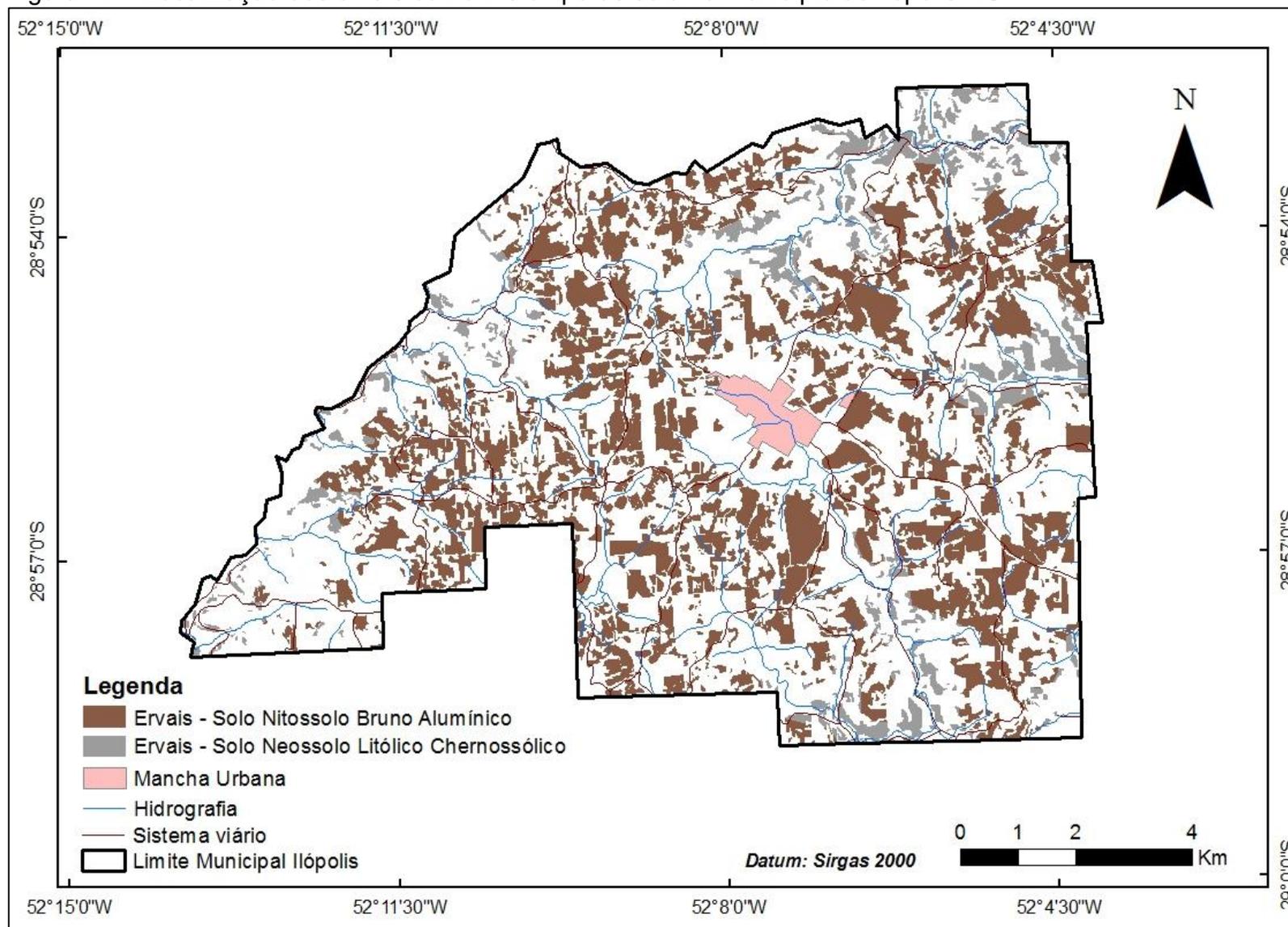
Fonte: Autora (2017).

A erva-mate é reconhecida por ocorrer frequentemente em solos ácidos, com alto teor de alumínio e com preferência por solos argilosos, mediantemente profundos ou profundos. Nestas características, os solos do tipo Nitossolo, em geral, caracterizam-se por serem profundos, moderadamente ácidos a ácidos e apresentam textura argilosa ou muito argilosa, demonstrando que o solo predominante no município apresenta condições favoráveis ao desenvolvimento e produção das plantas.

Embora a erva-mate é caracterizada por preferir solos profundos, sua ocorrência também já foi vista em solos pouco profundos, como em Neossolos, por exemplo. Porém, solos com pouca profundidade podem comprometer a produção e reduzir a vida útil das plantas, devido às restrições ao desenvolvimento radicular (MEDRADO et al., 2000; DANIEL, 2009).

Qualitativamente, conforme já citado, as características geológicas da formação do solo podem proporcionar concentrações de metais pesados que, dependendo das propriedades físico-química do solo, como o pH, podem ser captados e acumulados pelas plantas (MAGRI, 2017). A Figura 17 apresenta o mapa de localização dos ervais conforme os tipos de solo que compõe o município.

Figura 17 – Localização dos ervais conforme o tipo de solo no município de Ilópolis-RS



Fonte: Autora (2017).

### 5.2.4 Altitude

A metodologia utilizada mostrou que o município de Ilópolis apresenta cotas que variam de 307 a 795 metros de altitude, sendo que mais de 90% da área do município encontra-se em uma altitude superior a 500 metros. Quanto a localização dos ervais, mais de 80% estão entre as cotas de 600 e 795 metros.

A Tabela 7 apresenta as variações de altitude que ocorrem no município e a área de ervais em cada classe, com os seus respectivos percentuais.

Tabela 7 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de altitude em Ilópolis-RS

Altitude (m)	Área ocupada no município (ha.)	Percentual (%)	Área ervais (ha.)	Percentual (%)
307 - 400	17,39	0,15	5,15	0,13
400 - 500	761,11	6,54	196,97	5,02
500 – 600	2.007,70	17,24	475,04	12,11
600 – 700	5.097,51	43,78	1.570,68	40,05
700 - 795	3.758,57	32,28	1.674,31	42,69
<b>Total</b>	11.642,28	100,00	3.922,15	100,00

Fonte: Autora (2017).

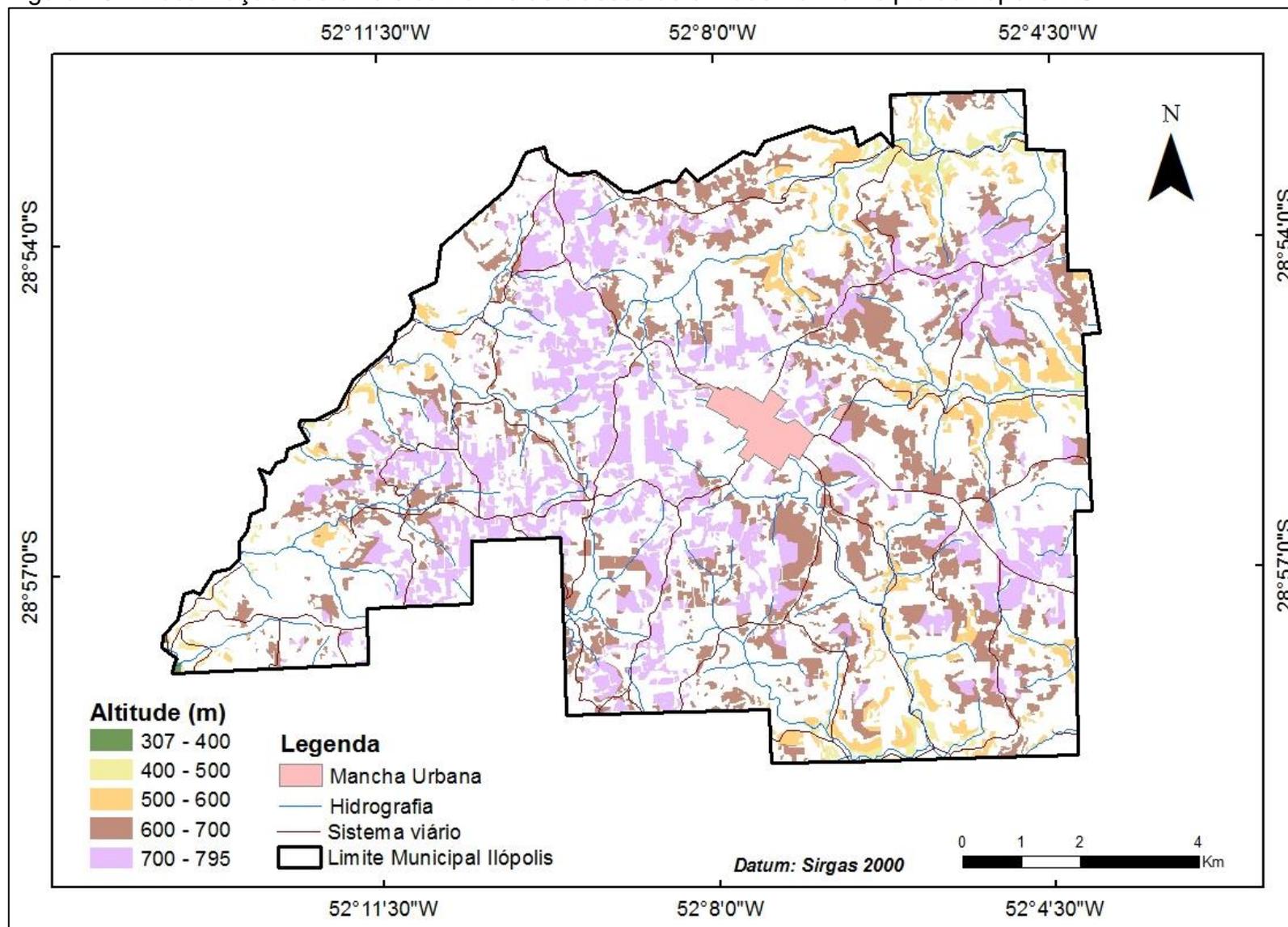
De acordo com Oliveira e Rotta (1985), os ervais ocorrem naturalmente em altitudes que variam de 500 a 1.500 metros. Para Sá et al. (2017), a erva-mate geralmente ocorre em altitudes de 400 a 1.800 metros, porém, adicionalmente na região Sul, a espécie encontra-se em altitudes inferiores a 400 metros.

Sendo a erva-mate é uma espécie típica da formação vegetal Floresta Ombrófila Mista Montana, a qual enquadra-se entre altitudes que variam de 400 a 1.000 metros, demonstra-se que o município encontra-se em altitudes que favorecem a ocorrência da erva-mate, sendo um fator importante para o desenvolvimento e produtividade das plantas.

De acordo com Dortzbach (2017), a produção de erva-mate em altitudes mais elevadas pode influenciar na qualidade de um produto diferenciado, pois relaciona-se com as condições climáticas favorecidas pelo ambiente.

A Figura 18 apresenta o mapa de localização dos ervais conforme as classes de altitude que compõe o município.

Figura 18 – Localização dos ervais conforme as classes de altitude no município de Ilópolis-RS



Fonte: Autora (2017).

### 5.2.5 Declividade

A maior área territorial do município predomina o relevo forte ondulado (31,84%), seguido por relevo ondulado (20,11%) e moderadamente ondulado (19,20%), onde, logo também, encontram-se a maior parte dos ervais, sendo 1.171,07 hectares (29,86%) em relevo forte ondulado, 949,21 hectares (24,20%) em relevo ondulado e 925,99 hectares (23,61%) em relevo moderadamente ondulado. A Tabela 8 apresenta a área de ervais em cada classe, com os seus respectivos percentuais.

Tabela 8 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de declividade em Ilópolis-RS

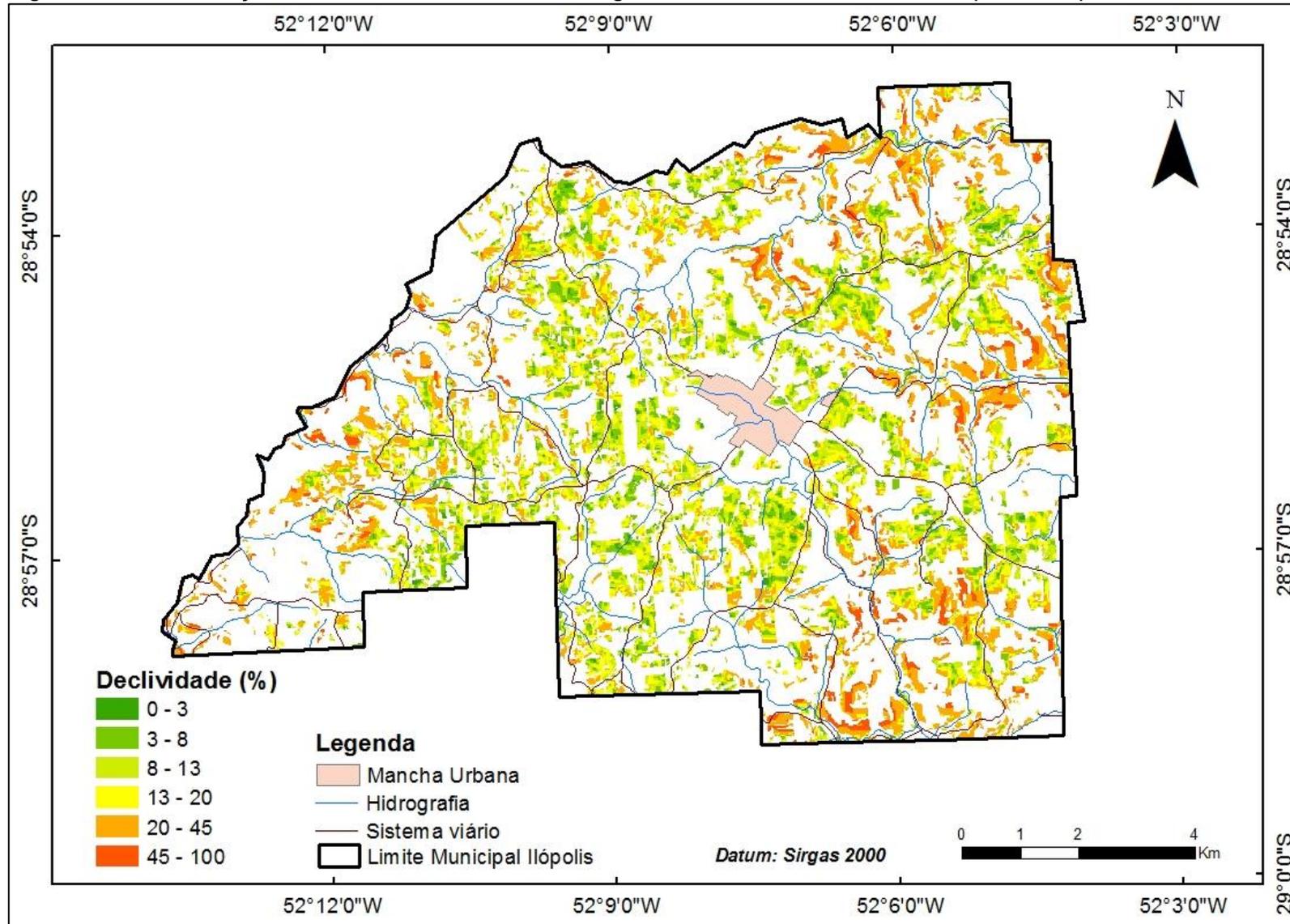
Declividade (%)	Área ocupada no município (ha.)	Percentual (%)	Área ervais (ha.)	Percentual (%)
0 – 3 (Plano)	222,74	1,91	71,08	1,81
3 – 8 (Suave ondulado)	1.515,01	13,01	575,72	14,68
8 – 13 (Moderadamente ondulado)	2.235,16	19,20	925,99	23,61
13 – 20 (Ondulado)	2.341,26	20,11	949,21	24,20
20 – 45 (Forte ondulado)	3.706,32	31,84	1.171,07	29,86
45 – 100 (Montanhoso)	1.616,12	13,88	229,08	5,84
> 100 (Escarpado)	5,67	0,05	-	-
<b>Total</b>	<b>11.642,28</b>	<b>100,00</b>	<b>3.922,15</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autora (2017).

O topografia presente no município está relacionada com as demais características de formação de seu território. Por apresentar um relevo ondulado, acredita-se que o plantio da cultura de erva-mate, além de ser uma característica do município, prevalece na escolha por plantios de erva-mate dentre outras culturas, visto que a mecanização nestes terrenos se torna mais difícil. Como o plantio e a colheita da erva-mate são tarefas manuais e não exigem mecanização, os agricultores optam pelo plantio dessa cultura que se adapta às demais condições necessárias e tem boas expectativas de desenvolvimento e produção.

Qualitativamente, não há estudos sobre a influência da declividade nas propriedades químicas das folhas de erva-mate, mas relaciona-se com as considerações feitas sobre o relevo. A Figura 19 apresenta o mapa de localização dos ervais conforme as classes de declividade que compõe o município.

Figura 19 – Localização dos ervais conforme as categorias de declividade no município de Ilópolis-RS



Fonte: Autora (2017).

### 5.2.6 Orientação Solar

As áreas do município de Ilópolis recebem pouca incidência solar plana e é praticamente uniforme a incidência solar das demais orientações. Logo, os ervais também estão localizados em terrenos que recebem incidência solar de diferentes orientações, não observando-se uma preferência entre as áreas de cultivo.

A Tabela 9 apresenta as orientações solares que incidem sobre a área do município e sobre a área de ervais, com os seus respectivos percentuais.

Tabela 9 – Distribuição da erva-mate em relação às classes de orientação solar em Ilópolis-RS

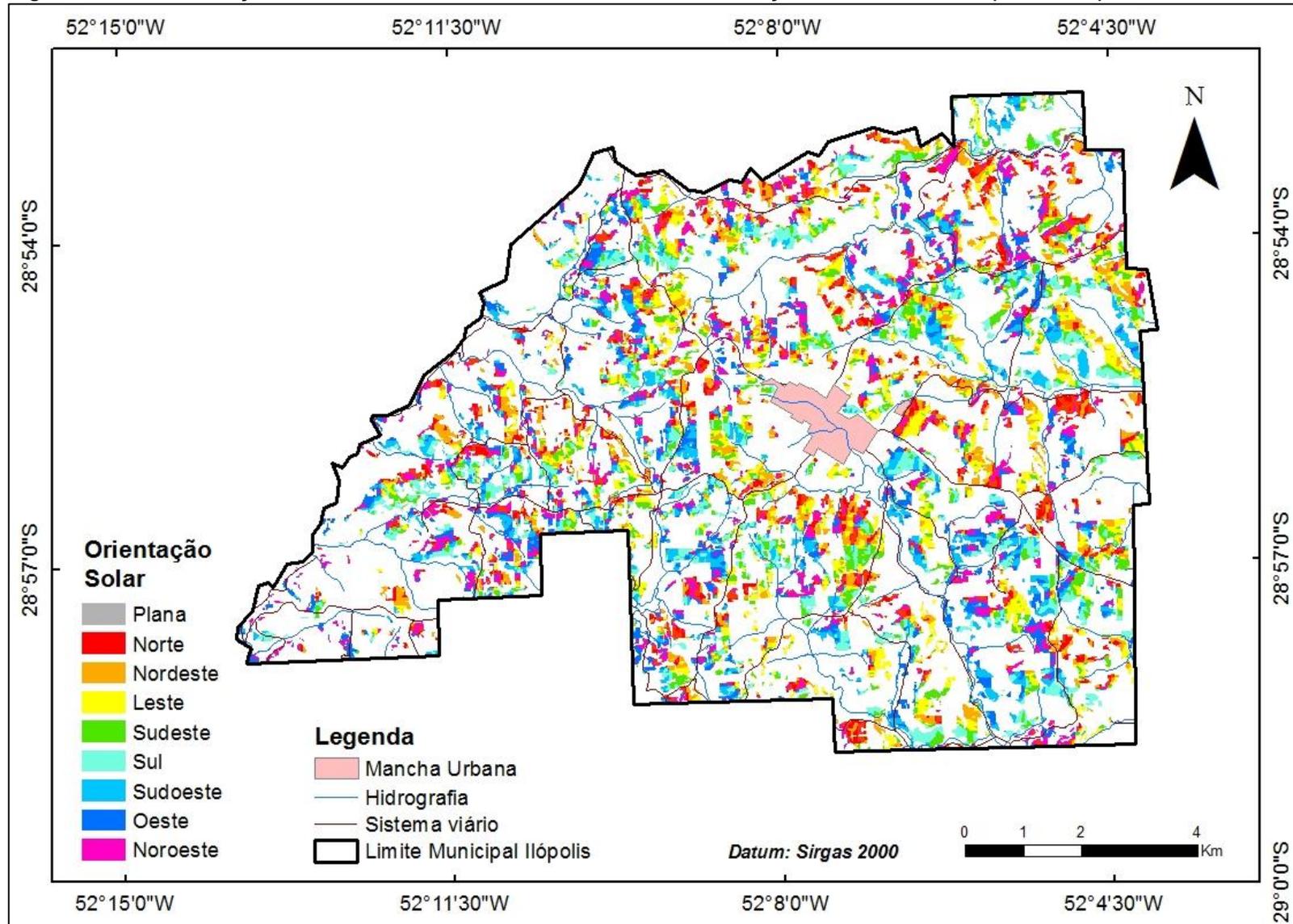
Orientação solar	Área ocupada no município (ha.)	Percentual (%)	Área ervais (ha.)	Percentual (%)
Plana	18,11	0,16	1,76	0,04
Norte	1.626,76	13,97	525,64	13,40
Nordeste	1.475,20	12,67	509,41	12,99
Leste	1.395,10	11,98	528,78	13,48
Sudeste	1.233,40	10,59	433,56	11,05
Sul	1.495,58	12,85	509,22	12,98
Sudoeste	1.374,42	11,81	467,40	11,92
Oeste	1.456,34	12,51	463,48	11,82
Noroeste	1.567,37	13,46	482,90	12,31
<b>Total</b>	<b>11.642,28</b>	<b>100,00</b>	<b>3.922,15</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autora (2017).

Quantitativamente, quanto maior a incidência solar, maior é o potencial fotossintético da planta (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015), o que comercialmente é melhor para os mateicultores, pois favorece o crescimento e a produção de biomassa. Zerbielli (2016) observou incremento de biomassa com maior luminosidade e maior área foliar em ambiente sombreado.

Qualitativamente, há evidências de que o nível de luminosidade pode alterar os compostos da matéria-prima de erva-mate. Um estudo realizado por Jacques et al. (2007) mostrou que plantas cultivadas a pleno sol apresentaram menor concentração de cafeína, ácido palmítico, fito e vitamina E, enquanto que a maior intensidade de luz aumentou a concentração de ácido esteárico e esqualeno. Maiores concentrações de cafeína em folhas parcialmente sombreadas também foram observadas por Mazzafera (1994) (SANTIN; BENEDETTI; REISSMANN, 2015) e Zerbielli (2016). A Figura 20 apresenta o mapa de localização dos ervais conforme a orientação solar que recebem.

Figura 20 – Localização dos ervais conforme as classes de orientação solar no município de Ilópolis-RS



Fonte: Autora (2017).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente demanda por valorizar e qualificar a cadeia produtiva da erva-mate merece estudos que forneçam informações, dados e características do setor ervateiro, onde o uso de geotecnologias se enquadra como uma ferramenta muito útil e aplicável, tendo um grande leque de oportunidades para aplicação. O conhecimento das características de produção de erva-mate são muito importantes nos anseios por atingir novos mercados, visto que cada modelo de cultivo de erval pode apresentar características de matéria-prima diferenciadas, que devem ser observadas dependendo a qual mercado se destina.

Apesar das limitações encontradas, os procedimentos realizados possibilitaram atingir os objetivos propostos, permitindo mapear a área abrangida por ervais no município de Ilópolis, porém não a sua totalidade, assim como avaliar as suas características físicas.

A área abrangida por ervais mapeada no município é, aproximadamente, 23,5% inferior a área informada pelos do IBGE, o que evidencia a carência de dados atuais confiáveis sobre a área de erva-mate explorada.

Os ervais mapeados no município são distribuídos de forma homogênea pelo território municipal. Predominam em áreas formadas pela formação geológica Fácies Caxias (90,17%), UG Planalto dos Campos Gerais (83,54%), em solos do tipo Nitossolo Bruno Alumínico (82,91%), em altitudes que variam de 600 a 795 metros (82,73%) e em terrenos com relevo moderado a forte ondulado (77,67%). Quanto à orientação solar não apresentaram nenhum predomínio. Além disso, os plantios de erva-mate e as populações naturais podem ser encontradas em diferentes locais, demonstrando que a espécie possui ampla adaptação e diversas são as variáveis que

influenciam a sua produtividade e qualidade. Para tanto, é muito importante a realização de estudos que tragam maior conhecimento sobre a cultura de erva-mate.

Espera-se que este trabalho seja levado a diante pelo setor ervateiro, juntamente com a realização de mais estudos, na busca por valorizar e qualificar a cadeia produtiva da erva-mate, tendo que as geotecnologias apresentam potencial para realizar diversas análises e estudos e, visualizando uma possível indicação geográfica que agregue valor ao produto com identidades originais e possa ser um diferencial frente ao mercado consumidor.

## REFERÊNCIAS

ALEGRE, Julio Cesar; VILCAHUAMÁN, Luciano Javier Montoya; CORRÊA, Gabriel. **Geração de curva alométrica para avaliar as reservas de carbono em plantios de erva-mate, no sul do Brasil**. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/312701>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1997. 161 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Ministério da Ciência e da Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, ago. 1997. Disponível em: <[http://www.obt.inpe.br/pgsere/1997-Barbosa\\_C\\_C\\_F/barbosa1997.pdf](http://www.obt.inpe.br/pgsere/1997-Barbosa_C_C_F/barbosa1997.pdf)>. Acesso em: 29 mai. 2017.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **R. RA'E GA**, Curitiba, v. 8, p. 141-152, 2004. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

BOGNOLA, Hugo Barbosa. Caracterização e classificação de solos sob populações naturais de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) no Centro-Sul brasileiro. In: IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo. Viçosa-MG. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1076205/caracterizacao-e-classificacao-de-solos-sob-populacoes-naturais-de-erva-mate-ilex-paraguariensis-st-hill-no-centro-sul-brasileiro>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

BORSATTO, Saulo et al. Mapeamento geológico do município de Igrejinha para uso geotécnico. In: 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Disponível em: <<http://cbge2015.hospedagemdesites.ws/trabalhos/trabalhos/392.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2017.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu. Por que geoprocessamento? In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. INPE: São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://197.249.65.74:8080/biblioteca/bitstream/123456789/570/1/publicacao.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

CATTANI, Carlos Eduardo Vizzotto et al. Desempenho de algoritmos de classificação supervisionada para imagens de satélites RapidEye. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Foz do Iguaçu – PR. INPE: abr. 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0864.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2017.

COMPANHIA BRASILEIRA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul**. 2008. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Cartografia-Geologica-Regional-624.html>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

CHECHI, Leticia A.; SCHULTZ, Glauco. A produção de erva-mate: um estudo da dinâmica produtiva nos estados do sul do Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 13, n. 23, p. 16, jun. 2016. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2016a/agrarias/a%20producao%20de%20erva.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2017.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

CÂMARA, Gilberto et al. Álgebra de mapas. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. INPE: São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://197.249.65.74:8080/biblioteca/bitstream/123456789/570/1/publicacao.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

DANIEL, Osmar. **Erva-mate: sistema de produção e processamento industrial**. Dourados, MS: UFGD, 2009. Disponível em <<http://200.129.209.183/arquivos/arquivos/78/EDITORA/catalogo/erva-mate-sistema-de-producao-e-processamento-industrial-1.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

DORTZBACH, Denilson et al. Altitude como fator na delimitação da indicação geográfica da erva-mate. In: Alice Teresa Valduga (Coord.). **Anais do VII Congresso Sul-Americano da Erva-mate; III Simpósio Internacional de Erva-mate e Saúde; I Feira de Tecnologia na Indústria Ervateira: Integrando ciência e Tecnologia para promover avanços na cadeia produtiva de erva-mate**. Erechim-RS. 2017. Disponível em: <[http://www.uricer.edu.br/site/publicacoes/ANAIS\\_ERVA\\_MATE\\_2017.pdf](http://www.uricer.edu.br/site/publicacoes/ANAIS_ERVA_MATE_2017.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2017.

DUARTE, Gabriel dos Santos et al. O uso da geometria do Landsat 8 como base para georreferenciamento semiautomático visando estudos espaço-temporais. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil: INPE, abr. 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1026.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2015.

ECKHARDT, Rafael R. **Cartografia digital e estrutura dos dados espaciais e GPS – Global Positioning System**. 2015.

FERREIRA, Aline Batista; PEREIRA FILHO, Waterloo. Análise do uso e cobertura da terra de três sub-bacias hidrográficas – Rio Grande do Sul/Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 2, n. 3, p. 20-36, set./dez. 2009. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/63>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

FERRI, Genuino Antônio; TOGNI, Ana Cecília. **História da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas**. 1 ed. Lajeado: Univates, 2012.

FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB. Brasília-DF, 2005. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf)>. Acesso em: 27 abr. 2017.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca/>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

FUNDO DE DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DA ERVA-MATE – FUNDOMATE. **Informativo do Fundomate**, n. 16, jul. 2016. Disponível em: <<http://www.seapa.rs.gov.br/upload/arquivos/201702/01083717-20160711140348informativo-do-fundomate-16-2016-esse.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2017.

GAIAD, S. (Ed.). **Sistemas de produção: cultivo de erva-mate**. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/temas-publicados>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

GARCÍA, Mauricio Labrador; BRONDO, Juan A. Évora; PÉREZ, Manuel Arbelo. **Satélites para detecção remota aplicada à gestão territorial**. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias: 2012. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Artur\\_Gil/publication/262215037\\_Satelites\\_para\\_a\\_Deteccao\\_Remota\\_aplicada\\_a\\_Gestao\\_Territorial\\_versao\\_em\\_portugues/links/004635370f0df40b51000000/Satelites-para-Deteccao-Remota-aplicada-a-Gestao-Territorial-versao-em-portugues.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Artur_Gil/publication/262215037_Satelites_para_a_Deteccao_Remota_aplicada_a_Gestao_Territorial_versao_em_portugues/links/004635370f0df40b51000000/Satelites-para-Deteccao-Remota-aplicada-a-Gestao-Territorial-versao-em-portugues.pdf)>. Acesso em: 27 abr. 2017.

GIANEZINI, Miguelangelo et al. Geotecnologia aplicada ao agronegócio: conceitos, pesquisa e oferta. **Revista Economia & Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 167-174, abr./jun. 2012. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/ret/article/view/28170>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

GOULART, Ives C. G. dos Reis; PENTEADO JUNIOR, Joel F. Erva 20: sistema de produção de erva-mate. In: SEMINÁRIO ERVA-MATE XXI. **Anais do Seminário Erva-mate XXI: modernização no cultivo e diversificação do uso da erva-mate**. 2016. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1060432/1/Doc.298Seminarioervamate.pdf#page=46>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

HAMADA, Emília; GONÇALVES, Renata Ribeiro do Valle. **Introdução ao geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. Jaguariúna-SP: Embrapa Meio Ambiente, 2007. Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos\\_67.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_67.pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2017.

HASENACK, Heinrich; WEBER, Eliseu. **IDRISI for Windows: Introdução e exercícios tutoriais**. Porto Alegre, UFRGS Centro de Recursos Idrisi, 1998. Disponível em: <[http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/downloads/Tutorial\\_Idrisi\\_for\\_Windows\\_2.pdf](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/downloads/Tutorial_Idrisi_for_Windows_2.pdf)>. Acesso em: 23 mai. 2017.

HEBERLE, Aline Fernanda; HELM, Cristiane Vieira. Determinação de teores de polifenóis totais em amostras nativas de erva-mate. In: **XVI Evinci: Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas**. Colombo-PR. Embrapa Florestas: jul. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/florestas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1077783/determinacao-dos-teores-de-polifenois-totais-em-amostras-nativas-de-erva-mate>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 26 mai. 2017.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mudanças na cobertura e uso da terra do Brasil**. Rio de Janeiro: 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/2249-np-mapeamento-de-cobertura-e-uso-da-terra/np-cobertura-e-uso-da-terra/10867-cobertura-e-uso-da-terra.html?&t=downloads>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro, v. 43, p.1-62. 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?&t=resultados>>. Acesso em: 17 out. 2017.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, v. 31, p.1-54. 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html>>. Acesso em: 17 out. 2017.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/sistematizacao/manual\\_pedologia.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/sistematizacao/manual_pedologia.shtm)>. Acesso em: 25 mai. 2017.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. In: **INDE (2017)**. Disponível em: <<http://www.visualizador.inde.gov.br/>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

INYM – Instituto Nacional de la Yerba Mate. **Informe del Sector Yerbatero**. INYM: set. 2017. Disponível em: <<http://www.inym.org.ar/en/publicaciones/informe-del-sector-yerbatero/>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

**Classificação climática de Koppen**. Disponível em: <[https://portais.ufg.br/up/68/o/Classifica\\_\\_\\_\\_o\\_Clim\\_\\_tica\\_Koppen.pdf](https://portais.ufg.br/up/68/o/Classifica____o_Clim__tica_Koppen.pdf)>. Acesso em: 01 abr. 2017.

LANG, Stefan; BLASCHKE, Thomas. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

MACCARI JUNIOR, Agenor et al. Indústria ervateira no estado do Paraná II: fornecimento de matéria-prima. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 63-70, jan./mar. 2006. Disponível em: <<http://www2.pucpr.br/reol/index.php/academica?dd99=pdf&dd1=837>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

MAGRI, Ederlan et al. Teores de Cádmio e Chumbo relacionados ao pH e manejo do solo. In: Alice Teresa Valduga (Coord.). **Anais do VII Congresso Sul-Americano da Erva-mate; III Simpósio Internacional de Erva-mate e Saúde; I Feira de Tecnologia na Indústria Ervateira: Integrando ciência e Tecnologia para promover avanços na cadeia produtiva de erva-mate**. Erechim-RS. 2017. Disponível em: <[http://www.uricer.edu.br/site/publicacoes/ANAIS\\_ERVA\\_MATE\\_2017.pdf](http://www.uricer.edu.br/site/publicacoes/ANAIS_ERVA_MATE_2017.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2017.

MEDRADO, Moacir J. S. et al. **Recuperação de ervais degradados**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 6 p. (Embrapa Florestas, Comunicado técnico, 86). Disponível em: <[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/43372/1/com\\_tec86.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/43372/1/com_tec86.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2017.

MEDRADO, Moacir J. S. et al. **Sistemas de poda de formação e produtividade da erva-mate (Ilex paraguariensis ST. HIL.), no município de Áurea, RS**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 3 p. (Embrapa Florestas, Comunicado técnico, 38). Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/301958>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

MEDRADO, Moacir J. Sales et al. **Implantação de ervais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/289923/1/circtec41.pdf>>. Acesso em 14 nov. 2017.

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. atual. ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Tecnologias de geoinformação para representar e planejar o território urbano**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca/>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento remoto princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1993.

OLIVEIRA, Guilherme Garcia de; et al. Interpretação e mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, com suporte de técnicas de geoprocessamento e utilização de dados orbitais e cartográficos. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, abr. 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1404.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

OLIVEIRA, Sibeles V. de; WAQUIL, Paulo D. Dinâmica de produção e comercialização da erva-mate no Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 4, p. 750-756, abr. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/2014nahead/0103-8478-cr-00-00-cr-20140276.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

OLIVEIRA, Yeda Maria Malheiros de; ROTTA, Emilio. Área de Distribuição natural da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPFFlorestas, v. 10, p. 17-36, 1985. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/300244>>. Acesso em: 06 mar. 2017.

OLIVEIRA FILHO, Paulo Costa de; GOMES, Gabriela Schmitz; DISPERATTI, Attilio Antonio. O geoprocessamento como suporte ao manejo sustentável da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. ST.-HIL.) em ambiente natural. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 38, n. 1, jan./mar. 2008. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/11037>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

PALACIOS, Patricia Inés Carneiro. **Sistemas de cultivo de erva-mate: atributos físicos, indicadores de qualidade e estoque de carbono num Latossolo Vermelho Aluminoférrico**. 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, mar. 2010. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24248/Patricia%20Ines%20Carneiro%20Palacios.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

PICHELLI, Katia. **Importância do setor ervateiro**. Embrapa Florestas: nov. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/18513660/software-auxilia-produtores-de-erva-mate-a-fazer-planejamento-economico>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3 ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

REMPEL, Claudete et al. Identificação de áreas aptas ao cultivo de erva-mate, utilizando módulos de apoio à decisão em SIG, no município de Arvorezinha-RS. In: Osório Antônio Lucchese; Geraldo Ceni Coelho. (Org.). **Anais do 2º Seminário Estadual de Reflorestamento e Recuperação Ambiental: Biodiversidade e Culturas: a Gestão Ambiental em Foco**. Ijuí-RS: Editora Unijuí, 2003, v. 2, p.174-183.

RIGO, Luana et al. **Análise do mercado da erva-mate no Brasil e no Rio Grande do Sul**. 2014. Disponível em: <<http://www.fee.rs.gov.br/wp-content/uploads/2014/05/201405267eeg-mesa22-analisemercadoervamatebrasilrs.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

ROCHA JUNIOR, Weimar Freire da. **Análise do agronegócio da erva-mate com o enfoque da nova economia institucional e o uso da matriz estrutural prospectiva**. 2001. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, nov. 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/81997/182749.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, Uberlândia, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>>. Acesso em: 09 abr. 2017.

ROSSATO, Maira Suertegaray. **Os climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia**. 2011. 253 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, abr. 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/32620>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

SÁ, Alexandra C. Schatz et al. O potencial da área de ocorrência de *Ilex paraguariensis* St. Hill. (Erva-mate) em função da altitude. In: Alice Teresa Valduga (Coord.). **Anais do VII Congresso Sul-Americano da Erva-mate; III Simpósio Internacional de Erva-mate e Saúde; I Feira de Tecnologia na Indústria Ervateira: Integrando ciência e Tecnologia para promover avanços na cadeia produtiva de erva-mate**. Erechim-RS. 2017. Disponível em: <[http://www.uricer.edu.br/site/publicacoes/ANAIS\\_ERVA\\_MATE\\_2017.pdf](http://www.uricer.edu.br/site/publicacoes/ANAIS_ERVA_MATE_2017.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2017.

SANTIN, Delmar; BENEDETTI, Eliziane L.; REISSMANN, Carlos B. Nutrição e recomendação de adubação e calcário para a cultura de erva-mate. In: WENDLING, Ivar; SANTIN, Delmar. (Ed.) **Propagação e nutrição de erva-mate**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

SANTOS, Alexandre R. et al. **Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2 passo a passo: processamento de imagens orbitais**. Volume 1. Alegre, ES: CAUFES, 2014. Disponível em: <[http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Sensoriamento\\_Remoto\\_ArcGIS1022\\_Processamento\\_Imagens\\_Orbitais/LivroArcGISProcessamentoImagensOrbitais.pdf](http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Sensoriamento_Remoto_ArcGIS1022_Processamento_Imagens_Orbitais/LivroArcGISProcessamentoImagensOrbitais.pdf)>. Acesso em: 27 abr. 2017.

SÁTIRO, Talita P. de Oliveira. **Comparação entre dois sistemas de informação geográfica (ArcGIS e GVSIG) na elaboração de um mapa de potencialidade para a silvicultura baseado em elementos do meio físico – a Bacia do Paraíba do Sul (Porção Paulista)**. 2013. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013. Disponível em: <[http://200.145.6.238/bitstream/handle/11449/92962/satiro\\_tpo\\_me\\_bauru.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://200.145.6.238/bitstream/handle/11449/92962/satiro_tpo_me_bauru.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 29 mai. 2017.

SAUSEN, Tania M. Sensoriamento remoto e suas aplicações para recursos naturais. **Apostila de sensoriamento remoto INPE**. v. 29, n. 05, 2007. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 8 mai. 2017.

SCHUCHMANN, Cleide E. Z. **Ações para a formulação de um protocolo de rastreabilidade de erva-mate**. 2002. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, dez. 2002. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5298>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO ESTADO DO PARANÁ – SEAB. Departamento de Economia Rural – DERAL. **Produtos florestais: erva-mate**. out. 2014.

SILVA, Carlos Antônio da. **Zoneamento pedoambiental da erva-mate Ilex paraguariensis para o município de Erechim-RS**. 2011. 166 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/images/Teses/CARLOS-ANTONIO-DA-SILVA-TESE.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

SINDICATO DA INÚSTRIA DO MATE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – SINDIMATE-RS. **Dados estatísticos: erva-mate**. 2016. Disponível em: <<http://www.sindimaters.com.br/>>. Acesso em: 08 mai. 2017.

TAGLIARINI, Felipe de Souza Nogueira; RODRIGUES, Bruno T.; RODRIGUES, Mikael T. Relações entre a classificação supervisionada pela máxima verossimilhança e o índice de vegetação pela diferença normatizada para identificação de classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do córrego do petiço – Botucatu (SP). **Anais do Fórum Ambiental da Alta Paulista**. ANAP, Tupã-SP. Volume VII, 2016. Disponível em: <<https://www.amigosdanatureza.org.br/eventos/data/inscricoes/399/form1511202.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2017.

United States Geological Survey – **USGS**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

ZERBIELLI, Luiz Carlos. **Produtividade, luminosidade, composição química e qualidade da erva-mate**. 2016. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Centro-Oeste, Guarapuava-PR, 2016. Disponível em: <[http://www.unicentroagronomia.com/imagens/noticias/dissertacao\\_final\\_luiz\\_carlos\\_zerbielli.pdf](http://www.unicentroagronomia.com/imagens/noticias/dissertacao_final_luiz_carlos_zerbielli.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2017.