

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Campus Experimental de Ourinhos

JÉSSICA ALVES DA SILVA

**QUEIMADAS EM CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA ANÁLISE NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARANAPANEMA VIA
GEOTECNOLOGIAS**

Ourinhos – SP

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Campus Experimental de Ourinhos

QUEIMADAS EM CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA ANÁLISE NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARANAPANEMA VIA GEOTECNOLOGIAS

JÉSSICA ALVES DA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora para
obtenção do título de Bacharel em
Geografia pela Unesp Campus de Ourinhos.

Orientadora: Profa. Dra. Edineia Aparecida dos Santos Galvanin

Ourinhos – SP
2019

S586q

Silva, Jéssica Alves da

Queimadas em cultura de cana-de-açúcar: uma análise na Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema via geotecnologias / Jéssica Alves da Silva. - Ourinhos, 2019

74 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geografia) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Câmpus Experimental de Ourinhos, Ourinhos.

Orientadora: Edineia Aparecida dos Santos Galvanin

1. Queimadas em cana-de-açúcar. 2. Modelagem estatística. 3. Geotecnologias. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Câmpus Experimental de Ourinhos. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Banca examinadora

Profa. Dra. Edineia Aparecida dos Santos Galvanin (Orientadora)

Profa. Dra. Daniela Fernanda da Silva Fuzzo

Profa. Dra. Maria Cristina Perusi

Ourinhos, 13 novembro de 2019.

Dedico esse trabalho exclusivamente à minha mãe Solange, que diante de tantas dificuldades, conduzir a formação de suas filhas. Exemplo de integridade, caráter e luta. Amo-te.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos iniciais e mais importantes são dedicados àqueles que desde o meu nascimento me acompanharam e me motivaram na vida, minha família: minha mãe Solange, minhas irmãs Laís e Tamires e meus avós Maria José e Antônio César (*in memoriam*). Agradeço, por ser quem são e por possibilitar que eu também seja, sou grata pela vida de vocês e por tudo que me proporcionaram.

Em especial, agradeço minha orientadora Profa. Dra. Edineia A. S. Galvanin, por ser uma grande portadora de conhecimento e ter humildade de compartilhá-lo.

Reservo este parágrafo para banca examinadora, formada pela Profa. Dra. Daniela Fuzzo e a Prof. Dra. Maria Cristina Perusi, pessoas que são responsáveis pelo meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, que me acompanharam e torceram por mim, desde o início. Fico grata em poder compartilhar esta conquista com vocês.

Agradeço também a todos que perpassaram pela minha vida acadêmica, *sui generis* meus amigos Aline Bueno, Stephanie Freire e Bruno Graciano que estiveram comigo nos momentos mais difíceis da vida acadêmica. E dos meus companheiros de casa, Camila Flausino e Felipe Janine, que me aguentaram, aconselharam e ajudaram em todas as fases da graduação, como amigos, irmãos, pais e companheiros, mudando minha visão de mundo, muito obrigada.

Ademais, é importante ressaltar que, orgulhosamente faço parte do campus da UNESP/Ourinhos, este espaço familiar, com servidores prestativos e especiais. Agradeço a todos os funcionários, mas de forma carinhosa e especial aos servidores da biblioteca Larissa, Karin e Edivaldo, por me socorrerem e divertirem em todos esses cinco anos, além dos funcionários terceirizados da limpeza que sempre estarão guardados em meu coração, Claudilene e Valdinéia.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro durante minha iniciação científica.

Grata a todos.

Vim ao mundo para não estar de acordo.

- Máximo Gorki

RESUMO

O objetivo é avaliar a distribuição espacial e temporal dos focos de queimadas em culturas de cana-de-açúcar no período de 2000 a 2018 na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema e realizar a estimativa futura desta atividade via modelos lineares mistos. Foram usadas imagens Landsat 5, 7 e 8 dos anos de 2000, 2006, 2012 e 2018, dados numéricos (ano, área e focos) e dados categóricos (declividade do terreno). Foram analisados os dados usando o modelo linear misto, que possibilitou examinar e estimar a distribuição espaço-temporal dos focos de queimada em cana-de-açúcar no período de 18 anos em intervalos de 6 anos. Foi possível constatar o decréscimo das queimadas em terrenos suavemente ondulado, 99,9% ao ano, nesses terrenos o modelo permitiu realizar a previsão para os próximos 6 anos, o que considerando causa/efeito será de 599,99%, em contrapartida, nos terrenos suave ondulado e fortemente ondulado, resultou no aumento de 2,07% ao ano, isso nos próximos 6 anos haverá um acréscimo de 12,45%, resultado que contraria o que prevê as leis estabelecidas. Os resultados desta pesquisa poderão fornecer indicativos para o cumprimento legal da Lei Federal 9.433/1997 e demais leis Estaduais bem como, contribuir na democratização de sua gestão.

Palavras-chaves: Agricultura, Modelagem estatística, Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The objective is to evaluate the spatial and temporal distribution of burnt outbreaks in sugarcane crops from 2000 to 2018 at the Medium Paranapanema Water Resources Management Unit and to estimate the future activity through mixed linear models. Landsat 5, 7 and 8 images from 2000, 2006, 2012 and 2018, numerical data (year, area and foci) and categorical data (slope of the terrain) were used. Data were analyzed using the mixed linear model, which made it possible to examine and estimate the spatiotemporal distribution of outbreaks of sugarcane over 18 years at 6-year intervals. It was possible to observe the decrease of burnings in gently undulating terrain, 99.9% per year, in these terrains the model allowed to make the forecast for the next 6 years, which considering cause / effect will be 599.99%, in contrast, in soft undulating and heavily undulating terrain resulted in an increase of 2.07% per year, this over the next 6 years there will be an increase of 12.45%, a result that is contrary to the established laws. The results of this research may provide indications for the legal compliance of Federal Law 9.433 / 1997 and other State laws, as well as contribute to the democratization of its management.

Keywords: Agriculture, Statistical modeling, Remote sensing.

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar.	18
Figura 2. Zoneamento Agroambiental do setor Sucroenergético.	25
Figura 3. Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGRHI.	33
Figura 4. Mapa de Localização da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Médio do Paranapanema 17 (UGRHI-17).	34
Figura 5. Principais unidades aquíferas aflorantes na UGRHI-17, Bauru e Serra Geral.	35
Figura 6. Susceptibilidade à erosão na UGRHI-17.	36
Figura 7. Mapa pedológico do estado de São Paulo.	37
Figura 8. Unidades hidrográficas principais da UGRHI-17.	37
Figura 9. Mapa de localização das indústrias sucroalcooleiras na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Médio do Paranapanema 17 (UGRHI-17).	39
Figura 10. Área de captura do pixel.	42
Figura 11. Perfil temporal do NDVI em cultura de cana-de-açúcar.	43
Figura 12. Etapas de processamento dos dados SRTM.	44
Figura 13. Fluxograma dos processos metodológicos.	47
Figura 14. Espacialização da cana-de-açúcar na UGRHI-17 no ano de 2000.	48
Figura 15. Espacialização da cana-de-açúcar na UGRHI-17 no ano de 2006.	49
Figura 16. Espacialização da cana-de-açúcar na UGRHI-17 no ano de 2012.	50
Figura 17. Espacialização da cana-de-açúcar na UGRHI-17 no ano de 2018.	51
Figura 18. Distribuição dos focos de queimada na UGRHI-17 em cultura de cana-de-açúcar no ano de 2000.	52
Figura 19. Distribuição dos focos de queimada na UGRHI-17 em cultura de cana-de-açúcar no ano de 2006.	55
Figura 20. Distribuição dos focos de queimada na UGRHI-17 em cultura de cana-de-açúcar no ano de 2012.	58

Figura 21. Distribuição dos focos de queimada na UGRHI-17 em cultura de cana-de-açúcar no ano de 2018.	60
Figura 22. Distribuição dos focos de queimada por declividade.	62
Figura 23. Intervalo de confiança de 95% para o intercept e slope aleatório.	63

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1. Ciclo da cana-de-açúcar em função do planejamento da época de plantio.	19
Tabela 2. Parâmetros legislativos para atividade da queima em área de cultivo de cana-de-açúcar mecanizável até o ano de 2021.	21
Tabela 3. Parâmetros legislativos para atividade da queima em área de cultivo de cana-de-açúcar não mecanizável até o ano de 2031.	21
Tabela 4. Diferenças entre as regiões hidrográficas brasileiras.	32
Tabela 5. Classe de relevo do sistema brasileiro de classificação de solos.	44
Tabela 6. Resumo dos valores de AIC obtidos para os modelos mistos lineares.	62
Tabela 7. Valores do intervalo de confiança de 95% referente M2 para o intercept e slope aleatório.	64

APÊNDICE

Apêndice 1. Modelo implementado no software RStudio	71
Apêndice 2. Registros de queimada em área de plantio de cana-de-açúcar, na região do município de Ourinhos – SP	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC - Critério de Informação de Akaike

ALESP - Assembleia Legislativa de São Paulo

APA - Áreas de Proteção Ambiental

BDQ - Banco de Dados Queimadas

CBH/MP - Comitê de Bacias Hidrográficas do Médio do Paranapanema

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CRH - Conselho de Recursos Hídricos

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica

EE - Estação Ecológica

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESRI - Environmental Systems Research Institute

ETM - Enhanced Thematic Mapper

FE - Floresta Estadual.

FO - Fortemente Ondulado

IAA - Instituto do Açúcar e do Alcool

ID - Identificador de Usuário

INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MDE - Modelos Digitais de Elevação

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MML - Modelo Linear Misto

NASA - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

NDVI - Índice de Vegetação de Diferença Normalizado

O - Ondulado

OLI - Operational Land Imager

ORPLANA - Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil

P - Plano

PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos

PROÁLCOOL - Programa Nacional do Alcool

RGB - Vermelho (red), Verde (Green) e o Azul (Blue)

SATVEG - Sistema de Análise Temporal da Vegetação

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

SIgHR - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

SMA - Secretaria de Meio Ambiente

SMCQ - Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental

SO - Suavemente Ondulado

SRTM - Missão Topográfica Radar Shuttle

TM - Thematic Mapper

TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil

UC - Unidade de Conservação

UCPI - Unidades de Conservação de Proteção Integral

UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar

USGS - United States Geological Survey

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1 Ciclo fenológico da cana-de-açúcar.....	18
3.2 Instrumentos reguladores da prática da queima em cana-de-açúcar.....	19
3.2 Sensoriamento remoto aplicado a análise ambiental.....	26
3.3 Modelagem estatística.....	28
3.4 Bacias hidrográficas.....	30
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1 Caracterização da área de estudo.....	34
4.2 Procedimentos metodológicos.....	40
4.3 Classificação supervisionada.....	41
4.4 Levantamento topográfico.....	43
4.5 Modelo linear misto.....	45
4. DISCUSSÕES E RESULTADOS.....	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
6. REFERÊNCIAS.....	66
APÊNDICE.....	71

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Desde a época colonial brasileira, a economia se caracterizava por diversos ciclos econômicos, como: pau-brasil, plantações de cana-de-açúcar, mineração de ouro, o café e a extração da borracha. Nos últimos 30 anos no âmbito da modernização, a agricultura e o espaço natural sofreram drásticas mudanças estruturais, ocasionando inúmeros problemas ambientais e sociais (KOHLHEPP, 2010).

A atividade agrícola, que sempre esteve presente na história do país e que ainda hoje é responsável por grande parte do desenvolvimento econômico, é a produção de cana-de-açúcar. Segundo dados do Projeto Canasat, o Centro-Sul do Brasil foi responsável pela produção 8,35 milhões de hectares de cana cultivada no ano-safra 2010/11, o que representa 87% da produção nacional, os 13% restantes (1,23 milhões de hectares) foram cultivados na região Nordeste.

Em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, é frequente a prática da queimada, tal atividade tem como objetivo facilitar o corte. Entre estudos já realizados sobre a queima da cana, o uso do fogo na agricultura é condenado há mais de séculos pelos manuais de conservação do solo, visto que, aumenta a temperatura e diminui a umidade natural do solo, levando à maior compactação, perda de porosidade, erosão, e consequentemente a infertilidade do solo (SOUZA, 2007).

Desde a década de 70 questões a respeito da proteção ambiental, enfatizando a atividade da queima vem sendo discutidas no estado de São Paulo. A proibição das queimadas nos canaviais é objeto de vários decretos e leis estaduais que regulamentam esta prática, os principais são: (1) Decreto Estadual n. 41.719 de 1997 que determina a proibição da queimada da cana e institui a redução gradativa desta prática, determinando sua extinção em oito anos, nas áreas definidas como mecanizáveis, e em 15 anos, nas áreas definidas como não mecanizáveis; (2) Lei Estadual nº 10.547 de 2000 que mantém a proibição das queimadas, altera o prazo de sua extinção para 20 anos e regulamenta de forma detalhada a prática das queimadas durante este período; (3) Lei Estadual nº 11.241 de 2002 que estabeleceu prazos para a erradicação da queima – 2021, nas áreas passíveis de mecanização integral da colheita, ou seja, onde podem operar as colhedoras automotrizes, e 2031, nas áreas em que tais máquinas não conseguem operar (áreas com declividade maior do que 12%).

A partir destas leis, os agricultores precisam notificar a prática da queima para a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA), responsável por monitorar as atividades e averiguar se as leis estão de fato, sendo cumpridas (ALESP, 2002).

Para praticar a queima os produtores devem solicitar uma requisição de queima, estabelecidas pela Lei n. 11.241 (2002) e pelo Protocolo Etanol Verde (2007). As áreas próximas a áreas urbanas, reservas ambientais, subestações de energia elétrica e domínio ferroviário e rodoviário já estão proibidas por lei a prática de queima da cana-de-açúcar (AGUIAR et al. 2010).

Diante da importância da atividade sucroalcooleira para a economia, aliadas às medidas de responsabilidade ambientais e de saúde pública, a fim de evitar o agravamento das condições ambientais desfavoráveis à qualidade de vida, foi assinado o protocolo, Etanol Mais Verde implementado no ano de 2007, em continuidade às ações desenvolvidas nos Protocolos Agroambientais, de cooperação governamental e do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. Para consolidar o protocolo foram definidas diretivas, dentre elas a eliminação da queima e adequação às Leis Federais e Estaduais. Além de, adotar o modelo internacional de mecanização, desde o plantio até a colheita, resultando na redução do trabalho manual e do custo na produção.

O aumento das usinas sucroalcooleiras no estado paulista, deve-se a necessidade de buscar alternativas de fonte de energia, além do petróleo, tendo como resultado o crescimento de investimentos por parte das indústrias deste setor, expandido as unidades produtivas e modernizando o processo produtivo no campo. A partir desse cenário, a região do Médio do Paranapanema merece notoriedade, visto que, é um dos principais polos produtores de cana-de-açúcar do estado.

Nesse contexto, escolheu-se como recorte espacial a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 17), para avaliar a distribuição espacial e temporal dos focos de queimadas em culturas de cana-de-açúcar no período de 2000 a 2018. Dessa forma os resultados desta pesquisa poderão fornecer dados para os cumprimentos legais da Lei Federal 9.433/1997 e demais leis Estadual, gerida pelo Comitê de Bacias Hidrográficas, bem como, contribuir na democratização de sua gestão.

Com a crescente produção de cana-de-açúcar, tanto pelo aumento da área cultivada quanto pelo aumento da produtividade, devido à alta demanda por etanol, a pesquisa auxiliar a geração de informações sobre o setor canavieiro, tais como o crescimento da área cultivada, é importante para as tomadas de decisões do setor, e para as políticas ambientais. É nesse sentido que a pesquisa procurou analisar as incidências das

queimadas ocorridas no período e sua relação com o contexto das políticas públicas ambientais vigentes. A justificativa se alicerça na possibilidade de aprendizagem de técnicas e de métodos de pesquisa, tais como a utilização de modelos lineares mistos, e a integração à cultura científica como a produção deste trabalho de conclusão de curso.

É importante ressaltar a influência que a cana-de-açúcar apresenta na área de estudo, visto que nas áreas rurais destacando-se a forte expansão das lavouras de cana-de-açúcar e das indústrias de açúcar e álcool, dentro do estado de São Paulo a UGRHI-17 é o segundo polo canavieiro.

A cana-de-açúcar sempre esteve presente na história, uma planta natural da Índia que desde a Idade Média possuía grande influência comercial, no Brasil a região que deu início ao cultivo foi o Nordeste. Sua produção sempre foi voltada para o mercado externo, ou seja, servia para atender os interesses dos grandes produtores rurais, marcada até os dias de hoje como uma produção de monocultura, pelo latifúndio e pela mão-de-obra escrava. Em sua história, esta enraizada problemas ambientais e sociais, onde sentimos o reflexo dessa estruturação histórica.

Portanto, buscamos nesse trabalho através das geotecnologias e modelos estatístico analisar a distribuição espacial e temporal dos focos de queimadas em cana-de-açúcar na UGRHI 17, podendo contribuir para o monitoramento da cultura e averiguar se as leis estão sendo cumpridas.

2. OBJETIVOS

O objetivo é avaliar a distribuição espacial e temporal dos focos de queimadas em culturas de cana-de-açúcar no período de 2000 a 2018 na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI 17). Para alcançar o objetivo geral foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar estimativa futura dos focos de queimada em cultura de cana-de-açúcar via modelos lineares mistos;
- Avaliar a relação da declividade com os focos de queimadas.

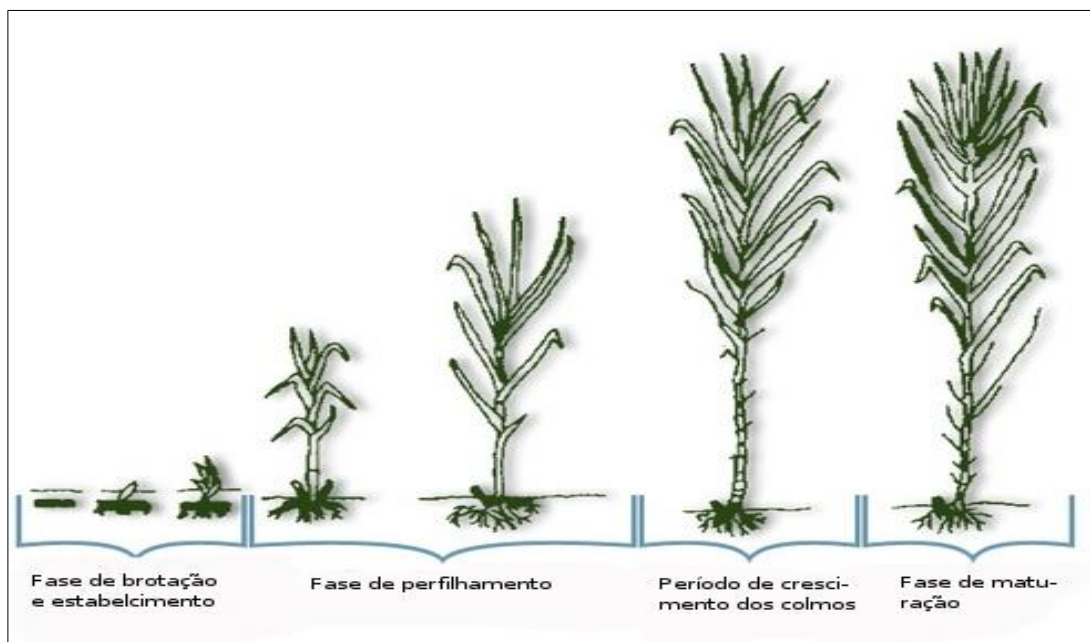
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Ciclo fenológico da cana-de-açúcar

Cana-de-açúcar pertence ao grupo das espécies de gramíneas perenes altas do gênero *Saccharum*, é uma planta fina de formato cilíndrico, folhas grandes e pode alcançar até seis metros de altura. São cultivadas em locais de clima tropical ou subtropical, a cultura pode se desenvolver até em solos sem muitos recursos, a cana produzida hoje é resultado de diversas melhorias genéticas feitas através do cruzamento de suas espécies (NOVA CANA, 2019).

A fenologia do ciclo da cultura cana-de-açúcar desenvolve ao longo de suas diferentes fases: germinação, emergência, crescimento e desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação, formação das sementes e maturação. Os estágios fenológicos da cana-de-açúcar são os seguintes: brotação e emergência, perfilhamento, crescimento dos colmos, maturação dos colmos. (Figura 1).

Figura 1. Fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar.



Fonte: EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2019.

A fase de brotamento rompe as folhas da gema o desenvolvimento do ocorre de 20 a 30 dias após o plantio. Esta fase depende da qualidade da muda, ambiente, época e manejo do plantio. Neste estágio ocorre, ainda, o enraizamento inicial, entre duas a três semanas, e o aparecimento inicial da graminha. A segunda fase do desenvolvimento é o perfilhamento,

com o nascimento do cosmos, no qual recebe a denominação de perfilho, este processo é regulado por hormônios e resulta no crescimento dos brotos, por meio desse processo, ocorre a formação da touceira da cana-de-açúcar e a população de colmos que será colhida. A terceira fase de desenvolvimento da cana é o crescimento do colmo, ganhando altura e iniciando o acúmulo de açúcar na base. O crescimento é estimulado por luz, umidade e calor. Durante essa fase, as folhas mais velhas começam a ficar amareladas e secam, as raízes apresentam 40 centímetros de profundidade e atingindo a três metros de altura. A última fase do ciclo da planta é maturação, que ocorre entre o período entre o outono e o inverno, com a presença de chuvas e temperaturas mais baixas, com maior atividade de maturação e menor atividade de crescimento, sendo que há intenso armazenamento de açúcar, sendo a época apta para a colheita. A tabela 1 mostra a variedade da cana, época de plantio e colheita (EMBRAPA, 2019).

Tabela 1. Ciclo da cana-de-açúcar em função do planejamento da época de plantio.

Tipo de cana	Duração dos ciclos
Cana de ano e meio	14 a 22 meses
Cana de ano	12 meses
Cana soca	12 meses
Cana de inverno	12 a 16 meses

Fonte: EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2019.

Para garantir rentabilidade do setor sucroalcooleiro, o melhoramento genético tem sido um dos principais fatores que contribuir para o aumento da produtividade, permitindo desenvolver variedades que se adaptem em adversas condições climáticas, pedológicas, de pragas e doenças.

A produtividade média dos canaviais aumentou de 43 toneladas por hectare, em 1961, para 74 toneladas por hectare, em 2005, e grande parte desse aumento pode ser atribuída ao uso de variedades geneticamente melhoradas. (EMBRAPA, 2019).

3.2 Instrumentos reguladores da prática da queima em cana-de-açúcar

Apoiada no processo de luta contra queimadas em cana-de-açúcar no estado de São Paulo faremos, nesta subdivisão uma breve contextualização das alianças e instrumentos que configuram as ações políticas ligada a atividade.

A queima da cana foi adotada durante um período de intensa expansão produtiva da agricultura canavieira no estado, no qual os empresários do setor buscavam alternativas para aumentar a produtividade sem aumentar o custo, com tal prática foi possível diminuir o número de trabalhadores contratados por hectare no período da safra para colheita, ao mesmo tempo em que puderam diminuir o valor pago por cada hectare cortado.

No estado de São Paulo, os grandes proprietários de terra canavieira foram formados durante o século XVII, sendo a cana a primeira cultura agrícola explorada comercialmente no estado. Em meados do século XIX, a atividade perdeu espaço para o café, voltando a predominar no fim do mesmo século. A base do processo de ocupação territorial no estado foi à monopolização de terras produtivas para a formação de grandes latifúndios de monoculturas.

Durante esse processo de expansão, o estado desenvolveu mecanismos econômicos e políticos na administração de conflitos surgidos, em benefício dos empresários do setor, tal intervenção, criou na década de 30, o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), pelo qual o Executivo federal passou a administrar diretamente o preço do açúcar no mercado interno e externo. No ano de 1970, foi elaborado o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), uma organização do desenvolvimento de combustível, no qual projetos agros canavieiros privados eram financiados pelos regimentos públicos.

Isso posto, a construção histórica do empresariado mostra a proximidade do setor privado com os tomadores de decisão, ou seja, mercado protegido pela ação estatal, de estímulo a melhorias técnicas e de lucratividade garantida pela fixação antecipada de preços e vendas. Durante a década de 1960, a queima das plantações antes da colheita, em benefício próprio e em prejuízo de todos os outros os outros grupos sociais, em especial aos trabalhadores rurais e dos moradores que residem nas proximidades das plantações.

Adotar a queima da cana foi uma solução reducionista, na qual se desconsiderou os problemas que esta prática traria ao meio ambiente e ao ser humanos, em prol unicamente de se aumentar a produtividade do trabalho na cultura, e desta forma aumentar o lucro dos produtores e empresários do setor, o que é característico do capitalismo. (ALVES et al, 2003).

No cenário dos últimos vinte anos, é inegável o progresso do setor agrícola brasileiro, exigindo aumento do conhecimento sobre as ações do homem com o meio e sobre as consequências sociais de ações políticas e econômicas no contexto de mundo globalizado.

No estado de São Paulo foi estabelecida legislação proibindo gradualmente a queima, com cronograma que considera as tecnologias disponíveis e o desemprego esperado, incluindo a proibição imediata em áreas de risco.

O principal instrumento regulamentador refere-se à Lei Estadual n. 11.241, no qual estabelece a redução e extinção da queima da palha na pré-colheita da cana na maior parte da área cultivada. As Tabelas 2 e 3 mostram os parâmetros que os produtores devem seguir conforme a lei determina.

Tabela 2. Parâmetros legislativos para atividade da queima em área de cultivo de cana-de-açúcar mecanizável até o ano de 2021.

Anos	Área mecanizável onde não pode haver a queima	Percentagem de eliminação da queima
2002	20% da área cortada	20% da queima eliminada
2006	30% da área cortada	30% da queima eliminada
2011	50% da área cortada	50% da queima eliminada
2016	80% da área cortada	80% da queima eliminada
2021	100% da área cortada	100% da queima eliminada

Fonte: Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo (ALESP, 2019).

Tabela 3. Parâmetros legislativos para atividade da queima em área de cultivo de cana-de-açúcar não mecanizável até o ano de 2031.

Anos	Área não mecanizável, com declividade superior a 12% e/ou menor de 150 ha onde não se pode efetuar a queima	Percentagem de eliminação da queima
2011	20% da área cortada	20% da queima eliminada
2016	30% da área cortada	30% da queima eliminada
2021	50% da área cortada	50% da queima eliminada
2026	80% da área cortada	80% da queima eliminada
2031	100% da área cortada	100% da queima eliminada

Fonte: Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo (ALESP, 2019).

Aplica-se este preceito as áreas rurais, independente de estar vinculada a unidade agroindustrial. As áreas cultivadas poderão atear fogo, desde que respeitado o percentual estabelecido.

Não poderá haver a queima da palha da cana-de-açúcar em área, com menos de:

I - 1 km do perímetro da área urbana e de ocupação tradicionais indígenas;

II - 100 metros do limite das áreas de subestação de energia elétrica;

III - 50 metros do limite de estação ecológica, de reserva biológica e demais unidades de conservação estabelecida em atos do poder federal, estadual ou municipal e de refúgio da vida silvestre, conforme a Lei federal n. 9.985, de 18 de julho de 2000;

I - 25 metros do limite das áreas das estações de telecomunicações;

II - 15 metros ao longo dos limites das linhas de transmissão e de distribuição de energia elétrica;

III - 15 metros ao longo do limite das áreas de ferrovias e rodovias federais e estaduais.

A partir dos limites ordenados anteriormente, deverão ser preparados uma área no mínimo de 3 metros de distância de terreno limpo e não cultivado, distância esta que deve ser aumentada de acordo com as condições climáticas, ambientais bem como a topografia do terreno.

O autor da queima deverá:

I - Realizar a queima preferencialmente no período noturno, evitando temperaturas mais elevadas e respeitando as condições do vento;

II - Dar ciência formal da atividade, indicando a data, hora de início e local;

III - Dar ciência formal, com antecedência mínima de 96 horas, às unidades locais da autoridade do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN);

IV - Sinalizar adequadamente as estradas;

V – Assegurar equipes para controle do fogo;

VI – Ter acompanhamento do fogo, até sua extinção.

O requerimento de autorização, para cada imóvel, independentemente de estar vinculado à agroindústria, deve ser instruído nos termos do regulamento da autoridade ambiental responsável, no qual, determinará a suspensão da queima, quando:

I – Se for comprovado risco à vida humana, danos ambientais ou condições meteorológicas desfavoráveis;

II – Quando a fumaça colocar em risco as operações aeronáuticas, rodoviárias e de outros meios de transporte.

Os requerimentos para a queima devem ser protocolados até o dia 2 de abril de cada ano, na unidade do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais - DEPRN que atender a respectiva região.

A discussão mais recente, sobre a prática da queima, vem sendo discutida pela resolução SIMA nº 15, de 13 de Março de 2019, em que, dispõe sobre os procedimentos específicos da suspensão da queima da palha da cana-de-açúcar, já posto na Lei Estadual nº 11.241, de 19 de Setembro de 2002, e normatizada pelo Decreto Estadual nº 47.700, de 11 de março de 2003.

A resolução consta 6 artigos, sendo eles:

Artigo 1º - No período de 01 de junho a 30 de novembro de 2019, fica proibida a queima da palha da cana-de-açúcar no período das 06:00 (seis) horas às 20:00 (vinte) horas.

Artigo 2º - Quando necessário, a suspensão da queima da palha da cana-de-açúcar nos demais horários será determinada por região, considerando o teor médio da umidade relativa do ar, medido das 12:00 (doze) horas às 17:00 (dezessete) horas, nos postos oficiais determinados pela Secretaria de Estado de Infraestrutura e Meio Ambiente.

Artigo 3º - Sempre que o teor de umidade relativa do ar for inferior a 20% (vinte por cento), a queima da palha da cana-de-açúcar será suspensa em qualquer período do dia, ficando sem validade os comunicados de queima previamente encaminhados. Parágrafo único - A suspensão será declarada às 18:00 (dezoito) horas do dia em que for constatado o teor de umidade do ar menor que 20% (vinte por cento), e valerá a partir das 06:00 (seis) horas do dia seguinte ao da declaração de suspensão.

Artigo 5º - Após 30 de novembro, sempre que o teor de umidade relativa do ar for maior ou igual a 20% (vinte por cento) e menor que 30% (trinta por cento) por um período de 2 (dois) dias consecutivos, a queima da palha da cana-de-açúcar será suspensa entre as 06:00 (seis) e 20:00 (vinte) horas.(SÃO PAULO, 2019).

Além dos decretos, leis e fundamentos legislativos, temos que levar em consideração a modificação que o espaço vem passando, por conseguinte as regulamentações modificaram. No contexto de mundo globalizado é imprescindível a adesão da mecanização nos moldes de produção, na colheita da cana-de-açúcar e demais culturas do campo não poderiam ser diferente, tal mecanismo trouxe consigo novos métodos de manufatura, ocasionando na diminuição das queimadas nos canaviais.

Para direcionar ações para a restauração das áreas ciliares no estado de São Paulo, foi definido o Protocolo Etanol Mais Verde assinado em junho de 2017 entre o Governo do estado de São Paulo, representado pela Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria da Agricultura e Abastecimento e pela Companhia Ambiental Paulista (CETESB), juntamente com o setor sucroenergético, representado pela União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo (UNICA) e pela Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA) (SÃO PAULO, 2019).

Em continuidade às ações desenvolvidas nos Protocolos Agroambientais, foram definidas 10 diretivas, são elas:

- I - Eliminação da Queima;
- II - Adequação à Lei Federal nº 12.651/2012;
- III - Proteção e Restauração das Áreas Ciliares;
- IV - Conservação do Solo;
- V - Conservação e Reuso da Água;
- VI - Aproveitamento dos Subprodutos da Cana-de-Açúcar;
- VII - Responsabilidade Socioambiental e Certificações;
- VIII - Boas Práticas no Uso de Agrotóxicos;
- IX - Medidas de Proteção à Fauna;
- X - Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais.

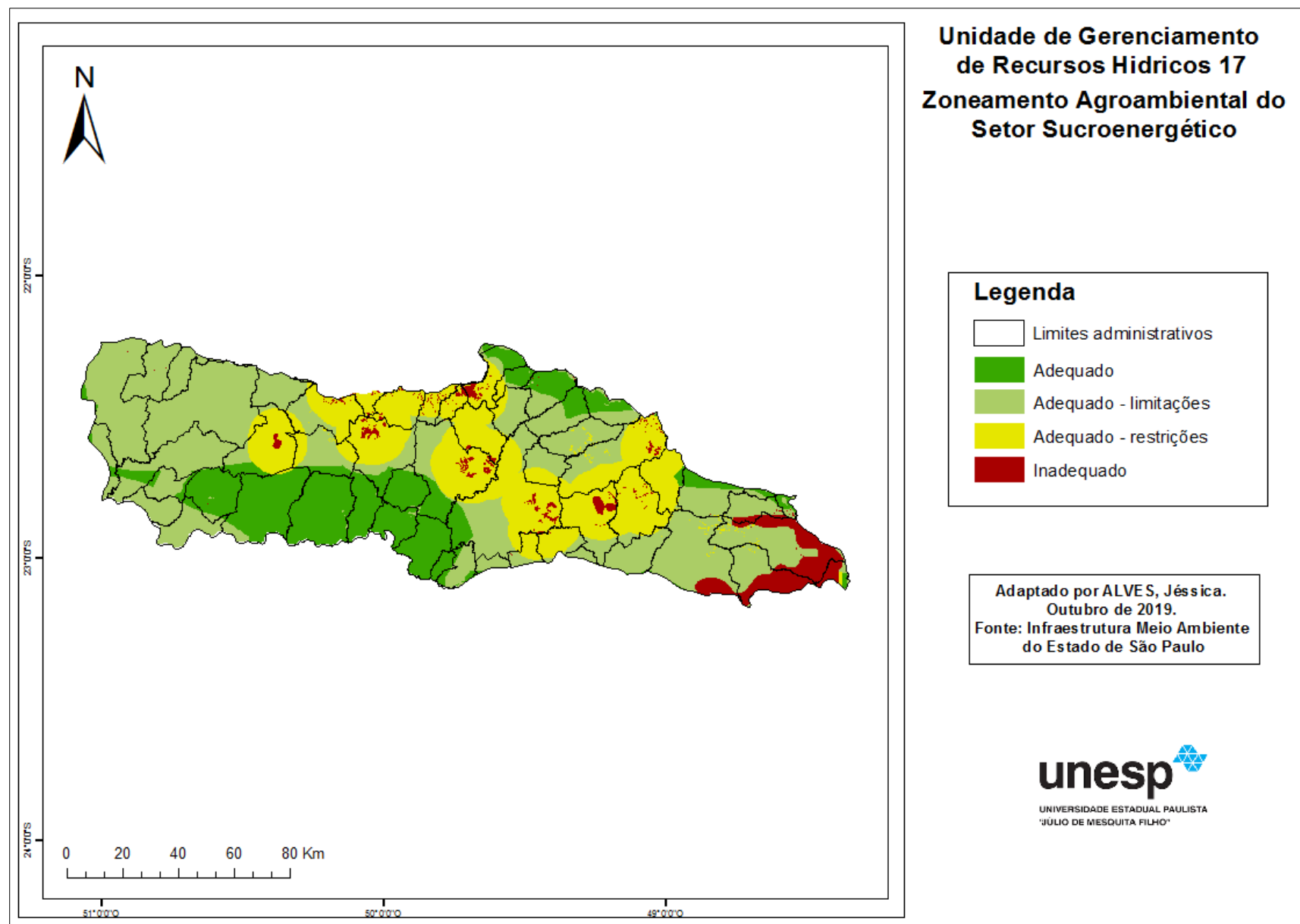
O objetivo principal do Projeto Ambiental Etanol Verde é estabelecer uma parceria com o setor sucroenergético paulista, possibilitando o monitoramento e ações que serão tomadas, adotados pelos produtores de açúcar, etanol e bioenergia. Desta forma, é possível controlar a produção, colheita, distribuição e suas consequências ambientais, econômicas e sociais.

A vista disso são ações do projeto articular e subsidiar o órgão licenciador nos procedimentos de licenciamento e na padronização de dados enviados nos estudos ambientais, e contribuir para órgãos ambientais e tomadores de decisão, bem como fornecer informações sobre cobertura florestal e áreas de recuperação dentro do Estado (SÃO PAULO, 2019).

No ano de 2008, o Zoneamento Agroambiental da Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo adjunto com as Secretarias do Meio Ambiente e da Agricultura e Abastecimento do Estado, estabeleceu um zoneamento, com o princípio de disciplinar e planejar a expansão e ocupação do solo canavieiro, além de subsidiar a elaboração de políticas públicas relacionada ao setor.

A Figura 2 mostra a classificação da UGRHI - 17 em quatro níveis de aptidão agroambiental, indicando áreas adequadas e inadequadas para o cultivo de cana.

Figura 2. Zoneamento Agroambiental do setor Sucroenergético.



Para categorização da capacidade de cada área, foram utilizados os parâmetros e base de dados de acordo com, as condições climáticas, qualidade do ar, topografia, solo, disponibilidade e qualidade de água, áreas de proteção ambiental e unidades de conservação. (SÃO PAULO, 2019).

I - Áreas adequadas: correspondem ao território com aptidão climática e pedológica (edafoclimática), ou seja, apto para cultivo da cana-de-açúcar;

II - Áreas adequadas com limitação ambiental: Há Áreas de Proteção Ambiental (APA) e bacias hidrográficas consideradas críticas. Os fatores edafoclimáticas estão adequados.

III - Áreas adequadas com restrições ambientais: Aptidão edafoclimática favorável para a cultura da cana-de-açúcar. Porém há áreas de alta prioridade, como zonas de amortecimento e alta vulnerabilidade de águas subterrâneas.

IV - Áreas inadequadas: Há restrições edafoclimáticas, apresenta declividade superior a 20%, engloba regiões de APAs e Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) Estaduais e Federais, considerados de extrema importância biológica.

3.2 Sensoriamento remoto aplicado à análise ambiental

A coleta de dados de uma área, a edição de mapas digitais complexos e o cruzamento de informações espaciais se tornaram tarefas fáceis e rápidas de serem realizadas, com a ciência geográfica. Hoje o sensoriamento remoto são ferramentas eficaz para a análise espacial em suas diferentes e variadas discussões.

As pesquisas discutidas em diversas áreas da ciência, seja no campo das exatas, das biológicas, ou das humanas, vêm aprimorando e buscando soluções mais imediatas e com maior exatidão, através de métodos de interpretação e análise de dados, e aplicação de conceitos em diversas áreas do sensoriamento remoto, como os recursos hídricos, a agricultura, a geologia, a pedologia e no planejamento urbano.

O conjunto de tecnologias destinada a coleta e tratamento de informações espaciais, assim com o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação. Em linhas gerais o termo geoprocessamento pode ser aplicado a profissionais que trabalham com processamento digital de imagens, cartografia digital e sistemas de informação geográfica. Embora estas atividades sejam diferentes estão intimamente interrelacionadas, usando na maioria das vezes as mesmas características de hardware, porém software diferentes (BRITO, 1996, p. 7).

Desta maneira podemos considerar o sensoriamento remoto como um conjunto de tecnologias, métodos e processos para o processamento digital de dados e informações geográficas.

Nesta esfera o sensoriamento remoto contribui muito para a Geografia, possibilitando elaborar diferentes tipos de materiais cartográficos, com múltiplas perspectivas. Pelo seu caráter multidisciplinar em que o objeto de estudo é o espaço, a Geografia intensifica suas pesquisas, adotando em grande escala o uso de imagens, fez com que, o sensoriamento remoto se tornasse a tecnologia mais empregada por seus profissionais na leitura espacial.

A ciência do sensoriamento remoto pode fornecer nova e fundamental informação científica. Sob condições controladas, o sensoriamento remoto pode fornecer informação biofísica básica, incluindo localização x e y; elevação ou profundidade em z; biomassa; temperatura; e teor de água. Nesse sentido a ciência do sensoriamento remoto assemelha-se ao levantamento fornecendo informação básica que outras ciências podem usar ao conduzirem investigações científicas. Porém ao contrário do levantamento, os dados de sensoriamento remoto podem ser obtidos sistematicamente para áreas geográficas muito grandes ao invés de observações apenas pontuais (JENSEN, 2009, p. 8).

Há uma grande variedade de satélite utilizados atualmente, em diversas funções, como militares, de telecomunicação, navegação, científico, meteorológico, de sensoriamento remoto, dentre outros (ROSA, 2005).

Com o surgimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), mapas temáticos, produtos de sensoriamento remoto, organização de dados e manipulação desses no mesmo ambiente, facilitou e possibilitou ao pesquisador o fornecimento de dados em diversas atividades, como controle do uso e ocupação do solo, identificação da vegetação, monitoramento ambiental, controle de emissões de gases poluentes emitidos mediante as queimadas e combustão da biomassa, dentre outros.

As práticas para monitoramento de queimadas empregam técnicas de sensoriamento remoto em plataformas orbitais, incluindo os satélites de alta e média resolução espacial de 0,61m a 30m e de baixa frequência temporal de 16 a 21 dias, tais como QuickBird, IKONOS, SPOT, CBERS e Landsat, que permitem detectar as fumaças e as áreas de queimadas ativas e recentes, além de proporcionar qualidade e rapidez na aquisição de dados (HORNGLIU, 2007).

O programa de satélite Landsat surgiu no final da década de 60, como parte do Programa de Levantamento de Recursos Terrestres da NASA, foi o primeiro satélite não

tripulado projetado para a aquisição de dados sobre a superfície da Terra (SILVA, et al. 2012).

A identificação do fogo via satélite é composta por diversos fatores, os principais são: o ângulo de visada dos sensores, iluminação, propriedades da superfície e subsuperfície terrestre, como a cobertura vegetal, relevo, umidade e reflectância dos diferentes objetos.

De acordo com Vasconcelos, et al. (2004) a classificação da imagem em regiões se dá com base nas propriedades radiométricas dos pixels, ressalta também que a padronização das classes temáticas está relacionada a resolução das imagens espectrais.

O uso de imagens de satélites tem-se baseado em técnicas de interpretação visual, em particular para a execução de projetos de mapeamento de grandes áreas (SKOLE et al., 1993).

Os modelos de relevo estão se tornando conhecidos como novo paradigma para o levantamento de solos, bem como para o entendimento dos parâmetros do uso e ocupação solo e já fazem parte das tendências dos levantamentos (HUDSON, 1992).

As diferentes variáveis de obtenção no Sistema de Informações Geográfica (SIG) dão suporte à classificação da paisagem. Como exemplo da obtenção digital de informações do terreno a identificação de unidades de relevo vem sendo desenvolvida em ambiente computacional, amenizando a demanda de trabalho manual e sua subjetividade (GILES e FRANKLIN, 1998).

3.3 Modelagem estatística

Segundo SALSBURG (2009), a estatística transformou a ciência por meio do fornecimento de modelos úteis que aprimoraram o processo de pesquisa na direção de melhores parâmetros de investigação, permitindo orientar a tomada de decisões nas políticas.

Para STIGLER (1986), as ferramentas estatísticas, compõem uma mistura de ciência, de tecnologia e lógica para a solução e investigação de problemas em várias áreas do conhecimento.

Ferreira (2003) argumenta ainda:

Para que os gestores públicos possam subsidiar de forma eficiente a elaboração, o acompanhamento e a avaliação das ações governamentais, as informações estatísticas, além de cobrir amplo escopo temático e territorial, necessitam ser atualizadas permanentemente. Isso significa que não bastam informações

censitárias, atualizadas a cada dez anos, nem as originárias de pesquisas amostrais, mais frequentes, porém sem a possibilidade de desagregações espaciais específicas. Assim, as instituições públicas federais, estaduais, municipais e mesmo organizações privadas, não-governamentais e acadêmicas produtoras de informações têm de valer-se ou de levantamentos primários específicos às necessidades de seus usuários ou da utilização de registros administrativos que, originalmente, foram construídos para outros fins. Isso implica maior quantidade de esforços dos gestores públicos visando à coleta, organização, avaliação, validação e disponibilização de dados de diferentes origens, ampliando cada vez mais a importância dos métodos e técnicas estatísticas para a realização de tais atividades.

Atualmente, os dados estatísticos são obtidos, classificados e armazenados e disponibilizados por diversos sistemas de informações acessíveis a comunidade científica, pesquisadores, gestores, bem como a sociedade civil, que por sua vez, utiliza para o desenvolvimento de suas atividades. Concerne de uma ciência multidisciplinar, adotada nos diferentes ramos do conhecimento, como a agronomia, direito, economia, engenharias, geografia dentre tantas outras, visando à otimização de recursos econômicos e de processos de produção, bem como o aumento da qualidade e produtividade.

O uso de pacotes estatísticos para análise de dados é de grande importância no que se refere à análise e interpretação de resultados. Dentre os softwares de domínio público, encontra-se o Ambiente R, importante ferramenta para manipulação de dados, por apresentar teste paramétrico e não paramétricos modelagem linear e não linear, análise de séries temporais, análise de sobrevivência, simulação e estatística espacial, além da facilidade na elaboração de diversos tipos de Gráfico, dentre outros.

O R é uma linguagem orientada a objetos, criada em 1996 por Ross Ihaka e Robert Gentleman, que, aliada a um ambiente integrado, que permite a execução de tarefas comuns em estatística. Além dos procedimentos estatísticos, o R permite operações matemáticas simples, manipulação de vetores e matrizes e confecção de Gráficos.

Modelos lineares mistos (LMMs) é alusão curta aos modelos de efeito misto, nos quais os termos de efeito fixo e aleatório, juntamente com elementos de variância e covariância, são considerados. Esses modelos podem ser expressos em formas diferentes, mas equivalentes, apropriadas para representar dados agrupados, ou seja, quando os são coletados ao longo do tempo ou quando os dados consistem em aglomerados (clusters) de unidades estatísticas relacionadas.

A fim de modelar a atividade queima ao longo do tempo, o modelo é apresentado como:

$$y_i = X_i \beta + Z_i b_i + \varepsilon_i;$$
$$b_i \sim N_q(0, \Psi)$$

$$\epsilon_i \sim N_{ni} (0, \sigma^2 I_{ni}) \quad (1)$$

onde: N_q e N_{ni} são distribuições normativas multivariadas da dimensão q e ni respectivamente e y_i é o $ni \times 1$ vetor de respostas representando medições de áreas na categoria de relevo. X_i é a matriz do modelo $n \times p$ de regressores de efeito fixo. O β é o $p \times 1$, referentes ao vetor dos coeficientes de efeitos fixo, que são considerados invariantes para todas as classes de relevo. Z_i é o $ni \times q$ matriz de regressão para os efeitos aleatórios das observações nas categorias de relevo. b_i é o $q \times 1$ vetor de coeficientes de efeitos aleatórios para as classes de declividade tipo i , ϵ_i é o $ni \times 1$ vetor de erros. Ψ , é o $q \times q$ matriz de covariância para o efeito aleatório e I_{ni} corresponde a matriz de identidade da dimensão ni . (GALVANIN, et al. 2018).

Burnham e Anderson (2004) enfatizam a importância de selecionar modelos baseando-se em princípios científicos. Dentre as diversas metodologias utilizadas para este fim, neste trabalho realizamos uma análise dos critérios de informação de Akaike (AIC). O Critério de Informação de Akaike (AIC) é regularmente utilizado para contrapor vários modelos adequados ao mesmo banco de dados.

Akaike (1974) mostrou que o viés é dado assintoticamente da linha que, numa curva plana, expressa uma distância infinita em relação ao ponto p , em que p é o número de parâmetros a serem estimados no modelo, estabelecendo seu critério como:

$$AIC = -2 \log L(\theta) + 2(p) \quad (2)$$

onde: definido por $AIC = (-2) \log L$ (probabilidade máxima) e $2(p)$ (número de parâmetros ajustados de forma independente dentro do modelo).

O critério suporta a escolha do modelo que minimiza o AIC, no sistema R, análise de função variância (ANOVA) foi usado como LRT para comparar os modelos, fornecendo relações significantes dos efeitos fixos e aleatórios. Desta maneira, se os dois modelos em comparação não foram alinhados, AIC foi escolhido sobre o likelihood ratio test (LRT), para testar vários parâmetros ao mesmo tempo.

3.4 Bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de

conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem em único ponto, o exutório (TUCCI, 1997).

O território brasileiro é formado em primeiro nível em macrorregiões hidrográficas, denominadas de Regiões Hidrográficas Brasileiras. A resolução n. 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de outubro de 2003, estabelece a divisão hidrográfica brasileira entre 12 regiões. A justificativa desta distribuição refere-se às diferenças encontradas dentro do nosso território, tanto aspectos ambientais, geomorfológicos, pedológicos e climáticos, como também diferenças de caráter econômico, social e cultura.

Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema. O que ali acontece é efeito das formas de ocupação do território refletirá nos recursos hídricos.

A bacia hidrográfica compreende um território drenado por um rio principal, seus afluentes e subafluentes permanentes ou intermitentes. Estão associadas à noção de sistema, nascentes, divisores de águas, cursos de águas hierarquizados e foz. Todos os eventos ocorridos em uma bacia hidrográfica, sendo antrópica ou natural, interferem na dinâmica desse sistema, na quantia dos cursos d'água e na sua qualidade (SANTOS, 2004).

Os Estados brasileiros, no domínio dos seus territórios, implementaram suas divisões, para fins de planejamento e gestão utilizando diferentes critérios mais adequados conforme suas particularidades, ou seja, pensando nas necessidades de gestão dos recursos hídricos com a configuração física bem como as características locais. A Tabela 4 mostra algumas dessas diferenças.

Tabela 4. Diferenças entre as regiões hidrográficas brasileiras.

Regiões Hidrográficas	Vazão Média (m³/s)	Densidade Demográfica 1.000 hab/km²	Taxa de Urbanização (%)
Amazônica	131.947	2	67
Tocantins–Araguaia	13.624	8	74
Atlântico Nordeste Ocidental	2.683	19	57
Parnaíba	753	11	62
Atlântico Nordeste Oriental	779	75	76
Oriental São Francisco	2.850	20	74
Atlântico Leste	1.492	36	70
Atlântico Sudeste	3.179	118	90
Atlântico Sul	4.174	62	85
Uruguai	4.121	22	68
Paraná	11.452	62	91
Paraguai	2.368	5	85

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019).

Em 1991, o estado de São Paulo foi dividido em 22 unidades de gestão hidrográficas. O Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, referida na Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994 do estado de São Paulo, decreta e promulga os seguintes fundamentos:

Capítulo II. Divisão Hidrográfica do Estado de São Paulo.

Art. 7º - A divisão e subdivisão de que tratam os artigos anteriores, orientarão:

I - a eleição de representantes dos Municípios para integrar o Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH;

II - a criação de Comitês de Bacias Hidrográficas ;

III - o incentivo à organização e funcionamento de associações de usuários de recursos hídricos, em particular de associações de irrigantes;

IV - a articulação com a União, com os Estados vizinhos e com os Municípios para o gerenciamento de recursos hídricos de interesse comum;

V - o incentivo a formação de consórcios intermunicipais nas bacias ou regiões hidrográficas, em conformidade com o artigo 31, da Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991;

VI - a delegação aos Municípios para a gestão de águas de interesse exclusivamente local, de acordo com o artigo 32 da Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991;

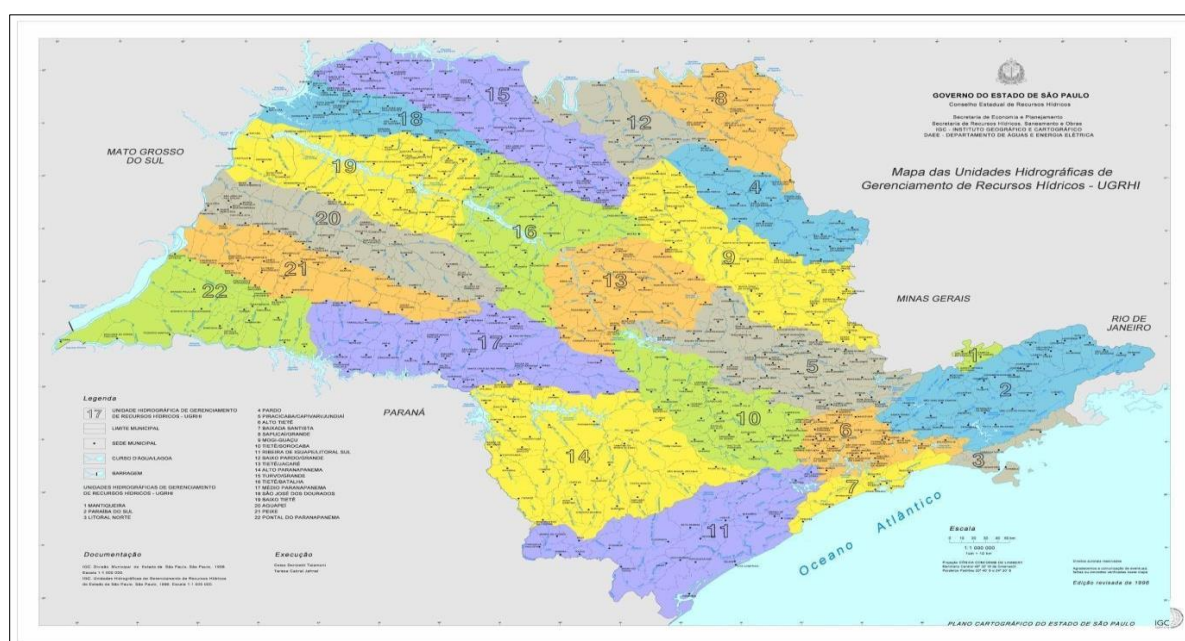
VII - a proposição de programas de duração continuada componentes do PERH;

VIII - a elaboração do Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo e os Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas;

IX - a instituição de áreas de proteção de mananciais e de proteção ambiental, onde haja ênfase para proteção do recurso hídrico.

A divisão do Estado é exposta na figura abaixo (Figura 3).

Figura 3. Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGHRI.



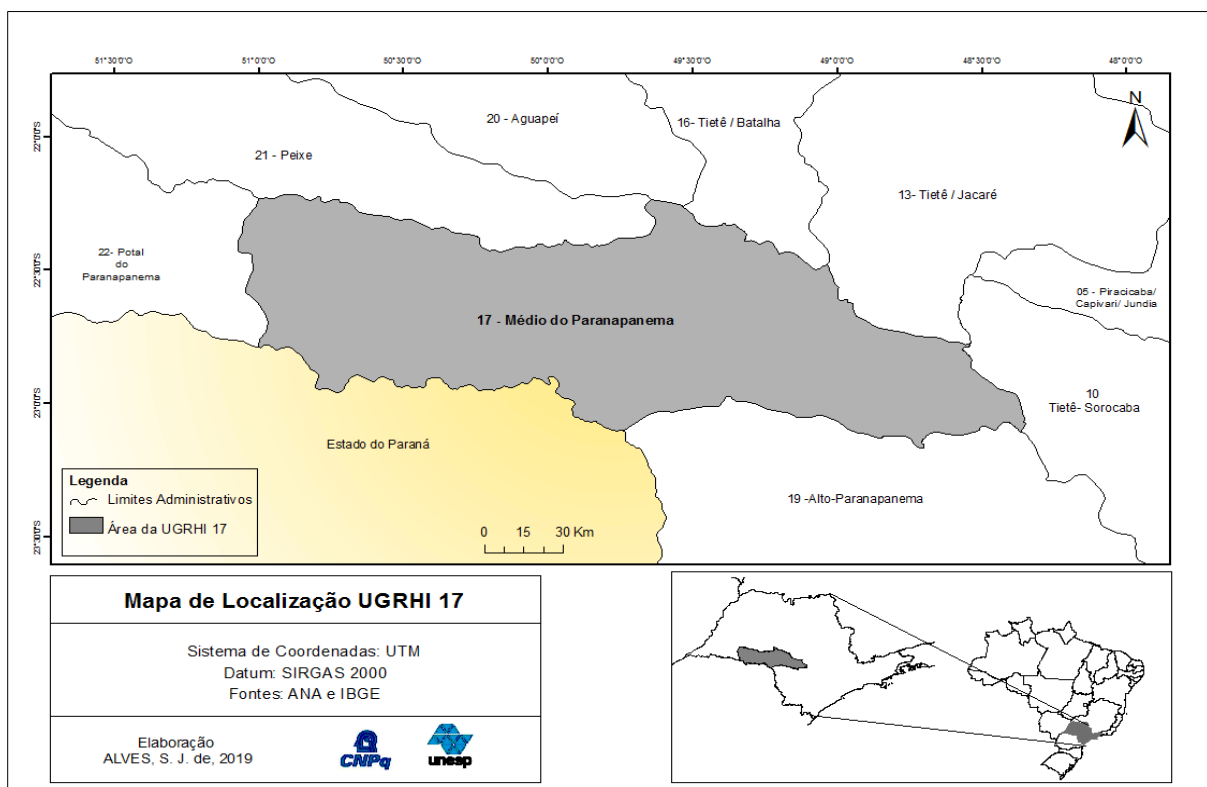
Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE, 2019).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema possui uma área de drenagem de 16.749 km², com uma população de 660.475 habitantes (Figura 1). A Divisão Hidrográfica do Estado de São Paulo, estabelecida pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (Lei Estadual 9.034/94), definiu que integram a UGRHI-17 os municípios cujas sedes estejam inseridas em sua área de abrangência, correspondendo estes a 42 municípios, sendo que, 13 municípios possuem parte de seu território inserido na unidade, porém, com suas sedes fora da área da UGRHI-17, denominados como municípios com área contida (SÃO PAULO, 2019). A figura 4 representa o mapa de localização da bacia, onde está localizada no centro-oeste do estado de São Paulo, entre as coordenadas 23° 30' 00'' e 22° 0' 0'' ao sul e 48° 30' 30'' e 51° 0' 0'' ao oeste, na divisa com o estado do Paraná.

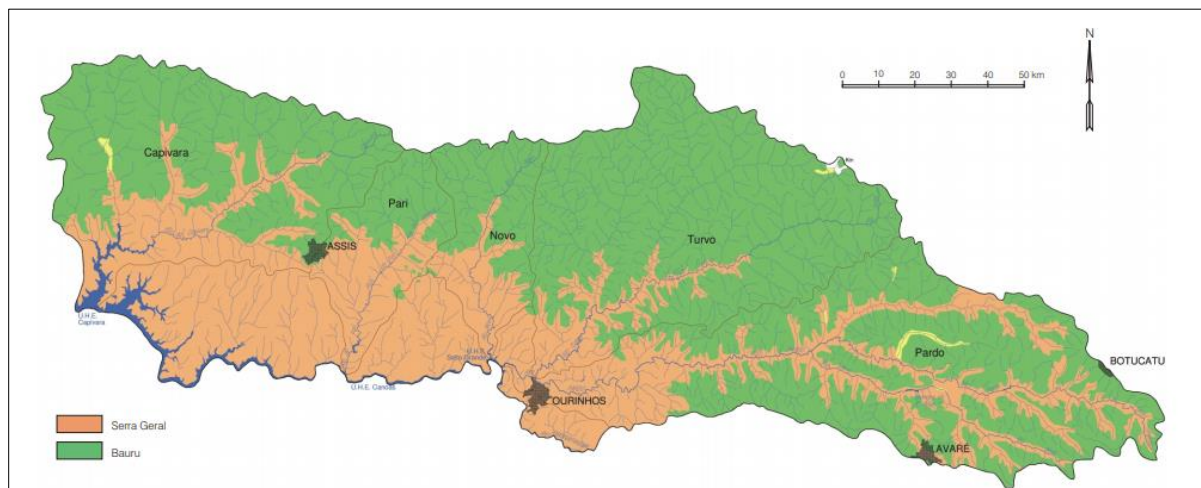
Figura 4. Mapa de Localização da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Médio do Paranapanema 17 (UGRHI-17).



A área apresenta 1.354 km² de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 8% da área da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 17). As categorias de maior ocorrência são Floresta Estacional Semidecidual e Savana. Possui sete Unidades de Conservação (UC), sendo a Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí-Botucatu-Tejupá, Estação Ecológica (EE) dos Caetetus, EE de Assis, EE de Santa Bárbara, Floresta Estadual (FE) de Avaré, FE de Águas de Santa Bárbara e FE de Assis (SÃO PAULO, 2019).

A geologia e unidades aquíferas da UGRHI-17 apresenta diversos tipos de solos e as unidades geológicas aflorantes nesse trecho são formadas por rochas sedimentares e ígneas da bacia do Paraná, e depósitos sedimentares recentes, de idade cenozóica. Pouco mais de 60% da dimensão diz respeito aos arenitos do Grupo Bauru e quase 40% às rochas ígneas basálticas da Formação Serra Geral. Estas duas unidades constituem os dois principais aquíferos acessíveis da região: o Bauru e o Serra Geral (Figura 5) (SÃO PAULO, 2019).

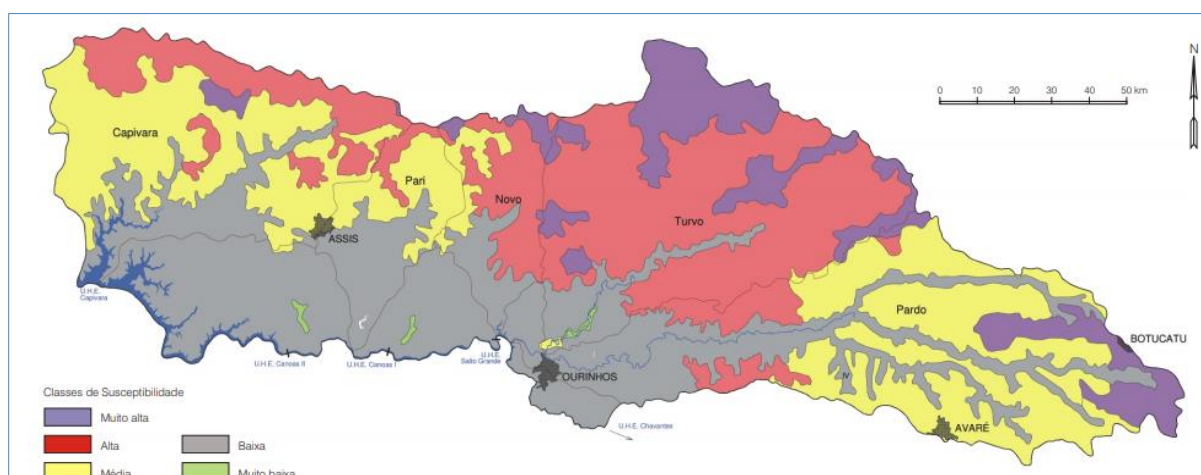
Figura 5. Principais unidades aquíferas aflorantes na UGRHI-17, Bauru e Serra Geral.



Fonte: Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2019).

Por meio do estudo efetuado na bacia do Paranapanema, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em 1987, foram levantados os processos erosivos e aspectos geomorfológicos e pedológicos, identificando cinco categorias de susceptibilidade ao desenvolvimento de erosão. A situação na UGRHI-17 é exposta na Figura 6.

Figura 6. Susceptibilidade à erosão na UGRHI-17.



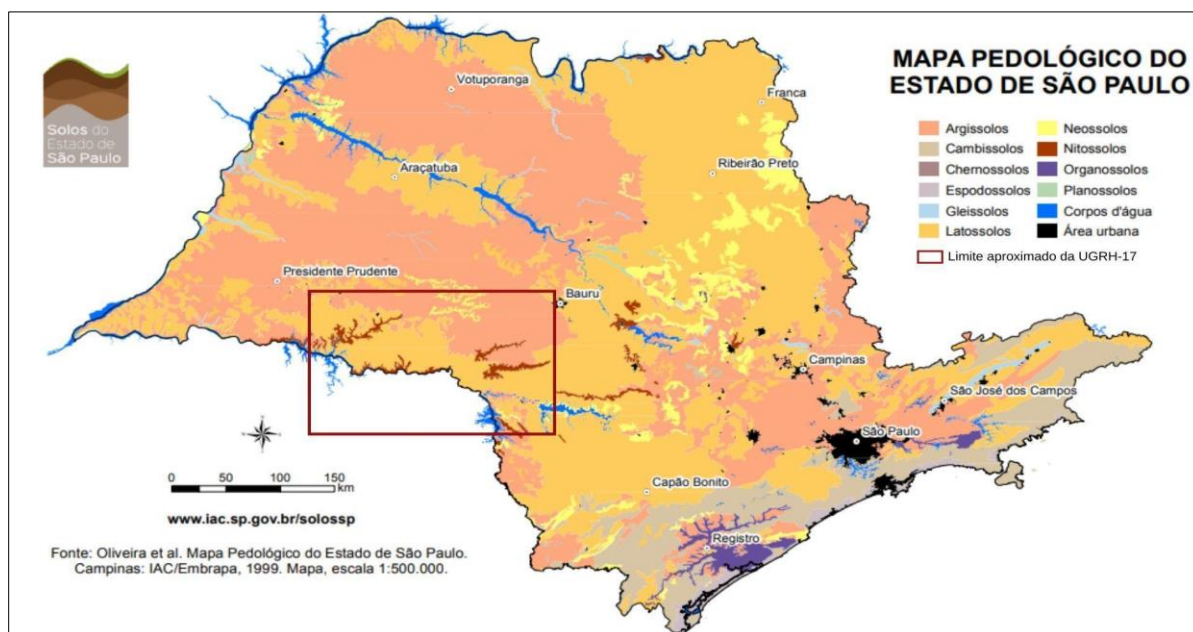
Fonte: Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2019).

Foram identificados 993 incidentes de erosão, sendo 975 em espaços rurais e 18 urbanos, e 274 assoreamentos de corpos da água (SIGRH, 2019). Há maior concentração em áreas rurais, está relacionado com o plantio em terreno muito inclinado, queimadas, monoculturas, pastagem em excesso e falta de cobertura vegetal do solo. Fatores motivados pelo molde do processo produtivo atual.

O relevo é um aspecto importante para entendimento dos processos erosivos, em que a declividade e o comprimento de encosta são os principais fatores relacionados à erosão. A declividade influencia diretamente na velocidade do escoamento, quanto maior a declividade sob as condições de solo e precipitação, menor será o volume de infiltrará no solo e, aumentando o risco de erosão. No ponto de vista topográfico da bacia, a região com relevo menos acentuado refere-se à porção sul, um dos aspectos para a classificação de vulnerabilidade da unidade (Figura 6).

Conforme a Figura 7, o mapa do IAC obtém as seguintes classes de solo na área de estudo, sendo eles o Argissolo, Latossolos e Nitossolos.

Figura 7. Mapa pedológico do estado de São Paulo.

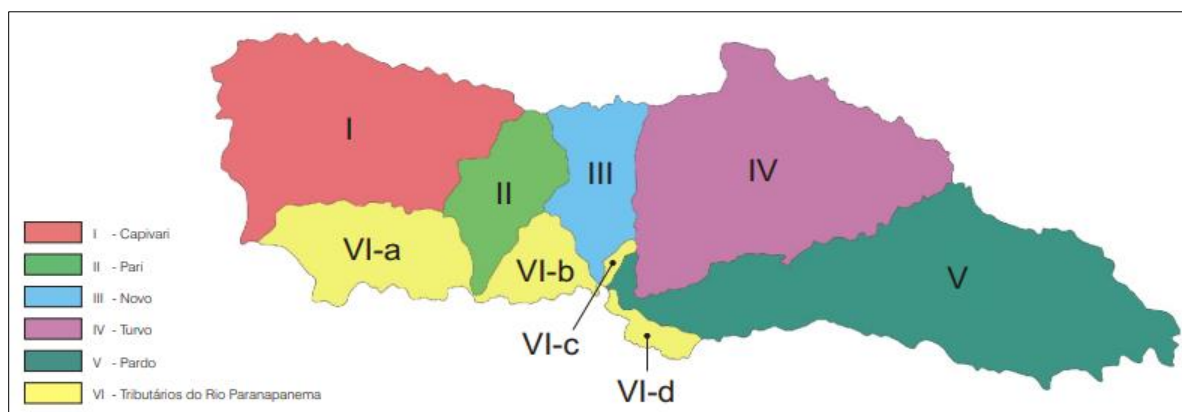


Fonte: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC, 2019).

Não podemos desassociar as transformações estruturais da economia com o processo da agricultura paulista, este só foi possível devido à disponibilidade de recursos naturais, bem como a qualidade dos solos, fator fundamental para os dois maiores ciclos econômicos, a produção do café e canavieira.

A definição das unidades hidrográficas está fundamentada segundo a classificação de STRAHLER (1952) in CHRISTOFOLLETTI (1988), unidades que possuem drenagens de até III ordem, compondo as bacias principais o Pardo, Turvo, Novo, Pari e Capivara e as bacias tributárias do rio Paranapanema (Figura 8) (SÃO PAULO, 2019).

Figura 8. Unidades hidrográficas principais da UGRHI-17.



Fonte: Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2019).

A disponibilidade potencial de águas confinadas ou de reservas totais explotáveis na UGRHI-17 é de ordem de 20,7 m³/s. Estes números devem ser considerados com cautela e visam apenas estabelecer comparações entre disponibilidade natural e as extrações, a fim de auxiliar no planejamento racional do aproveitamento dos recursos hídricos (SIGRH, 2019).

Pioneiro entre os Comitês do estado de São Paulo na participação como membro do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, o CBH-MP tem forte vocação agrícola; sendo assim, a água para a irrigação é o principal uso da Bacia. Possui grande disponibilidade de água superficial e subterrânea, mas já enfrenta conflitos de disponibilidade em função do aumento do consumo hídrico para a agroindústria e para a irrigação (SÃO PAULO, 2019).

A vocação econômica da UGRHI -17 no âmbito urbano destacam-se os setores de serviços e comércio, com alguma industrialização em torno dos maiores núcleos urbana. Nas áreas rurais, a agricultura e a pecuária são as atividades mais expressivas, destacando-se a forte expansão das lavouras de cana-de-açúcar e da indústria sucroalcooleira (SÃO PAULO, 2019).

A Figura 9 apresenta a localização das usinas sucroalcooleiras na UGRHI-17. Áreas de cana-de-açúcar devem ser cultivadas perto das usinas de processamento de açúcar e/ou etanol para reduzir o custo de transporte e minimizar a rápida deterioração da pós-colheita, em vista disso, a cana é plantada apenas nos municípios que possuem uma unidade de processamento próxima.

4.2 Procedimentos metodológicos

Para a análise espaço-temporal da área de estudo foram adquiridos dados dos focos de queimada disponibilizados gratuitamente no catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e imagens dos satélites LandSat 5, 7 e 8, ambos obtidos nos catálogos do INPE e do United States Geological Survey (USGS). O sensor Thematic Mapper (TM) com resolução espacial de 30 metros, a bordo do Landsat 5 (bandas 3, 4 e 5), disponibilizado gratuitamente no catálogo do INPE, entre o período abril a setembro, que compreende a época seca do ano, as imagens são referentes aos anos de 2000 e 2006. O sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM) a bordo do Landsat 7 (bandas 3, 4 e 5), com resolução de 15 a 30 metros, disponível gratuitamente no catálogo de imagens do USGS, entre o período de abril a setembro do ano de 2012. Em 2018, foi utilizado o sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do Landsat 8 (bandas 4, 5 e 6), dados multiespectrais de 15 a 30 metros, disponibilizado gratuitamente no catálogo do INPE e USGS, na época seca do ano, ou seja, na estação inverno entre os meses de abril a setembro.

A aquisição do banco de dados de queimadas, foram obtidos através do Projeto Platform of Monitoring and Warning of Forest Fires in the Cerrado (PróCerrado INPE), iniciativa está, de cooperação entre os governos do Brasil do Reino Unido, com apoio do Banco Mundial, sendo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), por intermédio da Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental (SMCQ) que coordena o programa. O objetivo central do programa é coadjuvar para mitigação de mudanças climáticas, bem como o aprimoramento da gestão dos recursos naturais do bioma Cerrado.

O Banco de Dados de Queimadas (BDQ) permite em modo interativo fazer análise espacial e temporal dos focos de queimadas identificada sobre a América Latina em imagens de satélites, informados a cada três horas. Os focos detectados são usados para compor a série espaço temporais. A base de dados deu início no dia 01 de junho de 1998, utilizando o NOAA-12 (sensor AVHRR, passagem no final da tarde) e, a partir de julho de 2002 o AQUA M-T (sensor MODIS, passagem no início da tarde).

O software ArcGis 10.4 (ESRI, 2007) foi utilizado para produção, edição e quantificação dos mapas temáticos. Todos os dados adquiridos foram sobrepostos aos resultados altimétricos, dos shapes referentes aos focos de queimada, do limite territorial da Unidade de Gerenciamento e das usinas sucroalcooleira presente na UGRHI 17, bem como o resultado da classificação supervisionada nos anos avaliados.

Como o objetivo é avaliar a distribuição das áreas aliadas a queima da cana-de-açúcar, as imagens obtidas são referentes ao período de abril a setembro, que compreende a mesma época da safra canavieira. Para pré-processamentos desses focos em áreas de cultivo de cana foi realizada a composição de bandas RGB, Landsat 5 e 7 (5, 4 e 3, falsa cor), Landsat 8 (6, 5 e 4 falsa cor). O recorte espacial da UGRHI 17 ocupa uma área total de 16.763 km², com a presença de 42 municípios, diante disso foi efetuado a fusão com a banda 8 do instrumento OLI, a pancromática, que possui resolução espacial de 15 metros, para os Landsat 7 e 8, permitindo uma melhor resolução.

4.3 Classificação supervisionada

Para diferenciar a cultura da cana-de-açúcar dentre outras culturas fez-se a classificação supervisionada, extraindo informações das imagens para reconhecer regiões homogêneas, no caso, para a área de interesse, a cana-de-açúcar.

Pode-se definir por classificação de imagens como sendo um procedimento de obtenção de informações de imagens a fim de caracterizar e diferenciar os padrões da superfície física terrestre, uma técnica de extrema competência no mapeamento (KÖRTING, 2006). A classificação pode ser de dois tipos, a supervisionada quando existem regiões da imagem em que o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse e a não supervisionada quando o usuário define a área e o software por meio do pixel selecionado determina o agrupamento dos dados, em uma feição espacial de dimensão igual.

No caso do estudo, realizou-se a classificação supervisionada interativa por polígono, por se tratar de uma área de grande potencial canavieiro e o conhecimento prévio de algumas localidades dentro da UGRHI 17, selecionou-se as áreas homogêneas em cultura de cana-de-açúcar e posteriormente foi feita a edição das classes geradas, vetorizando as áreas de cana, por meio da imagem tif do resultado da classificação interativa, com o auxílio do Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg), ferramenta destinada ao acesso e visualização de perfis temporais dos Índice de Vegetação

de Diferença Normalizada (NDVI), fez-se a interpretação visual das imagens e classificação das superfícies, para dar veracidade às áreas de cultivo da cana-de-açúcar.

Por meio da ferramenta “Classificação” foi possível criar regiões de cana-de-açúcar que servirão de base para a classificação interativa. Desta maneira, foi delimitados polígonos, por meio de julgamento visual, de regiões homogêneas que representava a cana e áreas de não cana, ou seja, áreas urbanas, cursos hídricos, silviculturas, pastagens, dentre outras.

O ferramenta SATVEg, possibilita a exploração temporal e espacial dos índices de vegetação NDVI e EVI em toda América Latina, sua base de dados compreender ao ano de 2000 até o presente momento. O sistema dispõe da interface do Google Maps facilitando a identificação da área de interesse, também realiza upload de diversas extensões, dentre outras funcionalidades.

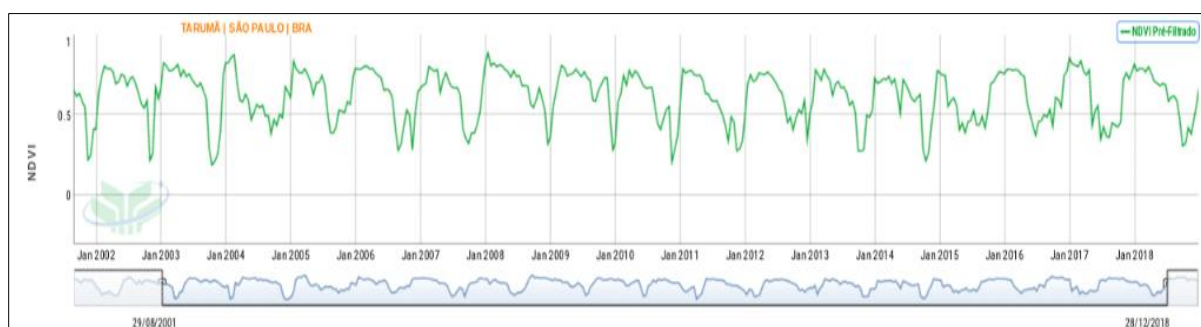
As Figuras 10 e 11 demonstra um exemplo do processo de interpretação visual da classe temporal do NDVI.

Figura 10. Área de captura do pixel.



Fonte: Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg, 2019).

Figura 11. Perfil temporal do NDVI em cultura de cana-de-açúcar.



Fonte: Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg, 2019).

A cana-de-açúcar pertence à família das gramíneas, tendo comportamento espectro-temporal dos índices de vegetação muito semelhante aquele encontrado nas áreas de pastagem. Seu ciclo de produção é denominado semi-perene, cuja duração é de aproximadamente um ano e meio no caso da cana-planta e de um ano, no caso da cana de rebrota. Portanto, a identificação das áreas de cana-de-açúcar, exige a observação do seu comportamento em séries temporais mais longas (EMBRAPA, 2019).

4.4 Levantamento Topográfico

Para filtrar as informações fez-se a interseção dos resultados da classificação supervisionada com os focos de queimada disponibilizados pelo Programa de Queimadas (INPE), concomitante com o mapa de declividade gerado a partir dos dados altimétricos, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a partir da topografia SRTM, obtidos pela Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – DSR/INPE (TOPODATA). Uma vez que está previsto na Lei a erradicação da queima nas áreas em que as máquinas não conseguem passar, com declividade superior a $\leq 12\%$.

A geomorfologia da área de estudo corresponde ao planalto Ocidental Paulista, caracterizado por colinas com topos aplainados, a altimetria da região é de 350 a 600 metros de altitude, sua declividade dominante é $< 6\%$. (SÃO PAULO, 2019). Devido a topografia da UGRHI 17 foi classificada em quatro das seis classes de relevo, plano (0 – 3%), suavemente ondulado (3 – 8%), ondulado (8 – 20%) e Fortemente ondulado (20 – 45%), segundo as normas de classe de relevo do sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999) (Tabela 5).

Tabela 5. Classe de relevo do sistema brasileiro de classificação de solos.

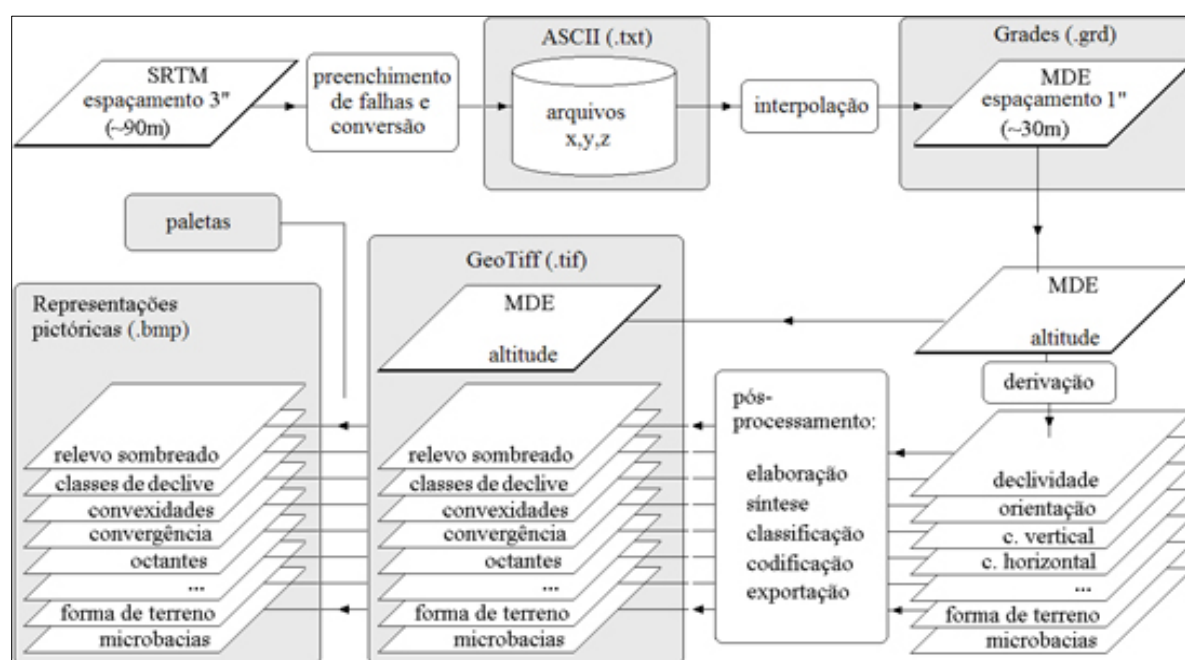
Classes de relevo	Declividade (%)	Área (ha) em cana-de-açúcar
Plano	0-3	314.373,30
Suavemente ondulado	3-8	754.419,78
Ondulado	8-20	244.953,40
Fortemente ondulado	20-45	16.300,66
Montanhoso	45-75	0
Escarpado	>75	0

Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2019).

Partindo da necessidade do estudo, os altimétricos foram cruciais para o desenvolvimento do mesmo. O projeto TOPODATA ofertou o Modelo Digital de Elevação (MDE), a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS, que culminou na elaboração da classe de declividade.

Os dados foram disponibilizados em formatos correspondentes às etapas de processamento dos dados SRTM, conforme a Figura 12 abaixo:

Figura 12. Etapas de processamento dos dados SRTM.



Fonte: TOPODATA Banco de dados Geomorfométricos do Brasil (INPE, 2019).

A partir do dado SRTM, foi gerado o mapa de declividade por meio da ferramenta slope em porcentagem disponível no ArcToolbox no software ArcGis, seguindo as normas de relevo da EMBRAPA.

4.5 Modelo Linear Misto

Todo o processo de modelagem estatística foi realizado no software RStudio versão 1.0.153 (Rstudio, 2015), que consiste em ambiente de desenvolvimento integrado, open-source, para a linguagem de programação R (RStudio Team, 2015), a fim de tratar estaticamente os dados obtidos. Utilizamos o pacote lme4 para obter R (R Core Team, 2015). Segundo Bates et al. (2015), o pacote fornece funções que se organizam e analisam linearmente modelos mistos, lineares generalizados, mistos e não lineares mistos.

Os dados geocodificados analisados consistem em polígonos, cada um identificado por um par de coordenadas com base em: quantidade de focos de queimadas; área de cana-de-açúcar polígono (em hectare); e declividade (quatro classes de relevo).

O banco de dados foi construído em formato (txt*) na estrutura de colunas, apresentando as variáveis, Identificador (ID), área em hectares de cana-de-açúcar, quantidades de focos de queimada presente em área de cana e a declividade que representava o local de queima de forma manual.

No software R implementamos dois modelos, modelo 1 (M1) representado na equação 3 e modelo 2 (M2) de acordo com equação 4.

$$area_{ij} = \beta + b_{ij} \times ano_{ij} + E_{ij}, \quad (3)$$

onde: $area_{ij}$ representa a medida de área para o polígono j e i categoria de cana-de-açúcar, β corresponde ao um valor fixo, $b_{1i} \times ano_{ij}$, corresponde ao slope aleatório dos focos em função do ano e E_{ij} E_{ij} é o erro aleatório, o j i é o tipo de uso, no caso a cana-de-açúcar.

Em sequência, incluímos a declividade como efeito fixo no modelo (M2), com a Eq. (4), segue como:

$$area_{ij} = \beta + focos_{ij} + b_{1i} \times ano_{ij} + E_{ij}, \quad (4)$$

onde: $area_{ij}$ representa a medida de área para o polígono j e i categoria de cana-de-açúcar, β corresponde ao um valor fixo, $focos_{ij}$ representa o intercept aleatório por focos de

queimada, $b_{1i} \times \text{ano}_{ij}$, corresponde ao slope aleatório dos focos em função do ano, E_{ij} é o erro aleatório, o j é o tipo de uso, no caso a cana-de-açúcar.

Antes de ajustar o modelo, foi realizada uma análise exploratória dos dados para obter informações sobre dados espaço-temporais. O software estatístico R oferece muitas maneiras de visualizar com facilidade as características mais pertinentes do conjunto de dados. Usamos a função de tabela para gerar tabelas de contingência mostrando o número de cada variável categórica, como o declive ou focos de queimada em áreas de cana.

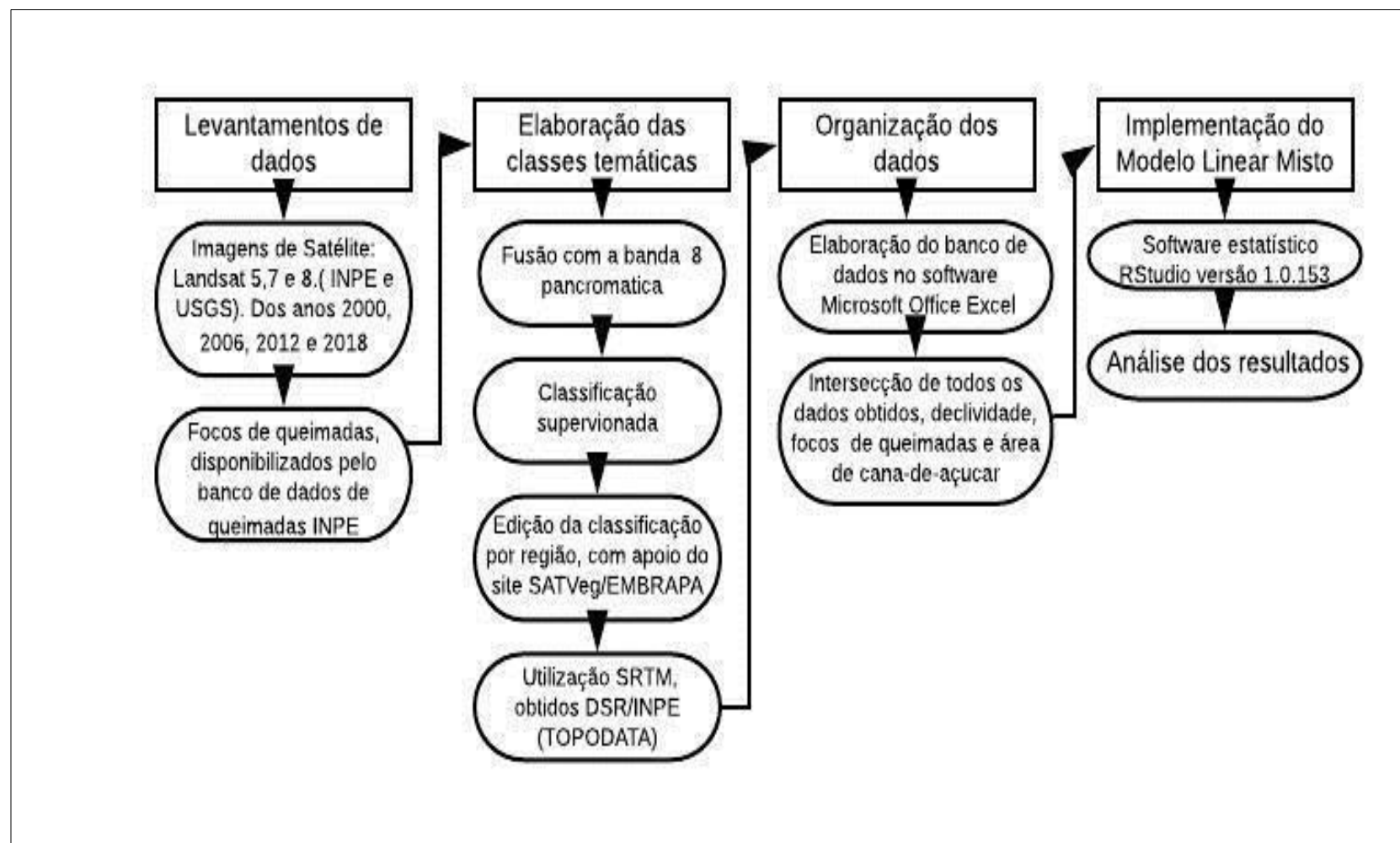
Também produzimos barplot para exibir grupos de medições de área, isto é, comparar graficamente valores agrupados, o que é útil para analisar a concordância dos dados e determinar a presença de valores discrepantes. A criação de Gráficos provou ser útil para lidar com grandes conjuntos de dados, esta função auxiliou para comparar graficamente a distribuição de focos de queimada (ao longo dos anos) em relação a classe de relevo.

Para a escolha do modelo mais apropriado aos dados, foi utilizado o critério que minimiza o AIC, desta forma, escolhemos um que capture o principal objeto contido no conjunto de dados. Comparamos dois modelos com diferentes estruturas para efeitos aleatórios, como por exemplo, a interceptação aleatória ou interceptação aleatória e inclinação, enquanto permite que a inclinação seja correlacionada ou não. Também foi analisado os diferentes efeitos fixos do modelo misto.

Testamos hipóteses sobre as variações e covariâncias dos efeitos aleatórios excluindo os termos de efeitos aleatórios de efeitos fixos idênticos, ou seja, modelos alinhados. Os testes foram com base na alteração no log da probabilidade maximizada, isto é, a (log) testa de razão de verossimilhança (LRT). No sistema R, análise de função variância (ANOVA) foi usado como LRT para comparar os modelos, fornecendo relações significantes dos efeitos fixos e aleatórios. Desta maneira, se os dois modelos em comparação não foram alinhados, AIC foi escolhido sobre o LRT.

A Figura 13 apresenta o fluxograma a fim de exemplificar os procedimentos metodológicos aplicados no estudo.

Figura 13. Fluxograma dos processos metodológicos.

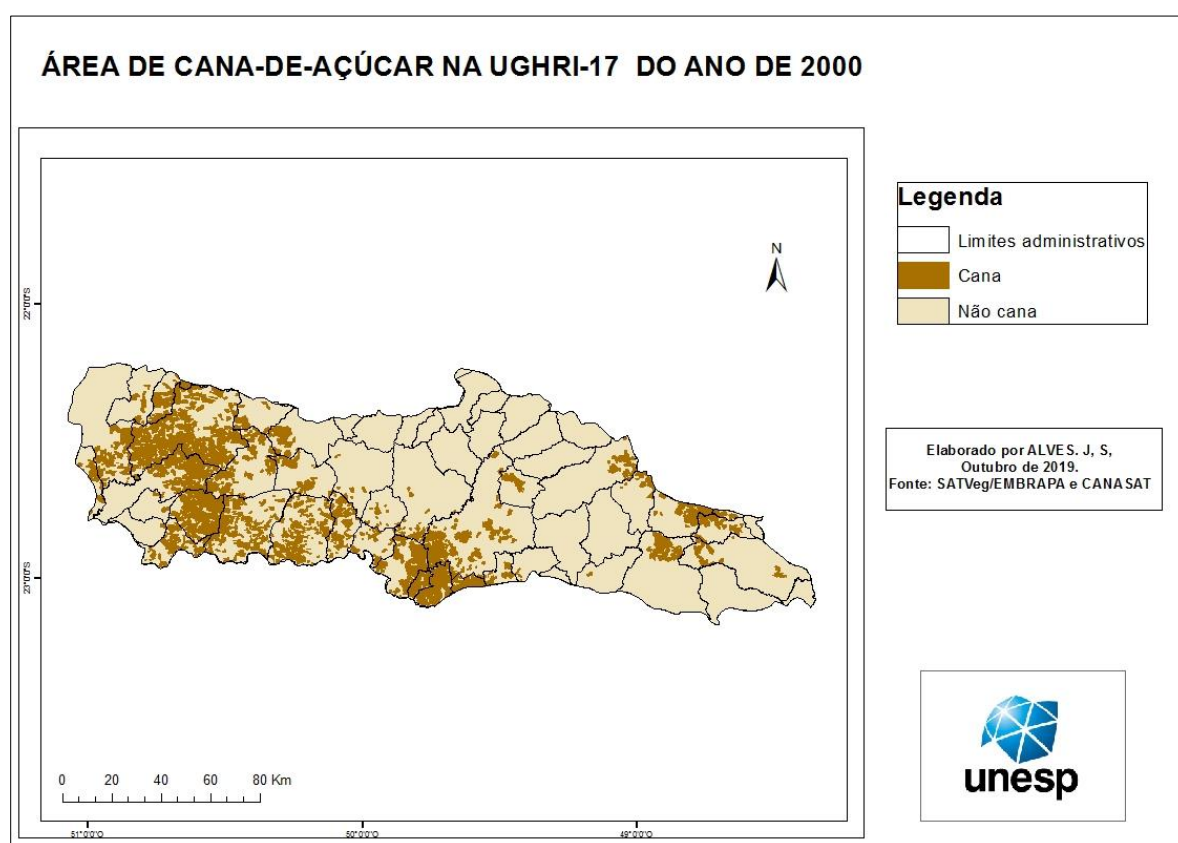


4. DISCUSSÕES E RESULTADOS

A área de estudo é marcada pela forte expansão canavieira e de indústrias sucroalcooleiras. A extensão territorial em produção de cana-de-açúcar respondeu a 13.390,47 km², no ano 2018 na UGRHI - 17.

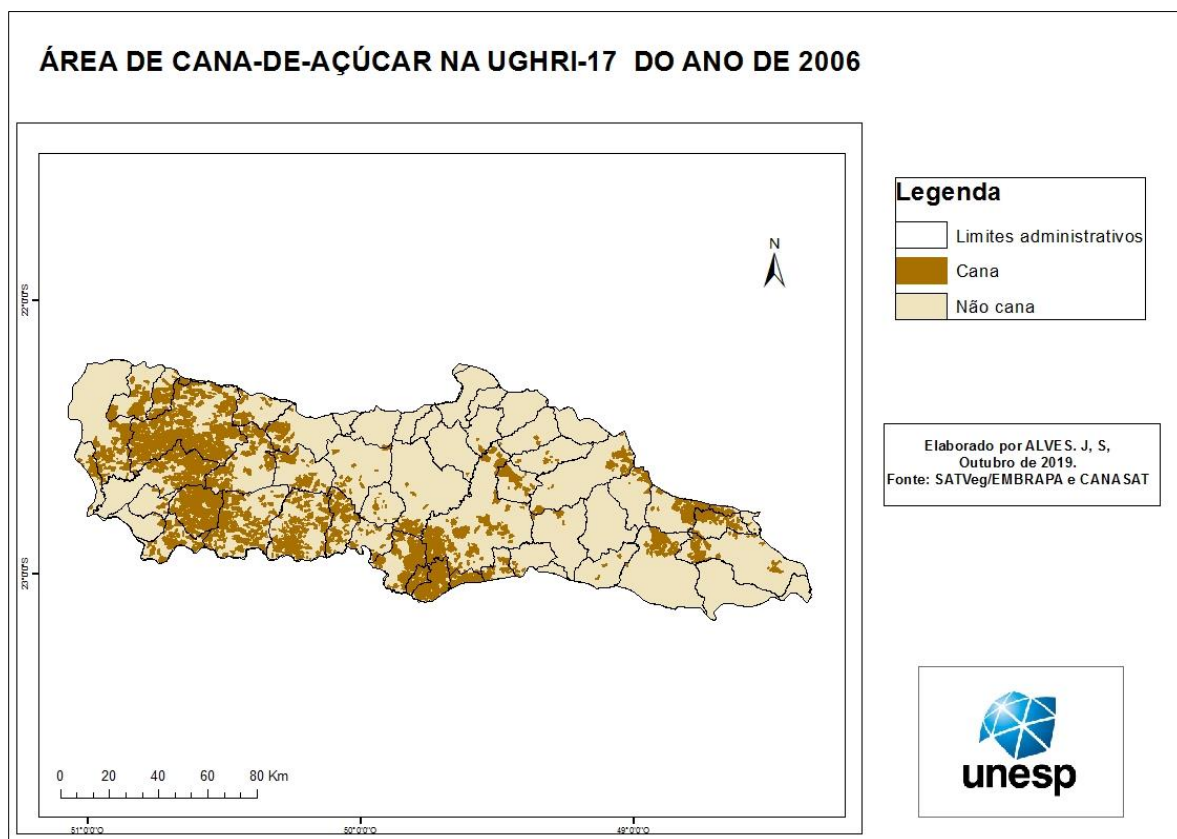
Por meio da classificação supervisionada, foi possível especializar as áreas de cultivo da cana-de-açúcar entre os anos estudados no território da unidade, (Figuras 14, 15, 16 e 17).

Figura 14. Espacialização da cana-de-açúcar na UGRHI-17 no ano de 2000.



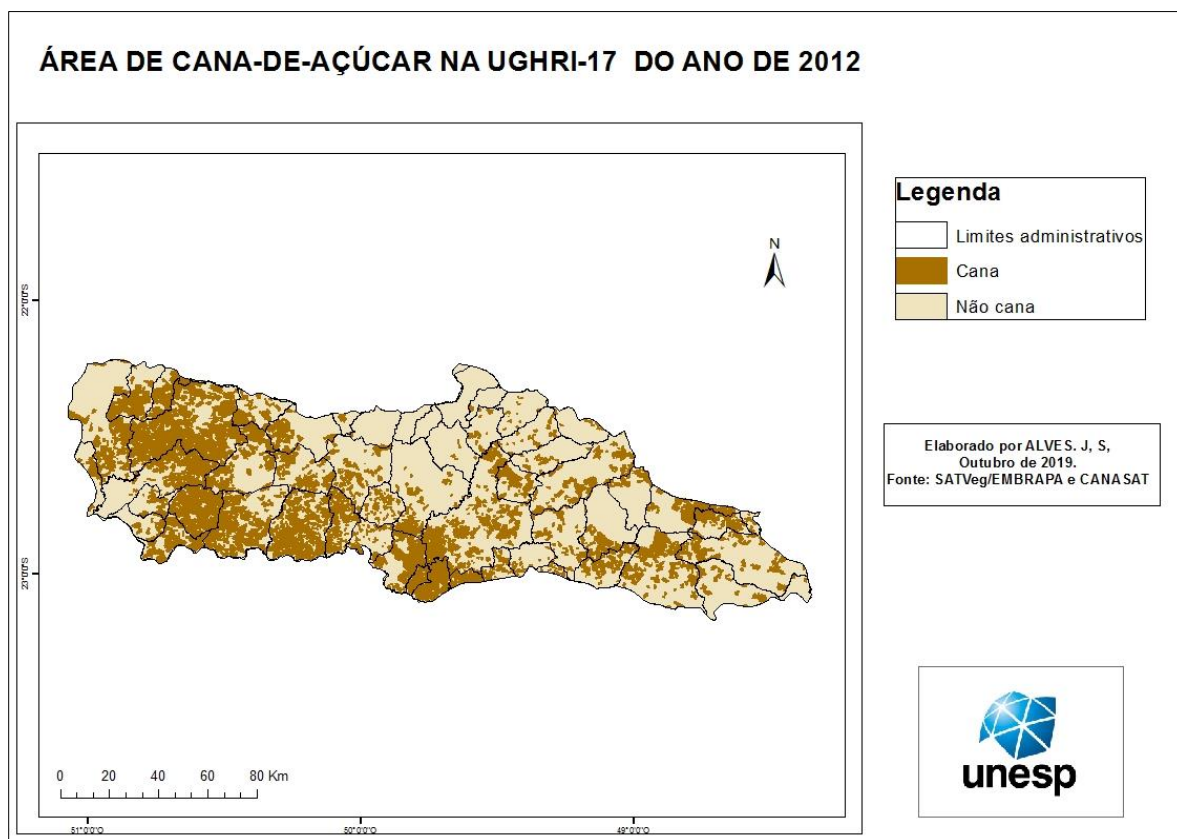
A figura 14 é referente ao ano de 2000, no qual, expõe a distribuição das áreas de cultivo da cana ao longo da bacia, sendo que na região há uma maior concentração da cultura.

Figura 15. Espacialização da cana-de-açúcar na UGRHI-17 no ano de 2006.



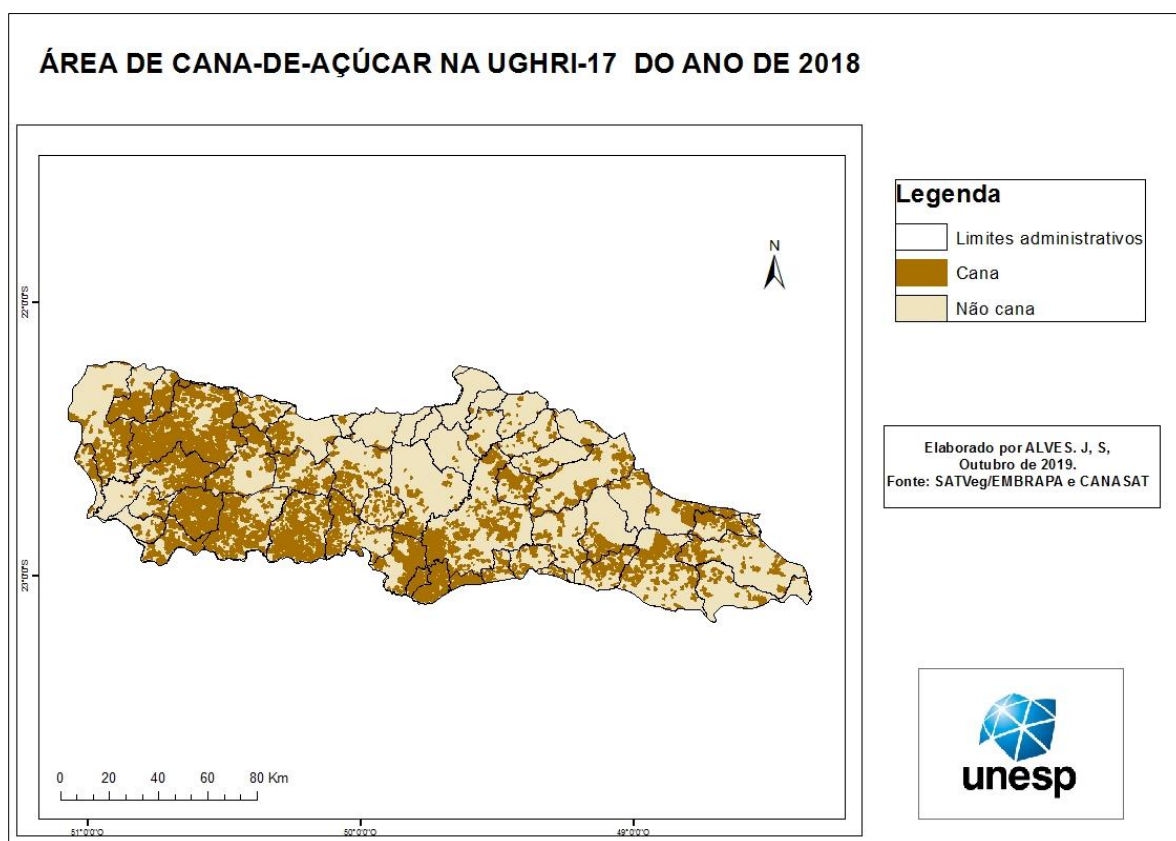
A figura 15 é referente ao ano de 2006, podemos verificar no mapa o avanço da cana ao longo da bacia, porém não houve um aumento acentuado da cultura, áreas que já eram destinadas à plantação permaneceram (Figura 14), o aumento se deu somente no entorno dos talhões.

Figura 16. Espacialização da cana-de-açúcar na UGRHI-17 no ano de 2012.



A figura 16 é referente ao ano de 2012, podemos verificar um aumento da plantação, dispersando ao longo da bacia, este crescimento está relacionado ao aumento de investimento em tecnologias e mecanização do campo, potencializando a produção, além do aumento da demanda por biocombustíveis.

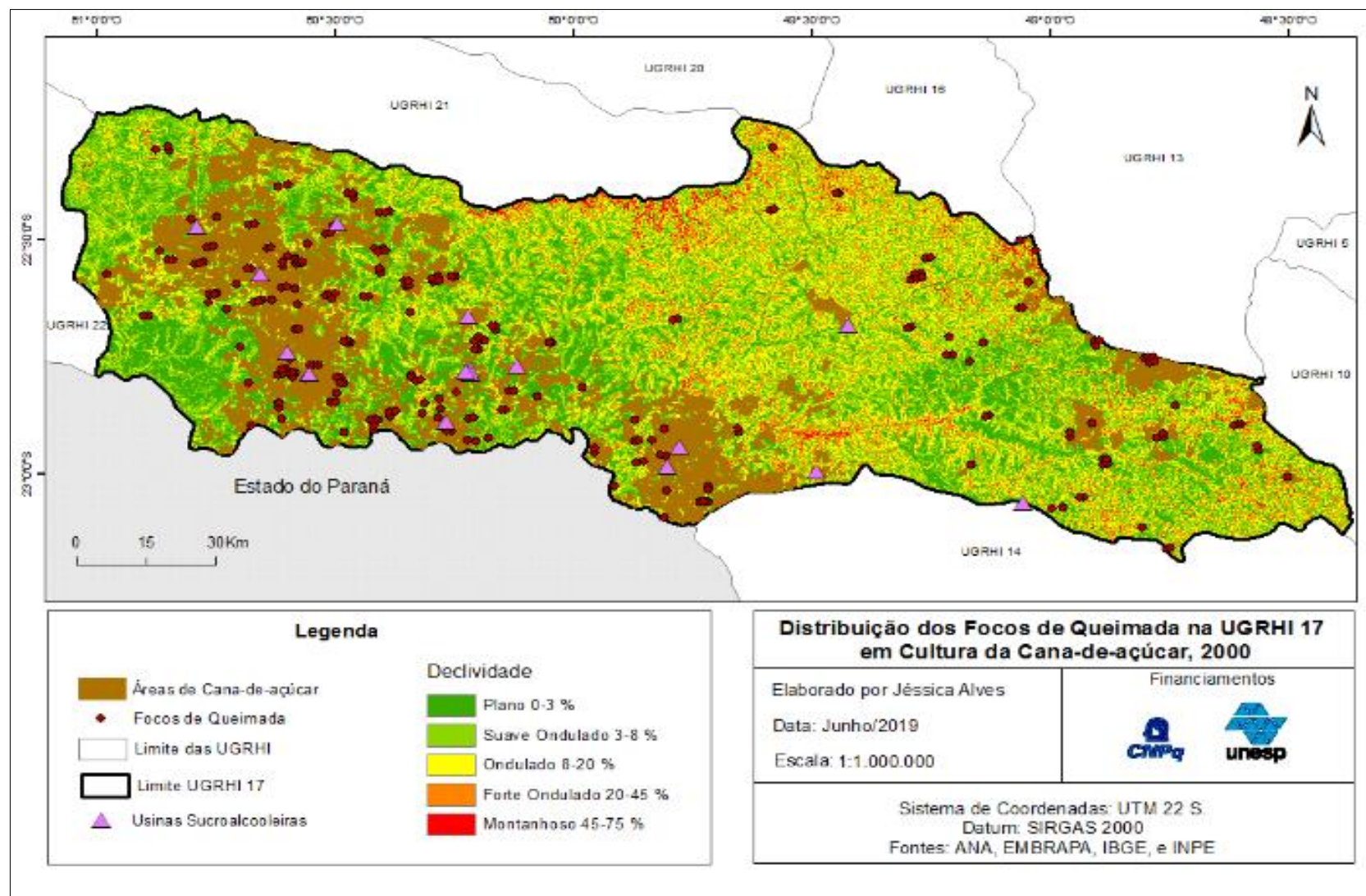
Figura 17. Espacialização da cana-de-açúcar na UGRHI-17 no ano de 2018.



A figura 17 é referente ao ano de 2018, podemos verificar o crescimento das áreas da cultura, tendo a maior concentração no oeste da bacia, porém outros municípios da região leste começam a ser representativos, como a região de Palmital e Ourinhos e Botucatu. Essa espacialização é diretamente ligada à localização das usinas de processamento de açúcar e álcool, pois a matéria prima deve ser processada o mais breve e o custo de transporte é menor.

Dentre os anos estudados, 2000 apresentou a menor quantidade de focos ligados diretamente à atividade cana-de-açúcar, identificaram-se 88 focos em localidades próximas as 16 usinas de processamento. A área em hectares correspondeu a 233.973,84, com maior concentração na região oeste da bacia, conforme evidenciado na Figura 18. A Lei n. 10.574 do dia 2 de Maio de 2000, define alguns procedimentos associados à proibição do uso do fogo em práticas agrícolas, pastoris e florestais e de outras técnicas relacionadas (SÃO PAULO, 2019).

Figura 18. Distribuição dos focos de queimada na UGRHI-17 em cultura de cana-de-açúcar no ano de 2000.



A mudança direta no uso da terra causada pela recente e significativa expansão da cana-de-açúcar pode ser avaliada a partir de imagens de sensoriamento remoto, previamente registrada para plantações de cana-de-açúcar, permitindo localizar e quantificar áreas que pertenciam a outro uso (pastagem, florestamento, outra monocultura, dentre outras) convertido em plantações de cana-de-açúcar, e fornece informações relevantes que seriam difíceis de obter sem o apoio desta ferramenta.

No período analisado houve um crescimento gradativo da área de cana-de-açúcar, o que pode ser explicado pela alta demanda de etanol resultante do aumento de vendas de veículos bicompostíveis e o crescimento da exportação deste combustível. Os veículos bicompostíveis foram inseridos no mercado em 2003, o que impulsionou a produção com vistas ao mercado (RODRIGUES, et al. 2008).

Com o advento do combustível de carros flex a capacidade de monitorar a expansão da cana no Brasil, o maior produtor e exportador de açúcar do mundo e o segundo maior produtor de etanol, tornou-se importante devido à sua relevância agrícola, econômica, estratégica e ambiental. Na última década a área de cana-de-açúcar dobrou no centro-sul do país.

Em 2006 a área em hectares correspondeu a 278.378,38, nesse período os veículos bicompostíveis atingiram 80% das vendas de automóveis e comerciais leves (excluídos os veículos com motor a diesel), o que impulsionou a produção canavieira (RODRIGUES, et al. 2008).

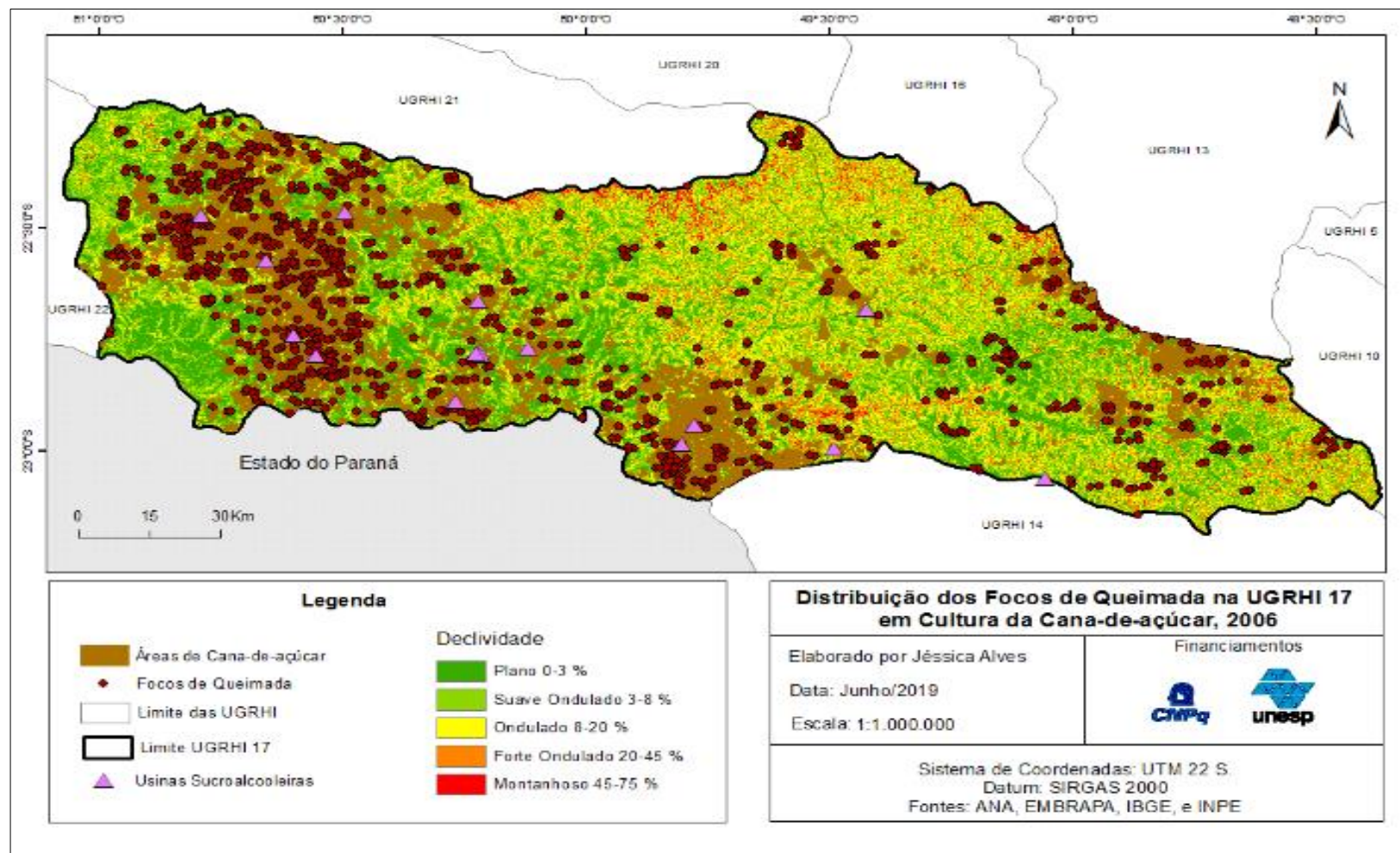
Houve nesse ano a identificação de 464 focos de queimada relacionados à cultura de cana-de-açúcar. É importante evidenciar a porção oeste da UGRHI 17, onde há maior concentração dos focos de queimada, ressaltando a região dos municípios de Paraguaçu Paulista e Tarumã (Figura 15), onde existem quatro potencialidades de processamento de açúcar e álcool, duas usinas em cada município. O município de Tarumã destacou-se por alojar a empresa Raízen a maior exportadora individual de açúcar no mercado internacional, com produção anual de cerca de 4,1 milhões de toneladas.

No mesmo ano o estado de São Paulo produziu 60% da produção nacional, cerca de 3,4 milhões de hectares, dos quais 2,5 milhões de hectares passaram pelo processo de queimada na pré-colheita, e 900 mil hectares foi colhida de forma mecanizada. No âmbito da produção brasileira, apenas 25% tem colheita mecanizada e o restante é queimado antes da colheita manual (Ribeiro e Pesqueiro, 2010). O período de queima coincide com a época de baixas precipitações, agravando as condições e a qualidade do ar.

No âmbito do estado de São Paulo, a Lei n.º 11.241 de setembro de 2002, que regula a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar, dá outras providências e regulamenta esta atividade, sendo assim, a prática de atear fogo deveria diminuir depois da implementação da Lei, apesar disso houve o aumento, de 376 focos de queimada entre os anos de 2000 a 2006.

Um dos prazos estipulados para redução da queima, previsto por lei, refere-se ao ano de 2006, definindo a eliminação de 30% (trinta por cento) da área não mecanizável, devendo ser reavaliados conforme o desenvolvimento tecnológico que viabilize novas máquinas, para a colheita mecanizada sem negligenciar os aspectos socioeconômicos (SÃO PAULO, 2019). Conforme o estudo este mesmo ano teve maior representatividade de queimadas como mostra na Figura 19.

Figura 19. Distribuição dos focos de queimada na UGRHI-17 em cultura de cana-de- açúcar no ano de 2006.



Para atender à crescente demanda doméstica por etanol, novas áreas de cana-de-açúcar foram cultivadas em larga escala. Somente nas safras 2006 e 2007, o cultivo em novas áreas atingiu 1,55 milhões de hectares (ha) na região Centro-Sul do Brasil (CANASAT, 2019). Como consequência desta expansão, o cultivo da cana-de-açúcar substituiu as áreas de pastagem e agricultura em proporções semelhantes e, apesar do aumento considerável da colheita mecânica, a colheita manual, que exige queima de palha ainda é praticada.

O Brasil se tornou notável na exportação de etanol, posto que, pode romper as barreiras impostas pela certificação socioambientais propostas por países importadores em potencial. Para obter a certificação, o Brasil deverá atender a alguns critérios, como: (i) não substituir áreas designadas para alimentos; produção e conservação da biodiversidade com cana-de-açúcar e (ii) eliminar a prática de palha queima antes da colheita.

Nesse sentido, o governo federal realizou um estudo para estabelecer Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar, que considera aspectos ambientais, econômicos e sociais para orientar a expansão adequada da cana e investimentos no setor de biocombustíveis. O secretário de Meio Ambiente do estado de São Paulo também assinou um protocolo agroambiental em 2007, este estabelece a eliminação gradativa da prática de queima até 2014 para áreas mecanizadas (inclinação $\leq 12\%$) e até 2017 para áreas não mecanizadas (inclinação $> 12\%$), antecipando o prazo estipulado em leis (SÃO PAULO, 2009).

É importante lembrar que no estado de São Paulo, a colheita mecanizada teve início em 1973, mas se tornou mais utilizada com a implantação do Proálcool, em 1975, com incentivos financeiros. Apenas com a evolução das colhedoras em relação à potência e, sobretudo, com as maiores restrições impostas pelo Protocolo Agroambiental de 2007, entre as usinas paulistas e o governo de São Paulo, o setor passou a buscar integralmente a colheita da cana crua.

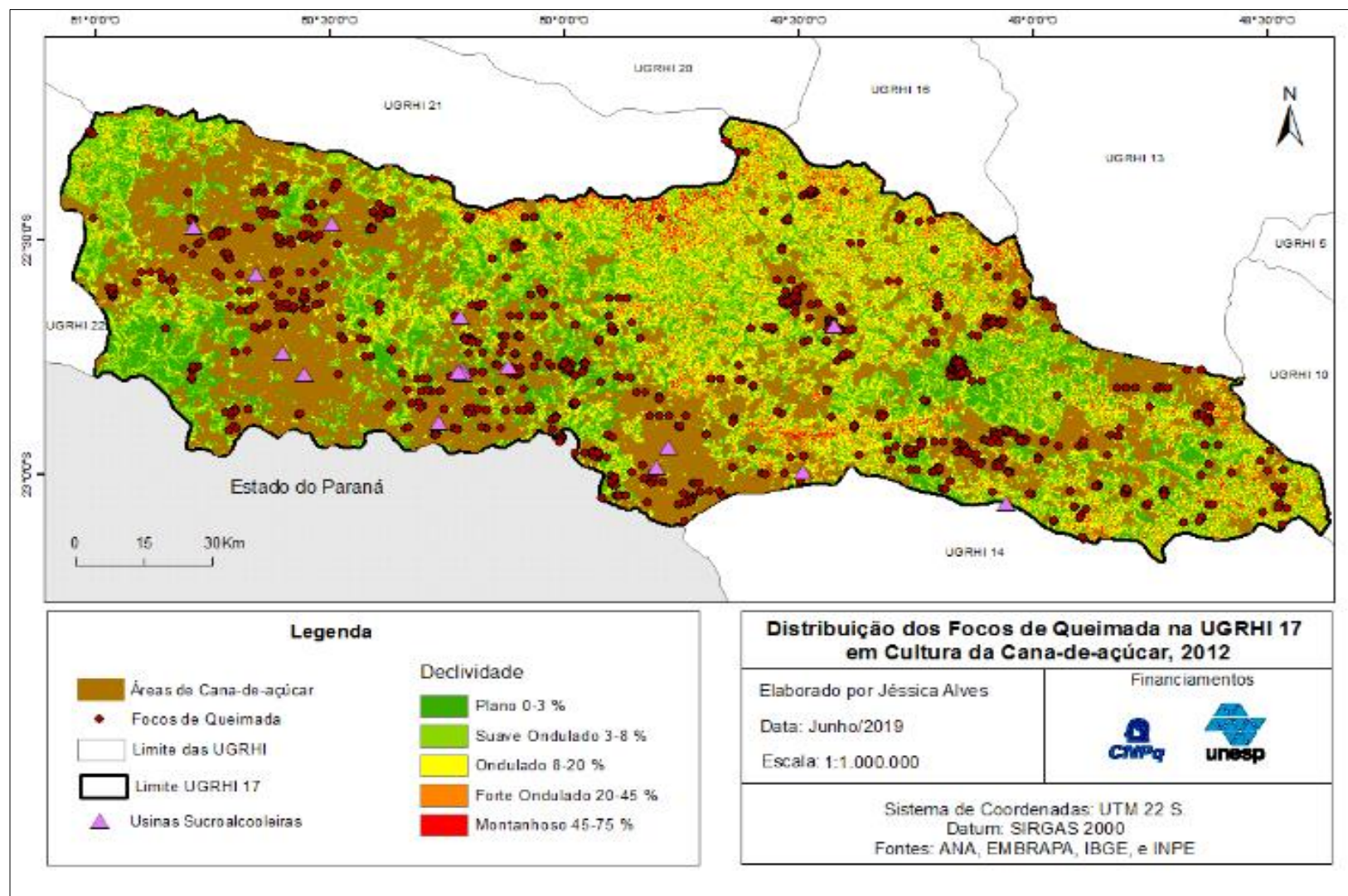
Em 2012 sentimos o reflexo do crescimento da demanda por cana-de-açúcar, bem como a diminuição dos pontos de queimadas. Neste ano constatou-se 426 focos de queimada relacionada à cultura, em uma área de 413.105,18 mil hectares, isso corresponde ao acentuado crescimento de 48,40% da expansão canavieira (Figura 20). Nota-se neste ano, que os focos se dispersaram ao longo da bacia, diminuindo a concentração nos municípios de Paraguaçu Paulista e Tarumã, citado anteriormente (Figura 19).

A eliminação da queimada gera dicotomias, ao mesmo tempo em que a sua proibição pode contribuir para melhoria da qualidade do ar e, para o ambiente e a

prevenção de doenças, ela pode extinguir milhares de empregos, gerando insustentabilidade social e espacial. Segundo Braunbeck e Magalhães (2004), os canaviais, constituem importante fonte de empregos para uma fração da população com baixo nível de instrução, representando a maior demanda de força de trabalho agrícola no Estado de São Paulo, com o equivalente de 250.907 homens-ano, em 2002, equivalentes a 35% de toda força de trabalho agrícola.

A Figura 20 mostra a distribuição dos focos na extensão da bacia do médio do Paranapanema no ano de 2012, ilustrando a dispersão dos focos por toda a extensão da unidade, não apenas na porção oeste da bacia (municípios Paraguaçu Paulista e Tarumã) assim como, nas regiões dos municípios de Cerqueira César, Ourinhos, Palmital e São Pedro do Turvo, localidade adjacentes a usinas sucroalcooleiras.

Figura 20. Distribuição dos focos de queimada na UGRHI-17 em cultura de cana-de- açúcar no ano de 2012.

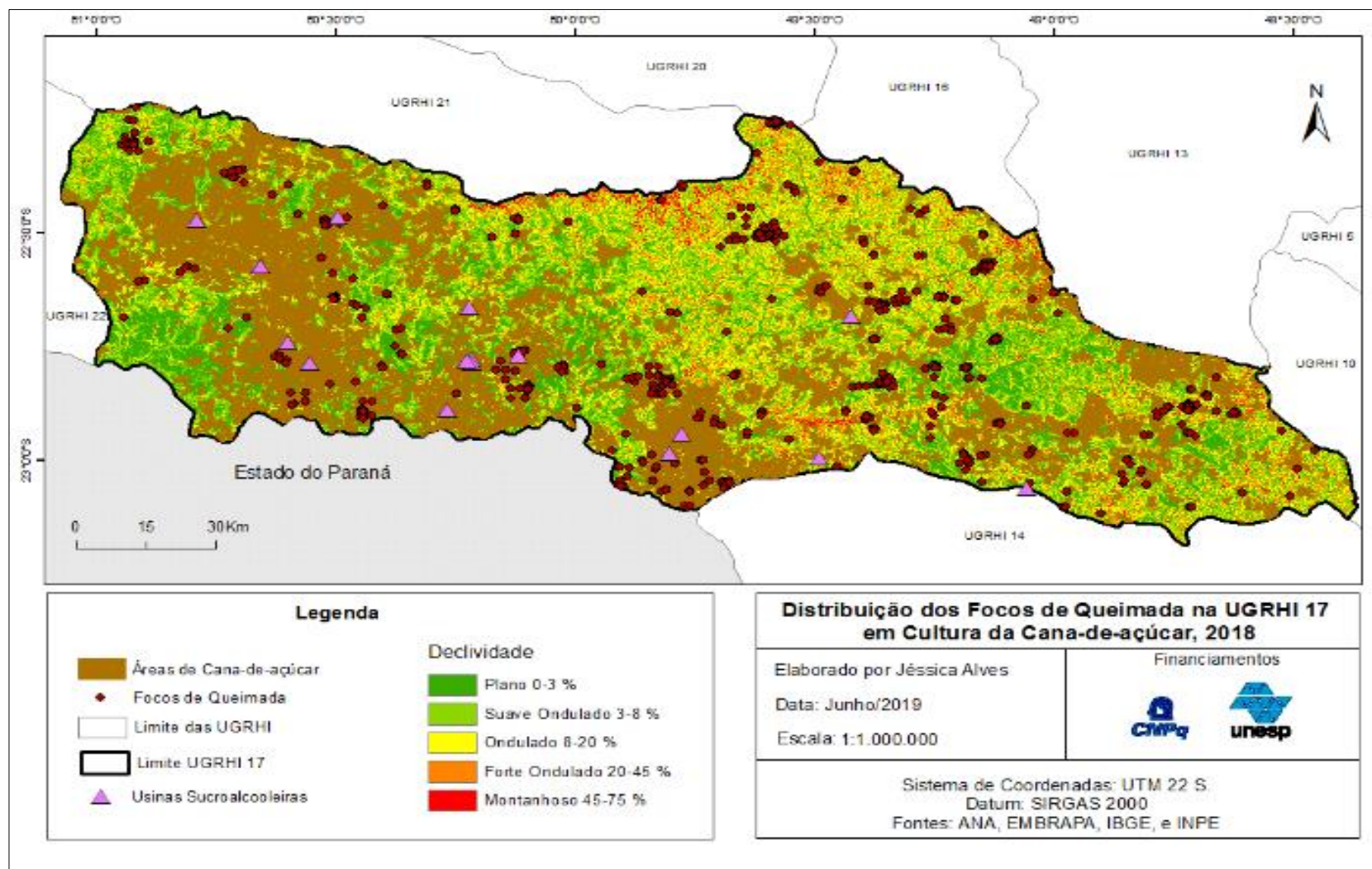


Diferentemente da maioria das culturas, a cana-de-açúcar possui um extenso calendário de colheita, e seu monitoramento requer a aquisição de imagens durante o período da colheita, que começa em abril e se estende até dezembro, no estudo a aquisição se deu nos meses de junho a setembro. A identificação do tipo de colheita de cana-de-açúcar nas imagens de sensoriamento remoto é realizada com base nas diferenças visuais entre as áreas colhidas de cana-de-açúcar com ou sem a prática de queima.

Por meio do mapa de declividade, gerado a partir de imagens da SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), foi possível inferir as áreas mecanizáveis da cana-de-açúcar ($\leq 12\%$ de inclinação) e áreas não mecanizáveis ($> 12\%$ de inclinação). A intersecção entre os mapas e declividade permitiu sugerir o tipo de colheita por classe de relevo, isto é, área com maior declividade é mais ocorrente a colheita com a prática queima, pois são espaços de difícil acesso para maquinários, por outro lado, terrenos com menor declive a utilização de colheitadeiras é mais viável.

No ano de 2018 foram identificados cerca de 259 focos de queimada em área de plantio de cultura cana-de-açúcar (Figura 21), apresentando um decréscimo referente aos dois últimos anos analisados (Figura 19 e 20). Reflexo dos investimentos em modernização, bem como implementação de instrumentos regulatórios e monitoramento desta atividade.

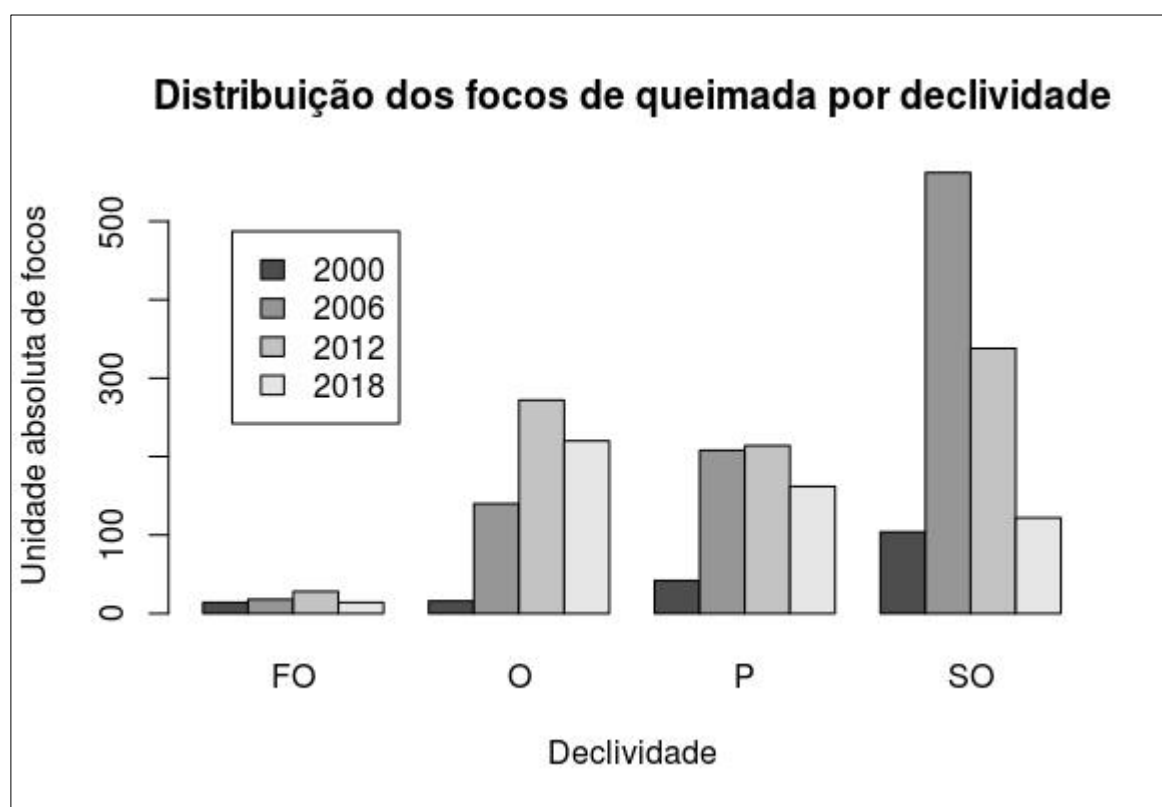
Figura 21. Distribuição dos focos de queimada na UGRHI-17 em cultura de cana-de-açúcar no ano de 2018.



O estado de São Paulo se sobressai na produção e no processamento da cana, dentro do território o desenvolvimento tecnológico e da indústria de processamento de cana-de-açúcar é pioneiro em pesquisa e desenvolvimento, hospedando núcleos e institutos de pesquisa, como: o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) - aplicação da biotecnologia na cana; Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) - melhoramento genético; Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) – voltado à alta produtividade de etanol; Pesquisa em Bioenergia (Bioen) – programa da Fundação de Amparo à Pesquisa (Fapesp); Parque Tecnológico de Piracicaba – conversão de fontes de biomassa em combustíveis renováveis e; Núcleo de Apoio à Pesquisa em Bioenergia e Sustentabilidade (NAPBS) – estimular pesquisas sobre biomassa e tecnologias de transformação em biocombustíveis (SÃO PAULO, 2019).

O cenário apresentado até o momento desta pesquisa, através da produção cartográfica, revela que a concentração espacial das áreas de colheita com a queima vem diminuindo na UGRHI-17. Provavelmente, isto se deve por conta das recentes mudanças e investimentos na mecanização em áreas de expansão. Com a implementação da modelagem estatística através do software R, foi possível uma análise exploratória das informações dos dados espaço-temporais, permitindo ter resultados mais específicos. Para caracterizar os conjuntos de dados, usou-se a função `barplot` para a construção de Gráfico com a distribuição dos focos de queimada por declividade (Figura 22).

Figura 22. Distribuição dos focos de queimada por declividade.



A figura 22 sintetizou os produtos cartográficos, além de organizar a quantidade de focos por classes de relevo. No ano 2006 em terrenos plano e suavemente ondulado constatou-se maior quantidade de focos. Em contrapartida no ano de 2012 há diminuição das queimadas, no entanto as áreas que realizam a queima foram às ordens de relevo ondulado e fortemente ondulado. Em 2018 demonstra o mesmo cenário que 2012, intensificando ainda mais os incêndios em terrenos mais acidentados.

Como fizemos em nossa análise exploratória de dados, iniciamos nossa abordagem baseada em um modelo simples (M1). Em sequência, incluímos a declividade como efeito fixo no modelo (M2).

Para selecionar o melhor modelo verifica-se o menor valor do Critério de Informação de Akaike corrigido para amostras pequenas (AIC) (Tabela 6).

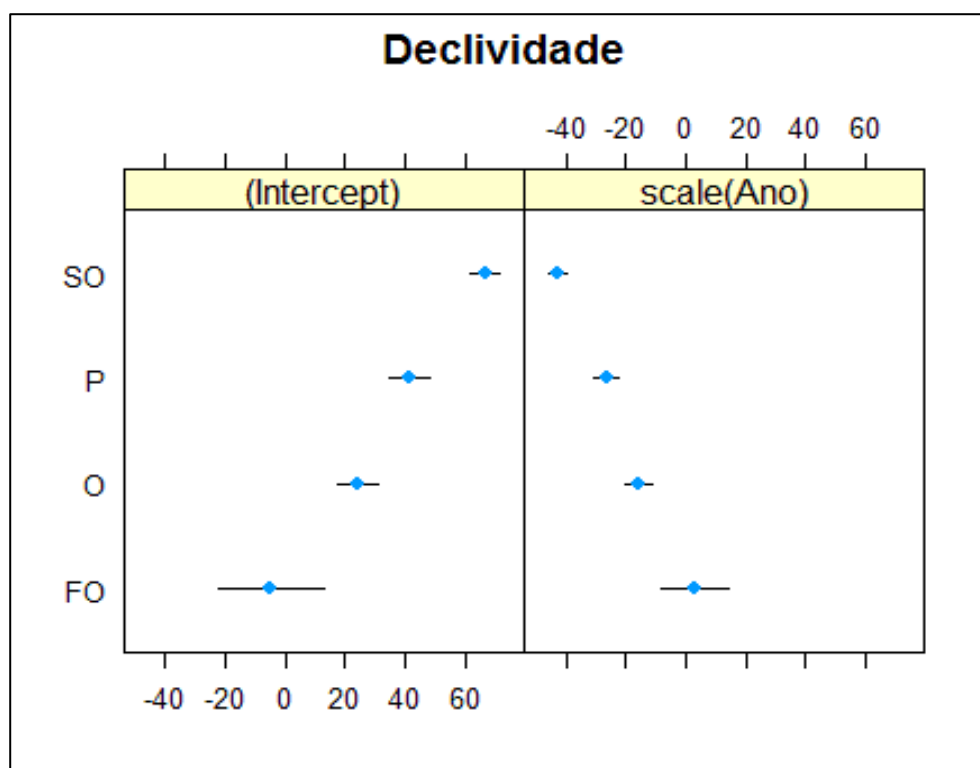
Tabela 6. Resumo dos valores de AIC obtidos para os modelos mistos lineares.

Modelos	Modelo1 (M1)	Modelo2 (M2)
AIC	223059.6	219478.3

O critério de informação de Akaike (AIC) é um estimulador da qualidade relativa dos modelos estatísticos para determinar um conjunto de dados. Informando os modelos para os dados, a AIC estima a qualidade de cada modelo, apresentando um valor numérico, no qual, o menor valor será o mais adequado, este se refere ao modelo que perde menos informação.

A figura 23 mostra os intervalos de confiança de 95% para intercepções aleatórias, representadas por b_{1i} na equação (4). O objetivo principal é entender a dinâmica da queimada por classe de relevo na UGRHI-17 ao longo dos 18 anos. Concluímos que os relevos plano e suavemente ondulado mostram uma inclinação negativa estatisticamente significativa ao longo do tempo, enquanto a classe de relevo fortemente ondulado mostra uma inclinação positiva.

Figura 23. Intervalo de confiança de 95% para o intercept e slope aleatório.



A Tabela 7 apresenta o resumo dos valores exibidos na Figura 23, com os valores do intercept e slope aleatório conforme a declividade, evidenciando o aumento de 7,88 para a classe de relevo fortemente ondulado e a redução para as demais classes.

Tabela 7. Valores do intervalo de confiança de 95% referente M2 para o intercept e slope aleatório.

Declividade	Intercept	Scale	(%)	Previsão para os próximos 6 anos (%)
Fortemente ondulado	-4.803124	3.081954	2.07	12,45%
Ondulado	24.399884	-15.656336	99,99	599,99%
Plano	41.492152	-26.623695	99.99	599,99%
Suavemente ondulado	66.690295	-42.792238	99.99	599,99%

A modelagem para análise de queimadas em cana assegurada por efeitos mistos foi proposta, avaliada e usada para determinar a queimada em área de canaviais na UGRHI-17, baseada em dados espaço-temporais, usando imagens de satélite de vários anos.

O modelo permitiu compreender a dinâmica da queima em relação a declividade em plantio de cana-de-açúcar até a data prevista para finalizar a prática da queima, ou seja, até o ano de 2021, nas áreas passíveis de mecanização integral da colheita, onde podem operar as colhedoras automotrizes, e 2031, nas áreas em que tais máquinas não conseguem operar (áreas com declividade igual e/ou maior do que 12%).

Compreendemos que a, topografia suavemente ondulada expressa um valor negativo ao longo dos anos, ou seja, representa uma diminuição acentuada das queimadas, correspondendo em um decréscimo de 99,9% ao ano, isto nos próximos 6 anos, seria de 599.99%, enquanto para os terrenos com declividade fortemente ondulada mostra uma inclinação positiva, o que resulta no aumento de 2,07% ao ano, isso em 6 anos seria 12,45%. No ano de 2021, haverá alta de 6,21% e, em 2031 o crescimento será 26,91%, se todas as causas e efeitos se mantiverem fixas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias adotadas para analisar as incidências de queima na área de estudo produziram de forma eficiente e rápida informações sobre as dimensões e distribuição da atividade na UGRHI 17, sendo esta ferramenta de auxílio na tomada de decisões que contribui para o entendimento dos processos futuros da prática da queimada.

Os dados da pesquisa mostraram que houve diminuição das queimadas nos anos estudados, no entanto, a ocorrência em terrenos de declividade fortemente ondulada aumentou, esse resultado atua no sentido oposto da lei Estadual n. 11.241. A análise estatística indica que a queimada em terrenos suavemente ondulados tende a diminuir, em terrenos com maior declividade, onde as máquinas não conseguem operar há indicação de aumento da prática de queimada, se todas as causas e efeitos se mantiverem fixas.

É importante destacar a topografia da área de estudo, a UGRHI-17 o relevo predominante é o suavemente ondulado isso reflete nos resultados. A questão é, se as áreas de potencial canavieiras que estão localizadas em relevos mais acentuados, como por exemplo, a região norte do estado de São Paulo encontra-se dentro dos parâmetros legais ou situam-se conservadores perante a mecanização.

As imagens disponíveis gratuitamente dos sensores do Landsat, bem como a implementação da modelagem estatística foram fundamentais para a realização da análise remoto da prática da queimada em cana. Os governos devem incentivar as geotecnologias e o uso da estatística para monitorar diversas outras atividades, além da cana-de-açúcar.

Tais metodologias podem e devem ser utilizada em outras áreas do conhecimento, no qual, este trabalho pode servir de apoio para outros, além de poder analisar e inserir outras variáveis relevantes, como o uso e ocupação do solo e, a própria classe de solos, dentre outras. Tais análises fornecerão aos tomadores de decisão informações para estabelecer políticas públicas, bem como fornecer informações para o planejamento sustentável.

6. REFERÊNCIAS

AKAIKE, Hirotugu. Um novo olhar para a identificação do modelo estatístico. In: **Papéis selecionados de Hirotugu Akaike**. Springer, Nova Iorque, NY, 1974. p. 215-222.

Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-1694-0_16>. Acesso em: 28 setembro, 2019.

ALVES, DIÓGENES S. et al. Mapeamento do uso da terra em Rondônia utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 8, p. 392-400, 1996. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.15.19/doc/T211.pdf>>. Acesso em: 28 setembro, 2019.

ALVES, Francisco José da C.; GONÇALVES, Daniel B. A legislação ambiental e o desenvolvimento sustentável no complexo agroindustrial canavieiro da bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu. **SEMINÁRIO ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE: regulação estatal e auto-regulação empresarial para o desenvolvimento sustentável**, v. 3, 2003. Disponível em: <<http://danielbertoli.synthasite.com/resources/textos/texto08.pdf>>. Acesso em: 28 setembro, 2019.

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T; SILVA, W. F.; ADAMI, M.; M. P. **Remote Sensing Images in Support of Environmental Protocol: Monitoring the Sugarcane Harvest in São Paulo State, Brazil**. Remote Sensing. 2010; 2(4): 1057-1076, 2011. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/3/12/2682>>. Acesso em: 03 Março, 2019.

ALESP, Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo. **Dispões sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas**. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei-11241-19.09.2002.html>>. Acesso em: 06 Março, 2019.

BRASIL. **Decreto - Lei nº 9.034** de 27 de dezembro de 1994. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=73:legislacao&catid=44:legislacao>. Acesso em: 01 Outubro, 2019.

BURNHAM, K. P. et al. dr AnderSon. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. **Ecological Modelling. Springer Science & Business Media, New York, New York, USA**. Disponível em: <<https://scholar.google.com/citations?user=cn6l-l8AAAAJ&hl=pt-BR&oi=sra>>. Acesso em: 06 Março, 2019.

CBH-MP, Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio do Paranapanema. **Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – 17**. Disponível em: < <http://cbhmp.org/ugrhi-17/>>. Acesso em: 07 Abril, 2019.

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil**. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/5Bioetanol+de+Cana+de+Açucar+2009_6407.pdf>. Acesso em: 06 Março, 2019.

CANASAT, Monitoramento de cana-de-açúcar via imagens de satélite. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>>. Acesso em: 17 Março, 2019.

CNRH. Resolução n. 32, de 15 de outubro de 2003. Anexo I. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000147&pid=S0103-4014200800020000400001&lng=en>. Acesso em: 17 Março, 2019.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Pesquisa de Dados dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/>>. Acesso em: 01 Outubro, 2019.

ESRI. **ArcGIS Desktop: release 9.2**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2007.

FERREIRA, Sinésio Pires. Produção e disponibilização de estatísticas: uma abordagem institucional. **São Paulo em Perspectiva**, v. 17, n. 3-4, p. 17-25, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392003000300003>. Acesso em: 29 setembro, 2019.

GASPARINI, Kaio Allan Cruz et al. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na identificação de conflitos do uso da terra em Seropédica-RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 296-306, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/loram/2013nahead/aop_loram_014612.pdf>. Acesso em: 29 setembro, 2019.

GALVANIN, Edinéia AS et al. Mixed-effects modeling for analyzing land use change in the Brazilian Pantanal subregion of Cáceres. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938518300600>>. Acesso em: 01 Agosto, 2019.

GILES, P. T. ; FRANKLIN, S. E. An automated approach to the classification of the slope units using digital data. **Geomorphology** , v. 21, p. 251-264. 1998. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X97000640>>. Acesso em: 10 Outubro, 2019.

GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz-Caccia et al. CONTRIBUIÇÃO AO PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS EM BACIA HIDROGRÁFICA: GEOMORFOLOGIA E FRAGILIDADE GEOAMBIENTAL DA UGRH PARANAPANEMA. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 27, p. 21-46, 2014. <<http://www.periodicos.usp.br/rdg/article/view/85431>>. Acesso em: 13 Julho, 2019.

HUDSON, Berman D. The soil survey as paradigm-based science. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 836-841, 1992. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/56/3/SS0560030836>>. Acesso em: 10 Outubro, 2019.

IGNÁCIO, Sergio Aparecido. Importância da estatística para o processo de conhecimento e tomada de decisão. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, n. 118, p. 175-192, 2012.

Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Etanol Verde**. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/etanolverde/>>. Acesso em: 06 Março, 2019.

INPE. **Banco de Dados de Queimadas**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>>. Acesso em: 03 Março, 2019.

INVEST. Agência Paulista de Promoção de Investimentos e Competitividade. Setor de Negócios, Cana-de-açúcar. 2013. Disponível em: <<https://www.investe.sp.gov.br/>> Acesso em: 20 outubro, 2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. EPIPHANIO, J. C.N.; FORMAGGIO, A. R.; SANTOS, A. R.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C.M.; GALVÃO, L. S. (Tradução). São José dos Campos: Parêntese, 2009. 672p.

KOHLHEPP, Gerd. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estudos avançados*, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

KÖRTING, T. S. **Classificação de imagens por regiões**. São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/~tkorting/projects/isoseg/material.pdf>>. Acesso em: 03 Março, 2019.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 13 Julho, 2019.

MMA. GEO Brasil: Recursos Hídricos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2007. Acesso em: <http://www.cbcs.org.br/userfiles/download/6_GEO_Brasil.pdf>. Acesso em: 13 setembro, 2019.

NOVAES, M. R.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C. M.; AGUIAR, D. A. Análise espacial da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar: perspectivas futuras ao cumprimento do protocolo agroambiental. *Engenharia Agrícola (Impresso)*, v. 31, p. 572-583, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000300017&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 26 outubro, 2019.

PONZONI, Flávio Jorge; ALMEIDA, E. S. A estimativa do parâmetro kappa (K) da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 8, p. 52-58, 1996.

PORTO, Monica FA; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: <

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142008000200004&script=sci_arttext. Acesso em: 01 Abril, 2019.

RIBEIRO, Helena; PESQUERO, Célia. Queimadas de cana-de-açúcar: avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças. **estudos avançados**, v. 24, n. 68, p. 255-271, 2010.

RIBEIRO, Junior. PJ **Introdução ao Ambiente Estatístico R**. Disponível em: <<http://www.leg.ufpr.br/~paulojus/embrapa/Rembrapa/Rembrapa.pdf>>. Acesso em: 01 Abril, 2019.

RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor et al. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. **Remote sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2072-4292/2/4/1057>>. Acesso em: 15 setembro, 2019.

SALSBURG, D. **Uma senhora toma chá...: como a estatística revolucionou a ciência no século XX**. Rio de Janeiro: Zahar, 2009.

SILVA, C. E.; ROSA, A. P. **Geoprocessamento com utilização do satélite Landsat 5 TM área estudo de caso do município de Betim**. Disponível em: < <http://mundogeo.com/blog/2012/02/14/geoprocessamento-com-utilizacao-do-satelitelandsat-5-tm-para-estudo-de-caso-do-municipio-de-betim/>>. Acessado em: 15 setembro, 2019.

SIRTOLI, Angelo Evaristo et al. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia agraria**, v. 9, n. 3, p. 317-329, 2008. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/11517>>. Acesso em: 29 setembro, 2019.

STIGLER, Stephen M. The history of statistics: **The measurement of uncertainty before 1900**. Harvard University Press, 1986. Disponível em: <<https://books.google.com.br/bookshl=ptBR&lr=&id=M7yvkerHIIMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=STIGLER+S+M+The+history+of+statistics+the+measurement+of+uncertainty+befor+e+1900.+Cambridge+Belknap+Press+of+Harvard+University+Press+1986.&ots=GlrXEK&sig=ZGN8igpFP8l3Cr17U7z7AiqckkM#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 29 setembro, 2019.

Rodrigues, A. P.; Rodrigues, L. **A nova agenda do setor sucroenergético: o etanol e os desafios do mercado interno**. AgroAnalysis. V. 28, n.08, p.19-36, 2008.

ROSA, R. **Geotecnologias na Geografia Aplicada**. Revista do Departamento de Geografia (USP), São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005. 78

ROSA, Roberto. **Introdução ao sensoriamento remoto**. In: Introdução ao sensoriamento remoto. EDEFU, 1990.

RSTUDIO TEAM, 2015. **RStudio: Integrated Development for R**, RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. **Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data**. Remote Sensing. 2010; 2(4):1057-1076, 2010. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/2/4/1057>>. Acesso em: 01 Abril, 2019.

SALKIND, Neil J. (Ed.). **Encyclopedia of research design**. Sage, 2010.

SÃO PAULO. **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhmp/apresentacao>>. Acesso em: 01 Abril, 2019.

SATVeg. Sistema de Análise Temporal da Vegetação. **ferramenta Web desenvolvida pela Embrapa Informática Agropecuária, destinada à observação de perfis temporais de índices vegetativos**. Disponível em: <<https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/pages/home.html>>. Acesso em: Julho/2019.

SKOLE, David; TUCKER, Compton. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. **Science**, v. 260, n. 5116, p. 1905-1910, 1993. Disponível em: <<https://science.sciencemag.org/content/260/5116/1905>>. Acesso em: 01 Outubro, 2019.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA-SP). 392 **Eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar**. 2009. Disponível em: <<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/default.aspx?idPagina=123>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

SOUZA, C. **A influência do ritmo climático na morbidade respiratória em ambientes urbanos**. 2007. 199f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia Campus de Presidente Prudente, 2007.

TOPODATA, **Aquisição topográfica dos dados SRTM, Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, DSR/INP**, 2008. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 01 Abril, 2019.

TUCCI, C. E. M. 1997. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000165&pid=S0103-4014200800020000400010&lng=en>. Acesso em: 01 Abril, 2019

YANG, Xlaojun. Satellite monitoring of urban spatial growth in the Atlanta metropolitan area. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 68, n. 7, p. 725-734, 2002.

APÊNDICE

Apêndice 1. Modelo implementado no software RStudio.

```
1 #####
2 # MODELO
3 #####
4
5 #Ano 2000
6
7 ##### 2000
8 aux00 <- read.table("2000.txt",header=T)
9 dados2000 <- data.frame(rep(2000, length(aux00$Area)), aux00$Area, aux00$Focos, aux00$Declividade)
10 colnames(dados2000) <- c("Ano", "Area", "Focos", "Declividade")
11 table(dados2000$Focos)
12 table(dados2000$Declividade)
13
14 #Ano 2006
15
16 ##### 2006
17 aux2006 <- read.table("2006.txt",header=T)
18 dados2006 <- data.frame(rep(2006, length(aux2006$Area)), aux2006$Area, aux2006$Focos, aux2006$Declividade)
19 colnames(dados2006) <- c("Ano", "Area", "Focos", "Declividade")
20 table(dados2006$Focos)
21 table(dados2006$Declividade)
22
23
24 #Ano 2012
25
26 ##### 2012
27 aux2012 <- read.table("2012.txt",header=T)
28 dados2012 <- data.frame(rep(2012, length(aux2012$Area)), aux2012$Area, aux2012$Focos, aux2012$Declividade)
29 colnames(dados2012) <- c("Ano", "Area", "Focos", "Declividade")
30 table(dados2012$Focos)
31 table(dados2012$Declividade)
32
33 #Ano 2018
34
35 ##### 2018
36 aux2018 <- read.table("2018.txt",header=T)
37 dados2018 <- data.frame(rep(2018, length(aux2018$Area)), aux2018$Area, aux2018$Focos, aux2018$Declividade)
38 colnames(dados2018) <- c("Ano", "Area", "Focos", "Declividade")
39 table(dados2018$Focos)
40 table(dados2018$Declividade)
41
42 #####
43 # Soma da AREAS pelo TIPO DE USO
44
45 par(mfrow = c(2, 3), mar = c(1, 1, 1, 0.5), mgp = c(2, 0.8, 0))
46 boxplot(dados2000$Focos ~ dados2000$Declividade, main="2000 - Declividade", outline=F, cex.axis=0.3, ylim=range(0,100))
47 boxplot(dados2006$Focos ~ dados2006$Declividade, main="2006 - Declividade", outline=F, cex.axis=0.7, ylim=range(0,30))
48 boxplot(dados2012$Focos ~ dados2012$Declividade, main="2012 - Declividade", outline=F, cex.axis=0.7, ylim=range(0,30))
49 boxplot(dados2018$Focos ~ dados2018$Declividade, main="2018 - Declividade", outline=F, cex.axis=0.7, ylim=range(0,30))
```

```

52 ▾ #####
53 # ANÁLISE TEMPORAL #
54 ▾ #####
55 # análise preliminar da base de dados
56 basedados <- rbind(dados2000, dados2006, dados2012, dados2018)
57 summary(basedados)
58
59 head(basedados)
60 tail(basedados)
61 table(basedados$Ano, basedados$Focos)
62 with(basedados, table(Ano,Focos))
63 table(basedados$Ano, basedados$Focos)
64
65 Ano <- c(rep(2000,4), rep(2006,4), rep(2012,4), rep(2018,4))
66 Focos_by_Declividade <- cbind(Ano, rbind(Focos_by_Declividade2000, Focos_by_Declividade2006, Focos_by_Declividade2012, Focos_by_Declividade2018))
67 Focos_by_Declividade
68
69 aux <- table(Focos_by_Declividade$Ano, Focos_by_Declividade$Category)
70 aux[1,] <- Focos_by_Declividade$x[Focos_by_Declividade$Ano==2000]
71 aux[2,] <- Focos_by_Declividade$x[Focos_by_Declividade$Ano==2006]
72 aux[3,] <- Focos_by_Declividade$x[Focos_by_Declividade$Ano==2012]
73 aux[4,] <- Focos_by_Declividade$x[Focos_by_Declividade$Ano==2018]
74
75 aux
76
77 ##### Distribuição de Focos por Declividade
78 barplot(aux/10, beside=T, legend.text=c("2000", "2006", "2012", "2018"),
79        args.legend=locator(1), bty="n", #args.legend=c(x=20,y=55000),
80        main= "", xlab="", ylab="Focos", cex.names=0.9)
84 ▾ #####
85 # Linear Mixed Model #
86 ▾ #####
87 attach(basedados)
88 names(basedados)
89 summary(basedados)
90 ▾ #####
91 ▾ #####
92 require(ggplot2)
93 require(GGally)
94 require(reshape2)
95 require(lme4)
96 require(compiler)
97 require(parallel)
98 require(boot)
99 library(bbmle)
100 library(RVAideMemoire)
101 library(MuMIn)
102 library(lattice)
103 ▾ #####
104 modelo01 <- lmer(Area ~ 1 + (scale(Ano)|Declividade), data=basedados)
105 extractAIC(modelo01) #223059.6
106 summary(modelo01)
107 # NOTE
108 summary(basedados$Ano)
109 summary(scale(basedados$Ano))
110 ▾ #####
111 modelo02 <- lmer(Area ~ 1 + Focos + (scale(Ano)|Declividade), data=basedados)
112 AIC(modelo02) #219478.3
113 anova(modelo01, modelo02, refit=TRUE)
114 ranef(modelo02)
115 VarCorr(modelo02)
116 dotplot(ranef(modelo02, which="", condVar = TRUE), scales = list(y = list(alternating = 0)))
117 summary(modelo02)
118 dotplot(ranef(modelo02, condVar=TRUE))
119 dotplot(ranef(modelo01, condVar=TRUE))

```

Apêndice 2. Registros de queimada em área de plantio de cana-de-açúcar, na região do município de Ourinhos - SP.



ALVES. 14 de agosto de 2019.



ALVES. 14 de agosto de 2019.



ALVES, 13 de agosto de 2019.



ALVES, 14 de agosto de 2019.