

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Departamento de Ciência do Solo

**Análise pretérita da cobertura de vegetação nativa do município de
Piracicaba, São Paulo, Brasil**

Zenilda Ledo dos Santos

Orientador Prof.Dr.Gerd Sparovek

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do
Título de Bacharel e Licenciada em Ciências Biológicas

Piracicaba

2020

Agradecimentos

À minha família, pela torcida

À minha irmã, Claudinéia, que desde sempre foi força e motivação;

À minha mãe, Antônia, pelas muitas orações e torcida;

As pessoas especiais que conheci, que me trouxeram alegrias e novas histórias;

Aos amigos e às irmãs que ganhei nesse lugar, que com certeza levarei pela vida toda;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por toda estrutura e oportunidades durante os anos de graduação;

Ao Professor Doutor Gerd Sparovek, pela orientação e amizade;

Ao Doutorando Paulo André Tavares, por compartilhar do seu conhecimento, coorientação, tempo e oportunidades;

À Pós Doutoranda Alice Brites por toda ajuda, paciência e companhia durante o cafezinho rsrs...

Ao professor Doutor Paulo Guilherme Molin e ao Doutor Gustavo Casoni da Rocha pela disponibilidade em participar e contribuir para a avaliação deste trabalho.

À toda equipe do GEOLAB e GPP, pelo companheirismo e por se tornarem meus amigos;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, que concedeu bolsa de Iniciação Científica que colaborou para realização dos trabalhos;

A Deus, por tornar tudo isso possível

SUMÁRIO

Agradecimentos	2
Lista de Figuras	5
Lista de Tabelas	6
RESUMO	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. METODOLOGIA	11
2.1 Área de Estudo	11
2.2. Caracterização do banco de dados	12
2.3 Pré processamentos	17
2.4 Processamento do modelo de vegetação nativa	18
2.4.1 Criando um Índice de Probabilidade Agrícola	18
2.5 Aplicação da Lei de Proteção da Vegetação Nativa	21
2.6 Similaridade entre o mapa gerado e o mapa probabilístico da cobertura de vegetação nativa e áreas agrícolas para o estado de São Paulo na década de 1920.	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1 Aplicação do Código Florestal de 1934, 1965 e da Lei 7.803/89 para o município de Piracicaba – SP	28
4. CONCLUSÕES	31
5. REFERÊNCIAS	32

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa do município de Piracicaba - SP em 1938 Fonte: IGC.....	14
Figura 2: Mapa da Evolução da Mancha de Piracicaba - SP Fonte: IPPLAP.....	15
Figura 3: Mapa de aptidão agrícola adaptada do município de Piracicaba -SP 1920 Fonte: WRI 2017.....	16
Figura 4: Mapa probabilístico da cobertura de vegetação nativa e áreas agrícolas para o estado de São Paulo na década de 1920. Fonte: TAVARES, 2019.....	23
Figura 5: Mapa da Malha Viária e Mancha urbana do Município de Piracicaba em 1930 Fonte: IGC, IPPLAP.....	24
Figura 6: Mapa probabilístico de agricultura e vegetação nativa no município de Piracicaba-SP em 1930.....	25
Figura 7: Similaridades entre os mapas de uso de solos de 1915 e o mapa probabilístico de 1930.....	26
Figura 8: Mapa de sobreposição dos fragmentos de Cerrado e Mata Atlântica do IBGE de 1965 com o mapa probabilístico de 1930.....	27
Figura 9: Mapa de distribuição dos pontos para análise da matriz de confusão entre os mapas estadual e municipal atual de uso de solos.....	28
Figura 10: Mapa dos déficits de RL sem a aplicação do Art.68 por propriedade (ha).....	31
Figura 11: Mapa dos déficits de RL com a aplicação do Art.68 por propriedade (ha).....	31

Lista de Tabelas

Tabela 1: Dados utilizados para montar o mapa probabilístico do uso de solo de 1930.....	12
Tabela 2: Dados do Censo Agropecuário de 1920 para o município de Piracicaba-SP.....	17
Tabela 3: Dados de Déficit de RL e Excedentes de Piracicaba-SP considerando os marcos legais de 1934,1965 e 1989 com a aplicação do artigo 68 da LPVN.....	29

RESUMO

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) é um mecanismo de regulamentação nacional para a proteção de vegetação nativa e o equilíbrio entre o setor produtivo. A LPVN substitui a Lei Federal 4.771/1965, conhecida como Código Florestal de 1965, essa mudança trouxe alterações gerando dificuldades de interpretação em um de seus artigos. O artigo 68 propõe que “ Os proprietários de imóveis rurais que realizaram supressão de vegetação nativa respeitando os percentuais de Reserva Legal (RL) previstos pela legislação em vigor à época em que ocorreu a supressão são dispensados de promover a recomposição, compensação ou regeneração para os percentuais exigidos nesta Lei.” Diante disso, o Ministério Público decidiu considerar como marco inicial de análise o Código Florestal de 1934 para os processos de regularização ambiental. Visto que no Brasil não há dados espacializados antes da década de 60, tornou-se necessário o desenvolvimento de um modelo probabilístico para simular as áreas de vegetação nativa e as áreas de produção agrícola no município de Piracicaba –SP. Para o desenvolvimento do mapa, foram utilizados dados existentes de (i) rodovias (ii) ferrovias (iii) mancha urbana (iv) censo agropecuário de 1920 e (v) aptidão agrícola adaptada. A partir da manipulação desses dados foi possível simular as áreas de vegetação nativa e as áreas agrícolas do município de Piracicaba em 1930, bem como identificar as áreas de similaridades com o mapa probabilístico de vegetação nativa de 1920 desenvolvido para o estado de São Paulo contexto histórico e outras bases existentes como o uso da terra de 1965 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O mapa probabilístico foi utilizado como dados de entrada para a identificação de déficit RL e excedentes de vegetação nativa de acordo com as exigências do artigo 68 da LPVN. O resultado desse trabalho mostra-se como produto de validação metodológica para a modelagem desenvolvida para o estado de São Paulo e também como apoio aos gestores para tomadas de decisão em políticas públicas.

Palavras-chave: uso de solos; código florestal; reservas legais

1. INTRODUÇÃO

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN), é o principal mecanismo de regulamentação nacional para proteger vegetação nativa em terras privadas (BRASIL,2012). A LPVN é de extrema importância para obter o equilíbrio entre a preservação de vegetação nativa e as atividades econômicas, contribuindo desse modo para a conservação da biodiversidade. A LPVN substitui a anterior, a Lei Federal 4.771/1965, conhecida popularmente como Código Florestal de 1965. Embora essa substituição tenha mantido a Reserva Legal (RL), ou seja, é o percentual da área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural que deve ser mantida cobertura de vegetação nativa, a LPVN trouxe diversos mecanismos que reduzem a exigência de RL, entre eles, um dos mais polêmicos é o artigo 68 que:

“Art. 68. Os proprietários ou possuidores de imóveis rurais que realizaram supressão de vegetação nativa respeitando os percentuais de Reserva Legal previstos pela legislação em vigor à época em que ocorreu a supressão são dispensados de promover a recomposição, compensação ou regeneração para os percentuais exigidos nesta Lei.” (BRASIL,2012)

Tendo em vista a dificuldade de interpretação do Artigo 68 da LPVN, o estudo de Tavares et al. (2019) desenvolveu um mapa probabilístico das áreas de vegetação nativa e as áreas de produção agrícola no estado de São Paulo em 1920. Esse trabalho torna o estado pioneiro nesse processo visto que é o único que possui o artigo 68 modelado na escala das propriedades rurais.

Outra mudança presente na LPVN é o estabelecimento de que cada estado deve criar o seu próprio Programa de Regularização Ambiental (PRA). O PRA de acordo com o Art. 9º, Dec. 7.830/12 é:

“Art. 9º Serão instituídos, no âmbito da União, dos Estados e do Distrito Federal, Programas de Regularização Ambiental - PRAs, que compreenderão o conjunto de ações ou iniciativas a serem desenvolvidas por proprietários e posseiros rurais com o objetivo de adequar e promover a regularização ambiental com vistas ao cumprimento do disposto no Capítulo XIII da Lei no 12.651, de 2012.”(BRASIL,2012)

No Estado de São Paulo o PRA é regulamentado pela Lei Estadual 15.684/2015 e apresenta como instrumentos o Cadastro Ambiental Rural (CAR), o Termo de

Compromisso e o Projeto de Recomposição de Áreas Degradadas (PRADA). A Lei estadual possui o artigo 27 que é equivalente ao artigo 68 da LPVN pois estabelece que:

“Os proprietários ou possuidores de imóveis rurais que realizaram supressão de vegetação nativa respeitando os limites impostos pela legislação em vigor à época em que ocorreu a supressão são dispensados de promover a recomposição, compensação ou regeneração para os percentuais de Reserva Legal exigidos pela Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012.” (Lei Estadual 15.684/2015)

As leis do Estado de São Paulo estabelecem que, para a análise do artigo 27 devem ser utilizados os seguintes marcos legais: Código Florestal de 1934, Código Florestal de 1965, Lei de proteção ao Cerrado de 1989 e a LPVN.

O Decreto 23.793/1934, conhecido como Código Florestal de 1934, determinou em âmbito federal, em seu Art.23 que proprietários de terras deveriam proteger 25% das “mattas” existentes na propriedade (BRASIL 1934). Em seguida, no ano de 1965 a Lei 4.771/1965 estabeleceu em seu Art.16 que as propriedades rurais deveriam manter 20% da área do imóvel com cobertura arbórea. Já no ano de 1989 a Lei 7.803/1989, conhecida como Lei de proteção do Cerrado, em seu Art.16 fez alterações no Código Florestal de 1965 e confirmou a proteção de 20% de reserva legal para o Cerrado brasileiro. Por fim, a último marco na Constituição federal foi a LPVN que trouxe mudanças no processo de regularização ambiental conforme mencionando anteriormente, pois estabelece a RL de acordo com a localização do imóvel, do seguinte modo:

I - Localizado na Amazônia Legal:

- a) 80%, no imóvel situado em área de florestas;
- b) 35%, no imóvel situado em área de cerrado;
- c) 20% (vinte por cento), no imóvel situado em áreas de campos gerais;

II - Localizado nas demais regiões do País: 20% (vinte por cento).

Para compreender a distribuição das áreas de vegetação nativa e agrícolas dentro de propriedades rurais, são necessárias representações gráficas e com o

passar dos anos, e um número cada vez maior de informações, surgiu então a necessidade de desenvolver e automatizar os bancos de dados.

Os países pioneiros na utilização do processamento de dados com ferramentas espaciais foram Canadá, Inglaterra e Estados Unidos, em meados de 1950. No Brasil, o uso dessas tecnologias iniciou-se em 1980, através do desenvolvimento de um software conhecido como SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Inicialmente, esse software foi criado para fins acadêmicos. A partir de 1990, empresas privadas e instituições públicas, como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), passaram a utilizar essa tecnologia para tomadas de decisões (ROSA, 2011).

Uma das formas de processamento de dados ocorre através do Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS - Geographic Information System), cujo objetivo é a integração de sistemas computacionais, ou seja, hardware e software capazes de capturar, armazenar, manipular, analisar, modelar e consultar dados referenciados espacialmente que podem ser utilizados para diferentes áreas de análise e gerenciamento de recursos. Diferentes definições de SIG são encontradas na literatura com o intuito de demonstrar seus princípios fundamentais e aplicações (MAGUIRE, 1991).

Devido a sua versatilidade, o uso do SIG na agricultura foi disseminado, sendo possível avaliar relevo, atributos e degradação dos solos em uma região, por meio de dados espaciais. No ambiente de SIG é possível a sobreposição de diferentes informações espaciais, tais como pontos ou linhas coletadas em campo através de equipamentos de GPS (Global Positioning System, que em português significa "Sistema de Posicionamento Global"), vegetação mapas de diferentes bases de dados, imagens, modelos digitais de elevação permitindo a composição de um mapa de uso do solo de um determinado imóvel.

No Brasil, os dados espacializados de imóveis rurais só passaram a ser realizados após um convênio entre o governo brasileiro e os Estados Unidos assinado em 1962 e que contou com a participação da Academia da Força Aérea Americana (USAF), no qual realizou fotografias aéreas, na escala de 1:100.000 e 1:50.000 (MELLO, 1986). Diante disso, é possível identificar que as ferramentas de SIG desempenham um papel de extrema importância para o estabelecimento de Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente.

Na literatura, trabalhos já publicados (Sparovek *et al.*, 2012; Sparovek *et al.*, 2015) desenvolveram modelos de uso da terra para quantificar a oferta e a

demanda de Cotas de Reserva Ambiental (CRA). O CRA é oferecido aos proprietários de imóveis que apresentam excedentes de vegetação nativa dentro da propriedade. Posteriormente, outro estudo apresenta em escala nacional, uma análise da LPVN e estabelece geograficamente os principais mecanismos legais vigentes relacionados à conservação e ao setor produtivo nas propriedades rurais brasileiras. (Freitas; Sparovek; Matsumoto, 2016).

O estudo desenvolvido por Tavares *et al.*(2019) baseou-se nas metodologias dos trabalhos citados anteriormente para desenvolver um mapa probabilístico de vegetação nativa para os períodos sem informação cartográfica, baseado nas informações do censo de 1920 para identificar a evolução do déficit de RL no estado de São Paulo.

Buscando contribuir para o processo de regularização em uma escala municipal, este trabalho tem como objetivo central; (i) desenvolver um mapa probabilístico de vegetação nativa para o município de Piracicaba – SP da década de 30 para fins de aplicação da legislação ambiental vigente e fornecer dados para tomadas de decisões dos gestores no apoio de políticas públicas e (ii) verificar a similaridade do modelo municipal com o criado para o estado de São Paulo (TAVARES, 2019).

2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O município de Piracicaba foi fundado em 1767 e atualmente possui uma área de 1.378,069 km² e população estimada em 407.252 habitantes (IBGE,2020). Caracteriza-se como metrópole em sua região e hoje é um polo tecnológico voltado ao agronegócio, isso deve-se pela presença da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo e de companhias de tecnologias como a Raizen, Mérieux (Bioagri), Koppert, Caterpillar do Brasil, Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) entre outras (SNA,2016).

Apresenta uma elevação que varia de 420m a 780m, apresentando uma altitude média de 528m. O município apresenta em sua grande maioria, áreas cuja taxa de declividade varia entre 0 a 12% e 20 % do território apresenta taxas acima

de 12%. Apresenta-se como município privilegiado devido a sua diversidade de solos encontrados como: alissolo crômico, argissolo amarelo, argissolo vermelho, argissolo vermelho-amarelo, cambissolo háplico, chernossolo ebânico, gleissolo háplico, latossolo vermelho, latossolo vermelho-amarelo, neossolo flúvico, neossolo litólico, nitossolo háplico e nitossolo vermelho. As variações de textura e componentes químicos de cada solo e sua profundidade são bem diversas e gera uma fragmentação no uso da terra. Nas áreas mais férteis, predomina a cana de açúcar e as áreas com maior declividade e baixa aptidão agrícola são utilizadas como pastagens ou são abandonadas para estabelecer a regeneração natural dessas áreas (Barretto, 2006).

2.2. Caracterização do banco de dados

Tabela 1: Dados utilizados para montar o mapa probabilístico do uso de solo de 1930

Variável	Forma disponível do dado	Forma utilizada do dado	Ano	Fonte
Município de 1920	Vetorial	Vetorial	2011	IBGE
Censo de 1920	Tabular	Tabular	1920	IBGE
Mancha Urbana	Imagem	Vetorial	2014	IPPLAP
Malha Viária (Rodovias e Ferrovias)	Imagem	Vetorial	1938	IGC
Aptidão Agrícola Adaptada	Imagem	Raster	2017	WRI

Rede Logística

A rede logística tem a função de: (i) permitir o acesso ao mercado e (ii) o deslocamento de pessoas e foram incluídas por serem utilizadas para o escoamento de mercadorias, também contribuíram para moldar o panorama urbano e estimular o crescimento econômico em suas proximidades (MATOS,

1990). As ferrovias trouxeram uma forte influência no processo de valorização das terras além de contribuir com a expansão agrícola no Estado de São Paulo e auxiliar no desenvolvimento do país. Já as rodovias e estradas existentes no município eram em sua grande parte vicinais, sendo utilizadas para deslocamento de pessoas e comércio local, visto que os investimentos no sistema rodoviário do país só viriam ocorrer a partir da década de 50 com os interesses de capitais internacionais de países que acreditavam na potencialidade do mercado automobilístico brasileiro, como, por exemplo, os Estados Unidos (NATAL, 1991).

A rede logística existente no município foi utilizada como dados de entrada para a criação da variável de logística, que consiste na média geométrica dos seguintes parâmetros: (i) distância de estradas; (ii) distância de ferrovias e (iii) distância da mancha urbana. Para as distâncias de estradas e ferrovias foi utilizado o mapa do município de Piracicaba no ano de 1938, disponibilizado pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) conforme mostra a figura 1.

Este mapa foi utilizado para o estudo, por se tratar de o um mapa desenvolvido para atender o Art. 13 do Decreto de Lei nº 311, de 2 de Março de 1938, que instituiu que cada município do país, entregasse na Secretaria do Diretório Regional de Geografia, no prazo de um ano, o mapa de todo território; Além disso, o mapa apresenta informações claras sobre as rodovias e ferrovias do município em questão (BRASIL, 1938).



Figura 1: Mapa do Município de Piracicaba - SP 1938 Fonte: IGC

Para a distância da mancha urbana foi utilizado o mapa de a Evolução da Mancha Urbana do município no período entre 1920 e 1940 (Figura 2) e posteriormente até 2010, apresentando a evolução das áreas urbanas a cada 10 anos. O mapa disponibilizado pelo Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba (IPPLAP), foi utilizado como base para simular a área urbana presente na época.

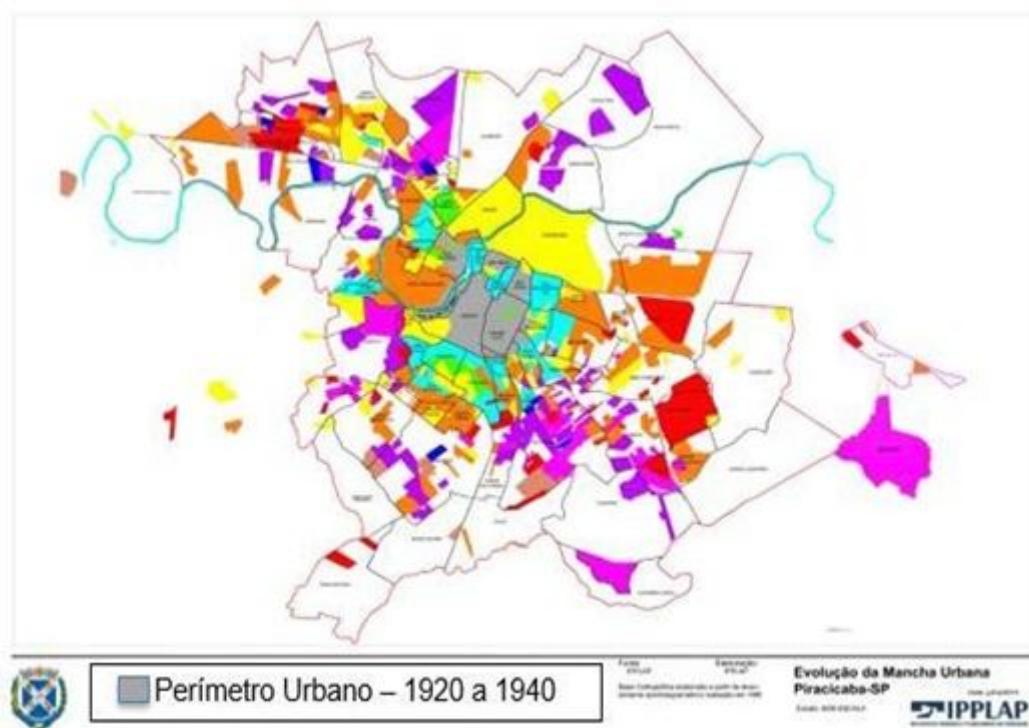


Figura 2: Mapa da Evolução da Mancha de Piracicaba - SP Fonte: IPPLAP

Aptidão Agrícola

A aptidão agrícola é um fator essencial para uma utilização coerente dos recursos ecológicos disponíveis em uma área, pois apresenta o potencial produtivo existente no local evitando, desse modo, que haja uma sobrecarga no ecossistema. Estudos comprovam que a aptidão agrícola posiciona-se como um indispensável elemento para levantamentos pedológicos, projetos de zoneamentos municipais (PEREIRA, 2004). Para esse estudo foi utilizado o mapa de aptidão da World Resources Institute (2017) e adaptado por TAVARES (2019) aos problemas de fertilidade existentes na época, como as declividades das áreas em que era inviável o uso agrícola. Estudos voltados à aptidão das terras no Brasil e o início da mecanização do campo só viria ocorrer a partir da década de 50, através de estudos do Instituto de Pesquisa IBEC e a participação de grupos privados como a indústria algodoeira (Guilherme, Lopes, 2007).

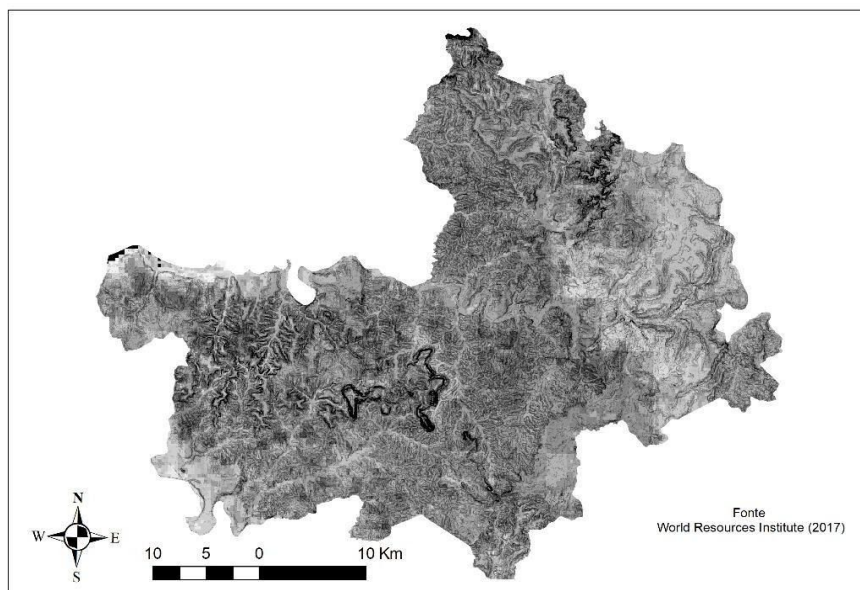


Figura 3: Mapa de aptidão agrícola adaptada do município de Piracicaba -SP 1920 Fonte: WRI

2017

Censo Agropecuário

Para obter as áreas de propriedades rurais sem vegetação nativa, ou seja, áreas consolidadas do município de Piracicaba foi utilizado o censo agrícola de 1920 por ser o mais próximo do marco legal inicial da análise, ou seja, o Código Florestal de 1934 (IBGE, 1923). Também é importante destacar que esse foi o primeiro censo a conter dados voltados para a agricultura e a indústria, visto que outros os censos realizados nos anos de 1872, 1890 e 1900, apenas consideravam a densidade demográfica, ou seja, apresentavam a contagem da população por área, em quilômetro quadrado, e apontavam características como: informações quanto ao sexo, nacionalidade, cor, grau de alfabetização e religião (IBGE 1956). Outro fator importante para escolha do censo foi que o censo de 1900 foi considerado incompleto, devido à deficiência dos dados apresentados, e, devido a isso, a Diretoria Geral de Estatística realizou uma edição especial de correção no ano de 1907 (OLIVEIRA 2003).

A partir deste censo foram extraídos: (i) área total do município; (ii) dados não especializados sobre a área de vegetação nativa, e (iii) dados não especializados sobre a área das propriedades agrícolas. Segundo as informações disponíveis no Censo de 1920, foi possível identificar que a superfície territorial do

município nesse período era de 129.300 ha, sendo desse total, 104.061 ha em propriedades rurais. Desse montante apresentado pelo censo, uma área de 17.134 ha foi classificada como área de mata dentro do município conforme descrito na tabela 2.

Tabela 2: Dados do Censo Agropecuário de 1920 para o Município de Piracicaba -SP

Superfície territorial (ha)	Área de estabelecimentos Rurais (ha)	Área ocupada por matas em estabelecimentos rurais (ha)	Área Disponível para agropecuária (ha)	Relação entre a área de estabelecimentos rurais e superfície dos municípios (%)	Relação entre as áreas de matas e os estabelecimentos recenseados (%)	Porcentagem de Área Agrícola em relação ao total da área do município (%)
129300	104061	17134	86927	80,5	16,5	67,2

Em uma segunda etapa, foi dividido a área consolidada pela área total do município para obter a porcentagem de área consolidada no município.

Limite municipal utilizado

O limite municipal utilizado foi a divisão municipal de 1920 disponível no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Se compararmos com o ano atual de 2020 e o ano de 1938, podemos destacar que há uma diferença na área total, visto que em divisões territoriais datadas de 31/12/1936 e 31/12/1937, o município é constituído de 6 distritos: Piracicaba, Ibituruna, João Alfredo, Tupi, Vila Rezende e Charqueada (IBGE CIDADES, 2018). Portanto, no período estudado para a aplicação do Código Florestal de 1934, o município apresenta um limite maior que o atual, pois os municípios de Saltinho e Charqueada pertenciam à Piracicaba.

2.3 Pré processamentos

Para minimizar os erros de georreferenciamento utilizou-se para a vetorização uma fonte de coordenada conhecida; projeção cônica de Albers para América do Sul, com projeto em Unidade Transversa de Mercator (UTM).As limitações enfrentadas nesse processo devem-se ao fato de que no mapa municipal de 1938 não contém os nomes das rodovias presentes sendo, portanto,

as mesmas identificadas através da descrição do mapa e comparadas juntamente com as imagens de satélite disponíveis no Basemap, dentro do software ArcGis.

Para o processo de edição de estradas e ferrovias foram realizados os seguintes passos:

- Inicialmente, foi executado o georreferenciamento do mapa de 1938, utilizando 55 pontos de controle entre a imagem TIFF e o limite municipal de 1920 disponível no site do IBGE, utilizando a coordenada SAD_1969_Albers

Para isso utilizou-se o algoritmo polinomial de 1ª Ordem, com erro quadrado médio (RMS error) de aproximadamente 0,6 pixels.

- Foram criados Shapefiles com as informações apresentadas no mapa e realizada a edição das rodovias e ferrovias do município.

Para o processo de edição da mancha urbana foram realizados os seguintes passos:

- Inicialmente, foi executado o georreferenciamento do mapa de Evolução da Mancha Urbana utilizando 30 pontos de controle entre a imagem TIFF e o limite municipal de 1920 disponível no site do IBGE, utilizando a coordenada SAD_1969_Albers. Utilizando o algoritmo de 1ª Ordem, com erro quadrado médio (RMS error) de 0,53 pixels.
- Foi criado um shapefile com as informações apresentadas no mapa e realizada a mancha urbana do município.

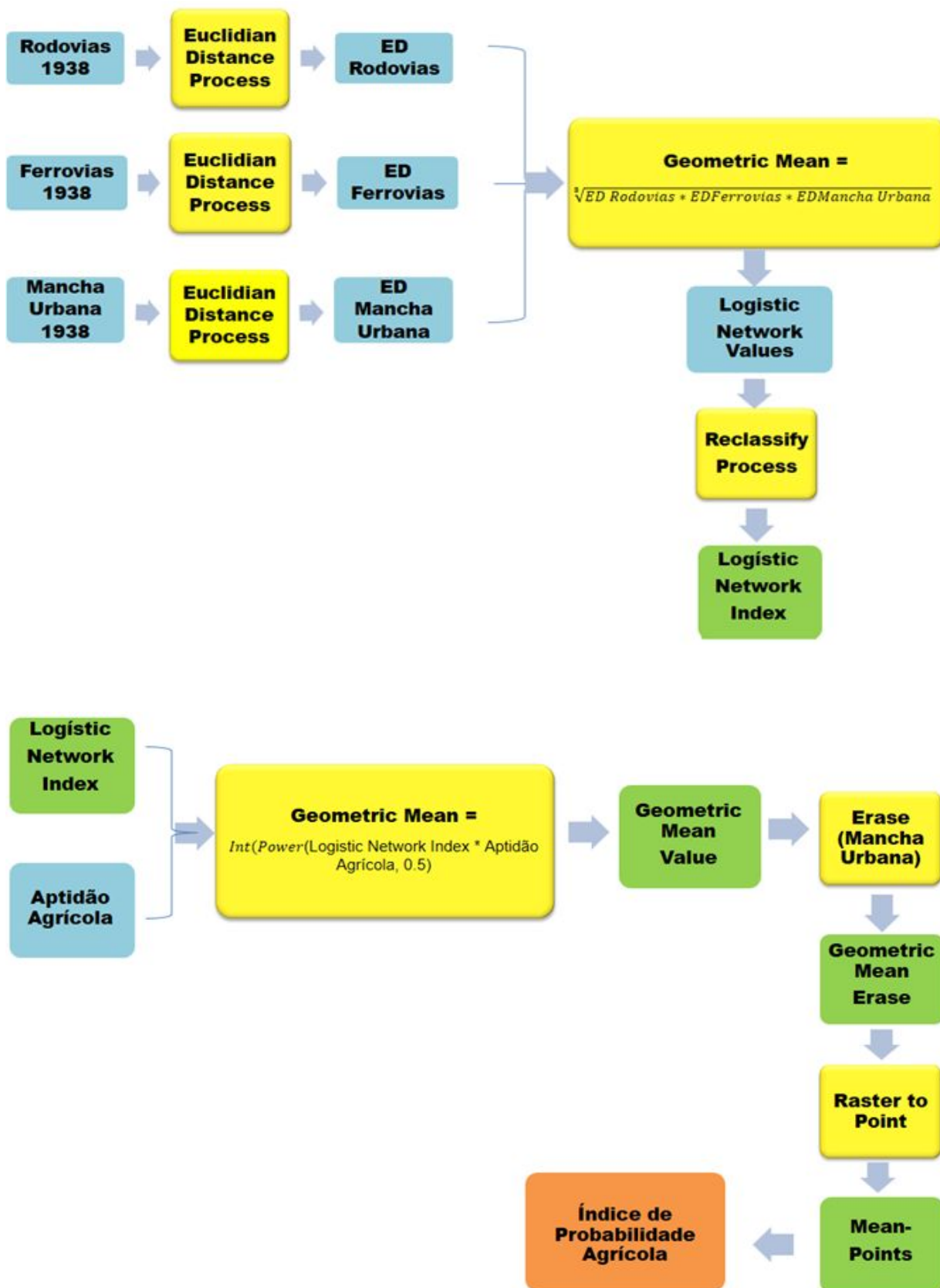
Para facilitar o entendimento e interpretação do modelo, visto que a base de dados é composta por dados de 1920 e 1938, estabelecemos que a data padronizada será de 1930.

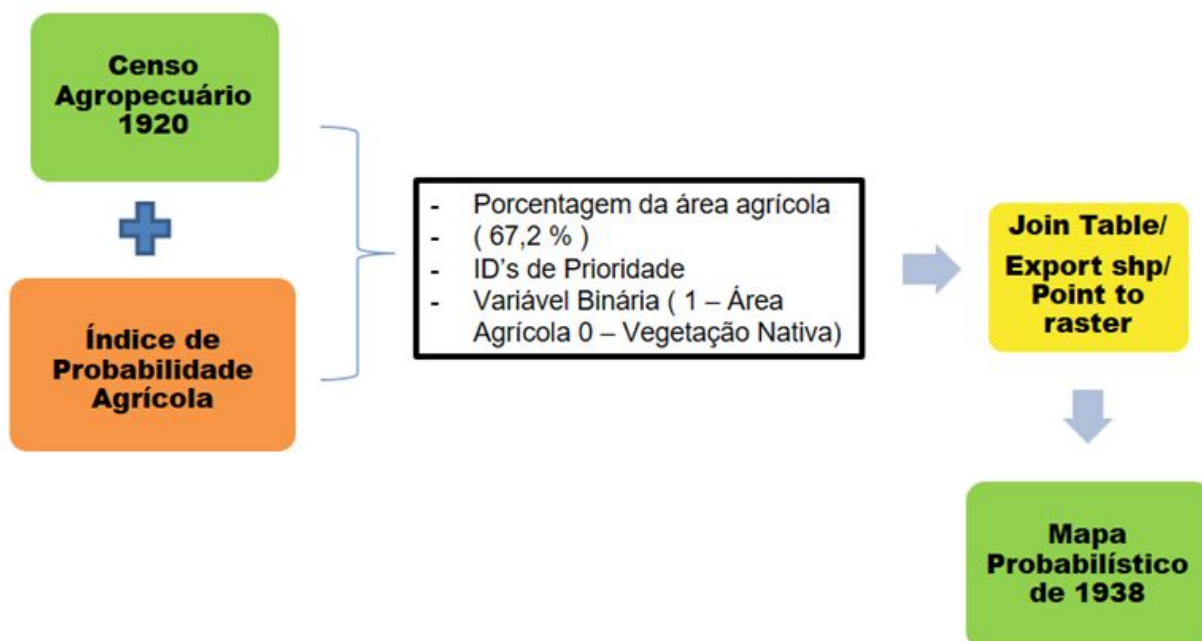
2.4 Processamento do modelo de vegetação nativa

2.4.1 Criando um Índice de Probabilidade Agrícola

Para o processamento da vegetação nativa foram utilizados dados pré-processados de (i) logística e (ii) aptidão agrícola.

Para interpretação de como foi realizado o processamento, apresentamos como apoio o seguinte fluxograma.





A primeira etapa para estimar e especializar as áreas agrícolas em um período próximo à 1934 foi criar um índice que represente a probabilidade de uma determinada área ser ocupada por agricultura. Chamamos este índice de “Índice de Probabilidade Agrícola” (IPA) e ele representa a probabilidade de um pixel de 30m X 30 m ser usado para a agricultura.

Assumimos que a expansão agrícola ocorre preferencialmente o mais próximo possível de estradas, rodovias e ferrovias para o transporte dos insumos e em áreas com condições mais favoráveis para as práticas agrícolas. A seguir descreveremos como o IPA foi desenvolvido.

Após as edições da rede logística, foram extraídas as distâncias euclidianas da área urbana, malha ferroviária e rodoviária, convertendo esses vetores para raster de 30m x 30m para posteriormente ser extraído os valores da malha viária, limitando-se à área total do município. Em seguida foi realizado uma média geométrica entre as distâncias euclidianas e criado um índice de normatização dos dados de 0 a 1000, em que 0 caracteriza distâncias maiores que 10 km de rodovias e ferrovias e o valor 1000 foram pixels com proximidade mínima de 30m.

Os dados de normatização de 1m até 10km foram definidos baseando-se no período histórico, visto que os investimentos no sistema rodoviário e automobilístico brasileiro viriam ocorrer a partir da década de 50, no período entre 1920 e 1940 era comum o uso de cavalos para transportes de mercadorias e para

auxílio no plantio. O estudo realizado por ZSOLDOS, R. R. et al.(2010) relata que a capacidade de locomoção de um cavalo sem peso é de 4,5 km/h. Quando consideramos distâncias de 20 km, 10 km de ida e 10 km da volta, teríamos a duração do deslocamento total de 4h e 30 min aproximadamente, entretanto, com peso a velocidade do animal diminui e podemos inferir que a distância máxima de 10 km permitiria o proprietário ter acesso às áreas de logística e retornar para sua propriedade em um mesmo dia.

Após definidas as distâncias euclidianas de logística, foi gerada a média geométrica entre essas distâncias e em seguida esses valores foram normalizados de 0 a 1000, o qual 0 refere-se a maior necessidade de manejo para instalar uma cultura para um pixel e 1000 para as melhores condições naturais para o uso agrícola.

Posteriormente, os valores dos pontos extraídos da média geométrica entre o raster de logística e a aptidão agrícola adaptada, foram reorganizados do maior para o menor dentro do município é atribuído um novo ID, respeitando a sua prioridade. Na fase seguinte, foi feito um comando de repetição para cada ID de maior prioridade representando o percentil de prioridade para receber a realocação até o menor. Feito isso, uma variável binária foi criada, onde os valores de ID's fossem iguais ou menores que os valores da porcentagem da área agrícola, que no município era de 67,2%, o pixel seria considerado área agrícola e receberia o valor "1", os demais pixels receberam o valor de "0", representando a probabilidade de ser fragmento florestal (ANEXO 1).

Concluída a geração dos índices de probabilidade agrícola, esses dados foram exportados do ambiente R (TEAM,2018) em uma tabela .csv e especializados novamente em ambiente SIG.

2.5 Aplicação da Lei de Proteção da Vegetação Nativa

Para realizar a aplicação da LPVN foram utilizados: Código Florestal de 1934, Código Florestal de 1965, Lei de proteção ao Cerrado de 1989. O Código Florestal de 1934 determina que os proprietários de terras deveriam manter 25% da área da propriedade como área de vegetação nativa; No Código de 1965 estabeleceu que 20% da área seja preservada; A Lei de proteção ao Cerrado de 1989, mantém os 20% de reserva legal para o Cerrado brasileiro. Na LPVN,

considerando o Estado de São Paulo, prever que 20% da área da propriedade seja preservada.

Diante disso, foi calculado o déficit de RL, ou seja, o quanto falta para se atingir a cobertura de vegetação nativa exigida pela lei. Para a regularização, o proprietário pode restaurar esse déficit na própria propriedade ou compensar em outra propriedade com excedente de vegetação. Bem como, o excedente de vegetação nativa, ou seja, é quando a vegetação nativa dentro da propriedade rural é superior aos valores exigidos pela lei. Esse excedente pode ser oferecido para compensação de RL em outras propriedades que possuem déficit (BRASIL, 2012).

Para a aplicação desse processo foram utilizados os seguintes dados: (i) A base de imóveis rurais declarada da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SMA) de 2019; (ii) O uso de solo de 1989 do estado de São Paulo, desenvolvido pela parceria IBGE e Landsat; (iii) Dados de Fitofisionomias do ano de 2012 desenvolvido pelo RADAM e (iv) mapa probabilístico de uso do solo de Piracicaba em 1930.

Foram aplicadas as reduções dos artigos 15, 61-A, 67 e 68 da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) (Lei Federal 12.651/2012).

Esse modelo calculou os déficits do seguinte modo:

- Se a VN de 2008 for $>$ que a VN exigida na legislação vigente no período de supressão e for $\geq 20\%$ da área do imóvel, o déficit será 0
- Se a VN de 2008 for $>$ que a VN exigida na legislação vigente no período de supressão e for $< 20\%$ da área do imóvel, o déficit será $(20\% \text{ da área do imóvel} - \text{VN suprimida})$ – Perde o Art. 27 e volta para a regra geral, ou seja, precisa completar os 20% de RL.
- Se a VN de 2008 for $<$ que a VN exigida na legislação vigente no período de supressão e se for $< 20\%$ da área do imóvel, o déficit será $(\text{Considerando os marcos legais 34/65/89} - (\text{VN exigida no período de supressão} - \text{VN 2008}))$
- Se não identificado nenhum dos critérios acima será calculado utilizando os marcos legais de 34/65/89

2.6 Similaridade entre o mapa gerado e o mapa probabilístico da cobertura de vegetação nativa e áreas agrícolas para o estado de São Paulo na década de 1920.

Buscando identificar qual o grau de similaridade entre o mapa probabilístico de uso de solo do estado de São Paulo em 1920 (TAVARES *et al.*)(figura 5) e o mapa probabilístico de agricultura e vegetação nativa do município de Piracicaba em 1930 foi realizado uma matriz de confusão entre os dois mapas. Para a realização desse processo utilizou-se a ferramenta Create Random Points em ambiente SIG, na qual foram distribuídos 200 pontos aleatoriamente com uma distância mínima de 50 metros um do outro.

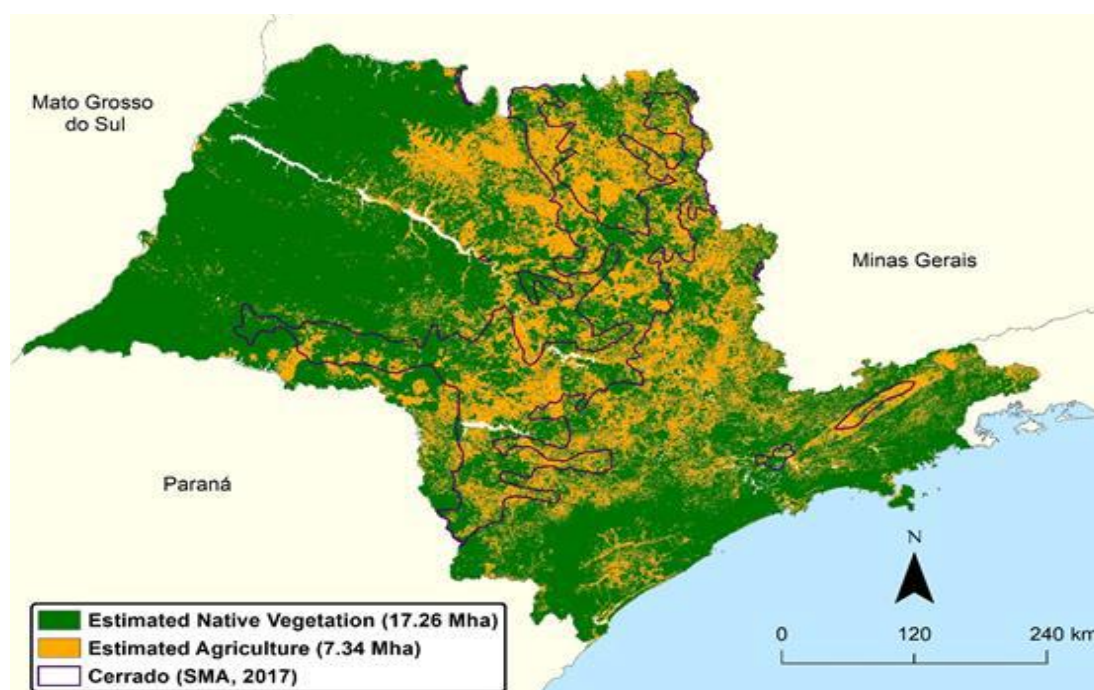


Figura 4: Mapa probabilístico da cobertura de vegetação nativa e áreas agrícolas para o estado de São Paulo na década de 1920. Fonte: TAVARES, 2019

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado do pré processamento dos dados, obteve-se a malha viária e a mancha urbana vetorizada que existia no município na década de 30.

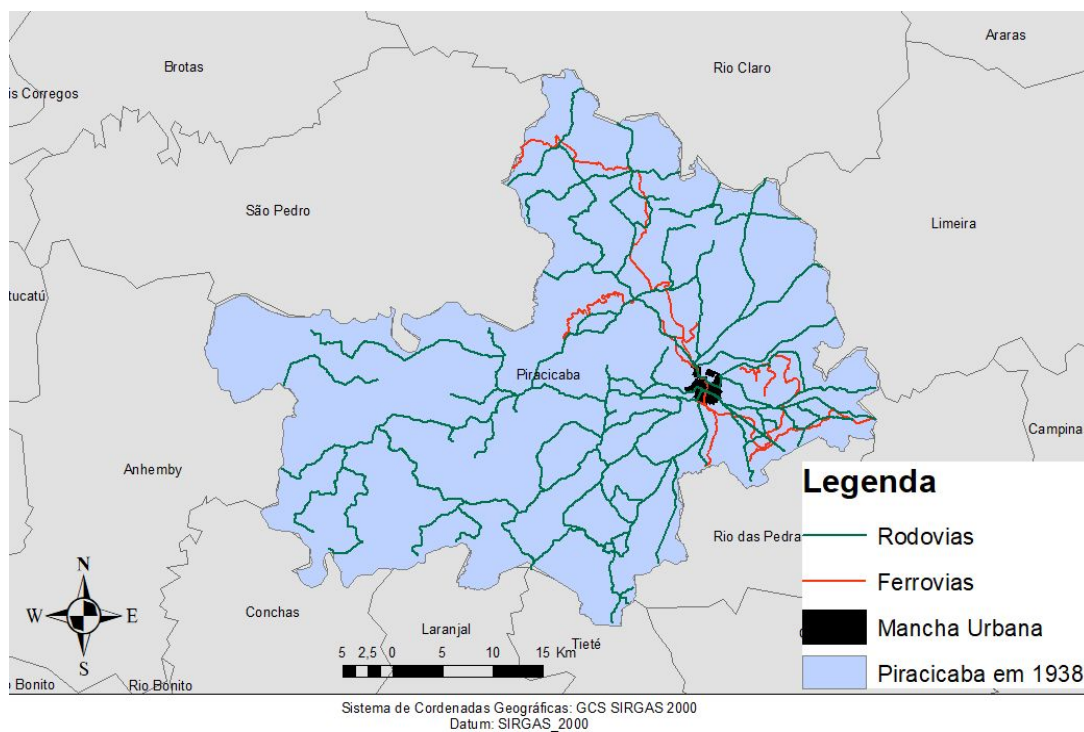


Figura 5: Mapa da Malha Viária e Mancha urbana do Município de Piracicaba em 1930
Fonte: IGC, IPPLAP

Como resultado da espacialização do Índice de Probabilidade Agrícola foi elaborado o mapa probabilístico com as áreas de vegetação nativa e áreas agrícolas para o município de Piracicaba –SP.

O mapa probabilístico de uso do solo de Piracicaba em 1930 apresenta uma área agrícola simulada de 86.889 ha e área de vegetação nativa simulada de 17.172 ha, conforme apresenta a figura 6.

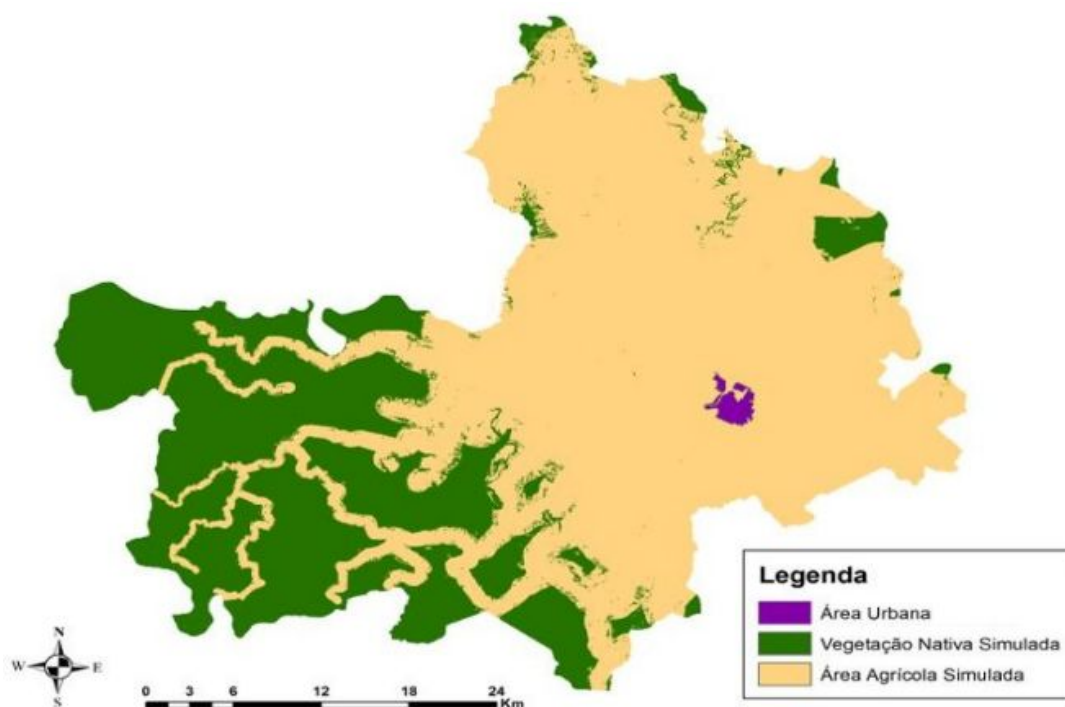


Figura 6: Mapa probabilístico de agricultura e vegetação nativa no município de Piracicaba -SP em 1930

As áreas de agricultura do município apresentadas no mapa foram comparadas com os dados históricos da região. Piracicaba no final do século XVIII e começo do século XIX, passou a ser desejada pelos fazendeiros do município de Itu, que se deslocaram para as cidades da região, visto que o município apresentava condições favoráveis para a produção de cana-de-açúcar. Os canaviais não demoraram a se tornar cada vez maiores e com a construção do Engenho Central em 1881, o município tornou-se o maior complexo açucareiro do estado. E não somente a produção açucareira, mas também as culturas alimentares, como o milho, a criação de animais e a expansão cafeeira tiveram um grande aumento a partir da segunda metade do século XIX (BARBOSA. S., PINHEIRO.A.C., 2017; LEONÍDIO. A., 2013)

Embora o café tenha sofrido uma queda na produção a partir da crise de 1929, a cultura canvieira manteve a sua expansão, que já havia sido iniciada no país (EDIÇÃO COMEMORATIVA, 2017). No período do estudo é possível identificar a presença da Usina Monte Alegre que na década de 30 já possuía uma vasta extensão de terras voltadas para a produção canvieira (CAPORRINO,2016).

Uma segunda comparação foi realizada com o mapa de uso de solo do estado de São Paulo, produzido pela Comissão Geográfica e Geológica em 1915. Quando realizado o recorte para o município de Piracicaba, conforme a figura abaixo, podemos identificar a existência de similaridades entre ambos (Figura 7).

Por exemplo, a área de expansão canavieira na região do Monte Alegre no mapa de 1915, pode ser associada às áreas agrícolas no mapa probabilístico de 1930. A mancha de uso agrícola identificada como cultura do café em 1915 também é próxima à Estação Ferroviária de Artemis, ambas estão associadas à presença da ferrovia (B).

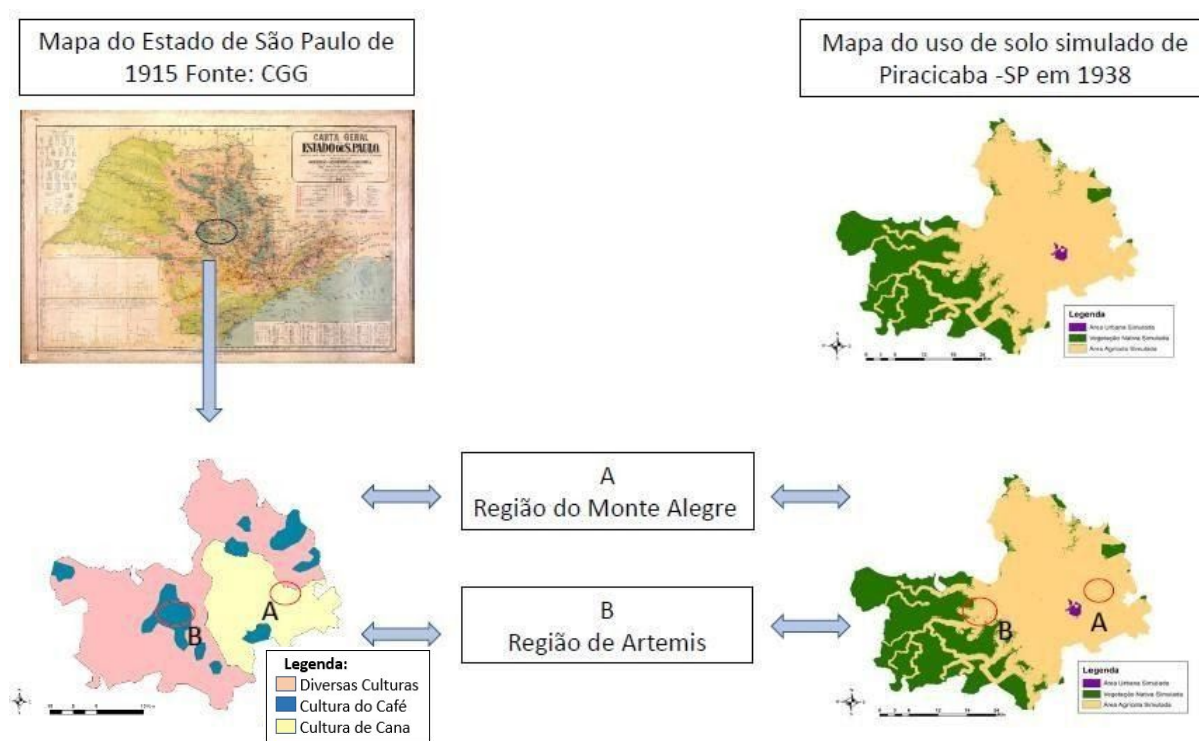


Figura 7: Similaridades entre os mapas de uso de solos de 1915 e o mapa probabilístico de 1930

Outro parâmetro de comparação foi o mapa probabilístico de uso de solos de Piracicaba com o mapa de classificação do IBGE de 1965. Podemos identificar que embora tenham se passado quase 3 décadas, pelas quais o município passou por uma grande expansão canavieira, segundo CAPORRINO (2016), ainda é possível notar a similaridade em algumas áreas de cerrado como as regiões do Córrego da Pinga (A); Ribeirão Claro (B) e pequenos fragmentos de Mata Atlântica no morro Monte Branco (C) e na macrorregião satélite de Tamandupá (D), próximo à cidade de Ipeúna conforme ilustra a figura 8.

Embora seja possível identificar pequenos fragmentos, como de florestas em 1965 e áreas simuladas como agrícolas, qualitativamente o mapa probabilístico apresenta boa similaridade com os fragmentos do Cerrado.

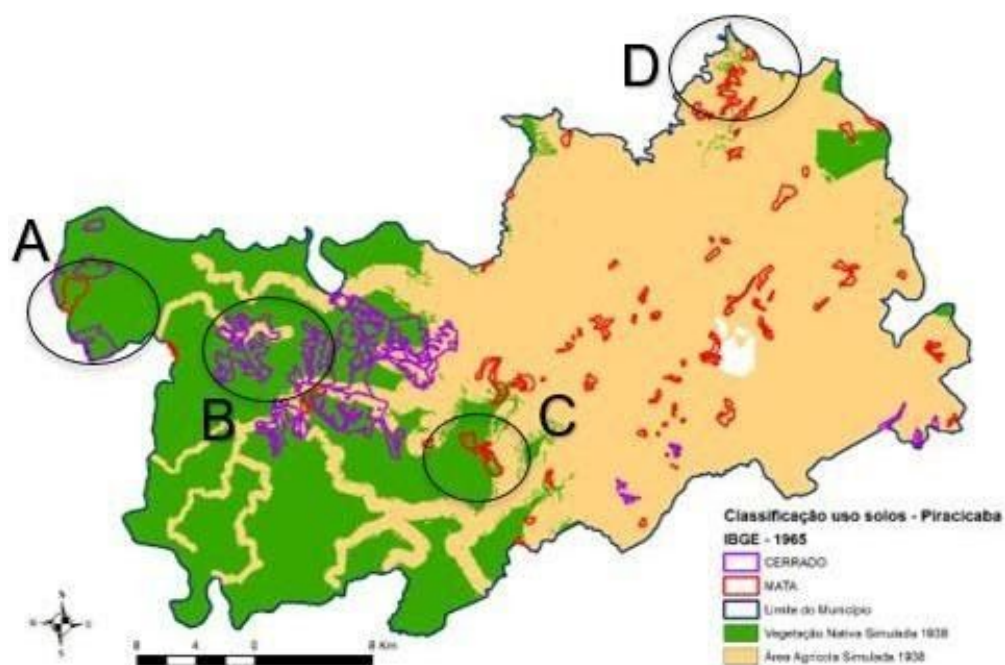


Figura 8: Mapa de sobreposição dos fragmentos de Cerrado e Mata Atlântica do IBGE de 1965 com o mapa probabilístico de 1930

Com o objetivo de validar a modelagem desenvolvida para o estado de São Paulo, que visou subsidiar os mecanismos de implementação do Art. 68 da LPVN (TAVARES *et al.*, 2019), este projeto fez uma análise sobre os resultados obtidos no âmbito municipal utilizando a matriz de confusão como representado na figura 9. Ao analisarmos esse processo, obteve-se a acurácia de 67% em relação ao mapa desenvolvido para o estado de São Paulo.

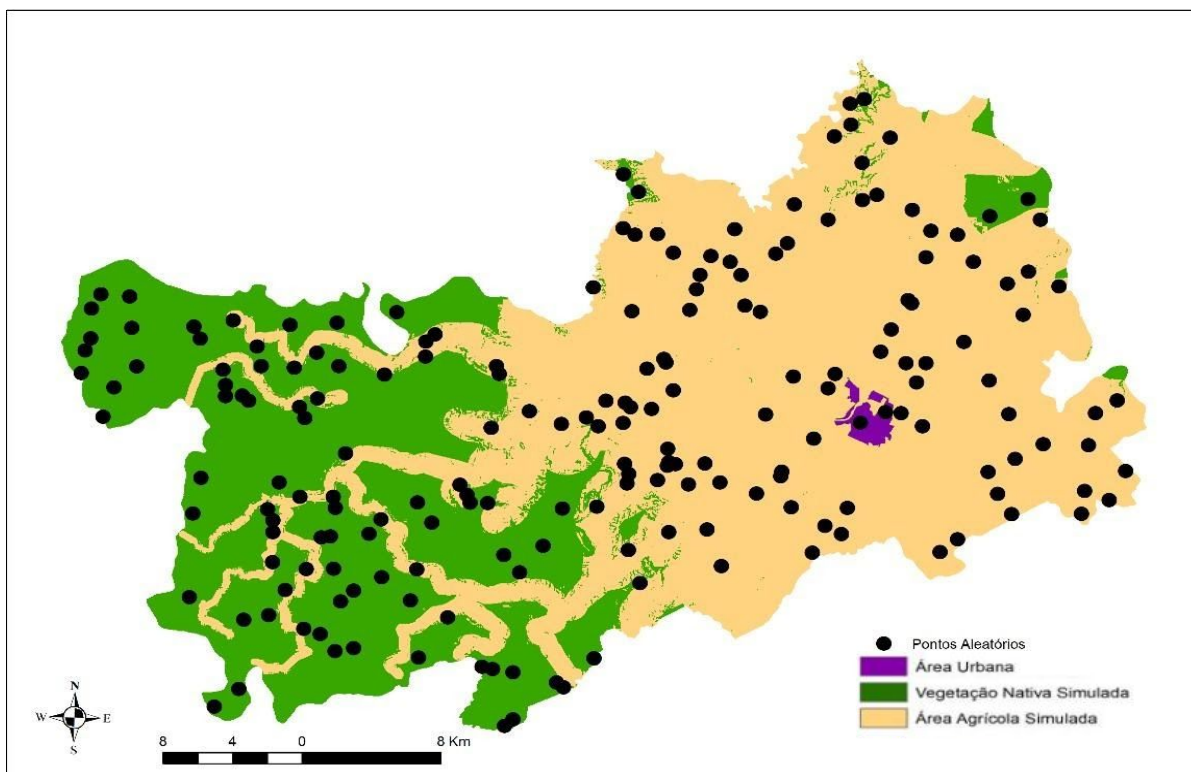


Figura 9: Mapa de distribuição dos pontos para análise da matriz de confusão entre os mapas estadual e municipal atual de uso de solos

Esse resultado nos mostra que ambos os mapas possuem uma correspondência média alta, visto que os dados para geração do mapa municipal apresentam informações mais refinadas se comparado com os dados a nível estadual. Outro fator a ser considerado é o tamanho de célula de cada raster, pois no modelo municipal foram gerados raster de 30m x 30m e em contrapartida no modelo estadual os dados foram processados com raster de 500m x 500m. Nesse entendimento, é possível dizer que, a realização do refinamento do modelo estadual para raster de 30m x 30m, conseqüentemente apresentaria uma assertividade maior.

3.1 Aplicação do Código Florestal de 1934, 1965 e da Lei 7.803/89 para o município de Piracicaba – SP

O mapa probabilístico de agricultura e vegetação nativa do município de Piracicaba - SP mostra-se como uma importante ferramenta para o processamento de dados e para auxiliar os gestores municipais nas tomadas de decisões voltadas à políticas públicas. E para subsidiar o processo de

regularização ambiental, esse projeto buscou processar os passivos e excedentes em RL do município conforme a implementação do art.68 da LPVN.

Para a identificação dos passivos e ativos ambientais do município, esse projeto utilizou a metodologia que integra as aplicações do Código Florestal de 1934, do Código Florestal de 1965 e da Lei de Proteção do Cerrado, ou seja, levando como critério que os proprietários que, em algum momento, estiveram em desacordo com a lei vigente, perdem os benefícios do Artigo 68 e voltam aos 20% de Reserva Legal. O processamento gerou os seguintes resultados, conforme indica a tabela 3.

Tabela 3: Dados de Déficit de RL e Excedentes de Piracicaba - SP considerando os marcos legais de 1934, 1965 e 1989 como a aplicação do art.68 da LPVN

	Déficit RL Sem o Art.68	Déficit RL Com o Art.68	Redução	Excedentes
Área de Déficit	3831 ha	197 ha	95%	-
Nº de propriedades rurais com déficit	316	22	93%	-
Excedentes Vegetação Nativa	-	-	-	682 ha
Total de Áreas disponíveis CRA (ha)	-	-	-	696 ha
Excedente Total	-	-	-	1378 ha

Os dados apresentados na tabela 3 e nas figuras 8 e 9 a seguir apresentam inicialmente os Déficit de RL em 316 propriedades, das 2617 existentes no município, apresentando um déficit de 3.831 ha. Em contrapartida, com a aplicação do Art.68, ocorre uma redução de 95% no déficit de RL, que passa a ser de 197 ha em apenas 22 propriedades. Observamos também que esse percentual de déficit está alocado da seguinte maneira:

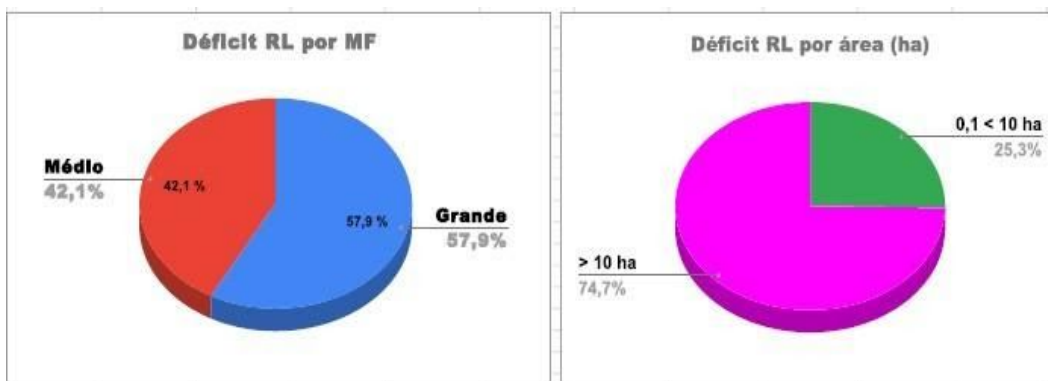


Gráfico 1: Déficit RL por MF

Gráfico 2: Déficit RL por área (ha)

No gráfico 1, identificamos que 57,9 % do déficit de RL está presente em propriedades acima de 15 Módulos Fiscais. No gráfico 2, de Déficit por área, identificamos que cerca de 75% do déficit total do município encontra-se em propriedades em cujo déficit de RL é superior a 10 ha.

O município apresenta o total de 1378 ha de excedentes em vegetação nativa. Desse montante, 50,5% são excedentes de vegetação nativa de propriedades com até quatro módulos fiscais, e só podem ser utilizados para compensação através das Cotas de Reserva Ambiental (CRA) que é quando a cobertura vegetação natural em uma propriedade é usada para compensar a falta de Reserva Legal em outra propriedade através da compra de títulos (BRASIL, 2012).

Esses números representam que, com a aplicação do Art.68 há uma redução de até 95% do déficit de RL e uma redução de 93% no número de propriedades com déficit de RL no município. É possível identificar que o montante total de excedente em vegetação nativa é aproximadamente 7 vezes maior que o déficit de RL presente no município.

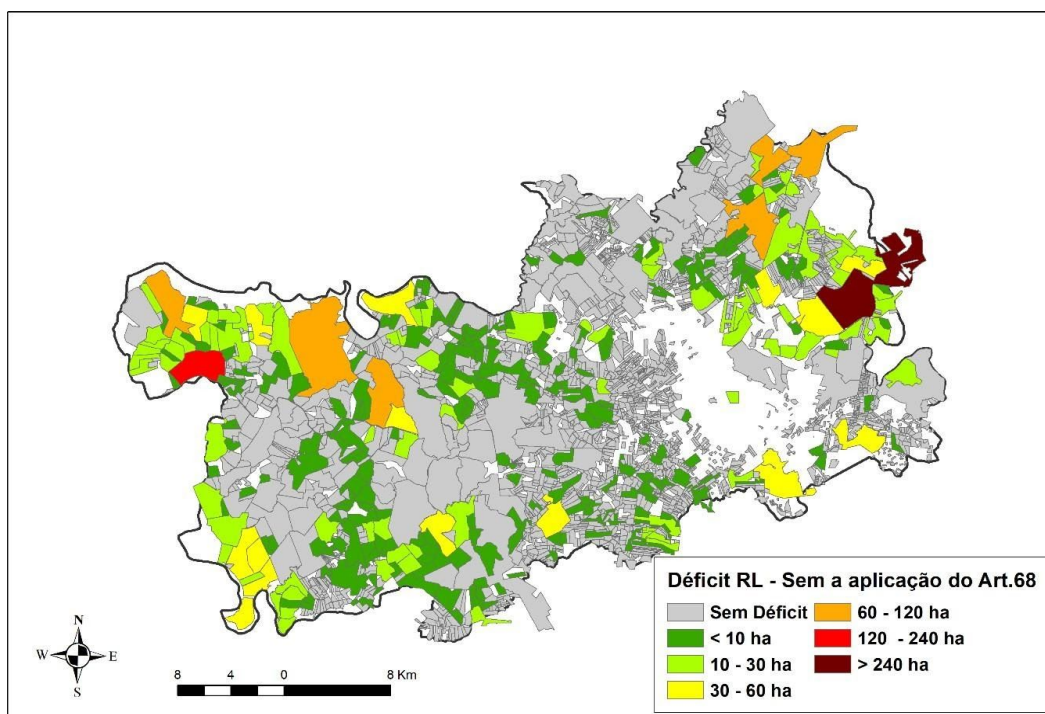


Figura 10: Mapa dos déficits de RL sem a aplicação do Art.68 por propriedade (ha)

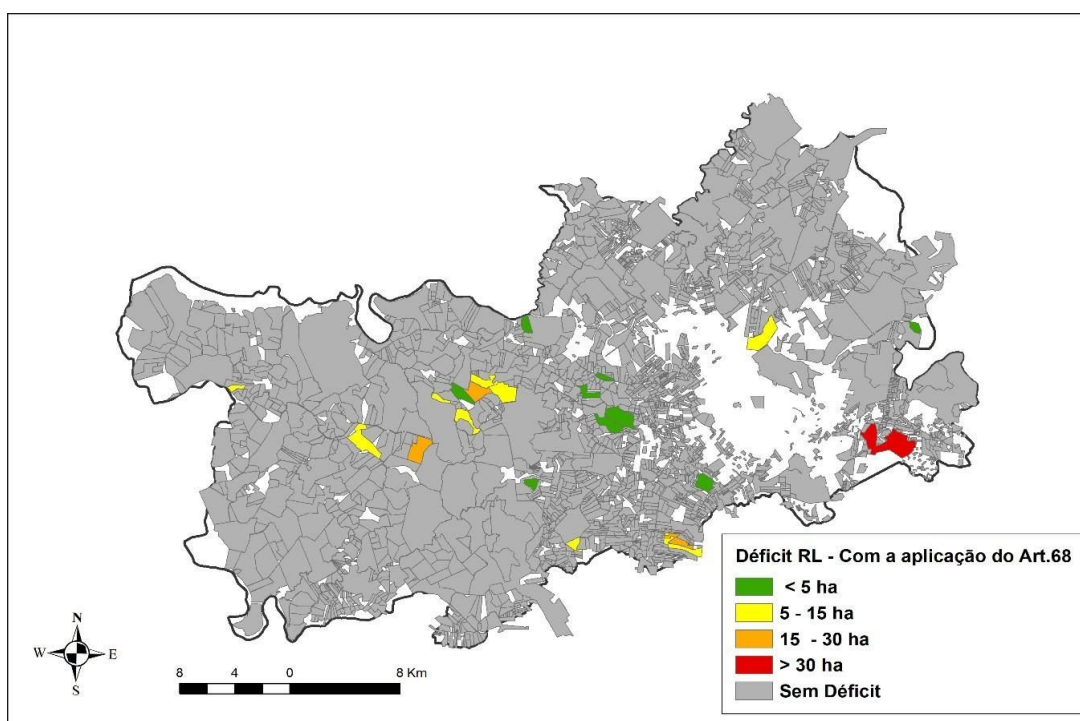


Figura 11: Mapa dos déficits de RL Com a aplicação do Art.68 por propriedade (ha)

4. CONCLUSÕES

O mapa probabilístico de agricultura e vegetação nativa gerado para o

município de Piracicaba – SP em 1938 apresenta semelhanças qualitativas com dados históricos, bem como os mapas de uso de solo de 1915 e o de fragmentos de mata e cerrado do IBGE de 1965 apresentando diversas áreas correspondentes.

Com a aplicação dos Códigos de 1934,1965 e a Lei de proteção do Cerrado para o cumprimento do artigo 68 da LPVN, os dados mostraram que o município de Piracicaba tem 197 ha de déficit de RL e 1378 há de excedente em vegetação nativa, isso mostra que com os benefícios de redução do déficit em RL, o município possui a capacidade de compensar 100% do déficit dentro do próprio município.

Por fim, o mapa probabilístico gerado permitiu avaliar a modelagem desenvolvida para gerar o mapa probabilístico de vegetação nativa e áreas agrícolas para o Estado de São Paulo em 1920, mostrando que os mapas possuem uma correspondência média alta apresentando um índice de acurácia de 67% entre ambos.

Diante dos dados apresentados, é possível identificar que o mapa probabilístico de uso de solo de Piracicaba em 1938, assim como os dados de déficit de RL e excedentes de vegetação nativa, mostram-se produtos eficazes no apoio para tomadas de decisões dos gestores em projetos voltados a políticas públicas, incentivando a recuperação de áreas degradadas e a ampliação de programas como o Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) que auxiliam no aumento da biodiversidade e na qualidade da água.

5. REFERÊNCIAS

BARRETO, A. G. D. O. P., Sparovek, G., & Giannotti, M. (Eds.). (2006). Atlas rural de Piracicaba. IPEF.

BARBOSA, S. PINHEIRO, A.C. 2017. Vale do Piracicaba. Disponível em: <https://www.valedopiracicaba.org/sobre-o-vale-do-piracicaba/>. Acesso em: 10 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da

vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília.

BRASIL. Lei 4017, DE 09 DE JANEIRO DE 1920. Rio de Janeiro-RJ, jan.1920.

Disponível em: < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1920-1929/lei-4017-9-janeiro-1920-570891-publicacaooriginal-93996-pl.html>> Acesso em: 12 out. 2017.

BRASIL. 1934. Decreto no 23.7 de 23 de janeiro de 1934. Brasil

BRASIL, 1938. Decreto de lei nº 311, de 2 de Março de 1938. Dispõe sobre a divisão territorial do país, e dá outras providências. Assembléia Geral do Conselho Nacional de Estatística, Brasil.

BRASIL, 1965. Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965. Brasília, 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília, 1965.

CAPORRINO, Amanda Walter. Na era das usinas: a Usina Monte Alegre e o desenvolvimento da agroindústria canavieira em São Paulo (1930-1964). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2016.

EDIÇÃO COMEMORATIVA, 2017, Piracicaba – SP. 25 Décadas de uma das mais importantes cidades do Brasil. Gazeta de Piracicaba. Piracicaba – SP. Almanaque, 2017. 242p.

IBGE, Os Censos vistos de fora: Censos Agropecuários e a política agrícola no Brasil: 1920-2006 In O Censo entra em campo: o IBGE e a história dos recenseamentos agropecuários. IBGE. 2014. p. 215.

IBGE CIDADES. Histórico. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/piracicaba/historico> >. Acesso em: 13 set. 2018

IBGE CIDADES. Panorama. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/piracicaba/panorama> > Acesso em: 12 nov. 2020

LEONÍDIO, A. Piracicaba no século XIX: uma paisagem em mudança. Esboços:

histórias em contextos globais, 2013, 20.30: 101-122.

LOPES, Alfredo Scheide; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. Fertilidade do solo, p. 2-64, 2007.

MAGUIRE, David J. An overview and definition of GIS. Geographical information systems: Principles and applications, v. 1, p. 9-20, 1991.

MATOS, O. N. Café e Ferrovias – A evolução Ferroviária de São Paulo e o Desenvolvimento da Cultura Cafeeira. 4. Ed. Campinas (SP): Pontes, 1990

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. Directoria Geral de Estatística. Recenseamento do Brazil. Realizado em 1 de Setembro de 1920 Vol.3 (1º parte).Rio de Janeiro: TYP de Estatística, 1923.

NATAL, Jorge Luiz Alves. Transporte, ocupação do espaço e desenvolvimento capitalista no Brasil: história e perspectivas. Ensaios FEE, v. 12, n. 2, p. 293-307, 1991.

OLIVEIRA, Jane Souto de. Brasil mostra a tua cara”: imagens da população brasileira nos censos demográficos de 1872 a 2000. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Ciências Estatísticas, 2003.

PEREIRA, Lauro Charlet; LOMBARDI NETO, Francisco. Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica. Embrapa Meio Ambiente- Documentos (INFOTECA-E), 2004.

ROSA, Roberto. O uso de tecnologias de informação geográfica no Brasil. Revista Geográfica de América Central, v. 2, n. 47E, 2011.

SNA.Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/surge-o-vale-do-piracicaba-primeiro-polo-de-tecnologia-agricola-do-pais/>> Acesso em 30 nov.2020

SPAROVEK, Gerd et al. Effects of governance on availability of land for agriculture and conservation in Brazil. Environmental science & technology, v. 49, n. 17, p. 10285-10293, 2015.

WRI, (World Resources, 2017. Reflorestamento para fins econômicos com espécies nativas e exóticas no Brasil.

TEAM,R.C., 2018.R: A language and environment for statistical computing. R

Foundation for Statistical Computing.

TAVARES, P.A., Brites, A.D., Sparovek, G., Guidotti, V., Cerignoni, F., Aguiar, D., Metzger, J.P., Rodrigues, R.R., Pinto, L.F.G., de Mello, K., Molin, P.G., 2019. Unfolding additional massive cutback effects of the native vegetation protection law on legal reserves, Brazil, Revelando reduções adicionais de reserva legal da lei de proteção da vegetação nativa, Brasil. *Biota Neotrop.* <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0658>

WRI, World Resources, 2017. Reflorestamento para fins econômicos com espécies nativas e exóticas no Brasil.

ZSOLDOS, R. R. et al. Activity of the equine rectus abdominis and oblique external abdominal muscles measured by surface EMG during walk and trot on the treadmill. *Equine Veterinary Journal*, v. 42, p. 523-529, 2010.

ANEXO 1:

Script para gerar o mapa probabilístico de vegetação nativa de 1938 no software R

Carregar Arquivos

```
getwd()
```

```
setwd("C:/Users/User/Documents/R")
```

```
prob_agr_pira_2<- read.csv2(file = "pira_table_2.csv", header = TRUE, sep = ";",  
dec = ".")
```

```
View(prob_agr_pira_2)
```

Ordenar probabilidade de receber a agricultura

```
order_prob_aloc_pira_2 <-prob_agr_pira_2[order(prob_agr_pira_2$grid_code,  
decreasing = TRUE),]
```

```
order_prob_aloc_pira_2$New_ID <- with(order_prob_aloc_pira_2, ave(rep(1,  
nrow(order_prob_aloc_pira_2)), FUN = seq_along))
```

```
View(order_prob_aloc_pira_2)
```

Criação de um ID para cada ponto

```
order_prob_aloc_pira_2$norm_ID <- (max(order_prob_aloc_pira_2$New_ID) -  
order_prob_aloc_pira_2$New_ID) / (max(order_prob_aloc_pira_2$New_ID) -  
min(order_prob_aloc_pira_2$New_ID))
```

Ordem de conversão Agrícola

```
order_prob_aloc_pira_2$bin <- ifelse(order_prob_aloc_pira_2$norm_ID >= (1 -  
0.672289),1,0)
```

```
tabela_final_pira_2<- order_prob_aloc_pira_2[,c(-1, -2, -5, -6, -7,-(9:12))]
```

```
View(tabela_final_pira_2)
```

```
write.csv(x = tabela_final_pira_2, "tabela_final_pira_2.csv")
```