



IAGO MENDES DE OLIVEIRA

**EXPANSÃO SILVICULTURAL NO ESTADO DE SÃO PAULO:
UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO NA SELEÇÃO DE
ÁREAS PARA COMPRA E ARRENDAMENTO**

**LAVRAS – MG
2019**

IAGO MENDES DE OLIVEIRA

**EXPANSÃO SILVICULTURAL NO ESTADO DE SÃO PAULO: UMA ABORDAGEM
MULTICRITÉRIO NA SELEÇÃO DE ÁREAS PARA COMPRA E ARRENDAMENTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior
Orientador
Me. Luciano Cavalcante de Jesus França
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

IAGO MENDES DE OLIVEIRA

**EXPANSÃO SILVICULTURAL NO ESTADO DE SÃO PAULO: UMA ABORDAGEM
MULTICRITÉRIO NA SELEÇÃO DE ÁREAS PARA COMPRA E ARRENDAMENTO**

**SILVICULTURAL EXPANSION IN THE STATE OF SÃO PAULO: A
MULTICRITERIA APPROACH IN THE SELECTION OF AREAS FOR PURCHASE AND
RENT**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 05 de junho de 2019
Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior – UFLA
Me. Luciano Cavalcante de Jesus França – UFLA
Dr. Bernardo Moreira Cândido – IAC

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior
Orientador
Me. Luciano Cavalcante de Jesus França
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

AGRADECIMENTOS

À Deus pela família, amigos e pela saúde.

À minha família que apesar da distância, sempre se fez presente. Agradeço por todo suporte e orientação necessária para chegar onde estou e por ser quem sou.

Aos outros pais, mães e amigos que apareceram em minha vida, grato pelos momentos felizes e apoio durante minha graduação.

À minha namorada, Laura, pelo apoio e motivação.

À UFLA pela oportunidade de estudar e pelas amizades que foram feitas, professores, alunos e técnicos.

Aos amigos da Eucatex, que contribuíram para a elaboração deste trabalho, especialmente ao Nelson e à Katiuscia.

Ao Prof. Fausto e ao Luciano pela orientação e amizade.

E a todos que de alguma maneira me auxiliaram, direta ou indiretamente.

RESUMO

A identificação de áreas adequadas ao desenvolvimento de atividades silviculturais é uma das demandas mais importantes e necessárias ao planejamento das empresas de base florestal em todo o mundo. No Brasil, merece destaque o Estado de São Paulo, onde atualmente existe grande demanda para compra e arrendamento de terras para plantio de espécies florestais, principalmente de eucalipto. Sendo assim, este estudo apresenta a aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) da Pesquisa Operacional (PO), integrado ao Sistema de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta de apoio à localização de terras. Foram utilizados 6 (seis) critérios para análise da aptidão: (I) profundidade efetiva do solo, (II) declividade do terreno, (III) risco de fogo, (IV) armazenamento de água no solo e (V) distância da unidade fabril. As restrições foram definidas pelo plano de informação de (VI) uso e cobertura do solo. Os critérios foram classificados quanto aos seus subcritérios, em uma escala de 1 (*menor aptidão*) a 5 (*maior aptidão*). Os julgamentos foram realizados por especialistas do setor e o resultado da matriz de comparação AHP apontou o critério distância da unidade fabril como o mais importante na localização das áreas, devido à sua relação com as atividades de colheita, transporte e consequentemente com o custo. Através do mapa de aptidão gerado, verificou-se que 1,61% da área (41.260,50 ha) foi classificada como *muito apta*, 42,09% (105.771,26 ha) como *moderadamente apta* e 43,25% (1.104.958,98 ha) como *pouco apta*. Apenas 0,82% da área de estudo se enquadraram nas exigências de aptidão com área maior que 120 hectares. As melhores áreas concentram-se nos municípios de Indaiatuba, Elias Fausto, Salto, Itu e Porto Feliz. Este estudo oferece uma metodologia para o levantamento de terras para compra ou arrendamento, que pode ser replicada para quaisquer outras regiões do Brasil e, fornece suporte essencial para os tomadores de decisão na avaliação de expansão das atividades da empresa.

Palavras-chave: *Analytical hierarchy process*. Sistema de informação geográfica. Aptidão de terras. Silvicultura de produção.

ABSTRACT

The identification of suitable areas for the development of silvicultural activities is one of the most important and necessary issues for the planning of forest-based companies worldwide. In Brazil, the State of São Paulo deserves special mention, where there is a great demand for the purchase and leasing of land for planting forest species, mainly the eucalyptus. This work presents the application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) method of Operational Research (PO), integrated to the Geographic Information System (GIS) as a tool to support land location. Six criteria were used for land suitability analysis: (I) soil depth, (II) terrain slope, (III) fire risk, (IV) soil water storage and (V) distance of manufacturing unit. The restrictions were defined by the (VI) land cover criteria. The criteria were classified according to their subcriteria, on a scale from 1 (lower suitability) to 5 (higher suitability). The judgments were made by experts and the result of the comparison matrix indicated that the criterion distance of the manufacturing unit was the most important in the location of the areas, due to its relationship with the activities of harvesting, transportation and consequently with the costs. According to the suitability map, it was estimated that 1.61% of the area (41,260.50 ha) is highly suitable, while 42.09% (105,771.26 ha) is moderately suitable and 43.25% (1,104,958.98 ha) is marginally suitable. Only 0.82% of the study area met the requirements of aptitude with an area greater than 120 hectares. The best areas were concentrated in the municipalities of Indaiatuba, Elias Fausto, Salto, Itu and Porto Feliz. This work provides a methodology for surveying land for purchase or lease, which can be replicated to any other regions of Brazil and provides essential support for decision makers in assessing the expansion of the company's activities.

Keywords: Analytical hierarchy process. Geographic information system. Land suitability. Production Silviculture.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1	O setor florestal brasileiro	9
2.2	Análise multicritério em ambiente SIG	9
2.3	<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	10
3	MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1	Área de estudo.....	12
3.2	Critérios utilizados na avaliação de aptidão de terras	13
3.2.1	Profundidade efetiva do solo	13
3.2.2	Uso e cobertura do solo	13
3.2.3	Declividade do terreno	14
3.2.4	Risco de fogo	15
3.2.5	Armazenamento de água no solo.....	15
3.2.6	Distância da unidade fabril.....	17
3.3	<i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i>	17
3.4	Definição dos pesos para os subcritérios	21
3.5	Elaboração do mapa final	24
4	RESULTADOS	25
4.1	Comparação pareada dos critérios	25
4.2	Mapa final de aptidão	26
4.3	Seleção das melhores áreas	27
5	DISCUSSÃO	31
5.1	Agregação da matriz de julgamento	31
5.2	Pesos dos critérios.....	31
5.3	Distribuição espacial das melhores áreas	32
5.4	Limitações da metodologia aplicada	33
6	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de base florestal é mundialmente reconhecida pela alta produtividade de suas áreas plantadas, que é representada pelo volume de madeira produzida por unidade de área ao ano. Esses altos índices só são possíveis devido às características edafoclimáticas do Brasil, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, onde se concentra a maior parte das empresas do setor (IBÁ, 2017).

Em 2016, o Brasil alcançou a marca de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas. O setor florestal apresenta contínuo crescimento, devido, exclusivamente ao aumento das áreas com eucalipto, que representam 72% dos plantios, cerca de 5,7 milhões de hectares. A maior parte dos plantios se concentram em Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%) (IBÁ, 2017).

As plantações de eucalipto em áreas de arrendamento dobraram nos últimos anos (SCHUMACHER; VIERA, 2016). Em 2017, o setor florestal beneficiou mais de 27 mil pessoas com o programa de fomento florestal, foram 464 mil hectares de plantio em parceria com proprietários independentes e pequenos e médios produtores locais (IBÁ, 2017, 2018).

Nos sistemas de arrendamento e fomento florestal, as empresas têm como objetivo garantir o fornecimento de madeira, reduzir a quantidade de capital em ativos fixos, diminuir as despesas com frete e promover programas de apoio à geração de emprego local (SCHUMACHER; VIERA, 2016) e, no que tange ao planejamento dos supracitados sistemas, a análise das áreas para investimento é uma etapa importante e ao mesmo tempo complexa, pois envolve o estudo de múltiplos critérios (características e/ou processos). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido amplamente utilizados para a estruturação e organização de variáveis espaciais na geração de alternativas para problemas dessa natureza (ZAMBON et al., 2005).

Apesar dos SIGs e dos métodos de decisão multicritério (Pesquisa Operacional) serem duas áreas distintas de pesquisa (MALCZEWSKI, 1999), os problemas de planejamento e gerenciamento do mundo real podem se beneficiar da combinação de suas técnicas e procedimentos. O sucesso dessa combinação tem como principal componente a capacidade de interação e análise dos diferentes critérios que compõe o problema, que possibilita a produção de mapas de aptidão em curto espaço de tempo e com confiabilidade (VALENTE, 2005), nomeadamente conceitua-se como Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE).

Sob esta ótica, este estudo teve como objetivo definir a aptidão silvicultural de uma região localizada ao leste do Estado de São Paulo, de modo a auxiliar nas práticas de subsídios

para a compra e/ou arrendamento de terras na região, utilizando-se da abordagem multicriterial com uso do *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O setor florestal brasileiro

Em 2015, 291 milhões de hectares foram cobertos por florestas plantadas, aumentando a uma taxa de 3,3 milhões de hectares por ano nos últimos cinco anos. A taxa de crescimento das florestas plantadas permaneceu constante na América do Sul, região em que muitos dos países são considerados megadiversos (FAO, 2015).

Com uma área de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB Industrial no País. Também, é um dos segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde, exercendo papel fundamental na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e provendo diversos serviços ambientais, como a regulação dos ciclos hidrológicos, controle da erosão e da qualidade do solo, conservação da biodiversidade e a provisão de oxigênio para o planeta (IBÁ, 2017).

Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares da área de árvores plantadas do País, sendo que 17% estão localizados no Estado de São Paulo. Em 2016, o setor investiu cerca de R\$ 12,4 bilhões, sendo que destes R\$ 846 milhões foram investidos em aquisição de terras (IBÁ, 2017).

Da área total de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil em 2016, 29% pertence aos proprietários independentes e pequenos e médios produtores do programa de fomento florestal, que investem em plantios florestais para comercialização da madeira in natura (IBÁ, 2017).

2.2 Análise multicritério em ambiente SIG

A Análise Multicritério (AMC) é definida por Figueira et al. (2005) como "a abordagem de explicitamente levar em conta os prós e contras de uma pluralidade de pontos de vista". Um problema de AMC envolve um conjunto de alternativas que são avaliadas com base em critérios conflitantes e incomensuráveis de acordo com as preferências do tomador de decisão.

A AMC é uma ferramenta útil para planejamento e ordenamento territorial, onde uma gama complexa e interconectada de questões ambientais, sociais e econômicas deve ser levada em consideração (COMINO et al., 2016). Muitas aplicações da AMC existem no campo da

tomada de decisões ambientais (MUNDA, 2005; HUANG et al., 2011; CAPOLONGO et al., 2014; BOTTERO et al., 2015; REICHERT et al., 2015; TERVONEN et al., 2015).

A principal motivação para integrar a AMC no SIG (Análise Multicritério Espacial – AMCE) vem da necessidade de expandir as capacidades de suporte à decisão do SIG (SUGUMARAN; DEGROOTE, 2011; MALCZEWSKI; RINNER, 2015; FERRETTI; MONTIBELLER, 2016). Enquanto o SIG pode fornecer ferramentas para lidar com os desacordos sobre os fatos, fornecendo mais e melhores informações, os métodos de AMC podem ajudar a diminuir as divergências sobre os valores entre as partes interessadas (FEICK; HALL, 1999; JANKOWSKI; NYERGES, 2001; SUGUMARAN; DEGROOTE, 2011).

Essa integração possibilita o armazenamento e manipulação de estruturas de dados espaciais complexos, a conduzir análises dentro do domínio de análise espacial e fornecer resultados espacialmente explícitos, ou seja, em mapas (COMINO et al., 2016).

Nas últimas décadas, a união do SIG com AMC com objetivo de fornecer suporte à decisão espacial tem se afirmado como uma estratégia comum para lidar com problemas relacionados à conservação da natureza (GENELETTI, 2004; CIPOLLINI et al., 2005; MARJOKORPI; OTSAMO, 2006), planejamento ambiental e ecológico (GIORDANO; RIEDEL, 2008; GENELETTI, 2010; ORSI; VIZZARI, 2011; FERRETTI; POMARICO, 2012; BOTTERO et al., 2013;) e manejo florestal (WOLFSLEHNER; VACIK, 2008; GREENE et al., 2010; ORSI et al., 2011).

Uma fase muito importante da AMC em ambiente SIG, consiste na agregação das pontuações (ou pesos) relacionadas aos diferentes mapas de critérios, a fim de fornecer um mapa único e útil para a decisão (COMINO et al., 2016). Muitos métodos estão disponíveis para realizar tal agregação (LEAKE; MALCZEWSKI, 2006) e neste trabalho fez-se uso do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

2.3 *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

Segundo Martins, Martins e Coelho (2014), por ter utilização largamente disseminada, o 2.3 *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um dos principais métodos no contexto de análises multicritérios (SAATY, 1990; SAATY; VARGAS, 2001).

O método, além de permitir a comparação consistente de critérios qualitativos e quantitativos, uma vez que diferentes escalas de informação de entrada são transformadas em prioridades unidimensionais, busca opiniões de especialistas na forma de comparações pareadas

e posteriormente os classifica a partir de uma matriz de comparação. A matriz é utilizada para indicar o quanto um critério é mais importante em relação a outro, considerando objetivo geral. A escala numérica varia de 1 a 9, onde 1 significa a igualdade de importância entre dois critérios e 9 indica que um critério é muito mais importante que outro (SAATY, 2008; AHMED; KILIC, 2019).

Segundo Saaty (2008) o processo decisório deve ser realizado de forma organizada e estruturada em quatro etapas: (1) definir o problema; (2) estruturar a hierarquia de decisão do topo, com o objetivo de decisão, depois os objetivos de uma perspectiva ampla, ao longo do nível intermediário (critérios dos quais elementos subsequentes dependem) até o nível mais baixo (que geralmente é um conjunto de alternativas); (3) construir um conjunto de matrizes de comparação pareadas e; (4) usar as prioridades obtidas nas comparações para ponderar as prioridades no nível imediatamente abaixo.

Para a realização e análise de julgamentos, o AHP trabalha com matrizes quadradas de ordem n e os autovetores relacionados a elas. O autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) da matriz, tem grande importância, pois pode fornecer o grau de consistência dos julgamentos. Uma matriz é consistente apenas se $\lambda_{\text{máx}} > n$. Para verificar a consistência da matriz de comparações, foi criado o índice de consistência (IC). Além disso, o índice randômico (IR) é um índice cujo valor varia de acordo com o tamanho da matriz de comparação pareada. Se $IC \leq 0,1$, a matriz de comparação terá uma consistência aceitável, caso contrário, o julgamento deverá ser revisado (SAATY, 1990).

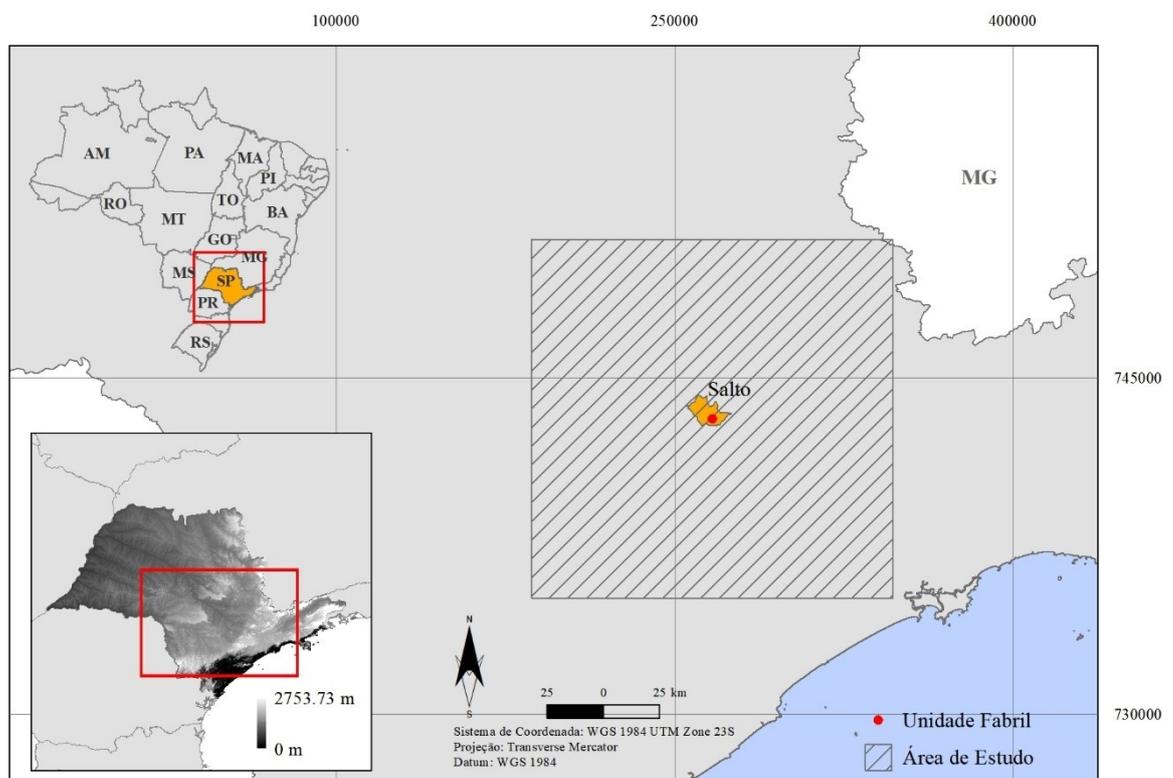
O AHP tem sido usado em todo o mundo e aplicado em muitos campos (KUMAR, 2006; GUPTA et al., 2015; YADAV; GUPTA; BANDYOPADHAYAY, 2015; TRAMARICO; SALOMON; MARINS, 2017; VAIDYA; VARGAS, 2017; BAIDYA et al., 2018; HO; MA, 2018; INUIGUCHI, 2018; KALUTARA et al., 2018; KHAIRA; DWIVEDI, 2018). De fato, o AHP apoia a tomada de decisão por meio da aproximação sistemática e matemática das maneiras pelas quais as decisões são tomadas, conseqüentemente, possui uma ampla variedade de usos, como mostrado na pesquisa sobre suas aplicações práticas conduzida por seu autor (SAATY, 2008, 2013; SAATY; SHANG, 2011; SAATY; ÖZDEMIR; SHANG, 2015; SAATY; DE PAOLA, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em uma região ao leste do Estado de São Paulo. A área foi delimitada por um *buffer* de 80 km, com os limites definidos pelas coordenadas UTM 186.627 m a 346.627 m E e 7.511.701 m a 7.351.701 m N, no fuso 23, datum WGS 1984, tendo como referência uma unidade fabril de produção florestal, na cidade de Salto – SP (FIGURA 1).

Figura 1 – Área de estudo.



Fonte: Do autor (2019).

A área de estudo situa-se numa região de elevada variabilidade climática composta pelos tipos climáticos Cwa, Af, Cfa, Cwb e Cfb (ALVARES et al., 2013), de acordo com metodologia proposta por Köppen (1884). A elevação varia entre 493 m e 942 m (SÃO PAULO, 2013). O relevo é de suave-ondulado a ondulado com predominância de Argissolos (EMBRAPA, 1979; ROSSI, 2017).

3.2 Critérios utilizados na avaliação de aptidão de terras

De acordo com Boldrini (2006 citado por FRANCELINO; REZENDE; SILVA, 2012), quando trata-se de atividades silviculturais, os critérios ambientais são os principais elementos considerados, especialmente as (I) classes de solos, o (II) relevo e o clima.

Neste estudo, os supracitados critérios (I e II), foram representados pela *profundidade efetiva do solo* e *declividade do terreno*, respectivamente. No entanto, além dos critérios destacados pelo autor, foram utilizados outros critérios, sendo eles: (III) *risco de fogo*, (IV) *armazenamento de água no solo*, (V) *distância da unidade fabril* e (VI) *uso e cobertura do solo*. Os critérios são explicados em detalhes nas subseções seguintes.

3.2.1 Profundidade efetiva do solo

A profundidade efetiva dos solos na área de estudo foi obtida através do mapeamento pedológico do Estado de São Paulo, disponibilizado pelo Instituto Florestal da Secretaria do Meio Ambiente em levantamento realizado por Rossi (2017) na escala 1:250.000.

Este critério, representado pela soma das espessuras dos horizontes A e B foi classificado em cinco subcritérios (TABELA 1), de acordo com metodologia proposta por Drugowich et al. (2015).

Tabela 1 – Classes de profundidade dos solos.

CLASSE	PROFUNDIDADE EFETIVA
Muito profundo	> 2 m
Profundo	1 – 2 m
Moderadamente profundo	0,5 – 1 m
Raso	0,25 – 0,5 m
Muito raso	< 0,25 m

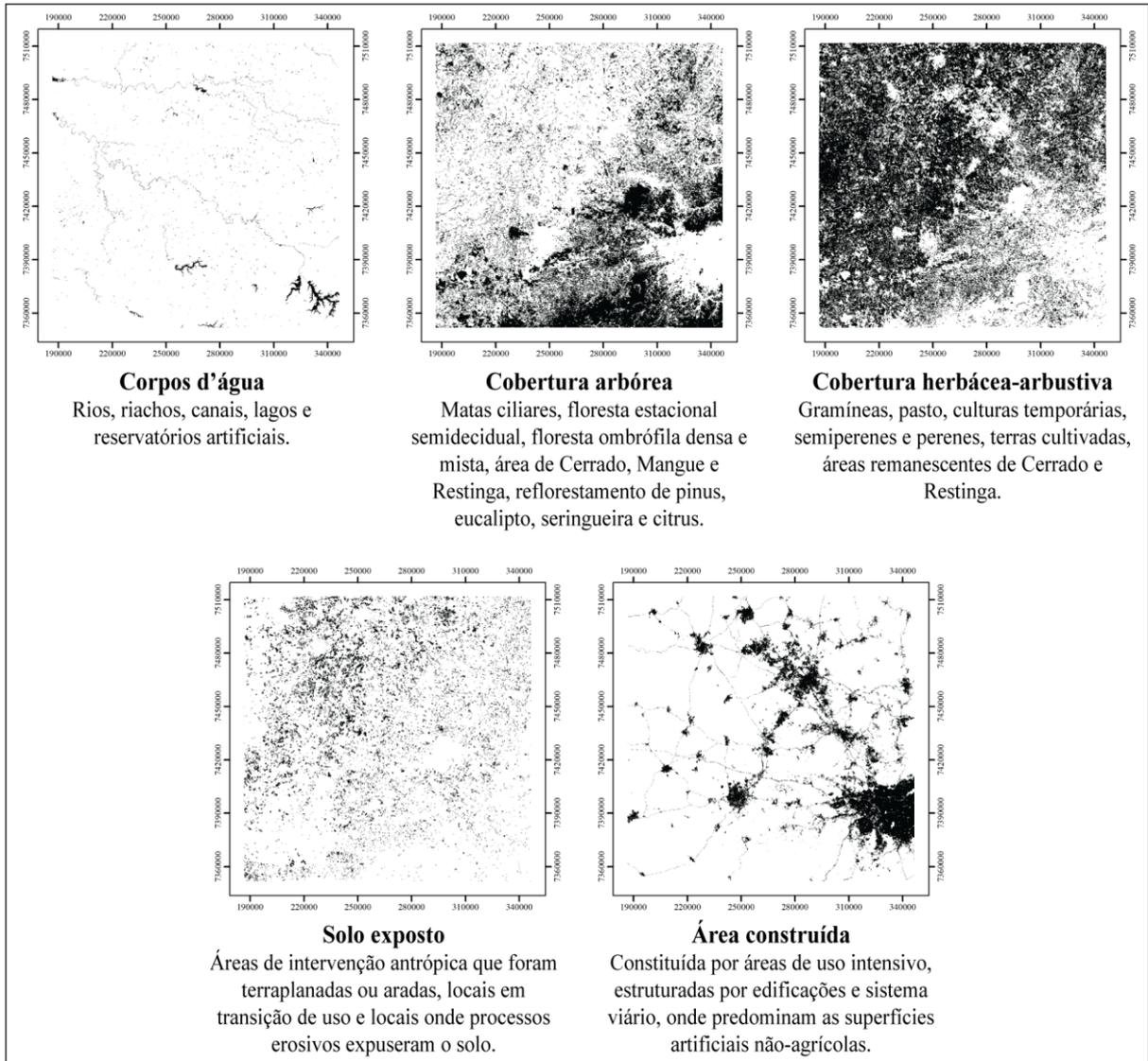
Fonte: Drugowich et al. (2015).

3.2.2 Uso e cobertura do solo

As informações referentes ao uso e cobertura do solo, foram obtidas no mapeamento de cobertura da terra do Estado de São Paulo (CPLA, 2013), na escala 1:100.000. As classes

abrangidas pelo mapeamento foram: (i) corpos d'água, (ii) cobertura arbórea, (iii) cobertura herbácea-arbustiva, (iv) solo exposto e (v) área construída. A definição de cada classe, assim como sua abrangência no contexto geográfico da área de estudo está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Classes de cobertura e uso do solo.



Fonte: adaptado de CPLA (2013).

3.2.3 Declividade do terreno

Para a obtenção das classes de declividade (EMBRAPA, 1979), primeiramente foram extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Estado de São Paulo, os dados de elevação. Na sequência, no *software* ArcGIS 10.6.1, foram calculadas e reclassificadas as declividades referentes à área de estudo, utilizando a ferramenta *Slope e Reclassify*, respectivamente. A base

de dados utilizada se constitui de imagens no formato *raster*, na escala 1:50.000, originária da missão de mapeamento do relevo terrestre *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros, obtida na base pública de dados da CPLA (2013b) da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

3.2.4 Risco de fogo

O princípio geral do fator de Risco de Fogo (RF) é o de que, quanto mais dias seguidos sem chuva em um local, maior o risco de queima da sua vegetação (SETZER et al., 2017). As condições climáticas influenciam de forma bastante significativa esse cenário, podendo favorecer ou inibir a propagação do fogo após a ignição inicial (CARVALHO et al., 2016).

Os dados de RF foram obtidos através dos resultados do Programa de Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, durante o ano de 2018, disponibilizados em formato vetorial, *shapefile*. Os vetores, representam as coordenadas geográficas e o risco de fogo de cada foco de queima da vegetação registrado por satélites com sensores específicos. Esse trabalho considerou os focos identificados pelos sensores NOAA-15, NOAA-18 e NOAA-19. Para espacialização dos valores de RF, foi utilizado o método *Inverse Distance Weighting* (IDW).

O IDW estima um valor para um local não amostrado como uma média dos valores dos dados dentro de uma vizinhança (MELLO et al., 2003). De acordo com Righi e Basso (2016), o IDW é considerado o método mais simples e mais utilizado de interpolação, que atribui peso maior ao ponto mais próximo, diminuindo esse peso com o aumento da distância e em função do coeficiente de potência. Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método do IDW, utiliza-se a equação:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (1)$$

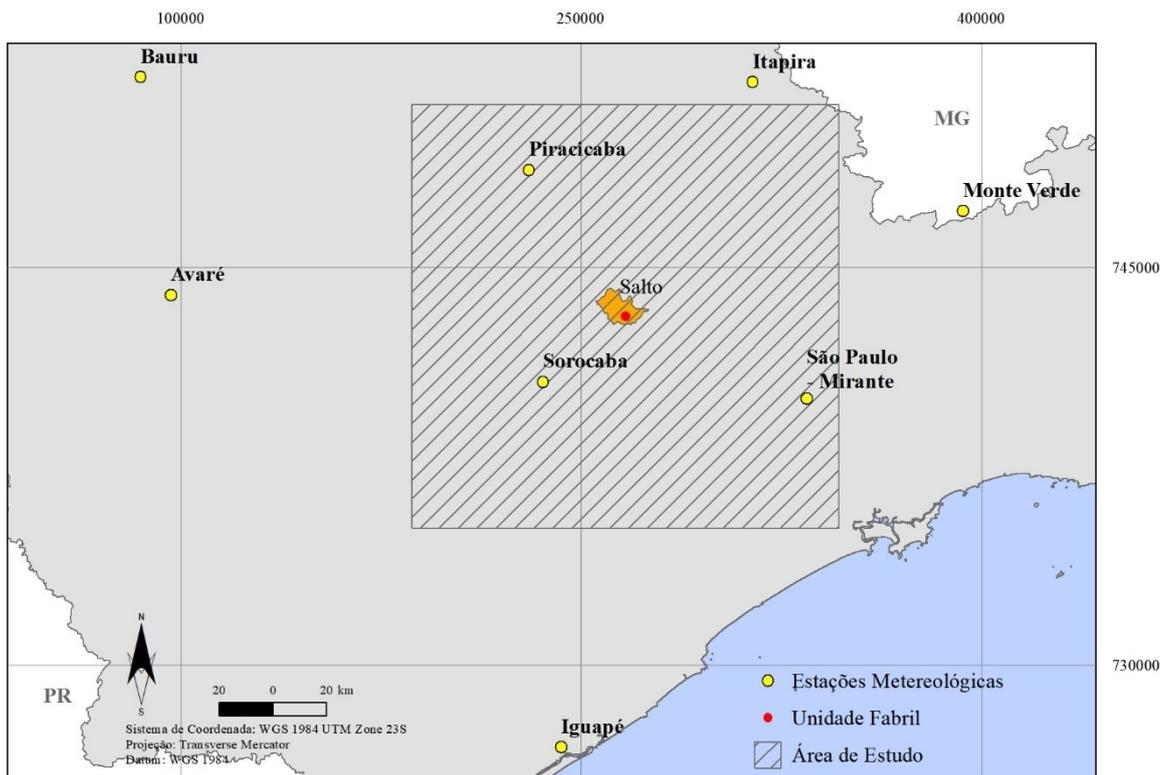
Onde: $Z(x)$ é o valor do ponto que se deseja interpolar; n é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto x ; $Z(x_i)$ é o valor do ponto x_i ; e ω_i é o peso do valor de x_i sobre o ponto x .

3.2.5 Armazenamento de água no solo

As informações referentes à capacidade de armazenamento de água no solo (ARM) foram obtidas através do balanço hídrico sequencial (BHS) da área de estudo. O BHS foi calculado através da ferramenta disponibilizada pelo Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO), desenvolvida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O procedimento seguiu a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955).

Foram utilizadas oito estações meteorológicas de superfície automáticas de modo que pudessem representar toda a área de estudo (FIGURA 2). Estas, são compostas de uma unidade de memória central ("*data logger*"), ligadas a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc.), que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora.

Figura 2 – Localização das estações meteorológicas.



Fonte: Do autor (2019).

O BHS permitiu verificar a disponibilidade de água nos solos entre uma data inicial e uma data final, de acordo com a localização das estações e da textura do solo associado a cada uma. A data inicial e final foram, respectivamente, 01/01/2016 e 31/12/2018. O tipo de solo e sua respectiva Capacidade de Água Disponível (CAD) foram ajustados automaticamente pelo

sistema, após seleção das estações, de acordo com uma base do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (TABELA 2).

Tabela 2 – Identificação das estações, textura do solo no local e respectivo CAD.

ESTAÇÃO	TEXTURA DO SOLO	CAD
Avaré	Argilosa	100
Bauru	Média	75
Iguapé	Média	75
Itapira	Média	75
Monte Verde	Argilosa	100
Piracicaba	Argilosa	100
São Paulo – Mirante	Média	75
Sorocaba	Argilosa	100

Fonte: Do autor (2019).

Os dados de cada estação foram disponibilizados e organizados em planilhas eletrônicas, a fim de se obter a média do ARM no período observado, considerando este o valor representativo de cada estação. Posteriormente os dados foram importados para o ambiente SIG e convertidos para o formato vetorial. Na sequência, de maneira semelhante ao risco de fogo, foi utilizado o método IDW (1) para extrapolação dos valores de armazenamento de água no solo para a área de estudo.

3.2.6 Distância da unidade fabril

A distância do povoamento florestal até a unidade de consumo tem influência direta no custo de produção da madeira e o retorno econômico do empreendimento florestal (WERNEBURG, 2015). Para o cálculo da distância de uma determinada área até a unidade fabril localizada na cidade de Salto, foi utilizada a ferramenta *Multiple Ring Buffer*, que cria múltiplos *buffers* em distâncias predefinidas a partir de determinada feição.

3.3 Analytical Hierarchy Process (AHP)

A ideia central da teoria da análise hierárquica introduzida por Saaty (1980) é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares. A utilidade do método

realiza-se no processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas. Para o autor, a teoria reflete o método natural de funcionamento da mente humana, isto é, diante de muitos elementos (controláveis ou não), a mente os agrega em grupos comuns. O cérebro repete esse processo e agrupa novamente os elementos em outro nível “mais elevado”, em função de propriedades comuns existentes nos grupos de nível imediatamente abaixo. A repetição dessa sistemática atinge o nível máximo quando este representa o objetivo do processo decisório. E, assim, é formada a hierarquia, por níveis estratificados (SILVA, 2007).

De acordo com Grandzol (2005), através de comparações aos pares em cada nível da hierarquia baseadas na escala de prioridades do AHP, os participantes desenvolvem pesos relativos, chamados de prioridades, para diferenciar a importância dos critérios.

Segundo Silva (2007, p. 42),

para se fazer bom uso da escala de prioridades, entretanto, é preciso compreender o que são os julgamentos no método. Um julgamento ou comparação é a representação numérica de uma relação entre dois elementos que possuem o mesmo “pai”.

O grupo de todos esses julgamentos pode ser representado numa matriz quadrada, na qual os elementos são comparados com eles mesmos. Cada julgamento representa a dominância do elemento da linha sobre o elemento da coluna (SAATY, 1994).

A escala indicada por Saaty (1990), representada na Tabela 3, vai de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 significando a extrema importância de um critério sobre outro, com estágios intermediários de importância entre esses níveis.

Tabela 3 – Escala fundamental para comparação pareada.

INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância fraca de um sobre outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro.
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro.
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu predomínio de importância é demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições.

Fonte: adaptado de Saaty e Vargas (2001, p. 6).

O julgamento reflete as respostas de duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante com respeito a um critério de nível superior, e com que intensidade, usando a escala da Tabela 3. É importante notar que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala, e o menos importante, como o inverso dessa unidade. Se o critério da linha é menos importante do que o critério da coluna da matriz, entramos com o valor recíproco na posição correspondente da matriz. Devido à relação de reciprocidade e à necessidade de consistência entre dois critérios, os recíprocos dos valores acima de zero são inseridos na matriz criada quando uma comparação entre duas atividades já foi realizada.

A seguir é apresentado o exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos de acordo com o método AHP.

$$\begin{bmatrix} & \mathbf{A} & \mathbf{B} & \mathbf{C} & \mathbf{D} \\ \mathbf{A} & 1 & 5 & 6 & 7 \\ \mathbf{B} & 1/5 & 1 & 4 & 6 \\ \mathbf{C} & 1/6 & 1/4 & 1 & 4 \\ \mathbf{D} & 1/7 & 1/6 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}$$

A consistência da matriz deve ser garantida, a partir de uma quantidade básica de dados, todos os outros podem ser logicamente deduzidos. Se A é 5 vezes mais dominante do que B, e A é 6 vezes mais dominante que C, então $A=5B$ e $A=6C$. Logo $B/C=6/5$, que corresponde à

posição B,C na matriz. Portanto, se o julgamento da posição B,C for diferente de 6/5, então a matriz é inconsistente, como ocorre na matriz acima.

Chan, Kwok e Duffy (2004, p. 440-441) resumem os passos recomendados para aplicação do AHP:

- a) definir o problema e o que se procura saber;
- b) decompor o problema desestruturado em hierarquias sistemáticas, do topo (objetivo geral) ao último nível (fatores mais específicos, geralmente as alternativas). A estrutura da AHP contém objetivos, critérios e classificação de alternativas. Cada nó é dividido em níveis apropriados de detalhes. Quando mais critérios, menos importante cada critério individual se torna, e a compensação é feita pela atribuição de pesos para cada critério. É importante verificar se os níveis estão consistentes internamente e completos, e que a relação entre eles estejam claras;
- c) construir uma matriz de comparação par a par entre os critérios;
- d) fazer os julgamentos para completar as matrizes. O analista ou grupo participante julga se A domina o elemento B. Se afirmativo, inserir o número na célula da linha de A com a coluna de B. A posição coluna A com linha B terá o valor recíproco. Assim prossegue-se o preenchimento da matriz. Os valores inseridos são aqueles da escala de comparação, mostrados na Tabela 3;
- e) calcular o índice de consistência (IC). Se não for satisfatório, refazer julgamentos. O IC é calculado pela fórmula: $IC = (\lambda_{m\acute{a}x} - n) / (n - 1)$. De acordo com Saaty (1990), para se obter a consistência de uma matriz positiva recíproca, seu autovalor máximo deveria ser maior ou igual a n (dimensão da matriz). No caso de uma matriz consistente, precisamos de $n-1$ comparações paritárias já que, a partir dessas, as outras podem ser reduzidas logicamente.

O autovetor dá a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. O método de análise hierárquica busca o autovalor máximo, $\lambda_{m\acute{a}x}$, que pode ser calculado pela multiplicação da matriz de julgamentos pelo vetor coluna de prioridades computado w , seguido da divisão desse novo vetor encontrado, Aw , pelo vetor w , chegando-se ao valor de $\lambda_{m\acute{a}x}$.

Cabe lembrar que $Aw = \lambda w$ e, que no método da análise hierárquica, $Aw = \lambda_{m\acute{a}x} w$. Para o cálculo de $\lambda_{m\acute{a}x}$, utiliza-se a fórmula: $\lambda_{m\acute{a}x} = Aw/w$.

Como regra geral, se o IC for menor do que 0,1, então, há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP, se não, recomenda-se que os julgamentos sejam refeitos.

Tabela 4 – Índice randômico médio da AHP.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: adaptado de Saaty (1991).

Saaty (1990) sugere também o uso da Razão de Consistência (RC), que considera o IC e o Índice Randômico (IR), que varia com o tamanho n da amostra.

$$RC=IC/IR$$

Saaty (1991) propõe uma tabela com os IR de matrizes de ordem de 1 a 15 calculados em laboratório, conforme exibido na Tabela 4; e

- f) analisar as matrizes para estabelecer as prioridades locais e globais, comparar as alternativas e selecionar a melhor opção.

Nesse estudo, foram considerados multidisciplinares pressupostos processuais para efetivação do método AHP a partir de comparação pareada. Utilizou-se de um grupo amostral de 5 analistas, todos engenheiros florestais com experiência em distintas áreas de atuação no setor, que ponderaram individualmente matrizes AHP de acordo com suas experiências técnico-científicas, reconhecimento da região, entendimento dos critérios, levantamentos bibliográficos, dentre outros. Os julgamentos basearam-se nos valores apresentados na Tabela 3.

3.4 Definição dos pesos para os subcritérios

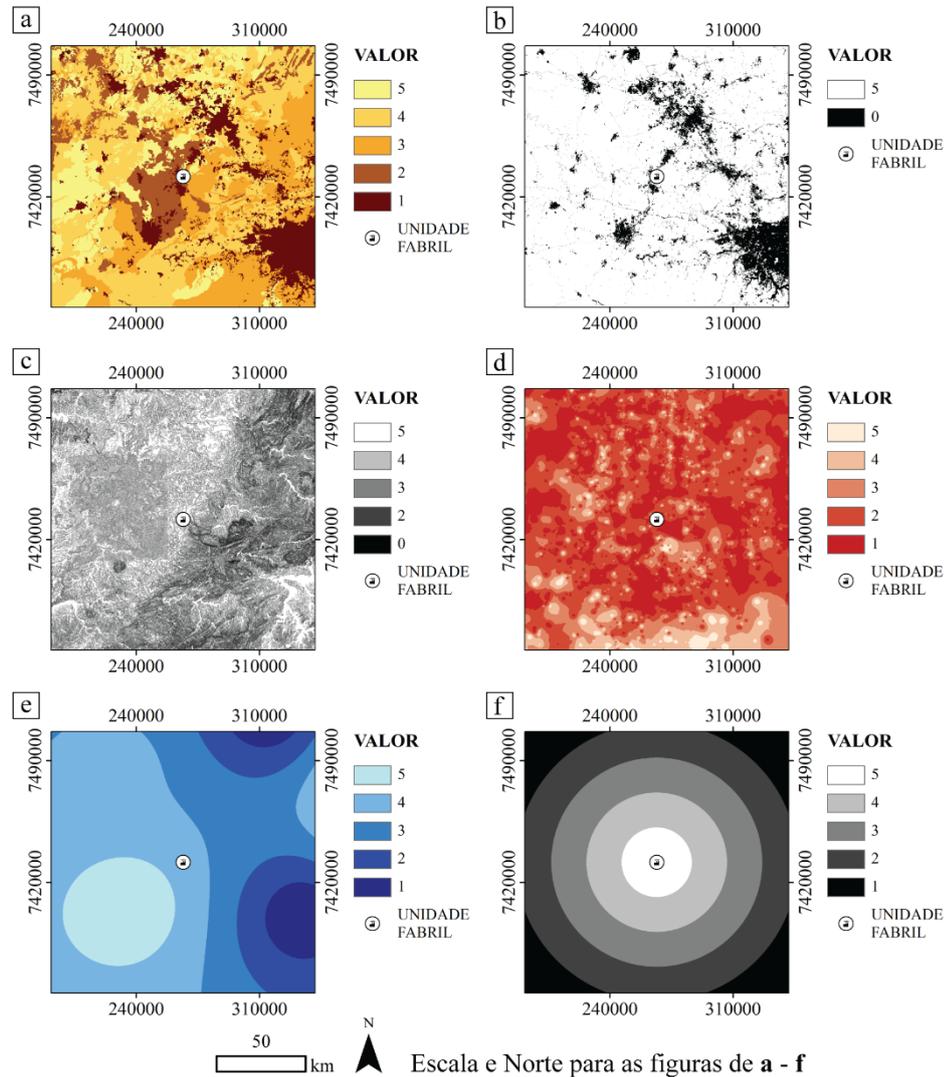
De posse dos dados espacializados, utilizou-se a ferramenta *Reclassify* para agrupar e reclassificar os *pixels* dos arquivos *rasters* em 5 classes de aptidão, de acordo com a classificação da aptidão da terra proposta pela FAO (1976). Os subcritérios que afetam positivamente as atividades silviculturais receberam uma pontuação maior, enquanto àqueles que apresentam certo grau de restrição às atividades foram menos pontuados. Os subcritérios pontuados com o valor zero, foram considerados restritivos (TABELA 5). Sendo assim, o mapa de aptidão final da área de estudo foi obtido removendo as áreas construídas, corpos d'água e áreas com declividade maior que 45%.

Tabela 5 – Critérios, subcritérios e seus respectivos valores.

CRITÉRIO	SUB-CRITÉRIO	VALOR
Profundidade efetiva do solo	Muito profundo	5
	Profundo	4
	Moderadamente profundo	3
	Raso	2
	Muito raso	1
Uso e cobertura do solo	Cobertura arbórea	5
	Cobertura herbácea-arbustiva	5
	Corpo d'água	0
	Solo exposto	5
	Área construída	0
Declividade do terreno	0 – 3 %	5
	3 – 8 %	4
	8 – 20 %	3
	20 – 45 %	2
	> 45 %	0
Risco de fogo	0 – 0,15	5
	0,15 – 0,40	4
	0,40 – 0,70	3
	0,70 – 0,95	2
	> 0,95	1
Armazenamento de água no solo	70 – 75 mm	5
	65 – 70 mm	4
	60 – 65 mm	3
	55 – 60 mm	2
	50 – 55 mm	1
Distância da unidade fabril	0 – 20 km	5
	20 – 40 km	4
	40 – 60 km	3
	60 – 80 km	2
	> 80 km	1

Fonte: Do autor (2019).

Figura 3 – Critérios e subcritérios utilizados no estudo.



Legenda: **a**: Profundidade efetiva do solo; **b**: Uso e cobertura do solo; **c**: Declividade do terreno; **d**: Risco de fogo. **e**: Armazenamento de água no solo e; **f**: Distância da unidade fabril.

Fonte: Do autor (2019).

Os pesos dos subcritérios foram baseados na literatura e nos julgamentos técnicos de especialistas. A classe do solo foi classificada de acordo com Drugowich et al. (2015), o qual sugere, dentre outros atributos físicos do solo, a utilização da profundidade efetiva como parâmetro de enquadramento dos solos em Classes de Capacidade de Uso (CCU), de acordo com a Resolução SAA nº 11, de 15/04/2015, que

dispõe sobre normas e procedimentos para efeito de aplicação do Decreto 41.719, de 16-04-1997, que trata do uso, conservação e preservação do solo agrícola no Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2015).

A declividade foi classificada de acordo com metodologia desenvolvida pela Embrapa (1979) e para o RF, foram utilizadas as classes propostas por Setzer et al. (2017). A classificação

dos critérios *ARM* e *Distância da unidade fabril* foi definida pelo agrupamento dos valores dos *pixels* em 5 intervalos iguais, visando adequação dos dados junto aos outros critérios.

De acordo com trabalhos realizados por Wang et al. (2009) e Akinci, Özalp e Turgut, (2013), para definição de aptidão das terras utilizando os dados da classificação do uso e cobertura do solo, dois tipos de uso foram definidos: (1) áreas não aptas para a expansão silvicultural, por exemplo, corpos d'água e áreas construídas, receberam o valor 0 e; (2) áreas aptas ou adequadas, com considerações a serem feitas, por exemplo, cobertura arbórea, cobertura herbácea-arbustiva e solo exposto, os quais receberam valor 5, conforme Figura 5.

3.5 Elaboração do mapa final

Para a geração do mapa final de aptidão, todas as camadas de informações referentes aos critérios foram convertidas para o formato *raster*, definindo uma resolução espacial de 30 metros.

Foi aplicado o método de sobreposição ponderada de mapas no *software* ArcGIS 10.6.1. A ferramenta utilizada foi a *Weighted Overlay*, que sobrepõe vários *rasters* usando uma escala comum de medida (de 1 a 5), de acordo com a importância – ou peso – do critério, definidos a partir do método AHP.

A álgebra de mapas é o procedimento de combinação de variáveis que apoia a análise de multicritérios, ou seja, são operações matemáticas utilizando-se mapas, dados em formato *rasters*, conforme variáveis consideradas, que produzem novos resultados para análise e síntese de informação (DEODORO; FONSECA, 2016).

4 RESULTADOS

4.1 Comparação pareada dos critérios

Como etapa fundamental da metodologia do AHP, a matriz de comparação pareada foi gerada a partir dos julgamentos realizados pelos especialistas, utilizando a escala proposta por Saaty e Vargas (2001) (TABELA 3). Assim, a intensidade de importância de cada julgamento foi definida, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Matriz de comparação pareada entre os critérios do estudo.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
C ₁	1	5	1/2	1/2	9	4
C ₂	1/5	1	1/4	1/4	5	5
C ₃	2	4	1	2	7	5
C ₄	2	4	1/2	1	8	6
C ₅	1/9	1/5	1/7	1/8	1	1/2
C ₆	1/4	1/5	1/5	1/6	2	1

Legenda: Autovalor máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$) = 6,4502. $n = 6$. IC = 0,0900. RI = 1,24. RC = 0,0726. C₁: Uso e cobertura do solo; C₂: Profundidade efetiva do solo; C₃: Distância da unidade fabril; C₄: Declividade do terreno; C₅: Risco de fogo; C₆: Armazenamento de água no solo.

Fonte: Do autor (2019).

A matriz caracterizou-se como consistente, pois enquadrou-se nos parâmetros definidos por Saaty (1980), os quais indicam que para uma matriz com $n \geq 4$, a RC deve ser menor ou igual a 0,1 e que $\lambda_{m\acute{a}x} \geq n$. Neste estudo, o valor de n , que representa o tamanho da matriz (ou número de critérios) foi 6. O autovalor máximo e a razão de consistência foram, respectivamente 6,4502 e 0,0726.

Após processamento da matriz de comparação, obteve-se como critério de maior relevância neste trabalho, a *distância da unidade fabril*, representando 33% de importância para a avaliação multicritério, seguida respectivamente da *declividade do terreno* (28%), *uso e cobertura do solo* (22%), *classes de solo* (9%), *armazenamento de água no solo* (5%) e, com o menor peso, o *risco de fogo* (3%).

Tabela 7 – Pesos finais por ordem de importância, numéricos e em porcentagem.

CRITÉRIOS	PESOS FINAIS	PESO (%)
Distância da unidade fabril	0,333	33
Declividade do terreno	0,280	28
Uso e cobertura do solo	0,219	22
Profundidade efetiva do solo	0,095	9
ARM	0,045	5
Risco de fogo	0,028	3
SOMA (Σ)	1,000	100

Fonte: Do autor (2019).

4.2 Mapa final de aptidão

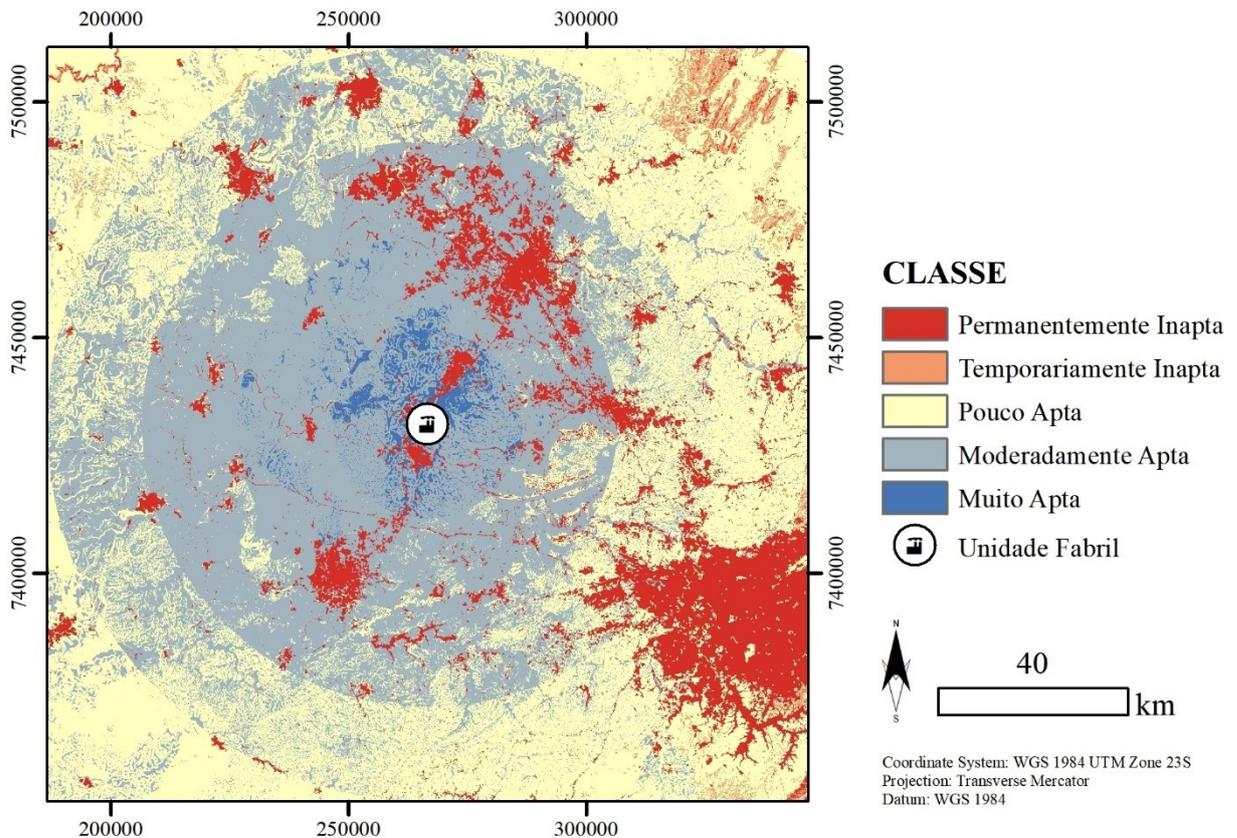
De acordo com o mapa de aptidão gerado (FIGURA 4), verificou-se que a maior porcentagem das áreas se encontra nas classes *pouco* (FIGURA 5.c) e *moderadamente aptas* (FIGURA 5.d), abrangendo, respectivamente, 43,25% e 42,09% da área de estudo. As áreas *permanentemente inaptas* (FIGURA 5.a) ocupam 11,69% da região estudada, enquanto as áreas *temporariamente inaptas* (FIGURA 5.b) ocupam 1,36%, representando a menor proporção entre as classes. As melhores áreas, classificadas como *muito aptas* (FIGURA 5.e) ocupam 1,61% da área de estudo, e correspondem à 41.260,5 ha (TABELA 8).

Tabela 8 – Relação de área por classe de aptidão.

CLASSE	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Muito apta	41.260,50	1,61%
Moderadamente apta	1.075.771,26	42,09 %
Pouco apta	1.104.958,98	43,25 %
Temporariamente inapta	34.851,78	1,36 %
Permanentemente inapta	298.821,24	11,69 %
TOTAL (Σ)	2.555.663,76	100 %

Fonte: Do autor (2019).

Figura 4 – Mapa de aptidão a atividade florestal.



Fonte: Do autor (2019).

4.3 Seleção das melhores áreas

De posse do mapa final e das informações geradas em ambiente SIG, foram selecionadas e filtradas as áreas classificadas com aptidão *muito alta*, através da operação lógica *AND*, aquelas que possuem área maior que 120 hectares (FIGURA 6). A partir deste filtro, foram levantadas as cinco cidades que concentram o maior número de terras aptas (TABELA 9), a fim de direcionar as operações de pesquisa *in loco* na região.

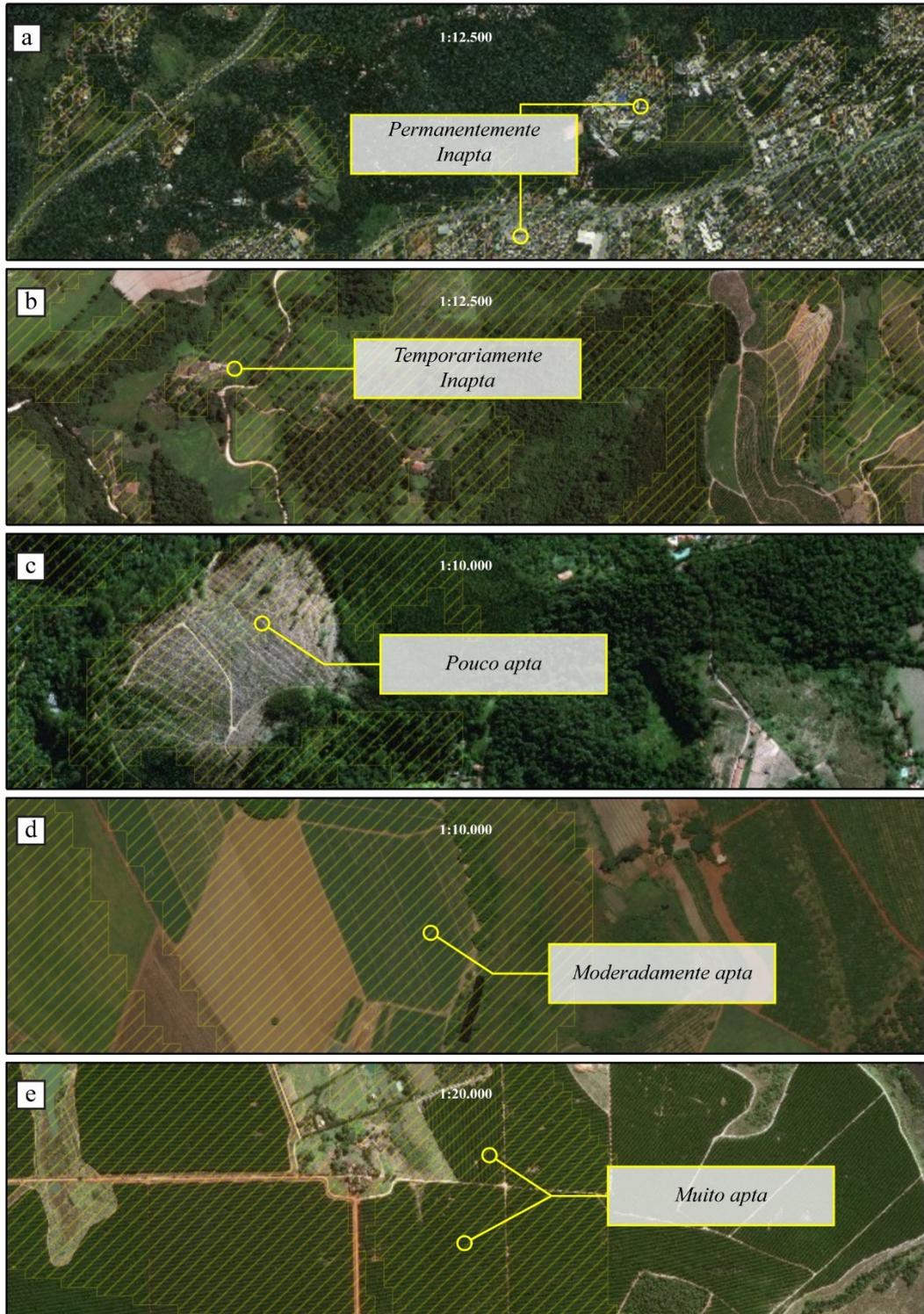
Tabela 9 – Municípios que apresentaram as maiores áreas com aptidão *muito alta* na área de estudo.

CIDADES	ÁREA (ha)
Indaiatuba	6.778,79
Elias Fausto	4.550,40
Salto	3.199,10
Itu	2.390,24
Porto Feliz	1.784,07

Fonte: Do autor (2019).

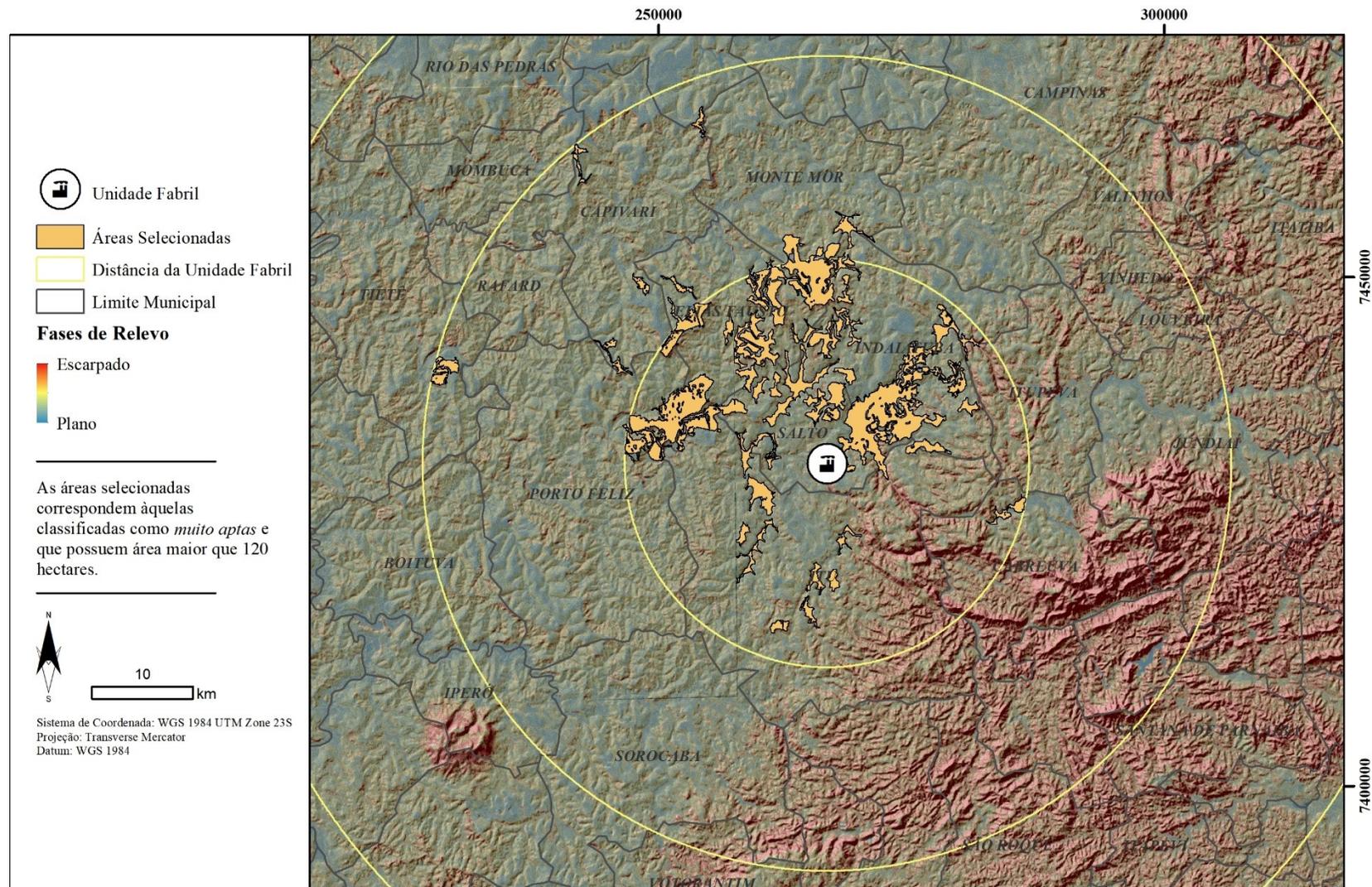
Das áreas classificadas como *muito aptas*, apenas 50,8% (20.959,2 ha) enquadram-se na condição de terem áreas maiores que 120 hectares, representando 0,82% da área de estudos (FIGURA 6).

Figura 5 – Representação de cada classe de aptidão.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 6 – Áreas classificadas com aptidão *muito alta* e ≥ 120 ha.



Fonte: Do autor (2019).

5 DISCUSSÃO

5.1 Agregação da matriz de julgamento

Neste estudo, foi adotada a abordagem participativa para o preenchimento da matriz de comparação AHP, a qual envolve a síntese de cada um dos julgamentos individuais e combinação das prioridades resultantes. Esse tipo de abordagem tem ganhado credibilidade entre os tomadores de decisão (JEONG et al., 2017) e pode alcançar eficácia e eficiência, bem como relevância e capacidade de resposta a um baixo custo (MCCALL; DUNN, 2012).

No entanto, a ponderação das matrizes para geração da matriz final mostrou-se complexa devido às discrepâncias dos julgamentos entre os analistas, que pode ser explicada pela forte correlação entre os critérios, o que dificulta a avaliação da intensidade de importância de um sobre outro, além dos perfis referentes a cada analista, relativamente às distintas linhas de atuação na área florestal, com analistas relacionados diretamente ao segmento privado e outros ao âmbito acadêmico. As matrizes foram unificadas através de uma média, de modo a encontrar-se o ponto de equilíbrio dos valores ponderados por cada analista, bem como utilizou-se dos pesos intermediários propostos por Saaty (1980) (TABELA 3), considerados ao uso sempre que houver conflitos de julgamentos. O AHP, através de comparações redundantes, teve o objetivo de estruturar a lógica nessa ponderação e forneceu um resultado convincente e matematicamente consistente, seguindo os pressupostos do método.

5.2 Pesos dos critérios

A *distância da unidade fabril* foi o critério de maior peso de importância, indicando maior aptidão às áreas mais próximas, em acordo com estudos que mostraram a relação inversa entre distância da floresta à unidade fabril e o custo gerado pelas atividades de colheita e transporte da madeira (BERGER et al., 2003). Silva et al. (2014) afirmam que o custo com transporte de madeira realizado no Brasil tem sido um dos principais fatores que inviabilizam economicamente projetos florestais. Em razão de grande parte dos reflorestamentos estarem situados muito distante dos centros consumidores, as etapas de colheita e transporte são consideradas de suma importância, pois chegam a representar grande parcela dos custos totais da madeira posta na indústria.

O critério *declividade* foi o segundo fator mais importante nesta análise e sua influência está relacionada às condições operacionais e conseqüentemente ao custo, visto que, quanto maior a declividade, maiores serão as dificuldades na instalação do povoamento florestal, tratos silviculturais, colheita e transporte (CALDAS, 2006). Miyajima et al. (2016), ao estudar a influência da declividade do terreno no rendimento do *feller buncher*, constatou maior eficiência operacional em terrenos com menores classes de declividades.

Em terceiro lugar de importância relativa, encontra-se o critério *uso e cobertura do solo*, o qual atuou como um critério de restrição. As restrições podem ser entendidas como categorias restritivas dos critérios (EASTMAN et al., 1996), neste caso, foram consideradas categorias restritivas, os subcritérios: *corpo d'água* e *área construída*. Este critério separou a área de estudos em duas categorias: apto (possível) e inapto (inviável), conforme descrito por Malczewski (2018).

Na seqüência, aparecem os critérios *profundidade efetiva do solo* e *armazenamento de água no solo*. O primeiro, avaliado em termos de profundidade efetiva, influencia diretamente aspectos como estoque de nutrientes, desenvolvimento do sistema radicular das plantas, riscos de erosão e capacidade de armazenamento de água no solo. O último, por sua vez, tem um efeito importante sobre o funcionamento da floresta em regiões tropicais (MALHI et al., 2008) e está associado à alta produtividade nas plantações de eucalipto (CHRISTINA et al., 2017).

O *risco de fogo* foi o critério menos importante, segundo o método AHP e, que pode ser justificado na prática pelo fato de que o Estado de São Paulo possui elevados índices pluviométricos durante o ano, inclusive nos meses mais secos, com precipitação anual média acima de 1.500 mm. Outro fator que pode explicar a baixa relevância desse critério é o investimento na prevenção e detecção dos incêndios florestais nas empresas do setor, com ações direcionadas à manutenção de estradas e aceitos, construção de torres de observação, vigilância remota e treinamentos, o que torna este problema, no Brasil, cada vez mais controlado.

5.3 Distribuição espacial das melhores áreas

As melhores áreas estão distribuídas ao centro da região estudada, fato que está diretamente relacionada aos pesos dos dois principais critérios, *distância da unidade fabril* (33%) e *declividade do terreno* (28%), considerando que o *uso e cobertura do solo* foi usado como critério de restrição.

As áreas que atendem ao critério de aptidão e tamanho mínimo de área, (àquelas com aptidão *muito alta* e área maior que 120 hectares), estão localizadas próximas à unidade fabril, onde 89,9% (18.854,38 ha) encontram-se em uma distância de até 20 km, 10,0 % (2.104,82 ha) entre 20 e 40 km e uma pequena porção de 0,01% está localizada à uma distância maior. Além disso, essas áreas encontram-se em regiões onde a classificação do relevo vai de *plano* a *suavemente ondulado*, subcritérios de maior valor que estão inseridos no critério *declividade do terreno*.

5.4 Limitações da metodologia aplicada

Embora os dados utilizados neste estudo sejam oficiais e, portanto, confiáveis, alguns, como os dados referentes ao *uso e cobertura do solo*, tiveram levantamentos realizados em 2013. Isso é importante, pois, o sucesso dos resultados depende da qualidade e confiabilidade dos dados de entrada.

Selim et al. (2018) destacam que se o conjunto de dados de entrada não estiver atualizado, os resultados obtidos poderão não representar a atual conjuntura da realidade. Sendo assim, deve-se considerar essas informações ao utilizar os mapas gerados em estudos como este e, no planejamento de atividades *in loco*.

Além disso, em trabalhos dessa magnitude, é imprescindível que o mapeamento e classificação do *uso e cobertura do solo* seja realizado sob demanda, com imagens recentes, orientada aos objetos que sejam relevantes para o objetivo do estudo, como, por exemplo, áreas de reflorestamento e vegetação nativa, e, quando possível, a distinção entre os diferentes estágios sucessionais da vegetação. Outros dados, como áreas de preservação permanente, limites das Unidades de Conservação e dados relativos ao inventário florestal podem ser utilizados como critérios em trabalhos futuros.

De posse do mapa final de aptidão elaborado neste estudo, em ambiente SIG, há a possibilidade de análises mais profundas a partir de diferentes cenários, como, por exemplo, aumentar ou diminuir as restrições quanto às áreas a serem arrendadas (em tamanho e aptidão). No caso de uma empresa florestal, é possível e recomendado, que sua base cartográfica seja integrada aos resultados obtidos neste estudo, a fim de avaliar a localização de possíveis áreas para compra com base nas fazendas já pertencentes à empresa, visto que a presença de outras florestas favorece a concentração das atividades tanto de silvicultura quanto de colheita.

6 CONCLUSÃO

A crescente busca por terras para o estabelecimento de culturas florestais, principalmente de eucalipto, no Estado de São Paulo, é um dos maiores desafios enfrentados pelas empresas do setor. A utilização do AHP neste trabalho foi motivada pela ausência e ao mesmo tempo pela necessidade de informações a respeito da aplicação do método com a finalidade de seleção de terras para compra e/ou arrendamento, direcionada ao abastecimento de empresas de base florestal na região.

Portanto, neste estudo, o objetivo principal foi definir a distribuição espacial de terras adequadas para compra e/ou arrendamento utilizando o AHP, um dos métodos de análise multicritérios mais utilizados atualmente.

Análise multicritério e SIG foram integrados com a finalidade de definir sítios com alta aptidão para atividades florestais. Foram utilizados os critérios *profundidade efetiva do solo*, *uso e cobertura do solo*, *declividade do terreno*, *risco de fogo*, *armazenamento de água no solo*, e *distância da unidade fabril* na análise. O AHP ofereceu um sistema eficiente, que se mostrou consistente na definição dos pesos dos critérios.

A *distância da unidade fabril* foi o critério mais importante no estudo e influenciou fortemente na distribuição espacial das áreas selecionadas, além de estar diretamente relacionada às atividades de colheita e transporte, responsáveis por grande parcela dos custos totais da madeira.

As características edafoclimáticas da região foram determinantes no julgamento entre os critérios, e, por este motivo, o *risco de fogo* foi o critério menos importante no estudo.

Apenas 0,82% da área de estudo se enquadrou nos parâmetros médios definidos para compra ou arrendamento de terras, que consiste em áreas classificadas com aptidão *muito alta* e área maior que 120 hectares.

A metodologia pode ser replicada em qualquer região do Brasil, utilizando-se dos critérios aqui propostos e, podendo haver adição de novos critérios com possíveis alterações na ordem de importância (peso) dos mesmos.

Conclui-se, portanto, que este estudo forneceu dados confiáveis e com embasamento científico, para seleção de locais que se destinam à implantação de culturas florestais visando o planejamento de atividades silviculturais na área de estudo.

REFERÊNCIAS

- AHMED, F.; KILIC, K. Fuzzy analytic hierarchy process: a performance analysis of various algorithms. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 362, p. 110–128, 2019.
- AKINCI, H.; ÖZALP, A. Y.; TURGUT, B. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 97, p. 71–82, 2013.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- BAIDYA, R. et al. Strategic maintenance technique selection using combined quality function deployment, the analytic hierarchy process and the benefit of doubt approach. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 94, n. 1–4, p. 31–44, set. 2018.
- BERGER, R. et al. Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. **Floresta**, v. 33, n. 1, abr. 2003. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2277>>. Acesso em: 19 maio 2019.
- BOTTERO, M. C. et al. A multidisciplinary sustainability evaluation system for operative and in–design hospitals. In: **Improving Sustainability During Hospital Design and Operation**. Springer, Cham, 2015. p. 31–114.
- BOTTERO, M. et al. The application of a Multicriteria Spatial Decision Support System (MCSOSS) for the assessment of biodiversity conservation in the Province of Varese (Italy). **Land Use Policy**, v. 30, n. 1, p. 730–738, jan. 2013.
- CALDAS, A. J. F. S. **Geoprocessamento e análise ambiental para a determinação de corredores de habitat na Serra da Concórdia**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.
- CAPOLONGO, S. et al. Sustainability and hygiene of building: future perspectives. **Epidemiologia e prevenzione**, v. 38, n. 6, p. 46–50, 2014.
- CARVALHO, M.F.O.; CARDOSO, M.F.; ALMEIDA, B.N. Estimativa do risco de incêndios florestais com base em fitofisionomias e fatores climáticos. **Biodiversidade Brasileira**, v.6, n.2, p.187–204, 2016.
- CHAN, A. H. S.; KWOK, W. Y.; DUFFY, V. G. Using AHP for determining priority in a safety management system. **Industrial Management & Data Systems**, v. 104, n. 5, p. 430–445, 2004.
- CHRISTINA, M. et al. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. **Functional Ecology**, v. 31, n. 2, p. 509–519, 2017.
- CIPOLLINI, K. A.; MARUYAMA, A. L.; ZIMMERMAN, C. L. Planning for Restoration: A Decision Analysis Approach to Prioritization. **Restoration Ecology**, v. 13, n. 3, p. 460–470, set. 2005.

COMINO, E. et al. The combined use of spatial multicriteria evaluation and stakeholders analysis for supporting the ecological planning of a river basin. **Land Use Policy**, v. 58, p. 183–195, 2016.

CPLA. **Mapeamento de cobertura da terra do Estado de São Paulo – 2010 – escala 1:100.000**. São Paulo, SP: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2013.

CPLA. **Modelo digital de elevação (MDE) do Estado de São Paulo obtido a parte da base do GISAT (cartas topográficas na escala 1:50.000)**. São Paulo, SP: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2013b.

DEODORO, S. C.; FONSECA, B. M. Análise morfométrica e multicriterial da bacia hidrográfica do Rio Santa Bárbara, nordeste do quadrilátero ferrífero (MG). **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 68/9, p. 1837–1852, 2016

DRUGOWICH, M. I. et al. **Tutorial para aplicação da Resolução SAA – 11 (15/4/2015)**. Campinas, SP: CATI, 2015.

EASTMAN, J. R.; JIANG, H. Fuzzy measures in multi-criteria evaluation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL ACCURACY ASSESSMENT IN NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL STUDIES, 1996, Colorado. **Anais...** Colorado: USDA, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA–SNLCS. Micelânea, 1).

FAO. **A framework for land evaluation, soils bulletin 32**. FAO and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1976.

FAO. **Global forest resources assessment 2015**. Roma, 2015.

FEICK, R. D.; HALL, G. B. Consensus-building in a multi-participant spatial decision support system. **URISA Journal**, v. 11, n. 2, p. 17–23, 1999.

FERRETTI, V.; MONTIBELLER, G. Key challenges and meta-choices in designing and applying multi-criteria spatial decision support systems. **Decision Support Systems**, v. 84, p. 41–52, abr. 2016.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. (Ed.). **Multi criteria decision analysis: state of the art surveys**. New York: Springer, 2005.

FRANCELINO, M. R.; REZENDE, E. M. C. DE; SILVA, L. D. B. DA. Proposta de metodologia para zoneamento ambiental de plantio de eucalipto. **CERNE**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 275–283, 2012.

GENELETTI, D. A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley. **Land Use Policy**, v. 21, n. 2, p. 149–160, abr. 2004.

GRANDZOL, J. R. Improving the faculty selection process in higher education: a case for the Analytic Hierarchy Process. **Association for Institutional Research (NJ1)**, v. 6, p. 2–13, ago. 2005. Disponível em: <<https://eric.ed.gov/?id=ED504373>>. Acesso em: 5 maio 2019.

GREENE, R. et al. An approach to GIS-based multiple criteria decision analysis that integrates exploration and evaluation phases: Case study in a forest-dominated landscape. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 12, p. 2102–2114, dez. 2010.

GUPTA, S. et al. Analytic Hierarchy Process (AHP) model for evaluating sustainable manufacturing practices in indian electrical panel industries. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 189, p. 208–216, maio 2015.

HO, W.; MA, X. The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 267, n. 2, p. 399–414, jun. 2018.

HUANG, I. B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. **Science of The Total Environment**, v. 409, n. 19, p. 3578–3594, set. 2011.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2017**. São Paulo, SP, 2017.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Sumário executivo 2018**. São Paulo, SP, 2018.

INUIGUCHI, M. An Evidence Theoretic Approach to Interval Analytic Hierarchy Process. In: HUYNH V. N.; INUIGUCHI M.; TRAN D.; DENOEU X T. **Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making**. [S.l.: s.n.], 2018. v. 10758, p. 60–71.

JANKOWSKI, P.; NYERGES, T. **Geographic information systems for group decision making: towards a participatory geographic information science**. London: Taylor and Francis, 2001.

JEONG, J. S. et al. Identifying priority areas for rural housing development using the participatory multi-criteria and contingent valuation methods in Alange reservoir area, central extremadura (Spain). **Journal of Rural Studies**, v. 50, p. 117–128, 2017.

KALUTARA, P. et al. Prioritising sustainability factors for Australian community buildings' management using analytical hierarchy process (AHP). **International Journal of Strategic Property Management**, v. 24, n. 1, p. 37–50, 20 mar. 2018.

KHAIRA, A.; DWIVEDI, R. K. A state of the art review of analytical hierarchy process. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 2, p. 4029–4035, 2018.

LEAKE, C.; MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p. 703–726, ago. 2006.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. [S.l.]: J. Wiley, 1999.

MALCZEWSKI, J. Multicriteria Analysis. In: **Comprehensive Geographic Information Systems**. [S.l.] Elsevier, 2018. p. 197–217.

- MALCZEWSKI, J.; RINNER, C. **Multicriteria decision analysis in geographic information science**. New York: Springer, 2015.
- MALHI, Y. et al. climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science**, v. 319, n. 5860, p. 169–172, 11 jan. 2008.
- MARJOKORPI, A.; OTSAMO, R. Prioritization of Target Areas for Rehabilitation: A Case Study from West Kalimantan, Indonesia. **Restoration Ecology**, v. 14, n. 4, p. 662–673, dez. 2006.
- MARTINS, F.; MARTINS, F. G.; COELHO, L. DOS S. Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em dutovias. **Revista GEPROS**, v. 0, n. 1, p. 65, fev. 2014. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/317>>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- MCCALL, M. K.; DUNN, C. E. Geo-information tools for participatory spatial planning: Fulfilling the criteria for ‘good’ governance? **Geoforum**, v. 43, n. 1, p. 81–94, jan. 2012.
- MELLO, C. R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925–933, 2003.
- MIYAJIMA, R. H. et al. A influência da declividade do terreno e do tempo de experiência dos operadores no rendimento do feller buncher. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 443–451, jun. 2016.
- MUNDA, G. Multiple Criteria Decision Analysis and Sustainable Development. In: **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York: Springer, 2005. p. 953–986.
- ORSI, F.; CHURCH, R. L.; GENELETTI, D. Restoring forest landscapes for biodiversity conservation and rural livelihoods: A spatial optimisation model. **Environmental Modelling & Software**, v. 26, n. 12, p. 1622–1638, dez. 2011.
- ORSI, F.; GENELETTI, D. Identifying priority areas for forest landscape restoration in Chiapas (Mexico): An operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. **Landscape and Urban Planning**, v. 94, n. 1, p. 20–30, jan. 2010.
- REICHERT, P. et al. The conceptual foundation of environmental decision support. **Journal of Environmental Management**, v. 154, p. 316–332, maio 2015.
- RIGHI, E.; BASSO, L. A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. **Ambiência Guarapuava (PR)**, v.12, n.1, p. 101–117, 2016.
- ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo, SP: Instituto Florestal. v. 1. 118p. 2017.
- SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

SAATY, T. L. Highlights and critical points in the theory and application of the Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, v. 74, n. 3, p. 426–447, maio 1994.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, set. 1990.

SAATY, T. L. Some mathematical concepts of the Analytic Hierarchy Process. **Behaviormetrika**, v. 18, n. 29, p. 1–9, 1991.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw–Hill, 1980.

SAATY, T. L. the modern science of multicriteria decision making and its practical applications: the AHP/ANP approach. **Operations Research**, v. 61, n. 5, p. 1101–1118, out. 2013.

SAATY, T. L.; ÖZDEMİR, M. S.; SHANG, J. S. The rationality of punishment — measuring the severity of crimes: an AHP–based orders–of–magnitude approach. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 14, n. 01, p. 5–16, jan. 2015.

SAATY, T. L.; SHANG, J. S. An innovative orders–of–magnitude approach to AHP–based multi–criteria decision making: prioritizing divergent intangible humane acts. **European Journal of Operational Research**, v. 214, n. 3, p. 703–715, nov. 2011.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, methods, concepts & applications of the Analytic Hierarchy Process**. Boston, MA: Springer US, 2001. v. 34.

SAATY, T.; DE PAOLA, P. Rethinking design and urban planning for the cities of the future. **Buildings**, v. 7, n. 4, p. 76, ago. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SAA, nº 11, de 15 de abril de 2015.

SCHUMACHER, M. V; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. 1. ed. Santa Maria, ES: Editora UFSM, 2015.

SELIM, S. et al. Site selection for avocado cultivation using GIS and multi–criteria decision analyses: case study of Antalya, Turkey. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 154, p. 450–459, nov. 2018.

SETZER, A. W. et al. **Anuário risco de fogo 2017**. São José dos Campos, SP: INPE, 2017.

SILVA, D. M. R. E. **Aplicação do método AHP para avaliação de projetos industriais**. 2007. Tese (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 14 mar. 2007.

SILVA, M. L. DA et al. Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 1073–1079, dez. 2007.

SUGUMARAN, R.; DEGROOTE, J. **Spatial decision support systems: Principles and practices**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011.

TERVONEN, T.; SEPEHR, A.; KADZIŃSKI, M. A multi-criteria inference approach for anti-desertification management. **Journal of Environmental Management**, v. 162, p. 9–19, out. 2015.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**. Centerton, NJ, USA: Laboratory of climatology, 1955.

TRAMARICO, C. L.; SALOMON, V. A. P.; MARINS, F. A. S. Multi-criteria assessment of the benefits of a supply chain management training considering green issues. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 249–256, jan. 2017.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic Hierarchy Process: an overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 1, p. 1–29, fev. 2006.

VALENTE, R. de O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 2005. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VARGAS, L. G. The legacy of the analytic hierarchy/network process. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, v. 9, n. 3, 26 dez. 2017.

VIZZARI, M. Spatial modelling of potential landscape quality. **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 108–118, jan. 2011.

WANG, G. et al. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: a case study in Beijing, China. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 8, p. 2414–2421, jun. 2009.

WERNEBURG, M. A. P. **Planejamento em grandes empresas florestais no Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2015.

WOLFSLEHNER, B.; VACIK, H. Evaluating sustainable forest management strategies with the Analytic Network Process in a Pressure–State–Response framework. **Journal of Environmental Management**, v. 88, n. 1, p. 1–10, jul. 2008.

YADAV, S. S. K.; GUPTA, H.; BANDYOPADHAYAY, A. Selection of a sustainability awareness project in an academic institution using the Analytic Hierarchy Process (AHP). **International Journal of Technology Management & Sustainable Development**, v. 14, n. 3, p. 205–225, set. 2015.

ZAMBON, K. L. et al. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 2, p. 183–199, ago. 2005.