

Seleção de áreas ótimas para compra e arrendamento florestal sob perspectiva do planejamento florestal espacial

Selection of optimal areas for forest purchase and leasing from the perspective of spatial forest planning

Iago Mendes de Oliveira

Universidade Federal de Lavras, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-1970-5564>

iagomoliv@gmail.com

Luciano Cavalcante de Jesus França

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-8885-972X>

luciano.franca@ufu.br

Vicente Toledo Machado de Moraes Júnior

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

<https://orcid.org/0000-0001-5227-1951>

vicente.morais@ufu.br

Bernardo Moreira Cândido

University of Missouri, EUA

<https://orcid.org/0000-0003-1534-1521>

bernardocandido@missouri.edu

Jéssica Campos Araújo

Universidade Federal dos Vales dos Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-0729-8634>

campos.jessica@ufvjm.edu.br

Railma Aparecida Santos

Universidade Federal dos Vales dos Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-3464-6163>

railma.santos@ufvjm.edu.br

Fausto Weimar Acerbi Júnior

Universidade Federal de Lavras, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-9553-0148>

fausto@ufla.br

Resumo

A identificação de áreas adequadas para atividades silviculturais é crucial para o planejamento das empresas de base florestal no Brasil. Este estudo aplica o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), integrado a Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para apoiar a localização de terras no estado de São Paulo. Foram analisados seis critérios: profundidade efetiva do solo, declividade do terreno, risco de fogo, armazenamento de água no solo, distância da unidade fabril e uso/cobertura do solo. Os critérios foram avaliados por especialistas em uma escala de 1 (menor aptidão) a 5 (maior aptidão), destacando a distância da unidade fabril como o fator mais relevante devido ao impacto nos custos de colheita e transporte florestal. O mapa de aptidão gerado revelou que 1,61% da área é muito apta, 42,09% moderadamente apta e 43,25% pouco apta, com apenas 0,82% atendendo aos requisitos para áreas acima de 120 hectares. As áreas mais promissoras situam-se em Indaiatuba, Elias Fausto, Salto, Itu e Porto Feliz. Este estudo apresenta uma metodologia prática para identificar terras aptas para compra ou arrendamento, contribuindo para a expansão sustentável do setor florestal.

Palavras-chave: *analytical hierarchy process*; sistema de informação geográfica; aptidão de terras; silvicultura de produção.

Abstract

Identifying suitable areas for forestry activities is crucial for the planning of forest-based companies in Brazil. This study applies the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, integrated with Geographic Information Systems (GIS), to support land location in the state of São Paulo. Six criteria were analyzed: effective soil depth, terrain slope, fire risk, soil water storage, distance to the processing unit, and land use/cover. The criteria were evaluated by experts on a scale from 1 (lowest suitability) to 5 (highest suitability), with distance to the processing unit identified as the most critical factor due to its impact on harvesting and transportation costs. The suitability map revealed that 1.61% of the area is highly suitable, 42.09% moderately suitable, and 43.25% marginally suitable, with only 0.82% meeting the requirements for areas larger than 120 hectares. The most promising areas are located in Indaiatuba, Elias Fausto, Salto, Itu, and Porto Feliz. This study provides a practical methodology for identifying suitable lands for purchase or lease, contributing to the sustainable expansion of the forestry sector.

Keywords: analytical hierarchy process; geographic information system; land suitability; Production Silviculture.

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, 2024; Chauvet et al., 2024).

Em 2023, o Brasil alcançou a marca de 10,2 milhões de hectares de árvores plantadas. O setor florestal apresenta contínuo crescimento, devido, exclusivamente ao aumento das áreas com eucalipto, que representam 76% dos plantios, cerca de 7,8 milhões de hectares. A maior parte dos plantios se concentram em Minas Gerais (2.262.331 ha), Mato Grosso do Sul (1.355.445 ha) e São Paulo (1.280.853 há) (IBÁ, 2024). Em 2023, o setor investiu cerca de R\$ 105 bilhões em projetos de expansão do setor (IBÁ, 2024). Da área total de 10,2 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil em 2023, 38% pertence aos proprietários independentes, pequenos e médios produtores do programa de fomento florestal, que investem em plantios florestais para comercialização da madeira *in natura* (IBÁ, 2024). As plantações de eucalipto em áreas de arrendamento dobraram nos últimos anos (Schumacher; Vieira, 2016). Em 2023, as empresas de base florestal declararam mais de 4.500 contratos de fomento florestal ativos, beneficiando mais de 13 mil pessoas direta e indiretamente (IBÁ, 2024).

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; Vieira, 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).

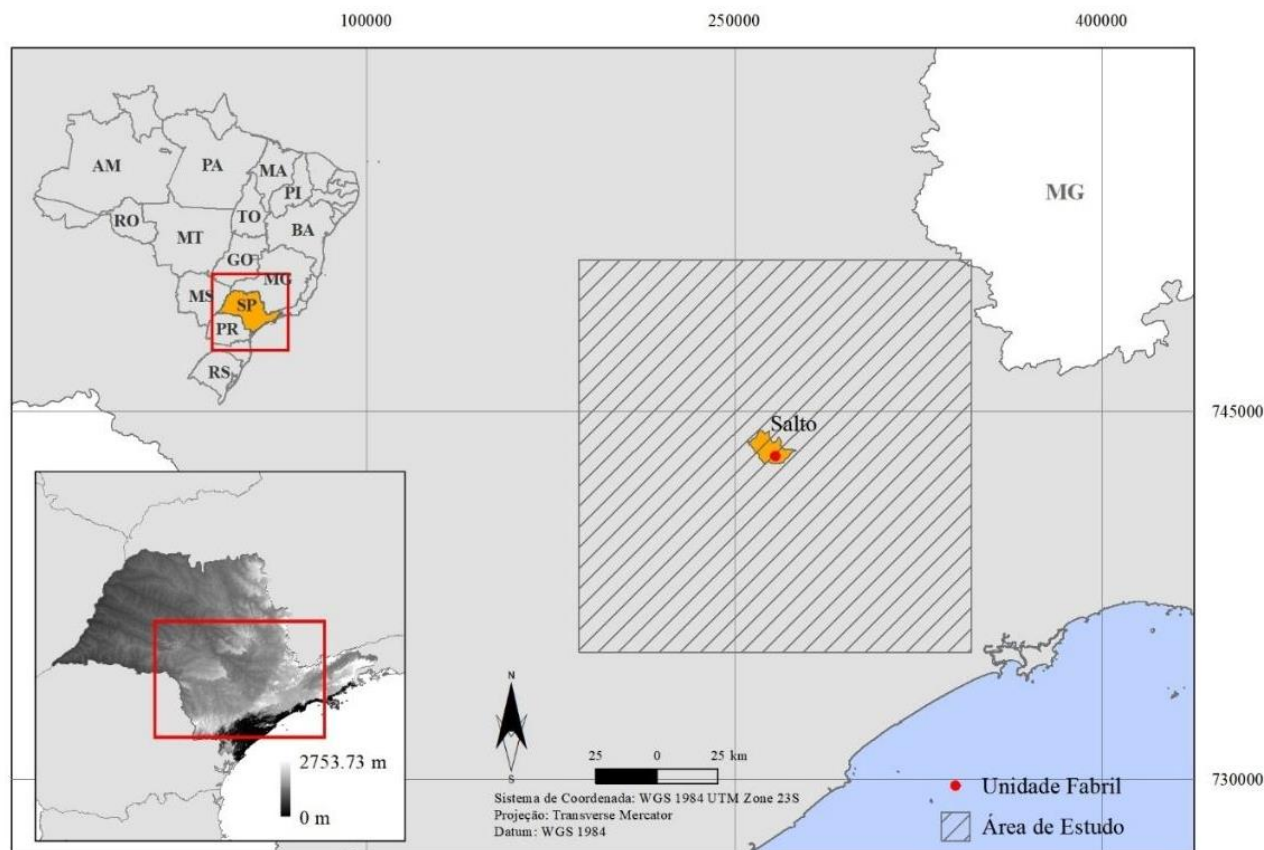
Apesar dos SIGs e dos métodos de decisão multicritério (Pesquisa Operacional) serem duas áreas distintas de pesquisa (Malczewski, 1999), os problemas de planejamento e gerenciamento do mundo real podem se beneficiar da combinação de suas técnicas e procedimentos. O sucesso dessa combinação tem como principal 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. Materiais e Métodos

2.1 Caracterização da 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 referente a região do município de Salto, São Paulo.

Fonte: IBGE.

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).

2.2 Critérios utilizados na avaliação de aptidão de terras

De acordo com Boldrini (2006 citado por Francelino; Rezende; Silva, 2012), quando se trata 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 critérios supracitados (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.

2.3 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 estratificados por profundidade efetiva no experimento.

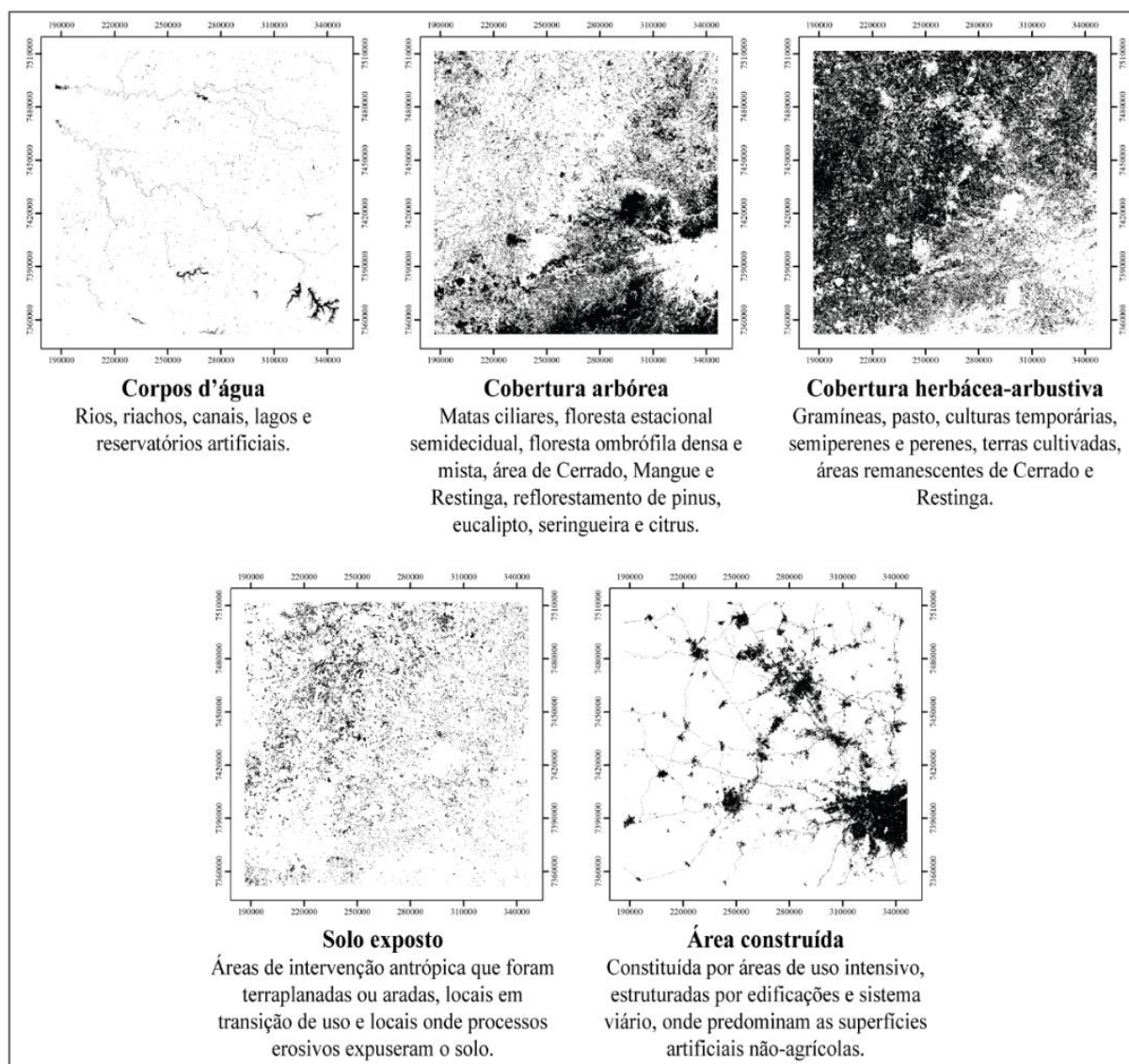
CLASSE	PROFUNDIDADE EFETIVA
Muito profundo	> 2 m
Profundo	1 – 2 m
Moderadamente profundo	0,5 – 1 m
Raso	0,25 – 0,5 m
Muito raso	< 0,25 m

Fonte: Drugowich et al. (2015).

2.4 Uso e cobertura da terra

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 na Figura 2.

Figura 2. Classes de cobertura e uso da terra referente a área alvo de estudo.



Fonte: Os autores

2.5 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.

2.6 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:

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

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 .

2.7 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. 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.

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

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.

2.8 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 pré definidas a partir de determinada feição.

2.9 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), 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 de intensidade de importância 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).

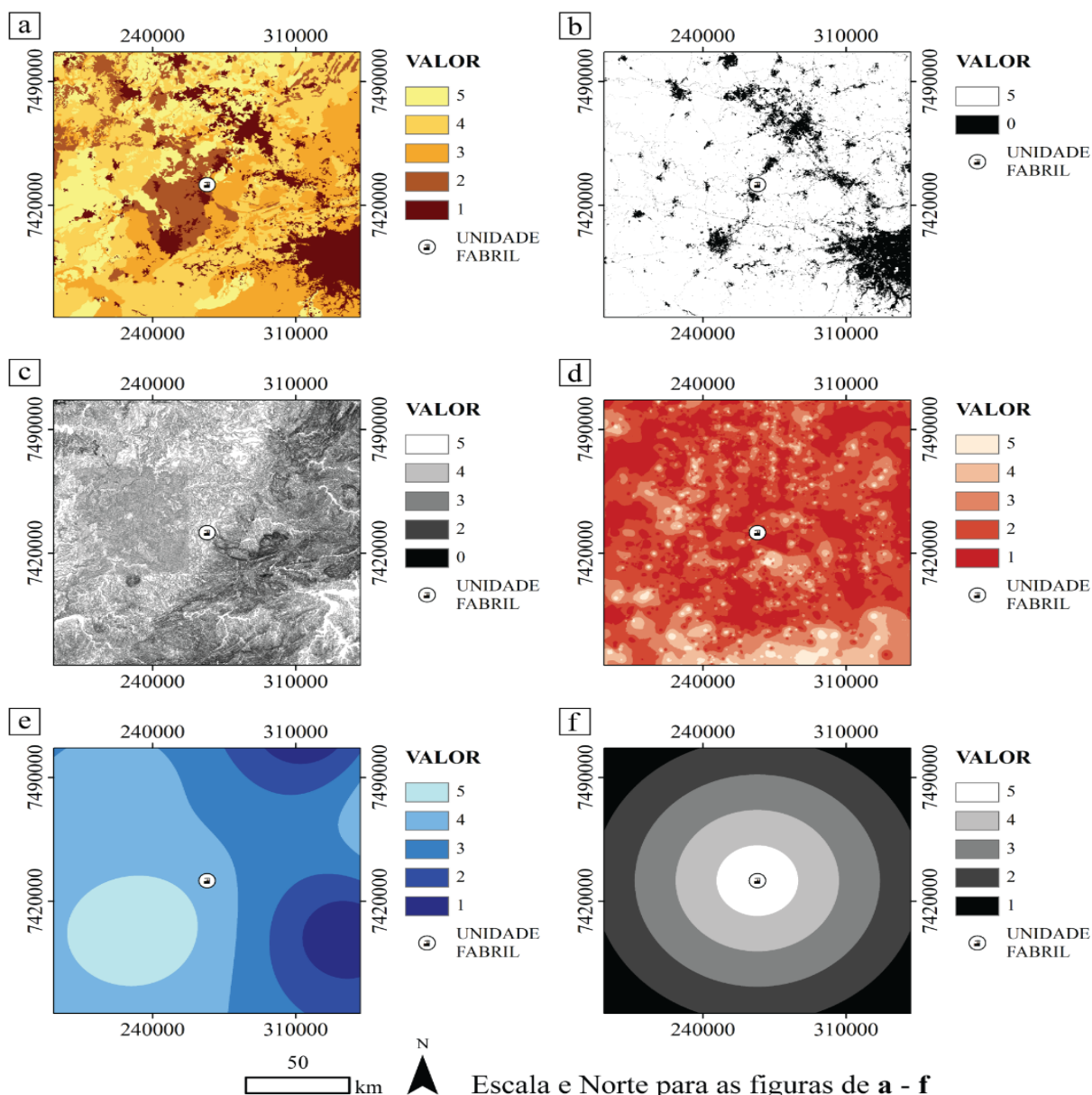
2.10 Definição dos pesos para os subcritérios

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 4. Critérios, subcritérios e seus respectivos valores utilizados na metodologia para pontuação das áreas para arrendamento florestal.

CRITÉRIO	SUBCRITÉRIO	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

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: Os autores, 2025.

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.

2.11 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).

3. Resultados

3.1 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 5.

Tabela 5. Matriz de comparação pareada entre os critérios analisados na metodologia 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 ($\lambda_{\max}$) = 6,4502. $n = 6$. IC = 0,0900. RI = 1,24. RC = 0,0726. C_1 : Uso e cobertura do solo; C_2 : Profundidade efetiva do solo; C_3 : Distância da unidade fabril; C_4 : Declividade do terreno; C_5 : Risco de fogo; C_6 : Armazenamento de água no solo. **Fonte:** Os autores, 2025.

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 $\lambda_{\max} \geq n$. 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%). Os pesos finais por ordem de importância e numéricos foram descritos na Tabela 6.

Tabela 6. 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

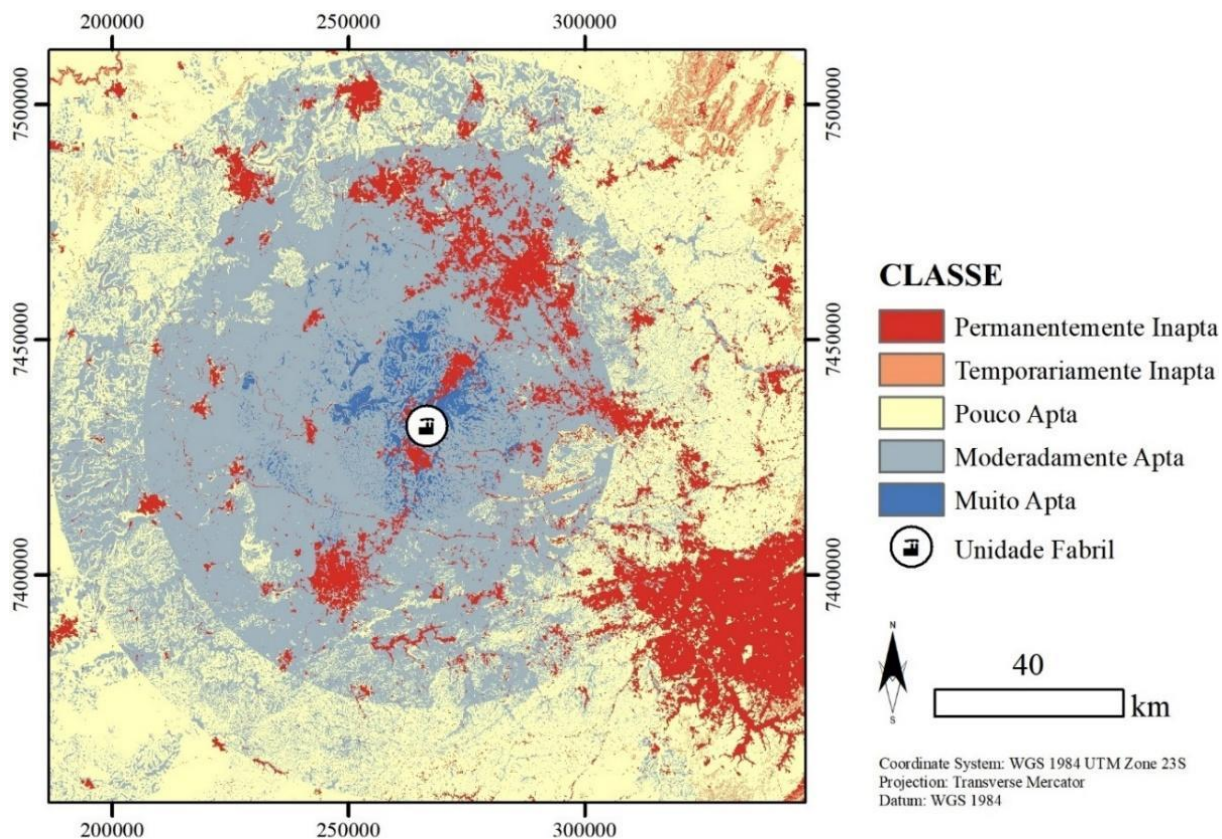
3.2 Mapa final de aptidão

De acordo com o mapa de aptidão gerado (Figura 4), verificou-se que a maior percentagem 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 7).

Tabela 7. 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 %

Figura 4. Mapa de aptidão à atividade florestal para a região alvo deste estudo.



3.3 Seleção das melhores áreas

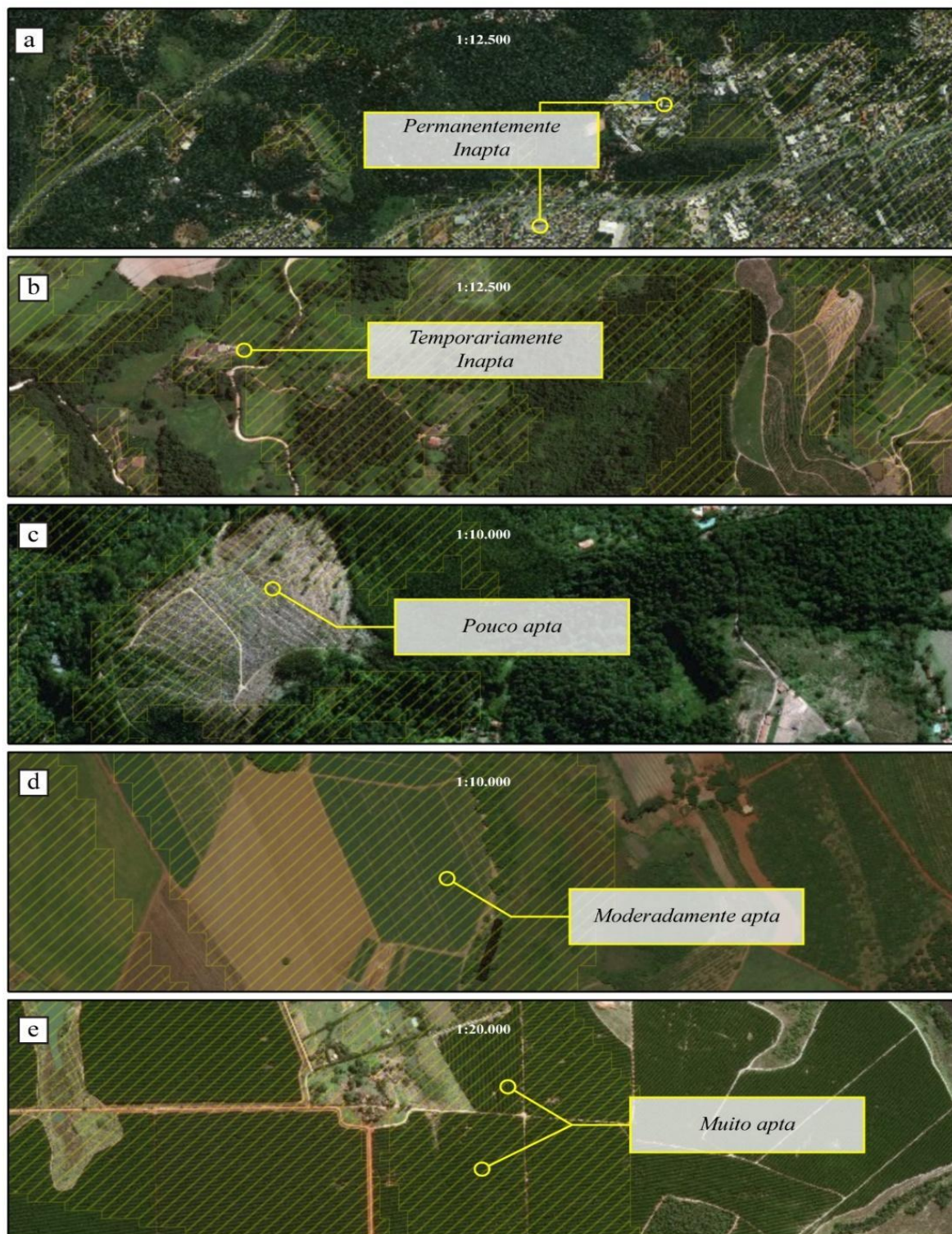
De posse do mapa final e das informações geradas em ambiente SIG, foram selecionadas e filtradas as áreas classificadas com aptidão *muito alta*, através da operação lógica *AND*, aquelas que possuem área maior que 120 hectares (Figura 6). A partir deste filtro, foram levantadas as cinco cidades que concentram o maior número de terras aptas (Tabela 8), a fim de direcionar as operações de pesquisa *in loco* na região. 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).

Tabela 8. Municípios que apresentaram as maiores áreas com aptidão *muito alta* na área de estudo.

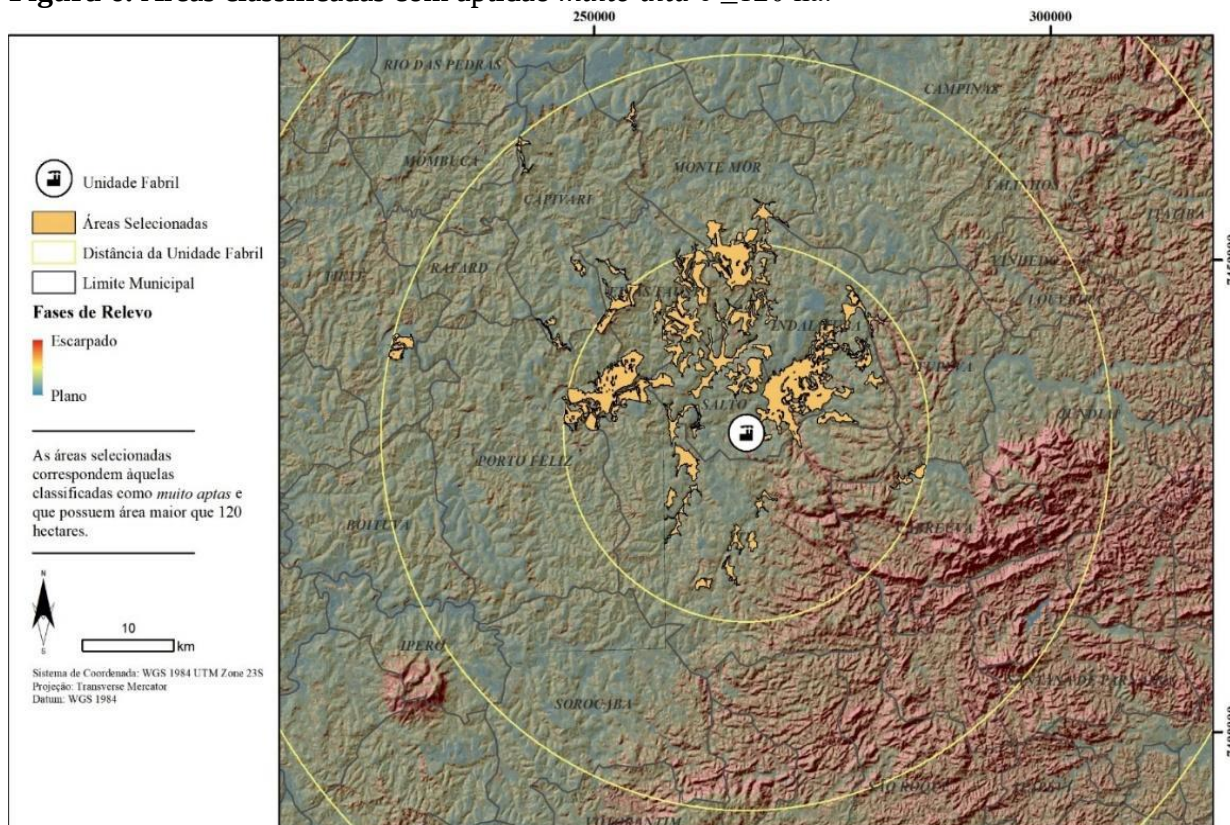
Municípios	Área (ha)
Indaiatuba	6.778,79
Elias Fausto	4.550,40
Salto	3.199,10
Itu	2.390,24
Porto Feliz	1.784,07

Fonte: Os autores, 2025.

Figura 5. Representação de cada classe de aptidão.



Fonte: autores, 2025.

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

Fonte: Os autores, 2025.

4. Discussão

4.1 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.

4.2 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 consequentemente ao custo, visto que, quanto maior a declividade, maiores serão as dificuldades na instalação do povoamento florestal, tratamentos 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 sequência, 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 deste 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.

4.3 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*.

4.4 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.

5. 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 enquadraram 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 possível 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.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes), Código de Financiamento 001, pelo apoio financeiro. Ao Núcleo de Estudos, Pesquisa e Extensão em Planejamento e Manejo da Paisagem Florestal (NUPLAMFLOR – UFU)

Referências

- Akinci, H., & Özalp, A. Y. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97, 71–82.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728.
- Berger, R., Brena, S. R., da Silva, E. A. A., & da Silva, D. A. (2003). Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. *Floresta*, 33(1).
- Bottero, M., Comino, E., & Riggio, V. (2013). The application of a Multicriteria Spatial Decision Support System (MCSDDS) for the assessment of biodiversity conservation in the Province of Varese (Italy). *Land Use Policy*, 30(1), 730–738.

Caldas, A. J. F. S. (2006). Geoprocessamento e análise ambiental para a determinação de corredores de habitat na Serra da Concórdia [Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro]. Repositório Institucional UFRRJ.

Carvalho, M. F. O., Cardoso, M. F., & Almeida, B. N. (2016). Estimativa do risco de incêndios florestais com base em fitofisionomias e fatores climáticos. *Biodiversidade Brasileira*, 6(2), 187–204.

Chan, A. H. S., Kwok, W. Y., & Duffy, V. G. (2004). Using AHP for determining priority in a safety management system. *Industrial Management & Data Systems*, 104(5), 430–445.

Chauvet, X. D. M., França, L. C. D., Mucida, D. P., Cordeiro, S. A., & Gorgens, E. B. (2024). Quatro décadas do setor florestal em Minas Gerais, Brasil *Revista Brasileira de Geografia Física*, 18(02), 1308-1333.

Christina, M., Nouvellon, Y., Laclau, J.-P., Stape, J. L., Bouillet, J.-P., Lambais, G. R., & le Maire, G. (2017). Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. *Functional Ecology*, 31(2), 509–519.

Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA). (2013). Mapeamento de cobertura da terra do Estado de São Paulo – 2010 – escala 1:100.000. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA). (2013b). Modelo digital de elevação (MDE) do Estado de São Paulo obtido a partir da base do GISAT (cartas topográficas na escala 1:50.000). Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Deodoro, S. C., & Fonseca, B. M. (2016). Análise morfométrica e multicriterial da bacia hidrográfica do Rio Santa Bárbara, nordeste do quadrilátero ferrífero (MG). *Revista Brasileira de Cartografia*, 68(9), 1837–1852.

Drugowich, M. I., Almeida, I. R. D., Silva, M. A. D., & Targa, M. S. (2015). Tutorial para aplicação da Resolução SAA – 11 (15/4/2015). Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI).

Eastman, J. R., & Jiang, H. (1996). Fuzzy measures in multi-criteria evaluation. In *Proceedings of the International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Studies* (pp. 1-10). USDA.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (1979). Súmula da 10 reunião Técnica de Levantamento de Solos (Miscelânea, 1). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1976). A framework for land evaluation (Soils Bulletin 32).

França, L. C. J., Mucida, D. P., Santana, R. C., Morais, M. S., Gomide, L. R., & Bateira, C. V. M. (2020). AHP approach applied to multi-criteria decisions in Environmental Fragility mapping. *Floresta*, 50(3), 1623-1632.

Francelino, M. R., Rezende, E. M. C. de, & Silva, L. D. B. da. (2012). Proposta de metodologia para zoneamento ambiental de plantio de eucalipto. *CERNE*, 18(2), 275–283.

Grandzol, J. R. (2005). Improving the faculty selection process in higher education: A case for the Analytic Hierarchy Process. Association for Institutional Research.

Gupta, S., Dangayach, G. S., & Singh, A. K. (2015). Analytic Hierarchy Process (AHP) model for evaluating sustainable manufacturing practices in indian electrical panel industries. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 189, 208–216.

Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). (2014). Relatório IBÁ 2014.

Jeong, J. S., & García-Moruno, L. (2017). 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*, 50, 117–128.

Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons.

Malczewski, J. (2018). Multicriteria Analysis. In *Comprehensive Geographic Information Systems* (pp. 197–217). Elsevier.

Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Li, W., & Nobre, C. A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169–172.

McCall, M. K., & Dunn, C. E. (2012). Geo-information tools for participatory spatial planning: Fulfilling the criteria for ‘good’ governance? *Geoforum*, 43(1), 81–94.

Mello, C. R., Sá, M. A. C. D., Curi, N., Mello, J. M. D., Viola, M. R., & Silva, A. M. D. (2003). Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27(5), 925–933.

Miyajima, R. H., Tetto, A. F., Soares, R. V., Batista, A. C., & Londero, E. K. (2016). A influência da declividade do terreno e do tempo de experiência dos operadores no rendimento do feller buncher. *Scientia Forestalis*, 44(110), 443–451.

Righi, E., & Basso, L. A. (2016). Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. *Ambiência*, 12(1), 101–117.

Rossi, M. (2017). Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. Instituto Florestal.

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. McGraw-Hill.

Saaty, T. L. (1991). Some mathematical concepts of the Analytic Hierarchy Process. *Behaviormetrika*, 18(29), 1–9.

Saaty, T. L. (1994). Highlights and critical points in the theory and application of the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 74(3), 426–447.

Saaty, T. L. (2013). The modern science of multicriteria decision making and its practical applications: the AHP/ANP approach. *Operations Research*, 61(5), 1101–1118.

São Paulo (Estado). (2015). Resolução SAA, nº 11, de 15 de abril de 2015.

Schumacher, M. V., & Viera, M. (2015). *Silvicultura do Eucalipto no Brasil*. Editora UFSM.

Selim, S., Koc-San, D., Selim, C., & San, B. T. (2018). Site selection for avocado cultivation using GIS and multi-criteria decision analyses: case study of Antalya, Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154, 450–459.

Setzer, A. W., Sismanoglu, R. A., & Pereira, Jr., A. A. (2017). Anuário risco de fogo 2017. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Silva, D. M. R. E. (2007). Aplicação do método AHP para avaliação de projetos industriais [Tese de doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro]. Repositório Institucional PUC-Rio.

Silva, M. L. da, Fontes, A. A., Silva, J. R. da, & Leite, H. G. (2007). Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. *Revista Árvore*, 31(6), 1073–1079.

Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). The water balance. *Publications in Climatology*, 8(1). Laboratory of Climatology.

Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1–29.

Valente, R. de O. A. (2005). Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo]. Biblioteca Digital USP.

Vargas, L. G. (2017). The legacy of the analytic hierarchy/network process. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 9(3).

Vizzari, M. (2011). Spatial modelling of potential landscape quality. *Applied Geography*, 31(1), 108–118.

Wang, G., Qin, L., Li, G., & Chen, L. (2009). Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2414–2421.

Werneburg, M. A. P. (2015). Planejamento em grandes empresas florestais no Brasil [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri]. Repositório Institucional UFVJM.

Zambon, K. L., Geromel, J. C., & Barros, L. C. (2005). Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. *Pesquisa Operacional*, 25(2), 183–199.