

ANA CLARA DE BARROS

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA AO ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO
MUNICÍPIO DE ITABERÁ-SP**

Botucatu

2017

ANA CLARA DE BARROS

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA AO ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO
MUNÍCIOPIO DE ITABERÁ-SP**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros

Coorientadora: Prof. Dr. Célia Regina L. Zimback

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

B277a Barros, Ana Clara de, 1991-
Análise multicritério aplicada ao zoneamento agrícola do município de Itaberá-SP / Ana Clara de Barros. - Botucatu: : [s.n.], 2017
89 p.: il. color., mapas, grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Zacarias Xavier de Barros
Coorientador: Célia Regina Lopes Zimback
Inclui bibliografia

1. Solo adequado para a agricultura - Itaberá-SP. 2. Geoprocessamento. 3. Planejamento ambiental. 4. Mapeamento do solo. I. Barros, Zacarias Xavier de. II. Zimback, Célia Regina Lopes. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA AO ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO MUNICÍPIO DE ITABERÁ/SP

AUTORA: ANA CLARA DE BARROS

ORIENTADOR: ZACARIAS XAVIER DE BARROS

COORDINADORA: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ZACARIAS XAVIER DE BARROS

Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu


Prof. Dr. LUIS GUSTAVO FREDIANI LESSA

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu


Prof. Dr. OSMAR DELMANTO JUNIOR

Depto de Agronegócios e Agrossistemas / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

Botucatu, 18 de julho de 2017

Aos meus amados pais,

Beto e Gil,

Dedico

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros, no qual tive o privilégio de ser orientada. Pela oportunidade e confiança na realização deste e de outros trabalhos. E principalmente pela amizade, companheirismo e por todos os ensinamentos, não só acadêmicos como para a vida.

A minha coorientadora, Prof. Dra. Célia Regina Lopes Zimback, pela confiança e credibilidade em mim depositadas, pela amizade, orientação e acolhimento. Pela sua imensa disponibilidade em ajudar, pela troca de experiências, que foram fundamentais para a realização desse trabalho.

Minha eterna gratidão!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por sempre iluminar o meu caminho;

Aos meus pais, Carlos Alberto e Gilsileia e ao meu irmão João Marcos, por serem minha base, por me apoiarem em todos os momentos, por sempre estarem ao meu lado e principalmente por todo amor e carinho. Para vocês todo meu amor e gratidão!

À toda minha família, pelo apoio, amor, amparo e por estarem comigo em todas as circunstâncias, em especial a Tia Flávia. A Patrícia, pela convivência, amizade e companheirismo;

À Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA – UNESP), campus de Botucatu, e à Coordenadoria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, pela oportunidade;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos;

A todos do Departamento de Engenharia Rural e do Departamento de Solos e Recursos Ambientais (docentes e funcionários) pelos ensinamentos e convivência; a seção de Pós-Graduação e a Biblioteca, pela atenção recebida;

Aos amigos do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas (GEPAG), cujo convívio possibilitou um imenso crescimento pessoal e profissional;

Aos participantes das bancas examinadoras de qualificação e defesa desta dissertação, Prof. Dra. Bruna Soares Xavier de Barros, Prof. Dr. Diego Augusto de Campos Moraes, Prof. Dr. Osmar Delmanto Júnior e Prof. Dr. Luís Gustavo Frediani Lessa pelas sugestões, contribuição e disposição;

A todos os meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando em todos os momentos, que foram de essencial importância. Principalmente aos amigos da Pós-graduação: Yara, Felipe, Sara, Samuel, Amanda, Letícia e Renata.

Muito obrigada!

EPIGRAFE

“Sonhe com o que você quiser. Vá para onde você queira ir. Seja o que você quer ser, porque você possui apenas uma vida e nela só temos uma chance de fazer aquilo que queremos. Tenha felicidade bastante para fazê-la doce. Dificuldades para fazê-la forte. Tristeza para fazê-la humana. E esperança suficiente para fazê-la feliz.”

(Clarice Lispector – O Sonho)

RESUMO

A avaliação da aptidão agrícola das terras estabelece o uso dos recursos naturais de maneira a impedir situações de subutilização, uma vez que consiste na interpretação das qualidades do ecossistema baseando-se nas suas restrições para o uso agrícola e nas alternativas e possibilidades de correções ou reduções dessas limitações através de diferentes condições de manejo. A utilização imprópria dos recursos naturais e a intensificação do uso agrícola e pecuário desrespeitando a aptidão agrícola, sem levar em conta as potencialidades dos agroecossistemas, é uma das principais razões da degradação ambiental, com sérios comprometimentos do solo, água e biodiversidade. O objetivo deste trabalho é estabelecer a aptidão agrícola das terras no município de Itaberá, localizado no estado de São Paulo e que apresenta uma área de 108.863,43 ha, discriminando as principais culturas no município, que são milho e soja. O método empregado para a classificação das terras para o uso agrícola foi o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras e adotou-se a metodologia fundamentada no uso de geotecnologias aplicando planos de informação como o uso da terra, solos, declividade, temperatura e dados pluviométricos. Essas variáveis foram combinadas utilizando álgebra de mapas por meio da técnica de combinação linear ponderada em que cada um deles foi estimado um fator condicionante à aptidão agrícola das terras. A normalização dos fatores deu-se com base das classes de aptidão que apresentam pesos que variam de um a quatro representando, respectivamente alta, média, baixa e restrita, e a determinação dos pesos pelo método do Processo Hierárquico Analítico (AHP). Com base nos resultados obtidos verificou-se que no município de Itaberá tem a predominância de LATOSSOLO VERMELHO e quanto a declividade, 46,63% da sua área total apresenta-se em relevo ondulado (8-20%) e em pequenas proporções, 6,85% tem-se em relevo forte ondulado (20-45%). A temperatura no município varia de 18° a 21°C e na pluviosidade de 773 mm a 1425 mm. O mapa final indicou que grande parte da área de estudo possui um alto nível de aptidão agrícola (43,05% total da área), seguida por áreas de médio grau de aptidão (29,34%), áreas com baixa aptidão representa 22,12% e por último com apenas 5,49% áreas restritas para aptidão agrícola no município. Desta forma, conclui-se que a área de estudo é em quase sua totalidade apta para aptidão agrícola das culturas do milho e da soja, e que devido a esses graus de classificação (alto, médio, baixo e restrito) deve-se atentar para que medidas de conservação sejam implantadas e assim, além de contribuir para uma melhora na qualidade do solo resulte em uma lavoura de alta qualidade e produtividade.

Palavras-chave: Geotecnologias, Aptidão agrícola, Capacidade de uso da terra, Planejamento ambiental.

ABSTRACT

The assessment of agriculture aptitude of the lands establishes the use of the natural resources in a way to prevent situations of underutilization, since it consists in the interpretation of the qualities of the ecosystem based on its restrictions for the agricultural use and the alternatives and possibilities of corrections or reductions Maximum conditions of handling conditions. The improper use of natural resources and the intensification of agricultural and livestock use, disregarding agricultural aptitude, without taking into account the potential of agroecosystems, is one of the main reasons for environmental degradation, with serious soil, water and biodiversity. The objective of this work was establish the agricultural aptitude of the lands in the county of Itaberá, located in the state of São Paulo and that has an area of 108,863.43 ha, discriminating of the main crops in the municipality, which are corn and soybean. The method used to classification of land for agricultural use was the Land Aptitude Assessment System and the methodology based on the use of geotechnologies was adopted, applying information plans such as land use, soil, slope, temperature and pluviometric data. These variables were combined using maps algebra using a weighted linear combination technique in which each of them was estimated an conditioning factor that determines agricultural aptitude of the land. The normalization of the weights was based on the agricultural aptitude classes that present scores ranging from one to four representing, respectively high, medium, low and restricted, and the determination of weights by the Analytical Hierarchical Process (AHP). Based on the results obtained, it was observed that in the county of Itaberá has the predominance of RED LATOSOLS and 46.63% for the slope present an ondulade relief (8-20%) and in small proportions, 6.85% has a strong undulated relief (20-45%). The temperature in the county ranges from 18° to 21°C and in the rainfall from 773 mm to 1425 mm. The final map indicated that a large part of the study area has a high level of agricultural aptitude (43.05% total area), followed by areas of medium degree of aptitude (29.34%), areas with low aptitude represents 22.12% and lastly with only 5.49% restricted areas for agricultural aptitude in the county. Thus, it is concluded that the study area is almost entirely suitable for agricultural aptitude of corn and soybean crops, and that due to these grades (high, medium, low and restricted), must be paid attention to conservation measures are implemented, in addition to contributing to an improvement in the quality of the soil results in a high quality farming and productivity.

Keywords: Geotechnologies, Agricultural aptitude, Capacity of land use, Environmental planning

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Geoprocessamento e suas tecnologias.....	30
Figura 2 - Obtenção de imagens por Sensoriamento Remoto.....	35
Figura 3 - Espectros das ondas eletromagnéticas segundo seu comprimento...	36
Figura 4 - Energia refletida por objetos na superfície terrestre (assinatura espectral).....	37
Figura 5 - Fluxograma geral do método AHP.....	42
Figura 6 - Localização do município de Itaberá - SP.....	53
Figura 7 - Escala de valores para a comparação pareada.....	61
Figura 8 - Modelo digital de elevação para o município de Itaberá - SP.....	64
Figura 9 - Classes de declividade presentes no município de Itaberá - SP.....	65
Figura 10 - Classes de solos presentes no município de Itaberá - SP.....	67
Figura 11 - Mapa de temperatura e suas variáveis.....	69
Figura 12 - Mapa de pluviosidade e suas variáveis.....	71
Figura 13 - Mapa de uso e ocupação da terra.....	73
Figura 14 - Mapa de aptidão agrícola do município de Itaberá - SP.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de comparação pareada.....	60
Tabela 2 - Índice de aleatoriedade de acordo com o número de variáveis (n)...	62
Tabela 3 - Áreas ocupadas por cada classe de declive na área de estudo.....	66
Tabela 4 - Áreas ocupadas por cada classe de solo.....	67
Tabela 5 - Variações de temperatura e as áreas correspondentes.....	69
Tabela 6 - Classes de pluviosidade e as áreas equivalentes.....	71
Tabela 7 - Classes de uso e ocupação da terra.....	73
Tabela 8 - Matriz de comparação pareada para os fatores adotados.....	75
Tabela 9 - Pesos dos fatores adotados.....	76
Tabela 10 - Nível de aptidão agrícola e seus valores correspondentes.....	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais aplicações do SIG.....	33
Quadro 2 - Alternativas de utilização das terras de acordo com os grupos de aptidão agrícola.....	48
Quadro 3 - Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras.....	50
Quadro 4 - Cartas planialtimétricas do IBGE utilizadas.....	54
Quadro 5 - Municípios vizinhos e distância da área de estudo.....	55
Quadro 6 - Características do Sensor OLI do Satélite Landsat - 8.....	56
Quadro 7 - Classes de declividade e relevos correspondentes.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Terceira dimensão
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i> (Processo Analítico Hierárquico)
AMC	Análise Multicritério
APA	Área de Proteção Ambiental
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CI	<i>Consistency index</i> (Índice de consistência)
CLP	Combinação Linear Ponderada
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CR	<i>Consistency ratio</i> (Grau de consistência)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)
FAOSTAT	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação)
FCA	Faculdade de Ciências Agrônomicas
GEPAG	Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDW	Peso pelo inverso da distância
IHS	<i>Intensity, Hue e Saturation</i> (Intensidade, Matriz e Saturação)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEADATA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicadas
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
OMM	Organização Meteorológica Mundial

REM	Energia Eletromagnética
RI	<i>Random index</i> (Índice de aleatoriedade)
SAAAT	Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
TIN	<i>Tringular Irregular Network</i> (Rede Irregular Triangular)
USGS	<i>United States Geological Survey</i> (Serviço Geológico dos Estados Unidos)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	29
2.1	Geoprocessamento.....	29
2.1.1	Sistema de Informação Geográfica.....	30
2.1.1.1	Aplicações do SIG.....	31
2.1.2	Sensoriamento remoto.....	34
2.2	Análise multicritério.....	38
2.2.1	Tomada de decisão multicritério.....	38
2.2.2	Critério de decisão.....	39
2.2.3	Análise de decisão multicritério – Processo Analítico Hierárquico.....	40
2.2.4	Avaliação multicritério em ambiente SIG.....	43
2.3	Aptidão agrícola das terras.....	45
2.3.1	Avaliação da aptidão agrícola das terras.....	46
2.3.2	Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.....	47
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	52
3.1	Área de estudo.....	52
3.1.1	Clima.....	52
3.1.2	Formação geológica e geomorfológica.....	52
3.2	Material.....	54
3.2.1	Bases cartográficas.....	54
3.2.2	Fonte de dados climáticos.....	54
3.2.3	Imagens de satélite.....	55
3.2.4	Programas para processamento de dados.....	56
3.3	Métodos.....	57
3.3.1	Mapeamento do uso e cobertura da terra.....	57
3.3.2	Mapeamento pedológico.....	58
3.3.3	Modelagem digital de elevação e declividade.....	58
3.3.4	Mapa térmico e pluviométrico.....	59
3.3.5	Obtenção dos fatores referentes a aptidão agrícola.....	59
3.3.6	Padronização dos fatores.....	59

3.3.7	Ponderação dos fatores.....	60
3.3.8	Obtenção do mapa de aptidão agrícola.....	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4.1	Modelos digital de elevação e declividade.....	64
4.2	Mapa de solos.....	66
4.3	Mapa de temperatura.....	68
4.4	Mapa de pluviosidade.....	70
4.5	Mapa de uso e ocupação.....	72
4.6	Mapa de aptidão agrícola.....	75
5	CONCLUSÕES.....	80
	REFERENCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

A prática da agricultura está totalmente voltada para as condições do ambiente, sendo assim, estudo e conhecimentos específicos da área a ser aproveitada é importante para se obter uma agricultura bem-sucedida e economicamente viável sem danos ao meio ambiente. Para isso, se faz necessário o conhecimento dos principais fatores em termos ambientais envolvidos, como o solo e o clima, pois estes fatores restringem o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

O crescimento populacional e os incentivos à exportação têm influenciado o aumento da produtividade das lavouras principalmente por meio de sementes transgênicas e da produção pela expansão das áreas de produção, sendo que muitas vezes, essas áreas não se apresentam aptas para lavoura e sim designam para a preservação da fauna e da flora.

As atividades antrópicas têm ocasionado impactos aos recursos naturais, o que concentra a atenção e consecutivamente esforços da sociedade para a utilização racional destes recursos. E um dos problemas a ser superado é a degradação dos solos, que ocorre por conta da atividade agrícola em consequência de práticas inapropriadas ou pelo emprego do solo com cultivos não adequados ao seu potencial de uso.

O estudo da aptidão agrícola de uma região visa criar um planejamento dessa atividade, pois este estudo tem como meta principal avaliar as condições apresentadas pelo ambiente, com as exigências dos tipos de usos, levando-se em consideração as potencialidades e suas limitações. Esperando que esse suporte técnico dê a idealização dos usos permitidos, contribuindo para a racionalidade dos recursos naturais, manejo e a conservação dos solos.

Nesse estudo, o uso da terra está dividido em grupos, preservação da flora e da fauna, silvicultura e/ou pastagem natural, pastagem plantada e lavouras. As condições ambientais necessitam ser adequadamente avaliadas antes de se implantar qualquer atividade agrícola, para obter um melhor aproveitamento entre ambiente/planta.

As técnicas de geoprocessamento e de análise multicritério, podem auxiliar no planejamento dessas atividades, pois abrange a adaptação de uso das terras e outros critérios ambientais na prática de tomada de decisão, com o uso da ferramenta do geoprocessamento, designada de Sistema de Informação Geográfica (SIG)

juntamente com o método de análise multicritério, permite a padronização e a relação de dados, propiciando uma estimativa conjugada dos mesmos, adequando mais eficiência e credibilidade no procedimento de tomada de decisão para originar a adequação de uso das terras.

O objetivo geral deste trabalho foi estabelecer a aptidão agrícola das terras com o auxílio da análise multicritério no município de Itaberá-SP, discriminando as principais culturas no município, que são milho e soja.

Diante do exposto, temos os seguintes objetivos específicos do trabalho:

- a) Estabelecimento de atributos ambientais envolvidos na produção agrícola, como tipo de solo, temperatura, pluviosidade e declividade;
- b) Construção de banco de dados do município como: mapa de solos, mapas de modelo digital de elevação e declividade e mapas climáticos;
- c) Aplicação da técnica multicriterial para a definição das classes de aptidão agrícola;
- d) Criação do mapa de aptidão agrícola para as culturas de milho e soja, bem como de outras culturas de verão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Geoprocessamento

Os recursos das informações geográficas elaboradas antigamente tinham como seu meio de criação documentos e mapas em papel, artifício esse que não permitia uma análise que relacionassem os dados geográficos e de campo. Com o progresso da tecnologia ao longo dos anos noventa, possibilitou a representação e armazenagem desses dados geográficos em ambiente computacional (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2005). Segundo Carvalho e Pina (2000), as diferentes técnicas de tratamento e emprego de elementos geográficos por meio de dados computacionais são definidas como geoprocessamento.

Para Câmara, Davis e Monteiro (2005), a Ciência da Geoinformação, que apresenta como finalidade o estudo e a efetivação de diversos modelos de representação computacional do espaço geográfico, visto que, trabalhar com a geoinformação significa utilizar computadores como ferramentas de representação de dados espacialmente referenciados.

Almeida (2011) declara que múltiplos sistemas fazem parte do geoprocessamento, no qual reúnem maior habilidade de processamento e análise dos dados espaciais. Nesta vasta terminação sobressai, de acordo com Madrugá (2008), o Sensoriamento Remoto (SR), o uso de Sistemas de Posicionamento Global (GPS), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), bem como a automação de tarefas cartográficas e a digitalização de informações.

Sem contar com a grande aquisição de informação da superfície da Terra por meio de inúmeras aplicações desenvolvidas com objetivo de oferecer dados acessíveis a todos, como as ferramentas do Google Earth, que disponibiliza mapas de qualquer lugar do mundo utilizando imagens de satélites, GPS e modelos em três dimensões (3D) (FARIA, 2008).

O agrupamento de geoprocessamento registra a geometria e as características dos dados, que estão georreferenciados, isto é, encontrados no plano terrestre numa projeção cartográfica (INPE, 2006), conforme a Figura 1.

Figura 1 - Geoprocessamento e suas tecnologias



Fonte: Medeiros (2012).

As informações abordadas em geoprocessamento têm como atributo a variedade de fontes geradoras e de formatos exibidos (INPE, 2006). Além disso, representa um conjunto de técnicas adequadas para coletar e tratar dados georreferenciados, que consintam o desenvolvimento constante de novas aplicações (GOMES, 2015).

O aperfeiçoamento dessas técnicas transformou e entusiasmou atividades nos campos de cartografia, diagnóstico e manuseio de recursos naturais, tomada de decisão nas empresas agropecuárias e nas áreas pertinentes ao planejamento urbano e regional, e são nestes pontos que as geotecnologias originam um admirável potencial (MADRUGA, 2008).

2.1.1 Sistema de Informações Geográficas

Os instrumentos utilizados para o geoprocessamento compõem-se de um conjugado designado de Sistema de Informação Geográfica (SIG), igualmente conhecido de GIS, do inglês *Geographic Information System* (MOREIRA, 2001).

O SIG adequa-se aos instrumentos computacionais de geoprocessamento, que possibilita a efetivação de análises de alto nível, ao agregar informações de várias

origens e ao gerar bancos de dados geográficos (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2005).

O SIG é um influente conjugado de ferramentas para coleccionar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar informações espaciais referentes ao mundo real, sendo uma das tecnologias mais eficazes do geoprocessamento, agregando as práticas de topografia, fotogrametria, cartografia, sensoriamento remoto, geoestatística, dentre outras mais (FLORENZANO, 2011).

O SIG engloba cinco componentes independentes, que estão conectados uns aos outros por funções particulares. Os componentes referem-se a entrada e integração de dados, com serventia de consulta e análise espacial, visualização e plotagem e banco de dados geográficos (MOREIRA, 2001).

As principais particularidades do SIG, segundo Casanova et al. (2005), é implantar e agregar, uma exclusiva base de dados, subsídios espaciais originários de meio físico biótico, de dados censitários, de cadastros urbano e rural e diferentes origens de dados como imagem de satélite e GPS e também proporcionar mecanismos para combinar os diversos subsídios por meio de algoritmos de manipulação e diagnóstico, bem como para examinar, recuperar e visualizar o teor da base de dados geográficos.

De acordo com Freitas Filho (2004), a constante evolução do SIG, tem disponibilizado aos projetos ambientais técnicas mais desenvoltas e exatas, com aplicabilidades cada vez mais desenvolvidas. Ainda segundo o mesmo autor, o ser humano passou a ter a seu alcance tecnologias as quais vêm oferecendo um amplo progresso nas ciências cartográficas. Trabalhos antes realizados manualmente, agora são preparados de forma digital. Dessa forma, passou-se a desfrutar de mapas com mais particularidades, exatidão cartográfica e qualidade, preparados em um ambiente de tempo muito baixo em semelhança às metodologias tradicionais de mapeamento.

2.1.1.1 Aplicações do SIG

De acordo com Moreira (2005) o SIG oferece duas particularidades principais, como implantar e associar numa exclusiva base de dados e conhecimentos espaciais advindas de várias fontes como a cartografia, imagem de satélite entre outros, e além disso, apresenta mecanismos para combinar várias informações através de algoritmos

de manipulação e análise, bem como consulta, recuperação, visualização dessa base de dados georreferenciados.

O SIG pode auxiliar na avaliação de impactos ambientais, utilizado como ferramenta da geotecnologia. Esse sistema é aplicado com sucesso no monitoramento de alterações e observação de mudanças de locais como área urbana ou no campo, além de serem fundamentais tanto no mapeamento e monitoramento do ambiente quanto no planejamento de respostas, pois coletam, armazenam e processam a informação georreferenciada (MIRANDA, 2005).

É um instrumento que agrega informações ambientais, subsidiando no reconhecimento de potencialidades de utilização das terras fundamentando-se nas particularidades de solo, relevo e clima (MATORANO et al., 1999); possibilita dados mais eficazes para otimização da elaboração das práticas silviculturais no que refere-se aos conhecimentos prévios para a implantação do povoamento florestal (MENDONÇA et al., 2007); e oferece mais aproveitamento no campo do planejamento e manejo ambiental, em desempenho da precisão contínuo de monitoramento nas atividades (SANTANA et al., 2003).

Sobressai de modo geral, as aplicações em localizar, monitorar e minimizar os problemas ambientais, incorporadas aos procedimentos de geotecnologias e suas ferramentas para auxiliar as importâncias em entender o espaço e a sua paisagem, de modo a aumentar os diferentes cenários espaciais que consentiram em tomadas de decisões (LANG; BLASCHKE, 2009).

As inúmeras ações proporcionadas por um SIG podem ser qualificadas em três categorias, em conformidade que se propõem (INPE, 2004):

a) Administração de informações geográficas: armazenamento, integração e recuperação de bases georreferenciadas de diferentes fontes, formas e temas dispostos em um privilegiado banco de dados.

b) Diagnósticos espaciais: a partir de uma base de informações geográficas, são efetuadas combinações e cruzamentos de dados por meio de intervenções geométricas e topológicas, dos quais os resultados são a origem de novas informações.

c) Realização cartográfica: entrada, conversão e edição de dados, tendo em vista à apresentação final por forma impressa ou meio digital.

O Quadro 1 apresenta algumas aplicações do SIG.

Quadro 1- Principais aplicações do SIG

Finalidade	Objetivo	Exemplos de Aplicação
Projetos	Determinação dos atributos do projeto	Proposta de loteamentos Proposta de irrigação
Planejamento territorial	Demarcação de zoneamentos, normas e diretrizes de uso	Projetos de manejo de unidades de conservação Planos diretores municipais
Modelagem	Pesquisa de processos e comportamento	Modelagem de técnicas hidrológicas
Gestão	Gestão de serviços de serventia pública	Gerenciamento de rede de abastecimento
Banco de dados	Armazenamento e recuperação de informações	Cadastro urbano e rural
Avaliação de riscos e potenciais	Reconhecimento de locais susceptíveis à ocorrência de um evento	Mapeamento de riscos ou potenciais
Monitoramento	Acompanhamento da evolução dos fenômenos espaciais	Fiscalização da cobertura florestal Fiscalização da expansão urbana
Logístico	Reconhecimento de áreas e rotas ideais	Descrição da melhor rota Identificação de locais para implantação de empreendimentos

Fonte: Francisco (2014).

Dessa forma, o SIG caracteriza por realizar o tratamento computacional de dados geográficos, propiciando a criação, edição, análise e pesquisa, resultando na criação de mapas precisos, apresentando como base informações espaciais. Portanto, o SIG oferece aos planejadores e gestores a manipulação e sobreposição de uma enorme quantidade de dados espaciais, para propiciar uma visão ampla da dinâmica socioespacial da área de interesse, de maneira a subsidiar na identificação

de problemas, bem como nos cálculos de soluções alternativas (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

2.1.2 Sensoriamento Remoto

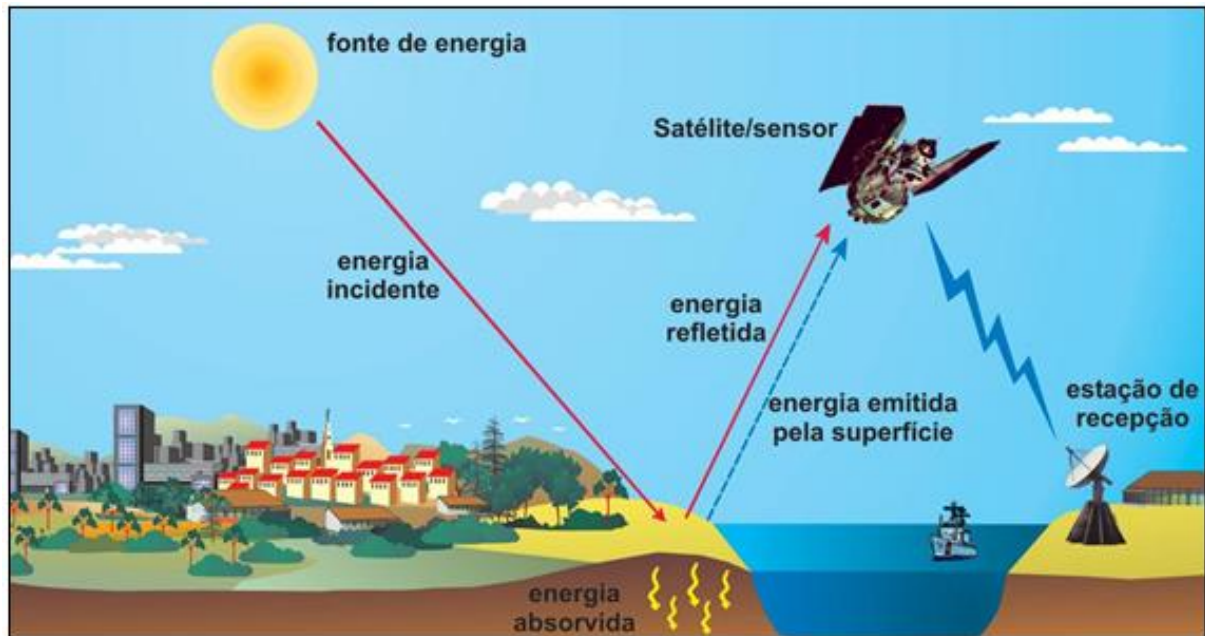
Segundo Florenzano (2011), sensoriamento remoto é o procedimento que permite conseguir imagens e outros tipos de informações da superfície terrestre, a partir da obtenção e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. A expressão sensoriamento remoto faz referência à aquisição de dados por meio de sensores inseridos em plataformas terrestres, aéreas (balões e aeronaves) e orbitais (satélites artificiais). A terminologia remoto, cuja significação é “distante”, é empregado porque a aquisição é realizada à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e o objeto na superfície terrestre. O processamento, a análise e interpretação desses dados também integram o sensoriamento remoto (JENSEN, 2009).

Na Figura 2, pode-se observar que o Sol ilumina a superfície terrestre. A energia derivada do Sol, refletida pela superfície em direção ao sensor, é capturada e registrada por este. Dependendo do tipo de sensor, a energia emitida pela superfície da Terra também pode ser captada e registrada. A energia atravessa a atmosfera, o que intervém na energia final registrada pelo sensor, quanto mais afastado estiver o sensor da superfície terrestre, como é o caso daqueles a bordo de satélites artificiais, maior será a influência (FLORENZANO, 2011).

Segundo ainda o mesmo autor, a existência de nuvens na atmosfera, por exemplo, pode atrapalhar que a energia refletida pela superfície terrestre chegue ao sensor a bordo de um satélite, nesse caso, o sensor registra apenas a energia proveniente da própria nuvem.

Os radiômetros constataam a energia que foi refletida e/ou emitida pelo alvo, onde cada alvo, em combinação com sua formação química e conteúdo de umidade, exibirá uma certa conduta em presença da interação da energia eletromagnética (REM). As particularidades específicas de cada alvo com semelhança à REM é o que consentirá sua futura identificação (PONZONI; SHIMABUHURO, KUPLICH, 2012).

Figura 2 - Obtenção de imagens por sensoriamento remoto

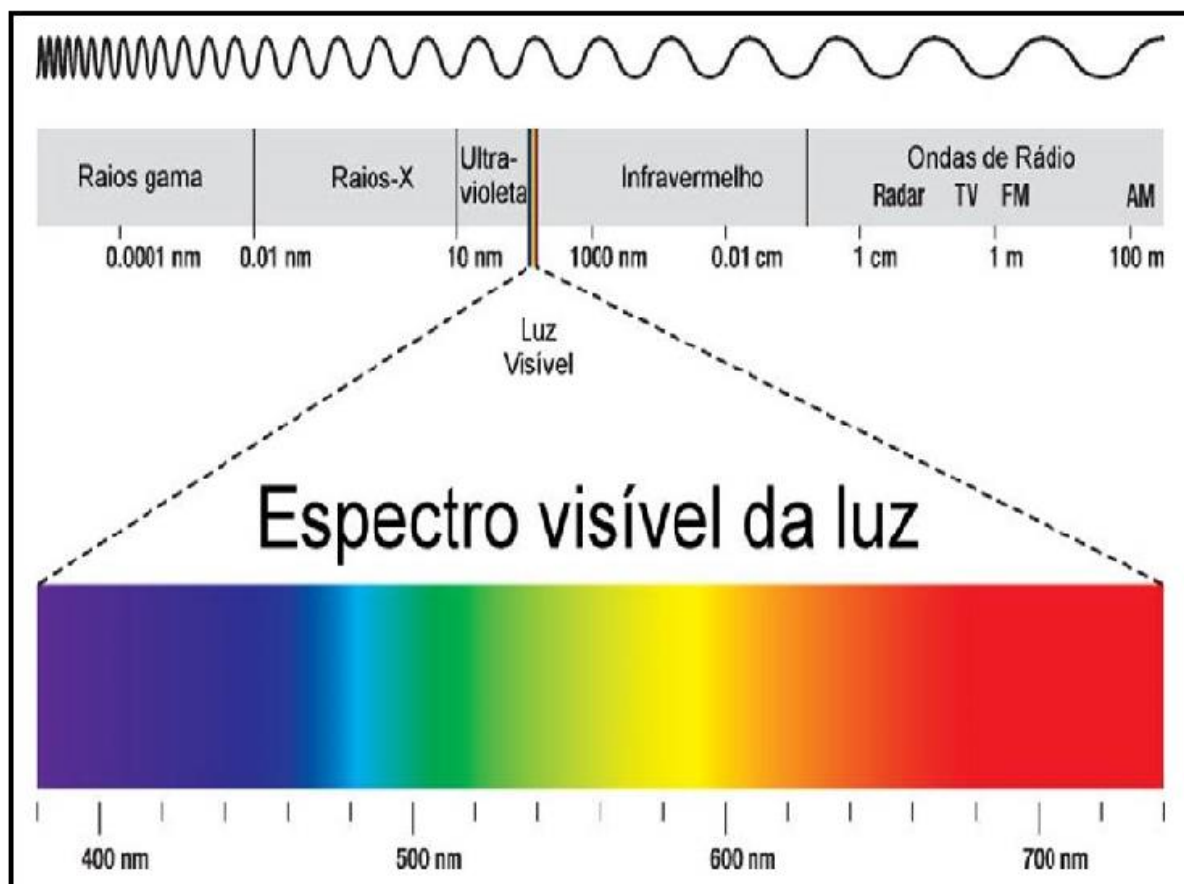


Fonte: Florenzano (2011).

Em sensoriamento remoto uma própria cena pode ser gerada em diferentes faixas do espectro eletromagnético, ocasionando os canais ou bandas espectrais. Os sistemas sensores podem capturar a energia refletida da superfície terrestre na faixa da luz visível (azul, verde e vermelha), na faixa do infravermelho (infravermelho próximo, médio e termal) e podendo aproximar-se até a faixa das microondas. A maior ou menor quantidade de bandas, bem como a largura das mesmas, irá originar a resolução espectral do satélite (MARQUES, 2006).

A reflectância versa na razão entre a energia que alcança um delimitado alvo e a que é refletida por ele em uma adequada faixa de comprimento da REM, por exemplo, a vegetação expõe taxas superiores de absorção nas faixas da REM que abrangem a área do visível, com comprimentos de onda de 400 nm a 720 nm, derivando em baixas reflectâncias. As faixas do infravermelho próximo, de 720 nm a 1100 nm e infravermelho médio, de 1100 nm a 2500 nm, a absorção é baixa, procedendo em altas refletâncias (Figura 3). Essas particularidades nos valores de refletância de um alvo ao longo dos desiguais comprimentos de onda é o que delibera sua assinatura espectral (PONZONI; REZENDE, 2004; PONZONI et al., 2012).

Figura 3 - Espectros das ondas eletromagnéticas segundo seu comprimento

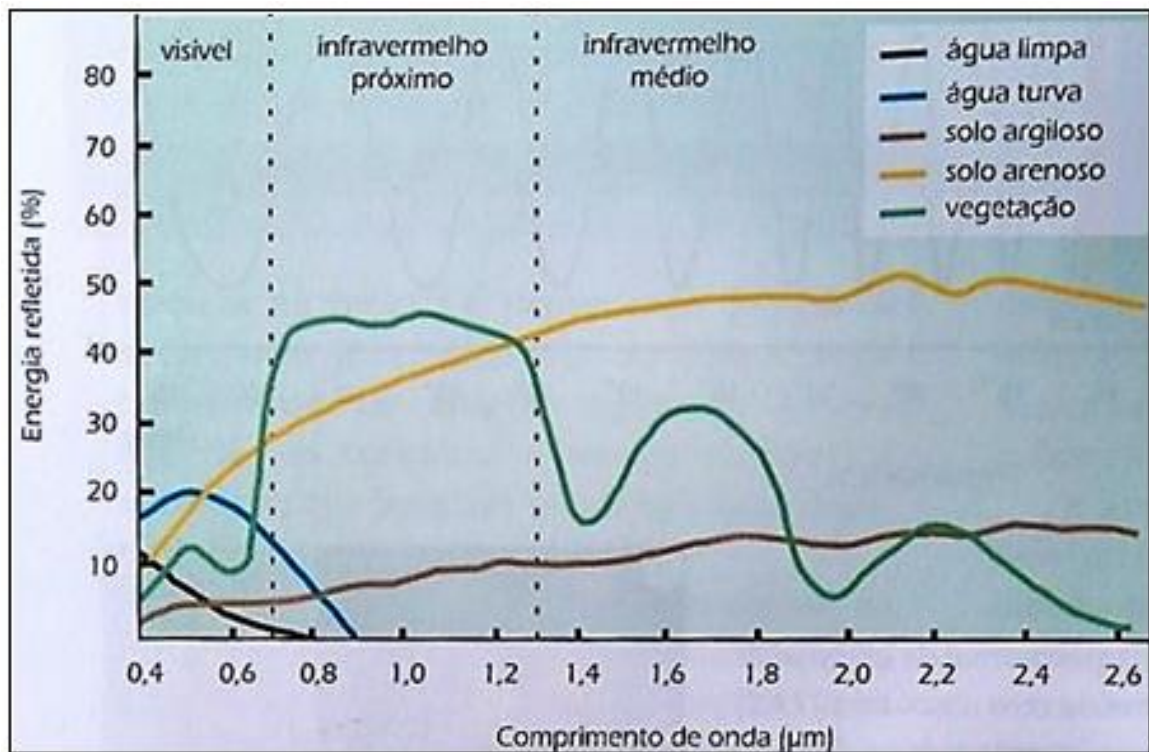


Fonte: Furian (2014).

Os elementos da superfície terrestre, como a vegetação, a água e o solo, refletem, absorvem e conduzem radiação eletromagnética em magnitudes que se transformam com o comprimento de onda, em concordância com as suas especialidades biofísicas e químicas (FLORENZANO, 2011), ocasionando assinaturas espectrais.

Conforme o mesmo autor, analisando a Figura 4, nota-se que, na região da luz visível, a vegetação (verde e sadia) reflete mais energia na faixa correspondente ao verde. Contudo, é na faixa do infravermelho próximo que a vegetação reflete mais energia e se distingue dos demais componentes. A curva do solo mostra um comportamento mais constante, ou seja, uma variação menor de energia refletida em relação à vegetação, ao longo do espectro. A água pura (no estado líquido) reflete pouca energia na região do visível e nenhuma na região do infravermelho, absorvendo toda a energia. Os distintos tipos e concentrações de material na água, no entanto, alteram o seu comportamento espectral, particularmente na região do visível.

Figura 4 - Energia refletida por objetos na superfície terrestre (assinatura espectral)



Fonte: Florenzano (2011).

Os itens do recebimento da REM pelos radiômetros são imagens digitais, na maior parte das vezes os radiômetros são apropriados para detectar distintas faixas da REM, acarretando para cada faixa detectada uma imagem, nesse caso as imagens são denominadas bandas. Os diagnósticos dos múltiplos alvos da superfície terrestre podem ser consolidados analisando as bandas isoladamente, ou de forma agregada, constituindo composições de bandas, que aceitam a atribuição de cores aos alvos, o que torna fácil a compreensão do analista e a identidade dos diversos elementos da superfície (PONZONI; REZENDE, 2004; PONZONI et al., 2012).

Outra particularidade do Sensoriamento Remoto, está na oportunidade interessante da utilização de seus produtos para a realização de análises espaço-temporais, sendo assim, o uso da terra é classificado de acordo com a época da imagem e a sua evolução registrada, procedendo em representações das alterações da paisagem ao longo do tempo (COELHO et al., 2014; PESSOA et al., 2013).

Técnicas utilizando Sensoriamento Remoto são muito úteis quando se utiliza métodos multivariados, como é o caso das análises multicritérios.

2.2 Análise multicritério

A Análise Multicritério (AMC) é um instrumento matemático que auxilia na comparação de diferentes possibilidades (ou cenários), fundamentadas em muitos critérios, com a finalidade de conduzir os tomadores de decisão para uma escolha mais sensata. Os métodos multicritério conjugam aspectos objetivos (quantitativos) com subjetivos (qualitativos), permitindo estruturar as dificuldades com um amplo número de predicados (critérios de avaliação) que são estruturados para apoiar a tomada de decisão (PADILHA; TREVISAN; CRUZ, 2014).

Na AMC, o critério é a base para a tomada de decisão, que pode ser medido e avaliado. Onde ocorre o indicio de um indivíduo pode ser atribuído a um conjunto de decisões. Os critérios são classificados em dois padrões: fatores e restrições, e podem pertencer tanto aos atributos de um indivíduo ou a um conjunto inteiro de decisão (EASTMAN, 2012).

A restrição é um critério limitador em consideração das alternativas em estudo e utiliza-se a lógica booleana para sua concepção. Os fatores são algo que destaca ou abranda a adequabilidade de uma opção em estudo (BENDA, 2008).

2.2.1 Tomada de decisão multicritério

A investigação operacional é uma parte da decisão multicritério que trabalha com problemas devido a diversos critérios, todos com fundamental importância para a tomada de decisão (TRIANAPHYLLOU et al., 1998).

A tomada de decisão compreende a parcialidade dos fatores envolvidos, o que torna o processo de decisão mais complicado, pelos seus valores e a sua forma de atuar. Os agentes podem ser as diversas partes interessadas, o que provoca que as finalidades individuais de cada um destes possam ingressar numa desordem, sendo necessário obter um compromisso entre as suas expectativas. Dentre os agentes mediadores no método de decisão, sobressai as decisões, que corroboram as deliberações ao longo do método, e os facilitadores, que se adaptam ao procedimento de avaliação da tomada de decisão (BANA E COSTA, 1995).

A principal finalidade do apoio à decisão multicritério é contribuir para a melhor saída que atenda inteiramente a todos os critérios. A principal regra é que, não há uma solução excelente, pois, os critérios são conflituosos, mas sim, uma melhor

alternativa, que adequa as precisões do agente de decisão (o decisor) e seja coerente com as suas preferências (DIAS, 2015).

Assim sendo, a tomada de decisão incide, fundamentalmente, na finalidade de uma escolha entre múltiplas possibilidades presentes, acompanhando algumas etapas previamente fundadas e atingindo a solução de um problema de maneira apropriado ou não (BINDER, 1994).

Em um planejamento ambiental, a tomada de decisão carece de amplo identificador de variáveis do meio físico, biológico, social e econômico, quantificáveis ou não, cujas adequações possam originar muitas possibilidades de uso. Nessa ocasião, instrumentos de análise que consigam agregar essas variáveis, atribuir pesos e valores as mesmas, oferecendo preferência às diversas opções, geram a tomada de decisão. A análise multicritério é uma metodologia de análise de possibilidades para resolução de problema que emprega diversos critérios relacionados ao componente de estudo, sendo possível identificar as escolhas prioritárias para o objetivo considerado (FRANCISCO et al., 2007).

Desta forma, um dos principais aspectos em problemas de decisão é a estruturação ou formulação do problema. Este leva em consideração a identificação dos atores, das alternativas, dos critérios, caracterização do problema e da escolha do método multicritério. Depende do contexto, do problema, da estrutura de preferência e da problemática (ROY, 1996).

De acordo com Eastman (2001), as considerações dos responsáveis pela tomada de decisão são reveladas pelos critérios que, é o alicerce dessa técnica e que podem ser aferidos e analisados. Ainda segundo o autor, o raciocínio e a proeminência sobre o qual um indivíduo pode ser designado para um conjunto de decisão, pode ser de dois tipos, fatores e restrições e podem citar características do indivíduo como ao conjunto todo de decisão.

2.2.2 Critérios de decisão

O significado dos critérios de decisão é comumente efetivado pelos decisores, considerando a sua importância percebida, tendo em vista o conjugado de alternativas a avaliar, assim como, os aspectos relevantes para o decisor nas alternativas a indicar (DIAS, 2015).

A quantidade de critérios empregados também pode ser determinante para a escolha do método a usar. Além disso, pode-se adotar critérios e subcritérios organizados hierarquicamente. Por um lado, devem ser todos os critérios que refletem situações de preferência e, simultaneamente, tão detalhadas quanto possível. Por outro lado, o seu número deve ser o menor possível para ser possível operacionalizá-los. Deve-se notar que cada alternativa terá de ser avaliada em cada critério. Portanto, verifica-se que é essencial alinhar a escolha e número de critérios com a escolha e número de alternativas (FRÖDELL, 2011).

Embora as vantagens que possam ser alcançadas a partir do uso destes critérios, normalmente o seu emprego confirma ser mais eficiente quando sua integração com técnicas multicritério (HO et al., 2010; CHAI; LIU; NGAI, 2013).

2.2.3 Análise de decisão multicritério – Processo Analítico Hierárquico

Uma das primeiras metodologias de tomada de decisão com diversos critérios, foi desenvolvido por Thomas L. Saaty durante a década de 1970 e foi nomeada de *Analytic Hierarchy Process* ou AHP. Desde a primeira exposição, sua caracterização matemática modificou-se muito. Como finalidade desse método, tem-se por finalidade organizar os objetivos ou os critérios em uma hierarquia representada pela preferência dos decisores e no nível inferior da hierarquia depararam-se as opções. As comparações são realizadas par a par entre os elementos dessa estrutura, sejam as escolhas e os critérios de decisão. As avaliações dessa metodologia são norteadas pelo teorema da Álgebra Linear ou teorema de Perron Frobenius (GOMES, 2007).

O processo analítico hierárquico, é uma metodologia de tomada de decisão com diferentes critérios, em que um problema complexo possui uma hierarquia de solução a partir das variáveis empregadas na solução (ALPHONCE, 1997).

É uma metodologia compensatória, que emprega um processo de comparação quantitativa de pares de critérios. Cada critério deve ser comparado com todos os outros pelo meio de uma escala numérica, compilando uma matriz final (KIKER et al., 2005).

Para soluções de problemas com primazia de alternativas em várias áreas é comum aplicar a metodologia do AHP. O método demanda do avaliador, quando xPy , uma prudência cardinal, qualitativo ou quantitativo, sobre o número de vezes que x é

preferível a y (um *ratio judgement*) (BANA E COSTA; ÂNGULO-MEZA; OLIVEIRA, 2013).

A metodologia AHP é fundamentada em um enfoque de tomada de decisão sob critérios diversos, na qual os fatores são arranjados em uma estrutura hierárquica, ou seja, decompõe-se um problema complexo em hierarquias, nas quais cada nível será composto de elementos específicos. Os fatores, uma vez selecionados, são distribuídos em uma estrutura hierárquica descendente e em níveis sucessivos, partindo de um critério no topo da hierarquia em direção aos demais critérios, subcritérios e subseqüentes alternativas de decisão (SILVA, 2001).

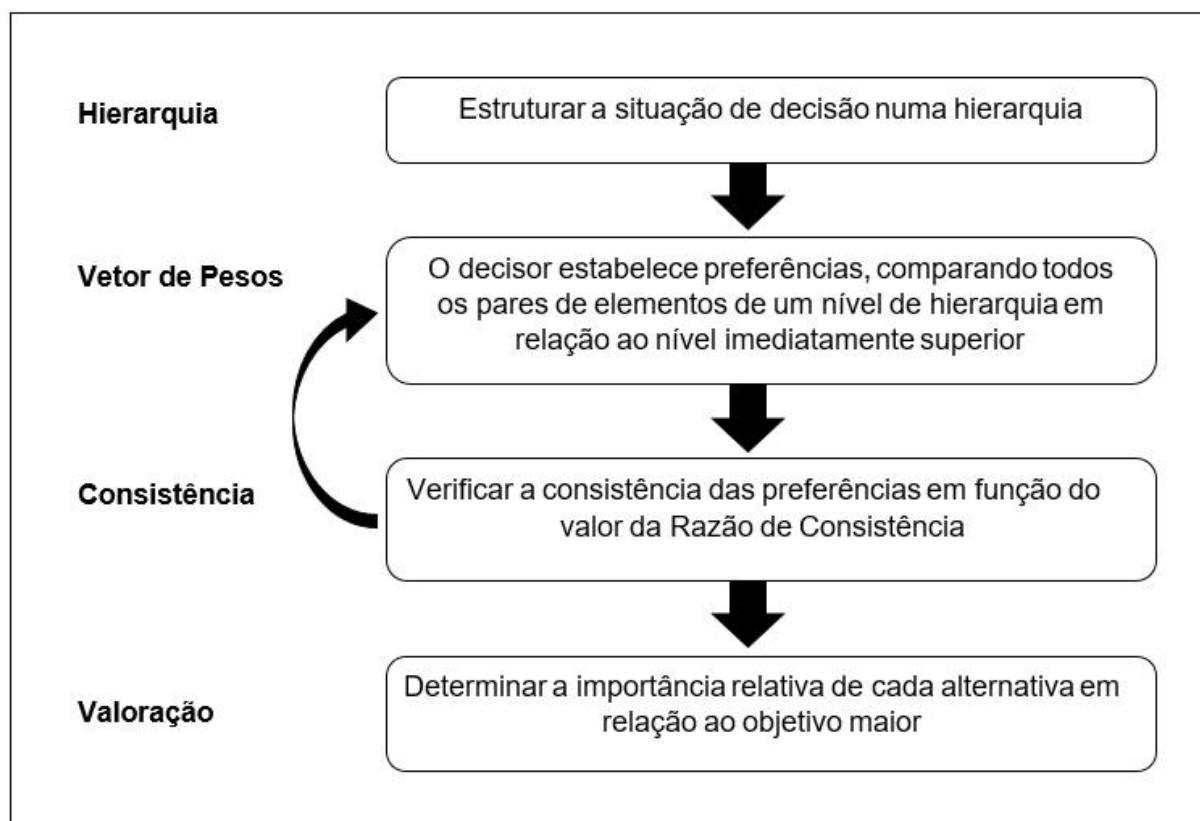
Ainda segundo Silva (2001), quando estruturado o modelo hierárquico do problema, os tomadores de decisão participantes fornecerão comparações em forma de pares para cada nível de hierarquia, a fim de, se obter o fator peso de cada elemento no nível observado, com respeito a um elemento no próximo nível mais alto. O fator peso oferece uma medida de importância relativa desse elemento para o tomador de decisão.

Os elementos de um dado nível hierárquico são conferidos em pares para julgar suas preferências relativas diante de elementos do próximo nível superior da hierarquia. A intensidade das preferências entre dois elementos é estabelecida na escala Saaty de 1 a 9, onde 1 sugere igual preferência e 9 indica preferência total (HERVA; ROCA, 2013).

Esta técnica é fundamentada em matemática e psicologia e produz um quadro extenso e coerente da organização de uma dificuldade de decisão, tolerando a representação e quantificação dos seus dados, de maneira a relacionar esses elementos com objetivos gerais e avaliar soluções alternativas (Figura 5). Trata-se de um procedimento estruturado para lidar com decisões complicadas, que auxilia a encontrar, dentro das possíveis alternativas, a que melhor se adequa às necessidades e compreensão do problema (DIAS, 2015).

Mesmo que seja uma metodologia mais complexa e duradoura, em que muitas vezes estabelece a interação para assegurar um grau de consistência aceitável, os resultados e o próprio processo encaixa-se corretamente a dificuldades em que os critérios se encontram hierarquizados, explanando o processo de decisão. Sendo assim, são constituídas comparações par-a-par entre os critérios de grau hierárquico idêntico (RAMOS, 2000).

Figura 5- Fluxograma geral do método AHP



Fonte: Vilas Boas (2006).

De acordo com Vieira (2006), o método AHP acaba transformando as suas análises em importâncias numéricas, para que possam ser processados e confrontados, isso ocorre para que se possa aplicar em toda a extensão do problema. Um peso numérico, uma cotação ou uma prioridade, é conferido a cada componente da hierarquia, aceitando que elementos distintos, e por vezes não mensuráveis, possam ser conferidos uns com os outros de uma forma coerente. Esta competência diferencia o AHP de diversos procedimentos de tomada de decisão e torna-o particularmente apropriado a este estudo. Enumeradas, a seguir, estão algumas das suas principais vantagens são:

- a) Proporciona uma interpretação e análise do problema com baixa complexidade. Ao expor um baixo nível de complexidade colabora para facilitar a interpretação do processo analítico pelas partes intervenientes;
- b) Emprega procedimentos dedutivos rigorosos e sistemáticos como mais uma forma de diminuir a imprecisão na análise de problemas;
- c) Permite analisar compromissos para resolver situações de conflito, transformando os parâmetros do modelo analítico. Ou seja, o processo de resolução

de uma situação de conflito ocorre pela negociação com as partes interessadas do sistema com o objetivo de rever as prioridades ou julgamentos abarcados;

d) Solicita a negociação e determinação de compromissos entre critérios;

e) Possibilita estimar o nível de satisfação de cada alternativa e determinar a ordem de importância de cada assunto (ou critério), o que constitui o fundamental objetivo da aplicação do processo AHP;

f) Disponibiliza meios para determinar a consistência lógica dos julgamentos realizados que são posteriormente empregados na determinação das prioridades;

g) Permite determinar o resultado final fundamentado na síntese dos diversos julgamentos realizados pelos diferentes intervenientes no sistema em análise.

2.2.4 Avaliação multicritério em ambiente SIG

Em ambiente SIG foram implementados vários procedimentos de avaliação em multicritério, dos quais Malczewski (2004) e Eastman (2003) mencionam as operações Booleanas, a Média Ponderada Ordenada e a Combinação Linear Ponderada, sendo os dois primeiros mais simples e rotineiramente aplicados (CORSEUIL, 2006).

Constitui-se um avanço na metodologia de sobreposição de mapas para a determinação do uso adequado da terra, com a integração entre os métodos de análise de multicritérios e o SIG. É um processo que sistematiza e transforma dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão. O que determinam as regras de decisão são as relações entre os dados espaciais (mapas de entrada) e os dados de saída (mapas finais) (EASTMAN, 1998; MALCZEWSKI, 2004).

De acordo com Eastman (2003), a tecnologia de tomada de decisão compreende distintos significados como a decisão propriamente dita, as observações, os fatores e a regra de decisão. Assim, uma determinação é uma opção entre diversas opções, baseado em um determinado critério, o qual concebe uma condição que pode ser quantificada ou aferida. Os critérios, por sua vez, podem ser de natureza restritiva ou relativa. Os restritivos, chamados de restrições, são aqueles que restringem as alternativas que estão sendo analisadas, eliminando áreas e limitando espacialmente as possibilidades de opção.

Segundo o mesmo autor, estes critérios são sempre de estilo booleano (sim ou não). Os critérios de caráter relativo, designados de fatores, são os que exibem certo nível de acomodação para uma escolha específica para a atividade que está sendo

avaliada. Estes constituem fenômenos que mudam continuamente no espaço. Por fim, uma regra de decisão pode ser deliberada como o processo por meio do qual os critérios são escolhidos e combinados para se chegar a uma determinada decisão.

Corseuil (2006) utilizou técnicas de multicritério em ambiente SIG, para harmonização do uso das terras de uma microbacia hidrográfica. Foram denominados dois conjuntos de critérios para os procedimentos de análises, o primeiro foram as restrições que são compostas por áreas de preservação permanente, rede viária e os corpos de água, foram selecionadas essas restrições pois aferem um obstáculo à exploração agrícola das terras. E o segundo conjunto concebem os fatores, que é a aptidão agrícola das terras, declividade do terreno e uso da terra, que conferem medidas de adaptação para o objetivo do estudo. O cruzamento dos mapas com os dois conjuntos de critérios fora efetivado através da AMC, baseado no processo da Combinação Linear Ponderada (CLP). O SIG teve fundamental importância no trabalho, pois por meio dele, consentiu o julgamento da adequação do uso da terra tendendo a tomada de decisão para a explicação dos problemas localizados na área de estudo.

Nossack (2012) expôs um estudo sobre a recomposição florestal numa sub-bacia, utilizando a técnica multicritério, planejando a conservação dos recursos hídricos e permitindo uma análise mais ampla em relação a quantidade de área ocupada, e como decorrência, verificar os processos de degradação que ocorrem no ambiente e a áreas prioritárias à recomposição florestal tendendo a conservação dos recursos hídricos. Essas análises ocorreram em ambiente SIG, com o auxílio da análise multicritério pelos dos métodos da Combinação Linear Ponderada e Média Ponderada Ordenada. Foram empregues cinco fatores, sendo eles, distância das nascentes, distância da rede de drenagem, distância dos processos erosivos, declividade e distância dos fragmentos florestais, todos apresentados como mapas matriciais, onde os valores dos mapas foram padronizados numa escala única e contínua de 256 valores. A aplicação da análise multicritério e os métodos utilizados foram importantes, pois conseguiu discriminar e sistematizar as áreas de prioritárias para a recomposição florestal.

Traficante (2016) apresentou um estudo de fragilidade ambiental da Área de Preservação Ambiental (APA) Corumbataí – Botucatu – Tejuapá na bacia hidrográfica do Rio Capivara, por meio do emprego da AMC no SIG. Empregando planos de informação como uso da terra, solos, declividade e geologia, com a finalidade de

atestar que a bacia está protegida pela APA. Estes atributos foram combinados utilizando álgebra de mapas por meio da técnica CLP em que cada elemento é considerado um fator condicionante à fragilidade ambiental. A normalização dos fatores deu-se pelas classes de fragilidade com notas variando de um a cinco, de muito baixa a muito alta, respectivamente, e a determinação dos pesos pelo método do Processo Hierárquico Analítico. Ainda segundo o autor, o AHP foi apropriado para a categorização da importância relativa de cada fator e aquisição dos pesos finais. Por meio desse método foi possível afirmar que todas as análises realizadas foram coerentes, gerando resultados mais confiáveis, obtidos através de Combinação Linear Ponderada.

2.3 Aptidão agrícola das terras

Algumas classificações de cenários agrícolas utilizam de tecnologias para a categorização da possibilidade de manejo e uso das terras.

A aptidão agrícola fundamenta-se na comparação das condições proporcionadas pelas terras, com as exigências de vários tipos de usos. Trata-se, deste modo, de um processo interpretativo que avalia informações sobre particularidades de meio ambiente, de atributos do solo e da viabilidade de melhoramento de qualidades básicas das terras (PEREIRA; SILVEIRA; LOMBARDI NETO, 2006).

O diagnóstico dos recursos ambientais é importante quando se trata de usos múltiplos, contínuos e econômicos, a fim de se obter um equilíbrio entre a preservação do meio ambiente e as atividades de produção (GUIMARÃES et al., 2006).

O uso impróprio e a ausência de conhecimento da aptidão agrícola da terra geram frequentes impactos negativos ao meio ambiente (PEDRON et al., 2006). A fragilidade e o potencial da utilização dos recursos naturais necessitam ser aferidos sendo essencial um planejamento do uso da terra levando em consideração a potencialidade do uso desses recursos. A aptidão agrícola das terras é empregada para identificar e conferir os diversos tipos de usos do solo numa certa região e assim opor-se a subutilização ou a sobre o uso dos mesmos (CORSEUIL et al., 2009).

A forma adequada de utilização das terras, e a sua aptidão agrícola incide em fator importante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, silviculturais, agroflorestais ou extrativistas, à medida que beneficia a otimização da produção e

evita as ações de deterioração das terras. Desta forma a ciência da capacidade agrícola das terras incide em uma fase imprescindível ao planejamento agrícola nas várias escalas dos processos de decisão macrorregional, regional, microrregional ou localidade (DELARME LINDA, 2011).

Segundo Francisco (2010), o planejamento agrícola como princípio da política ambiental se estabelece no processo de gestão do espaço rural e da atividade agropecuária e quando bem aplicado organiza as ações, tornando-se instrumento de sistematização de informações, ponderação sobre os problemas e reflexão de cenários potenciais para o bom emprego dos recursos naturais.

2.3.1 Avaliação da aptidão agrícola das terras

A classificação da aptidão agrícola das terras menciona-se à avaliação de terras com finalidades específicas e tenta criar classes de terras em desempenho da sua aptidão para usos determinados (RIBEIRO, 2007). Segundo Curi et al. (1993), essa categorização pode ser deliberada como a adaptabilidade dessas terras para um tipo característico de uso agrícola, pressupondo-se um ou mais diversos níveis de manejo.

A avaliação da aptidão agrícola das terras é uma metodologia desenvolvida por Ramalho Filho e Beek em 1995, que incide na explanação das condições naturais dos solos em termos do seu potencial de uso, atendendo também os níveis tecnológicos de manejo, dos menos ao mais desenvolvidos. Gera a idealização do uso agrícola dentro das probabilidades do emprego das terras por meio de um modelo que incide em relacionar a aptidão agrícola e as diferentes atividades antrópicas nelas desenvolvidas. Esta metodologia analisa as limitações naturais das terras quanto ao seu uso, propondo a indicação de sua melhor utilização, de lavoura, pastagem, silvicultura ou se são áreas inaptas ao uso agrícola (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995). A avaliação da aptidão agrícola também interpreta as condições dos ecossistemas estimando as suas limitações para a agricultura, apresentando correções ou reduções dos usos de acordo com os níveis de manejo (CARVALHO FILHO et al., 2000).

A avaliação da aptidão das terras pode ser realizada a partir da interpretação de levantamentos e da classificação dos solos (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995). Conhecimentos sobre o clima, vegetação, assim como o solo, também são de grande

importância para planejar e otimizar o uso da terra, o que admite o melhor e mais eficiente aplicação dos recursos naturais (SAMPAIO, 2007).

Para avaliar a aptidão agrícola das terras e assessorar o planejamento territorial é importante o uso de Sistema de Informação Geográfica. O SIG gerencia dados espacializados e agiliza os processos necessários para a delimitação das unidades de mapeamento, além de promover o armazenamento e atualização das informações (CHAVES, 2010).

2.3.2 Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras

O Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAAT) é uma metodologia de classificação das terras para uso agrícola, que segundo Bennema, Beek e Camargo (1964), teve início no Brasil na década de sessenta, no intuito de classificar potencialidades das terras para agricultura tropical e que tem servido de base para zoneamentos e macrozoneamentos agrícolas para equipes técnicas (BRASIL, 2010).

O SAAAT encaixa-se no tipo de classificações técnicas ou interpretativas, nas quais as terras são incorporadas em conformidade com suas potencialidades, relacionadas com o tipo de utilização que se quer oferecer (PEREIRA; SILVEIRA; LOMBARDI NETO, 2006).

Esses sistemas de avaliação interpretativos são fundamentados na identificação das limitações que os solos podem proporcionar, de combinação com análises quantitativas e qualitativas das características desses, resultando em diversas classes de potencial de uso com o propósito de fornecer um prognóstico da capacidade de uso da terra em consenso com o conhecimento acumulado na área de ciência do solo (BACIC; ROSSITER; BREGAT, 2003).

Os grupos de aptidão agrícola são numerados de 1 a 6, conforme o Quadro 2, em escala decrescente, segundo as possibilidades de uso das terras. Os grupos 1, 2 e 3 acomodam-se as lavouras como tipo de uso, além de conceber, no subgrupo, as melhores classes de aptidão das terras recomendadas para lavouras, segundo os níveis de manejo. Os grupos 4, 5 e 6 identificam pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da flora e fauna, respectivamente, como tipos de utilização, independente da classe de aptidão (RAMALHO FILHO; PEREIRA; BEEK, 1978).

Quadro 2 - Alternativas de utilização das terras de acordo com os grupos de aptidão agrícola

Grupo de aptidão agrícola		Aumento da intensidade de uso					
Aumento da intensidade da limitação - Diminuição das alternativas de uso		Preservação da flora e da fauna	Silvicultura e/ou pastagem natural	Pastagem plantada	Lavouras		
					Aptidão restrita	Aptidão regular	Aptidão boa
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						

Fonte: Ramalho Filho; Pereira; Beek (1978).

No Quadro 2, constata-se que os três primeiros grupos são aptos para lavoura, o grupo 4 basicamente para pastagem plantada, o grupo 5 para silvicultura e/ou pastagem e o grupo 6 para preservação da natureza.

Os subgrupos de aptidão agrícola satisfazem à relação entre os níveis de manejo e o uso e cobertura da terra. O elo que atrela esta amarração envolve os fatores que determinam os tipos de limitações de uso dos quais são, a insuficiência de fertilidade, falta de água, demasia de água ou deficiência de oxigênio, suscetibilidade erosiva e empecilhos à mecanização, podendo ser introduzidas novas variáveis diante as exigências de estudos. Estas informações sobre as bases físicas e químicas dos solos foram conseguidas por meio da literatura especializada. Tornou-se como referência o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, o qual auxiliou a análise (EMBRAPA, 2013).

As classes divulgam a aptidão agrícola das terras para um certo tipo de emprego, com um nível de manejo definido, dentro do subgrupo de aptidão. Refletem o grau de intensidade com que as limitações comprometem as terras. São determinadas em termos de graus, referentes aos fatores limitantes mais expressivos. Esses elementos, que podem ser avaliados em subclasses, determinam as situações agrícolas das terras. As espécies de utilização em pauta são lavouras, pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural (RAMALHO FILHO; PEREIRA; BEEK, 1978).

Com base no boletim da FAO (1976), as classes foram assim deliberadas:

a) Classe boa: terras sem restrições expressivas para a produção sustentada de um determinado tipo de emprego, analisando as condições do manejo analisado. Possui um mínimo de restrições que não restringem a produtividade ou os benefícios significativamente e não acrescem os insumos acima de um nível admissível.

b) Classe regular: terras que expõem limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de uso, analisando as condições do manejo analisado. As limitações diminuem a produtividade ou os benefícios, aumentando a necessidade de insumos, de forma a acrescer as vantagens globais a serem conseguidas do uso. Ainda que atrativas essas vantagens são sensivelmente inferiores aquelas auferidas das terras de classe boa.

c) Classe restrita: terras que exibem limitações fortes para a produção sustentada de um certo tipo de uso, observando as condições do manejo considerado. Essas limitações diminuem a produtividade ou os benefícios, ou então acrescem os insumos indispensáveis, de tal modo que os custos só seriam explicados marginalmente.

d) Classe inapta: terras que oferecem condições que parecem eliminar a produção sustentada do tipo de utilização em questão. Ao contrário das demais, esta classe não é concebida por símbolos. Sua explicação é feita pela deficiência das letras no tipo de uso analisado.

Segundo Ramalho Filho, Pereira e Beek (1978), são considerados três tipos de manejo, os quais visam a diagnosticar o comportamento das terras em desiguais níveis tecnológicos. Sua indicação é demonstrada por meio das letras A, B e C.

O nível de manejo A é fundamentado em técnicas agrícolas que incidem um baixo nível tecnológico, não possuindo, praticamente, aplicação de capital para utilização, melhoramento e conservação das condições das terras e lavouras. As técnicas agrícolas dependem do trabalho braçal, podendo ser usada alguma tração animal. O nível de manejo B é fundamentado em técnicas agrícolas que refletem um nível tecnológico médio, com modesto emprego de capital, estando condicionadas, especialmente, à tração animal. Por fim, o nível de manejo C fundamenta-se em práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico, com intensa aplicação de capital, estando tais práticas condicionadas à mecanização (RAMALHO FILHO; PEREIRA; BEEK, 1978). O Quadro 3 traz uma síntese da simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras e as classes sugerem o grau de limite das terras ao uso agrícola.

Quadro 3- Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras

Classe de aptidão agrícola	Tipo de utilização						
	Lavouras			Pastagem plantada	Silvicultura	Pastagem natural	
	Nível de manejo			Nível de manejo	Nível de manejo	Nível de manejo	
	A	B	C	B	B	A	
Boa	A	B	C	P	S	N	
Regular	a	b	c	P	s	n	
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)	
Inapta	-	-	-	-	-	-	

Fonte: Ramalho Filho; Pereira; Beek (1978).

As classes sugerem o grau de limite das terras ao uso agrícola. Assim, a classe boa simula terras sem limitações significativas para a produção amparada por um tipo de utilização, tendo em vista suas condições de manejo. Ainda nesta classe, as ocasionais exceções ou limitações das terras não diminuem, expressivamente, a produtividade ou benefícios, além de não determinarem o aumento do emprego de insumos, acima de um nível cabível. Nesta classe, os tipos de utilização das terras são simulados pelos símbolos: A, B e C – lavouras; P – pastagens; S – silvicultura; N – pastagem natural. A classe regular oferece limites moderados, as quais diminuem a produtividade ou benefícios e, por conseguinte, aumentam a utilização de insumos, insumos estes que elevarão as vantagens a serem conseguidas do uso, ainda que tais vantagens sejam baixas às proporcionadas pela classe boa. Os tipos de uso das terras nesta classe são representados pelos mesmos símbolos da classe boa, contudo, com letras minúsculas (a, b, c, p, s, n). A classe restrita sugere terras que oferecem limitações fortes para a produção amparada de um determinado tipo de utilização. Tais limitações diminuem a produtividade ou os benefícios de maneira que os custos para a utilização de insumos só ficariam justificados marginalmente. Os símbolos empregados para representar os tipos de utilização das terras nesta classe são os mesmos anteriores, no entanto, entre parênteses ((a), (b), (c), (p), (s), (n)). (RAMALHO FILHO; PEREIRA; BEEK, 1978).

Por fim, a classe inapta concebe terras com condições que praticamente eliminam a possibilidade de produção agrícola ou florestal. Não elege simbologia para sua representação, a qual é interpretada tendo em vista a ausência das letras no tipo de utilização considerado. As terras inaptas para lavouras são sugeridas para a

preservação da flora e fauna, recreação ou algum outro tipo de uso não agrícola (RAMALHO FILHO; PEREIRA; BEEK, 1978).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O município de Itaberá possui área de 108.863,43 ha e uma população total de 17.665 habitantes. A densidade demográfica é de 15,91 hab/km². A taxa geométrica de crescimento anual de população de -0,19% ao ano. Apresenta Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) igual a 0,693 (FUNDAÇÃO SEADE, 2016).

Localiza-se na região sudeste da Capital de São Paulo, a uma latitude 23°51'43"S e longitude 49°08'14" W Gr, estando a 318 km da Capital (Figura 6).

Conforme IPT (2006), o município de Itaberá possui vocação agrícola, voltada para o cultivo das culturas temporárias, como o milho, feijão, trigo e soja. E para as atividades pecuária, com gado de corte e leite.

3.1.1 Clima

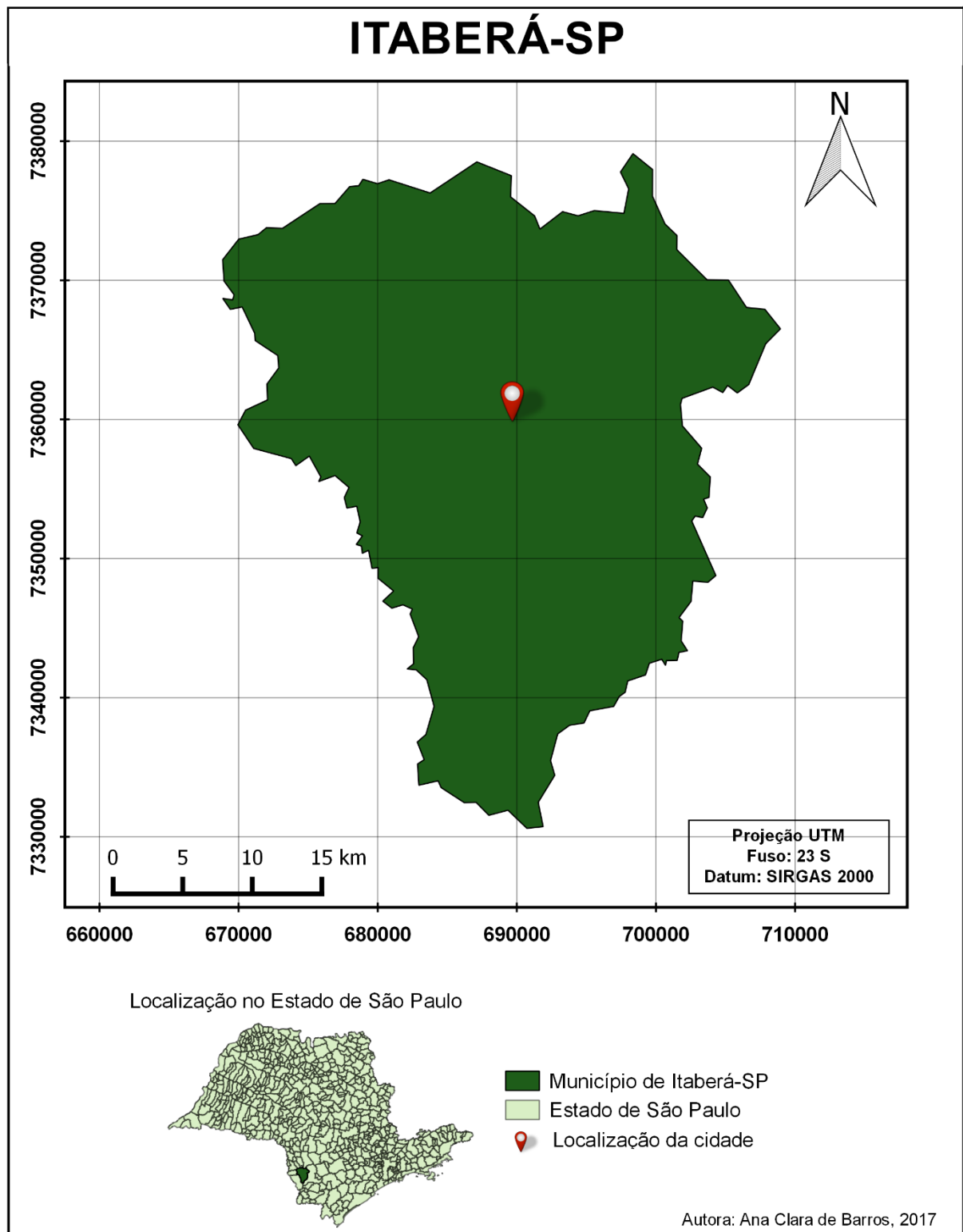
O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cwa sendo definido como clima subtropical/clima tropical de altitude; a temperatura média anual é de 20,6°C e precipitação média anual de 1.193,7 mm, com altitude de 640 metros (CEPAGRI, 2014).

3.1.2 Formação Geológica e Geomorfológica

O mapa geológico (LANDIM, 1984) da região estudada indica a ocorrência de apenas uma formação geológica na área, pertencente ao Grupo Itararé que é composto por arenitos finos a grosseiros, siltíticos, lamitos, diamictitos e ritmitos; cores amarelo, vermelho e cinza.

A região também se encontra localizada na Bacia Sedimentar do Paraná, na Depressão Periférica Paulista, mais especificamente na depressão Paranapanema (ROSS; MOROZ, 1997).

Figura 6 - Localização do município de Itaberá-SP



3.2 Material

3.2.1 Bases Cartográficas

Para o apoio cartográfico, foram utilizadas as cartas planialtimétricas em formato digital, editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1974), em escala 1:50.000 com equidistância das curvas de nível de 20 metros (Quadro 4).

Quadro 4 - Cartas planialtimétricas do IBGE utilizadas

Nome	Código
Engenheiro Maia	SG-22-X-B-I-2
Itaberá	SG-22-Z-D-IV-4
Itapeva	SF-22-Z-D-V-3
Itaporanga	SG-22-X-B-V-2
Ribeirão Vermelho do Sul	SF-22-Z-D-IV-3
Taquarituba	SF-22-Z-D-IV-2

3.2.2 Fonte de dados climáticos

Para a realização do trabalho, utilizou-se o banco de dados histórico dos municípios vizinhos da área de estudo (Quadro 5), as informações foram adquiridas no banco de dados climáticos do Brasil (EMBRAPA, 2003). O banco de dados foi composto por valores com um período histórico de registros diários de uma média de 30 anos, de 1960 a 1990.

Foram empregues valores de temperatura e chuva dos municípios vizinhos na geração de mapas climáticos mais precisos, por meio da interpolação dos dados adquiridos, para encontrar oscilações de valores nesses mapas. Se fossem utilizados apenas os dados climáticos do município em estudo, os mapas apresentariam somente um valor, que seria a média histórica dos anos registrados. Assim, não teria embasamento para discutir quais as regiões com temperaturas mais amenas ou elevadas e onde se encontram áreas mais ou menos chuvosas.

Quadro 5 – Municípios vizinhos e distância da área de estudo

Municípios	Distância da área de estudo
Coronel Macedo-SP	35,7 km
Itaí – SP	68,2 km
Itapeva-SP	37,5 km
Itaporanga-SP	56 km
Itararé - SP	50,4 km
Riversul - SP	50,3 km

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) determina como “valores médios calculados para um período parcialmente longo e constante, abrangendo no mínimo três décadas consecutivas” e padrões climatológicos normais como médias de informações climatológicos calculadas para períodos sucessivos de 30 anos e Normais Provisórias são médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos (INMET, 2017). Portanto, emprega-se um período histórico, pois o clima é caracterizado pelos valores médios correspondente a um número de anos satisfatoriamente extenso para reconhecer que ele representa o valor predominante daquele determinado local.

3.2.3 Imagens de Satélite

Foram empregadas imagens multiespectrais do Sensor *Operational Land Imager* – OLI, presente no satélite LANDSAT 8 com resolução espacial de 30 metros, para a confecção do mapa de uso das terras. As imagens possuem data de 28/12/2016, órbita 220 e ponto 076. A base utilizada na seleção da imagem foi a cobertura de nuvens, sendo que a presença dessas atrapalha ou inviabiliza a identificação das classes de usos da cobertura da terra. As características das imagens utilizadas estão descritas no Quadro 6.

A aquisição das imagens foi realizada de forma gratuita através do site americano Earth Explorer – USGS – U. S. *Geological Survey*.

Quadro 6 – Características do Sensor OLI do Satélite Landsat 8

Bandas espectrais (sensor OLI)	Comprimentos de onda (µm)	Resolução espacial	Resolução temporal	Resolução radiométrica
Banda 1 – azul	0,43 – 0,45	30 metros	16 dias	16 bits
Banda 2 – azul	0,45 – 0,51	30 metros		
Banda 3 – verde	0,53 – 0,59	30 metros		
Banda 4 – vermelho	0,64 – 0,67	30 metros		
Banda 5 – infravermelho próximo	0,85 – 0,88	30 metros		
Banda 6 – Infravermelho médio	1,57 – 1,65	30 metros		
Banda 7 – Infravermelho médio	2,11 – 2,29	30 metros		
Banda 8 – Pancromática	0,50 – 0,68	15 metros		
Banda 9 - Cirros	1,36 – 1,38	30 metros		

Fonte: USGS, 2017.

3.2.4 Programas para processamento de dados

Para tratamento e manipulação das bases de dados geográficos, análise e integração dos mesmos para se obter conhecimentos sobre a área de estudo, foram empregados os seguintes programas computacionais:

- QGIS versão 2.18.9, para processamento de arquivos no formato matricial, interpolação e álgebras de mapas, georreferenciamento, edição de arquivos no formato vetorial e elaboração dos mapas finais;
- Spectral Transformer for Landsat 8, para realização da fusão das bandas do satélite Landsat 8;
- Microsoft Office Excel 2016, para criação de planilhas de dados.

Foram utilizados esses programas por serem de caráter livres, ou seja, gratuitos e por suprirem todas as atividades realizadas nesse trabalho.

3.3 Métodos

3.3.1 Mapeamento do uso e ocupação da terra

Para a obtenção do mapa de uso e ocupação da terra, foram utilizadas quatro bandas do Landsat 8, sendo elas, a banda 2, 3, 4 e 8, que representam respectivamente aos comprimentos de ondas do azul, verde, vermelho e a pancromática.

Com a finalidade de acrescer a resolução espacial das bandas multiespectrais, foi realizado primeiramente uma fusão entre todas as bandas com a banda pancromática, que a partir desse processo, obtiveram-se imagens com resolução espacial de 15 metros.

Para isso, foi empregado o método IHS, onde o processamento das imagens é dividido em duas fases, na primeira selecionou-se um conjunto de três bandas com propriedade multiespectral e a essas foi aplicada uma transformação do tipo IHS (I, intensidade; H, matiz; S, saturação). Na segunda fase do processamento, os componentes H e S que integra as particularidades das cores da imagem são conservados e o componente I é rejeitado e substituído pela banda de melhor resolução, nesse caso, a pancromática (MENESES, 2012).

Para promover uma interpretação adequada das imagens e poder classificar as classes de uso e cobertura da terra, foram realizadas composições coloridas com as imagens fusionadas, no sistema de cores RGB (R, vermelho; G, verde e B, azul). Foi gerada uma composição, em “cor verdadeira” R4G3B2, aproveitando métodos de fotointerpretação, os alvos na superfície foram identificados e a eles impostos uma classificação temática.

A razão da escolha dessa composição foi por proporcionar uma caracterização e diferenciação mais adequada aos usos e coberturas da terra e promove a análise visual sobre a imagem para a obtenção de informações, a caracterização das diferentes classes de uso foi feita pela classificação automatizada da imagem de satélite, por meio da classificação supervisionada por pixel, utilizando-se o classificador máxima verossimilhança.

3.3.2 Mapeamento Pedológico

O mapa pedológico foi obtido por meio do recorte feito para as classes de solos existentes na área de estudo, de acordo com o levantamento pedológico do estado de São Paulo, 1999. Realizado por pesquisadores do IAC e da Embrapa/Solos, em adequação ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, SiBCS, na escala 1:500.000.

3.3.3 Modelagem Digital de Elevação e Declividade

Para a obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE) foram utilizadas as cotas planialtimétricas contidas nas cartas topográficas do IBGE, na escala 1:50.000. Essas foram inicialmente georreferenciadas, tomando como pontos de controle os cruzamentos entre as coordenadas indicadas na própria carta. Em seguida, foram adquiridas as informações de elevação e rede de drenagem por meio do método de vetorização, passando as imagens de formato matricial para o formato vetorial. Para representar o relevo de uma determinada área, iniciou-se pela interpolação das curvas planialtimétricas, cada elemento das curvas contém um valor de elevação, essas linhas precisam ser convertidas para pontos, esses pontos terão os valores de elevação. Próximo passo foi a interpolação dos pontos gerados, do tipo triangular (TIN), para se obter o resultado do mapa de elevação do terreno.

Após a criação do MDE, fez-se o cálculo da declividade, os valores interpolados foram agrupados em intervalos de seis classes (Quadro 7), de acordo com a Embrapa (2013).

Quadro 7 – Classes de declividades e relevos correspondentes

Classe de declividade (%)	Classe de relevo
0 – 3%	Plano
3 – 8%	Suave ondulado
8 – 20%	Ondulado
20 – 45%	Forte ondulado
45 – 75%	Montanhoso
>75%	Escarpado

Fonte: Embrapa (2013).

3.3.4 Mapa térmico e pluviométrico

Tanto o mapa térmico quanto o pluviométrico, foram elaborados com dados de temperatura e pluviosidade em escala média de 30 anos.

Inicialmente foi elaborado um arquivo no Microsoft Office Excel 2016, com dados das estações como, longitude, latitude, a média para cada fator e salvo em extensão csv, para reconhecimento do programa de computador. Em seguida abriu-se o arquivo no programa de computador e realizado o método de interpolação peso pelo inverso da distância (IDW), e em seguida foi feito o recorte com o limite da área de estudo.

3.3.5 Obtenção dos fatores referentes a aptidão agrícola

A seleção dos fatores para o mapeamento da aptidão agrícola foi baseada em revisão de literatura (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) e consulta a especialistas das áreas de conservação do solo, topografia e integrantes do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas (GEPAG) da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA). Foram selecionados quatro fatores relacionados ao meio físico e antrópico, são eles: tipo de solos, declividade, temperatura e pluviosidade.

3.3.6 Padronização dos fatores

A padronização é indispensável para uniformizar as unidades de todos os mapas, aplicando uma escala comum de valores para que possam ser agregados para gerar um mapa final de aptidão, pois cada mapa possui unidades temáticas desiguais, como apresentado por Sartori (2013). Como cada fator possuía inicialmente uma escala numérica específica, por exemplo, a declividade apresentava-se em porcentagem, os solos uma unidade temática qualitativa, a temperatura em graus Celsius e a pluviosidade em milímetros, foi necessária uma padronização para que todos os fatores apresentassem a mesma unidade para realizar o cruzamento de todos os mapas.

3.3.7 Ponderação dos fatores

Para calcular o peso para cada fator foi empregue o processo de tomada de decisão renomado como Processo Hierárquico Analítico - AHP, uma metodologia desenvolvida por Saaty, (1977); (1978). Cada um dos fatores foi avaliado como tendo uma relevância distinta ao objetivo (mapeamento da aptidão agrícola).

Segundo Silva et al. (2004), o processo da determinação da ponderação dos fatores desenvolve-se ao longo de sete etapas, sendo elas:

1ª Etapa: Construção da matriz de comparação par a par;

2ª Etapa: Cálculo do vetor de peso principal;

3ª Etapa: Cálculo do vetor de peso máximo;

4ª Etapa: Cálculo do Índice de Consistência (CI – *Consistency Index*);

5ª Etapa: Cálculo do Índice de Aleatoriedade (RI – *Random Index*);

6ª Etapa: Cálculo do Grau de Consistência (CR – *Consistency Ratio*), através do CI/CR;

7ª Etapa: Eventual reavaliação da matriz de comparação, caso necessário.

Conforme a metodologia AHP, os fatores são confrontados par-a-par para a determinação da importância relativa entre eles (Tabela 1), para isso foi estabelecida uma matriz quadrada de ordem n , onde n representa o número de fatores, como apresentado por Nicolete (2015).

Tabela1 - Matriz de comparação pareada

	F ₁	F ₂	...	F ₃
F ₁	f_1/f_1	f_1/f_2	...	f_1/f_n
F ₂	f_2/f_1	f_2/f_2	...	f_2/f_n
...	...	...	...	...
F ₃	f_n/f_1	f_n/f_2	...	f_n/f_n

Fonte: adaptado de Saaty (1977).

Na Tabela 1 está representada uma matriz quadrada $A = (a_{ij})$, onde cada componente (i,j) da matriz concebe um valor de comparação entre dois fatores. Os valores de comparação aceites nesse trabalho seguiram a escala sugerida por Saaty (1977; 1987) e esta apresentada na Figura 7.

Figura 7 - Escala de valores para a comparação pareada

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema-mente	Muito	Forte-mente	Modera-damente	Igualmente	Modera-damente	Forte-mente	Muito	Extrema-mente



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2004).

Completando a matriz de comparação pareada (Tabela 1), aplicando a escala de Saaty da Figura 7 deve respeitar duas etapas. A primeira expõe que a matriz necessita ser mútua, ou seja, $a_{ij} = 1/a_{ji}$, por exemplo, se o item a_{12} da matriz, que retrata a comparação entre o fator F_1 com F_2 (f_1/f_2), auferir o valor 3 da escala, então o item a_{21} da matriz, onde é realizada a comparação entre F_2 com F_1 (f_2/f_1), precisará receber o valor $1/3$. Na segunda etapa, todo fator quando comparado a ele mesmo (diagonal da matriz) receberá o valor 1 da escala, ou seja, igual importância, com isso $a_{ii} = 1$, para todo i (SAATY, 1977; 1987).

Após o preenchimento da matriz, empregou-se a Equação 1 exposta por Silva et al. (2004), para calcular o vetor de pesos w , onde para cada fator n foi obtido um peso w_i .

$$w_i = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n} / \sum_{k=1}^n [(\prod_{j=1}^n a_{kj})^{1/n}] \quad (1)$$

Onde: w_i representa o peso para o fator i ; n é o número de fatores.

Posteriormente, ao cálculo do vetor de pesos, utilizou-se a Equação 2 para realizar o cálculo do autovalor máximo ($\lambda_{\max}$) para a matriz (SILVA et al., 2004). O cálculo do autovalor máximo, deve ser maior ou igual a n para uma matriz recíproca e positiva (SAATY, 1987).

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \left(\frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_2}{w_2} + \dots + \frac{w'_n}{w_n} \right) \quad (2)$$

Os valores de w' foram alcançados pela multiplicação da matriz $A = [a_{ij}]$ pelo vetor de pesos w (Equação 3) (SILVA et al., 2004).

$$w' = A \cdot w \quad (3)$$

Para obter o grau de consistência com que a matriz de comparação pareada foi preenchida, Saaty (1977) propôs o cálculo de Índice de Consistência (CI), o qual foi obtido por meio da Equação 4.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Com o resultado do CI, foi calculada a Razão de Consistência (CR) (Equação 5), que associa o valor de CI com um Índice de Aleatoriedade (RI), obtido através da Figura 7, conforme proposto por Saaty (1987).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Tabela 2 - Índice de aleatoriedade de acordo com o número de variáveis (n)

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

Fonte: Adaptado de Saaty (1987).

Conforme Saaty (1987), valores de CR superior a 0,1 mostra que a matriz de comparação pareada foi preenchida de forma incoerente e carece de ser reavaliada. Valores inferiores a 0,1 sugerem que a matriz está consistente e os pesos alcançados podem ser aproveitados.

3.3.8 Obtenção do mapa de aptidão agrícola

Para a espacialização da aptidão agrícola fez-se uso da técnica de análise multicritério, mais precisamente a Combinação Linear Ponderada (CLP).

Foram considerados os fatores tipo de solo, temperatura, pluviosidade e declividade, normalizados as pontuações dos critérios para um intervalo fixado, no caso de 0 a 4.

Para a aplicação da CLP adotou-se a Equação 6 (EASTMAN et al., 1995).

Esse procedimento combina os fatores por meio de uma média ponderada, dado que o somatório dos pesos é a unidade, a pontuação final vem calculado na mesma escala das pontuações normalizadas dos fatores (SILVA et al., 2004).

$$AA = \sum_i w_i x_i \quad (6)$$

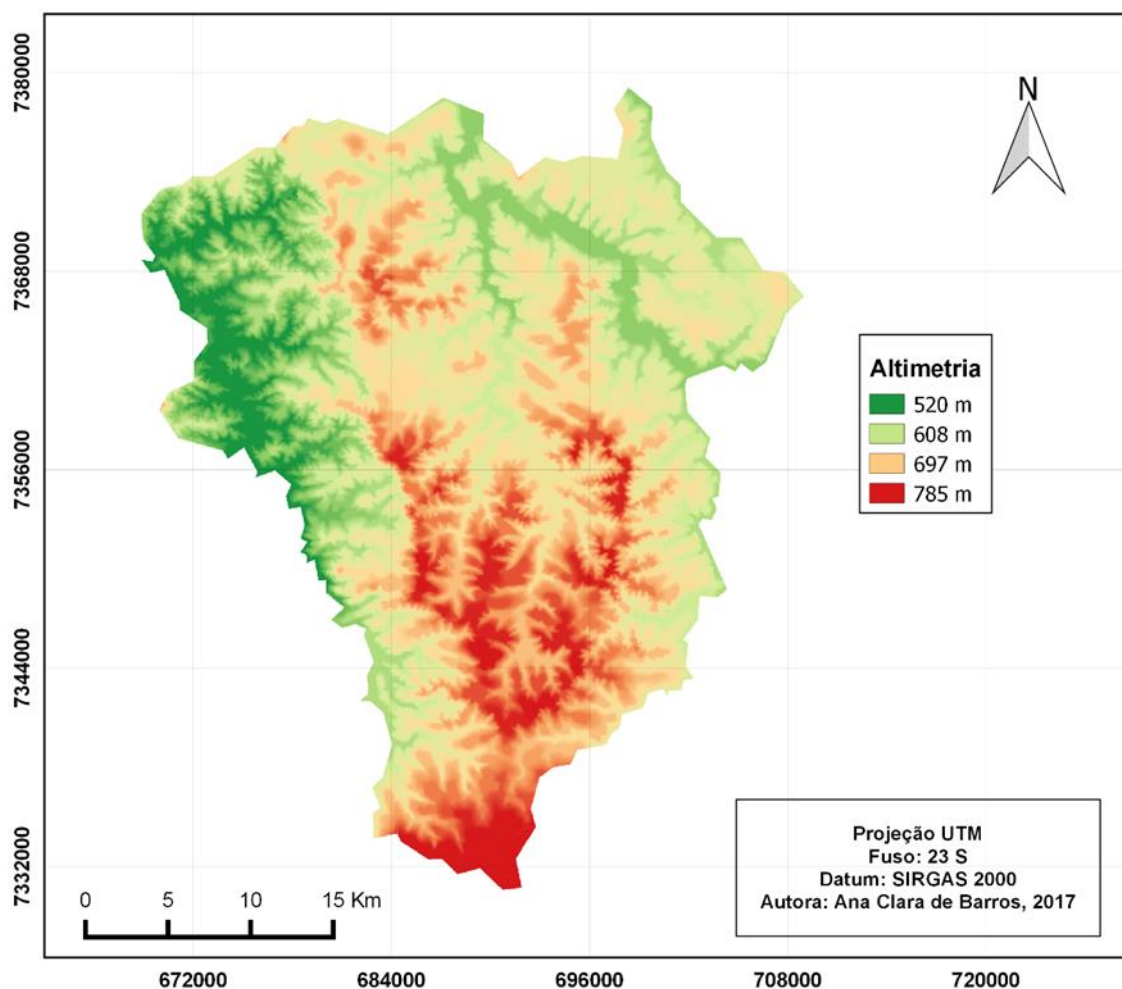
Onde: AA representa o mapa de aptidão agrícola; w_i peso do fator i e x_i valor normalizado para o mesmo fator.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Modelos digital de elevação e declividade

O MDE foi alcançado através da interpolação das cotas altimétricas, acrescentado a um relevo sombreado com exagero vertical de quatro vezes, auxiliando a visualização do relevo na área de estudo. A resolução espacial adotada foi de 20 metros por 20 metros, consentindo um detalhamento do terreno compatível com a equidistância vertical entre as cotas das cartas topográficas empregadas (Figura 8).

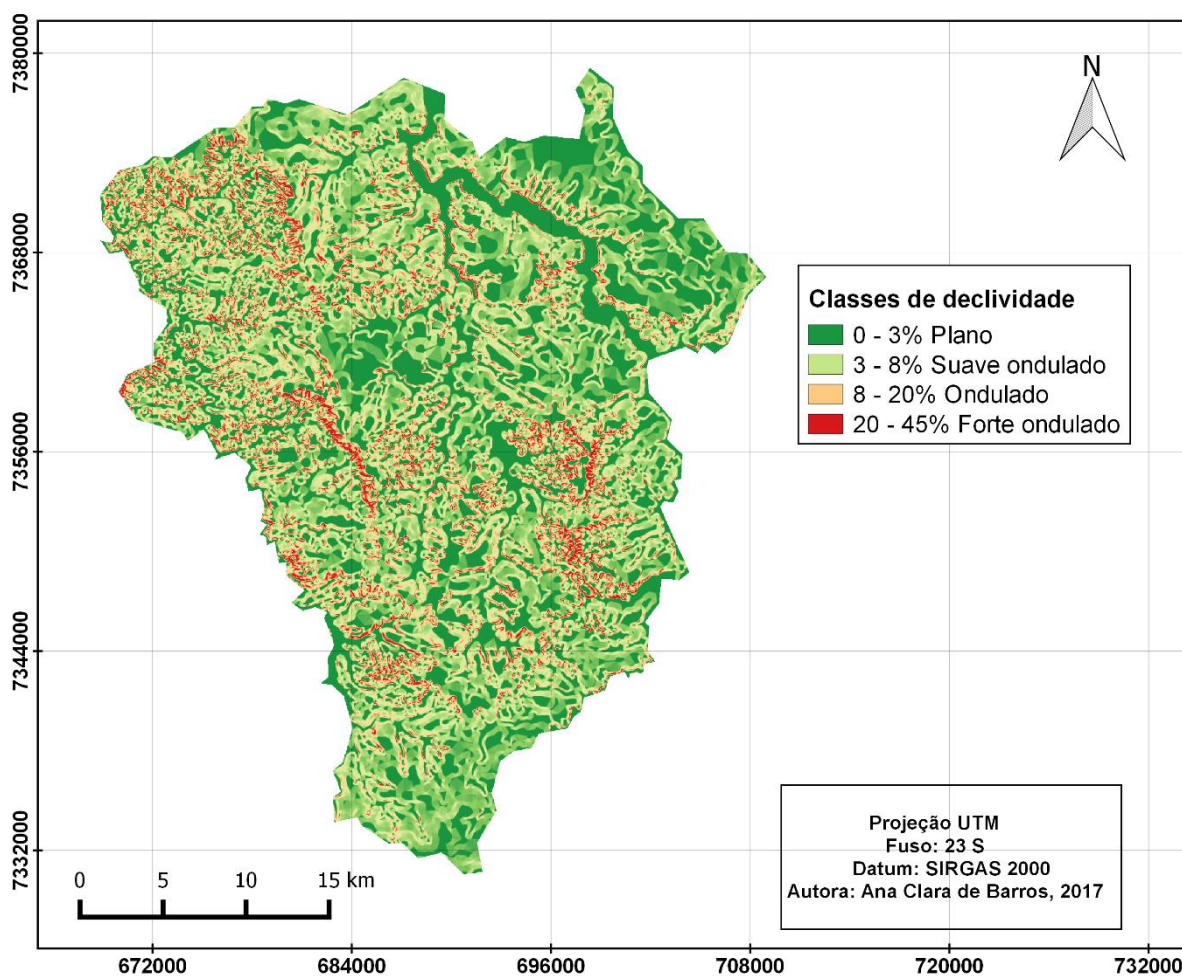
Figura 8 – Modelo digital de elevação para o município de Itaberá-SP



Com base no MDE procedeu-se a determinação da declividade do município, que foi hierarquizada de acordo com a Embrapa 2013, mas utilizando apenas quatro classes de declive, pois na área de estudo obteve-se declividade até aproximadamente 29,9%, aproveitando-se somente até a quarta classe, que equivale aos valores de 20 – 45% de declividade.

A distribuição dos valores de declividade está apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Classes de declividades presentes no município de Itaberá-SP



A declividade média, adquirida por média aritmética, foi de 14,9% que, de acordo com a classificação da Embrapa (2013) representa um relevo ondulado. O valor mínimo adquirido foi de 0% e o máximo de 29,9%. Os menores valores de declividade são localizados em áreas próximas aos cursos d'água, e os maiores valores estão próximos às áreas de meia encosta, entre os topos de morro (divisores topográficos) e o talvegue dos rios.

Na Tabela 3 estão presentes os valores de área de cada classe de declividade, auxiliando assim na interpretação da figura anterior. Verifica-se que a aproximadamente metade do território analisado apresenta relevo ondulado (46,63%), e ao somar as declividades de 0 a 8%, chega-se a percentagem próxima de 46,52% do território. A presença de declividade acima de 20% se apresenta mais nas extremidades de áreas de cursos d'água, representando apenas 6,85% do território.

Tabela 3 - Áreas ocupadas por cada classe de declive na área de estudo

Classes de declividade	Área (ha)	% do total
Planos (0 – 3%)	21.343,70	19,60
Suave ondulado (3 – 8%)	29.314,22	26,92
Ondulado (8 – 20%)	50.748,55	46,63
Forte ondulado (20 – 45%)	7.456,96	6,85
Total	108.863,43	100

Áreas com declividade mais acentuadas são mais suscetíveis à erosão. Tendo em vista o controle da erosão e as facilidades de mecanização, deve-se dar prioridade às glebas com topografia plana e suave ondulado, com declividade até 12% para a cultura do milho (SANS; SANTANA, 2000).

Para a cultura da soja a preferência são áreas de topografia plana ou suavemente ondulado, ou seja, com declividade de até 12% (EMBRAPA. 2005).

De modo geral, Pereira (2002), conceitua que terras acima de 20% são inadequadas para mecanização em qualquer época do ano.

4.2 Mapa de solos

As classes pedológicas para a área de estudo estão representadas na Figura 10, identificando-se três classes diferentes nas quais se encontram: ARGISSOLO VERMELHO – AMARELO, GLEISSOLOS HÁPLICOS E LATOSSOLO VERMELHO.

As áreas de ocorrência para cada unidade pedológica estão descritas na Tabela 4, sendo a classe dominante de LATOSSOLO VERMELHO, apresentando os valores de cada uma das classes de solos na Figura 10 auxiliando, portanto, na interpretação da mesma. Verificou-se na Tabela 4 que mais da metade do território apresenta solos do tipo LATOSSOLO VERMELHO (73,05%). Somados a presença

das classes de solos do ARGISSOLO VERMELHO – AMARELO e do GLEISSOLO HÁPLICO não representam nem 30% da área de estudo.

Figura 10 – Classes de solos presente no município de Itaberá-SP

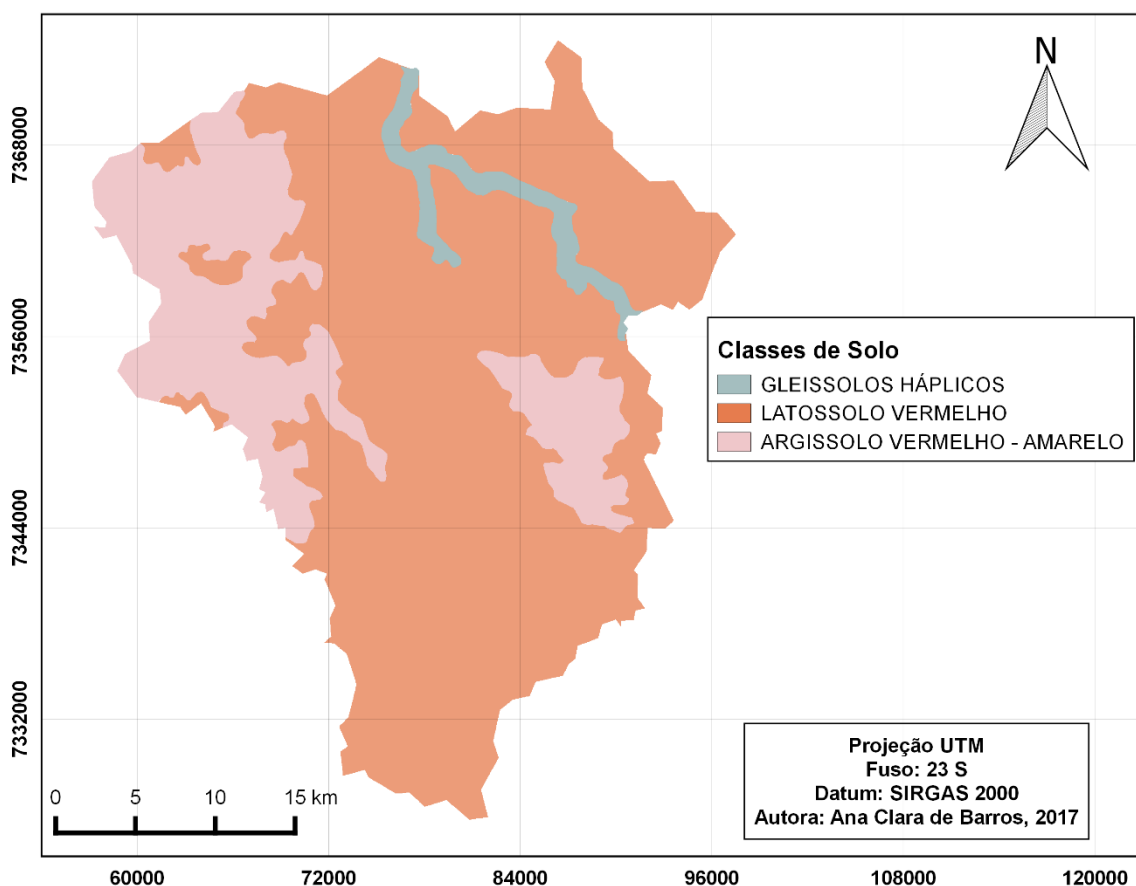


Tabela 4 - Áreas ocupadas por cada classe de solo

Classes pedológicas	Área (ha)	% do total
ARGISSOLO VERMELHO - AMARELO	25.560,23	23,48
GLEISSOLO HÁPLICO	3.779,74	3,47
LATOSSOLO VERMELHO	79.523,41	73,05
Total	108.863,43	100

LATOSSOLO VERMELHO exibem cores vermelhas marcantes, devido aos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material proveniente em ambientes bem drenados, e propriedades de cor, textura e estrutura uniformes em profundidade. São identificados em extensas áreas nas regiões Centro-Oeste, Sul e

Sudeste do país, sendo responsáveis por grande parte da produção de grãos do país, pois incidem predominantemente em áreas de relevo plano e suave ondulado, propiciando a mecanização agrícola. Em menor expressão, podem advir em áreas de relevo ondulado (AGEITEC, 2017).

O ARGISSOLO VERMELHO - AMARELO possui cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita. São solos profundos e muito profundos; bem estruturados e bem drenados. Ocorrem também baixa a muito baixa fertilidade natural, com reação intensamente ácida e argilas de atividade baixa. São solos com muito baixa a média fertilidade natural, expondo como principal restrição aqueles que incidem em ambientes com relevos movimentados, pertinentes aos ambientes de rochas cristalinas. Os Argissolos de maior fertilidade natural (eutróficos), com boas condições físicas e em relevos mais suaves apresentam maior potencial para utilização agrícola. Suas barreiras estão mais relacionadas a baixa fertilidade, acidez, teores elevados de alumínio e a suscetibilidade aos processos erosivos, especialmente quando ocorrem em relevos mais movimentados (AGEITEC, 2017).

O grupo dos GLEISSOLOS HÁPLICOS são solos que se comparam em áreas úmidas, na maioria das vezes margeando os fundos de vale e próximos aos canais de drenagem da bacia. Apresentam argila de baixa atividade e baixa saturação por bases na maior parte dos primeiros 100 cm a partir da superfície do solo (EMBRAPA, 2013).

4.3 Mapa de temperatura

No município de Itaberá, a temperatura varia entre 18°C a 21°C. Por meio da Figura 11 visualiza-se que na parte mais ao sul do município, a temperatura diminui, e isso ocorre, pois é a área que está mais próxima a divisa do Estado do Paraná, onde as temperaturas são mais amenas.

As áreas com variações de temperatura estão classificadas em quatro classes, sendo a temperatura de maior proporção 21°C, representando 63,96% da área (Tabela 5), seguida da temperatura de 20°C com 19,05%. As temperaturas de 18° e 19°C, juntas, correspondem à 16,99% da área.

Figura 11 - Mapa de temperatura e suas variáveis

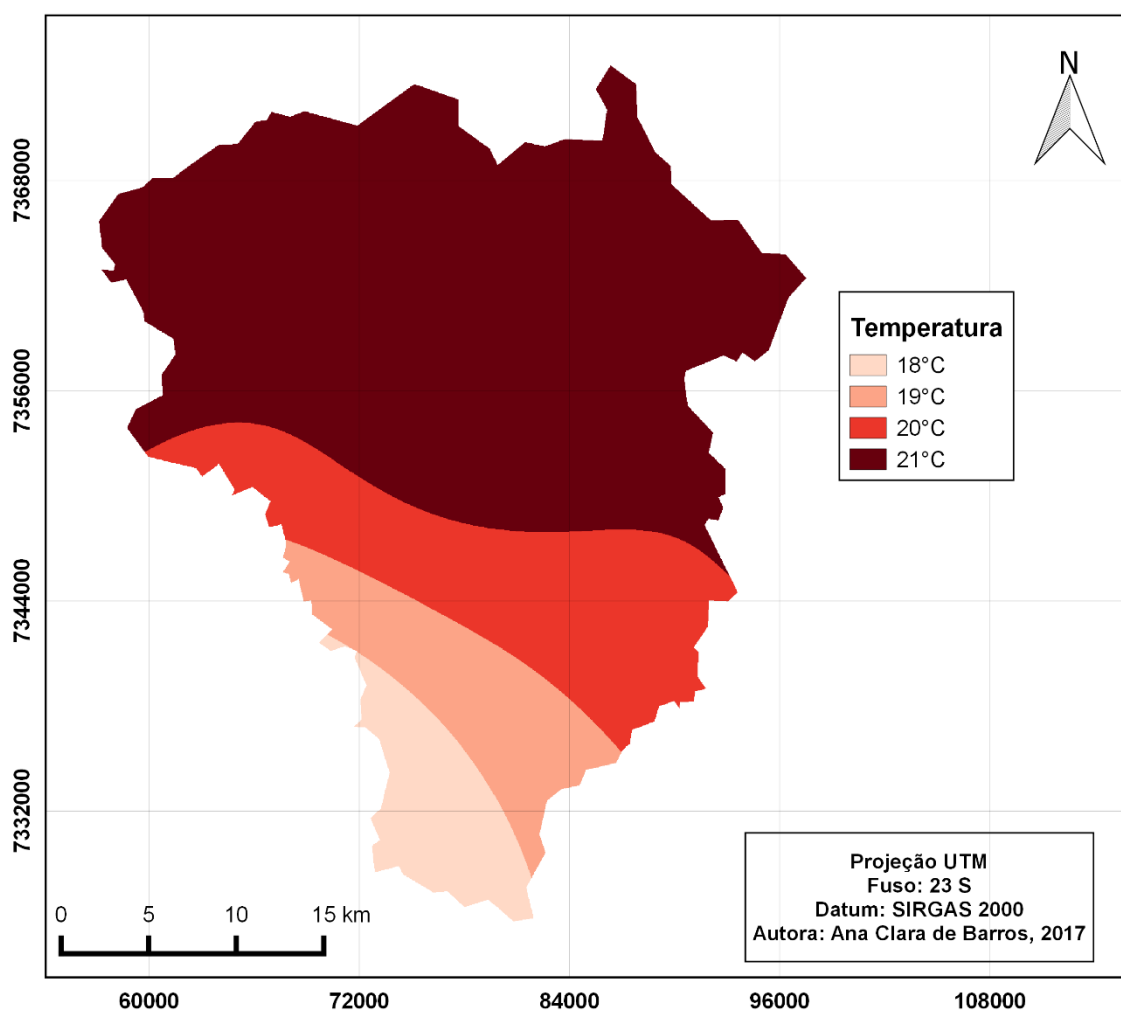


Tabela 5 - Variações de temperatura e as áreas correspondentes

Variação de temperatura	Área (ha)	% do total
18°	7.722,41	7,09
19°	10.781,62	9,90
20°	20.740,81	19,05
21°	69.618,59	63,96
Total	108.863,43	100

A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está na faixa de 24°C e 30°C. Confrontando as temperaturas médias diurnas de 25°C, 21°C e 18°C, constatou-se que o milho alcançou uma maior produção de matéria seca e maior rendimento de grãos na temperatura de 21°C. A queda do

rendimento sob temperaturas superiores se deve ao curto período de tempo de enchimento de grãos, em virtude da diminuição do ciclo da planta (LANDAU; MAGALHÃES; GUIMARÃES, 2017).

A soja adapta-se melhor às regiões onde as temperaturas oscilam entre 20°C e 30°C incidindo em uma temperatura ideal para o seu desenvolvimento em torno de 30°C. Regiões com temperaturas inferiores ou iguais a 10°C graus são inadequadas ao cultivo da soja, pois nessas localidades, tanto o crescimento vegetativo quanto o desenvolvimento da soja são poucos ou nulos. Por outro lado, temperaturas acima de 40°C têm resultado adverso na taxa de crescimento, geram danos à floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens (FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2017).

4.4 Mapa de pluviosidade

A pluviosidade anual do município de Itaberá varia em torno de 773 mm a 1425 mm (Figura 12). Na parte sul do município, a pluviosidade é maior, sendo de 1231 mm a 1425 mm. A variação de 773 mm a 1018 mm abrange a maior parte do município que compreende a parte norte e leste do mesmo.

Na Tabela 6, estão presentes os valores de área de cada classe de pluviosidade, amparando assim na compreensão da figura anterior. A classe mais presente é a de 773 – 1018 mm que caracteriza 47,47% da área. Em sequência, a de 1018 – 1128 mm, com 30,81% e as duas últimas classes, que correspondem aos valores de 1128 – 1231mm e 1231 – 1425mm, que equivalem a 21,72% da área total.

Figura 12- Mapa de pluviosidade e suas variáveis

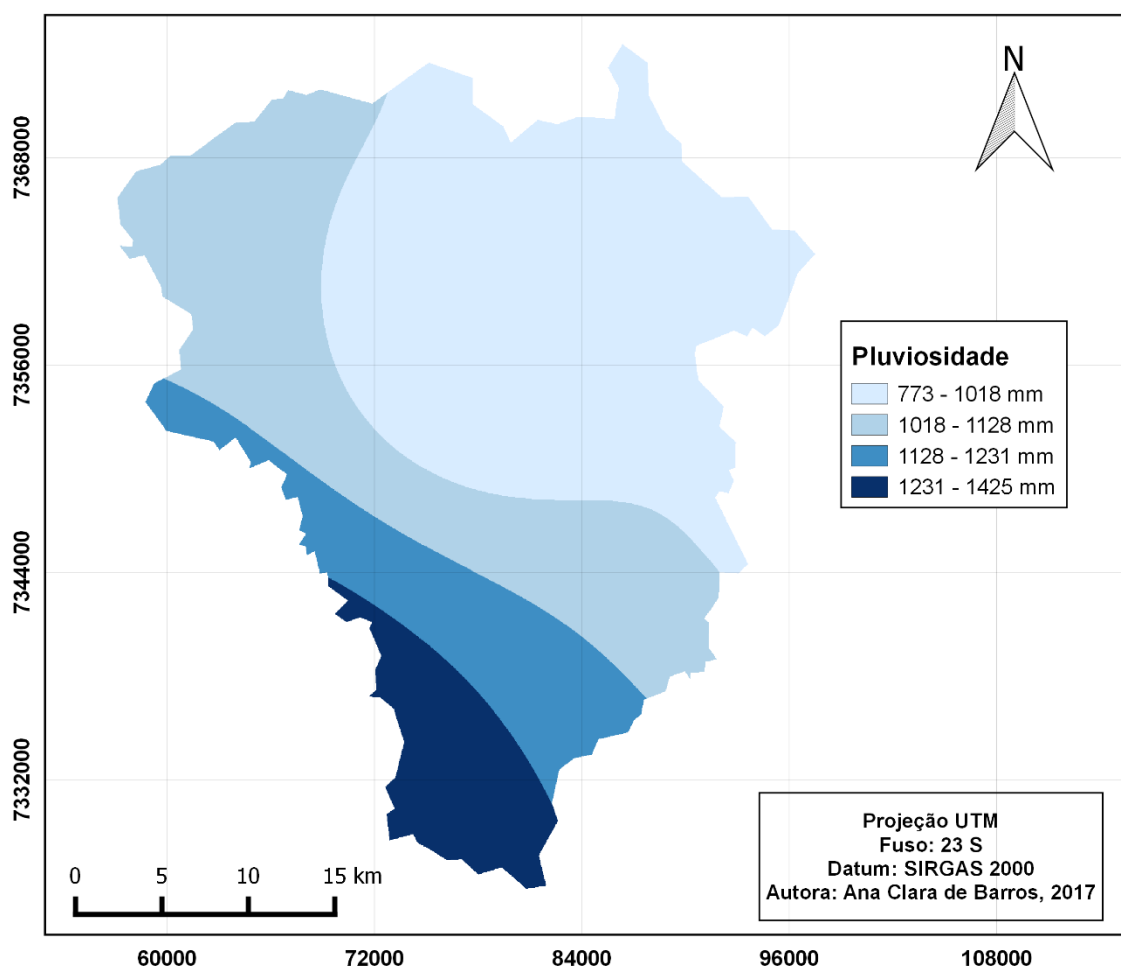


Tabela 6 - Classes de pluviosidade e as áreas equivalentes

Classes de pluviosidade	Área (ha)	% do total
773 – 1018 mm	51.673,10	47,47
1018 – 1128 mm	33.539,16	30,81
1128 – 1231 mm	13.948,02	12,81
1231 – 1425 mm	9.703,15	8,91
Total	108.863,43	100

Por motivos essencialmente econômicos, o milho tem sido plantado especialmente no período chuvoso, uma vez que a cultura demanda um consumo mínimo de 350 - 500 mm para assegurar uma produção aceitável sem necessidade de irrigação. Em condições de clima quente e seco, a cultura do milho raramente

extrapola um consumo de 3 mm/dia de água; agora no período que vai da iniciação floral à maturação (planta em torno de 30 cm de altura), o consumo pode atingir 5 a 7 mm/dia. As maiores produtividades têm acontecido associadas a consumos de água entre 500 e 800 mm analisando todo o ciclo da cultura (SANS; SANTANA, 2000).

A disponibilidade de água é importante, especialmente em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação - emergência e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso como a falta de água são prejudiciais para a afirmação da cultura e ao alcance de uma boa uniformidade na população de plantas, sendo o excesso hídrico mais limitante do que o déficit. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para certificar uma boa germinação. A necessidade de água na cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração - enchimento de grãos (7 a 8 mm/dia), decrescendo após esse período. Em geral, o consumo mais elevado de água acontece com o período em que a cultura apresenta maiores altura e índice de área foliar. A necessidade total de água na cultura da soja, para que alcance o máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do seu ciclo (FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2017).

4.5 Mapa de uso e ocupação da terra

O uso e ocupação da terra no município é caracterizado por seis classes de usos, que são solo preparado, agricultura, pastagem, área construída, vegetação nativa e reflorestamento, conforme Figura 13.

O uso e cobertura da terra no município ressaltou um predomínio das atividades agropecuárias, onde destaca-se as culturas agrícolas anuais, representando 50,36% da área total (Tabela 7). A vegetação nativa ocupa o segundo lugar, com 16,46% do total, ficando restrita a pequenos fragmentos margeando os cursos d'água, a reserva ecológica e alguns talhões de reserva legal. A pastagem ocupa 15,91%, que geralmente é utilizada para criação de gado, em seguida, destaca o solo preparado com 5,96%, que também é empregue para o plantio de culturas anuais e o restante da área (2,20%) é ocupado por áreas construídas.

Figura 13 - Mapa de uso e ocupação da terra

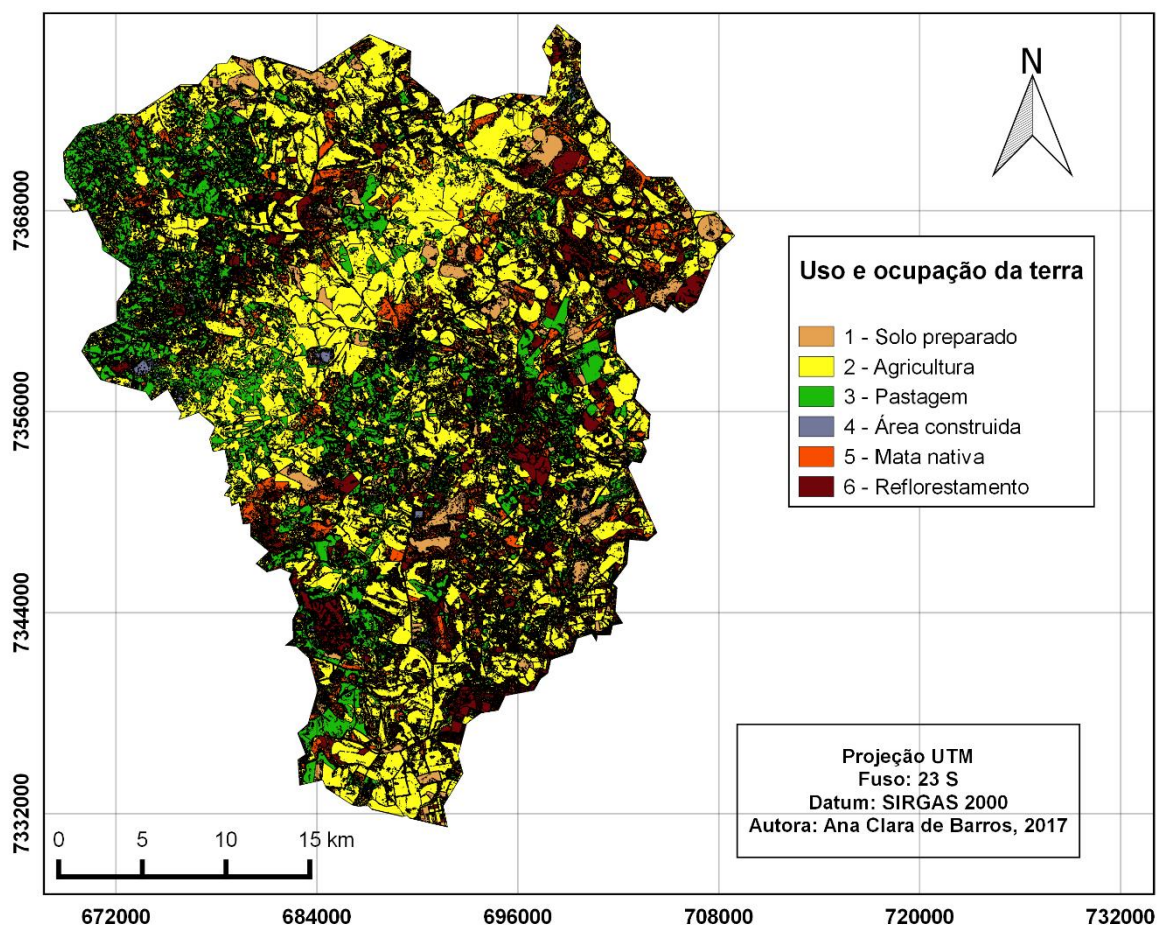


Tabela 7 - Classes de uso e cobertura da terra

Classes de usos da terra	Área (ha)	% do total
Solo preparado	6.484	5,96
Agricultura	54.805	50,36
Pastagem	17.319	15,91
Área construída	2.405	2,20
Vegetação nativa	17.923	16,46
Reflorestamento	9.927	9,11
Total	108.863,43	100

O Brasil está dentre os países com maior potencial agrícola do mundo. Em 2009 a extensão territorial imposta ao setor agropecuário representou aproximadamente 31% do território nacional, sendo que destes, aproximadamente

74% são destinados a pastagens e o remanescente para os cultivos temporários e permanentes (FAOSTAT, 2012).

Como foi visto na Tabela 7, pode-se afirmar que o município de Itaberá, tem grande potencial agrícola, pois tem aproximadamente 54.805 ha (50,36% da área total) designado ao cultivo de lavouras, mais 6.484 ha (5,96%) de solo preparado que também é destinado para agricultura, que somando representa 61.289 ha (56,32%) da área com potencial agrícola.

Na safra de soja 2016/2017, o Brasil produziu 113,923 milhões de toneladas do grão, numa área plantada de 33.890 milhões de hectares, com uma produtividade de 3.362 kg/ha. E o país está classificado como o segundo maior produtor mundial do grão (CONAB, 2017).

Segundo IBGE (2008), o município de Itaberá possuía 11.820 ha de área plantada com soja, com uma quantidade produzida de 37.270 toneladas e um rendimento médio de produção 3.153 kg/ha.

No ano de 2010, 25,86% da área do município estava ocupada produzindo o grão, que representou 28.000 ha (IPEADATA, 2014).

Segundo CONAB (2017), a safra de milho 2015/2016, atingiu uma produtividade de 66,5 milhões de tonelada, com uma forte quebra de produtividade decorrente da seca na safra de inverno. E o plantio da safra 2016/2017 foi projetado em 16,5 milhões de hectares.

O município de Itaberá na safra de milho 2007/2008, produziu 207.288 toneladas do grão e com isso ganhou o posto de maior produtor de milho no Estado de São Paulo (SUINOCULTURA INDUSTRIAL, 2008).

Em 2010 produziu 210.200 toneladas em 31.000 ha plantados. (IPEADATA, 2010).

Para o ano de 2017, os produtores de grãos do município encontram-se que estão otimistas com a produção, pois segundo o Ministério de Agricultura, a colheita deve passar de 200 mil toneladas e ser 25% a mais do que a safra de 2016 (G1, 2017).

A potencialidade de uso e ocupação de uma determinada paisagem dependem necessariamente das características ambientais do local. No caso do milho, os fatores edafoclimáticos (solo e clima) são estimados os mais importantes para o desenvolvimento da cultura, bem como para a demarcação dos sistemas de produção (EMBRAPA, 2009).

O designio de áreas para fins agrícolas depende de planejamento, pois o solo dispõe de um potencial de uso adequado às suas características, necessitando de cuidados conforme a maior ou menor intensidade de seu uso (PEREIRA NETO, LIMBERGER; 2002).

Conforme Pedron et al. (2006), o diagnóstico do recurso solo, ao lado de outros elementos ambientais, compõe de uma excelente ferramenta na deliberação de problemas, como os conflitos de uso das terras, podendo auxiliar no planejamento racional de todo o ambiente

A categorização da capacidade de uso admite determinar a probabilidade de aproveitar o solo para diferentes fins, tais como culturas anuais, culturas perenes, pastagens, reflorestamento ou vida silvestre, sem sofrer danos consideráveis (RODRIGUES; ZIMBACK; PIROLI; 2001).

4.6 - Mapa de aptidão agrícola

Para gerar o mapa de aptidão agrícola, foi utilizada a técnica AHP que necessita do preenchimento da matriz de comparação pareada (Tabela 8) e os fatores foram ponderados de acordo com a sua importância referente a necessidade da aptidão, e na Tabela 9 encontra-se o vetor de pesos obtido para cada fator.

Tabela 8 - Matriz de comparação pareada para os fatores adotados

	Tipo de solo	Temperatura	Pluviosidade	Declividade
Tipo de solo	1	3,0	5,0	7,0
Temperatura	0,333	1	3,0	5,0
Pluviosidade	0,2	0,333	1	3,0
Declividade	0,143	0,2	0,333	1
		$\lambda_{m\acute{a}x} = 4.123$	CI = 0,041	CR = 0,046

CI = índice de consistência e CR = Razão de consistência

Tabela 9 - Pesos dos fatores adotados

Fatores	Vetor de ponderação	Vetor de ponderação (%)
Tipo de solo	0,557	55,7
Temperatura	0,264	26,4
Pluviosidade	0,122	12,2
Declividade	0,057	5,7
Total	1,000	100,00

O valor de $\lambda_{m\acute{a}x}$ foi de 4,123, sendo este maior que o número de fatores ($n = 4$). Já, o valor de CR foi de 0,046 (valor inferior a 0,1), indicando que a matriz de comparação pareada foi preenchida de maneira aleatória, não necessitando a sua reestruturação (SAATY, 1987).

Com relação ao vetor de ponderação (pesos dos fatores), obteve-se como ordem de importância, do maior para o menor, os consecutivos fatores: tipo de solo, temperatura, pluviosidade e declividade.

Com a integração dos quatro fatores (tipo de solo, temperatura, pluviosidade e declividade), através da técnica CLP em ambiente SIG, adquiriu-se um mapa (Figura 14) com a representação espacial das áreas homogêneas frente a aptidão agrícola do município.

As classes de aptidão agrícola foram divididas em quatro categorias, sendo elas, alta, média, baixa e restrita. Para uma melhor identificação da Figura 14, estão representadas na Tabela 10, as áreas ocupadas por cada classe.

Figura 14 – Mapa de aptidão agrícola do município de Itaberá-SP

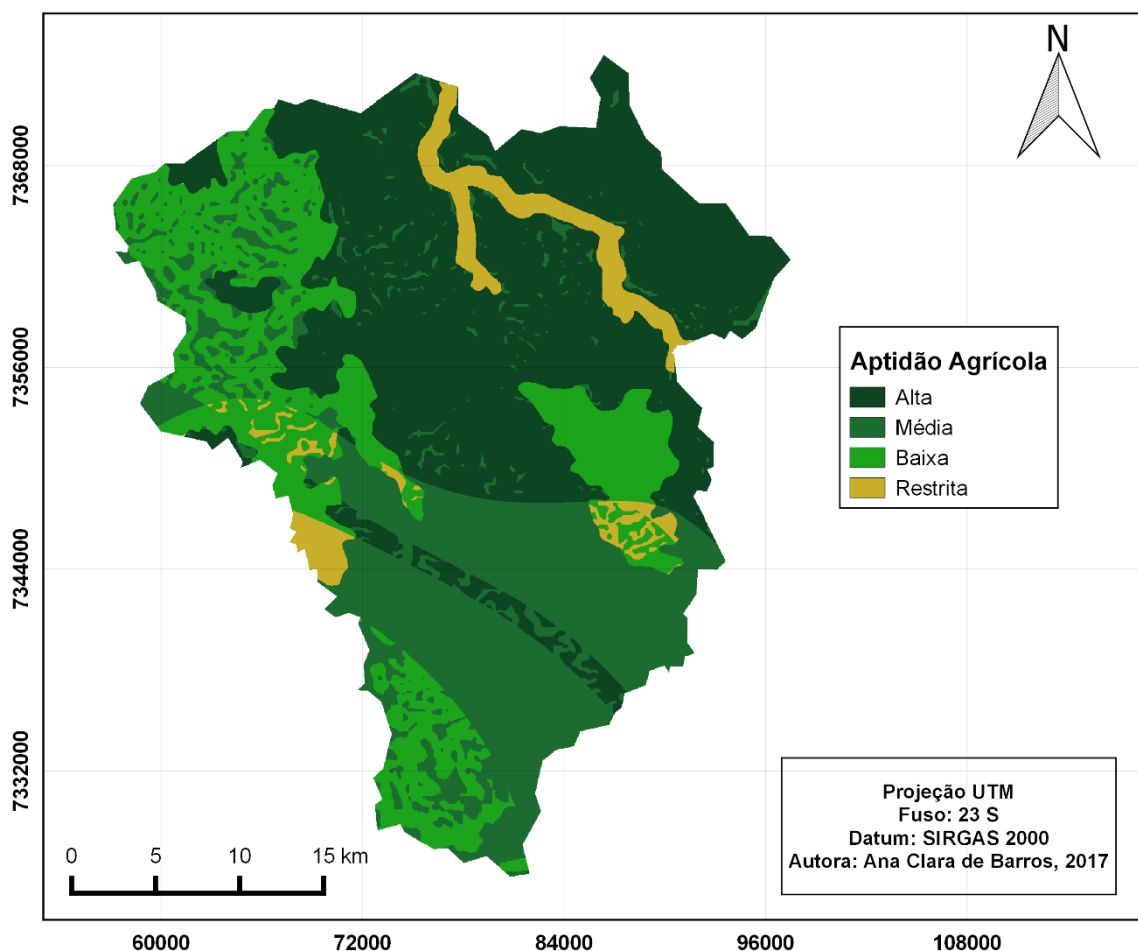


Tabela 10 – Nível de aptidão agrícola e seus valores correspondentes

Aptidão Agrícola	Área (ha)	% do total
Alta	46.853,58	43,05
Média	31.951,30	29,34
Baixa	24.078,67	22,12
Restrita	5.979,88	5,49
Total	108.863,43	100

As áreas com alto potencial de aptidão agrícola, ocupam 43,05% da área total do município e representam os locais onde os atributos tipo de solo e temperatura mais favorecem as culturas de milho e soja. Essas culturas são consideradas de verão e por isso, as áreas com temperaturas mais elevadas contribuem para o melhor

desenvolvimento e cultivo das mesmas. O fator solo também é importante por apresentar características físicas adequada para as culturas. Nessas áreas, tem-se o predomínio do LATOSSOLO VERMELHO que é excelente para a produção de grãos.

A declividade média encontrada no município foi de 14,9% e a ideal para a mecanização agrícola é de aproximadamente 12%. Mesmo assim, pode-se afirmar que o município de Itaberá enquadra-se em áreas aptas para mecanização das lavouras e das culturas em questão, porém, ressalta-se que existem pequenas restrições de uso, e que estas, estão localizadas em áreas de declividade maior e que consequentemente encontra-se próximas aos cursos d'água.

Constata-se que na parte norte do município estão localizadas as áreas com predomínio de lavouras e tem-se também uma distribuição maior de pivôs centrais. Por meio da visualização do mapa de pluviosidade percebe-se que essas áreas apresentam menor índice pluviométrico.

As áreas com médio potencial para aptidão agrícola representam 29,34% do município. Nessas áreas, tem-se uma perda de temperatura, que acaba prejudicando as culturas. Consequentemente, tem-se o aumento de precipitação que favorece no enchimento dos grãos. Nessas áreas prevalece o LATOSSOLO VERMELHO que contribui para obter-se um cultivo adequado.

Na classe indicada com baixa aptidão, com 22,12% da área de estudo, tem-se duas situações diferentes. A primeira, que está localizada na parte central e oeste do município, apresenta um grau de temperatura considerado bom (21° e 20°C) porém, o tipo de solo é inferior, no caso, o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, sendo este considerado de baixa fertilidade e suscetível a processos erosivos.

A segunda situação, encontra-se mais ao sul do município, e apesar de estar situado em um local que predomina o solo propício ao desenvolvimento de grãos, o fator limitante é por conta da baixa temperatura que chega aos 18°C e desfavorece as culturas. Neste caso, evidencia-se que nada adianta ter um solo rico em nutrientes se as condições climáticas são adversas.

Frente a essas características, essas áreas são utilizadas para pastagens (para criação de gados), conservação da vegetação nativa e reflorestamento.

A classe de uso restrita representa 5,49% do município. Em duas ocorrências, a primeira, localizada em áreas com elevada temperatura poderia ser considerada boa para as culturas se não fosse o tipo de solo que não é favorável. Assim, nessas áreas tem-se o GLEISSOLOS HÁPLICOS que são solos encontrados em áreas úmidas.

Essa área é compreendida pelo rio Taquari, considerado um dos maiores rios do município e assim, está direcionado apenas para a vegetação das Áreas de Preservação Permanente. No segundo, são pequenas áreas localizadas ao leste e oeste do mapa, apresentam um grau de temperatura bom (20°C), o tipo de solo no caso é o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, com uma boa quantidade de precipitação. O que inviabiliza o plantio nessas áreas, é a declividade do terreno, que são encontradas na classe de 20 - 45% de declive, considerado áreas forte ondulado, que se tornam inadequadas para a mecanização agrícola.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a) Os fatores adotados (tipo de solo, temperatura, pluviosidade e declividade) e os pesos permitiram a espacialização da área contendo a aptidão agrícola para as culturas na área de estudo;
- b) Os critérios adotados para este estudo, mostraram-se adequados para o objetivo proposto;
- c) A metodologia aplicada da multicritério mostrou-se eficaz para a classificação da aptidão agrícola, a partir desse método permitiu assegurar-se que todos os julgamentos realizados foram coerentes, gerando resultados mais confiáveis;
- d) A área de estudo apresenta em quase sua totalidade aptidão agrícola para culturas do milho e soja bem como das demais culturas de verão, devido aos graus de classificação (alto, médio, baixo e restrito), deve-se atentar para que medidas de conservação sejam implantadas e assim, além de contribuir para uma melhora na qualidade do solo resulte em uma lavoura de alta qualidade e produtividade;
- e) A aplicação das técnicas de geoprocessamento, possibilitou a elaboração dos mapas e a realização da AMC em ambiente SIG, que permitiu a criação do mapa final de aptidão agrícola.

REFERENCIAS

AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Solos Tropicais**, 2017. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html> Acesso em: 02 jun. 2017.

ALPHONCE, C. B. Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. **Agricultural Systems**, v.53, p.97-112, 1997.

ALMEIDA, A. J. P. **Ocupação em áreas de preservação permanente das bacias hidrográficas na área urbana de Maceió, Alagoas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió. 2011.

BACIC, I. L. Z.; ROSSITER, D. G.; BREGT, A. K. The use of land evaluation information by land use planners and decision-makers: a case study in Santa Catarina, Brazil. **Soil Use and Management**, United Kingdom, v. 19, n. 2, p. 12-18, April. 2003.

BANA E COSTA, C. A. Processo de Apoio à Decisão: Problemáticas, Atores e Ações. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão**. Florianópolis: ENE/UFSC. 1995.

BANA E COSTA, C. A.; ÂNGULO-MEZA, L.; OLIVEIRA, M. D. O método MACBETH e a aplicação no Brasil. **Engvista**, v. 15, n 1. p. 3-27, 2013.

BENDA, F. **Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos dos Goytacazes/RJ utilizando sistemas de informação geográfica**. 2008. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2008.

BENNEMA, J. BEEK, K. J; CAMARGO, M. N. **Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamento de reconhecimento de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/FAO, 1964. 49p.

BINDER, F. V. **Sistemas de Apoio à Decisão**. São Paulo: Érica, 1994.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Macrozoneamento da Amazônia. **Estratégias de transição para a sustentabilidade**. Brasília, Comissão Coordenadora do ZEE no Território Nacional, 2010. 164p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2005. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros.html>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D; SANO, E. E. (Orgs.). **Sistemas de informações geográficas**.

Aplicações na agricultura. 2. ed., ver. e ampl. Brasília: Embrapa-SPI/ EMBRAPA-CPAC, 1998.

CARVALHO, M. S; PINA, M. F. **Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde.** Brasília: Organização panamericana de Saúde, 2000.

CARVALHO FILHO, A. et al. **Aptidão Agrícola das Terras do Estado do Rio de Janeiro.** Brasília: CPRM, 2000.

CASANOVA et al. **Bancos de dados geográficos.** 1.ed. Curitiba: MundoGEO, 2005. 506 p.

CEPAGRI. Unicamp. Centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas a agricultura: **Clima dos Municípios Paulistas 2014.** Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_251.html>. Acesso em 15 nov. 2016.

CHAI, J.; LIU, J. N. & NGAI, E. W. 2013. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. **Expert Systems with Applications**, 40, 3872-3885.

CHAVES, D. A.; **Solos e aptidão agrícola das terras nas seções comunais do Mapou, Colline dês Chaines e Pichon-Haiti.** 2010. 101f. Dissertação (Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

COELHO, V. H. R. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p.64-72. 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica de áreas plantadas, produtividade e produção.** 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&ordem=produto&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos> Acesso em: 17 mai. 2017.

CORSEUIL, C. W. et al. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado na determinação da aptidão agrícola de uma microbacia.** Irriga, Botucatu, v. 14, n. 1, p.12-22, 2009.

CORSEUIL, C. W. **Técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios na adequação de uso das terras.** 2006. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Sociais Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

CURI, N; et al. **Vocabulário de ciência do solo.** Campinas: SBCS, 1993. 90p.

DELARMELINDA, E. A. **Aplicação de sistemas de avaliação da aptidão agrícola em solos do Estado do Acre.** 2011. 141f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2011.

DIAS, E. M. P. S. **Modelo de apoio à decisão multicritério para seleção de fornecedores de azeite**. 2015. Dissertação (Mestrado em modelação, análise de dados e sistemas de apoio à decisão) – Faculdade de Economia da Universidade de Porto, Porto – Portugal, 2015.

EASTMAN, J. R. et al. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

EASTMAN, J. R. **Idrisi For Windows versão 2**. Manual do usuário: Introdução e exercícios tutoriais. Porto Alegre: UFRGS - Centro de Recursos Idrisi, 1998.

EASTMAN, J. R. **Decision support: decision strategy analysis**. In: **Idris 32 releases 2: guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, Clark Labs, 2, p. 1-22. 2001.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing**. Worcester: Clark University, Manual Version 14.00. 328p. 2003.

EASTMAN, J. R. **Decision suport: decision strategy analysis**. In: EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva Manual**, Worcester: Clark Labs, ClarkUniversity, 222 p., 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Monitoramento por satélite. **Banco de dados climáticos do Brasil**, 2003. Disponível em: <<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bdclima/>> Acesso em: 30 abr. 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de segurança e qualidade para a cultura da soja**. – Brasília, DF: Embrapa Transferência de Tecnologia, 2005.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **A Framework for Land Evaluation**. FAO SoilsBulletin 32, Rome: FAO, 1976.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **ProdSTAT – Crops**. 2012. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD> Acesso em: 15 abr. 2017.

FARIA, C. **Geoprocessamento**, 2008. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/cartografia/geoprocessamento>> Acesso em: 26 mar. 2017.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, L. Ano 2017 **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONT000fzr67cri02wx5ok0cpoo6aeh331my.html>> Acesso em: 10 mai. 2017.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128p.

FRANCISCO, C. E. S et al. **Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE Anais, 2007, p. 2643-2650.

FRANCISCO, C. N.; **Sistemas de Informações Geográficas, Estudo dirigido em SIG**. Universidade Federal Fluminense – UFF. 2. ed, Niterói, RJ, 2014.

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento de mecanização das terras do estado da Paraíba utilizando Sistema de Informações Geográficas**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solos e Água) - Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal da Paraíba, Areia.2010.

FREITAS FILHO, M. R. **Análise geoambiental com aplicação de geotecnologias nas nascentes do riacho dos Macacos: bacia do rio Acarajú-CE**. 2004, 91 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2004.

FRÖDELL, M. 2011. Criteria for achieving efficient contractor-supplier relations. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 18, 381-393.2011.

FURIAN, P. H. 2014. **Espectro Eletromagnético**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>>. Acesso em: 12 set. 2016.

FUNDAÇÃO SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Dados de municípios**. Disponível em:< <http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#!/perfil>>. Acesso em 06. fev. 2017.

G1. Globo Notícias. Safr de grãos em Itaberá deve ser 25% maior que 2016. **Tem Notícias**. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/itapetininga-regiao/tem-noticias-2edicao/videos/v/safr-de-graos-em-itabera-deve-ser-25-maior-que-2016/5903395/>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da decisão**. São Paulo: Thomson, 2007.

GUIMARÃES, R.F et al; Definição de unidades para silvicultura na bacia do rio Ariranha (SC) em unidades de encosta erosionais utilizando imagens ASTER e modelo digital de terreno. **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, INPE, n.16-21. Anais...2006. p.1563-1566, 2006.

HERVA, M; ROCA, E. Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, nº 0, p. 355-371, 2013.

HO, W; XU, X; DEY, P. K. 2010. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. **European Journal of Operational Research**, 202, 16-24. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta topográfica**: folha de Itaberá (SF-22-Z-D-IV-4). Serviço gráfico do IBGE, 1974. Escala 1:50.000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2007**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos Climatológicos (1931-1960 e 1961-1990)**. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/graf_climatologicos/graf_climatologicos.php> Acesso: 20 mai. 2017.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. SPRING versão 4.1. São Paulo: **INPE**, 2004. Disponível em <<http://www.inpe.br>>. Acesso em 25. Fev. 2017.

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Ministério de Ciência e Tecnologia, Sistema de ajuda do **SPRING**, 2006. Disponível em <<http://www.inpe.br>>. Acesso em 23. fev. 2017.

IPEADATA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicadas. **Dados - Itaberá. 2010**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx> 2016>. Acesso em: 18 jun. 2017.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Plano diretor participativo do município de Itaberá**, SP. São Paulo: IPT, 2006. 55 p. (Parecer Técnico n. 10.852-301, v. 1, 2 e 3).

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 1ª edição. São José dos Campos: Parênteses, 2009, 672 p.

KIKER, G. A., et al. **Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making**. Integrated environmental assessment and management, 1(2), 95–108. 2005.

LANDAU, E. C.; MAGALHÃES, P. C.; GUIMARÃES, D. P.; Ano 2017 **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_17_168200511157.html> Acesso em: 12 mai. 2017.

LANDIM, P. M. B. (Coord.). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:50.000, São Paulo: IGCE/UNESP, 1984.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MADRUGA, R. A. **Geração de base cartográfica digital utilizando imagens de satélite de altíssima resolução espacial para suporte ao planejamento**

municipal. 2008. Dissertação (Mestrado em sensoriamento remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro estadual de pesquisas em sensoriamento remoto e meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. 2008.

MALCZEWSKI, J. GIS -based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**. v. 62, n. 1, p. 3-65, jul. 2004.

MARQUES, W. R. Interpretação de imagens de satélites em estudos ambientais. **Revista Ambiência**. Guarapuava, PR, v.2 n.2 p. 281-299 jul/dez 2006.

MATORANO, L. G. et al. Zoneamento agroecológico da quadrícula de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n. jul/set, p. 509-763, 1999.

MEDEIROS, A. **O Geoprocessamento e Suas Tecnologias**, 2012 Disponível em: <<http://andersonmedeiros.com/geotecnologias-parte1>> Acesso em 30 mar. 2015.

MENDONÇA, G. S. et al. Uso do SIG no zoneamento agroecológico de pequena escala para *Araucária angustifolia*, *Hymenaeae courbaril* e *Myrocarpus frondosus* para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim – ES. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 2007, Florianópolis. Brasil. n.21-26. INPE, **Anais...**2007, p. 1741-1748.

MENESES, P. R. **Modelos de cores aplicados às imagens**. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, p. 121-137, 2012.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2005.

MOREIRA, M. A. **Sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, 2001. 307 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa-MG, 3ª ed., Editora UFV, 2005, 320p.

NICOLETE, D. A. P. **Áreas hidrologicamente homogêneas como subsídio ao manejo de bacias hidrográficas**. 2015. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

NOSSACK, F. A. **Planejamento da recomposição florestal pela análise multicriterial na sub-bacia do córrego do Descalvado tendendo a conservação de recursos hídricos**. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

PADILHA, D. G.; TREVISAN, M. L.; CRUZ, J. C. Sensibilidade do modelo de fragilidades ambientais à ponderação multicriterial: aspectos físicos da bacia

hidrográfica do Alto Uruguai. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 44, n. 3, p. 535–548, 2014.

PEDRON, F. A. et al. Utilização do sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras no diagnóstico ambiental do município de Santa Maria - RS. **Ciência Rural**, vol.36, p.468-477, 2006.

PEDRON, F. A. et al. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.105-112, 2006.

PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica**. 2002. 122p. Tese (Doutorado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

PEREIRA NETO, O. C.; LIMBERGER, L. Estudo da adequabilidade do uso do solo na área rural, através de técnicas de geoprocessamento. **Revista Geografia (Londrina)**, v. 20, n. 2-, p. 171-183, 2002.

PEREIRA, L. C; SILVEIRA, M. A; LOMBARDI NETO, F. **Agroecologia e aptidão agrícola das terras: as bases científicas para uma agricultura sustentável**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2006.

PESSOA, S. P. M. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal e uso da terra na Interbacia do Rio Paraguai Médio-MT, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.1, p.119-128, 2013.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2ª ed. atualizada e ampliada. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p.

PONZONI, F.J.; REZENDE, A. C. P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.4, p.535-545, 2004.

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

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E. G.; BEEK, K. J. **Sistema de Avaliação da aptidão Agrícola das Terras**. Brasília: Embrapa/SNLCS, 1978, 70p.

RAMOS, R. A. R. **Localização Industrial: um modelo para o noroeste de Portugal**. Tese (doutorado) - Braga: Minho-Portugal, Universidade do Minho, In: RAMOS & RAMOS, 2000.

RIBEIRO M. R. Metodologias de avaliação da aptidão agrícola das terras e as variáveis regionais. In: Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife. **Anais**. 2007. vol. 4, p.116-125.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L.; PIROLI, E. L. Utilização de sistemas de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, p.675–681, 2001.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. Laboratório de Geomorfologia. São Paulo: Departamento de Geografia – FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESP (Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). 1997.

ROY, B. **Multicriteria methodology goes decision aiding**. Kluwer Academic Publishers. 1996.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**. Maryland Heights v. 15, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. The Analytical Hierarchy Process: what it is and how it is used. **Math Modelling**, Kidlington, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAMPAIO, E. **Avaliação da aptidão agrícola das terras**. Departamento de Geociências. Universidade de Évora, 27p. 2007.

SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. Ano 2000 **Embrapa Milho e Sorgo - Sistema de Produção**. Disponível em <www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_1_ed/clima.htm> Acesso em 20 abr. 2017.

SANTANA, S. O. et al. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira Centro de Pesquisas do Cacau. **Zoneamento Agroecológico do Município de Ilhéus**. Bahia. 19p, 2003.

SARTORI, A. A. C. **Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

SILVA, J. T. M. **Tomada de decisão sob critérios múltiplos: uma aplicação do projeto de irrigação do Jaíba**. 2001. Tese (Doutorado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SILVA, A. N. R. et al. **SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e transportes**. São Carlos: Ed dos Autores, 2004.

SUINOCULTURAL INDUSTRIAL. **Itaberá (SP) é líder na produção de milho**. Disponível em: <<https://www.suinoculturalindustrial.com.br/imprensa/itabera-sp-e-lider-na-producao-de-milho/20080324-134908-3018>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

TRAFICANTI, D. P. **Fragilidade ambiental da APA Corumbatai – Botucatu – Tejuπά (perímetro Botucatu, São Paulo, Brasil) na bacia hidrográfica do rio**

Capivara. 2016. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

TRIANANTAPHYLLOU, E. et al. 1998. Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach. **Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering**. New York: Wiley, J. & Sons. 1998.

USGS United States Geological Survey. **Landsat Missions**. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>> Acesso em: 20 abr. 2017.

VIEIRA, F. **Um modelo multicritério para gerir conflitos na composição de aspectos**, Faculdade de ciências e tecnologia da universidade nova de Lisboa, 2006.

VILAS BOAS, C. L. **Modelo Multicritérios de Apoio à Decisão Aplicado ao Uso Múltiplo de Reservatórios**: Estudo da Barragem do Ribeirão João Leite. M.Sc., Universidade Federal de Brasília. 2006.