



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



FÁBIO GREGORY DE ANDRADE MOREIRA

**POTENCIAL DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO DA FAZENDA EXPERIMENTAL
LAGEADO, BOTUCATU-SP, POR GEOPROCESSAMENTO**

Botucatu

2018

FÁBIO GREGORY DE ANDRADE MOREIRA

**POTENCIAL DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO DA FAZENDA EXPERIMENTAL
LAGEADO, BOTUCATU-SP, POR GEOPROCESSAMENTO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientadora: Prof.^a Dr^a Célia Regina Lopes Zimback

Coorientador(a): Prof. Dr. Antônio Ribeiro da Cunha

Botucatu

2018

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

M838p Moreira, Fábio Gregory de Andrade, 1989-
Potencial das terras para irrigação da Fazenda Experimental Lageado, Botucatu-SP, por geoprocessamento / Fábio Gregory de Andrade Moreira. - Botucatu: [s.n.], 2018
58 p.: ils. color., quadros

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018

Orientador: Célia Regina Lopes Zimback

Coorientador: Antônio Ribeiro da Cunha

Inclui bibliografia

1. Sensoriamento Remoto. 2. Classificação de terras. 3. Aptidão de terras para irrigação. 4. SIG. 5. Uso do solo. I. Zimback, Célia Regina Lopes. II. Cunha, Antônio Ribeiro da. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: POTENCIAL DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO DA FAZENDA EXPERIMENTAL LAGEADO, BOTUCATU-SP, POR GEOPROCESSAMENTO.

AUTOR: FABIO GREGORY DE ANDRADE MOREIRA

ORIENTADORA: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

COORDENADOR: ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA
Depto de Solos e Recursos Ambientais / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Prof. Dr. LUIS GUSTAVO FREDIANI LESSA
Depto de Solos e Recursos Naturais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Prof. Dr. OSMAR DELMANTO JUNIOR
Depto de Aгрonegócios e Aгрossistemas / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

Botucatu, 20 de fevereiro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me guiar nos meus caminhos e estar sempre presente na minha vida.

Aos meus amados e incríveis pais Geraldo e Ana Paula e à minha incrível e amada irmã Fernanda (Ad) pelo apoio incondicional e por nunca medirem esforços para a realização dos meus sonhos.

À minha amada namorada Ana Clara por sempre me apoiar e estar sempre presente mesmo com toda a distância física que nos separa.

Ao meu grande amigo André Luís, pela grande amizade e companheirismo de sempre.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu e ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem por ter me acolhido e pela grande oportunidade de realização do curso de Mestrado.

À Professora Dra. Célia Regina Lopes Zimback, pela orientação, ensinamentos, paciência e por ser um grande exemplo profissional.

Ao co-orientador Professor Dr. Antônio Ribeiro da Cunha pelos ensinamentos e disponibilidade.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudo concedida.

A todos os integrantes do GEPAG – Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas, em especial ao amigo Donizete Nicolete pelo apoio e por todo conhecimento compartilhado.

Aos amigos moradores da República Zona Azul por todos os bons momentos vividos. (Alberto Arroyo, Papada, Zizu, Baiano, Derrotado, Tropeço, Macarrão, Higuin, Porca, Beni, Xêra, Frozen, Mongol, Tocantins)

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá”.

Ayrton Senna

RESUMO

O uso da irrigação tem se revelado cada vez mais como uma importante tecnologia que visa aumentar a produtividade das culturas agrícolas, mesmo nas regiões onde o índice pluviométrico é elevado, portanto relativamente favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Aumentos expressivos têm sido observados na produtividade agrícola devido ao uso dos sistemas de irrigação. O desenvolvimento de uma agricultura irrigada sustentável, exige que as terras disponíveis tenham características favoráveis à essa prática. A aplicação de técnicas de geoprocessamento para a identificação e mapeamento das possíveis áreas a serem irrigadas vem se tornando uma alternativa viável e tem apresentado bons resultados, podendo assegurar que os projetos não sejam desenvolvidos em áreas sem aptidão para irrigação. Nesse sentido, o presente trabalho, teve como objetivo estabelecer o potencial das terras da Fazenda Lageado para o uso com agricultura irrigada. Considerando esta hipótese de que é possível discriminar a potencialidade de áreas passíveis de irrigação, foram obtidos dados dos solos e de relevo para estimar esse potencial de irrigação da referida área, além de avaliar a aplicabilidade das ferramentas de geoprocessamento nas análises dos parâmetros ambientais relevantes quando se visa um projeto de irrigação. O trabalho trata somente do potencial dos solos, não considerando a disponibilidade de água para a irrigação, requerendo, portanto, que estas informações estejam disponíveis ou sejam complementadas. Os resultados obtidos mostram que 52,44% da área da Fazenda Experimental Lageado não apresentam restrição de ocupação para instalação de sistemas de irrigação e deste total, 61,45% foram classificados como alta e muito alta aptidão à irrigação.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, classificação de terras, aptidão de terras para irrigação, SIG, Uso do solo.

ABSTRACT

The use of irrigation has been increasingly seen as an important technology aimed at increasing the productivity of agricultural crops, even in regions where the rainfall is high, and therefore relatively favorable to crop development. Significant increases have been observed in agricultural productivity due to the use of irrigation systems. The development of sustainable irrigated agriculture requires that the available lands have characteristics favorable to this practice. The application of geoprocessing techniques for the identification and mapping of possible areas to be irrigated has become a viable alternative and has presented good results, being able to ensure that the projects are not developed in areas without aptitude for irrigation. In this sense, the present work had the objective of establishing the potential of Lageado Farmland for use with irrigated agriculture. Considering this hypothesis that it is possible to discriminate the potentiality of irrigable areas, soil and relief data were obtained to estimate the irrigation potential of this area, as well as to evaluate the applicability of the geoprocessing tools in the analyzes of the relevant environmental parameters when an irrigation project is planned. The work deals only with soil potential, not considering the availability of water for irrigation, thus requiring that this information be available or complemented. The results obtained show that 52.44% of the area of Experimental Farm Lageado do not present occupation restriction for installation of irrigation systems and of this total, 54.55% were classified as high and very high aptitude for irrigation.

Keywords: Remote sensing, Land classification, Land suitability for irrigation, GIS, Land use.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da Fazenda Experimental Lageado.....	35
Figura 2 - Mapa de solos da Fazenda Experimental Lageado	38
Figura 3 - Classes de Solo da Fazenda Experimental Lageado.	42
Figura 4 - Mapa de declividade da Fazenda Experimental Lageado	44
Figura 5 - Mapa de Uso e ocupação da terra da Fazenda Experimental Lageado...46	
Figura 6 - Mapa de restrição de uso da terra da Fazenda Experimental Lageado.....	48
Figura7 - Mapa APPs da Fazenda Experimental Lageado.....	49
Figura 8 - Mapa final de aptidão das terras para irrigação.....	50
Figura 9 - Mapa classes de aptidão das terras agricultáveis da Fazenda Experimental Lageado para irrigação.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de solo.....	41
Quadro 2 – Solos x área.....	42
Quadro 3 – Tipo de relevo.....	43
Quadro 4 – Relevo x área.....	45
Quadro 5 – Uso da terra.....	47
Quadro 6 – Classes de aptidão das terras para irrigação.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU – Organização das Nações Unidas

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

GPS – Sistema de Posicionamento Global

SR – Sensoriamento Remoto

PI – Plano de Informação

SP – São Paulo

CWA - Clima Temperado Quente (mesotérmico)

ha – Hectare

APP – Área de Preservação Permanente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1	Geomática e geoprocessamento.....	24
2.2	Geotecnologias.....	25
2.3	Sensoriamento Remoto.....	26
2.4	Sistemas de Informações Geográficas (SIG).....	28
2.5	Álgebra de mapas.....	30
2.6	Solos vs Irrigação.....	32
2.7	Classificação de terras para irrigação.....	33
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1	Área de estudo.....	35
3.1.1	Localização geográfica.....	35
3.1.2	Clima.....	36
3.1.3	Relevo.....	36
3.1.4	Geologia.....	36
3.1.5	Solos.....	36
3.2	Material.....	37
3.2.1	Obtenção dos mapas.....	37
3.2.2	Mapa de solo.....	37
3.2.3	Geotecnologias.....	38
3.3	Metodologia.....	39
3.3.1	Confecção da base de dados.....	39
3.3.1.1	Processamento das imagens.....	39
3.3.2	Classificação e determinação de pesos para os solos da área de estudo.....	39

3.3.3	Classificação e determinação de pesos para os índices de declividade da área de estudo.....	39
3.3.4	Classificação do uso do solo e determinação das áreas restritas à irrigação na área de estudo.....	40
3.3.5	Classificação e determinação das áreas de proteção permanente da área de estudo.....	40
3.4	Álgebra de mapas.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1	Classificação dos solos quanto à infiltração e retenção de água.....	41
4.2	Classificação dos índices de declividade da área de estudo.....	43
4.3	Classificação do uso do solo e determinação das áreas restritas à irrigação.....	45
4.4	Determinação das áreas de proteção permanente da área de estudo.....	43
4.5	Álgebras dos mapas e elaboração do mapa final de aptidão para irrigação da Fazenda Experimental Lageado.....	49
5	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O rápido aumento de habitantes no planeta terra vem provocando um considerável crescimento na demanda por alimentos, e conseqüentemente, o aumento de áreas irrigadas no planeta. Dados da ONU mostraram que o nosso planeta superou a marca dos 7,3 bilhões de habitantes em 2015, podendo chegar a incríveis 11 bilhões até o ano de 2100 (ONU, 2015).

Nos últimos anos, a irrigação tem representado o incremento da produtividade agrícola, o que tem possibilitado o desenvolvimento econômico de várias regiões, além de adicionar novas áreas ao processo produtivo, assegurando assim, o abastecimento interno e o aumento nas exportações dos produtos agrícolas. A aplicação das técnicas de irrigação torna viável a produção agrícola até mesmo nas áreas áridas e semiáridas, locais onde a escassez hídrica representa uma séria limitação para o desenvolvimento socioeconômico (AMARAL, 2005). Porém o uso inadequado da irrigação pode inviabilizar projetos, pois estes apresentarão baixo retorno econômico e causarão sérias conseqüências ao meio ambiente.

Para que sejam viáveis e possam realmente contribuir para o aumento da produção agrícola, os projetos de irrigação dependem, inicialmente, de um suprimento adequado de água, em quantidade e qualidade suficiente para o ideal desenvolvimento da cultura. Além da disponibilidade hídrica, as instalações dos sistemas de irrigação dependem de fatores geográficos tais como o relevo, por exemplo, o qual é um fator determinante. Outro fator de suma importância é a correta classificação dos solos das áreas a serem exploradas, sendo imprescindível para um melhor manejo dos projetos irrigados.

A adoção e a efetiva aplicação de uma metodologia atualizada de classificação de terras para irrigação podem garantir o sucesso do projeto, além de permitir o planejamento do uso das terras para que o desenvolvimento do mesmo se dê de forma sustentável, minimizando a degradação das terras e a baixa taxa de retorno econômico (AMARAL, 2005).

O Brasil tem enfrentado situações de escassez hídrica, mesmo sendo um país privilegiado pela disponibilidade de água doce, tal fato se justifica devido à distribuição desigual entre os estados, além da irresponsabilidade no uso dos recursos hídricos. Com o objetivo de auxiliar o desenvolvimento agrícola, a escolha de áreas aptas à

irrigação usando dados de sensoriamento remoto vem se tornando uma importante estratégia de suporte para a tomada de decisão (CORSEUIL et al., 2009).

O sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas (SIGs) podem assessorar nos processos de avaliação ambiental, permitindo assim a especialização e análise conjunta dos fatores ambientais (BILICH, 2007).

Até o momento, o emprego de dados obtidos por sistemas sensores orbitais tem se mostrado uma ferramenta bastante útil para aquisição de informações a respeito do uso e ocupação do solo em determinada área.

A tecnologia de sensoriamento remoto apresenta um enorme potencial para ser aproveitada na agricultura. Através da utilização desta técnica, é possível obter informações sobre: estimativa de área plantada, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, além de contribuir no manejo agrícola.

Com o avanço dos SIGs, o emprego de dados orbitais para mapeamento do solo, foi beneficiado, uma vez que o tempo gasto na interpretação destes dados foi reduzido. Novas metodologias mais eficazes, com informações cartográficas e dados de campo, permitem gerar banco de dados georreferenciados e integrar diferentes tipos de informação, proporcionando resultados mais precisos de maneira prática e rápida.

Inicialmente, o sensoriamento remoto foi desenvolvido para o mapeamento de grandes áreas da superfície terrestre, porém o seu emprego para uma aplicação mais local, como em bacias hidrográficas, municípios e até mesmo fazendas, tem tido muito interesse pelos usuários desta tecnologia, já que as informações são facilmente obtidas e é possível a realização de levantamentos de campo para confirmar a interpretação.

Os satélites construídos para observar e coletar dados da superfície da terra, carregam sensores específicos que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Com isso, temos uma coleta da energia refletida de forma multiespectral. Esses satélites passam num mesmo ponto da superfície terrestre de tempo em tempo, o que nos permite obter dados de uma mesma área agrícola várias vezes.

Tendo como hipótese que é possível discriminar a potencialidade de áreas passíveis de irrigação, a presente pesquisa visou obter, através de técnicas de geotecnologias, o potencial das terras para irrigação da Fazenda Experimental Lageado, no município de Botucatu, estado de São Paulo.

Para isso, os objetivos específicos foram:

- a) caracterização topográfica, pedológica e uso das terras da área citada;
- b) elaboração do mapa de potencialidades de terras para irrigação;
- c) avaliar a viabilidade das ferramentas de geoprocessamento nas análises dos parâmetros ambientais determinantes para aplicação das técnicas de irrigação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Geomática e Geoprocessamento

Dentro do contexto do planejamento e da análise do meio ambiente, a demonstração do meio expressa de forma natural e contemplando todos os seus componentes, interações e demais processos, torna-se uma tarefa complexa, neste contexto, a modelagem de fenômenos e ambientes exigirá um determinado grau de simplificação, para que o meio ambiente possa ser compreendido e simulado, utilizando para isso expressões matemáticas (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Assim, como auxílio para o processo da modelagem do mundo físico, quando aplicações práticas, surge a Geomática ou Geoprocessamento. A Geomática baseia-se na ciência que utiliza técnicas computacionais e matemáticas para realizar o estudo de informações geográficas, ou seja, informações atreladas à superfície terrestre, através de um sistema de coordenadas (ROSA, 2009). Ainda, de acordo com o mesmo autor, no Brasil, os termos Geoprocessamento e Geomática se referem à mesma ciência, o Geoprocessamento é utilizado como um sinônimo da Geomática.

O Geoprocessamento então é um campo de atividades que se relaciona com os meios usados para aquisição, armazenamento, análise, apresentação, distribuição e gerenciamento de dados orbitais, que podem ser utilizados no auxílio de tomada de decisões em áreas técnicas, legais, científicas e administrativas, ainda que o termo seja novo, mostra a evolução dos levantamentos e do mapeamento do meio físico (SILVEIRA, 2016)

De acordo com os estudos de Chuerubim et al. (2014), a geomática permite que o indivíduo processe e manipule os dados e demais informações qualitativas e quantitativas nas mais variadas áreas do conhecimento unidas em uma só plataforma de dados, gerando assim novas informações e produtos para os mais diversos fins.

Nos últimos anos, o geoprocessamento tornou-se uma ferramenta indispensável para a realização de projetos que objetivam a compreensão, estudo, modelagem e simulação do meio físico. Assim, as áreas que abrangem estes projetos utilizam o geoprocessamento, tendo nesta ciência, o principal elemento para se trabalhar as grandes bases de dados, sendo eles de caráter espacial ou não (PETERSEN et al. 1995).

O geoprocessamento pode ser definido de forma mais simples, como um conjunto de geotecnologias, tais como sensoriamento remoto, SIG (Sistema de Informações

Geográficas), cartografia, fotogrametria, topografia, banco de dados geográficos e sistema de posicionamento global (GPS). Ou seja, uma ciência interdisciplinar, que segundo Rocha (2000) integra várias disciplinas, programas, equipamentos, dados, processos e metodologias de coleta, apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.

2.2 Geotecnologias

Entender e representar o espaço sempre foram necessidades dos seres humanos, que o fizeram para os mais variados objetivos e utilizando as tecnologias acessíveis do seu tempo. Mesmo que por muito tempo os conhecimentos sobre o espaço não foram sistematizados, afirma-se que o homem sempre utilizou deste conhecimento, seja na procura por áreas mais adequadas para caça ou até mesmo no recente uso das geotecnologias para apoio à construção de grandes indústrias e demais equipamentos (RODRIGUES, 2015).

As geotecnologias representam novas tecnologias relacionadas a área da geociência e demais ciências correlatadas, trazendo importantes avanços para o desenvolvimento de pesquisas, planejamento em processos de gestão, manejo e demais aspectos relacionados ao espaço geográfico físico (FITZ, 2008).

De acordo com Câmara (2010) as áreas relacionadas as geotecnologias são grandes e bem diversificadas, possuem uma gama extensa de usuários nos mais variados segmentos, desde concessionárias de água, energia e telefonia, empresas ligadas à temática ambiental, prefeituras e até mesmo em estudos quem envolvem políticas públicas e estudos censitários (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

As bases da geotecnologia estão apoiadas nos princípios da sua ciência maior, neste caso o geoprocessamento, sendo assim, baseiam-se na coleta, tratamento e análise das informações georreferenciadas. As geotecnologias constituem em uma poderosa ferramenta para o auxílio na tomada de decisões e avaliações, destacando se nesta área os SIGs, sensoriamento remoto, cartografia digital, Geoestatística, entre outros (ROSA, 2005).

Segundo Pires et al. (2012), as geotecnologias permitem a realização de um diagnóstico ambiental de forma integrada e total, visando entender como as questões relacionadas às mudanças nas dinâmicas ambientais se comportam com o passar do

tempo, possibilitando assim que o ambiente seja analisado em partes, mas que seja entendido como um todo.

Para um completo domínio das geotecnologias é necessário além de conhecimento, a utilização de forma integrada de todas as ferramentas e processos disponíveis, assim, serão desenvolvidas metodologias de aplicação das mesmas visando identificar, diagnosticar e prognosticar riscos e potencialidades do meio ambiente (ROCHA, 2000).

O conceito de geotecnologias é bem mais abrangente do que se estabelece, não sendo apenas um simples instrumento para elaboração de mapas, locais pontuais, mas sim um enorme conjunto de outros fatores que resultam em diferentes produtos desejados por diversos tipos de profissionais, mas que neste caso, objetivam a análise do espaço geográfico e suas consequências (CASTANHO, 2006). A utilização das geotecnologias, seja no meio urbano ou no meio rural, possibilita o conhecimento, controle e coerência no que se refere ao uso e ocupação do solo nesses ambientes, visando a real necessidade de planejamentos mais amplos e sofisticados para o correto entendimento e manejo desses ambientes (CASTANHO; TEODORO, 2010).

De acordo com Rodrigues (2015) as geotecnologias permitem a ponderação e a gestão de enormes quantidades de dados georreferenciados e por isso atuam como uma importantíssima ferramenta dentro do geoprocessamento, apoiando o desenvolvimento da agricultura e dos demais usos da terra, tornando possível o tratamento dos dados, fornecendo informações e permitindo a modelagem, simulação e antevisão de cenários futuros.

2.3 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto (SR) surgiu ancorado no aparecimento das primeiras fotografias aéreas, assim, sua história pode ser fracionada em dois distintos períodos: sendo o primeiro de 1860 a 1960, tendo como base o uso exclusivo de fotos aéreas, e o segundo que compreende o período de 1960 até os dias de hoje, baseado em uma gama de tipos de imagens orbitais e suborbitais capturadas por sensores ativos (GARCIA, 2014).

De acordo com Novo (2008), o SR é definido como sendo o uso em conjunto de sensores, processadores e transmissores de dados acoplados a aeronaves, veículos

aéreos não tripulados (VANTs/Drones), balões, espaçonaves ou satélites artificiais orbitais que visam estudar eventos e processos que ocorrem na superfície terrestre.

O SR baseia-se em um processo de relação entre a radiação eletromagnética natural emitida pelo Sol, ou artificial gerada e captada por sensores ativos, com diferentes objetos localizados na superfície da terra, sendo assim, pode se obter informações sobre um alvo específico, sem estar em contato direto com o mesmo.

De acordo com Rodrigues, Rodrigues e Tagliarini (2014), os alvos analisados possuem diversas feições e angulações na superfície da terra, sejam corpos de massa sólida ou de massa líquida, como solos, rios, oceanos e também formas de vegetação com seus níveis de saúde nos mais variados tipos de ecossistemas, como pastagens, lavouras, florestas e áreas urbanas. O SR começou a ser utilizado em grande escala durante as últimas décadas por proporcionar um rápido monitoramento das variáveis ambientais e de fatores relacionados com as atividades antrópicas (SHIMABUKURO; MAEDA; FORMAGGIO, 2015).

Assim, segundo Rosa (2009) o uso e análise dos produtos originados através do sensoriamento remoto são de grande importância para o acompanhamento das mudanças na cobertura da terra.

O uso dessas informações é muito amplo ao se planejar e diagnosticar os impactos relacionados ao meio ambiente, como por exemplo na avaliação de impactos ambientais, inventários de recursos naturais, identificação de áreas erosivas, entre outros.

As fotografias aéreas e as imagens de satélites orbitais são os sistemas de sensoriamento remoto atualmente disponíveis mais empregados para análise e monitoramento do meio ambiente. Os produtos de SR orbital, permitem a utilização constante de informações, tornando viável o monitoramento de áreas mais críticas e propícias a processos de degradação ambiental (SCOLPEL; ASSAD; ORIOLI, 1993).

Os produtos originados a partir de técnicas de sensoriamento remoto podem ser analisados e avaliados através de diversas técnicas, divididas em processamento digital e analógico de imagens. O processamento digital de imagens, baseia-se em uma enorme quantidade de processos analisados sobre as imagens de satélite ou aerofotografia, como o pré-processamento, processamento fotogramétrico através de técnicas estereoscópicas, extração de informações paramétricas, não paramétricas e não métricas, modelagem de imagens em ambiente de SIG, georreferenciamento, entre outros (JENSEN, 2009).

Já o processamento analógico, ainda de acordo com Jensen (2009), faz a utilização de elementos fundamentais na análise e interpretação de imagens, como por exemplo, escala de cinza, coloração, tonalidade, coloração, tamanho, profundidade, sombra, textura, formas, localização e associação com aspectos ambientais. Os resultados obtidos a partir desses tipos de elementos servem para identificar fenômenos nas imagens e julgar a sua relevância, atualmente com o maior uso de imagens com altas resoluções, a interpretação visual feita em computadores está cada vez mais sendo utilizada.

No uso restrito de imagens de satélite, além das características multitemporais e multiespectrais das imagens, os especialistas em sensoriamento remoto fazem uso também de elementos da fotointerpretação, tais como: forma, textura e sombreamento, por exemplo, para diferenciar áreas irrigadas por sistema de pivô central de outros métodos de irrigação o profissional baseia-se, em primeiro lugar, nas formas da superfície molhada (RODRIGUES, 2015).

Para Rodrigues (2015), inúmeras aplicações do SR podem ser utilizadas no campo agrícola e do meio ambiente, como no mapeamento de culturas, previsão de safras, definição de áreas de alta aptidão agrícola, avaliações de perda de solo, zoneamento agroecológico, monitoramento de áreas com risco de incêndios florestais, entre outros.

2.4 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Os sistemas de informações geográficas (SIG), são um grupo de ferramentas provenientes de um hardware ou software, utilizados dentro do geoprocessamento. De acordo com Fitz (2008) os SIGs são um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, os quais englobam dados, equipamentos e profissionais com o objetivo de captar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar informações obtidas de um plano real espacialmente referenciados a um específico sistema de coordenadas.

O SIG, de acordo com Rodrigues (2015) funciona basicamente com dois tipos de dados geográficos que são matrizes (*raster*) e vetores, que se destacam por sua grande capacidade analítica. Os *rasters* ou dados matriciais fazem uma representação do espaço através de uma malha contínua, denominada *pixel*, cada um identificado por meio dos índices de linhas e colunas, assim, cada *pixel* registra um único valor e

que pode traduzir informações referentes ao específico objeto em análise. Os vetores são formados por pontos, linhas e polígonos e são definidos por grupos de coordenadas: eixo X, eixo Y e eixo Z, esses dados tornam possível a modulação de duas a três dimensões e cálculos geométricos.

Segundo Ferreira (2007) quando se inicia qualquer atividade ou análise espacial dentro do ambiente SIG, não se deve ignorar que há, primeiramente, transformação da “paisagem real” em “paisagem digital” para uma posterior exibição e armazenamento de dados. Os SIGs não se limitam apenas a conversão e ao armazenamento de dados, de acordo com Moura (2014) o ambiente de análise do SIG teve uma grande evolução, de modo que permite que o usuário trabalhe relações espaciais entre os dados, proporcionando a elaboração de inúmeros e diferentes tipos de análises, cenários, prognósticos e modelos.

Para Piroli (2015) as informações ordenadas em bancos de dados compatíveis, contendo a localização espacial do objeto estudado têm fundamental importância para o planejamento, correta gestão e manejo da área de interesse. Assim, fica claro a grande importância dos bancos de dados geográficos para os estudos ambientais, é importante também lembrar que o equacionamento dos problemas do meio ambiente pode ser mais complexo na falta do banco de informações.

As bases de dados existentes podem sofrer restrições de uso devido a problemas de diferentes compilações, como sistemas de amostragem não confiáveis, falta de precisão na avaliação, diferentes escalas de trabalho, entre outros (MIRANDA, 2010).

Segundo Rosa (2005) as diversas operações relacionadas ao geoprocessamento processadas em um SIG visam maior facilidade, agilidade e segurança nas atividades que monitoram, planejam e auxiliam na tomada de decisão no que se refere ao meio físico. Os SIGs vem sendo cada vez mais utilizados e trazem importantes contribuições para a exploração de características e cenários como em áreas de bacias hidrográficas, por exemplo (PIROLI, 2015).

Os sistemas de informações geográficas são ferramentas de mapeamento que visam indicar respostas às diversas questões existentes a respeito do planejamento rural e urbano, além de realizar o levantamento dos recursos naturais renováveis, relatando mudanças que ocorrem no meio ambiente e ajudando no planejamento e manejo dos recursos naturais de regiões de interesse (FERREIRA, 1997).

Assad e Sano (1998) avaliaram o uso de SIG na análise de terras para agricultura objetivando à determinação de práticas adequadas para o manejo e conservação do

solo e da água, entre as práticas analisadas a aptidão agrícola e a capacidade de uso do solo. Ainda de acordo com os mesmos autores, o SIH tem a vantagem da minimização da complexidade e do grau de subjetividade das estimativas realizadas com cruzamento de informações sobre o meio ambiente de forma manual, permitindo uma maior rapidez nas operações feitas com sobreposição de mapas e no cálculo de variáveis, na obtenção dos mapas temáticos, além de facilitarem e atualizarem os diagnósticos realizados com os dados na base cartográfica digital.

A utilização e aplicação dos sistemas de informações geográficas na avaliação do meio ambiente físico é vasto, quase sempre visando o planejamento e monitoramento do ambiente, levando em consideração os mais variados fatores. Os SIGs são comumente empregados em inúmeras esferas dos problemas relacionados aos estudos e análises ambientais, como por exemplo: mapeamento temático, avaliações de impactos ambientais, diagnósticos ambientais, ordenamento do território e prognósticos de ordem ambiental (MEDEIROS; CÂMARA, 2001).

2.5 Álgebra de mapas

Em um ambiente SIG, a mais variadas informações do ambiente em estudo é feita em inúmeras camadas, e cada uma representa um plano de informação (PI). Os PIs precisam ser referentes à mesma área e possuir sistema de coordenadas iguais, tornando possível a sobreposição entre eles (TOMLIN, 1994).

Nesta metodologia de organização dos dados é possível a realização de inúmeras operações entre os PIs. Essas operações são definidas como álgebras de mapas que, segundo Tomlin (1994), são um conjunto de convenções e técnicas utilizadas em SIG.

Câmara et al. (2005), complementam a definição e afirmam que a álgebra de mapas é um conjunto de funções para o processamento de dados em formato matricial e que ainda permitem, usando os dados existentes, a criação de novas informações.

Segundo essas definições, todas as informações espacialmente distribuídas em formato de matriz, podem ser submetidas a operações lógicas e matemáticas, como exemplo, a soma entre PI 1 com um outro PI 2 gerando um PI 3, nesta referida operação, existe uma soma pixel-a-pixel entre 1 e 2, sendo os resultados definidos nos pixels 3 (MIRANDA, 2010).

Ainda segundo o mesmo autor, três operações básicas da matemática formam a álgebra de mapas: primeiro, o PI inicial, de entrada, é multiplicado por uma constante,

como por exemplo para a conversão de unidades; a segunda baseia-se na transformação matemática do PI aplicando funções trigonométricas e logarítmicas; e por último, a terceira que abrange as operações aritméticas (soma, subtração, multiplicação e divisão) entre os planos de informação, originando um novo PI.

A união de diferentes PIs é usualmente utilizada no planejamento ambiental, já que para um melhor entendimento do ambiente, é necessário a análise conjunta dos diversos componentes do mesmo.

Ao realizar as combinações de múltiplos PIs em um ambiente SIG, o mais usual é que esses sejam convertidos para a mesma unidade, uma vez que é impossível combinar PIs que contenham informações contínuas. Para se atingir um específico objetivo em um projeto, como por exemplo, zoneamentos agrícolas, diferentes métodos podem ser utilizados na álgebra de mapas para combinação de PIs.

Baseada na lógica de Boole, a combinação booleana, define apenas dois valores para os PIs, sendo 1 para locais que atendem a condição definida e 0 para aqueles que não atendem, ou, 1 para a condição sim e 0 para a condição não. Sendo assim, o PI booleano irá apresentar duas classes como limites bem definidos, ocorrendo uma brusca transição entre as elas (EASTMAN, 1998).

Na combinação booleana dos PIs, são aplicados dois operadores. O “E” que consiste na multiplicação entre os PIs, sendo considerada como favorável os locais que possuírem valor 1 em todos os mapas utilizados; locais desfavoráveis (valor 0) em qualquer um dos PIs utilizados, irão gerar condição desfavorável no produto gerado.

O “OU” é o segundo operador desta lógica e neste caso se em um dos mapas tiver a condição favorável (valor 1) para um local específico, o plano de informação resultante apresentará valor 1 para o mesmo local, mesmo que outros PIs de entrada possuam o valor 0 para a região em questão. Assim, pode-se afirmar que o operador “E” é mais restritivo que o operador “OU”, exigindo assim que todos os dados de entrada atendam a condição definida (EASTMAN, 1998).

Mesmo sendo relativamente simples, o uso da lógica booleana em ambiente SIG, se torna restritivo quando se almeja análises mais complexas do ambiente, pois em muitas das vezes observa-se transições não abruptas entre os elementos naturais, como por exemplo nas classes de solo, que por sua vez são representadas nos mapas temáticos por polígonos bem definidos, onde finaliza um começa o outro. O que muitas vezes ocorre é uma transição mais gradual entre eles. Essa variação é melhor

representada com o surgimento da lógica difusa, *lógica fuzzy*, como um complemento à lógica booleana (MCBRATNEY; ODEH, 1997).

2.6 Solos vs Irrigação

Seja pela sua função como suporte para as plantas, ou ainda pelo provimento de condições fundamentais ao seu correto desenvolvimento, envolvendo água, nutrientes e calor, o solo constitui-se em um dos mais importantes fatores de produção. No entanto a necessidade de produções cada vez maiores tem gerado uma significativa degradação deste importante recurso natural, proveniente do seu manejo inadequado (OLIVEIRA et al., 2005).

Sistemas de manejo do solo que proporcionam menor revolvimento, como por exemplo o cultivo mínimo ou o sistema de plantio direto, tem sido mais viável, uma vez que conferem uma maior proteção ao solo já que é restrito a mobilização da camada arável e há uma maior diversificação de espécies. Tais fatores geram uma produtividade satisfatória, equilíbrio ambiental e economia (URCHEI et al., 2000).

De acordo com Pruski et al. (2006), os tipos de uso do solo e sua cobertura, além de estarem diretamente relacionados com as condições de infiltração da água, influenciam na maneira como o solo interceptará a água oriunda das precipitações e irrigações. Quanto mais cobertura vegetal presente e maior rugosidade da superfície do solo, menor será o escoamento superficial.

Segundo Cury (2000), o solo é o recurso natural mais importante e precioso dentro do cenário agrícola, todavia, muitos produtores não o tratam com a devida importância, fazendo com que ao longo dos anos ele apresente menores valores de produção. Nesse contexto, Silva (1992), afirma que a conservação do solo é essencial para manter altos níveis de produção e assegurar a preservação dele para as próximas gerações, resultando, conseqüentemente, em uma maior rentabilidade agrícola (WUTKE et al., 2000).

Analisando-se os fatores de produção de uma cultura agrícola, a disponibilidade hídrica é diretamente responsável pelo incremento da produção e, de acordo com DOPPLER (1983), a irrigação é a base do desenvolvimento das culturas, uma vez que permite a regulação do fator água no processo produtivo e ainda, segundo PIRES et al. (1991), a ascensão dos equipamentos de irrigação, como por exemplo o pivô central, tornou viável o sistema de produção em grandes áreas (STONE et al. 1994).

Em um antigo conceito, a irrigação era definida como uma técnica que objetivava apenas a luta contra a seca. Atualmente, dentro do foco empresarial do agronegócio, a irrigação é uma importante estratégia para aumentar a rentabilidade da propriedade agrícola, uma vez que proporciona aumento da produção e da produtividade (BERNARDO et al., 2005).

De acordo com Mantovani et al. (2006), mesmo levando em consideração a melhoria dos sistemas de irrigação, a ausência de um correto programa de manejo pode levar tudo a perder, seja pela aplicação em excesso ou também pela sua falta, em momentos inadequados em cada fase de desenvolvimento da cultura.

Garcia (2000) relata que, levando em consideração os custos de um sistema de irrigação, tanto no que se refere ao projeto, mão de obra qualificada, equipamentos, energia despendida e a água consumida, existe a necessidade da otimização do processo, através da correta aplicação da água à cultura.

Segundo Rodrigues et al. (1997), até pouco tempo não existia uma grande preocupação com o racionamento da água nos projetos de irrigação. Entretanto, o aumento considerável da demanda, aliado à pouca disponibilidade de água em determinadas regiões, vem exigindo um manejo cada vez mais eficiente.

Para Sentelhas (2001), a irrigação é a atividade agrícola que objetiva fornecer água às culturas, atendendo assim duas exigências hídricas em todas as fases do seu crescimento, sendo que essas exigências dependerão fundamentalmente das condições do clima e da disponibilidade de água no solo.

De acordo com Brandão et al. (2006), o uso desordenado e o mau gerenciamento dos recursos hídricos geram enormes prejuízos que, problemas sociais e ambientais extremamente relevantes advêm de aspectos relacionados tanto à qualidade quanto à disponibilidade da água.

2.7 Classificação de terras para irrigação

O correto uso da terra é um importante passo para uma agricultura racional. Com esse objetivo, deve se empregar cada parcela de terra de acordo com sua real capacidade de produtividade e sustentação de forma que os recursos naturais sejam disponibilizados para o seu melhor uso e benefício (LEPSCH et al., 1991).

Para se executar o monitoramento agrícola de uma determinada região é necessário o mapeamento das áreas alvo, o qual se constitui instrumento

importantíssimo para apresentar variadas informações temáticas e potencialidades naturais relacionadas ao meio físico (FERRANTE, 1990).

O sistema de classificação de terras para irrigação mais utilizado no mundo é o sistema desenvolvido pelo “US Bureau of Reclamation”, de 1951, e adaptado por Carter (1993), onde as classes de terra são definidas pelos seus atributos físicos.

A classificação de terras em geral exige análise e avaliação das suas características próprias, incluindo as características do solo e os aspectos topográficos e de drenagem (CARTER, 1993).

Primordialmente, a classificação de terras para irrigação é realizada objetivando-se a obtenção das informações necessárias à definição das terras em áreas de classes aptas à irrigação, excluindo assim as áreas inaptas (CARTER, 1993). De acordo com o mesmo autor, os dados obtidos na classificação de terras são também utilizados para estabelecer as necessidades de água para cada tipo de solo, perdas através de percolação, método de irrigação mais adequado e o padrão de cultivo mais adaptado à área selecionada.

Os dados relevantes relacionados aos solos, como topografia, uso da terra, cobertura vegetal, drenagem e demais fatores são avaliados e apresentados nas observações dos perfis. Os resultados das análises realizadas auxiliam na tomada de decisão no que se refere aos estudos de viabilidade econômica e de benefícios da instalação do projeto. Assim, uma classificação de terras é primordial para a correta instalação, manejo e sucesso técnico de qualquer projeto de irrigação (CARTER, 1993).

3 MATERIAL E MÉTODOS

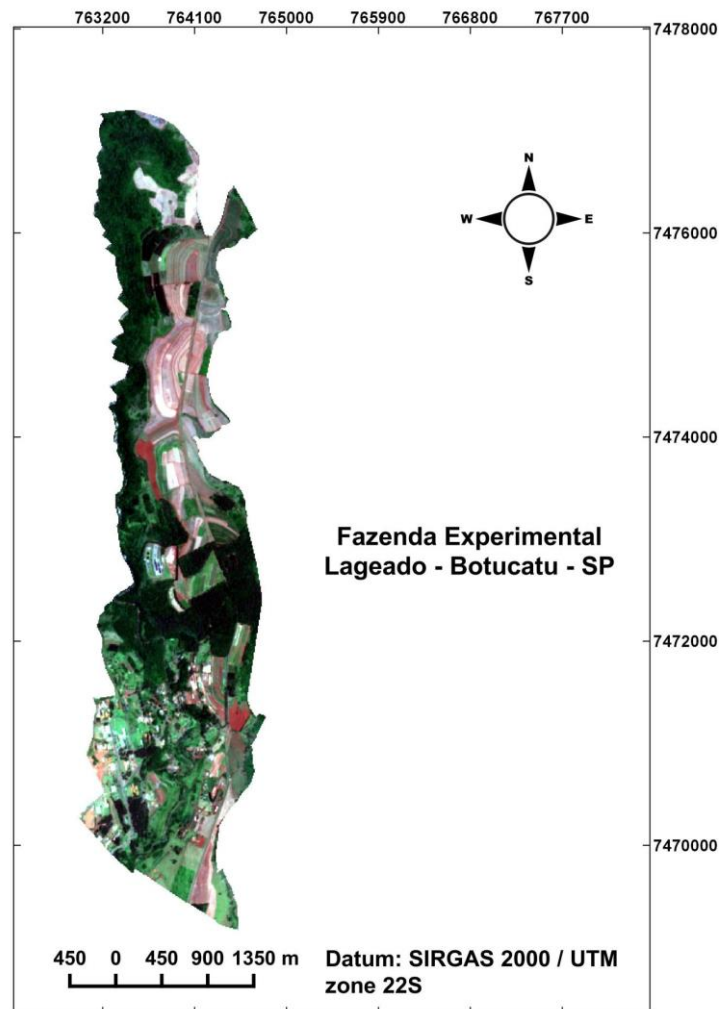
3.1 Área de Estudo

3.1.1 Localização Geográfica

A área do estudo compreende a Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

A fazenda experimental está geograficamente localizada nas coordenadas 22°50'54"S e 48°25'48"W na cidade de Botucatu – SP (Figura 1).

Figura 1 – Mapa da Fazenda Lageado



Fonte: Penachio (2017)

3.1.2 Clima

O clima de Botucatu, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa temperado quente (mesotérmico) úmido, e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C (CUNHA e MARTINS, 2009).

3.1.3 Relevô

A Fazenda Experimental Lageado localiza-se sobre o Planalto Ocidental, em relação à cuesta basáltica, principalmente nos locais que ocorrem sedimentos neocenozóicos, onde também existe uma área de baixada a 150 metros a noroeste. (CARVALHO; ESPÍNDOLA; PACCOLA, 1983).

3.1.4 Geologia

De acordo com o Instituto Geográfico e geológico, citado por Carvalho, Espíndola e Paccola (1983), tendo como base o mapa geológico do estado de São Paulo, na Fazenda Experimental Lageado ocorrem terrenos de Formação Serra Geral, onde os basaltos, devido ao intemperismo, originarão diferentes solos.

3.1.5 Solos

De acordo com Carvalho et al. (1983), na Fazenda Experimental Lageado existem oito tipos de solo, com atualização baseada na classificação da Embrapa (2013):

- a) NVd1 – NITOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa ou muito argilosa – Solos com saturação por bases baixa na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B;
- b) RLd – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico substrato basalto – Solos com horizonte A diretamente sobre a rocha ou sobre horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% ou mais de sua massa constituída por cascalhos, calhaus e matacões;
- c) LVd – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média – Solos com saturação por bases baixa na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B
- d) LVdf1 – LATOSSOLO VERMELHO Distroférico textura argilosa – Solos com saturação por bases baixa e alto teor de Ferro, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.

- e) LVdf2 – LATOSSOLO VEMELHO Distróférrico textura média/argilosa – Solos com saturação por bases baixa e alto teor de Ferro, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.
- f) LVdf3 – LATOSSOLO VERMELHO Distróférrico transição para NVd- NITOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média.
- g) NVd2 – NITOSSOLO VERMELHO Distrófico transição para LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura média/.
- h) RYbd - NEOSSOLO FLÚVICO Distrófico – mal drenado – Solos derivados de sedimentos aluviais com horizonte A ausente sobre camada ou horizonte C e que apresentam caráter flúvico dentro de 150 cm de profundidade;

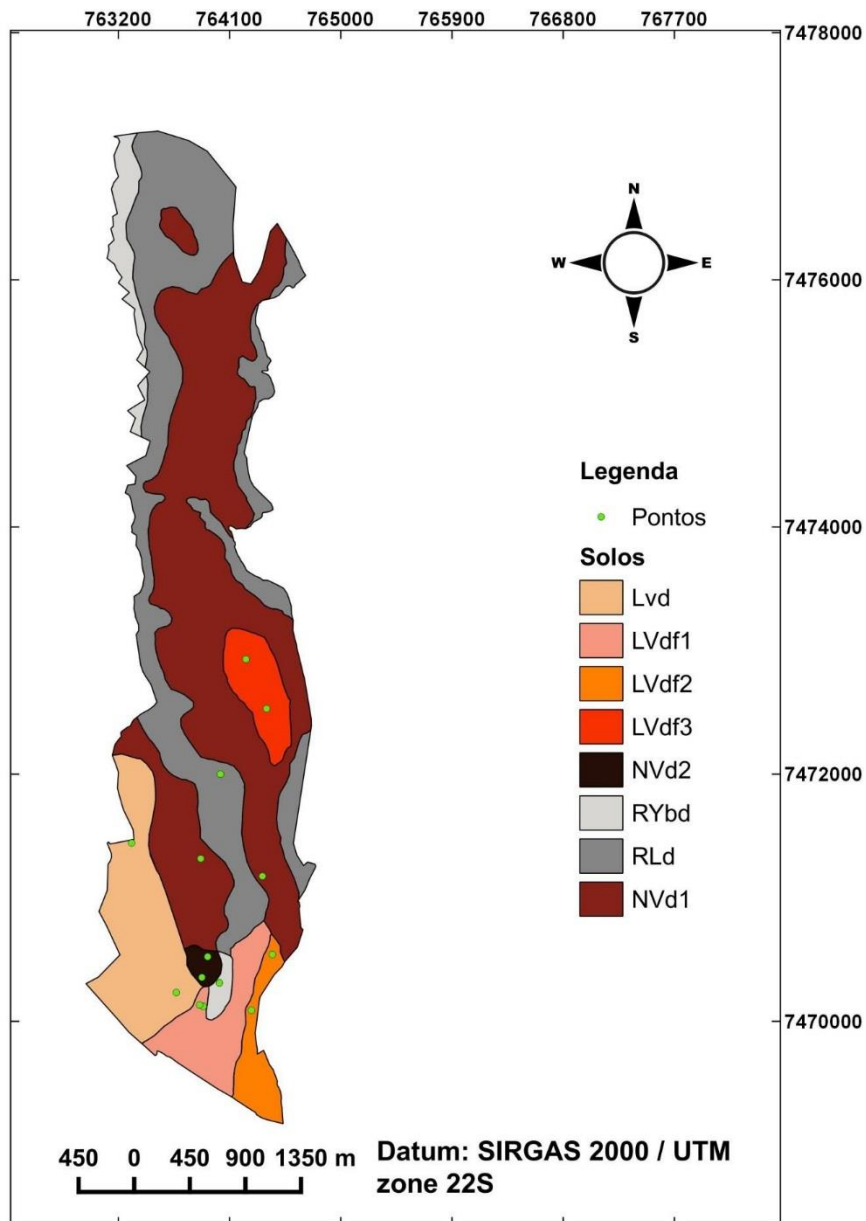
3.2 Material

3.2.1 Obtenção dos mapas

As imagens foram obtidas através dos seguintes mapas da Fazenda Experimental Lageado; mapa de hidrografia e nascentes, mapa de declividade, mapa de áreas de preservação permanente e mapa de representação das áreas florestadas e agricultáveis. Os mapas em questão foram elaborados utilizando-se, cartas do IGC, fotografias aéreas e imagens do satélite CBERS 2B.

3.2.2 Mapa de Solo

Utilizou-se o mapa semidetalhado de solos (PENACHIO, 2017), como base de dados para a vetorização na tela do computador das unidades de solo ocorrentes na Fazenda Experimental Lageado (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de solos da Fazenda Experimental Lageado

Fonte: Penachio (2017)

3.2.3 Geotecnologias

Os mapas foram digitalizados e para o processamento das imagens usou-se um SIG de licença livre.

3.3 Metodologia

3.3.1 Confeção da base de dados

3.3.1.1 Processamento das imagens

As imagens foram georreferenciadas e processadas no programa QGis, versão 2.8.3.

3.3.2 Classificação e determinação de pesos para os solos da área de estudo

Após vetorização do mapa de solos utilizado e posterior classificação, foram determinados pesos para cada tipo de solo, classificação que variou de 1 a 5. Os aspectos do solo analisados foram aqueles mais relevantes para a irrigação (infiltração e retenção de água). Sendo assim, o solo mais propício recebeu valor 5 e o menos adequado foi avaliado com peso 1.

3.3.3 Classificação e determinação de pesos para os índices de declividade da área de estudo

Após processamento e classificação das imagens, os níveis de declividade foram avaliados e valorados. Tal avaliação levou em consideração os aspectos relevantes no que se refere a inclinação do terreno para a instalação dos diferentes sistemas de irrigação.

O relevo da área de interesse foi assim classificado:

- Plano: declividade entre 0 e 3% - grau de limitação nulo.
- Suave ondulado: declividade entre 3 e 6% - grau de limitação ligeiro.
- Ondulada: declividade entre 6 e 12% - grau de limitação moderado.
- Forte ondulada: declividade entre 12 e 20% - grau de limitação forte.
- Montanhosa: declividade maior que 20% - grau de limitação muito forte.

3.3.4 Classificação do uso do solo e determinação das áreas restritas à irrigação na área de estudo

As imagens processadas foram classificadas quanto ao uso do solo. Essa classificação é restritiva e determinou as áreas agricultáveis e da FMVZ (Pastos), que não apresentam nenhuma restrição de uso, e as demais áreas como edificações, florestas, parques e jardins, essas com restrição para agricultura.

3.3.5 Classificação e determinação das áreas de proteção permanente da área de estudo

Foram identificadas as áreas de APP inseridas nas áreas de interesse. Esta classificação é restritiva.

3.4 Álgebra de mapas

A manipulação dos dados foi feita no ambiente SIG do *software* QGis. Para isso, foi necessário que todos os mapas estivessem espacializados na mesma escala e projeção, com os atributos específicos referentes às suas informações.

Para que seja possível realizar a soma dos mapas, é necessário que eles estejam em formato matricial (ou raster). Assim, todos os mapas foram convertidos.

Os mapas obtidos foram somados utilizando a ferramenta *Raster Calculator*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Classificação dos solos quanto à infiltração e retenção de água

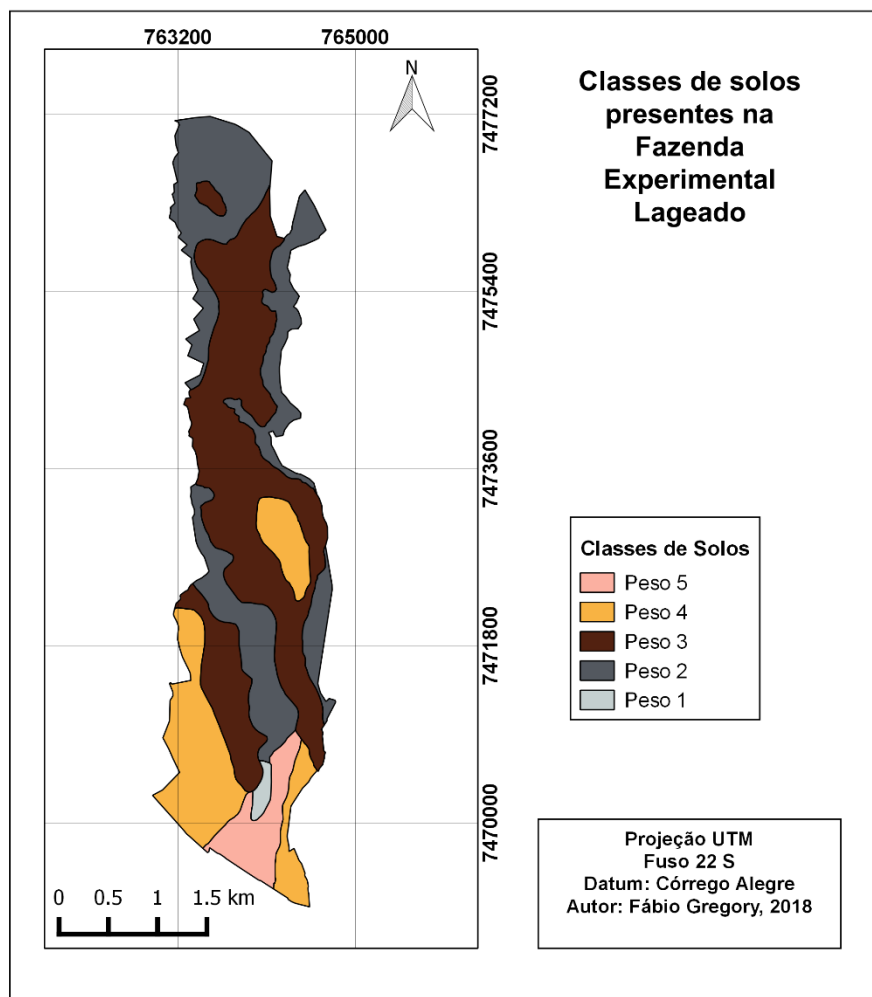
De acordo com o proposto por Santos et al. (2005), os solos da Fazenda Experimental Lageado foram classificados de acordo com a infiltração e retenção de água como exposto no Quadro1.

Quadro 1 – Pesos das classes de solo da Fazenda Experimental Lageado

Classe de Solo	Peso
Latossolo Vermelho Distroférrico	5
Latossolo Vermelho Distroférrico + Latossolo Bruno	4
Latossolo Vermelho Distroférrico + Latossolo Vermelho	4
Latossolo Vermelho Distrófico	4
Nitossolo Vermelho Distrófico	3
Neossolo Litólico Distrófico	2
Neossolo Flúvico Distrófico	1

Na Figura 3, os solos foram reclassificados quanto aos seus pesos.

Figura 3 – Classe de solos presentes na Fazenda Experimental Lageado



Fonte: Fábio Gregory de Andrade Moreira (2018)

Cada unidade de mapeamento possui áreas (ha) expostas na Tabela 2.

Quadro 2 – Porcentagem das classes de solo da Fazenda Experimental Lageado

Classes de solo	Área (ha)	Porcentagem da área total (%)
Latossolo Vermelho Distroférrico	53,51	5,88
Latossolo Vermelho Distroférrico + Latossolo Bruno	28,14	3,08
Latossolo Vermelho Distroférrico + Latossolo Vermelho	33,55	3,68
Latossolo Vermelho Distrófico	106,5	11,68
Nitossolo Vermelho Distrófico	393,01	43,12
Neossolo Litólico Distrófico	289,24	31,73
Neossolo Flúvico Distrófico	7,57	0,83

4.2 Classificação dos índices de declividade da área de estudo

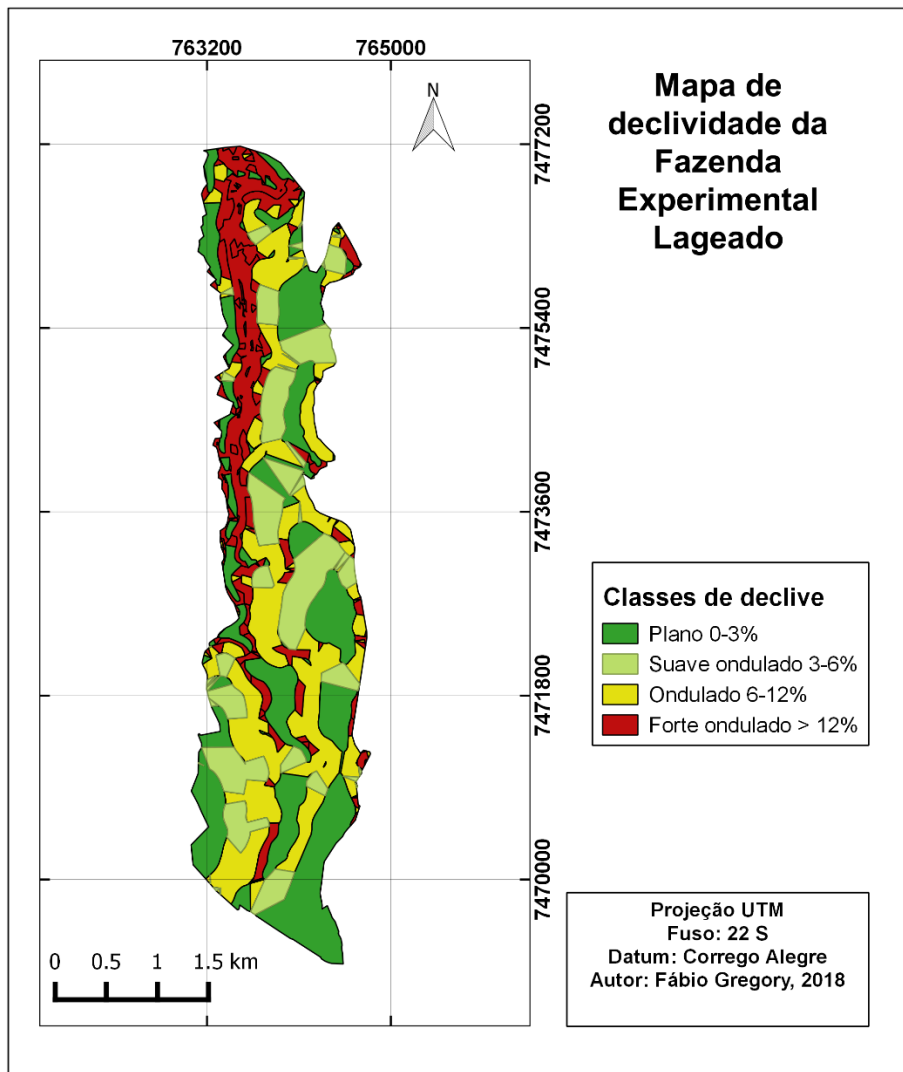
Como proposto pela EMBRAPA (2006), foram classificados 5 tipos de relevo na área de estudo. Os relevos presentes foram alocados no quadro 3, bem como os pesos atribuídos para cada classe. Os maiores valores da coluna Peso representam relevos totalmente aptos à instalação de qualquer sistema de irrigação. A medida em que os valores decrescem, existe uma restrição no que se refere a instalação dos sistemas irrigantes. Declividades maiores que 12% inviabilizam sistemas que precisam vencer a gravidade, como o Pivô Central, por exemplo.

Quadro 3 – Peso das classes de relevo na Fazenda Experimental Lageado

Classes de relevo	Peso
Plano	6
Suave ondulado	5
Ondulada	3
Forte ondulada	1
Montanhosa	1

No mapa da Figura 4 estão classificadas as classes de declive presentes em toda extensão da área de estudo.

Figura 4 - Mapa de declividade da Fazenda Experimental Lageado



Fonte: Fábio Gregory de Andrade Moreira (2018)

O quadro 4 apresenta os valores das áreas correspondentes a cada tipo de relevo e sua porcentagem na área total da Fazenda Experimental Lageado.

Quadro 4 – Porcentagem das classes de relevo na Fazenda Experimental Lageado

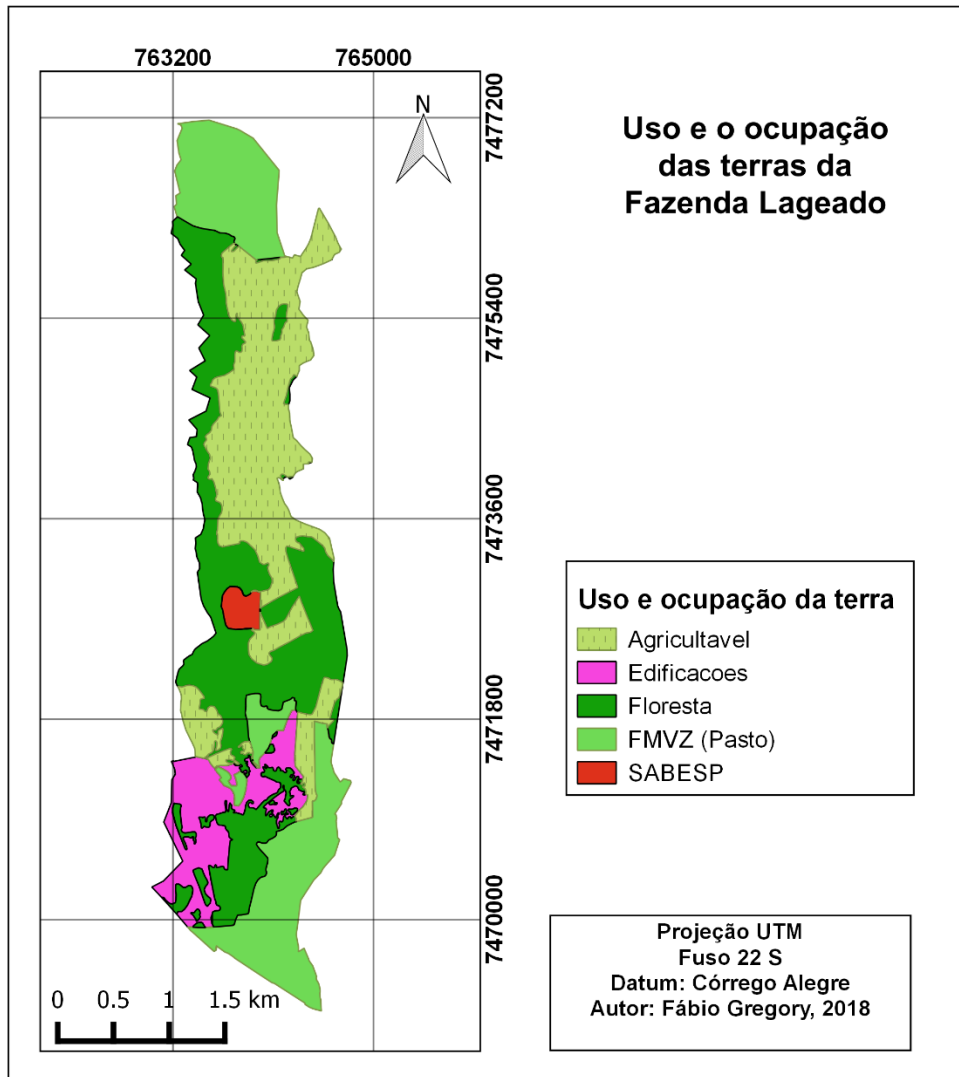
Tipos de relevo	Área (ha)	Porcentagem da área total
Plano (0-3%)	308,99	33,89
Suave ondulado (3-6%)	176,80	19,40
Ondulado (6-12%)	259,20	28,44
Forte ondulado (12-20%)	78,17	8,58
Montanhoso (>20%)	88,36	9,69

Como observado, e como destaque positivo, o relevo do tipo plano é predominante na área de estudo, estando presente em 33,89% da área total.

4.3 Classificação do uso do solo e determinação das áreas restritas à irrigação

O estudo realizado na área de interesse apontou os atuais usos da terra na Fazenda Experimental Lageado, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Mapa de uso e ocupação das terras da Fazenda Experimental Lageado



Fonte: Fábio Gregory de Andrade Moreira (2018)

O quadro 5 representa a identificação das áreas, e informa se as mesmas apresentam ou não restrição de ocupação para o uso da agricultura irrigada.

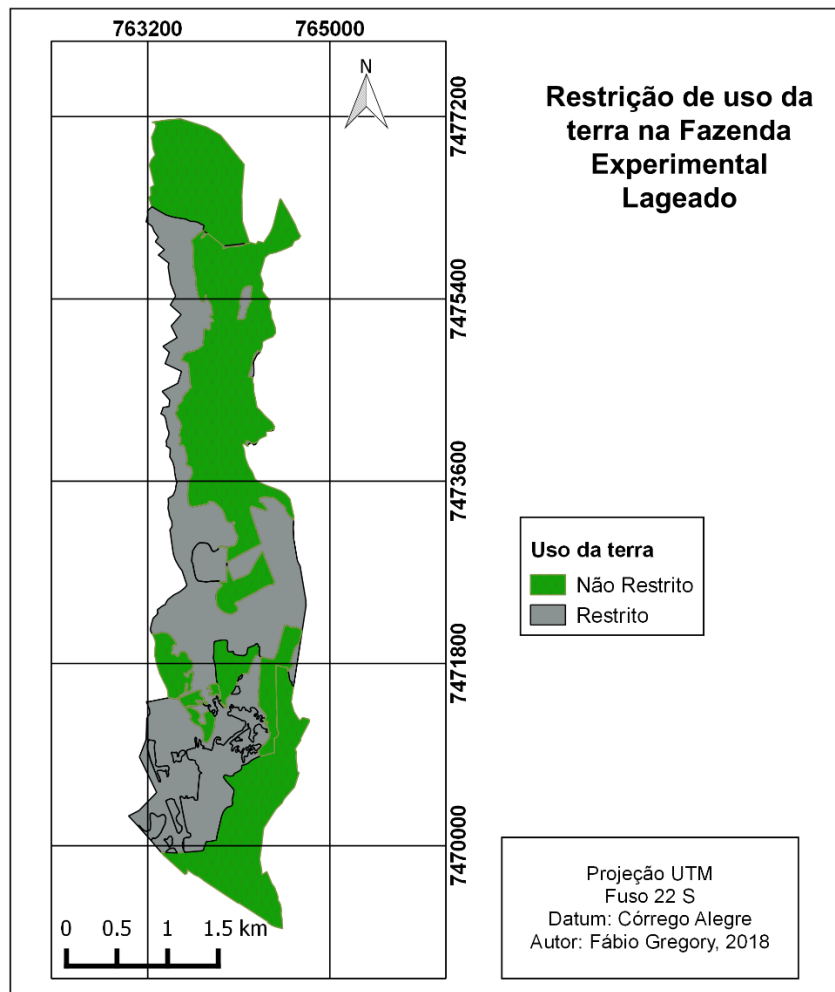
Quadro 5 – Restrição de ocupação do solo na Fazenda Experimental Lageado

Uso do solo	Restrição
Áreas Agricultáveis, FMVZ	Não
Edificações, florestas, parques e jardins	Sim

A Figura 5 representa o uso das terras de maneira geral, englobando todas as áreas da Fazenda Experimental Lageado, porém, o presente estudo visa apenas as áreas que não apresentam restrição de ocupação para a agricultura irrigada, com isso foi também elaborado o mapa das áreas que não apresentam nenhum tipo de restrição e que são passíveis de serem ocupadas por atividades agrícolas (Figura 6).

As áreas que não apresentam restrição de ocupação ocupam 478,04 ha, o que representa 52,44% da área total da Fazenda Experimental Lageado que é de 911,52 ha.

Figura 6 – Mapa de restrição de uso da terra da Fazenda Experimental Lageado.



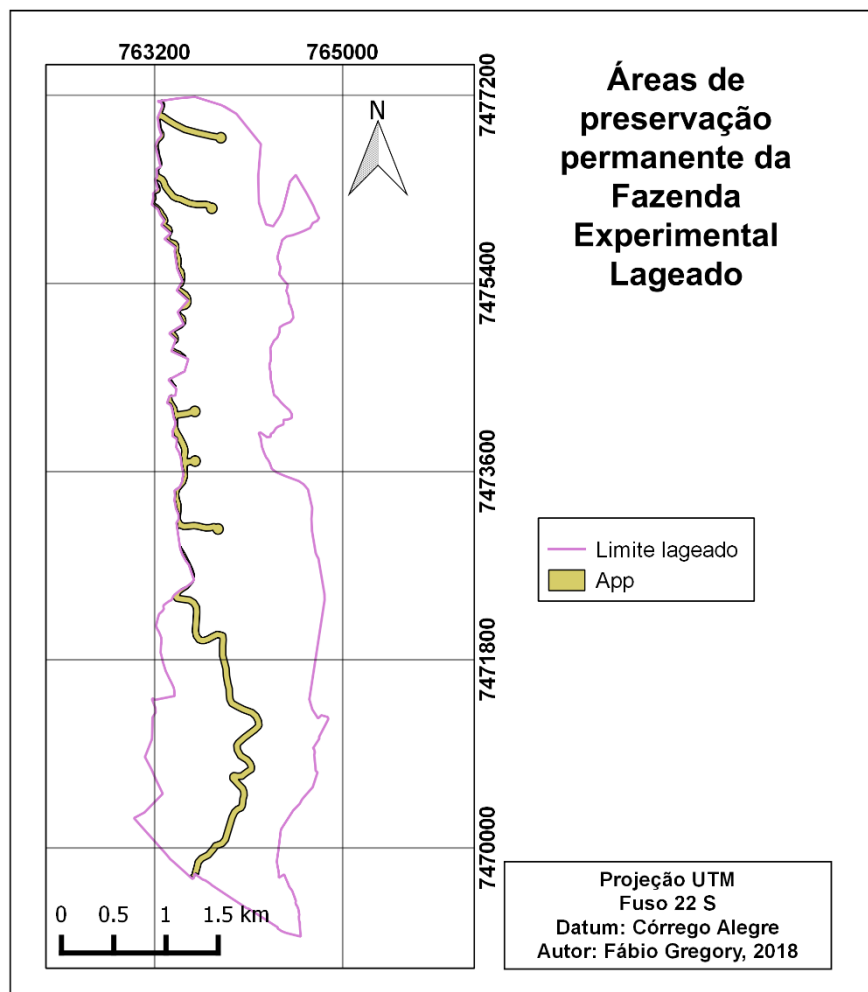
Fonte: Fábio Gregory de Andrade Moreira (2018)

4.4 Determinação das áreas de proteção permanente da área de estudo

Em respeito ao código florestal brasileiro vigente, foram determinadas as áreas de preservação permanente (APP) inseridas na Fazenda Experimental Lageado.

A Figura 7 apresenta as APPs presentes na área de estudo.

Figura 7 – Mapa das áreas de preservação permanente da Fazenda Experimental Lageado.



Fonte: Fábio Gregory de Andrade Moreira (2018)

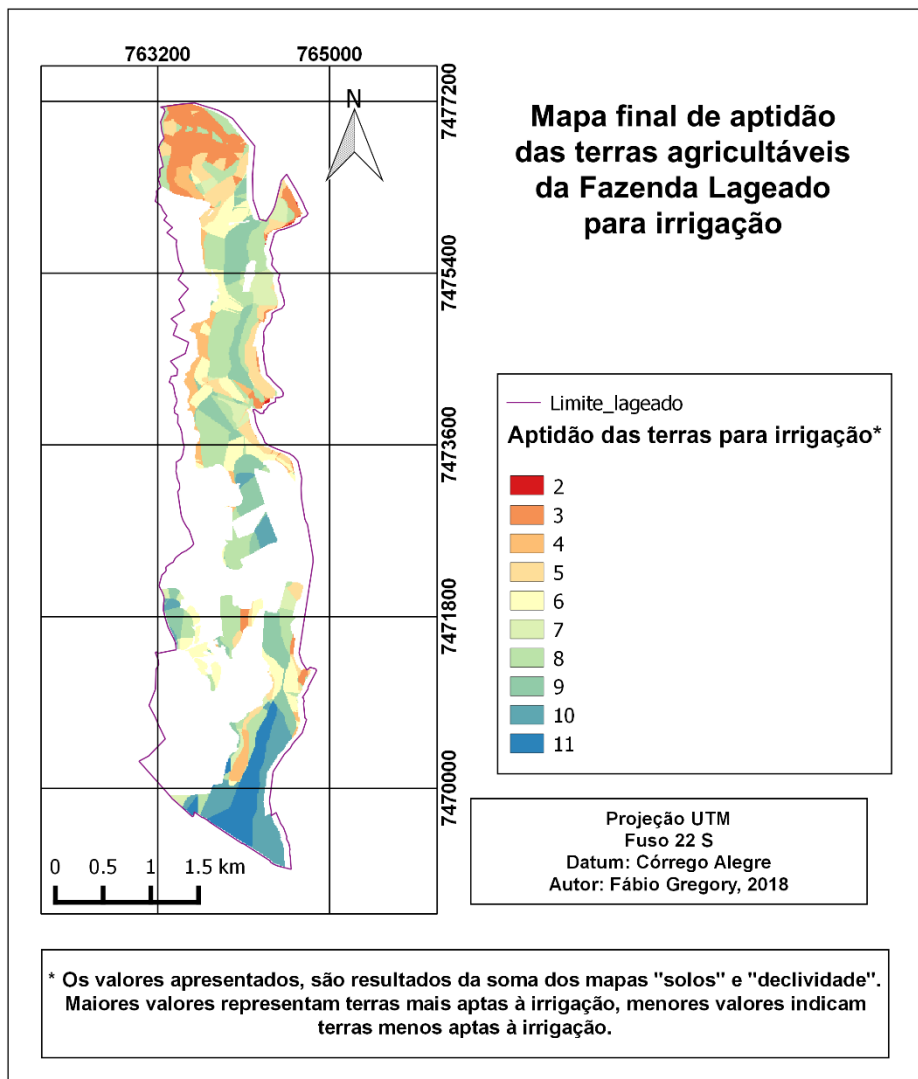
4.5 Álgebras dos mapas e elaboração do mapa final de aptidão para irrigação da Fazenda Experimental Lageado

Para a realização da álgebra dos mapas, os mesmos foram processados em mesma escala, mesmo Datum e ambos foram valorados de acordo com os parâmetros estudados. O mapa de solo foi somado ao mapa de declividade, assim, os maiores valores apresentam áreas aptas a serem irrigadas sem restrição. O tipo de solo mais adequado obteve peso 5 e a classe de relevo Plano, que é a mais indicada para a maioria dos sistemas de irrigação, obteve peso 6.

Dessa forma, o maior valor encontrado na álgebra dos mapas e que indica o melhor local para se irrigar foi 11. A partir daí os valores começam a decrescer, sendo 2 o menor valor, que indica um local inapto à irrigação.

O mapa final de aptidão das terras para irrigação da Fazenda Experimental Lageado é apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Mapa final de aptidão das terras agricultáveis da Fazenda Experimental Lageado para irrigação.



Fonte: Fábio Gregory de Andrade Moreira (2018)

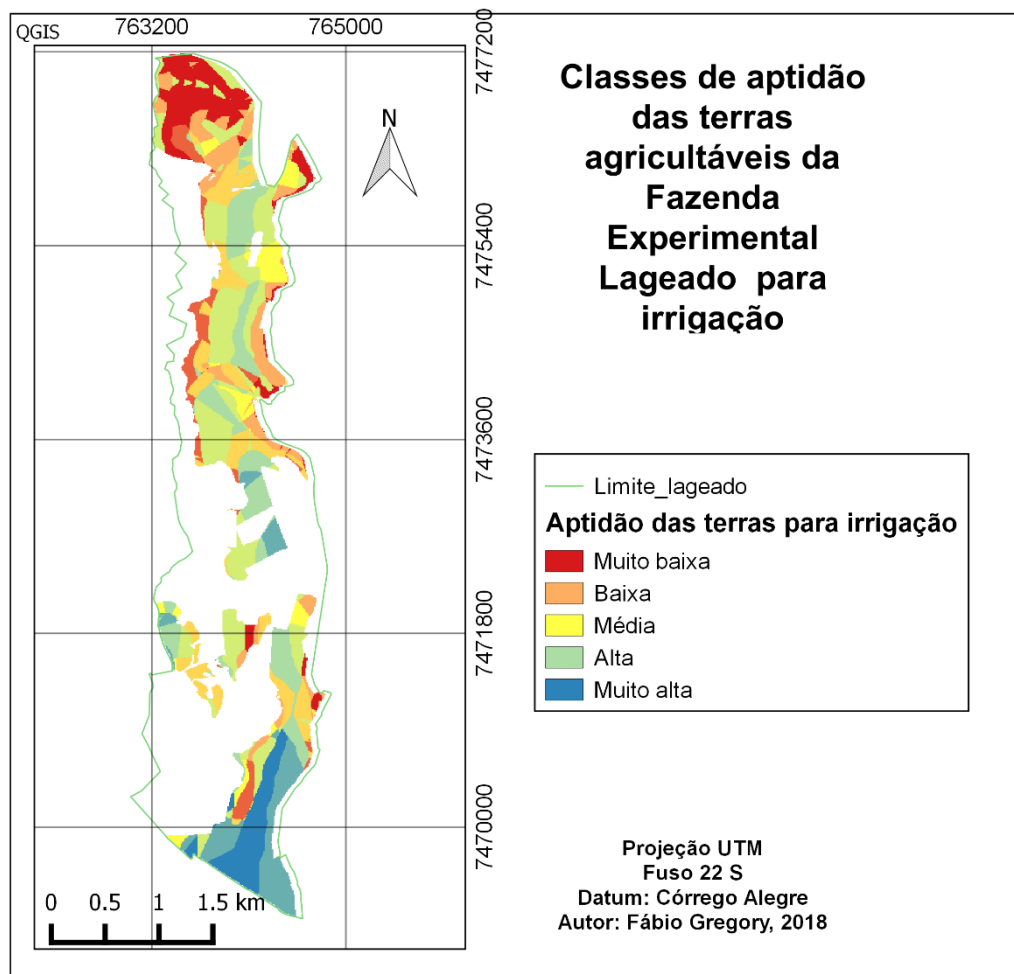
Reclassificando o mapa da Figura 8 quanto as aptidões muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (Figura 9) as áreas mais indicadas para irrigação, foram as classes alta e muito alta. Estas áreas totalizam 293,7 ha o que representa 61,45% do total de

478,04 ha disponíveis sem restrição de ocupação para a implantação de projetos irrigados, expostos no quadro 6.

Quadro 6 – Porcentagem das classes de aptidão das terras para irrigação

Classes de aptidão	Área (ha)	Porcentagem (%)
Muito baixa	40,62	8,49
Baixa	10,22	2,14
Média	133,45	27,91
Alta	215,07	44,99
Muito alta	78,70	16,46

Figura 9 – Mapa final das classes de aptidão das terras agricultáveis da Fazenda Experimental Lageado para irrigação



Fonte: Fábio Gregory de Andrade Moreira (2018)

5 CONCLUSÃO

Pela classificação da aptidão das terras à irrigação da Fazenda Experimental Lageado, pode-se concluir:

- a) a área apresenta um total de 911,52 ha, dentre os quais 478,04 não apresentam restrição de ocupação para implantação de projetos irrigados, representando 52,44% do total da área da Fazenda;
- b) na área apta à irrigação, um total de 293,7 ha foi classificadas como alta e muito alta aptidão para receberem sistemas de irrigação, ou seja, 61,45% do total disponível;
- c) as áreas com aptidão muito baixa e baixa apresentaram 50,82 ha o que corresponde a 10,63% da área disponível. Já as áreas classificadas com média aptidão representam 133,45 ha, correspondendo a 27,91% da área total disponível;
- d) os métodos geotecnológicos apresentaram eficientes ferramentas para o desenvolvimento do proposto trabalho, sendo extremamente efetivo na identificação das áreas e parâmetros necessários para a definição dos locais aptos à irrigação na Fazenda Experimental Lageado.

REFERÊNCIAS

AMARAL, F. C. S. do. Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na Região Semi-Árida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 218 p. Convênio Embrapa Solos / CODEVASF, 2005.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA - CPAC, 1998. 434 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. Viçosa: UFV. ed. 7. 2005. 611p.

BILICH, M. R.; Ocupação das terras e a qualidade da água na microbacia do Ribeirão Mestre D'Armas, Distrito Federal. 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. Infiltração da água no solo. Viçosa: UFV. 2006. 120p.

CÂMARA, G. Prefácio à primeira edição. In: MIRANDA, J. I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010, 425 p.

CÂMARA, G., D. et al. Towards a generalized map algebra: principles and data types. Workshop Brasileiro de Geoinformática. Campos do Jordão, SP. Anais Eletronicos...Curitiba: SBC. Nov. 2005, p. 66-91, 2005. Disponível em <mtc-m18.sid.inpe.br/arch ive.cgi/ dpi. ../07.1 1. 14.06>. Acesso em 7 nov. 2017.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA - CPAC, 1998. cap. 1, p. 03-12.

CARTER, V. H. Classificação de terras para irrigação. Brasília: Secretaria de Irrigação, Ministério da Integração Regional, 1993. 203p.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado Estação Experimental "Presidente Médici". Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP, Botucatu, n. 1, 1983. 95p.

CASTANHO, R. B. Uso do geoprocessamento no estudo da produção agropecuária da microrregião de Carazinho - RS. 2006. 237 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

CASTANHO, R. B.; TEODORO, M. A. O uso de geotecnologias no estudo da produção agropecuária. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Médiun*, v. 1, n. 1, p. 136-153, jan/jul. 2010.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI - UNICAMP. Clima dos Municípios Paulistas.

Disponível em: <

http://www.cpa.unicamp.br/outrasinformacoes/clima_muni_305.html>.

Acesso em: 2 dez. 2016.

CHERUBIM, L. M.; PINTO, E. B.; SILVA, G. M.; REBELO, K. M. W. O uso de Geotecnologias no processamento, ajustamento e representação de dados espaciais no processo de ensino e aprendizagem na disciplina de Geomática. *Ensino em Ciências*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 204-210, jan/jul. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1999. 236 p.

CORSEUIL, C. W. et al. Distribuição espacial do índice de qualidade da água e a relação com o uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Ratonés. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, INPE, p. 3673-3680, 2009.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. *Irriga*, Botucatu, v.14, n.1, p.1-11, jan./mar. 2009.

CURY, B. Por que fazer plantio direto. Grupo Plantio Direto, 2000. p.9-15. (Guia para Plantio Direto).

DOPPLER, W. Plant research and development. In: _____. *Irrigation as basis for development*. Tubingem: Institute for Scientific Cooperation, 1983. p.26-38.

EASTMAN, J. R. Idrisi for Windows, versão 2. Manual do Usuário: Introdução e Exercícios Tutorais. H. Hasenack & E. Weber (eds.), UFRGS/Centro de Recursos Idrisi, Porto Alegre, 1998, 240p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 306 p. 2006.

- FERRANTE, J. E. T. O uso do sensoriamento remoto e do sistema de informação geográfica no mapeamento geotécnico regional. ITEM: Irrigação e Tecnologia. v.42, p.17-20, 1990.
- FERREIRA, C. C. M. Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais. 1997. 158 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1997.
- FERREIRA, M. C. Considerações teórica-metodológicas sobre as origens e a inserção do Sistema de Informação Geográfica na Geografia. In: VITTE, A. C. (org.) Contribuições à história e à epistemologia da geografia. RJ: Bertrand Brasil, 2007.
- FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. 1. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008.
- GARCIA, A. Utilização da temperatura do dossel, na estimativa de índices de estresse hídrico para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). 2000. 135f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.
- GARCIA, Y. M. Conflitos de uso do solo em APPs na bacia hidrográfica do Córrego Barra Seca (Pederneiras/SP) em função da legislação ambiental. 2014.126 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2014.
- JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução de EPIPHANIO, J. C. N. 2. ed. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p.
- LEPSCH, I. F., BELLINAZZI Jr., R., BERTOLINI, D., ESPÍNDOLA, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4º aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.
- MACBRATNEY, A. B.; ODEH, I. O. A. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. Geoderma, Amsterdam, v.77, p. 85-113,1997.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. Irrigação – princípios e métodos. Viçosa: UFV. 2006. 318p.
- MEDEIROS, J. S.; CÂMARA, G. Geoprocessamento para projetos ambientais. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. cap. 10, p.1-36.

MIRANDA, J. I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. 2. Ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa, 2010. 425 p.

MOURA, A. C. M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência, 2014, 286 p.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. 3. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2008. 363 p.

OLIVEIRA, M.L.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 9, n. 4. p. 535-539. 2005.

ONU. FAO, FIDA y PMA. 2015. El Estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 em relación con el hambre: balance de los desiguales progresos. Roma, FAO.

PETERSEN, G. W.; BELL, J. C.; MCSWEENEY, K.; NIELSEN, A. G.; ROBERT, P.C. Geographic informations systems in agronomy. Advances in Agronomy, Newark, v. 55, p. 67-111, 1995.

PIRES, E. V. R.; SILVA, R. A.; IZIPPATO, F. J.; MIRANDOLA, P. H. Geoprocessamento aplicado a análise do uso e ocupação da terra para fins de planejamento ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego Prata – Três Lagoas (MS). Revista Geonorte, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1528-1538, 2012.

PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e de trigo sob pivô central. Bragantia, Campinas, v. 50, n. 1, p.153-162, 1991.

PIROLI, E. L. Prefácio à primeira edição. In: BENINI, S. M. (Org.). Uso de Sistemas de Informação Geográfica na análise ambiental em bacias hidrográficas. 1. ed. Tupã, SP: Editora ANAP, 2015, 139 p.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D. Escoamento superficial. Viçosa: UFV, 2 ed. 2006. 87p.

ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 2000. 220 p.

RODRIGUES, L.N.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M.; SEDIYAMA, G.C. O modelo de Ritchie na determinação da evapotranspiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado. Revista Ceres, Viçosa, v. 44, n. 252, p.191-204, 1997.

- RODRIGUES, M. T. Comportamento de Sistemas de Informações Geográficas por meio de classificação supervisionada em diferentes bacias hidrográficas. 2015. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2015.
- RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; TAGLIARINI, F. S. N. Comparação do desempenho de Sistemas de Informação Geográfica (IDRISI Selva e ArcGIS®) por meio de processamento digital de imagem. Fórum Ambiental da Alta Paulista, Tupã, v. 10, n. 2, p. 265-280, 2014.
- ROSA, R. Geomática no Brasil: Histórico e perspectivas futuras. **GeoFocus** - Informes y comentarios -, Bellaterra, n. 9, p. 29- 40, 2009.
- ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 81-90. 2005.
- SCOLPEL, E. E.; ASSAD, E. D.; ORIOLI, A. L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E. D, SANO, E. E. Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1993 – p. 157-70.
- SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo, por R.D dos Santos e outros autores. 5ª ed. revista e ampliada Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de solos, 2005. – 100p.
- SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia aplicada à irrigação In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. Irrigação, 1. Piracicaba: SBEA. 2001 p.63-120 (Série Engenharia Agrícola).
- SHIMABUKURO, Y. E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. Ceres, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 399-409, 2015.
- 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.
- SILVA, M.L.N.; BAHIA, V.G.; BARROSO, D.G. Perdas de solo em sistemas de preparo convencional e direto. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p.44-50, 1992.
- SILVEIRA, G. R. P. Geomática aplicada na caracterização conservacionista de uma bacia hidrográfica no município de São Manuel (SP). 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2016.

STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo de água do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 29, n. 6, p.939-954, 1994.

TOMLIN, C. D. Map algebra: one perspective. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdam , v. 30, n. 1-2, p. 3-12, 1994.

URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 3, p.497-506, 2000.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 3, p.621-633, 2000.