

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Engenharia Agrícola e Ambiental

Filipe Mateus Sulzbach

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS APTAS PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL UTILIZANDO SIG: APLICAÇÃO EM UNAÍ -
MG**

Unai
2019

Filipe Mateus Sulzbach

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS APTAS PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL UTILIZANDO SIG: APLICAÇÃO EM UNAÍ -
MG**

Monografia apresentada como requisito para conclusão da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

Orientador: Prof. Dr. Hermes Soares da Rocha

Coorientador: Prof. Dr. André Medeiros de Andrade

Unai

2019

Aos meus pais José Eriberto Sulzbach e Elaine Jacinto Sulzbach.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pelo seu amor infinito, por me abençoar e iluminar meus passos nessa caminhada.

A minha família, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A minha namorada, melhor amiga e companheira de todas as horas, Marília Gabriela, pelo carinho, compreensão e amor.

Aos Professores Hermes Soares da Rocha e André Medeiros de Andrade, pela orientação, apoio, confiança e paciência.

Aos amigos que conquistei durante esses anos de graduação, pela amizade e parceria.

A Universidade, docentes e técnicos, por todo apoio e por proporcionarem um ambiente propício para o desenvolvimento do meu trabalho.

A todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para minha formação.

RESUMO

O município de Unaí, localizado no noroeste de Minas, tem sua economia baseada na agropecuária, principalmente na produção de grãos e encontra-se em um dos maiores perímetros irrigados do mundo pelo sistema de irrigação por pivô central. Esse sistema tem características de funcionamento e aplicação de água que o tornam bastante eficiente para o que se propõe. Porém, é necessário atender a requisitos mínimos para implantação e funcionamento do sistema. Técnicas de geoprocessamento podem ser utilizadas para análises espaciais na agricultura, podendo ser aplicada para definição de áreas de aptidão para instalação de irrigação por pivô central. Com isso, o objetivo do trabalho foi identificar e quantificar áreas aptas para a implantação do sistema de irrigação por pivô central no município de Unaí-MG, utilizando as técnicas de geoprocessamento. Foram adotadas camadas de informação e definidos pesos para cada classe, para uma posterior sobreposição ponderada de dados. As camadas adotadas foram: declividade (0 - 5, 5 - 10, 10 - 15, 15 - 30 e maiores que 30%); distância de corpos hídricos (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 e 4000 m); classe de solos (Latosolo, Cambissolo, Argissolo, Plintossolo, Neossolo e Gleissolo); e o uso e cobertura do solo (uso agrícola e uso não agrícola). Para o processamento dos dados foi utilizado o programa QGIS. Foi possível identificar áreas com potencial para implantação de irrigação por pivô central e observou-se que as áreas ótimas para implantação coincidem com regiões que apresentam baixas declividades, boa proximidade com cursos hídricos, composto por latossolo e áreas de uso agrícola, o que era esperado, visto que são as melhores características para implantação do sistema. Concluiu-se que o município tem um grande potencial de expansão da agricultura irrigada e a metodologia utilizada mostra-se como uma alternativa viável para estudo de aptidão para implantação de sistemas de irrigação por pivô central.

Palavras-chave: Irrigação, Análises espaciais, SIG.

ABSTRACT

Unaí City, located in the north-west of Minas Gerais-Brazil, has the economy based on farming, mainly in grain production and is located in one of the largest irrigated perimeters in the world by the central pivot irrigation system. This system has characteristics of operation and application of water that make it quite efficient for what is proposed. However, minimal requirements are necessary for the implementation and operation of this system. Geoprocessing techniques can be used for spatial analysis in agriculture, and can be applied to define suitable areas for central pivot irrigation. Thus, the objective of this work was to identify and quantify areas suitable for the implantation of the central pivot irrigation system in the Unaí, using geoprocessing techniques. We adopted information layers and defined weights for each class, for a later weighted overlap of data. The layers adopted were: slope (0 - 5, 5 - 10, 10 - 15, 15 - 30 and greater than 30%); distance of water bodies (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 and 4000 m); soil types (Latosol, Cambisol, Argissolo, Plintosso, Neossolo and Gleissolo); and land use and cover (agricultural use and non-agricultural use). The QGIS program was used for the data processing. It was possible to identify areas with potential for implantation of central pivot irrigation and it was observed that the optimal areas for implantation coincide with regions that have low slopes, good proximity to water bodies, composed of latosol and areas of agricultural use, what was expected, since they are the best characteristics for the implantation of the system. Unaí has great potential for expansion of irrigated agriculture and the methodology used is shown as a viable alternative for the study of aptitude for implantation of central pivot irrigation systems.

Keywords: Irrigation, Spacial analysis, GIS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - (a) Localização do município de Unaí em Minas Gerais e (b) destaque para o limite do município de Unaí.....	26
Figura 2 - Processo de sobreposição de camadas reclassificadas por porcentagem de importância	33
Figura 3 - Modelo Digital de Elevação do município de Unaí.....	35
Figura 4 - (a) Declividade do município de Unaí e a (b) declividade reclassificada com os correspondentes pesos	36
Figura 5 - (a) Distâncias de cursos hídricos no município de Unaí e (b) distâncias de cursos hídricos reclassificadas com os correspondentes pesos.....	37
Figura 6 - (a) Classes de solo do município de Unaí e as (b) classes de solo reclassificadas com os correspondentes pesos.....	38
Figura 7 - (a) Uso e cobertura do solo do município de Unaí e o (b) uso e cobertura do solo reclassificado com os correspondentes pesos	39
Figura 8 - Mapa de aptidão para implantação de irrigação por pivô central no município de Unaí	40
Figura 9 - Hidrografia e pivôs instalados no município de Unaí.....	42
Figura 10 - (a) Área total das classes de aptidão para implantação de sistema de irrigação por pivô central em Unaí, (b) área das classes de aptidão ocupada em 2018 por sistema de irrigação por pivô central, e (c) área das classes de aptidão ainda não ocupada por sistema de irrigação por pivô central, com exceção da classe de aptidão ruim	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de declividade e pesos para cada intervalo referente a aptidão para a instalação de sistema de irrigação por pivô central.....	30
Tabela 2 - Classes de distância de corpos hídricos e pesos para cada intervalo referente a aptidão para a instalação de sistema de irrigação por pivô central.....	30
Tabela 3 - Classes de solo, características que interferem na irrigação por pivô central e os pesos para cada intervalo referente a aptidão para a instalação de sistema de irrigação por pivô central.....	31
Tabela 4 - Classes de uso e cobertura do solo e pesos para cada intervalo referente a aptidão para a instalação de sistema de irrigação por pivô central.....	32
Tabela 5 - Valores utilizados nesse trabalho e por outros autores para a ponderação de importância das classes para a instalação de sistema de irrigação por pivô central.....	33
Tabela 6 - Área total de cada classe de aptidão para implantação de sistema de irrigação por pivô central no município de Unai.....	43
Tabela 7 - Quantificação da área de cada classe ocupada por sistema de irrigação por pivô central em 2018 no município de Unai.....	43
Tabela 8 - Quantificação da área de cada classe ainda não ocupada por sistema de irrigação por pivô central no município de Unai.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
Ageitec	Agência Embrapa de Informação Tecnológica
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEDE	Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Landsat	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PCPER I	Projeto de Colonização Paracatu - Entre RIBEIROS I
PLANOROESTE	Plano Integrado de Desenvolvimento do Noroeste Mineiro
PMU	Prefeitura Municipal de Unai
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	21
3 REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1 Sistema de irrigação por pivô central	22
3.2 Análise espacial utilizando SIG	23
4 METODOLOGIA	25
4.1 Área de estudo	25
4.2 Camadas de informação	27
4.2.1 Camada de declividade	28
4.2.2 Camada de distância de corpos hídricos	29
4.2.3 Camada classe de solo	30
4.2.4 Camada de uso e cobertura do solo	31
4.3 Mapa de aptidão agrícola	31
4.4 Pivôs Centrais instalados	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Unai é um município situado no Noroeste do estado de Minas Gerais, com área de 8.448,082 km², população de 77.565 habitantes e possui características típicas da região dos Cerrados (IBGE, 2010). Segundo Xavier *et al.* (2005), do ponto de vista agropecuário, Unai apresenta uma característica especial: a área municipal está dividida em duas partes, conhecidas como as terras da chapada e do vão, sendo que as primeiras são terras planas de Cerrado ocupadas a partir da década de 1970 por empreendimentos agropecuários de grande porte, destacando-se nessas unidades os cultivos de milho, soja e feijão, onde estes produtores adotam tecnologias como irrigação por pivô-central e equipamentos agrícolas, obtendo produtividade elevada. As terras da chapada apresentam menor fertilidade que as do vão, o que exige investimentos em correção do solo e adubação. Ainda segundo Xavier *et al.* (2005), o vão localiza-se na parte mais baixa e possui terras de melhor qualidade química, sendo composto de estabelecimentos de tamanhos médio e pequeno, dedicando-se à pecuária, sobretudo, para produção de leite e culturas de subsistência, com explorações típicas de agricultura familiar nessa região (XAVIER *et al.*, 2005).

Com o crescimento populacional, a humanidade vê-se compelida a usar a maior quantidade possível de solo agricultável, o que vem impulsionando o uso da irrigação, não só para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas, como para tornar produtivas as áreas áridas e semiáridas do globo (LIMA *et al.*, 1999).

A agricultura irrigada tem sido importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, proporcionando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda de forma estável. Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas (MANTOVANI *et al.*, 2009).

É importante ter em mente a importância da agricultura irrigada, que apresenta muitas vantagens, destacando-se a maior produção (mais de um plantio por ano), produtividade (melhores condições de desenvolvimento da cultura) e geração de empregos permanentes com os menores níveis de investimento comparativamente a outros setores da economia, promovendo o aumento da renda e a diminuição do êxodo rural e melhorando sensivelmente as condições de vida dos produtores e suas famílias (BERNARDO *et al.*, 2006).

A irrigação não deve ser considerada isoladamente, mas sim como parte de um conjunto de técnicas utilizadas para garantir a produção econômica de determinada cultura, com adequado manejo dos recursos naturais. Para isso, devem-se levar em conta os aspectos de

sistemas de plantios, de possibilidades de rotação de culturas, de proteção dos solos, de fertilidade do solo, de manejo integrado de pragas e doenças e de mecanização etc., perseguindo-se a produção integrada e a melhor inserção nos mercados (MANTOVANI *et al.*, 2009). Além disso devem ser levados em consideração a física do solo e a relação entre água, solo, planta e atmosfera.

Em busca de aumentar a produção, diminuir os custos e se tornar mais competitivo, o produtor rural busca novas tecnologias de produção. Uma destas tecnologias é a irrigação a partir de pivôs centrais, que cresce vertiginosamente em Unai. No entanto, este tipo de tecnologia necessita de alto investimento e, para minimizar os riscos envolvidos faz-se necessário conhecer não somente as variáveis de mercado, mas também o meio físico da área a ser irrigada. Entendendo o contexto físico da região podemos antever alguns problemas e antecipar as soluções cabíveis possibilitando um planejamento mais eficiente (SOARES *et al.*, 2007).

Segundo Bernardo *et al.* (2006), o sistema de irrigação por aspersão usando-se pivô central ocupa área significativa no Brasil e no mundo, sendo um dos grandes responsáveis pela expansão da irrigação nos dias atuais. Essa crescente utilização do pivô central se deve às suas características de funcionamento e aplicação de água, que conseguiu agrupar características adequadas de eficiência no uso da água, custos competitivos e facilidades operacionais (BERNARDO *et al.*, 2006). No Brasil, o sistema de irrigação por pivô central é utilizado principalmente para irrigação de cereais, embora seja crescente sua utilização em fruticultura e pastagens (FOLEGATTI *et al.*, 1998).

Com a crescente demanda por alimentos, a procura por áreas aptas a irrigação por pivô central também tem aumentado, assim o uso dos sistemas de informações geográficas (SIG's) juntamente com o sensoriamento remoto aparecem como ferramentas importantes para a identificação de áreas aptas a agricultura irrigada. Um importante dado de sensoriamento remoto utilizado para a obtenção de informações altimétricas da superfície terrestre é o radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), o qual fornece o Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado em muitas análises geomorfológicas (MARTINS *et al.*, 2015).

O uso das diversas técnicas de geoprocessamento apresenta grande potencial para análise de áreas aptas para irrigação por pivô central como feito por Gomes *et al.* (2017), no município de Santa Helena de Goiás-GO, e Martins *et al.* (2015), no município de Paracatu-MG.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral desse estudo foi identificar áreas aptas para a implantação de sistemas de irrigação por pivô central no município de Unaí-MG, utilizando técnicas de geoprocessamento.

Como objetivo específico, buscou-se confrontar o mapa gerado de aptidão para implantação de sistemas de irrigação por pivô central com os dados de pivôs mapeados no município no ano de 2018.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Sistema de irrigação por pivô central

A irrigação é uma técnica milenar que nos últimos anos tem-se desenvolvido acentuadamente, apresentando equipamentos e sistemas para as mais distintas condições. A história da irrigação confunde-se com a do desenvolvimento e prosperidade econômica dos povos. As civilizações antigas se desenvolveram-se em regiões áridas, onde a produção só era possível graças à irrigação. O contínuo crescimento da população mundial vem exigindo uma agricultura competitiva e tecnificada, que possibilite a produção de alimentos de melhor qualidade e em maior quantidade (BERNARDO *et al.*, 2006).

Em 1952, criou-se o sistema de irrigação por pivô central, em Colorado (EUA), mas, até 1960, seu uso ainda não estava consolidado. A partir de 1961 é que começou a ser empregado com mais frequência. Em 1973, somente nos EUA, já se irrigavam 800.000 ha por pivô central. Atualmente, seu uso já está difundido na maioria dos países, existindo mais de quatro milhões de hectares irrigados por este sistema (BERNARDO *et al.*, 2006).

Como qualquer outro sistema de irrigação, o objetivo do equipamento é distribuir água de maneira uniforme e controlada na área irrigada, utilizando o mínimo de energia e preservando o meio ambiente. Para conseguir isto, após sua invenção, vários aperfeiçoamentos foram introduzidos no equipamento para suprir as novas exigências da agricultura irrigada (FOLEGATTI *et al.*, 1998).

O pivô central consiste em uma longa tubulação apoiada sobre torres acima do solo, diferenciando-se dos demais sistemas de irrigação por aspersão, principalmente porque a cultura é irrigada enquanto uma tubulação com emissores conectados gira em torno de um ponto fixo ou pivô. Disso resulta que a velocidade média de deslocamento dos emissores aumenta do centro para a periferia da área e, conseqüentemente, diminui o tempo disponível para aplicação de água por unidade de comprimento da lateral, fazendo com que a precipitação dos emissores também aumente (HEERMANN; KOHL, 1983 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2004).

A irrigação no nosso País é considerada pequena frente ao potencial estimado, à área agrícola total, à extensão territorial e ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica. Por outro lado, as séries históricas demonstram que os incrementos anuais de área irrigada no Brasil têm sido fortes e persistentes nas últimas décadas,

intensificando-se nos últimos anos, indicando que o potencial tem sido cada vez mais aproveitado (ANA, 2017).

Perante a importância da irrigação para a produção agrícola, a identificação de áreas aptas para implantação dos sistemas de irrigação é fundamental no processo de desenvolvimento da agricultura brasileira (AYERS; WESTCOT, 1994 *apud* LIMA *et al.*, 2013). A seleção das características mais adequadas de um sistema pivô central depende de um estudo do meio agrícola onde será instalado, principalmente características do solo, topografia, clima, culturas a serem irrigadas e da disponibilidade e do custo de energia (FOLEGATTI *et al.*, 1998). Bernardo *et al.* (2006), considerou como limitação para implantação do sistema: o solo, a topografia e a cultura. Além desses parâmetros, a disponibilidade hídrica, conflitos pelo uso da água, qualidade e acesso a fontes de energias são fundamentais no planejamento de novos projetos de irrigação (GOMES *et al.*, 2017). Ainda é importante observar as características de uso e cobertura do solo.

3.2 Análise espacial utilizando SIG

Desde os tempos remotos até a atualidade, as informações e dados espaciais têm sido apresentados de forma gráfica pelos antigos geógrafos e cartógrafos e, utilizados por navegadores e demais profissionais. A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades rurais e urbanas, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. A obtenção de informações sobre a distribuição geográfica dos recursos naturais alavancou o desenvolvimento de inúmeros países, permitindo a ocupação territorial (ROSA, 2011).

No mundo contemporâneo, analisar a dinamicidade da sociedade no espaço geográfico e as relações que o homem mantém com o mesmo torna-se de extrema importância em estudos de planejamento e monitoramento do espaço, tendo em vista algumas questões surgidas nas últimas décadas relacionadas ao uso sustentável dos recursos naturais (KALISKI, 2010).

A análise espacial faz a ligação entre o domínio essencialmente cartográfico e as áreas de análise aplicada, estatística e a modelagem, permitindo combinar variáveis georreferenciadas e, a partir delas, criar e analisar novas variáveis. Analisar significa fragmentar, decompor em partes ou componentes visando uma identificação da estrutura e compreensão de um sistema. A complexa realidade do espaço geográfico pode ser, em um

contexto de análise espacial, fragmentada nas suas componentes ou derivadas obtidas a partir de uma base informativa geral. Assim análise espacial significa também extrapolação e criação de nova informação susceptível de permitir uma melhor compreensão, numa perspectiva isolada ou integrada (ROSA, 2011).

O desenvolvimento da tecnologia de computadores e de ferramentas matemáticas para análise espacial, que ocorreu na segunda metade do século XX, abriu possibilidades diversas, entre elas a habilidade de armazenar, recuperar e combinar os dados disponíveis sobre um território (CRUZ; CAMPOS, 2005).

No Brasil, assim como nas demais partes do mundo, os avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos, com o aumento do poder e velocidade de processamento dos computadores, com as novas tecnologias de armazenamento, com a queda significativa nos preços dos equipamentos e softwares, com a maior oferta de dados de sensores remotos, aliado à diminuição nos custos de aquisição e conversão de dados, tem contribuído para a disseminação e popularização das tecnologias que possibilitam análise espacial (ROSA, 2011).

Compreender a distribuição espacial de dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço constitui hoje um grande desafio para elucidar questões centrais em diversas áreas do conhecimento, seja em saúde, em ambiente, em geologia, em agronomia, entre tantas outras. Tais estudos vêm se tornando cada vez mais comuns, devido à disponibilidade de sistemas de informação geográfica (SIG) de baixo custo e com interfaces amigáveis. Esses sistemas permitem a visualização espacial de variáveis como população de indivíduos, índices de qualidade de vida ou vendas de empresa numa região através de mapas. Para tanto, basta dispor de um banco de dados e de uma base geográfica (como um mapa de municípios), e o SIG é capaz de apresentar um mapa colorido permitindo a visualização do padrão espacial do fenômeno (CÂMARA *et al.*, 2002). Sistemas de Informação Geográfica, ou abreviadamente SIG's, são sistemas de informação construídos especialmente para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente e indispensável para tratá-los. Dados geográficos são coletados a partir de diversas fontes e armazenados via de regra nos chamados bancos de dados geográficos (CÂMARA *et al.*, 1996).

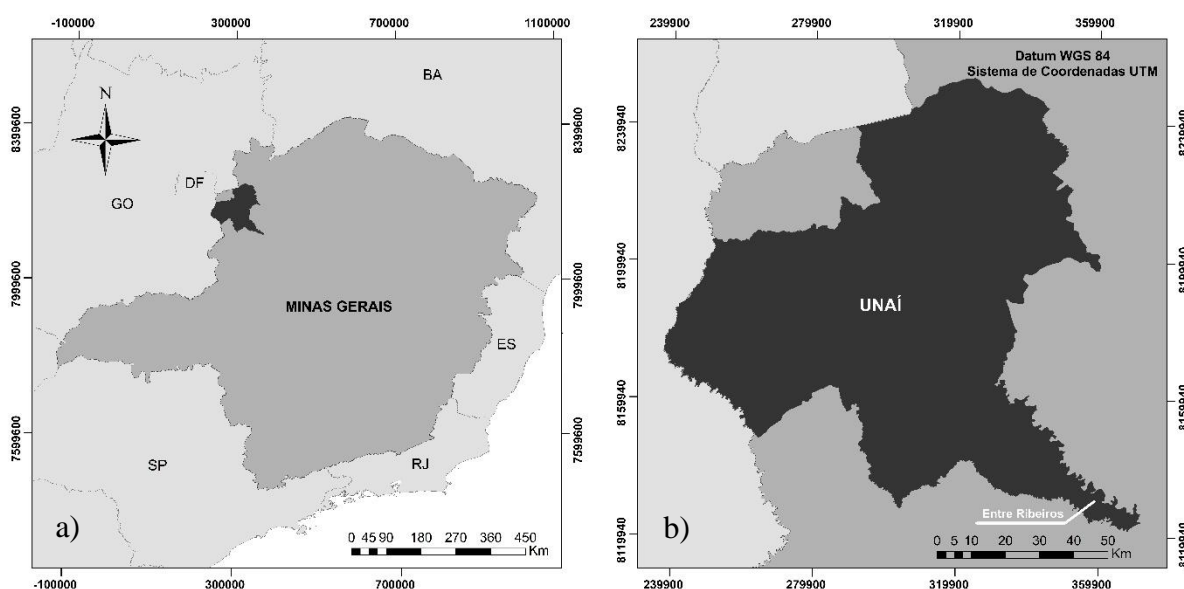
4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A área estudada corresponde ao município de Unaí, localizado na região noroeste do estado de Minas Gerais, com as coordenadas geográficas do centroide do município sendo 16°21'50" S e 46°54'15" O. As informações cartográficas do município foram obtidas da Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais (IEDE).

O relevo de Unaí possui 60% de sua área plana, 25% ondulada e 15% montanhosa, pertencendo à sub bacia hidrográfica do Rio São Francisco (PMU, 2019). A precipitação média anual oscila de 1.200 mm a 1.400 mm, com as chuvas concentrando-se no período de outubro a março, sendo o trimestre mais chuvoso o de novembro a janeiro. A estação seca, com duração de cinco a seis meses, coincide com os meses mais frios, sendo a temperatura média anual de 24,4 °C, a temperatura máxima média de 29,8 °C e a temperatura mínima média de 14,6 °C. A umidade relativa média varia de 60% a 70% (IBGE, 2013; SEBRAE MINAS, 1999 apud GASTAL *et al.*, 2014).

Figura 1 - (a) Localização do município de Unaí em Minas Gerais e (b) destaque para o limite do município de Unaí



As classes de solos predominantes na sub bacia hidrográfica Rio Preto, região que engloba praticamente toda a área de vão do município, são os Latossolos, Argissolos,

Cambissolos e Neossolos (BORGES *et al.*, 2007). Segundo dados da Embrapa ainda é possível identificar manchas significativas de Gleissolos e plintossolos.

Segundo a Embrapa (2019), os latossolos são solos profundos, bem drenados, de porosos a muito porosos. Estes solos são friáveis (diz respeito à facilidade de esboroamento do material de solo), com horizonte superficial pouco espesso e com baixos teores de matéria orgânica. Possuem boas condições físicas que, aliadas ao relevo plano ou suave ondulado onde ocorrem, favorecem a mecanização e utilização com as mais diversas culturas adaptadas à região.

Argissolos são solos minerais com nítida diferenciação entre os horizontes, reconhecida em campo especialmente pelo aumento, por vezes abrupto, nos teores de argila em profundidade. Sua retenção de água é maior nos horizontes abaixo da superfície (subsuperficiais), que podem se constituir em um reservatório de água para as plantas. Os Argissolos tendem a ser mais suscetíveis aos processos erosivos devido à relação textural presente nestes solos, que implica em diferenças de infiltração dos horizontes superficiais e subsuperficiais. No entanto, os de texturas mais leves ou textura média e de menor relação textural são mais porosos, possuindo boa permeabilidade, sendo, portanto, menos suscetíveis à erosão (EMBRAPA, 2019).

Segundo a Embrapa (2019), os cambissolos são solos pouco desenvolvidos, que ainda apresentam características do material originário (rocha) evidenciado pela presença de minerais primários. Variam de solos pouco profundos a profundos, sendo normalmente de baixa permeabilidade. Em áreas mais planas, os Cambissolos, principalmente os de maior fertilidade natural, argila de atividade baixa e de maior profundidade, apresentam potencial para o uso agrícola. Já em ambientes de relevos mais declivosos, os Cambissolos mais rasos apresentam fortes limitações para o uso agrícola relacionadas à mecanização e à alta suscetibilidade aos processos erosivos.

Neossolos são solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso, com insuficiência de manifestação dos atributos diagnósticos que caracterizam os diversos processos de formação dos solos, seja em razão de maior resistência do material de origem ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo) que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. Os neossolos apresentam fortes limitações para o uso agrícola relacionadas à restrição a mecanização e à forte suscetibilidade aos processos erosivos (EMBRAPA, 2019).

Segundo a Embrapa (2019), os gleissolos encontram-se permanentemente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente ou a saturação é por fluxo lateral no solo. São solos mal ou muito mal drenados, em condições naturais. O manejo adequado dos gleissolos requer cuidados com a drenagem pelo risco de causar liberação de enxofre

O Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) define os plintossolos como solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário, todos provenientes da segregação localizada de ferro, que atua como agente de cimentação (EMBRAPA, 2006). São fortemente ácidos, podem apresentar saturação por bases baixa (distróficos) ou alta (eutróficos), predominando os de baixa saturação. Verificam-se também solos com propriedades solódica e sódica (EMBRAPA, 2019).

4.2 Camadas de informação

O trabalho foi realizado em ambiente SIG utilizando o *software* QGIS 3.4[®] para a integração e processamento dos dados espaciais. As variáveis consideradas como pré-requisito para a implantação de um sistema de irrigação por pivô central foram: declividade do terreno, distância de corpo hídrico, classe de solo e uso e cobertura do solo. Essas quatro camadas formam as camadas de informação fundamentais para obtenção das áreas aptas para instalação desses sistemas de irrigação por pivôs centrais.

As camadas de informação foram definidas de acordo com os requisitos principais que influenciam na implantação de um sistema de irrigação por pivô central e a possibilidade de trabalhar essas informações em ambiente SIG. Tendo em vista que este trabalho não tem como objetivo definir uma cultura específica para a utilização da irrigação por pivô central, não foi incluída na análise uma variável cultura. Para contemplar as informações do tipo de cobertura do solo, foi utilizada a variável uso e cobertura, que foi definida como restritiva, pois existem áreas que não podem ser utilizadas para fins agrícolas por constituir áreas de vegetação natural ou por outras condições que inviabilizam a implantação. Foi inserida também como variável a distância dos corpos hídricos, pois para o funcionamento do sistema de irrigação por pivô central é necessário a captação de água em grandes volumes, sendo a distância desses corpos d'água um fator de grande influência na viabilidade de implantação.

Para cada camada foram definidas classes de acordo com suas características e essas, por sua vez, receberam pesos para serem utilizadas no algoritmo da ferramenta de

sobreposição ponderada das camadas. Os pesos foram atribuídos em uma escala variando de 1 a 9 para a implantação do sistema de irrigação por pivô central, sendo que o valor 1 implica em uma classe menos adequada, enquanto o valor 9 indica uma classe mais adequada. As áreas que não são permitidas a implantação do sistema, como em áreas com declividade superior a 30%, foram classificadas como “restrita”.

4.2.1 Camada de declividade

As informações de declividade geradas a partir dos dados SRTM com resolução de 30m, que foram obtidos gratuitamente através do *United States Geological Survey* (USGS), onde, em razão do tamanho da área de estudo, foram necessárias quatro cenas para a cobertura total da área, tendo sido realizado o mosaico das cenas. Posteriormente foi elaborado o MDE utilizando a interpolação *Triangulated Irregular Network* (TIN). Essa interpolação têm sido usada pela comunidade SIG há muitos anos, sendo meios digitais para representar a morfologia da superfície, são uma forma de dados geográficos digitais baseados em vetores e são construídos pela triangulação de um conjunto de vértices (pontos). Os vértices estão conectados com uma série de arestas para formar uma rede de triângulos (ESRI, 2019).

A ferramenta *Slope* foi utilizada para criação da declividade. A ferramenta identifica a inclinação (gradiente ou taxa de alteração máxima no valor z) de cada célula de uma superfície de varredura para gerar a informação de declividade. Os dados de declividade foram ajustados para as classes de acordo com os pesos adotados, atribuindo um valor para cada classe.

Considera-se como fator limitante na implantação de sistema de irrigação por pivô central declividades acima de 15% (BERNARDO, 2006; EVANS, 2001, apud ELZUBEIR, 2018), porém, segundo a Embrapa (2019), declividades de até 30% podem ser suportadas dependendo do tamanho de vãos entre torres. Com base nisso, a Tabela 1 apresenta as classes definidas para a declividade e os pesos atribuídos a cada classe.

Tabela 1 - Classes de declividade e pesos para cada intervalo referente a aptidão para a instalação de sistema de irrigação por pivô central

Declividade (%)	Peso
0-5	9
5-10	7
10-15	5
15-30	3
> 30	Restrito

4.2.2 Camada de distância de corpos hídricos

Para a elaboração da camada de distância de corpos hídricos foram utilizados dados em formato *shapefile* da hidrografia de Minas Gerais disponibilizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). A Tabela 2 apresenta as classes definidas para a distância de corpos hídricos e os pesos atribuídos a cada classe de acordo com Martins *et al.* (2015).

Tabela 2 - Classes de distância de corpos hídricos e pesos para cada intervalo referente a aptidão para a instalação de sistema de irrigação por pivô central

Distância (m)	Peso
0 - 500	9
500 - 1000	8
1000 - 1500	7
1500 - 2000	6
2000 - 2500	5
2500 - 3000	4
3000 - 3500	3
> 4000	2

Fonte: Adaptado de Martins *et al.* (2015)

Com a ferramenta *Multi Ring Buffer* foram criadas múltiplas áreas equidistantes de 500 metros dos corpos hídricos. A camada de buffer de cursos hídricos foi reclassificada conforme os pesos atribuídos a cada classe, onde, quanto maior a distância do curso hídrico menor é o peso. Essa metodologia de valoração da distância em relação aos corpos hídricos foi utilizada no município de Paracatu-MG por Martins *et al.* (2015).

4.2.3 Camada classe de solo

Para o preparo da camada dos tipos de solos foi utilizado um arquivo *shapefile* dos solos do estado de Minas Gerais disponibilizado pela Embrapa. A partir dos solos existentes em Unaí foi feita a análise das características principais em cada solo para posteriormente atribuir pesos para cada classe de solo. A Tabela 3 apresenta as classes definidas dos tipos de solo e os pesos atribuídos a cada classe.

Tabela 3 - Classes de solo, características que interferem na irrigação por pivô central e os pesos para cada intervalo referente a aptidão para a instalação de sistema de irrigação por pivô central

Classes de Solo	Características	Peso
Latossolo	Profundo, estruturado, bem drenado	9
Cambissolo	Raso, pedregoso, elevado teor de minerais, potencial agrícola em áreas planas	6
Argissolo	Boa retenção de água, mais suscetível a processo erosivo	6
Plintossolo	Camada endurecida, baixa penetração, fortemente ácido	1
Neossolo	Raso, baixa retenção de umidade, restrição a mecanização, mais suscetível a processo erosivo	1
Gleissolo	permanente ou periodicamente saturados por água, forte gleização, mal drenados	1

Fonte: Adaptado de Gomes *et al.* (2017)

4.2.4 Camada de uso e cobertura do solo

Para essa etapa foram utilizados dados orbitais disponibilizados gratuitamente pelo *United States Geological Survey* (USGS). Foram utilizadas 4 cenas do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat) de 8 de junho de 2018 através do sensor *Operational Land Imager* (OLI). As cenas dos satélites Landsat possuem as bandas do visível e do infravermelho próximo com resolução espacial de 30 m, sendo que o satélite Landsat 8 possui a banda pancromática com resolução espacial de 15 m. Para ampliar o detalhamento da delimitação o uso e cobertura do solo as bandas multiespectrais foram fusionadas à banda pancromática.

Após as etapas de pré-processamento da imagem, realizou-se a classificação do uso e cobertura do solo através da classificação supervisionada utilizando o algoritmo de Máxima Verossimilhança (maxver). Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2006), maxver é o método de classificação, que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. É necessário para isso a realização de uma amostragem dos *pixels* da cena, para treinamento do software. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento. Essas classes foram definidas em uso agrícola e não agrícola, onde na Tabela 4 são exibidas as classes definidas de uso e cobertura do solo e os pesos atribuídos a cada classe.

Tabela 4 - Classes de uso e cobertura do solo e pesos para cada intervalo referente a aptidão para a instalação de sistema de irrigação por pivô central

Uso e cobertura	Características	Peso
Agrícola	Agricultura, pastagem e solo exposto	9
Não Agrícola	Área urbana, vegetação natural e corpos d'água	Restrito

4.3 Mapa de aptidão agrícola

O mapa de aptidão para irrigação por pivô central foi gerado utilizando o método de análise multicritério, através da sobreposição ponderada das quatro camadas descritas anteriormente. Esse procedimento sobrepõe vários *rasters* usando uma escala de medição comum e ponderando cada um de acordo com a sua importância. Onde define-se o problema, divide-se o modelo em submodelos e identifica as camadas de entrada (ESRI, 2019).

Com essa análise foi possível estabelecer graus de influência para cada camada, com base no estudo desenvolvido de cada camada. A Tabela 5 apresenta os valores estabelecidos para a ponderação dos critérios de acordo com a influência dos mesmos no objeto de estudo e os valores adotados por outros autores em trabalhos semelhantes.

Tabela 5 - Valores utilizados nesse trabalho e por outros autores para a ponderação de importância das classes para a instalação de sistema de irrigação por pivô central

Camada	Adotado	Lima <i>et al.</i>	Martins <i>et al.</i>	Gomes <i>et al.</i>
		(2013)	(2015)	(2017)
Importância (%)				
Declividade	35	40	40	10
Distância de corpos hídricos	35	40	40	40
Classes de solo	20	20	20	10
Uso e cobertura	10	-	-	40

A Figura 2 apresenta um exemplo do processo de sobreposição das três camadas reclassificadas em uma escala de 1 à 9 utilizando como exemplo as camadas e importâncias utilizadas no trabalho. O somatório dos valores de cada célula multiplicados por sua influência percentual gera o *raster* de saída. Por exemplo, considerando a célula superior à esquerda, $(9 * 0,35) + (2 * 0,35) + (6 * 0,2) + (6 * 0,1) = 5,95$. Como o *raster* de saída é inteiro, o valor final é arredondado para 6. Porém quando em uma ou mais células o peso identificado é restrito, o valor da célula correspondente no *raster* de saída é também restrito.

Figura 2 - Processo de sobreposição de camadas reclassificadas por porcentagem de importância



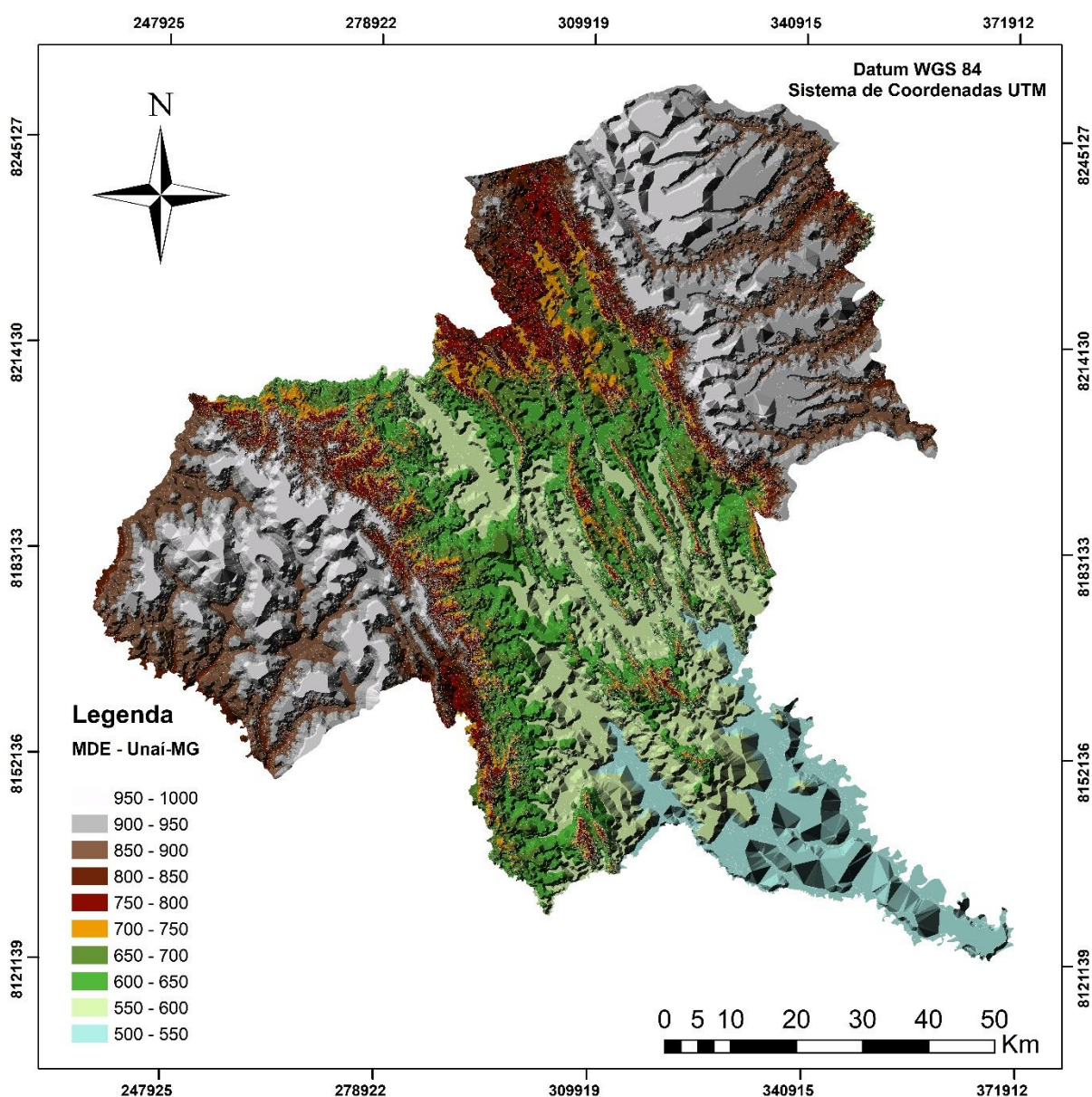
4.4 Pivôs Centrais instalados

A informação de pivôs instalados foi utilizada para contrastar o mapa obtido de aptidão para implantação de sistemas de irrigação por pivô central com os sistemas de irrigação por pivô central já instalados no município no ano de 2018. Para isso foi obtido as áreas com pivôs centrais instalados através de uma digitalização por meio de interpretação visual da imagem do satélite Landsat 8 do ano de 2018. Para facilitar essa etapa foi utilizado um arquivo *shapefile* das áreas irrigadas por pivô central no Brasil no ano de 2014, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Com esse arquivo pôde-se acrescentar ou retirar os polígonos referentes a pivôs inexistentes anteriormente ou que foram removidos posteriormente, facilitando e agilizando o processo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o Modelo Digital de Elevação gerado através da ferramenta TIN. É possível notar as variações de altitude do município e com isso diferenciar e identificar as áreas consideradas de chapada (maiores elevações, entre 800 a 1000 m) e de vão (menores elevações, entre 500 a 800 m).

Figura 3 - Modelo Digital de Elevação do município de Unaí

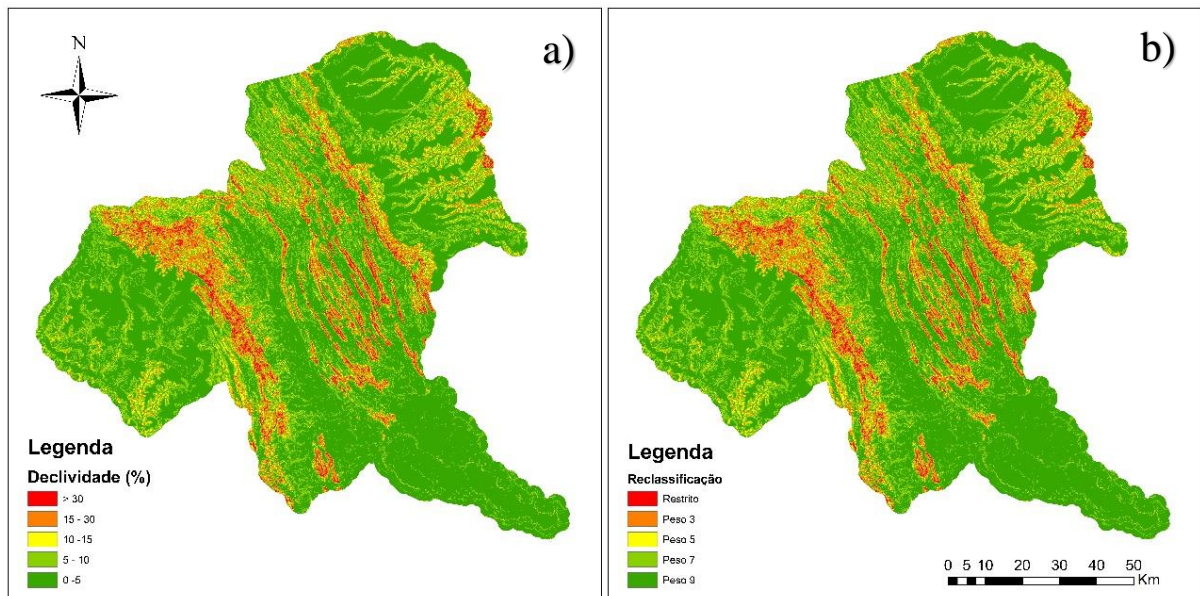


A Figura 4 apresenta o mapa gerado de declividade do município de Unaí, bem como a reclassificação com os pesos correspondentes a cada classe de declividade. A

quantidade de classes de declividade foi a mesma da quantidade de classes reclassificadas, pois todas as classes de declividade tiveram pesos diferentes. O relevo predominante no município é plano ou suave ondulado, com 56% da área com declividade até 5% seguido da classe de declividade entre 5 e 10% que engloba 24% da área do município. As áreas mais declivosas concentram-se nas faixas de dobramentos geológicos que há na região. Essa predominância de relevo até 10% é uma das razões para a grande quantidade de área irrigada por pivô central no município.

As áreas de maior declividade e de intensa operacionalização agrícola podem apresentar alguns problemas como compactação do solo, redução da permeabilidade e consequentemente o aumento do escoamento superficial (GOMES *et al.*, 2017). Portanto, áreas com maior declividade, como os dobramentos da região, não são adequados para expansão da agricultura irrigada por pivô central.

Figura 4 - (a) Declividade do município de Unai e a (b) declividade reclassificada com os correspondentes pesos

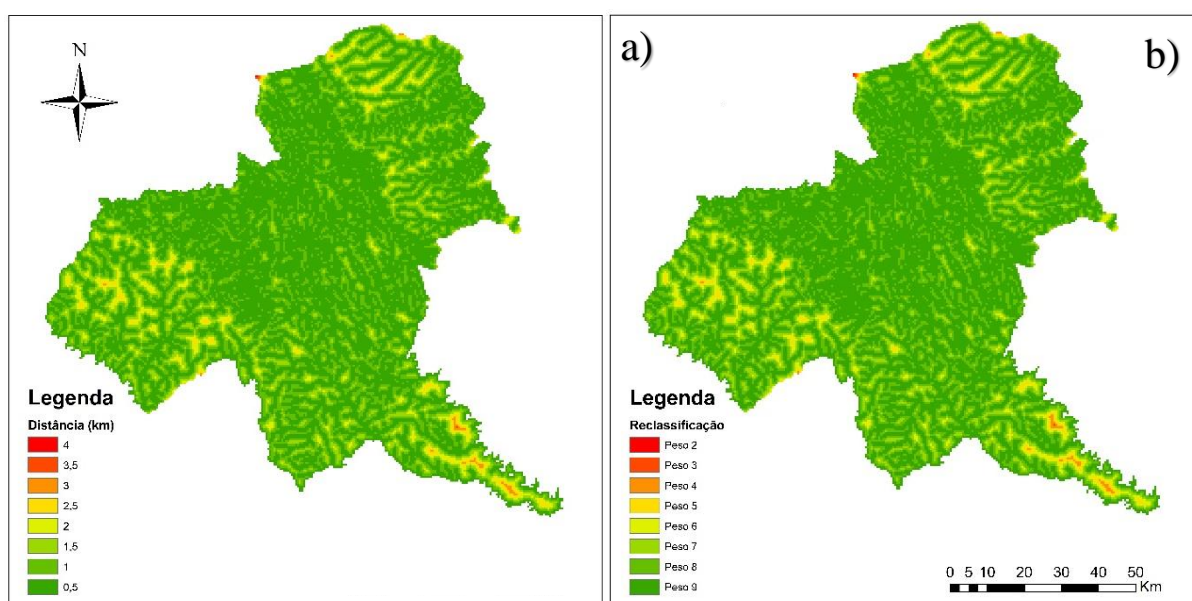


A Figura 5 apresenta o mapa gerado pela ferramenta *Multi Ring Buffer* com as classes de distâncias de corpos hídricos de 500 metros e sua reclassificação com os correspondentes pesos. De forma similar aos dados de declividade, a quantidade de classes de distância de cursos hídricos foi a mesma das classes reclassificadas. Apenas 0,2% do município apresentou distâncias próximas de 4.000 metros de cursos hídricos. As distâncias são

diretamente relacionadas aos custos com tubulações, dimensionamento do sistema de bombeamento, sendo que a ampliação da distância do ponto de captação de água aumenta gradativamente o custo de implantação do sistema de irrigação, reduzindo consequentemente a aptidão para grandes distâncias (GOMES *et al.*, 2017).

A região com maior presença de áreas críticas em relação a distância de corpos hídricos foi a região entre o ribeirão Entre Ribeiros e o rio Preto, indicada na Figura 1, que, ao contrário do resultado obtido que indica ser uma área de menor aptidão, é uma das regiões com maior densidade de irrigação por pivô central do município. Isso se dá por ser uma região integrante do Projeto de Colonização Paracatu - Entre Ribeiros (PCPER I), que foi um projeto com incentivo público-privado através do Plano Nacional de Irrigação na década de 1980. Rodriguez (2004) observou um crescimento expressivo da irrigação desde a década de 1970, principalmente em razão dos incentivos governamentais, como o Plano Integrado de Desenvolvimento do Noroeste Mineiro (PLANOROESTE). Latuf (2007) evidencia que sérios conflitos têm surgido em várias partes da bacia do Paracatu, principalmente nas sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, concentrando 53% de toda a área irrigada da bacia do Paracatu, como consequência da grande expansão da agricultura irrigada.

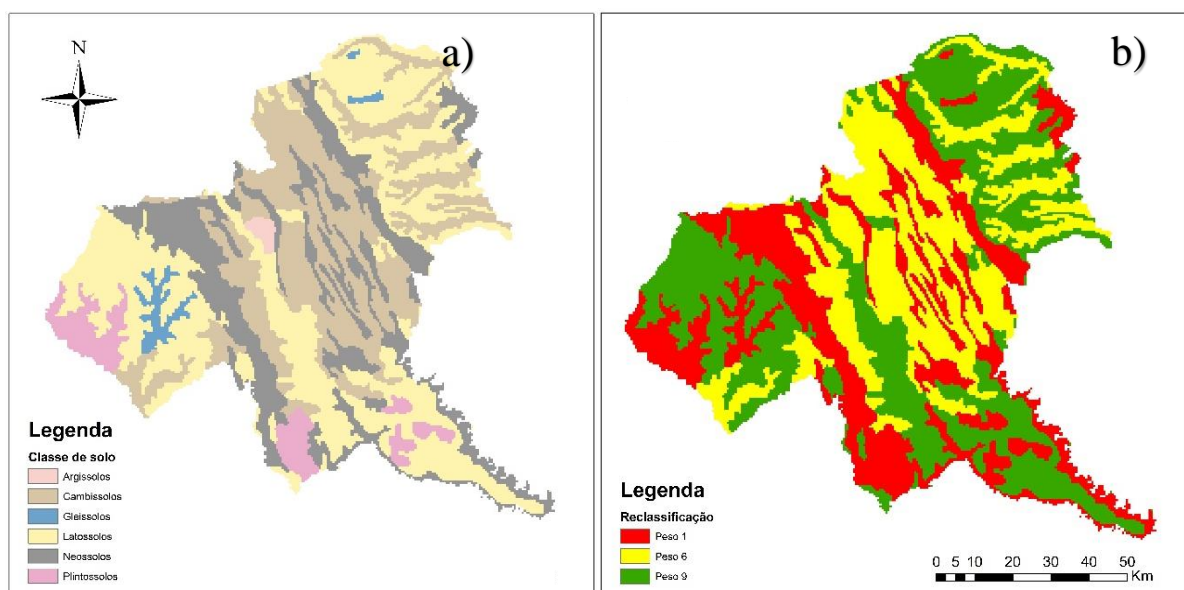
Figura 5 - (a) Distâncias de cursos hídricos no município de Unai e (b) distâncias de cursos hídricos reclassificadas com os correspondentes pesos



A Figura 6 apresenta o mapa elaborado das classes de solo presentes no município de Unaí, bem como a reclassificação das classes com seus respectivos pesos. Nos dados de solos reclassificados houve redução do número de classes em relação as classes de solo, nesse caso isso aconteceu devido aos pesos iguais dados a algumas classes, como no caso dos solos plintossolo, gleissolo e neossolo que foram classificados como solos com menor aptidão para irrigação por pivô central e por isso foram classificados com o mesmo peso.

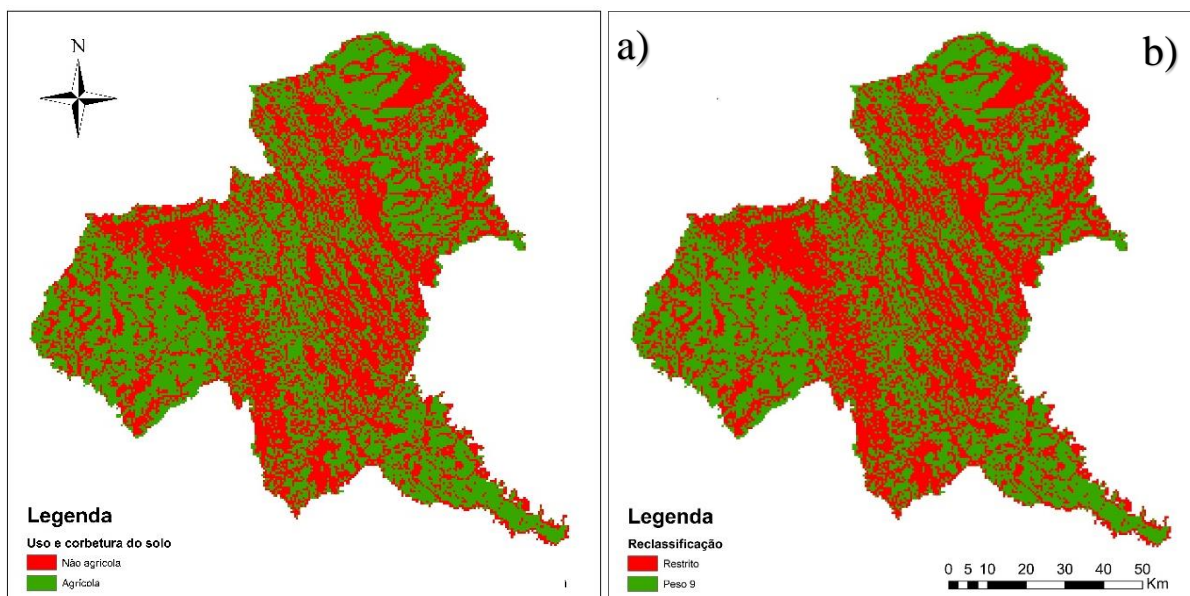
É possível notar que existe a tendência dos solos mais rasos como os neossolos estarem presentes nas regiões com declividade mais acentuada, como nos dobramentos da região. Já os cambissolos, que também são solos jovens, porém não tanto quanto os neossolos, estão mais presentes entre os dobramentos, ou seja, zonas de transição de relevo. Os latossolos localizam-se em regiões mais planas, o que permitiu o desenvolvimento das características desse solo. Os gleissolos presentes no município estão localizados em áreas próximas a cursos hídricos, o que pode justificar a presença desta classe de solo devido a estarem sujeitos a constante ou periódico excesso de água. A ocorrência dos argissolos está relacionada, em sua grande maioria, a paisagens de relevos mais acidentados, como encontrado no presente trabalho. Os plintossolos presentes no trabalho estão localizados em regiões mais planas, o que pode justificar a ocorrência dos mesmos. O município apresenta uma área de 585.000 ha considerada apta para irrigação em relação aos tipos de solo.

Figura 6 - (a) Classes de solo do município de Unaí e as (b) classes de solo reclassificadas com os correspondentes pesos



A Figura 7 apresenta o mapa elaborado do uso e cobertura do solo no município de Unaí e sua reclassificação com os correspondentes pesos. Pode se observar que há similaridade nos padrões entre os critérios avaliados, principalmente em razão da influência exercida pela topografia na configuração espacial das classes de solo e corpos de água, com essa influência refletindo no uso e cobertura do solo de forma direta e indireta. As áreas com declividade superior a 100% são obrigatoriamente áreas de preservação permanente (APP) e as áreas com declividade mais acentuada, porém inferiores a 100%, tendem a ficar intactas, devido à dificuldade de implementação de cultivo nessas áreas. Áreas próximas aos cursos hídricos normalmente são cobertas pelas matas ciliares, que também não podem ser classificadas como área agrícola, assim como as áreas urbanas e as áreas com presença de corpos hídricos. Nesse caso as áreas definidas como uso não agrícola receberam o peso restrito, pois essas áreas não poderiam ser utilizadas para a implantação de sistema de irrigação por pivô central. Portanto, o resultado do mapa dessa camada apresentou uma redução significativa das áreas aptas para implantação de pivôs centrais em relação as outras camadas utilizadas totalizando 396.399 ha não aptos para irrigação por pivô central.

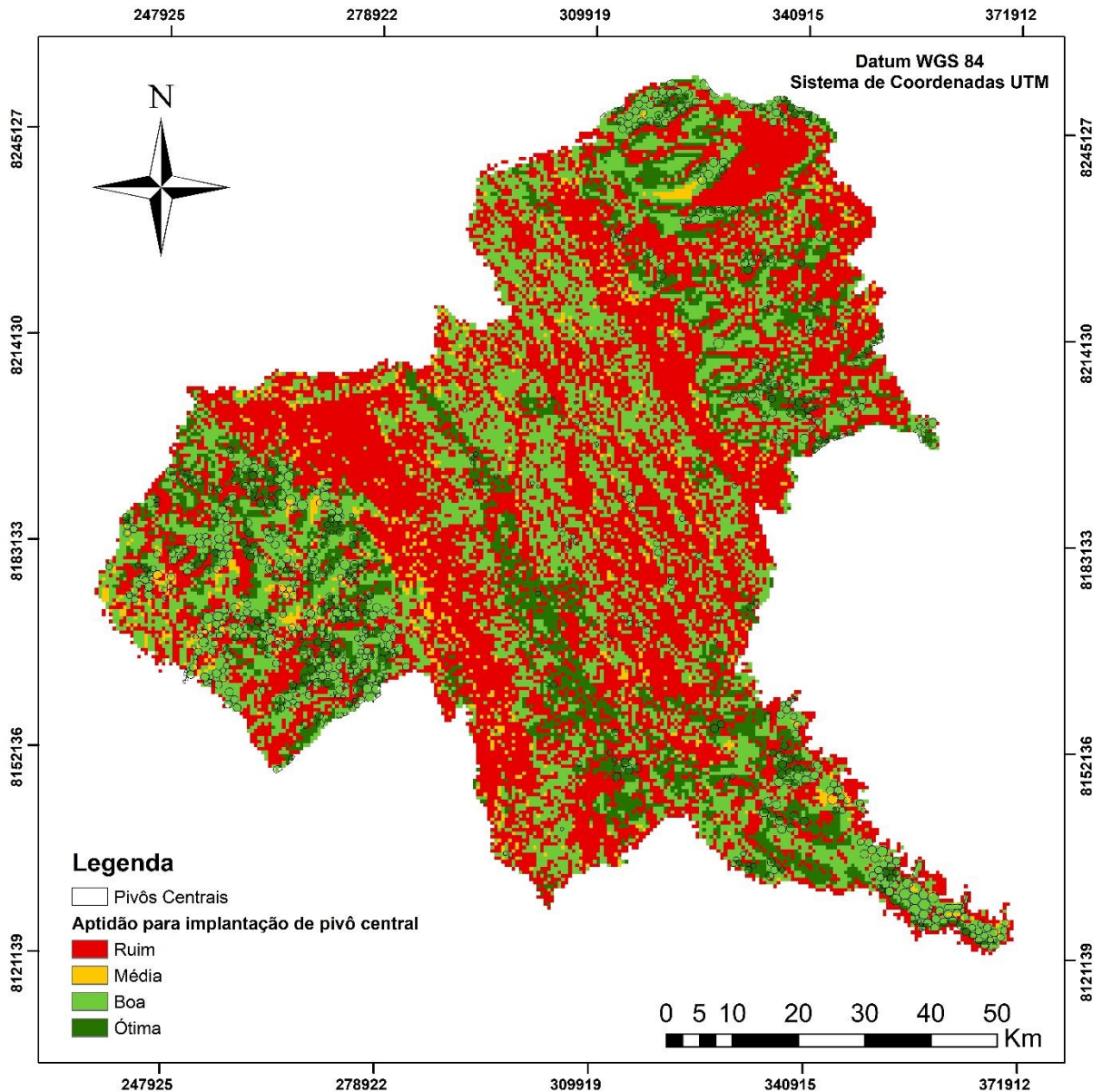
Figura 7 - (a) Uso e cobertura do solo do município de Unaí e o (b) uso e cobertura do solo reclassificado com os correspondentes pesos



A Figura 8 apresenta o mapa de aptidão para implantação de irrigação por pivô central no município de Unaí. A integração das camadas gerou o resultado de aptidão que possui

4 classes representando as características de aptidão divididas em ruim, média, boa ou ótima. Também foi integrado a esse mapa, para melhor fundamentação dos resultados, a hidrografia e os pivôs já implantados no município.

Figura 8 - Mapa de aptidão para implantação de irrigação por pivô central no município de Unaí



As áreas classificadas como ótimas para a implantação de irrigação por pivô central coincidem com regiões que apresentam baixas declividades, boa proximidade com cursos hídricos, solo da classe latossolo e áreas de uso agrícola, o que era esperado visto que são as melhores características para implantação do sistema. Gomes *et al.* (2017) encontraram, em

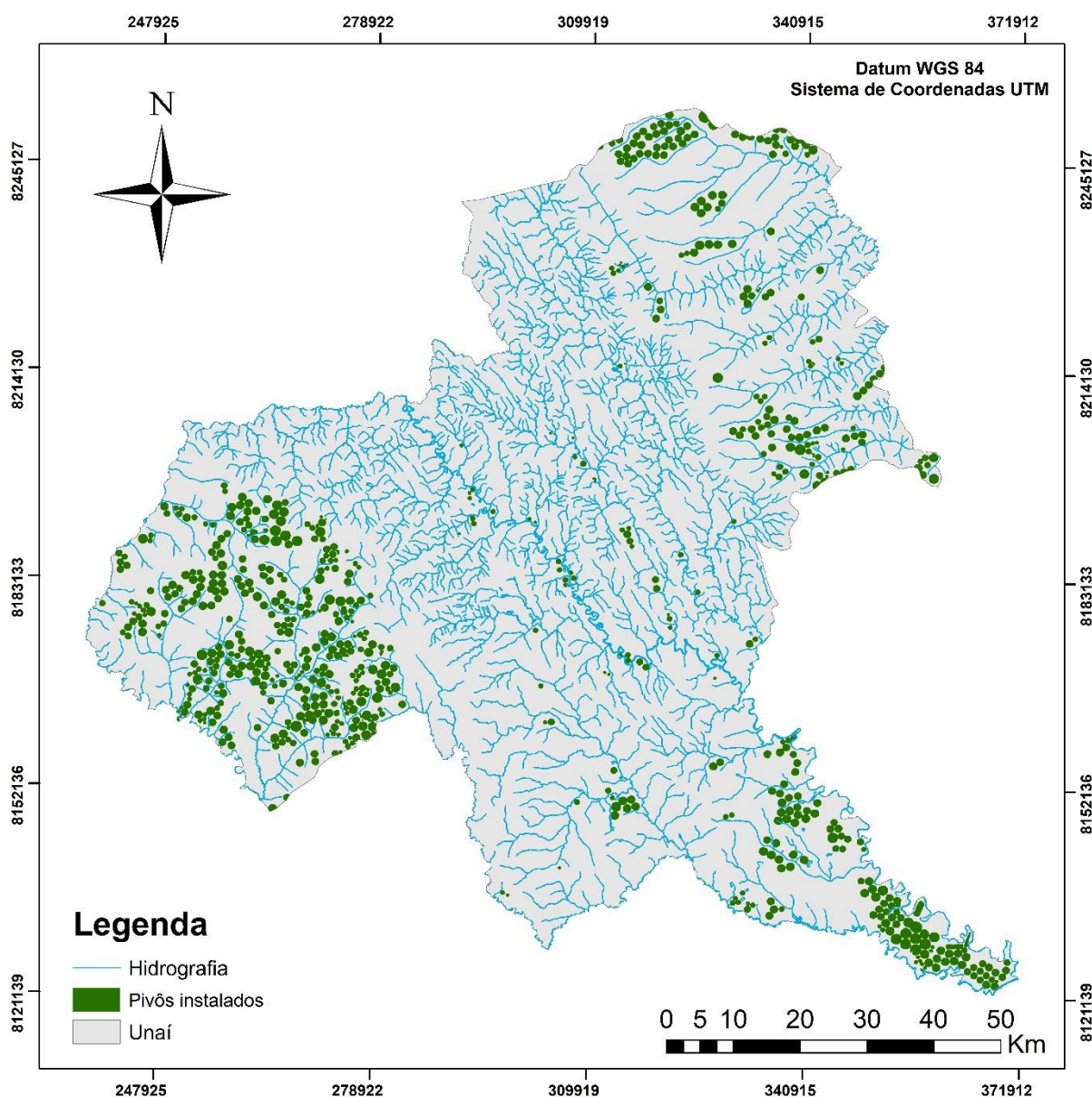
trabalho semelhante realizado no município de Santa Helena de Goiás - GO, condições favoráveis para aptidão para implantação acima de 98% da área de estudo, e justificaram isso em razão do município ter como características predominantes a baixa declividade, presença de Latossolos e grande densidade de canais superficiais.

A região entre o rio Preto e o ribeirão Entre Ribeiros apresenta predominantemente aptidão boa para a irrigação, o principal fator que inviabilizou de essa área não ser classificada com aptidão ótima é a distância dos cursos hídricos, visto que a região é predominantemente composta por latossolo e baixas declividades. Outro local a ser destacado é a região próxima à área urbana de Unai, onde apresenta em parte de sua área baixa declividade e proximidade a cursos hídricos, porém há a influência do tipo do solo que é o cambissolo, por essa razão sua aptidão é boa e não ótima. Martins *et al.* (2015), também identificaram áreas que tiveram sua aptidão prejudicada em razão da classe de solo. Levando em consideração que a declividade tem influência direta no uso e cobertura do solo e esse último tem valor binário no cálculo da sobreposição ponderada, as variações de aptidão em geral apresentaram áreas ruins para implantação as áreas da classe não agrícola do uso e cobertura do solo. Já as áreas ótimas para implantação foram obtidas em áreas que apresentaram as melhores classes de cada camada, ou seja, as que apresentaram as classes com maior peso em cada camada. As áreas que variaram entre média e boa aptidão para implantação do sistema de irrigação por pivô central foram influenciadas principalmente pela classe de solo e/ou distância de cursos hídricos.

A hidrografia apresentada na Figura 9 corrobora com o resultado pois mostra a relação dos cursos hídricos e o uso e cobertura do solo, além do resultado dessas camadas no mapa de aptidão. Um exemplo dessa relação ocorre nas regiões de chapada, onde existem normalmente ao redor desses cursos hídricos áreas de ruim aptidão para implantação, provavelmente em razão da presença de vegetação natural que restringe a implantação, e logo após, áreas de boa ou ótima aptidão para implantação em razão da pequena distância dos cursos hídricos.

Com a representação dos pivôs centrais já instalados no município obteve-se que 89% da área irrigada está localizada em áreas de boa ou ótima aptidão e que 6% da área irrigada está localizado em área de aptidão ruim, que podem ser resultados das transformações realizadas no geoprocessamento dos dados gerando alguns ruídos, pois estas áreas estão próximas a divisa das classes de aptidão e se apresentam em pequenas partes próximas a linha dos polígonos.

Figura 9 - Hidrografia e pivôs instalados no município de Unaí



A Tabela 6 apresenta a quantificação da área total de cada classe de aptidão para implantação de sistema de irrigação por pivô central no município de Unaí. As áreas ruim e média aptidão para implantação apresentam condições nulas ou mínimas para utilização de pivôs centrais representando praticamente 50 % da área do município, porém, por Unaí ser um município de grande extensão territorial, apresenta em termos quantitativos uma área significativa com ótima e boa aptidão, totalizando aproximadamente 408.000 ha para essas duas classes. Gomes *et al.* (2017), Martins *et al.* (2015) e Lima *et al.* (2013) em trabalhos realizados em Santa Helena de Goiás, Paracatu e Unaí, respectivamente, encontraram resultados diferentes

em relação a quantidade de áreas com ruim ou média aptidão para implantação, onde obtiveram valores bem inferiores para essas duas classes, porém isso pode ser explicado pela adoção da restrição para áreas não agrícolas estabelecida neste trabalho que não foram estabelecidos nos outros estudos.

Tabela 6 - Área total de cada classe de aptidão para implantação de sistema de irrigação por pivô central no município de Unaí

Classes de aptidão	Área (ha)	Porcentagem (%)
Ótima	113.636	13,58
Boa	295.747	35,34
Média	29.013	3,47
Ruim	398.416	47,61

Como era esperado, os pivôs centrais já instalados estão em sua grande maioria em áreas com aptidão boa ou ótima para implantação do sistema de irrigação por pivô central, com área próxima de 90%. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Lima *et al.* (2013), em trabalho semelhante também para o município de Unaí. A Tabela 7 apresenta a quantificação da área de cada classe já ocupada por pivô central no município de Unaí em 2018.

Tabela 7 - Quantificação da área de cada classe ocupada por sistema de irrigação por pivô central em 2018 no município de Unaí

Classes de aptidão	Área (ha)	Porcentagem (%)
Ótima	190.77	29,35
Boa	39.319	60,49
Média	2.297	3,53
Ruim	4.313	6,63

Já a Tabela 8 apresenta as áreas de cada classe que ainda não foram ocupadas por irrigação por pivô central, porém sem a classe de aptidão ruim, devido à restrição para funcionamento dos sistemas nessa classe. O município de Unaí tem aproximadamente 352.000 ha com aptidão boa ou ótima para implantação de irrigação por pivô central que ainda

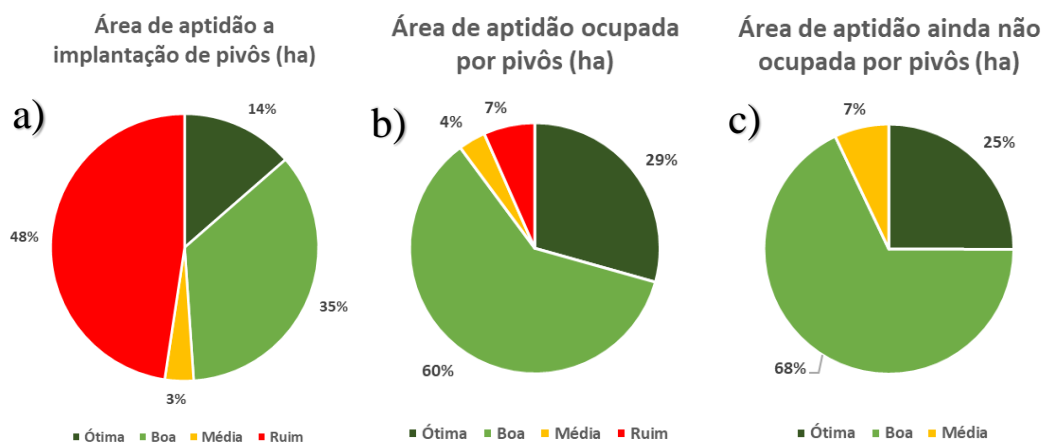
não há irrigação e ainda aproximadamente 26.000 ha com aptidão média para implantação do sistema, sendo esses resultados similares aos encontrados por Lima *et al.* (2013).

Tabela 8 - Quantificação da área de cada classe ainda não ocupada por sistema de irrigação por pivô central no município de Unai

Classes de aptidão	Área (ha)	Porcentagem (%)
Ótima	94.559	25,04
Boa	256.428	67,89
Média	26.716	7,07

Lima *et al.* (2013) observaram que aproximadamente 20% do total irrigado se encontra na classe média sendo a declividade como principal fator limitante, e ainda afirmam que a presença dos sistemas de irrigação por pivô central em áreas com limitações se justifica principalmente pela distância do corpo hídrico, assim como classes de solos em alguns casos. A Figura 9 apresenta em forma gráfica as informações das tabelas anteriores.

Figura 10 - (a) Área total das classes de aptidão para implantação de sistema de irrigação por pivô central em Unai, (b) área das classes de aptidão ocupada em 2018 por sistema de irrigação por pivô central, e (c) área das classes de aptidão ainda não ocupada em 2018 por sistema de irrigação por pivô central, com exceção da classe de aptidão ruim



6 CONCLUSÃO

Conclui-se que o município de Unai tem grande aptidão para implantação e potencial de expansão de sistemas de irrigação por pivô central.

Outras informações complementares, como mapa de aptidão de determinada cultura, podem ser integradas a este estudo, resultando em análises ainda mais específicas e com maior fundamentação para auxiliar na tomada de decisão. Além das informações de aptidão geradas nesse estudo, também devem ser levadas em consideração para implantação de um sistema de irrigação por pivô central as condições de custo e disponibilidade de energia, disponibilidade e qualidade hídrica.

O método de sobreposição ponderada apresenta bons resultados de mapeamento, resultados corroborados através da concordância entre as áreas irrigadas existentes e as áreas classificadas como aptas para irrigação. As ferramentas de análises espaciais através do SIG demonstraram ser eficientes na manipulação e integração dos dados utilizados para identificação e quantificação das áreas aptas e inaptas a implantação de sistema de irrigação por pivô central. As metodologias utilizadas nesse estudo mostraram-se viáveis para análises de aptidão para implantação de sistemas de irrigação por pivô central.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: ANA, 86 p. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Disponível em:
<<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 11 de junho de 2019.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª edição. Viçosa, MG: Editora UFV, 625 p. 2006.

BORGES, M. E. S.; SOARES, F. S.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Relação dos compartimentos geomorfológicos com o uso agrícola na bacia do rio Preto. **Espaço & Geografia**, v.10, p.453-476, 2007.

CÂMARA, G. et al. Análise espacial de áreas. **In:** FUCKS, S. D. et al. Análise espacial de dados geográficos. 1ª ed. São José dos Campos: INPE, 2002.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. SBC, X Escola de Computação, Campinas, 1996.

CRUZ, I.; CAMPOS, V. B. G. **Sistemas de Informações Geográficas aplicados à análise espacial em transportes, meio ambiente e ocupação do solo**. Rio de Transportes III. Rio de Janeiro, Brasil 2005. do SPRING. São José dos Campos: INPE, 2006.

ELZUBEIR, A. O. Survey Study of Centre Pivot Irrigation System in Northern State (Sudan). **International Journal of Science and Qualitative Analysis**, v. 4, n. 1, 2018.

EMBRAPA, Agência Embrapa de Informação Tecnológica - **Ageitec**. Disponível em:
<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 11 de junho de 2019.

EMBRAPA, **Métodos de irrigação**. Disponível em:
<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_16820051120.html>. Acesso em: 10 de junho de 2019.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, 2006.

ESRI. **How Weighted Overlay works**. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-overlay-works.htm>>. Acesso em: 26 de junho de 2019.

ESRI. **What is a TIN surface?** Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>>. Acesso em: 26 de junho de 2019.

FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C. S.; PAZ, V. P. S. Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão. **Scientia Agricola**. Piracicaba - SP, v. 55, n. 1, 1998.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO: Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais - **IEDE**. Disponível em: <<http://iede.fjp.mg.gov.br/Catalogo.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2019.

GASTAL, M. L.; XAVIER, J. H. V.; ROCHA, J. C. C. G.; MENDONÇA, A. P. B.; SILVA, W. H. da. Construção social de mercados pela agricultura familiar em Unaí, MG: potencialidades e limitações. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, DF. v. 31, n. 2, p. 315-348, 2014.

GOMES, L. F.; SOARES, J. A. B.; SANTOS, L. N. S.; GIONGO, P. R. Geotecnologias aplicada na identificação de áreas aptas a implantação de irrigação por pivô central no cerrado. In: **IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING**. Fortaleza, CE. 2017.

IBGE. **Área territorial brasileira**. Rio de Janeiro, 2019.

IBGE. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro, 2010.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Manuais: tutorial de geoprocessamento**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em: 23 de junho de 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS - **IGAM**. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/1312-hidrografia>>. Acesso em: 11 de junho de 2019.

KALISKI, A. D.; FERRER, T. R.; LAHM, R. A. Análise temporal do uso do solo através de ferramentas de geoprocessamento - estudo de caso: município de Butiá/RS. **Revista eletrônica Para Onde** - N. ° 7 julho – p. 45 – 60. Dezembro de 2010.

LATUF, M. O.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. Comportamento hidrológico associado a mudanças no uso do solo nas bacias do Rio Preto e Ribeirão Entre Ribeiros. **In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, 2007.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. **O estado das águas no Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 1999.

LIMA, P. H. P.; JUSTINA, D. D. D.; LIMA, L. E. P.; PRUDENTE, V. H. R.; SOUZA, C. H. W.; MERCANTE, E. Identificação de áreas aptas à implantação de irrigação por pivô central no município de Unaí-MG utilizando ferramental do SIG. Anais: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. INPE. Foz do Iguaçu, PR. 2013.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação Princípios e Métodos**. 3ª edição. Viçosa, MG: Editora UFV, 355 p. 2009.

MARTINS, R. N.; CORTE, W. C.; CASTELO BRANCO NETO, U. G.; SANTOS, V. K. S.; NERY, C. V. M. Identificação de áreas aptas a irrigação por pivô central no município de Paracatu-MG utilizando SIG e dados SRTM. **I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias - SASGEO**. Uberaba, MG. 2015.

OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F. A. C.; PAZ, V. P. S.; SANTOS, C. A. Avaliação do desempenho de sistemas pivô central na região oeste da Bahia. **Irriga**, Botucatu - SP, v. 9, n. 2, p. 126 - 135, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UNAÍ - PMU. Disponível em: <<http://www.prefeituraunai.mg.gov.br/pmu/index.php/2012-12-21-16-56-25/aspectos-fisicos.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2019.

RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para Estimativa de Demandas e Disponibilidades Hídricas: estudo de caso da Bacia do Paracatu**. 94p. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, UFV. Viçosa-MG. 2004.

ROSA, R. Análise Espacial em Geografia, **Revista da ANPEGE**, volume 7, número especial, número 1, 2011.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia (UFPE)** V. 31, No. 2, 2014.

SOARES, F. S.; FREITAS, L. F.; GOMES-LOEBMANN, D.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. Valorização das Unidades de Paisagem a Partir das Áreas Irrigadas por Pivô Central na Bacia do Rio Preto. **Anais: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, Florianópolis - SC, v. 13, p. 415 - 422, 2007.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, **Earth Explorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 de junho de 2019.

XAVIER, J. H. V.; PIRES, A. C.; ZOBY, J. L. F.; GASTAL, M. L. Análise de ciclo de vida (ACV) de sistemas de produção da agricultura familiar em Unai, MG: Resultados econômicos e impactos ambientais. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília, DF. v. 22, n. 3, p. 547-586, 2005.