

Identificação de áreas aptas à implantação de irrigação por sistema de pivô central no Norte de Minas Gerais - Brasil com utilização de SIG e AHP

Identification of suitable areas for center pivot irrigation system implementation in Northern Minas Gerais - Brazil using GIS

Tamiris Daiane Folator¹ , Henrique dos Santos Felipetto²  & João Pedro Spigiorin Cordeiro² 

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Departamento de Agronomia, Pato Branco, Brasil. E-mail: tamirisfolador@gmail.com

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Departamento de Agrimensura, Pato Branco, Brasil. E-mail: felipetto@utfpr.edu.br; joaopedrocordeiro@alunos.utfpr.edu.br.

Resumo: Este estudo avaliou a adequação de áreas para irrigação por pivô central em Montes Claros, Minas Gerais, utilizando uma abordagem baseada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o Processo de Hierarquia Analítica (AHP). Foram considerados fatores como tipo de solo, declividade, proximidade de corpos d'água e uso da terra para determinar a viabilidade da irrigação e a sustentabilidade da expansão agrícola. Atribuindo pesos aos critérios por meio do método AHP, os dados geoespaciais foram processados para gerar mapas de adequação, excluindo áreas restritas, como zonas de conservação e regiões urbanas. A validação da classificação territorial pelo índice kappa indicou alta precisão dos resultados. A análise revelou que 66,29% do município possui condições favoráveis à irrigação por pivô central, com 32,52% classificados como altamente adequados. Áreas de média e baixa adequação exigem análises adicionais, enquanto 33,71% foram consideradas inadequadas devido à presença de unidades de conservação e de alta declividade. Os solos predominantes, Argissolo Vermelho (65%) e Latossolo (24%), mostraram-se aptos à irrigação com manejo adequado, enquanto Cambissolos e Neossolos apresentaram restrições. A integração de SIG e AHP demonstrou ser uma ferramenta eficaz para o planejamento agrícola e o uso sustentável da terra, promovendo a expansão racional da irrigação. Entretanto, avaliações locais são essenciais para garantir a preservação ambiental em áreas com vegetação nativa.

Palavras-chave: Adequação à irrigação, análise SIG, método AHP, irrigação por pivô central, Montes Claros, desenvolvimento agrícola.

Abstract: This study assessed the suitability of areas for center pivot irrigation in Montes Claros, Minas Gerais, using a Geographic Information System (GIS)-based approach combined with the Analytical Hierarchy Process (AHP). Factors such as soil type, slope, proximity to water bodies, and land use were considered to determine irrigation feasibility and sustainable agricultural expansion. By assigning weights to the criteria through the AHP method, geospatial data were processed to generate suitability maps, excluding restricted areas such as conservation zones and urban regions. Validation of the territorial classification using the kappa index indicated high accuracy. The analysis revealed that 66.29% of the municipality is suitable for center pivot irrigation, with 32.52% classified as highly suitable. Medium and low-suitability areas require further evaluation, while 33.71% were deemed unsuitable due to conservation units and steep slopes. The predominant soils, Red Argisol (65%) and Latosol (24%), were found to be suitable for irrigation with proper management, whereas Cambisols and Neosols presented limitations. The integration of GIS and AHP proved to be an effective tool for agricultural planning and sustainable land use, promoting the rational expansion of irrigation. However, local evaluations remain essential to ensure environmental preservation in areas with native vegetation.

Key Words: Irrigation suitability, GIS analysis, AHP method, central pivot irrigation, Montes Claros, agricultural development.

1. Introdução

A demanda por alimentos vem crescendo nas últimas décadas acentuadamente, devido ao gradativo aumento do número de pessoas no mundo. Sem a produção necessária, a fome se apresenta como um problema de grandes proporções, e a busca por soluções é cada vez mais foco das pesquisas e investimentos.

Uma das alternativas encontradas para o aumento da produção é a abertura de novas áreas de plantio, desmatando florestas, drenando áreas e tendo por consequência danos ao meio ambiente de diferentes origens. Encontrando tal entrave, outra possibilidade é a potencialização da produtividade, melhorando geneticamente as plantas, controlando adequadamente as pragas, fazendo adubação correta e fornecendo água em quantidade e época corretas.

Um bom manejo e planejamento da lavoura são eficazes para que se dê o aumento produtivo, porém a questão da água é dependente do tempo e do local onde se localizam as plantas cultivadas. Para isto, a irrigação técnica desenvolvida há muitas décadas vem sendo cada vez mais empregada no meio agrícola, de modo que causa aumentos expressivos na produção, bem como na qualidade desta.

Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2017), o Brasil possui em torno de sete milhões de hectares irrigados de diferentes formas, como por superfície, aspersão, localizada, em sulco, entre outras, atendendo a diferentes culturas, desde ciclo curto até perenes, oferecendo na época correta e nas quantidades necessárias a água demandada pelas plantas. A irrigação por aspersão com sistema de pivô central apresenta expressiva contribuição nos dados, de modo que em 1,4 milhão de hectares a água é fornecida desta maneira. Com tal ação, as produtividades podem aumentar duas ou até três vezes quando comparadas às áreas de sequeiro.

Visando o cultivo de plantas anuais com grande interesse econômico, o sistema de irrigação por pivô central é viável pela área que atende e pela praticidade ao agricultor, porém, a utilização demanda áreas com relevo adequado e recursos hídricos suficientes.

Por ser um método oneroso, é imprescindível, antes da implantação, um estudo detalhado da área para que o agricultor não tenha frustrações e gastos inconvenientes.

Para o mapeamento de áreas, o conjunto de tecnologias do geoprocessamento é muito viável pelo motivo de que se faz possível a avaliação de áreas remotas, a implantação tem baixo custo, devido a dados públicos e imagens gratuitas, bem como softwares livres para a condução do estudo, além da precisão na estimativa dos resultados. Para que as informações levantadas sejam organizadas, calculadas, armazenadas e apresentadas, os Sistemas de Informações Geográficas atuam como ferramentas que transformam dados geográficos em conhecimento, possibilitando análises espaciais, modelagens e a visualização em diferentes mapas temáticos. Nesses sistemas é possível que diferentes mapas com temas distintos sejam relacionados de acordo com o que se deseja estudar. Com pontos georreferenciados no terreno, é possível que essa manipulação de mapas seja feita e a avaliação do local seja facilitada, resultando numa tomada de decisão mais eficiente. Desta forma, este estudo objetiva identificar e quantificar áreas específicas no norte do estado de Minas Gerais, que estejam aptas a receber a implantação de irrigação por meio de pivô central, levando em consideração todos os aspectos técnicos relacionados a essa atividade, em um ambiente SIG.

2. Área de Estudo

Para a realização deste estudo, escolheu-se, por área, o município de Montes Claros, localizado ao norte do estado de Minas Gerais (Figura 1), que tem sua economia pautada nos setores de serviços e indústria, de modo que o setor agropecuário corresponde apenas a 2,62% do Produto Interno Bruto (PIB). Ainda segundo SDETT-MG, de maneira geral, no estado há demanda externa de alimentos e as regiões Norte e Nordeste de Minas Gerais não possuem integração econômica com as demais, pelo fato de serem mais carentes e possuírem IDH menor, quando comparadas às regiões mais ao sul do estado. A fim de minimizar esses problemas, medidas como promover o empreendedorismo e melhorar o setor agropecuário estão em pauta. A estação chuvosa na região Sudeste do Brasil, de maneira geral, ocorre de outubro a março, em razão da Zona de Convergência do Atlântico Sul. O início das chuvas em setembro ocorre gradativamente nas regiões Sul e Oeste, chegando ao leste e norte até o mês de novembro, quando, até março, dias consecutivos de chuvas contínuas podem ocorrer. Por outro lado, períodos consecutivos de dias sem chuva durante a estação chuvosa, denominados veranicos, são comuns (INMET, 2017).

Com o clima específico do estado, os agricultores diversificam sua produção, de modo que quanto mais tecnificada a propriedade, maior o leque de opções para plantas cultivadas. Ocorre a produção de grãos das culturas de milho, soja, arroz e trigo. Destaca-se a grande diversidade da produção de frutos como abacaxi, morango, maracujá, melancia, uva, tomate, dentre outros, além de algodão, alho, amendoim, batata, cebola, cana-de-açúcar, cenoura, urucum, ervilha, etc.

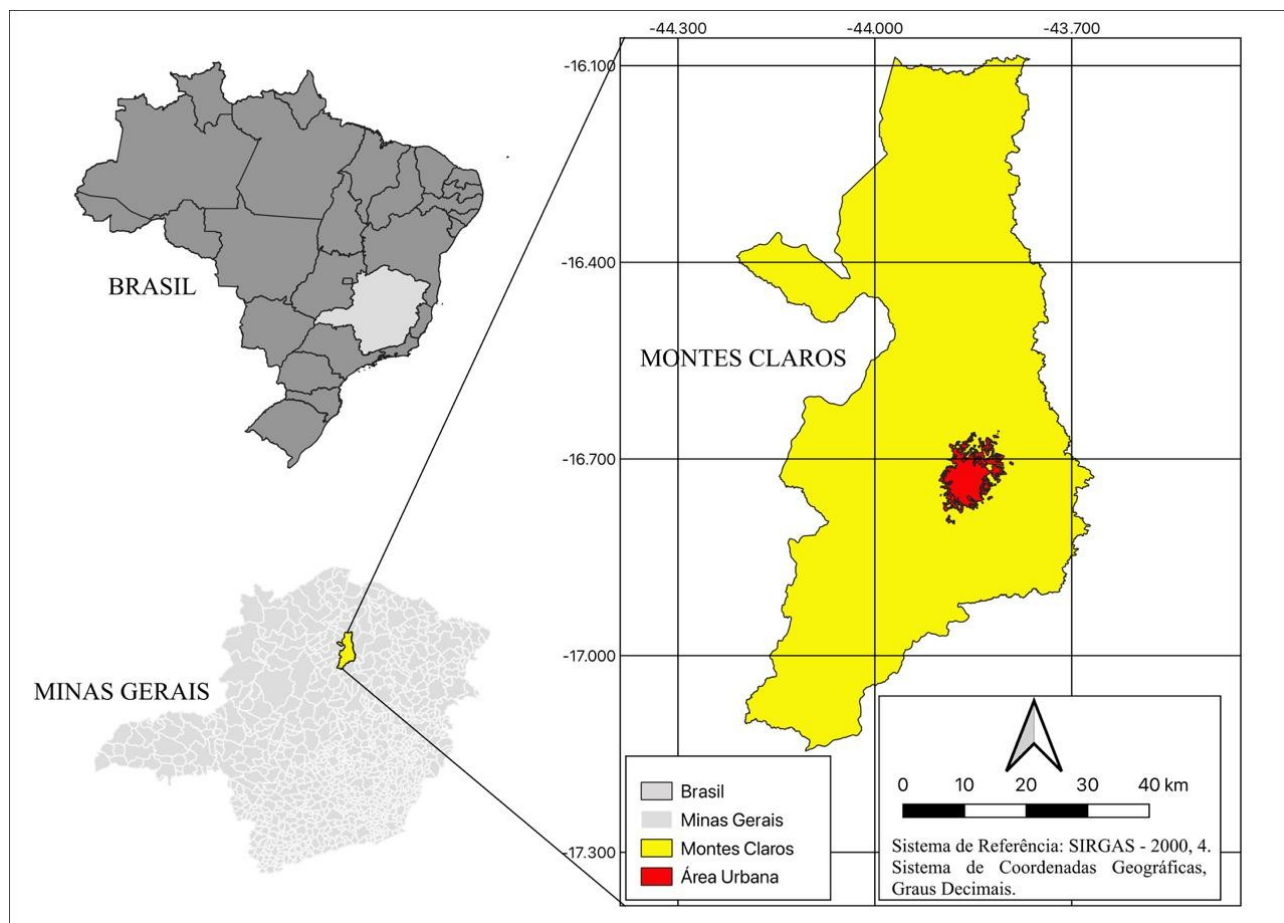


Figura 1. Mapa de Localização. Fonte: Adaptado IBGE, 2015.

Figure 1. Location Map. Source: Adapted from IBGE, 2015.

2.1 Produção Agrícola Brasileira

O Brasil apresenta grande diversidade biológica, climática e de relevo, o que permite o cultivo de diferentes espécies vegetais em praticamente todo o seu território. Essa variabilidade favorece elevados índices de produtividade agrícola. Segundo dados recentes, a área cultivada com grãos no Brasil chega a cerca de 69 milhões de hectares. Na média de 2020 a 2024, a produção de soja alcançou cerca de 151,1 milhões de toneladas, e para a safra 2024/25 o milho foi estimado em 135 milhões de toneladas. Na safra 2022/23, o Brasil respondeu por 42,2% da produção mundial de soja em grão, com volume de 156,0 milhões de toneladas. No mesmo período, cerca de 36,1% da soja produzida foi exportada, contribuindo de maneira significativa para o enfrentamento da insegurança alimentar global (FAO, 2025).

Com o crescimento contínuo da população mundial, a demanda por alimentos se intensifica. Estima-se que o total de pessoas atingirá algo entre 8,4 e 8,5 bilhões até 2030. Ao mesmo tempo, em 2024, cerca de 673 milhões de pessoas sofreram com fome crônica — o equivalente a 8,2% da população mundial — apesar de leve queda em relação a 2023 (o percentual naquele ano era 8,5%). (ONU/FAO *et al.*, 2025). Se as tendências atuais persistirem, projeta-se que em 2030 ainda haverá aproximadamente 512 milhões de pessoas vivendo com subnutrição crônica (ONU/FAO *et al.*, 2025). Além disso, alterações climáticas recentes — especialmente os estresses abióticos como secas, particularmente no centro-sul do Brasil — podem reduzir drasticamente a produtividade agrônômica,

limitando os locais, épocas e tipos de solo em que culturas essenciais podem ser cultivadas (Farias *et al.*, 2017).

Para que esses problemas sejam menos significativos, são necessárias práticas de manejo a fim de atingir a máxima eficiência produtiva, sendo uma delas conhecer os estádios de desenvolvimento e crescimento das culturas, para que condutas sejam aplicadas no momento oportuno, minimizando a fome e outros problemas (Farias *et al.*, 2017). Para exemplo pode-se considerar a cultura da soja, que contribui para maiores taxas de exportações do Brasil, agrega considerável parte no PIB do país e inúmeras famílias são empregadas direta e indiretamente – com o plantio, colheita, transporte e beneficiamento – segundo a FAO (2025).

Desta forma, buscando maiores produtividades, a agricultura passou a utilizar soluções como a irrigação, fornecendo para a planta água em quantidade suficiente e no momento correto, de modo que os investimentos sejam significativos nas receitas finais, não somente com a soja, mas também com outras culturas (Torres *et al.*, 2013)

2.2 Irrigação

A água é um elemento essencial à vida e às práticas humanas, tendo assim um valor imensurável com um caleidoscópio de utilidades, como a navegação, turismo, geração de energia elétrica, pesca, abastecimento doméstico, irrigação, entre outros. Desde a pré-história, o homem vem desviando cursos d'água para irrigar suas plantações, percebendo assim que não apenas ele precisava de água, mas que, se a fornecesse às plantas, essas viriam mais saudáveis e com maior produção, possibilitando o estabelecimento e a permanência humana em locais áridos e semiáridos, já que a produção de alimentos se tornara praticável (Testezlaf, 2017).

Segundo Barreto (1974) irrigação pode ser definida como: Aplicação artificial de água no solo, com a finalidade de proporcionar a umidade necessária ao crescimento normal das plantas nele existentes, suprimindo a falta, insuficiência, ou má distribuição das chuvas. Já de acordo com Bernardo *et al.* (2006), a irrigação não deve ser vista apenas como uma técnica de luta contra a seca, mas afirma que: 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. Visando o problema da fome no mundo, uma solução viável é a expansão de áreas agrícolas, porém, para que isso ocorra, há outros tipos de degradação, como o desmatamento de florestas. Então, diante das restrições de expansão, a melhor maneira de aumentar a produtividade seria potencializar áreas para que essas gerem maior oferta. Entretanto, as mudanças climáticas vêm causando preocupações a fim de aumentar os números de produção, sendo a irrigação uma solução satisfatória para o entrave (Saath & Fachinello, 2018).

Desta forma, segundo Testezlaf (2017), a irrigação é uma tecnologia de grande valor na produção agrícola, de modo que culturas importantes podem se desenvolver em ambientes áridos, diminuindo os riscos de quebra de safra. Ainda, conforme o autor, a prática da irrigação pode ser utilizada em locais onde há taxas consideráveis de precipitação, como é o caso do Centro-Oeste e Sudoeste brasileiros, servindo como uma garantia à produtividade, fornecendo a quantidade de água necessária à cultura, bem como no estágio de desenvolvimento correto.

O pivô central é um sistema de irrigação no qual uma linha lateral suspensa por torres de sustentação dotadas de rodas e motores gira em torno de um ponto central, que é

chamado de pivô. Desta maneira, a característica de tal técnica é a irrigação em círculos. Assim, na maioria das vezes, na extremidade final da linha lateral do pivô central existe um aspersor de grande porte do tipo canhão, que permite um aumento na área coberta pela irrigação (Biscaro, 2009).

A grande aceitação do equipamento se deve às suas características, que permitem a irrigação mecanizada de extensas áreas, mesmo de topografia irregular, além da grande vantagem de, após completar um ciclo de irrigação, estar no lugar exato para reiniciar outro ciclo (Folegatti *et al.*, 1998).

Outras vantagens são o controle operacional facilitado da lâmina de irrigação, custos competitivos pelo menor dispêndio de mão de obra e pela possibilidade de obter alta eficiência de aplicação e distribuição de água. Esse sistema de irrigação por pivô central expandiu-se acentuadamente no Brasil nos últimos anos, mais notadamente nos estados de São Paulo, Goiás, Bahia e Minas Gerais (Sandri & Cortez, 2009).

Para que seja possível a avaliação de áreas aptas a receber irrigação por pivô central, uma técnica que possui vasta potencialidade quanto à aplicação em análises espaciais, planejamento urbano e rural, bem como apoio à tomada de decisão envolvendo uma infinidade de temas e objetos de estudo, é o emprego de técnicas de geoprocessamento, em especial Sistemas de Informações Geográficas – SIGs (Fonseca *et al.*, 2014).

2.3 SIG - Sistema de Informação Geográfica

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) já existiam antes do advento do computador e do desenvolvimento de sistemas computacionais e evoluíram a partir dos séculos de produção de mapas e de compilação de registros geográficos (Miranda, 2015). Com o passar das décadas, o conceito de SIG foi evoluindo à medida que o uso desse se dava em diferentes campos de pesquisa; porém, as definições mais próximas do que seria um SIG estão relacionadas a mapas ou a aspectos cartográficos. Assim, de acordo com Maguire (1991, *apud* Miranda, 2015, p. 26): SIG é um sistema de processamento (análise) e visualização de mapas. No processamento de mapas, cada arquivo representa um mapa (também chamado de plano de informação, tema ou cobertura). Os mapas são usualmente armazenados em formato padrão e manipulados por uma função que pode adicionar, subtrair ou pesquisar por padrões. A saída destas operações é outro mapa.

Alves & Azevedo (2013) afirmam que é possível trabalhar com o SIG de três formas distintas: ferramenta para produção de mapas; suporte para análise espacial ou um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais. Todas têm importante papel no tratamento de informações geográficas que fazem parte de um estudo. Segundo Santos (2012), o Sistema de Informação Geográfica pode contribuir para o apoio à tomada de decisões, de maneira que estes modelam geoinformações, possibilitam uma melhor compreensão do problema a ser solucionado e geram mecanismos apropriados para a criação de medidas mitigadoras da problemática em questão. Ainda conforme Gonçalves *et al.* (2015), o SIG tem grande importância no entendimento da dinâmica ambiental, auxiliando na gerência dos recursos, bem como é uma alternativa viável para minimizar custos de manejo.

Tal função do SIG tem significativa relevância no meio agrícola, como na agricultura de precisão, onde se torna possível fazer o mapeamento de áreas por meio de softwares e avaliar os solos das propriedades de forma estratificada a fim de aplicar corretivos,

defensivos e água em quantidades necessárias, causando aumento na produtividade, redução dos custos e consequente aumento dos lucros (Tschiedel & Ferreira, 2002).

No tocante ao dimensionamento de um sistema de irrigação, é essencial que se tome conhecimento de dados de solo, planta, clima, recursos naturais e topográficos, tornando possível um planejamento mais preciso e eficiente, evitando insucessos e gastos extras. Porém, em grande parte dos casos, existem incertezas em torno dessas informações, questão que os SIGs podem solucionar, pois permitem a realização de análises complexas integrando dados de diversas fontes e criando bancos de dados georreferenciados a respeito da área de interesse (Carvalho *et al.*, 2005).

Para a execução dessas análises complexas com diferentes dados há o Analytic Hierarchy Process (AHP - Método de Análise Hierárquica), criado pelo matemático Thomas L. Saaty na década de 1970, e é um dos modelos matemáticos mais importantes para apoio à teoria de decisão, disponíveis no mercado. A utilização deste método permite que informações empíricas possam ser convertidas em valores numéricos, processadas e comparadas (Vargas, 2010).

Pirolí (2015) também destaca a grande importância do planejamento em relação aos cuidados ambientais e ao manejo adequado de áreas. Para que isso ocorra, são de grande valia informações ordenadas de maneira correta em bancos de dados compatíveis contendo sua informação espacial. Atendendo a essa necessidade, os SIGs vêm sendo cada vez mais utilizados nas pesquisas com cunho de planejamento, como é o caso deste trabalho.

2. Materiais e Métodos

A abordagem metodológica geral deste estudo foi elaborar um mapa final para identificar e quantificar áreas aptas à implantação de irrigação por pivô central, no município de Montes Claros-MG, perfazendo quatro etapas principais: aquisição dos dados de hidrografia, declividade, solo, e uso e ocupação do solo, de forma gratuita na rede mundial de comunicação – internet; tratamento dos dados; identificação das classes que os compunham; e análise multicritério.

Com os dados obtidos, o software de uso livre escolhido foi o QGIS nas versões 3.4. e 3.10. sendo que as versões apresentavam ferramentas ativas específicas para cada processamento das imagens. Para a criação dos mapas, considerou-se apenas a delimitação do município de Montes Claros em um ambiente SIG, possibilitando a integração das informações dos diferentes arquivos de dados obtidos.

No software, cada camada foi composta por um mapa, reprojetado com sistema de coordenadas geográficas e DATUM SIRGAS 2000, que, por sua vez, possui classes, contendo as informações das variáveis, e pesos determinados diferenciando-as de acordo com a influência de cada fator. Quanto mais alto o valor atribuído à classe significa que mais apta a área está a receber o sistema de irrigação proposto.

A fim de considerar todos os fatores para a obtenção de um mapa final, as variáveis foram combinadas por meio da intersecção de camadas, e as feições das imagens que representavam fatores limitantes foram excluídas, representando a inaptidão para implantação de pivô central no município. Com o restante dos dados, cálculos de multicritério foram aplicados, permitindo uma classificação do território do município de aptidão para o sistema de irrigação proposto.

Para a criação do mapa de classificação de aptidão hídrica, o arquivo das bacias hidrográficas estaduais do tipo *shapefile* em formato de linha, foram obtidos no site do Instituto Prístino que compila arquivos vetoriais de diferentes fontes, este em específico tem por fonte a Agência Nacional das Águas (2009). O mapa teve por objetivo identificar a distância das áreas em relação ao corpo hídrico, pois estas abastecerão o sistema de irrigação. As classes consideradas são de acordo com a distância, pois quanto mais longe da fonte hídrica, mais oneroso se torna o sistema, de modo que bombas mais potentes e maior extensão do sistema de condução da água são necessárias. Assim, adotaram-se três intervalos: 500, 1000 e 1500 m, sendo que quanto menor a distância, maior a aptidão e o peso atribuído. Para representar as distâncias no mapa, buffers nas distâncias pré-definidas foram criados no entorno do *shapefile*.

Os dados no formato matricial para elaboração do mapa de declividade foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelo projeto TOPODATA, no qual disponibilizam-se dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) refinados para uma resolução espacial de 1 arco-segundo, ou seja, aproximadamente 30 metros (Valeriano, 2011).

Para a abrangência de todo o município, foram utilizadas duas cenas mosaicadas em um único arquivo. Tal arquivo sofreu processos necessários e foi reclassificado em três classes: 0-15%; 15-30% e maior que 30%, onde quanto menor a declividade maior a aptidão da área, e a última classe representa fator limitante para o sistema de irrigação por pivô central (Saleme, 2010).

No mapa de classes de solos, os dados em *shapefile* foram adquiridos gratuitamente da Embrapa Solos, no site Geoinfo (2020) que detém o mapa de solos do estado de Minas Gerais. Fez-se o recorte apenas do município de Minas Gerais e a identificação dos tipos de solos presentes, considerando apenas dois níveis categóricos, já que foram suficientes para caracterizá-los.

No mapa de uso e ocupação do solo, primeiramente, obtiveram-se as imagens do satélite Sentinel-2B no site Copernicus (2020), com resolução espacial de 10 metros. Foram necessárias três cenas mosaicadas para que fosse possível cobrir todo o município de Montes Claros.

A fim de evitar confusão do software no momento da classificação, optou-se por recortar áreas específicas. Para a área urbana, vetorizou-se toda a sua extensão e excluiu-se da imagem. Em relação a área de unidade de conservação, obteve-se o *shapfile* do IDE - Sisema no site do Instituto Prístino (2019) e recortou-se da imagem por camada máscara. O *shapefile* das rodovias que cruzam o município foi obtido por meio do Plano Nacional de Logística e Transportes e vetorizado em seus contornos para que o recorte fosse possível. Já para excluir as áreas referentes aos corpos hídricos, o mesmo *shapefile* utilizado no mapa de hidrografia foi empregado. Segundo a Lei nº 12.727/12, artigo 5º, em área rural, são necessários ao menos 30 metros de preservação permanente ao redor dos rios; desta forma, para o recorte na imagem, considerou-se um buffer na distância determinada.

Com todos os recortes executados, foi feito a classificação supervisionada da imagem com o plug-in Dzetsaka do QGIS. O processamento consistiu em amostrar 150 pontos em áreas da imagem que representassem floresta, área agrícola, solo exposto e vegetação de cerrado. As áreas com feições representadas pela primeira classe representam um fator limitante, de modo que, em um primeiro momento, não se indica a derrubada de florestas para a agricultura. A fim de avaliar o nível de concordância dos dados obtidos na classificação, observou-se o coeficiente de concordância Kappa proposto por Cohen (1960), através da Equação 1:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} + * x_{+i})}$$

Eq. 1

Onde K é uma estimativa do coeficiente Kappa; x_{ii} é o valor na linha i e coluna i; x_{i+} é a soma da linha i, e x_{+i} é a soma da coluna i da matriz de confusão; n é o número total de amostras e c o número total de classes.

Para a análise multicritério, primeiramente, todos os mapas (camadas) foram transformados para o formato *shapefile* (vetorial); após, foram calculados e atribuídos pesos estatísticos às classes de cada mapa. Corroborando com Vargas (2010), os pesos foram devidamente atribuídos, os mapas (planos de informação) foram intersectados e as feições com os fatores limitantes foram excluídas. Com a calculadora de campos do software foi feita a soma dos pesos em cada feição e a padronização desta por meio da Equação de Padronização de parâmetros diretos (Equação 2) para parâmetros de análise direta, ou seja, aqueles que quanto maior o valor, maior a aptidão para implantação de irrigação por pivô central (Abuzied *et al.*, 2016).

$$Y = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Eq. 2

Deste modo, a soma normalizada foi classificada em três classes: 1- Baixa Aptidão (0 – 0,333); 2 - Média Aptidão (0,334 – 0,667); 3 - Alta Aptidão (0,668 – 1,0). A quarta classe chamada de Inaptidão ficou responsável por representar toda e qualquer área do município de Montes Claros-MG que não atendeu aos requisitos para o enquadramento nas outras três (Abuzied *et al.*, 2016). Por fim, foi observada a ausência na literatura do uso das duas metodologias usadas conjuntamente; assim, o trabalho possibilitou a elaboração de uma nova fórmula que exemplificasse a nova metodologia proposta, adaptada de Saaty (1980), através da Equação 3.

$$\sum_{i=1}^n X_i = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Eq. 3

De modo que X representa os pesos estatísticos calculados através da metodologia do AHP de Saaty (1980).

3. Resultados e Discussão

Na Figura 2 é possível a observação das distâncias de 500, 1000 e 1500 m dos corpos hídricos presentes no município de Montes Claros–MG, de modo que a aptidão das áreas possui relação direta com as distâncias, ou seja, quanto mais perto do corpo hídrico se encontra a área, maior a aptidão para implantação de sistema de irrigação. Considerando apenas a área total das distâncias definidas, tem-se 22% para 500 m; 36% para 1000 m e 42% para 1500 m.

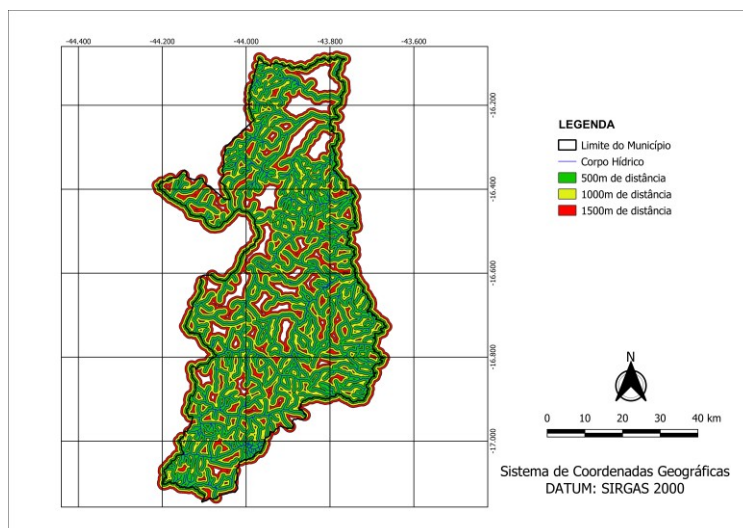


Figura 2. Mapa de Aptidão Hídrica do Município de Montes Claros-MG. Fonte: Autor, 2020.

Figure 2. Map of Water Suitability of the Municipality of Montes Claros-MG. Source: Author, 2020.

No mapa de declividade (Figura 3) apresentado é latente a percepção das três classes, sugeridas por Saleme (2010), para a implantação de sistema de irrigação pivô central, de forma que, áreas com declividade maior que 30% são consideradas inaptas já que restringem a utilização de tal sistema. No município em questão, áreas com declividades no intervalo de 0 a 15% são predominantes, cerca de 75% do total da área, seguidas pelo intervalo de 15 a 30% com 25% enquanto áreas com declividades maiores que 30% representam apenas 5% de Montes Claros.

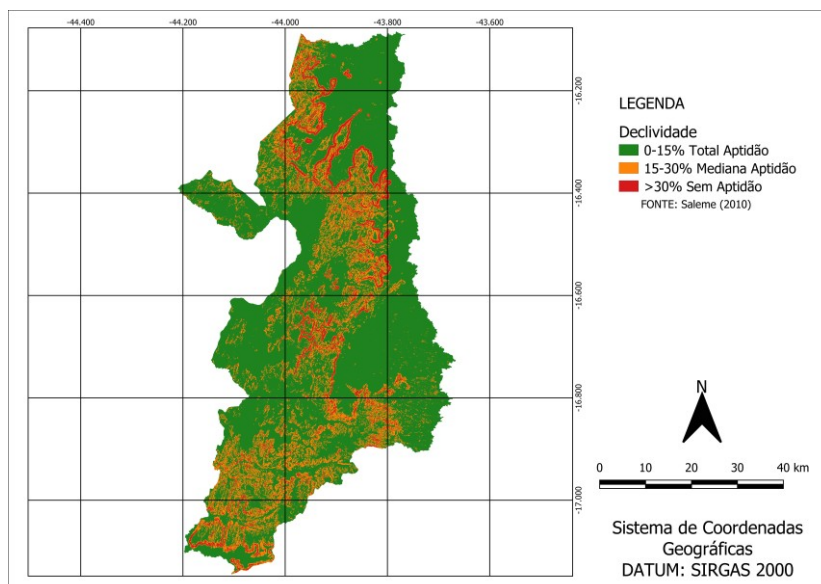


Figura 3. Mapa de declividade de Montes Claros-MG. Fonte: Autor, 2020.

Figure 3. Map of the Slope of Montes Claros, Minas Gerais. Source: Author, 2020

A Figura 4 apresenta as classes de solo de Montes Claros em dois níveis categóricos. A predominância é do Argissolo Vermelho (65% da área), caracterizado por possuir um horizonte B textural, com transição abrupta, abaixo do horizonte A ou E. Tal classe de solo configura maior coesão, pegajosidade e plasticidade em virtude do alto teor de argila (Embrapa, 2006). Ainda, a infiltração e a capacidade de retenção de água diferem entre os horizontes, sendo a primeira mais lenta e a segunda maior no horizonte B textural, o que atribui ao solo maior suscetibilidade à erosão. Esses solos possuem potencial agrícola desde que, sejam corrigidos em questão de fertilidade, e que práticas conservacionistas sejam adotadas (Zaroni & Santos, 2010).

Em segunda escala, apresentam-se os Latossolos nas cores Vermelho-Amarelo e Vermelho, diferidos principalmente pela matriz de cor nos primeiros 100 centímetros e representando juntos 24% da área do município. De forma geral, são classificados assim pelo processo de latolização, que consiste na remoção da sílica e das bases do perfil, após a transformação dos materiais primários que constituem o solo. São profundos, com horizontes A, B e C pouco diferenciados, além de serem bem drenados, friáveis e de fácil preparo; são adaptáveis a diversos cultivos, desde culturas anuais até reflorestamento. Possuem baixa fertilidade natural, visto seu alto grau de intemperismo, porém, correções quanto à acidez, saturação por alumínio e fertilidade solucionam o problema, já que é um solo excelente para cultivos (Sousa & Lobato, 2011).

Quanto ao Cambissolo Háplico responsável por 10% do solo de Montes Claros, é possível destacar características como: presença de horizonte B incipiente e ausência de horizonte A húmico. Comumente são solos de baixa profundidade, encontrados em ambientes de relevo mais acidentados, com elevados teores de minerais primários (o que configura alta fertilidade natural) e presença de fragmentos de material rochoso. Assim, seu uso agrícola fica de certa forma restrito, sendo mais indicado para cultivos perenes (IAC, 2015).

A quinta classe identificada foi a do Neossolo Quartzarênico, representando uma pequena porção de área (1%) localizada ao norte do território municipal. Segundo a Embrapa (2006), são solos arenosos compostos por 95% ou mais de quartzo, com alta relação macro/microporos. Essa característica favorece a percolação mais rápida da água, traduzida pela alta condutividade hidráulica desse solo que, aliada ao seu baixo teor de argila e ao baixo teor de matéria orgânica, favorece a quase ausência de agregação, baixa coesão entre partículas e consequente processo de lixiviação (Gomes *et al.*, 2008). Desta forma, essa classe de solo torna os cultivos agrícolas mais restritos e dificultados.

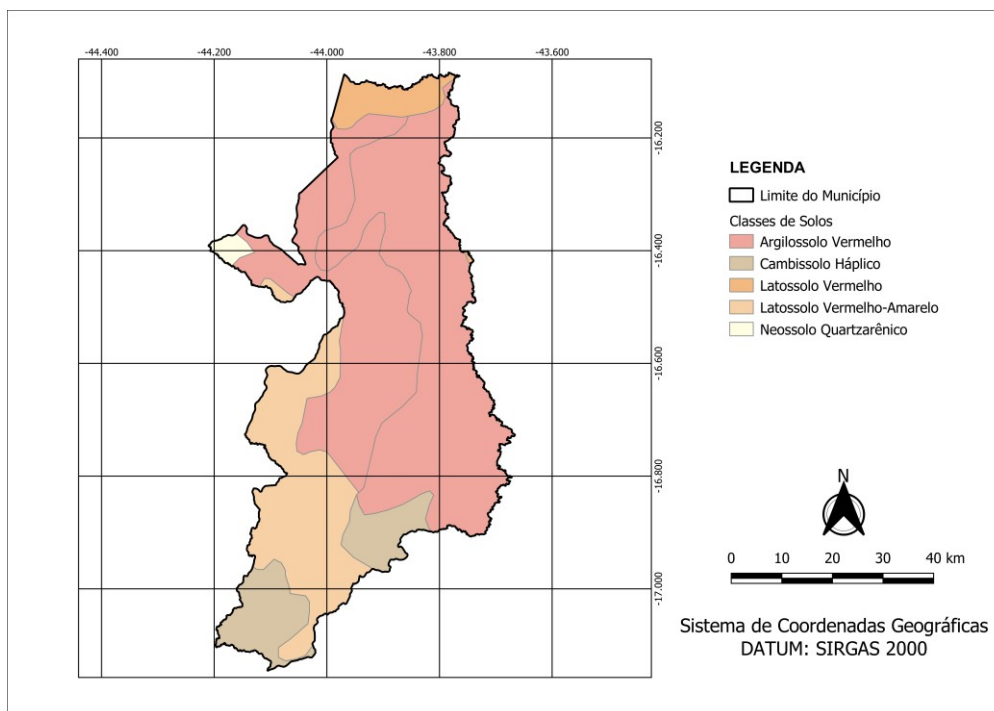


Figura 4. Mapa de Solos de Montes Claros-MG. Fonte: Autor, 2020.

Figure 4. Soil Map of Montes Claros, Minas Gerais. Source: Author, 2020.

A Figura 5 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo do município de Montes Claros. Visando diminuir o erro de classificação vê-se a área urbana, área da unidade de conservação, rodovias e rios, recortados de modo que, há distância de 30 m nas margens dos rios.

Com as imagens em mãos, percebeu-se o quão a vegetação é diferenciada no município, muitas vezes impossibilitando a identificação pela imagem de satélite. Mas não só o município, o Estado de Minas Gerais como um todo, apresenta riqueza de formações vegetais, constituindo um complexo mosaico, devido às suas diversas condições geológicas, topográficas e climáticas (Mello Barreto, 1942). Ainda segundo Sano & Almeida (1998), o norte de Minas Gerais, especificamente a região de Montes Claros, está inserido em uma área de transição entre os domínios do Cerrado e da Caatinga, com composições variadas, conferindo uma fitofisionomia peculiar à vegetação.

Visando tal situação, preferiu-se dividir a classificação em três grandes grupos bem identificáveis, floresta, área agrícola e solo exposto, e um quarto que pudesse representar as demais formações, vegetação de cerrado, de modo que representaram da área total: 18, 63, 4 e 15% respectivamente.

Para verificar a confiabilidade dos dados classificados, foi calculado o índice kappa. Segundo Antunes & Lingnau (1997), o coeficiente de acurácia kappa para classes individuais parece ser o mais indicado na avaliação da classificação de imagens de sensoriamento remoto, por levar em conta os erros de comissão e omissão na matriz de erros no seu cálculo. Com tais informações, considerou-se neste trabalho o Kappa individual por classe (Tabela 1). Segundo Landis & Koch (1977), valores de kappa entre 0,80 e 1,00 são interpretados como concordância quase perfeita, enquadrando os valores encontrados nas quatro classes de uso e ocupação do solo.

Tabela 1. Coeficiente Kappa individual por classe de classificação.

Table 1. Individual Kappa Coefficient per Classification Class.

Classe	Floresta	Area Agricultura	Solo Exposto	Vegetação de Cerrado
Kappa hat Classificação*	0,8739	0,9030	0,9973	0,9332

* é a medida de acordo entre o mapa de classificação e os dados de referência (amostras). Fonte: Autoria própria (2020).

Seguindo a metodologia de análise hierárquica de Saaty (1980), os pesos estatísticos, para a análise multicritério, encontrados para as classes de cada plano de informação (PI) estão representados na Tabela 2. É importante salientar a relação direta dos pesos, ou seja, quanto maior o valor atribuído à classe, maior a aptidão da área segundo aquele fator.

Tabela 2. Pesos das classes de solos de Montes Claros-MG.

Table 2. Weights of the soil classes of Montes Claros, Minas Gerais.

PI	Classe	Peso
(Plano de Inf.)		
Solos	Latossolo	0,47
	Argissolo	0,07
	Cambissolo	0,28
	Neossolo	0,17
Declividade	0-15%	0,63
	15-30%	0,26
	>30%	0,11
Hidrografia	500 m	0,63
	1000 m	0,26
	1500 m	0,11
	Agricultura	0,49
Uso e ocupação dos solos	Solo Exposto	0,31
	Cerrado	0,13
	Floresta	0,08

Para a confecção do mapa de aptidão (Figura 5), todos os mapas foram convertidos para o formato *shapefile*, ou seja, vetorizados, e os pesos foram atribuídos às suas respectivas classes. A partir disso, foi possível obter os mapas intersectados e excluir todas as feições que conferiam áreas de floresta e/ou de declividade maiores que 30%.

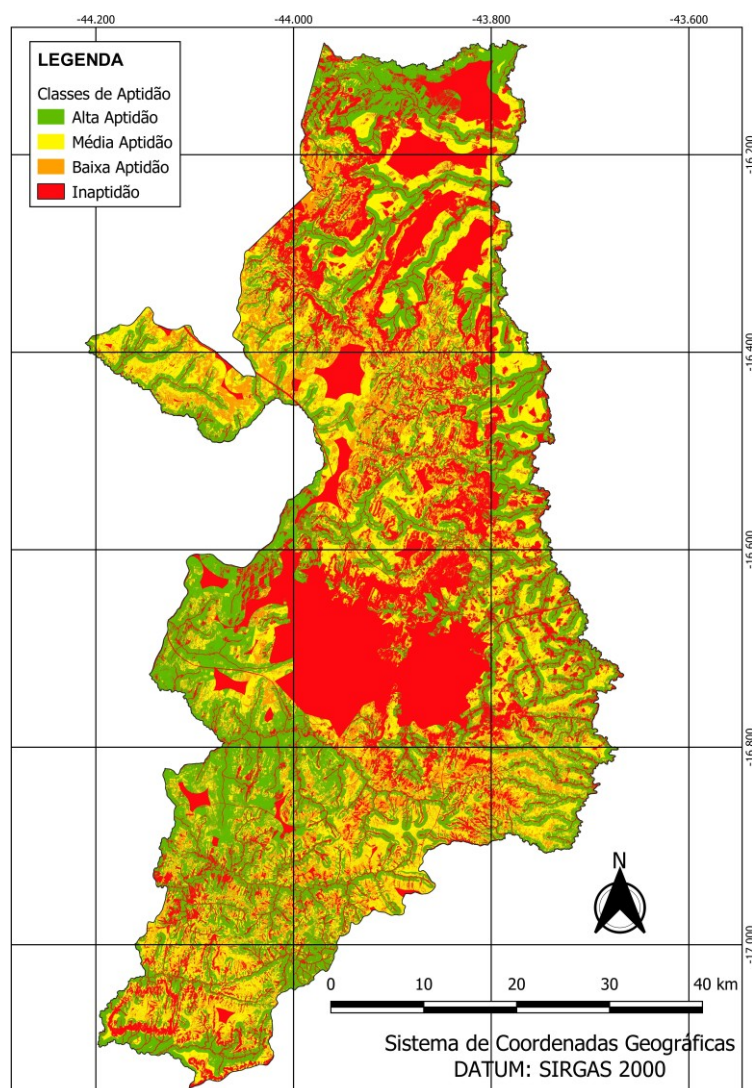


Figura 5. Mapa de aptidão para pivô central no Município de Montes Claros-MG. Fonte: Autor, 2020.

Figure 5. Center Pivot Suitability Map of the Municipality of Montes Claros, Minas Gerais. Source: Author, 2020.

O município de Montes Claros-MG apresentou resultados positivos em relação a aptidão das áreas para implantação do sistema de irrigação por pivô central. Considerando um total de território de 356894,22 hectares, calcularam-se as áreas e suas respectivas porcentagens significativas, representadas na Tabela 3. É perceptível que nas classes de aptidão, um número maior de áreas está alocado como de alta aptidão para implantação de irrigação por pivô central (32,53%), quase igualando-se à classe de inaptidão (33,71%), de modo que, juntas, as classes de aptidão representam cerca de 66,29%. No mapa, a classe de inaptidão representa áreas de urbanização, unidades de conservação, rodovias, preservação permanente no entorno dos rios, além das já citadas. As classes de média e baixa aptidão, requerem maior atenção na hora da instalação do sistema de irrigação por pivô central, sendo indicada uma avaliação completa da propriedade e das condições disponíveis do produtor, que podem ser adaptadas de acordo com cada situação. Quanto às áreas de alta aptidão, a adaptação necessária é menor, já que, em virtude dos fatores analisados, os resultados foram satisfatórios para uso do sistema.

Tabela 3. Áreas correspondentes às classes de aptidão para implantação de irrigação por sistema de pivô central no Município de Montes Claros-MG.

Table 3. Areas corresponding to the suitability classes for center pivot irrigation system implementation in the Municipality of Montes Claros, Minas Gerais.

Classe	Área(ha)	% de Área
Alta Aptidão	116062,24	32,52
Média Aptidão	95733,26	26,82
Baixa Aptidão	24798,73	6,95
Inaptidão	120300,00	33,71

De toda forma, no momento da definição do uso do pivô central, recomenda-se a avaliação individual da área de implantação, para que não haja nenhum descontentamento técnico por parte do proprietário. Ainda, áreas que compreendem a classe denominada "Vegetação de Cerrado", demandam maior atenção, já que o bioma nativo da região deve ser preservado, porém nesta classe, pode haver áreas com diferentes vegetações ou áreas agrícolas de abandono enquadradas na possibilidade de uso.

4. Conclusão

O uso das metodologias de forma conjunta se mostrou eficiente, já que o AHP permitiu uma análise complexa dos vários fatores envolvidos e, a soma dos pesos aliada a padronização, viabilizou um resultado mais instantâneo da análise multicritério. Observou-se que com os critérios adotados houve grande quantidade de área apta a implantação de irrigação por meio de sistema de irrigação por pivô central, representando 66,29% da área total, sendo que, a classe de alta aptidão enquadrou a maioria das áreas aptas 32,52% da área total do município de Montes Claros.

Os dados encontrados a partir da realização deste estudo podem auxiliar em um planejamento de expansão da agricultura no município e região, já que o cultivo de forma irrigada permite maior leque de culturas, com diversidade de produção e incentivo à utilização de áreas agrícolas atualmente inutilizadas.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Campus Pato Branco da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Agrimensura e Agronomia pelo apoio a este trabalho.

Contribuições dos Autores: Concepção, T.D.F.; metodologia, T.D.F., H.S.F.; software, T.D.F.; validação, H.S.F.; análise formal, T.D.F., J.P.S.C.; pesquisa, T.D.F.; recursos, T.D.F.; preparação de dados, T.D.F.; escrita do artigo, T.D.F.; revisão, J.P.S.C.; supervisão, H.S.F.; Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

- Abuzied, S.; Yuan, M.; Ibrahim, S.; Kaiser, M.; Saleem, T. 2016. Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt. *Journal of Arid Environments*, 133: 5472. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.004>
- Alves, T.L.B. & Azevedo, P.V. 2013. Estudo de bacias hidrográficas como suporte à gestão dos recursos naturais. *Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal*, 10: 166-184.
- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). 2017. *Atlas irrigação uso da água na agricultura irrigada*. Brasília: [s.n.], 86 p. ISBN 978-85-8210-051-6. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguaAgriculturaIrrigada.pdf>. Acesso em: 07 maio 2019.

- Antunes, A.F.B. & Lingnau, C. 1977. Uso dos índices de acurácia para avaliação de mapas temáticos obtidos por meios de classificação digital. In: *Anais... Congresso e feira para usuário de geoprocessamento*. Curitiba: [s.n.], 1997.
- Barreto, G.B. 1974. *Irrigação: princípios, métodos e prática*. Campinas: Instituto Campeiro de Ensino Agrícola.
- Bernardo, S.; Soares, A.A. & Mantovani, E.C. 2006. *Manual de irrigação*. 8. ed. [S.l.: s.n.].
- Biscaro, G.A. 2009. Sistemas de irrigação por asperção. Dourados: Editora da UFGD, 134 p.
- Carvalho, D.F.; Silvall, W.A.; CeddiIII, M.B.; Tanajura, E.L.X.; Villela, A.L.O. 2005. Estimativa do custo de implantação da agricultura irrigada, utilizando o sistema de informação geográfica. *Engenharia Agrícola*, 25(2): 395-408. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000200013>
- Cohen, J. 1960. Um coeficiente de concordância para escalas nominais. *Medida educacional e psicológica*, 20(1): 37-46,
- COPERNICUS. 2020. *Programa de observação da Terra da União Europeia*. Disponível em: <https://www.copernicus.eu/en/access-data>.
- EMBRAPA. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. [S.l.]: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, ISBN 85-85864-19-2.
- FAO. 2025. *Country Brief: Brazil. GIEWS — Global Information and Early Warning System*, 20 fev. 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=BRA>. Acesso em: 25 de agosto de 2025.
- Farias, J.R.B.; Nepomuceno, A.L.; Neumaier, N. 2017. *Ecofisiologia da soja*. Londrina: Embrapa.
- Folegatti, M.V.; Pessoa, P.C.S.; Paz, V.P.S. 1998. Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão. *Scientia Agrícola*, 55(1): 119-127, jan./abr <https://doi.org/10.1590/S0103-90161998000100019>
- Fonseca, S.F.; Santos, D.C.; Trindade, W.M. 2014. Técnicas de geoprocessamento aplicadas na classificação e avaliação da distribuição das espécies arbóreas nas praças de Buritizeiro-MG. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 18(2): 109-122. <https://doi.org/10.5902/2236499412503>
- Gomes, M.A.F.; Pereira, A.S.; Queiroz, S.C.N.; Ferracini, V.L., Jardim, I.C.S.F.; Paulo, M.M.; Diogo, A. 2008. Movimento do herbicida imazetapir em um neossolo quartzarênico típico e em um latossolo de textura média das nascentes do rio Araguaia, município de Mineiros (GO). *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, 18: 115-122. <https://doi.org/10.5380/pes.v18i0.13385>
- Gonçalves, E.D.; Santos, M.L.S.; Soares, J.A.C.; Souza, P.H.N.; Mourão, F.V.; Castro, K.F.; Sousa, A.C.S.R. 2015. Aplicação do sistema de informação geográfica na microbacia dos Lagos Bolonha e Água Preta (PA). *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, 15(1): 43-50. <https://doi.org/10.17080/1676-5664/btcc.v15n1p43-50>
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. 2017. *Estação chuvosa em Minas Gerais*. [S.l.]. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/notasTecnicas>.
- IAC - Instituto Agrônomo de Campinas. 2015. *Solos do estado de São Paulo*. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/>.
- Landis, J.R. & Koch, G.G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1): 159-174.
- Miranda, J.I. 2015. *Fundamentos de sistemas de informações geográficas*. 4. ed. [S.l.]: Embrapa. 399 p. ISBN 978-85-7383-484-6.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2018. *FAO: fome aumenta no mundo e afeta 821 milhões de pessoas*. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/fao-fome-aumenta-no-mundo-e-afeta-821-milhoes-de-pessoas/>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- Pirolí, E.L. 2015. *Uso de sistemas de informação geográfica na análise ambiental em bacias hidrográficas*. In: 1. ed. [S.l.]: Tupã: ANAP, 2015. cap. Prefácio, p. 139. ISBN 978-85-68242-07-0.
- Saath, K.C.O. & Fachinello, A.L. 2018. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 56(2): 195-212. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>
- Saaty, T.L. 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, 287p.

- Saleme, D.C. 2010. *Pré-seleção de sistemas de irrigação em cana-de-açúcar, para as características da região de São Miguel dos Campos – AL*. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenheiro Agrônomo. Universidade Federal de Alagoas. 40p.
- Sandri, D. & Cortez, D.A. 2009. Parâmetros de desempenho de dezesseis equipamentos de irrigação por pivô central. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, 33(1): 271-278. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000100037>
- Sano, S.M. & Almeida, S.P. 1998. *Cerrado: ambiente e flora*. [S.l.]: Embrapa Cerrado. ISBN 8570750080.
- Santos, C.S. 2012. *Os sistemas de informação geográfica aplicados à análise espacial para o mapeamento dos espaços verdes do bairro do Cabula na cidade do Salvador – Bahia – Brasil*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de ciências sociais e humanas, Lisboa. 127p.
- Sousa, D.M.G. & Lobato, E. 2011. *Bioma cerrado: Latossolos*. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html.
- Testezlaf, R. 2017. *Irrigação: métodos, sistemas e aplicações*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 213 p. ISBN 978-85-99678-10-7.
- Torres, J.L.R. Santana, M.J.; Pizolato Neto, A.; Pereira, M.G.; Vieira, D.M.S. 2013. Produtividade de feijão sobre lâminas de irrigação e coberturas de solo. *Bioscience Journal*, 29(4): 833-841. <https://doi.org/10.13140/2.1.4610.7207>
- Tschiedel, M. & Ferreira, M.F. 2002. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural*, 32(1): 159-163. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000100027>
- Valeriano, M.M. 2011. *TOPODATA*. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>.
- Vargas, R.V. 2010. *Utilizando a programação multicritério (analytic hierarchy process - ahp) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio*. PMI Global Congress,
- Zaroni, M.J. & Santos, H.G. 2010. *Argissolos: definição e características gerais*. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_2212200611538.html